

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta strojní
Ústav strojírenské technologie**



Studium a úpravy vnitřních povrchů energetických soustav

Disertační práce

Autor práce: Ing. Jiří Kuchař, IWE

Školitel: doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.

Prohlášení:

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě disertační práci zpracovanou na závěr doktorského studia na Fakultě strojní ČVUT v Praze.

Prohlašuji, že jsem disertační práci vypracoval samostatně a použil jsem podklady uvedené v příloženém seznamu.

Podle § 60 zákona č.121/2000 Sb., O právu autorském a právu souvisejícím s právem autorským, O studiu na vysokých školách a zákona o závěrečných zkouškách, je doktorská práce duševním spoluvlastnictvím autora, vedoucího doktorské práce a Fakulty strojní ČVUT. Citace povoluje fakulta. Podmínkou externího použití je smlouva s řešiteli.

V Praze dne 28. 6. 2019

.....

Jiří Kuchař

Poděkování:

Na tomto místě děkuji za vedení disertační práce doc. Ing. Viktoru Kreibichovi, CSc. a celému kolektivu skupiny povrchových úprav na Ústavu strojírenské technologie za odbornou pomoc a podnětné vedení. Děkuji též Ing. Vlastimilu Otáhalovi z První brněnské strojírny, a.s. za praktické informace a rady, Ing. Pavlovi Frančemu, CSc., z Výzkumného ústavu vodohospodářského TGM, v.v.i.

Poděkování patří pracovníkům Ústavu energetiky na VŠCHT Praha za provedené testy a prof. Ing. Jiřímu Wannerovi, DrSc., z Ústavu technologie vody a prostředí na VŠCHT, za cenné rady ohledně problematiky neutralizace.

Děkuji celé mé rodině za jejich veškerou podporu v průběhu studia.

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 řešeršní 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.

Klíčová slova: Čištění, vnitřní povrchy, energetické soustavy, chlazení, bezpečnost v energetice.

Annotation:

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.

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.

Key words: Cleaning, internal surfaces, energy equipment, cooling, safety in the energy industry.

Obsah

1. Úvod	11
2. Přehled stavu problematiky	14
2.1 Materiály používané v energetických soustavách	14
2.2 Teplosměnná média	15
2.3 Faktor zanášení	20
2.4 Přestup tepla	21
2.5 Studium vnitřních povrchů, mechanismy zanášení a druhy zanášení	24
2.5.1 Krystalizační a precipitační zanášení	27
2.5.2 Zanášení částicemi - sedimentace a naplavování částic	27
2.5.3 Korozní zanášení	28
2.5.4 Zanášení v důsledku chemické reakce	30
2.5.5 Biologické zanášení	31
2.5.6 Zanášení v důsledku mrazu	32
2.5.7 Kombinace zanášení	32
2.5.8 Odpor usazenin	33
2.6 Rozbor metod čištění vnitřních povrchů	33
2.6.1 Lehké tryskání	34
2.6.2 Vysokotlaké čištění	35
2.6.3 Projektilové čištění	36
2.6.4 Technologie HydroDrill	37
2.6.5 Technologie EXCALIBER Flex Drive	38
2.6.6 Technologie NitroLance	39
2.6.7 Zvukové čištění	40
2.6.8 Chemické čištění	41
2.7 Optimalizace procesu čištění	45
3. Cíle práce	47

4. Experimentální část	48
4.1 Výběr metody čištění vnitřních povrchů energetických soustav	48
4.2 Příprava vzorků a jednotlivých čisticích prostředků	51
4.3 Porovnávání jednotlivých čisticích prostředků z hlediska hmotnostních úbytků.....	52
4.4 Vyhodnocení nejúčinnějšího a nejbezpečnějšího ze zkoušených prostředků	54
4.5 Popis a charakteristika vybraného koncentrátu	55
4.6 Návrh a konstrukce zařízení pro čištění vnitřních povrchů energetických soustav	56
5 Aplikační část	59
5.1 Experimenty na základě měření přestupu tepla – odstranění korozních produktů.....	59
5.2 Vyhodnocení experimentů měření tepla– odstranění korozních produktů.....	60
5.3 Návrh a metodika čištění vnitřních povrchů výměníku tepla – odstranění minerálních usazenin	60
5.4 Vyhodnocení čištěného povrchu výměníku – odstranění minerálních usazenin.....	61
5.5 Čištění otopného kotle administrativní budovy	61
5.6 Vyhodnocení čistoty vnitřního povrchu otopného kotle	62
5.7 Čištění kompresorové stanice na sekundárním okruhu jaderné elektrárny	63
5.8 Vyhodnocení čištění kompresorové stanice	63
5.9 Příklad aplikace chemického čištění bez demontáže – čištění tvářecích válců	64
5.10 Vyhodnocení čištění vnitřních povrchů tvářecích ocelových válců.....	65
5.11 Návrh a metodika nalezení vhodného čištění mědi z povrchu korozivzdorné oceli u nového výrobu – chladič nákladního automobilu (TRUCK)	66
5.11.1 Návrh čisticích prostředků	68
5.11.2 Hodnocení kvality povrchu jednotlivých vzorků.....	70
5.11.3 Referenční vzorek před čištěním	71
5.11.4 Výsledky analýzy vlivu jednotlivých čisticích prostředků	72
5.11.5 Vyhodnocení čištěného povrchu chladiče odstranění mědi.....	79
5.12 Čištění kapalných odpadů.....	80
5.12.1 Chemické čištění	81

5.12.2 Biologické čištění.....	85
6 Technologický postup a metodika čištění vnitřních povrchů	88
7 Souhrn výsledků a diskuze	89
8 Přínosy pro vědu a praxi	94
9 Splnění cílů disertační práce	96
10 Shrnutí a závěr	99
11 Seznam použité literatury a zdrojů	100
12 Publikace autora	109
12.1 Publikace autora související s disertační prací	109
12.2 Odborné akce pořádané autorem přímo související s disertační prací	111
12.3 Publikace autora přímo nesouvisející s disertační prací	111
12.4 Odborné akce pořádané autorem přímo nesouvisející s disertační prací.....	112
12.5 Vyzvané přednášky.....	112
13 Přílohy	113
13.1 Příloha I - Bezpečnostní list čisticího prostředku Z-fáze – výňatky z bezpečnostního listu	113
13.2 Příloha II – Biologický rozbor aktivovaného kalu s čisticím prostředkem	114
13.3 Příloha III – Limity ukazatelů znečištění pro souhrnnou skupinu znečišťovatelů do jednotné a splaškové kanalizace	115
13.4 Příloha IV – Dokumentace k vyzvaným přednáškám	118

Seznam zkratek a použitých symbolů

TPES – celkové primární zdroje energie

Mtoe – milion tun ropného ekvivalentu

Cr – chemická značka prvku – chrom

H₂O – chemická značka sloučeniny – voda

pH – vodíkový exponent [-]

Ni – chemická značka prvku – nikl

Mo – chemická značka prvku – molybden

Cu – chemická značka prvku – měď

Mn – chemická značka prvku – mangan

Ti – chemická značka prvku – titan

Al – chemická značka prvku – hliník

C – chemická značka prvku – uhlík

Si – chemická značka prvku – křemík

Ta – chemická značka prvku – tantal

V – chemická značka prvku – molybden

P – chemická značka prvku – fosfor

N – chemická značka prvku – dusík

MC, M₂₃C₆ – karbidy uhlíku

Nb – chemická značka prvku – niob

NaCl – chemická sloučenina – chlorid sodný

O₂ – chemická sloučenina – kyslík

H₂S – chemická sloučenina – sirovodík

CO₂ – chemická sloučenina – oxid uhličitý

NH₃ – chemická sloučenina – amoniak

SO₂ – chemická sloučenina – oxid siřičitý

SO₃ – chemická sloučenina – oxid sírový

No_x – chemická sloučenina – oxidy dusíku

H₂ – chemická značka prvku – vodík

He – chemická značka prvku – helium

Ne – chemická značka prvku – neon

Ar – chemická značka prvku – argon

Kr – chemická značka prvku – krypton

Xe – chemická značka prvku – xenon

Rn – chemická značka prvku – radon

H₂CO₃ – kyselina uhličitá

NH₄OH – hydroxid amonný

NH₄⁺ – amonný ion (amonium)

OH – hydroxyl

ppm, ot./min – otáčky za minutu

Ag – chemická značka prvku – stříbro

Zn – chemická značka prvku – zinek

MIC – mikrobiologická koroze

R_f – faktor zanášení (fouling factor)
[m².K.W⁻¹]

S_N – tloušťka vrstvy nánosu [m]

λ_N – tepelná vodivost nánosu [W.m⁻¹.K⁻¹]

λ_f – tepelná vodivost tepelného výměníku po zanesení [W.m⁻².K⁻¹]

λ – tepelná vodivost čistého kapaliny tepelného výměníku [W.m⁻².K⁻¹],

K – jednotka teploty – Kelvin

q – tepelný tok stěnou [J.s⁻¹]

m – hmotnostní průtok [kg.s⁻¹]

c_p – měrná tepelná kapacita [J.kg⁻¹.K⁻¹]

ΔT – teplotní spád [K]

A – průtočný průřez [m²]

v – rychlost proudění [m.s⁻¹]

ρ – hustota kapaliny [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]
 π – Rudolfovo číslo
 r – poloměr zanesené trubky [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]
 α – součinitel přestupu tepla [$\text{W}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
 Nu – Nusseltovo číslo [-]
 L – charakteristický rozměr [m]
 Pr – Prandtlovo číslo [-]
 d – hydraulický průměr potrubí [m]
 ν – kinematická viskozita [$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$]
 Re – Reynoldsovo číslo [-]
 t_0 – teplota média [K]
 t_w – teplota teplosměnné plochy/stěny [K]
 d_2 – průměr trubky bez nánosu [m]
 d_1 – průměr trubky s nánosem [m]
 dmf – derivace rychlosti depozice
 dt – derivace času
 md – samotná depozice (usazování, zanášení)
 mr – rychlost odstraňování
 CaCO_3 , CaCO_4 – chemické sloučeniny – uhličitany vápníku
 CaSO_4 – chemická sloučenina – síran vápenatý
 MgSiO_3 – chemická sloučenina – hyperstén enstatit
 Al_2O_3 – chemická sloučenina – oxid hlinitý
 MPa – jednotka tlaku – megapascal
 Fe_2O_3 – oxidická vrstva – hematit
 Fe_3O_4 – oxidická vrstva – magnetit
 FeO – oxidická vrstva – wüstit
 LN_2 – tekutý dusík
 Hz – jednotka frekvence – Hertz
 EDTA – amonná sůl
 HCl – kyselina chlorovodíková
 HF – kyselina fluorovodíková
 $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_2$ – chemická sloučenina – glyoxal
 EPDM – ethylenpropylendienový kaučuk
 kW – jednotka výkonu – kilowatt
 AC – střídavý proud
 V – jednotka napětí – volt
 HNO_3 – kyselina dusičná
 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ – persíran sodný
 μm – jednotka délky – mikrometr
 mg – jednotka objemu – miligram
 Rz – největší výška nerovnosti profilu určená z 10 bodů [μm]
 Ra – střední aritmetická úchylka profilu [μm]
 mm – jednotka délky – milimetr
 BSK_5 – biologická spotřeba kyslíku za 5 dní, tzn. ukazatel znečištění vody
 CHSK_{Cr} – chemická spotřeba kyslíku, tzn. ukazatel znečištění vody
 ÚČOV – Ústřední čistírna odpadních vod
 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ – chemická sloučenina – hydroxid železitý
 RL105 – stanovení rozpuštěných látek sušených při 105°C
 $u_{\text{Ca}(\text{OH})_2}$ – zahušťovací rychlost hydroxidu vápenatého
 u_{NaOH} – zahušťovací rychlost hydroxidu sodného

1. Úvod

Tato práce vznikla na základě požadavků technické veřejnosti ze strojírenství, dopravy a energetiky, jak zajistit údržbu vnitřních teplosměnných povrchů zařízení a systémů použitím optimálních postupů na základě ověřených skutečností s cílem prodlužovat bezpečnou dobu dalšího bez rizikového provozu těchto zařízení.

Nepochopení nebezpečí technologického zaostávání je největším rizikem pro udržitelný rozvoj každého oboru a lidské činnosti. Platí to tedy i pro obor povrchových úprav se zásadními otázkami, jak materiály upravit a jejich povrchy vyčistit?!

Poznání a znalosti nepřicházejí k lidstvu, a především ani k jedinci, v konečné podobě. Hledá-li se odpověď na skutečně cosi nového, nelze to ani opsat, ani porovnat, neboť není mnohdy s čím.

V technologiích navíc jde „jen o to“ stanovit optimální prostředky a optimální parametry pro dané bezpečné vyřešení problému.

Problém čištění povrchů zdá se být nezajímavou až nevědeckou problematikou. Především pro každého, kdo nestojí zcela sám před nevyřešeným úkolem, jak bezpečně vyčistit nepřístupný vnitřní teplosměnný povrch o ploše v metrech čtverečních, o tloušťce v milimetrech a od úsad a obecně znečištění v mikrometrech. To vše při zcela rozdílných konstrukčních materiálech v daném konkrétním systému.

Vlivem poznání ve vědě a technice, i vzhledem k mnoha praktickým zkušenostem, dosáhl obor povrchových úprav značných kvalitativních změn, nabyl širšího rozsahu a zasahuje plněním požadavků projektantů a konstruktérů do všech oborů tak, aby neomezoval jejich potřeby a cíle. Již nejde jen o ochranu povrchů, ale o zcela nové technologie a povrchy, které pro svůj další rozvoj požaduje elektronika, strojírenství, doprava a v neposlední řadě energetika.

Využitím nových poznatků z chemie a fyziky, nových materiálů a technologií je rozvoj tohoto oboru výrazný, přičemž z pohledu svého vývoje zatím téměř na počátku.

Na kvalitě vyčištění vnitřních povrchů závisí především bezpečnost, životnost a udržitelnost pracovních parametrů průmyslových a energetických zařízení celých náročných systémů v průmyslu i energetice.

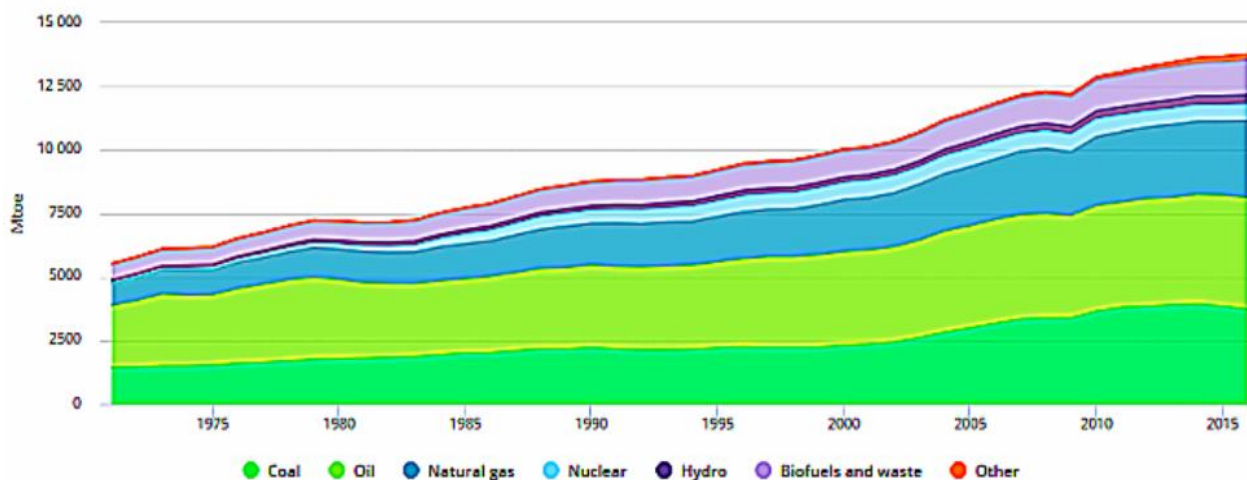
Důležitost vyřešení této problematiky stoupá s mírou technické náročnosti zařízení a bezpečnostních rizik provozovaných systémů. To platí jak v problematice dopravy i průmyslových výrobních zařízení, tak především v energetice u otopných a převážně u chladících systémů.

Vzniklé nečistoty a úsady na vnitřním povrchu zařízení jsou obecně tepelným izolantem a brání přestupu tepla. To má za následek omezení účinnosti systémů, zvýšení energetických a tlakových ztrát, ale i omezení možnosti regulace a celkově snížení účinnosti těchto systémů. Údržba a čištění vnitřních povrchů těchto systémů je obecně obtížná, ale lze ji s potřebnými informacemi a vhodnými způsoby realizovat. Konstrukční řešení průmyslových a energetických zařízení a je vždy realizováno z řady rozdílných materiálů (ocel, litina, mosaz, měď, plasty), a proto je nutné určit takové metody čištění a čisticí prostředky, který žádný z jednotlivých materiálů daného systému nepoškodí [1].

Energetická zařízení jsou samostatné funkční celky, které jsou prvkem elektrizační soustavy, plynárenské soustavy nebo rozvodného tepelného zařízení. Podílí se na přeměně, transformaci, distribuci nebo přenosu energie (např. tepelné výměníky, chladiče, kotle...).

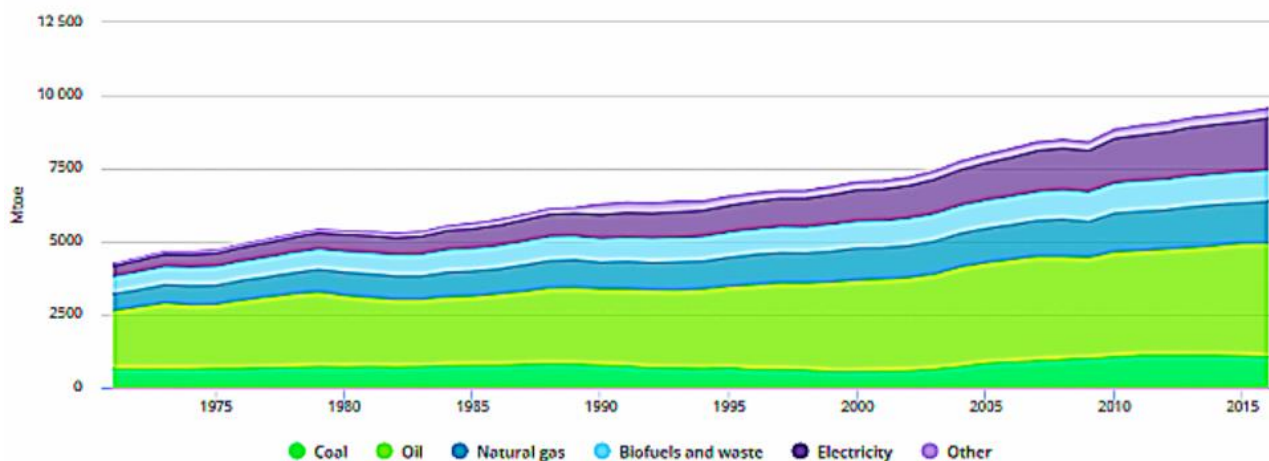
Na energetická zařízení a energetické soustavy jsou kladeny stále větší požadavky z hlediska jejich účinnosti a spolehlivosti, proto je důležitá i pravidelná údržba a čištění. Bezpečné a kvalitní odstranění nečistot z povrchu materiálů je obecně nezbytnou nutností. Vždy se jedná o náročné technologické operace, zejména u vnitřních povrchů s vysokým stupněm bezpečnostních rizik.

Celkové primární zdroje energie (TPES) představují množství energie, které je k dispozici k pokrytí poptávky během určitého období. Základní definice představuje součet primární výroby energie a importů, od kterých se odečtou případné exporty. Globální TPES pro rok 2016 je 3 731 Mtoe (milion tun ropného ekvivalentu) uhlí (cca 27,1 %), 4 390 Mtoe ropy (31,9 %), 3 035 Mtoe zemního plynu (22 %), 680 Mtoe jaderné energie (4,9 %), 349 Mtoe vodní energie (2,5 %), 1 349 Mtoe biopaliv a odpadu (9,8 %) a 227 Mtoe jsou ostatní zdroje (1,6 %) [2].



Obr.1 TPES na světě v letech 1971 – 2016 [2].

Globální celková finální spotřeba energie byla v roce 2016 1 036 Mtoe uhlí (cca 10,8 %), 3 908 Mtoe ropy (40,9 %), 1 440 Mtoe zemního plynu (15 %), 1 051 Mtoe biopaliv a odpadu (11 %), 1 794 Mtoe elektřiny (18,8 %) a 327 Mtoe jiných zdrojů (3,4 %) [2].



Obr. 2 Světová finální spotřeba energie dle paliv v letech 1971 – 2016 [2].

Úspory, které vzniknou vyčištěním teplosměnných ploch i další řádnou údržbou, lze odhadnout minimálně v jednotkách až desítkách procent dle rozsahu a množství znečištění dané energetické soustavy. Přispět k takto vzniklým úsporám (globálně i lokálně) je cílem této práce. Na pracovišti, kde autor doktorské práce studoval a připravoval tuto doktorskou práci v interní formě studia od roku 2015 se problematice čištění, v rámci vědecko-výzkumné činnosti věnuje celá řada odborníků, na základě řešení projektů, hospodářské činnosti a spolupráce s předními průmyslovými firmami. Včetně konání vzdělávací činnosti seminářů i konferencí. V této problematice bylo dosaženo řady poznatků využitelných ve výrobní praxi odborné renovační činnosti a při zjišťování ukazatelů kvality povrchů.

Spolupráce ve výzkumu problematiky se věnoval i kolektiv Centra kompetence (2015 – 2019) pod vedením školitele z Ústavu strojírenské technologie FS ČVUT.

A tak podle hesla „vlastní silou“ F. J. Gerstnera, který se v našich zemích přičinil jako stavitel železnic o naplnění a realizaci první průmyslové revoluce, je i na nás přispět a přičinit se o rozvoj naší doby na prahu druhé průmyslové revoluce [83, 84].

2. Přehled stavu problematiky

Následující kapitola popisuje materiály a teplosměnná média používaná v průmyslových i energetických otopných a chladicích zařízeních, faktor zanášení a vlivy ovlivňující přestup tepla, studium vnitřních povrchů a mechanismy zanášení a v neposlední řadě i rozbor problematiky čištění vnitřních povrchů.

2.1 Materiály používané v energetických soustavách

Na materiály používané v průmyslových a energetických zařízeních jsou kladeny vysoké technické požadavky nejen z hlediska materiálových vlastností, ale i z hlediska odolnosti proti korozi a též žáruvzdornosti, což ovlivňuje životnost daných zařízení.

Požadavek na korozivzdorné oceli a slitiny je ve zvýšené odolnosti proti korozi za normální i zvýšené teploty. Jsou to vysokolegované oceli, které odolávají chemické i elektrochemické korozi. Jejich volba záleží nejen na mechanických vlastnostech, ale i na prostředí, ve kterém jsou provozovány, především na teplotě a tlaku. Aby ocel byla korozivzdorná, musí obsahovat více než 12 % Cr (nejvíce 30 % Cr) a další legující prvky, kterými jsou Ni (až 30 %), Mo, Cu, Mn (až 24 %), svůj význam mají i další prvky jako Ti, Al, Si, Ta, V a N. Obsahy prvků S a P jsou sníženy na 0,03 %. Obsah uhlíku je v rozmezí 0,1 až 0,01 %.

Žáruvzdorné slitiny kovů, především oceli, se používají pro práci za zvýšených teplot (od 700 do 1 200 °C). Pro vysoké teploty se používají především slitiny niklu a kobaltu. Většinou se jedná o austenitickou strukturu s obsahem sekundárních fází (karbidů MC, M₂₃C₆ apod.). Požadavky na tyto materiály jsou: vysoká odolnost proti tepelné a tepelně-mechanické únavě (hlavně nízkocyklické únavě), dobrá tvařitelnost, tažnost a odolnost proti křehkému porušení, vysoká mez kluzu, pevnost v tahu a pevnost při tečení, žáruvzdornost a korozivzdornost ve vodní páře a spalínách. Žáruvzdorné oceli a slitiny lze rozdělit na nelegované a nízkolegované oceli, feritické oceli, austenitické žáruvzdorné oceli, chromniklové žáruvzdorné oceli, chrommanganové oceli. Z hlediska struktury se rozdělují na: austenitické a feritické a z hlediska chemického složení na: nelegované oceli s pracovní teplotou do 450 °C, nízkolegované oceli s pracovní teplotou do 580 °C, vysokolegované chromové oceli (modifikace 9 až 12 % Cr) s pracovní teplotou do 620 °C a austenitické oceli s pracovní teplotou do 600 až 700 °C.

Korozivzdorné oceli mají dobrou odolnost proti korozi díky jejich schopnosti vytvoření pasivní vrstvy na jejich povrchu. Přítomnost dostatečného množství oxidického činidla je podmínkou, aby byl povrch pasivován. Obecně se může stát, že pasivace není homogenní či je poškozena nebo vlivem mechanických namáhání vznikají defekty, kdy je povrch v kontaktu s oxidickým

činnidlem či v elektrolytech obsahující halogenidy, dochází k nestabilitě pasivní vrstvy a korozi. Narušení pasivní vrstvy může být i za určitých podmínek jen lokální, když dochází k místnímu poškození korozi.

Korozivzdorné oceli a slitiny se dělí dle struktury na austenitické, martenzitické, feritické a tzv. duplexní austeniticko-feritické nebo feriticko-austenitické oceli. Dle chemického složení na oceli chromové, chromniklové a chrommanganové (s legurami Mo, Ti, Nb, Cu, Si, N) [3, 4, 5].

Používají se i oceli obvyklých jakostí či konstrukční ušlechtilé oceli. Využívají se pro trubkové ocelové konstrukce, ropovody, chemický průmysl, vedení oleje, nafty, páry, vzduchu a pro tlakové nádoby a zásobníky.

Dalším využívaným materiálem je litina, která dobře vede teplo. Využívá se litina, jejíž struktura je tvořena feritem, perlitem a lupínkovým grafitem. Litina je používána na potrubí či radiátory a topná tělesa.

V energetice se kvůli dobrému vedení tepla využívá i měď či mosaz. Poněvadž se dobře pájí i tváří, využívá se hojně pro výrobu trubek pro rozvody teplé vody, vytápění, ale i chlazení, topných olejů, vzduchu a pro tepelná solární zařízení.

Neposledním a častým materiálem využívaným v energetice jsou plasty, které se využívají např. pro potrubí či těsnění. U plastových materiálů se nemluví o korozi, ale především o jejich degradaci. Tato degradace je závislá na mnoha faktorech (teplotě, UV záření, abrazi, rychlosti proudícího média v potrubí, ale i na pracovním prostředí) [6, 7].

2.2 Teplosměnná média

Jsou to látky, které se dají v energetice využít buď pro ohřev nebo chlazení.

Pro ohřev se využívají tato média:

- Horká voda – může zahřát látky do 100 °C
- Přehřátá voda – dá se teoreticky využít až do kritické teploty vody, tj. 374 °C, zvýšením tlaku se zvyšuje bod varu kapalin
- Sytá vodní pára – zahřátá na teploty od 150 do 235 °C (podle toho jaký má pára tlak)
- Minerální oleje – použití se max. do 250 °C
- Roztavené kovy – dají se využít při teplotách 420 až 550 °C, např. sodík v jaderných reaktorech
- Roztavené směsi solí – použití do teploty 150 až 800 °C
- Spaliny – použití u teplot 300 až 2 000 °C

Pro chlazení se používají tato média:

- Voda – nejčastějším chladícím médiem, teoreticky se pomocí ní může chladit až na 0 °C
- Vzduch – použití se např. při klimatizaci pracovišť
- Vodík – chlazení ve speciálních zařízeních, např. v jaderné energetice
- Amoniak – použití v zařízeních pracujících do – 60 °C
- Freony – použití do teplot – 70 °C
- Solanka – roztoky solí v eutektickém poměru, např. s 23 % roztokem NaCl se dá pracovat při teplotě – 15 °C [8, 9]

Z tohoto přehledu vyplývá, že voda je obecně hojně využívána jak ke chlazení, tak i k ohřevu. Jaké jsou tedy faktory ovlivňující čistotu vody jako chladícího či otopného média?

Obecně platí, že průmyslová voda je směs čisté vody s rozpuštěnými plyny, solemi a dalších elektrolytů, suspendovaných pevných látek, mikroorganismů a různých organických látek, včetně vodních faun a flór. Čistou vodou (H₂O) se lze zabývat pouze v některých konkrétních případech: destilovaná voda, demineralizovaná voda a napájecí voda pro kotle.

Obvykle se v energetických soustavách a systémech nelze zabývat čistou vodou, ale vodnými roztoky s rozpuštěnými plyny, anorganickými solemi, organickými látkami a mikroorganismy. Chemické složení vod a fyzikální podmínky (teplota a průtok) jsou hlavní faktory ovlivňující elektrochemickou korozi kovů ve vodách. Hlavní faktory jsou tyto:

1. Kyselost pH. Hodnoty pH vody se mohou lišit od 6 (pro řeky) do 8,5 (pro oceány a moře), od kyselých (pH = 1), do alkalických (pH = 13) pro prameny. Některé prameny mohou obsahovat vysoké koncentrace rozpuštěného sirovodíku (H₂S). Ke korozi kovů, v neutrálních a slabě alkalických vodách, dochází v závislosti na elektrochemickém mechanismu s účastí rozpuštěného kyslíku v katodových reakcích.

2. Obsah plynů. Plyny obsažené v atmosféře a půdě mohou být rozpuštěny i ve vodě. Jejich role v korozi kovů může být odlišná. Rozpuštěné plyny ve vodách jsou kyslík (O₂), oxid uhličitý (CO₂), amoniak (NH₃), oxidy síry (SO₂ a SO₃), oxidy dusíku (NO_x), sirovodík (H₂S), vodík (H₂) a vzácné plyny (He, Ne, Ar, Kr, Xe, a Rn). Čím nižší je koncentrace kyslíku ve vodě, tím nižší je rychlost katodových procesů na kovové povrchy, a tím i nižší rychlost koroze. Z tohoto důvodu budou všechny faktory způsobující pokles rozpustnosti kyslíku ve vodě, jako je například zvýšení koncentrací elektrolytů či teplota, zpomalovat korozi kovů, Tento vliv je složitý a rychlost koroze je funkcí koncentrace elektrolytu či teploty. Koncentrace

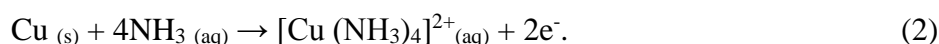
rozpuštěného kyslíku v horních vrstvách oceánů, moří a jezer je větší než ve vnitřních vrstvách, z důvodu fotosyntézy a schopnosti mísení horních vrstev vody se vzduchem. Rozhraní voda a vzduch je nejnebezpečnější místo pro korozi kovových konstrukcí.

Oxid uhličitý (CO₂) je nepolární plyn, ale rozpouští se poměrně dobře v polární vodě. V důsledku toho je tvořena H₂CO₃ kyselina uhličitá. Koncentrace CO₂ ve vodě je 25krát vyšší než ve vzduchu.

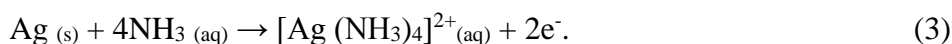
Amoniak (NH₃) je plyn dobře rozpustný ve vodě. Zdrojem NH₃ v přírodě je rozklad organických látek a umělých hnojiv (síran amonný, amonium fosfát a dusičnan amonný), splašky a odpady. Amoniak se ve slabě alkalickém roztoku rozpouští vzhledem k tvorbě iontů OH⁻:



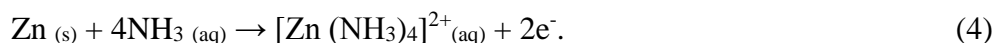
Tento případ je nebezpečný pro zařízení vyrobené z mědi a jejich slitin, kdy se používá voda z polí. Velmi malé koncentrace amoniaku ve vodě (několik ppm) může způsobit korozi čerpadel a výměníků tepla ze slitin mědi:



Stříbro může rovněž reagovat s amoniakem:



Amoniak je také nebezpečný pro zinek:



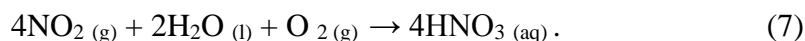
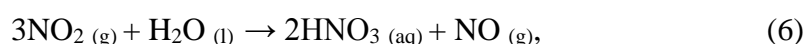
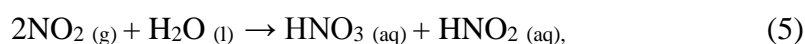
Nicméně amoniak rozpuštěný ve vodě je inhibitor koroze železa a uhlíkových ocelí. Koncentrace amoniaku ve vodě je omezena do 0,2 ppm různými předpisy a požadavky na služby v oblasti životního prostředí. Tato koncentrace není nebezpečná pro měď a není prospěšná pro uhlíkové oceli.

Sirovodík (H₂S) je jeden z nebezpečných polárních plynů dobře rozpustných ve vodě. Tento plyn, s pachem zkažených vajec, vytvořený v důsledku bakteriální aktivity, je zvláště korozivní pro železo, měď, zinek a jejich slitiny. Sulfidy železa a sulfidy mědi, které se tvoří na povrchu železa a mědi, jsou katodově založené kovy, a to i po čištění vody od sirovodíku, koroze železa a mědi se bude vyskytovat v čištěné vodě pod katodovými usazeninami sulfidů.

Některé prameny obsahují vysoké koncentrace H₂S, a proto je zapotřebí v kontaktu s takovou vodou nepoužívat trubky a systémy vyrobené ze železa, mědi, zinku a jejich slitin. Hliník je vůči H₂S odolný.

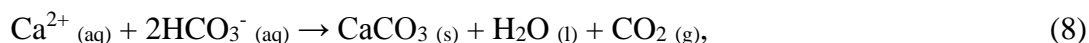
Oxidy síry (SO₂ a SO₃) se rozpouští ve vodě. Jejich koncentrace nejsou vysoké a významně neovlivňují korozi kovů ve vodách.

Oxidy dusíku s obecnými vzorci N_xO_y se mohou rozpustit ve vodě, ale ne všechny jsou nebezpečné pro kovy. Nejnebezpečnější je NO₂, protože se rozpouští ve vodě za vzniku dvou kyselin HNO₃ a HNO₂:



kyselina dusičná (HNO₃) je agresivní pro většinu kovů a slitin a agresivita závisí na její koncentraci. Anion NO₂⁻ je inhibitor uhlíkových ocelí.

3. Minerální složky (soli) jsou přítomny ve vodě ve formě různých iontů. Nejhojnější kationty a anionty obsažené ve vodě jsou Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, HCO₃⁻, SiO₃²⁻ a SiO₂. Voda může obsahovat kationty Fe³⁺, Fe²⁺, Li⁺ a Sr²⁺, anionty F⁻, PO₄³⁻, a CO₃²⁻ a sloučeniny manganu (MnO₂ a MnCO₃). Kationty Ca²⁺ a Mg²⁺ rozpuštěné ve vodě mohou mít za následek ukládání nerozpustných uhličitánů vápníku a hořčíku (nazývaný *kotelní kámen*) na kovovém povrchu při zvýšené teplotě nebo pH:



Koncentrace těchto kationtů rozpuštěných ve vodě ovlivňuje tvrdost vody. Tvrdost vody je jejím velmi důležitým parametrem. Celková tvrdost se měří v jednotkách "ppm CaCO₃". Pokud jejich koncentrace je vysoká, voda se nazývá „tvrdá.“ Pokud je jejich koncentrace nízká, voda se nazývá „měkká.“



Obr. 3 Kotelní kámen (uhličitan vápníku a hořčíku) vytvořený uvnitř tepelného výměníku s chladicí vodou po 4 letech provozu [10].

Křemičitany (SiO_2) jsou schopny reagovat s železnatými (Fe^{2+}) a hořečnatými kationty (Mg^{2+}) a tvoří FeSiO_3 a MgSiO_3 usazeniny. Sírany (SO_4^{2-}) jsou schopny reagovat s vápníkem (Ca^{2+}) za vzniku CaSO_4 usazenin.

4. Organické látky v podobě tuků, paliv, olejů a povrchově aktivních látek (surfaktanty) mohou být přítomny ve vodě jako suspendované částice. Jejich zdroje mohou být přírodní (vodné flóry a fauny) a umělé (hnojiva používaná v zemědělství, odpady a odpadní vody). Při vstupu do vody mohou být ve formě suspendovaných látek, pak se uloží na kovových površích a vedou ke vzniku diferenciálních provzdušňovacích buněk, které zesilují korozi kovových zařízení. Organické usazeniny mohou způsobit ucpání, přehřátí, a dokonce i výbuch trubek.

5. Mikroorganismy (bakterie), plísňe a řasy ve vodě jsou zodpovědné za biologické znečištění a mikrobiologickou korozi (MIC).

6. Průtok vody urychluje korozi různými způsoby. Za prvé, průtok urychluje korozi tím, že dodává rozpuštěný kyslík na kovové povrchy a tvoří odlišné aerační články, které způsobují korozi. Pak tím, když je průtok nízký, nerozpuštěné látky se mohou ukládat na kovové povrchy (sedimentovat) a způsobovat korozi. Po několika měsících může dojít k proděravění materiálu bodovou korozi. Silný průtok může vést k erozi a rázovým útokům na kovové zařízení.

7. Teplota vody podstatně ovlivňuje korozi kovů. S rostoucí teplotou roste rychlost koroze.

8. Elektrická vodivost vody ovlivňuje rychlost koroze kovů zvláště, když jsou dva kovy vzájemně v kontaktu (galvanická koroze). Čím větší je elektrická vodivost vody, tím větší je rychlost galvanické koroze. Elektrolyty a rozpuštěný kyslík ve vodě urychlují korozi podle elektrochemického mechanismu [10].

2.3 Faktor zanášení

Vliv nečistot a úsad je reprezentován ve výpočtu tepelných aparátů tzv.: Faktorem zanášení (Fouling factor) R_f (fouling = usazenina, nános nečistot).

$$R_f = \frac{S_N}{\lambda_N} \quad (10)$$

R_f ... faktor zanášení (fouling factor) [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$]

S_N ... tloušťka vrstvy nánosů [m]

λ_N ... tepelná vodivost nánosů [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

Faktor zanášení je také možné stanovit jako rozdíl tepelné vodivosti čistého a zaneseného tepelného výměníku,

$$R_f = \frac{1}{\lambda_f} - \frac{1}{\lambda} \quad (11)$$

R_f ... faktor zanášení [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$]

λ_f ... tepelná vodivost tepelného výměníku po zanesení [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]

λ ... tepelná vodivost čistého tepelného výměníku [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$],

kde λ_f lze vyjádřit jako

$$\lambda_f = \frac{1}{(R_f + \frac{1}{\lambda})} \quad (12)$$

V tabulce (Tab. 1) jsou uvedeny faktory zanášení pro nejběžnější prostředí.

Tab.1 Faktory zanášení pro nejběžnější prostředí [11].

Prostředí	Faktor zanášení [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$]
Alkoholové výpary	0,00009
Napájecí voda pro kotle (nad 52 °C = 325 K)	0,0002
Topný olej	0,0009
Průmyslový vzduch	0,0004
Kalící olej	0,0007
Chladicí kapalina např. v lednici	0,0002
Mořská voda (pod 52°C = 325 K)	0,00009
Mořská voda (nad 52°C = 325 K)	0,0002
Pára	0,00009

V další tabulce (Tab. 2) je možné vidět hodnoty součinitele prostupu tepla a faktoru zanášení pro některé vybrané typy prostředí (voda, vzduch, pára). Hodnoty závisí na rychlosti, viskozitě a podmínkách povrchu a velikosti povrchu.

Tab. 2 Typické hodnoty faktoru zanášení a součinitele přestupu tepla pro různá prostředí [11].

Tekutina	Přenosná plocha	Tekutina	Součinitel přestupu tepla [W.m ⁻² .K ⁻¹]	Faktor zanášení [m ² .K.W ⁻¹]
Voda	Litina	Vzduch nebo Plyn	7,9	0,126
Voda	Uhlíková ocel	Vzduch nebo Plyn	11,3	0,088
Voda	Měď	Vzduch nebo Plyn	13,1	0,076
Voda	Litina	Voda	230 – 280	0,00357 - 0,00435
Voda	Uhlíková ocel	Voda	340 – 400	0,0025 – 0,00294
Voda	Měď	Voda	340 – 455	0,00219 – 0,00294
Vzduch	Litina	Vzduch	5,7	0,175
Vzduch	Uhlíková ocel	Vzduch	7,9	0,126
Pára	Litina	Vzduch	11,3	0,088
Pára	Uhlíková ocel	Vzduch	14,2	0,07
Pára	Měď	Vzduch	17	0,058
Pára	Litina	Voda	910	0,0019
Pára	Uhlíková ocel	Voda	1050	0,000952
Pára	Měď	Voda	1160	0,000862
Pára	Nerez ocel	Voda	680	0,00147

Tab. 3 Riziko zanášení a efekt zanášení pro různé typy výměníků [12].

Typ výměníku	A	B	C	D	E	F	G	H	H
Riziko zanášení	5	1	2	4	3	4	3	3	3
Zanášení	4	2	2	5	4	5	4	3	4

Vysvětlivky:

Typy výměníků: A – Plášťový a trubkový výměník, B – Deskový výměník, C – Spirálový deskový výměník, D – Výměník chlazený vzduchem, E – Lamelový výměník, F – Deskový ploutvový výměník, G – Trubkový chladič, H – Dvojitý trubkový výměník, I – Grafitový výměník.

Odolnosti proti riziku zanášení a samotnému zanášení: 1 – velmi dobré, 2 – dobré, 3 – slušné, 4 – špatné, 5 – velmi špatné. Poznámka: 1 – nejlepší odolnost, 5 – nejhorší odolnost.

2.4 Přestup tepla

Nejběžnějšími vlivy na snížení přenosu tepla v energetickém zařízení jsou následující:

Vliv snížení průtočného průřezu

Průtočný průřez je snížen v závislosti na tvorbě nánosu na vnitřní (případně i na vnější)

teplosměnné ploše. Vliv bude menší u hladkých či leštěných teplosměnných povrchů. Nižší průtočný průřez lze kompenzovat vyšší rychlostí proudění, tak aby zůstal zachován hmotnostní průtok média, což ale povede ke snížení účinnosti přestupu tepla (nižší součinitel přestupu tepla) a vyšší teplotě média na výstupu z výměníku.

$$q = m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (13)$$

$$m = A \cdot v \cdot \rho \quad (14)$$

$$A = \pi \cdot r^2 \quad (15)$$

q ... tepelný tok stěnou [$\text{J} \cdot \text{s}^{-1}$]

m ... hmotnostní průtok [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$]

c_p ... měrná tepelná kapacita [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

ΔT ... teplotní spád [K]

A ... průtočný průřez [m^2]

v ... rychlost proudění [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

ρ ... hustota kapaliny [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

r ... poloměr zanesené trubky [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

Z uvedených vztahů je patrné, že snížení průtočného průřezu souvisí s druhou mocninou průměru.

Vliv vyšší rychlosti na součinitel přestupu tepla je již hůře popsateľný. Součinitel přestupu tepla je definován pomocí Nusseltova čísla, které je funkcí Reynoldsova čísla a Prandtlova čísla. Reynoldsovo číslo závisí na rychlosti proudění kapaliny viz vzorce níže:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{L} \quad (16)$$

$$Nu = f(Re, Pr) \quad (17)$$

$$Re = \frac{d \cdot v}{\nu} \quad (18)$$

$$Pr = \frac{\rho \cdot c_p \cdot \nu}{\lambda} \quad (19)$$

α ... součinitel přestupu tepla [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]

Nu ... Nusseltovo číslo [-]

L ... charakteristický rozměr [m]

λ ... tepelná vodivost kapaliny [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

Pr ... Prandtlovo číslo [-]

Re ... Reynoldsovo číslo [-]

ρ ... hustota kapaliny [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

c_p ... měrná tepelná kapacita kapaliny [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]

d ... hydraulický průměr potrubí [m]

ν ... kinematická viskozita [$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$]

v ... rychlost proudění kapaliny [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]

Jelikož v korelacích pro výpočet Nusseltova čísla (Dittus-Bolter, Sieder-Tate,...) figuruje Reynoldsovo číslo s exponentem menším než jedna, lze říci, že vyšší rychlost proudění povede k nižšímu součiniteli přestupu tepla. Toto tvrzení má však omezenou platnost pouze pro rozvinuté turbulentní proudění.

Vliv na zvýšení hydraulického odporu trubky

Vlivem zmenšování průtočného průřezu dochází ke vzrůstu rychlosti proudění a zvětšení hydraulického odporu. Současně dochází i k zvětšení drsnosti povrchu stěny. Vyšší rychlost proudění má opět za následek nižší součinitel přestupu tepla. Navíc vyšší hydraulický odpor vede k vyššímu tlaku na vstupu do výměníku.

Vliv snížení součinitele přestupu tepla z média do stěny

Nános na vnitřní stěně (resp. vnější) znamená další vrstvu, kterou musí teplo projít, tedy další tepelný odpor, který musí teplo překonat. S ohledem na nízké hodnoty tepelné vodivosti látek tvořících nánosy nelze tento efekt zanedbávat. Příklady součinitele přestupu tepla jsou uvedeny v Tab. 2. Rovnice pro přestup tepla z média do stěny pak pro případ kapaliny proudící v trubce vypadá následovně:

$$q = \frac{t_0 - t_w}{\left(\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\lambda_n} \ln \frac{d_2}{d_1}\right)} \quad (20)$$

nebo s použitím koeficientu zanášení:

$$q = \frac{t_0 - t_w}{\left(\frac{1}{\alpha} + R_f\right)} \quad (21)$$

q ... tepelný tok [$\text{J}\cdot\text{s}^{-1}$]

t_w ... teplota teplosměnné plochy/stěny [K]

t_0 ... teplota média [K]

α ... součinitel přestupu tepla [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]

λ_n ... tepelná vodivost nánosů [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]

d_1 ... průměr trubky s nánosem [m]

d_2 ... průměr trubky bez nánosů [m]

Důležitým faktorem je také tepelná vodivost materiálu, tvořícího nános. Vybrané součinitele tepelné vodivosti jsou uvedeny v tabulce níže (Tab. 4).

Tab. 4 Vybrané součinitele tepelné vodivosti [11].

materiál	hodnota [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]
ocel	46 – 52
uhličitan vápenatý	1,4 – 2,9
biofilm	0,5 – 0,7
korozní produkty	0,7 – 0,8

Jelikož v čitateli přibyl další nezáporný člen (vztahy 20 a 21) je zřejmé, že hodnota tepelného toku procházejícího stěnou je nižší než původní hodnota bez nánosů [11, 13].

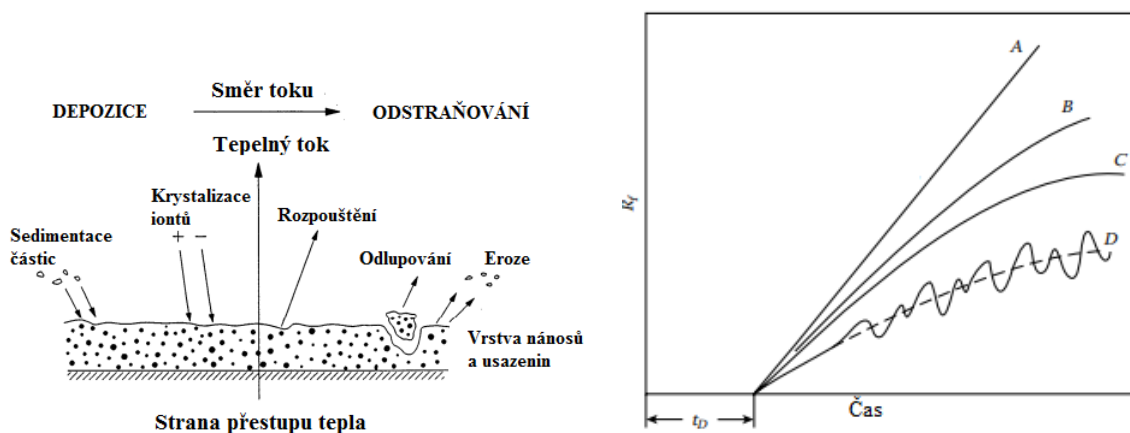
2.5 Studium vnitřních povrchů, mechanismy zanášení a druhy zanášení

Zanášení je výsledný efekt depozice a odstraňování usazenin na povrchu výměníku tepla.

Proces zanášení může být reprezentován rovnicí:

$$\frac{dm_f}{dt} = m_d - m_r \quad (22)$$

kde dm_f , m_d a m_r jsou rychlosti depozice, samotná depozice a rychlosti odstraňování.



Obr. 4 Na obrázku vlevo jsou různé způsoby depozice a odstraňování při znečištění a obrázek vpravo ukazuje typické křivky zanášení – na grafickém vyjádření závislosti faktor zanášení (R_f) – čas (t) [12].

Obvykle se rychlost odstraňování zvyšuje se zvyšujícím se množstvím depozitu, zatímco rychlosti depozice jsou nezávislé na množství depozitu, ale závisí na změnách způsobených usazeninami jako je zvýšení rychlosti proudění a drsnosti povrchu. Při aplikaci konstantní teploty stěny nebo konstantních teplotních součinitelů přestupu tepla klesá teplota rozhraní při tvorbě nánosů, což snižuje rychlost nanášení.

Doba iniciace nebo časové zpoždění znečištění výměníku tepla se považuje za dobu, kdy není po určité době po uvedení čistého výměníku tepla do provozu žádná depozice.

Obrázek 4 vlevo to podrobně ilustruje. Počáteční růst depozitu může způsobit, že součinitel prostupu tepla se zvýší, než aby poklesnul, což má za následek odpor vůči znečištění v důsledku měnících se vlastností proudění v blízkosti stěny. V počátečním stádiu proniká ložisko znečištění do viskózní podvrstvy, výsledná turbulence zvyšuje koeficient přenosu tepla. Toto zvýšení součinitele prostupu tepla může překonat tepelný odpor, který nabízejí usazeniny a čistý koeficient prostupu tepla se může zvýšit [12, 14].

Několik autorů uvádí negativní odpory [15, 16]. Tento proces pokračuje, dokud dodatečný odpor přenosu tepla nepřekoná výhodu zvýšené turbulence.

Po době iniciace lze křivku znečištění rozdělit do čtyř kategorií, (A) lineární, (B) klesající, (C) asymptotickou a (D), která znázorňuje charakteristiku pilových zubů, jak je znázorněno na obrázku 4 vpravo.

Křivka lineárního zanášení se získá pro velmi silné, tvrdé a velmi přilnavé usazeniny, kde je odstranění zanedbatelné nebo v případě, kdy je rychlost odstraňování konstantní (a ukládání je rychlejší než odstranění). Znečištění reprezentující klesající křivku je znázorněné křivkou B, leží mezi lineárními a asymptotickými křivkami znečištění. Takové chování může být důsledkem toho, že rychlost depozice je nepřímě úměrná tloušťce zanášení. Rychlost znečištění se s časem snižuje a tloušťka nánosů nedosahuje konstantní hodnoty, i když míra znečištění nikdy neklesne pod určitou minimální hodnotu. Asymptotická křivka znečištění byla vyzorována pro různé typy znečištění. Asymptotická křivka zanášení C se získá, pokud je rychlost usazování konstantní a rychlost odstraňování je úměrná tloušťce zanášené vrstvy, což naznačuje, že dochází ke zmenšování smykové pevnosti vrstvy nebo k jiným mechanismům, které zhoršují stabilitu vrstvy. Taková situace obecně nastane, pokud jsou usazeniny měkké, protože se snadno odlupují. Zanášení v takových případech dosahuje asymptotické hodnoty. Periodická změna provozních podmínek má za následek konfiguraci pilových zubů zobrazenou na křivce D. Tato situace je typická pro komerční vodu pro chladicí věže. Vyskytuje se tam, kde se část usazenin a nánosů oddělují po kritické době zdržení nebo po dosažení kritické tloušťky. Znečištěná vrstva se pak znovu vytvoří a rozpadne. Tato periodická změna může být

způsobena tlakovými pulzy, odlupováním, zachycením vzduchu uvnitř povrchových nánosů během odstávek nebo jinými důvody [12, 14].

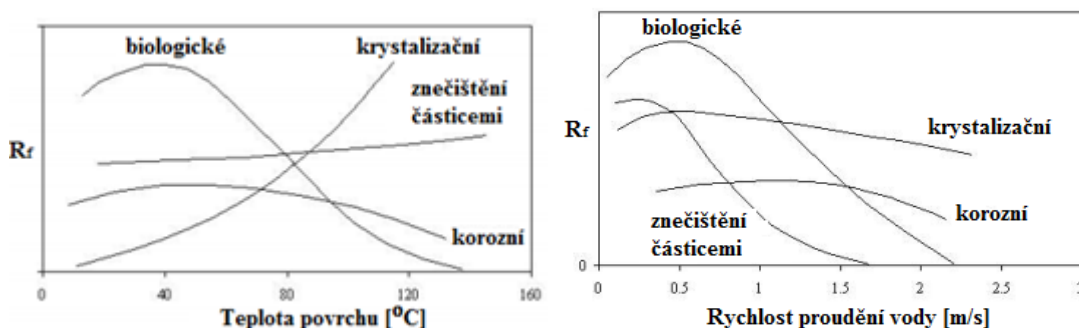
Mechanismy zanášení vnitřních povrchů

Znečištění lze rozdělit do několika výrazně odlišných mechanismů. Obecně řečeno, několik těchto mechanismů zanášení probíhá ve stejnou dobu a každý vyžaduje jinou preventivní techniku. Tyto různé mechanismy představují různé stupně v procesu zanášení. Mezi hlavní mechanismy nebo stupně znečištění patří:

1. Doba zahájení nebo zpoždění. To je doba čistého povrchu před akumulací nečistot. Akumulace relativně malých množství usazenin může dokonce vést ke zlepšenému přenosu tepla, vzhledem k čistému povrchu, a může mít za následek „negativní“ míru znečištění a záporné celkové množství znečištění.
2. Znečištění částic a tvorba částic, agregace a flokulace.
3. Hromadný transport a migrace nečistot na místa znečišťování.
4. Separace fází a depozice zahrnující nukleace nebo iniciaci znečišťujících míst a připojení vedoucí k tvorbě usazenin.
5. Růst, stárnutí a vytvrzování a zvyšování pevnosti nánosů nebo auto retardace, eroze a odstraňování [14].

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 [17].



Obr. 5 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 [17].

2.5.1 Krystalizační a precipitační zanášení

Podle druhu pracovního média se z něho mohou vylučovat krystaly a precipitáty (převážně modifikace vápníku a hořčíku jako např. CaCO_3 , CaCO_4 , CaSO_4 , MgSiO_3 a další). S řadou faktorů spojit míru znečištění, které lze rozdělit do tří kategorií, a to: složení provozního roztoku, provozní parametry a vlastnosti povrchu výměníku tepla. Ke vzniku zanášení může přispět i nevhodná drsnost vnitřního povrchu. Systémy chlazení a vody jsou často náchylné na toto zanášení, neboť teplosměnné médium obsahuje rozpuštěné anorganické soli (uhličitan vápenatý a sodný, silikáty a fosfáty). Částičky vzniklé tímto způsobem jsou obvykle velmi tvrdé a pevné. Je velmi obtížné je mechanicky odstranit. K odstranění se tedy přistupuje chemickými způsoby. Další možností ochrany povrchů je těmto usazeninám zabránit v usazování. Do přenosového média lze přidat vhodné chemické látky, které zabrání tvorbě a vylučování částic a jejich následnému usazení [16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24].



Obr. 6 Příklad precipitačního zanášení [25].

2.5.2 Zanášení částicemi - sedimentace a naplavování částic

Zanášení může být jak u anorganických, tak organických materiálů. U kotlů toto znečištění může nastat, když spaliny nesou nespálené palivo nebo popel. U vzduchových výměníků je znečištění vlivem usazování prachu. Sedimenty se obecně odstraňují několika způsoby podle typu systému. Nejjednodušší je zvýšení rychlosti proudění média v systému. Tento zvýšený proud „zvedne“ jednotlivé kaly a sedimenty, které následně protlačí až na výstup ze systému, kde je filtr pro jejich zachycení. Tato metoda je účinná, ovšem nikdy nelze dosáhnout plného vyčištění. Pokud je výměník dobře přístupný, nebo rozebíratelný, je možné použít mechanických čistících prostředků, jako jsou například kartáče, nebo vysokotlaké vodní čističe [26, 27, 22, 28, 23].



Obr. 7 Příklad sedimentačního zanášení [25].

2.5.3 Korozní zanášení

Korozní znečištění je velmi častým jevem znečištění vnitřních povrchů. Lze mu alespoň částečně zabránit. Důležitá je vždy volba vhodného materiálu daného zařízení, respektive systému s ohledem na pracovní tekutiny. Ani korozivzdorná ocel není však obecně zcela odolná vůči veškerým látkám a stejně jako konstrukční oceli, tak i speciální druhy ocelí v agresivním prostředí podléhají korozi. Rozdílné druhy materiálů jsou obecně různě odolné korozi. Při výběru materiálu je tedy potřeba brát ohled na jeho typ a korozní charakteristiku podle druhu prostředí, respektive provozní tekutiny.

Během provozu se v zařízeních mohou vyskytovat i další chemické látky, na které je s výběrem základního materiálu také potřeba brát zřetel. Stále častým materiálem bývá nízkoalokovaná, nebo běžná konstrukční ocel, která však velmi snadno podléhá korozním dějům. Konstrukční ocel je z ekonomického hlediska velmi vhodný materiál, oproti například již zmíněné korozivzdorné oceli. V tomto případě se musí přistoupit k úpravě samotné přenosové, resp. teplosměnné kapaliny. Může se buď zvolit přenosová kapalina, která nebude se základním materiálem chemicky reagovat. Například olej ve výměníku z běžné konstrukční oceli nebo z litiny. Další možností je použít upravené provozní a přenosové kapaliny o vhodné hodnotě pH nebo s obsahem inhibitorů, které zamezí koroznímu působení kapaliny na materiály soustavy. Inhibitory ale mohou snižovat schopnost přenosu tepla. Je tedy za potřebí zvážit všechny možnosti a zvolit tu optimální pro daný systém, ať už z hlediska životnosti materiálů, účinnosti přestupu tepla, nebo z hlediska provozních nákladů [22, 23, 29, 30, 31].



Obr. 8 Příklad korozního zanášení [25].

2.5.3.1 Vysokoteplotní koroze a její vlastnosti

Již při 20 °C se tvoří na kovech tenké vrstvy korozních produktů (oxidy, sulfidy), které jsou obvykle neměřitelné a projevují se především ztrátou lesku kovu. Zvyšováním teploty rostou rychlosti chemických reakcí a dochází i k rychlejšímu růstu korozních vrstev.

Důležitou vlastností korozních oxidických vrstev je jejich přilnavost k povrchu, která je ovlivňována především pnutím na rozhraní kov - vrstva vlivem rozdílných mřížek, po překročení mechanické pevnosti se vrstva oddělí, odprýskne a děj se opakuje. Jednotlivé vrstvy vznikají na základě různých difúzních a reakčních rychlostí, rozkladných tlaků, atomových poloměrů, bodů tání a dalších. Čím prostředí obsahuje více reagujících látek, tím vznikají různé sloučeniny např.

Me + O ₂	- oxidy
Me + vzduch	- oxidy a nitridy
Me + CO ₂	- oxidy, uhličitany, oxidy s obsahem uhlíku
Me + vodní pára	- oxidy, hydroxidy, různé bázické soli
Me + CO	- oxidy, karbonyly nebo uhlík [32]

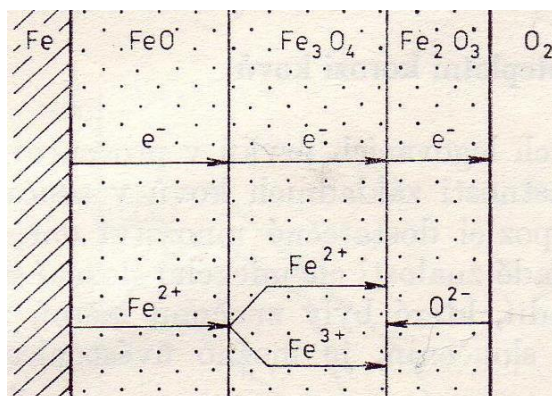
2.5.3.2 Vysokoteplotní koroze na železe

Oxidace železa stoupá se zvyšující se teplotou a oxidické vrstvy se skládají ze tří sloučenin:

vnější povrch - Fe₂O₃ (hematit)

střední část - Fe₃O₄ (magnetit)

nejblíže kovu – FeO (wüstit)



Obr. 9 Rozhraní jednotlivých oxidických vrstev vzniklých na železe [32].

na rozhraní Fe - wüstit (FeO) se tvoří ionty Fe^{2+} , uvolněné elektrony procházejí vrstvami až na rozhraní magnetit (Fe_3O_4) - hematit (Fe_2O_3) nebo hematit (Fe_2O_3) - vzduch a dochází k ionizaci vzdušného kyslíku na aniont O^{2-}

vytvořené ionty Fe^{2+} difundují k rozhraní wüstit (FeO) - magnetit (Fe_3O_4), kde se část iontů spotřebuje na tvorbu mřížky FeO po reakci s O_2 , který vzniká disociací Fe_3O_4 , další ionty Fe^{2+} difundují k rozhraní magnetit (Fe_3O_4) - hematit (Fe_2O_3), kde společně s oxidovými ionty se zabudují do mřížky Fe_3O_4

na rozhraní magnetit (Fe_3O_4) - hematit (Fe_2O_3) dále probíhá oxidace Fe^{2+} na Fe^{3+} vlivem O_2 , který prodifundoval vrstvou Fe_2O_3 , ionty Fe^{3+} vzniklé na rozhraní magnetit (Fe_3O_4) - hematit (Fe_2O_3) tvoří s ionty Fe^{2+} jak mřížku Fe_3O_4 , tak i Fe_2O_3

na rozhraní Fe_2O_3 (hematit) - kyslík pak kyslík difunduje vrstvou Fe_2O_3 k rozhraní magnetit (Fe_3O_4) - hematit (Fe_2O_3), kyslík, resp. jeho ionty mají malou difúzní schopnost, dostanou se pouze k rozhraní magnetit (Fe_3O_4) - hematit (Fe_2O_3) a vrstva FeO narůstá wüstit (FeO) - magnetit (Fe_3O_4) a vrstvy Fe_3O_4 a Fe_2O_3 na rozhraní magnetit - hematit

do 400 °C - tvoří se především hematitem - Fe_2O_3

do 600 °C - vrstva okují je tvořena hlavně magnetitem Fe_3O_4

nad 600 °C - vrstva okují na Fe je tvořena hlavně wüstitem (FeO), který vzniká při teplotě 565 °C [32]

2.5.4 Zanášení v důsledku chemické reakce

Na rozdíl od korozního znečištění se povrch pro přenos tepla neúčastní reakce, i když může působit jako katalyzátor. Příklady jsou polymerizace, krakování a koksování uhlovodíků. Polymerizační reakce mohou být iniciovány, když jsou určité nenasycené organické sloučeniny

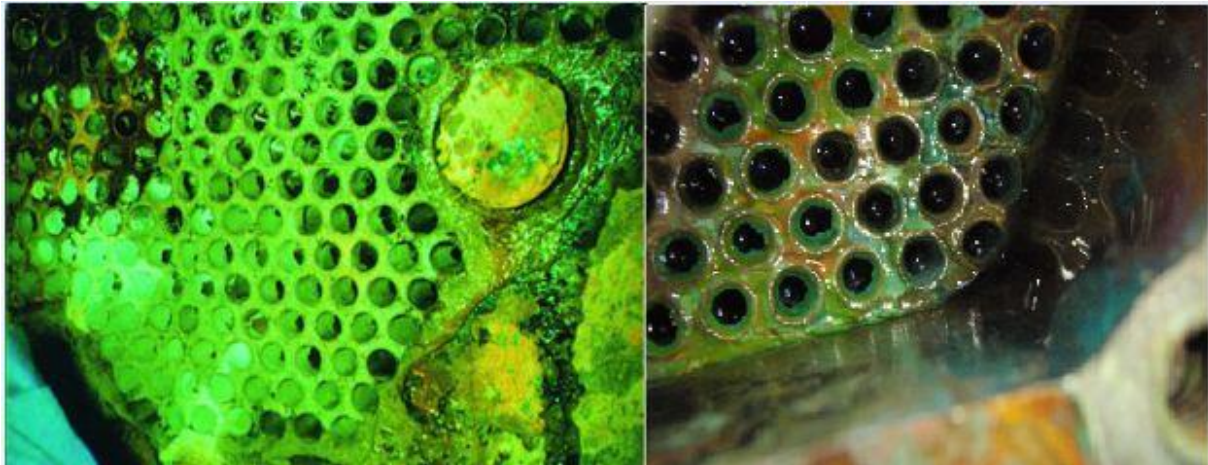
zahřívány nebo přicházejí do styku s horkou kovovou stěnou trubky. Obecně platí čím větší je teplota přenosového média, tím vyšší je přenosová schopnost a účinnost výměníku. Snahou je tedy vždy konstruovat daný systém s co nejvyššími přenosovými teplotami. S rostoucí teplotou ovšem exponenciálně roste i četnost chemických reakcí v přenosovém médiu. Důsledkem je vysoká rychlost chemického znečištění daného výměníku. Nečistoty na stěnách výměníku snižují tepelný přestup a tím i celkovou účinnost [15, 21, 23, 33, 34].



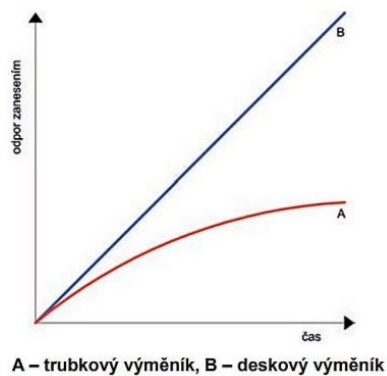
Obr. 10 Příklad chemického zanášení, konkrétně se jedná o chemickou reakci zvanou polymerizace [25].

2.5.5 Biologické zanášení

Nánosy na stěnách výměníků vzniklé bakteriemi a jinými organickými látkami brání též často přestupu tepla. Pro jejich odstranění lze použít pesticidy. Pesticidy používané jako činidla pro odbourávání biologických složek v přenosové kapalině se rozdělují na dva druhy: pesticidy bez oxidačního účinku a s oxidačním účinkem. Pesticidy bez oxidačního účinku jsou vhodné jako činidlo likvidující veškeré bakterie, které se již nemohou usadit na stěnách výměníků. Tyto pesticidy ovšem nedokáží odstranit již vzniklé biologické nánosy. Pro odstranění již vzniklých biologických nánosů a vrstev na stěnách výměníků je vhodné přimíchat do přenosového média pesticidy s oxidačním účinkem. Pesticidy s oxidačním účinkem jsou schopny rozpustit veškerý vzniklý biologický nános, ale také odstranit vše organické v přenosovém médiu. Před použitím pesticidů je velmi důležité zjistit, zda daný pesticid nereaguje s některým (především organickým) materiálem v systému [22, 23, 35, 36].



Obr. 11 Příklad biologického zanášení výměníku [25].



Obr. 12 Časový průběh zanášení výměníku nečistotami [9].

2.5.6 Zanášení v důsledku mrazu

Je známo, že led a námraza obecně mají dobré tepelně izolační účinky. Námraza na tělesech otopných a chladících systémů je tedy velmi nežádoucí. Pokud je to možné, je nejlepším způsobem v takovémto případě odstranit příčinu tvorby námrazy. Toto platí pouze u často se opakujících problémů se zamrznáním. Řešením může být posunutí bodu tuhnutí dané pracovní kapaliny. Zvýšení teploty pracovní tekutiny, nebo přemístění celého zařízení do jiných prostor. Může postačit například zastřešení, aby nebyl daný výměník umístěn volně přístupným povětrnostním vlivům venkovního prostředí [22, 23, 37].

2.5.7 Kombinace zanášení

Většinou se jedná o kombinace různých typů zanášení vnitřních povrchů průmyslových a energetických zařízení. Autor Rao a kolektiv [38] uvádí, že během inspekce bylo pozorováno, že více než 90 % trubek trubkového výměníku bylo ucpáno silnými nečistotami. Jak rentgenová

difrakce, tak Mössbauerova analýza ukázaly ložiska produktů koroze železa. Vnějšík zařízení obsahoval s oxidy železa přítomnost směsi uhličitanu vápenatého a hořečnatého. Ramanova spektroskopická analýza potvrdila přítomnost uhličitanu vápenatého v kalcitové fázi. Vnitřek tuberkulu obsahoval významný sulfid železa, magnetit a hydroxid železitý [38].

Poznámka:

Tuberkule jsou hlízovité výstupky živých organismů, jakou jsou například bakterie, řasy nebo houby.

2.5.8 Odpor usazenin

Odpor usazenin má velký vliv na hydraulické poměry celé soustavy. Obecně je ověřeno, že odpor usazenin má mnohem větší vliv na trubkové výměníky, na rozdíl od deskových. Důvody pro tento fakt jsou následující:

- optimální rychlostní profil proudící tekutiny napříč deskou výměníku
- vysoká turbulence v mezideskovém prostoru
- hladký teplosměnný povrch desek
- rychlost koroze u deskového výměníku je menší.

Největší z výše uvedených výhod je turbulence proudu tekutiny. U trubkových výměníků jsou vysoké rychlosti proudění a malé tření, tedy odpor. U deskových výměníků je tomu naopak. Tedy malé rychlosti proudění tekutiny a vysoký odpor kladený této tekutině. Tento fakt vede u deskových výměníků k nižším odporům kladeným procházejícím kapalinám vlivem znečištění, než je tomu u trubkových výměníků. Vliv lineární rychlosti proudění a turbulence tekutiny u trubkového a deskového výměníku lze vidět na Obr. 11 [22, 23].

2.6 Rozbor metod čištění vnitřních povrchů

Způsoby čištění vnitřních povrchů lze rozdělit na dvě základní metody. Těmito metodami jsou: 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 [12, 14, 39, 40].

2.6.1 Lehké tryskání

Kinetická energie je udělována částicím (prostředkům), resp. abrazivu o malé hmotnosti, pomocí stlačeného vzduchu. Pomocí trysky je směs usměřována pod vhodným úhlem. Vhodným médiem pro tryskání je například korund (Al_2O_3). Hnědý korund se používá k tryskání ocelí. Bílý korund se používá k tryskání neželezných kovů a koroziivzdorných ocelí. Bílý korund obsahuje nižší obsah příměsí v korundu jako jsou atomy železa, síry a chromu. Zrnka korundu jsou houževnatější. Méně se štěpí a otupují. Tímto samočistícím efektem zajišťují abrazivu vyšší životnost a menší prašnost [41].

Z dalších prostředků pro lehké tryskání je třeba jmenovat např. hydrogenuhličitan sodný (jedlou sodu), suchý led, což jsou abraziva šetrná k životnímu prostředí.

Lehké tryskání je možné použít u větších průměrů potrubí, kde není omezena manipulace s tryskacím zařízením.



Obr. 13 Ukázka principu lehkého tryskání pro čištění vnitřního povrchu od firmy GAMIN [42].

Výhody lehkého tryskání:

- šetrné k tryskanému materiálu
- zařízení je přenosné
- nízké zatížení životního prostředí

Nevýhody lehkého tryskání:

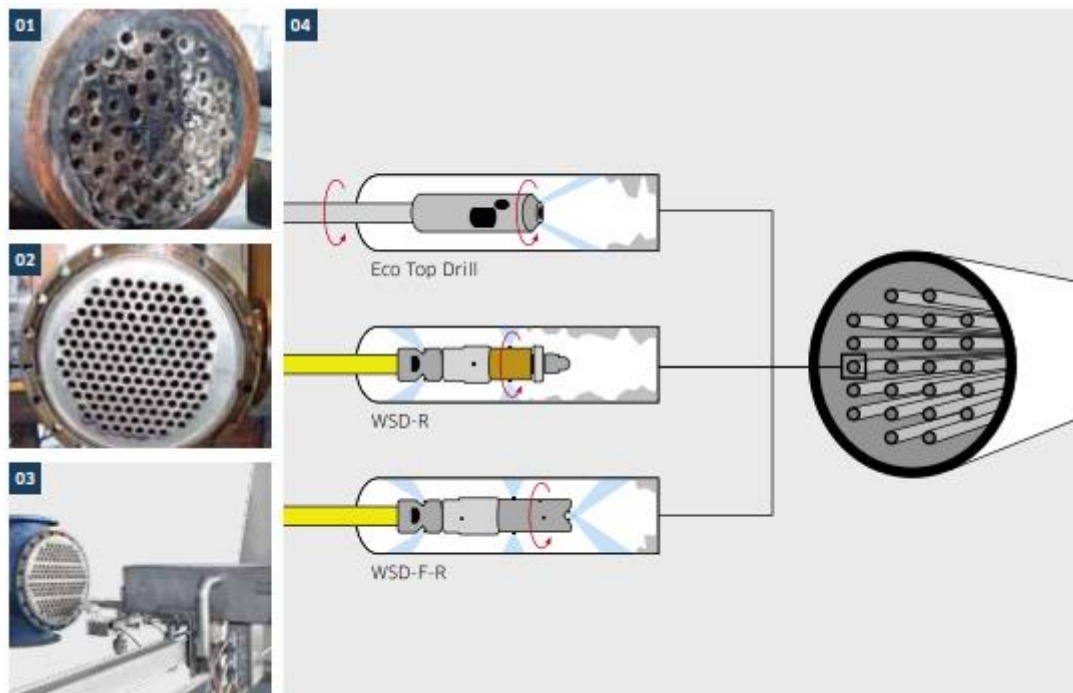
- vyšší cena
- použití pouze u větších průměrů trubek
- nutno demontovat soustavu [41, 43]

2.6.2 Vysokotlaké čištění

Využívá se kinetická energie vodního paprsku, který velkou rychlostí a vysokým tlakem působí na čištěnou plochu. Způsob tohoto čištění má značnou míru nebezpečnosti pro obsluhu a ostatní v okolí, protože se při tomto způsobu pracuje s velkými tlaky [44, 45].

Například firma WOMA Ltd. využívá vodu jako nástroj pro vysokotlaké čištění. Firma staví nejen trysky ale i vysokotlaké čistící jednotky, které pracují s tlakem až 4 500 barů. Pro čištění vnitřních povrchů se ale nedoporučují používat tak vysoké tlaky. Doporučené tlaky k čištění vnitřních povrchů jsou obvykle do 1 500 barů. Čistí tak vnější povrchy potrubí i tepelné výměníky. Čistící systémy od společnosti WOMA dokáží pročistit ucpané trubky. Umožňuje to pneumaticky poháněný rotační čistič trubek pracující s tlakem až 1 500 barů (RDR TubeMaster® 1500).

U tepelných výměníků, topidel nebo výparníků lze využít trysky s tlakem až 2 500 barů. Doplňkově je možné použít také ruční čistící nástroje na trubky, jež se vyznačují velmi nízkou hmotností a dlouhou trvanlivostí [46].



Obr. 14 Ukázka principu čištění od firmy WOMA Ltd. vysokotlakou čistící jednotkou. Snímek 04 ukazuje různé typy a principy trysek využitelných k čištění [47].

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 [44, 45, 46]

2.6.3 Projektilové čištění

Tato metoda je vhodná pro čištění trubkových tepelných výměníků. Proces čištění spočívá ve volbě, velikosti a konstrukčním provedení čistícího projektilu. Vodní pumpa dodává tlakovou vodu k aplikační pistoli. Součástí pistole je měřič tlaku a filtr nečistot. Pistole se přiloží s projektilem k čištěné trubce a tlaková směs vody a vzduchu prostřelí projektil trubkou. Voda zajistí zároveň proplach trubky a nečistoty jsou rychle odstraněny [43, 48].

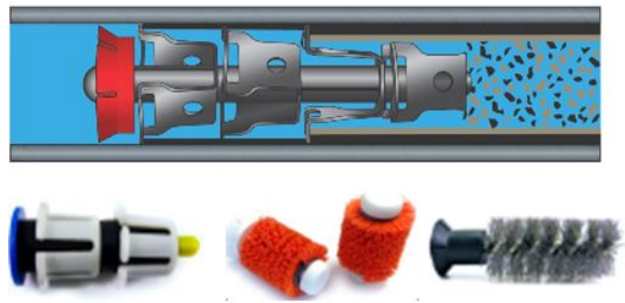


Obr. 15 Projektilové vodní tlakové zařízení [49].



Obr. 16 Tlaková vodní pistole [49].

Projektilů vhodných k použití pro čištění je celá řada. Volba použitého projektilu závisí na typu znečištění. Pro extrémně znečištěná potrubí se používají kovové projektily. Vyznačují se vysokou tuhostí, pevností a odolností [49].



Obr. 17 Ukázka projektilového čištění a různé typy projektilů [49].

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 [48, 49]

2.6.4 Technologie HydroDrill

Nástroj pracuje tak, že koná rotační pohyb (vrtá) a přitom je chlazen vodou, která má spíše účel vyplachovací. Lze takto odstranit koks, vápník, síru, bauxit, oxidy. Nevýhodou této technologie je, že je omezená délkou čisticího nástroje. Lze čistit do délky cca 1 metr [48].



Obr. 18 Zařízení HydroDrill a čištění výměníku tímto zařízením [48].

Výhody technologie HydroDrill:

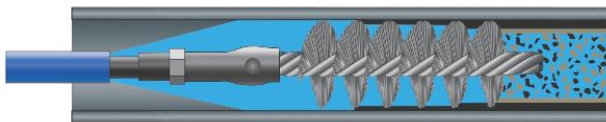
- jednoduché čisticí zařízení, které je přenosné
- šetrné k čištěnému materiálu
- nízké zatížení životního prostředí
- při čištění dochází k leštění trubek uvnitř

Nevýhody technologie HydroDrill:

- použití pouze u větších průměrů trubek
- čištění pouze do délky 1 metru
- nutno demontovat soustavu [48]

2.6.5 Technologie EXCALIBER Flex Drive

Nástroj pracuje na principu rotačního pohybu, kdy nástroj brousí vnitřní stěny a tím je zároveň čistí. Opět je využita voda k vyplachování nečistot. Výhodou je vysoký točivý moment nástroje (až 2 500 ot/min), nástroj je poháněn pneumaticky a při čištění dochází i k leštění vnitřních stěn trubek. Nevýhoda je opět v délce, i když se využívají ohebné hřídele lze čistit do délky max. 1,5 metru [50].



Obr. 19 Zařízení EXCALIBER Flex Drive a ukázka čištění výměníku tímto zařízením [50].

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 [50]

2.6.6 Technologie NitroLance

Tekutý dusík LN₂ využívá k čištění tři základní mechanizmy: mechanický tlak, podchlazení, teplotní a s tím spojenou objemovou roztažnost. Lze takto čistit jak vnější části, tak i vnitřní části potrubí, výměníků apod. Výhodou této technologie je její ekologičnost, neboť nevzniká žádná znečištěná voda. Tekutý dusík se vypařuje, tudíž je čištěné zařízení připraveno ihned k provozu.

Mechanický tlak - tlak na špičce trysky systému je regulována od 35,5 MPa do 380 MPa.

Podchlazení - podchlazený tekutý dusík cca od -100 °C do -150 °C usnadňuje křehnutí a praskání porézních nánosů.

Teplotní/objemová expanze - vysoká hustota tekutého dusíku proniká do prasklin a trhlin v úsadách, který se přeměňuje na plyn a zvětší svůj objem až 700 krát. Tato expanze, v kombinaci s mechanickým tlakem a podchlazením, způsobí, že zanesení vnitřní části trubek se rychle rozpadají a uvolňují svou vazbu až na základní kov [51, 52].



Obr. 20 Princip čištění tekutým dusíkem a ukázka čištění výměníku tímto zařízením [52].

Výhody technologie NitroLance:

- zařízení je přenosné
- ekologičnost, neboť nevzniká žádná odpadní voda, dusík se vypařuje

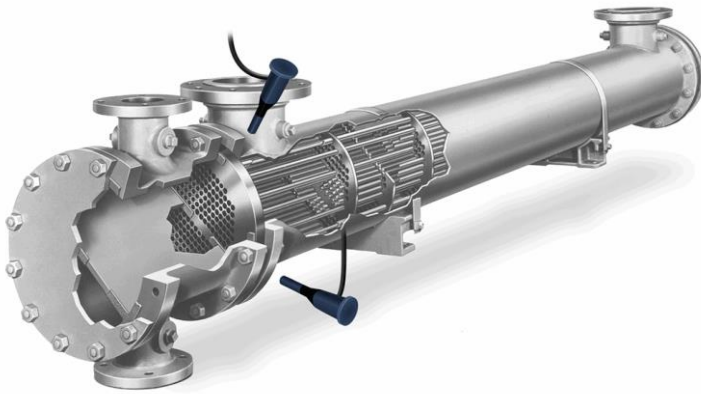
Nevýhody technologie NitroLance:

- použití pouze u větších průměrů trubek
- omezená délka pracovního nástroje
- nutno demontovat soustavu [51, 52]

2.6.7 Zvukové čištění

Metoda zvukového čištění využívá zvukové vlny k vytvoření turbulencí v proudícím médiu. Tyto turbulence způsobují uvolnění nanesených vrstev, případně zabraňují usazování. Používají se slyšitelné (frekvence cca 75 Hz) nebo infrazvukové (cca 10 až 35 Hz) vlny. Infrazvukové vlny vyvolávají vyšší turbulenci, což vede k vyšším čistícím účinkům, ale zvyšuje se riziko konstrukčních poškození výměníku. Zvukové čištění je přímá metoda s optimálním rozmezím několika minut mezi čistícími cykly. Čištění může probíhat ponorem v lázni, kdy se zapotřebí čištěné zařízení odtavit či při použití speciálních zvukových nástrojů, kdy čištění může probíhat přímo za provozu čištěného zařízení. Uplatnění této metody je spíše v prevenci zanášení než v odstraňování již nanesených vrstev, nejlepší je kombinace s jinou metodou čištění [23, 53].

Pro úspěšný proces čištění je důležité splnit 3 faktory, jimiž jsou: konstrukce čistící lázně, intenzita a správné umístění ultrazvukových převodníků a v neposlední řadě řízení procesů a chemie. Znalosti a zkušenosti v oblasti ultrazvukového čištění jsou nezbytné. Správná kombinace a implementace těchto faktorů umožňuje účinně odstraňovat zbytky uhlovodíků a několika dalších rafinérských vedlejších produktů z tepelného výměníku, a to za kratší dobu než u jiných konvenčních technik čištění [94].



Obr. 21 Ukázka zvukového čištění za provozu čištěného zařízení [85].

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 [23, 53]

2.6.8 Chemické čištění

Chemické čištění je používáno pro odstranění různých druhů nečistot z kovových i nekovových povrchů. Základem jsou speciální průmyslové chemikálie na bázi vhodných roztoků alkálií nebo kyselin vhodných k čištění těchto zařízení [1].

Čistící prostředky lze rozdělit na čištění na vodní bázi nebo čištění rozpouštědly.

Čištění na vodní bázi

- Snadné odstranění anorganických kontaminantů (soli), chladících a řezných emulzí; lze odstraňovat znečištění organickými látkami
- Nízké spotřeby čistících chemikálií
- Relativně malý dopad na životní prostředí, ovzduší a pracovníky
- Nejsou potřeba uzavřená pracoviště
- Vysoká variabilita čistícího procesu

- Zvýšení efektivity procesu ultrazvukem a vysokým tlakem
- Dnes cca 75 % veškerých aplikací

Čištění rozpouštědly

- Snadné čištění organických kontaminantů, výborné odmaštění
- Nejsou potřeba vícestupňové myčky; stejné médium pro mytí i oplachování
- Nehrozí riziko zasychání zbytků čistících chemikálií
- Multimetalické aplikace
- Bez rizika koroze [54]

Čistící prostředky lze rozdělit dle hodnoty pH na:

Silně alkalické (pH 12 – 14) s použitím převážně na ocel a litinu

Slabě alkalické (pH 9,5 – 12) s univerzálním použitím na železné i neželezné kovy

Neutrální (pH 7 – 7,5) se speciálními přísadami pro všechny typy materiálů

Slabě kyselé (pH 4 – 6) pro speciální operace a lehké čištění

Kyselé (pH kolem 1,5) ve spojení se speciálními přísadami slouží k čištění především železných kovů [55]

Pokud se podaří identifikovat typ znečištění je potřeba zvolit nejvhodnější způsob čištění, resp. čistící prostředek v závislosti na čištěných materiálech a časových možnostech, resp. specifických výrobních omezeních. Všeobecně platí, že důležitá je i koncentrace prostředku, která je závislá na stupni znečištění a zvolené technologii. Další podstatným faktorem je teplota čistícího prostředku. Při určování optimální technologie čištění je velmi důležitá bezpečnost všech materiálů v čištěném systému [55].

Základní chemikálie používané doposud pro odstraňování nánosů:

- Amonná sůl EDTA (4-10 %)
- Citran amonný (2-6 %)
- Citran sodný (2-6 %)
- HCl (5-6 %)
- HF (1-2 %)
- Směsi chemikálií (různé koncentrace)

Pořadí chemikálií z hlediska nejlépe likvidovatelných odpadů:

- HF
- HCl
- Citran sodný
- Citran amonný
- Amonná sůl EDTA [56, 57]

Výhody chemického čištění:

- bez demontáže soustavy
- odstranění vodního kamene, kalů, korozních produktů, minerálů, sedimentů
- rychlost čištění

Nevýhody chemického čištění:

- vyšší cena
- likvidace odpadů včetně chemických čistících prostředků

2.6.8.1 Rozhodnutí o způsobu čištění ve vazbě na složení nánosů

Pro rozhodnutí o tom, zda chemicky čistit, nerozhoduje jen zjištěné množství nánosů, ale i jejich složení:

Cu > 25 % (počítáno jako CuO) – nemají jednoznačný vliv na korozi, ale v případě chemického čištění je nutno volit vícestupňovou metodu

Ca, Mg > 10 % (počítáno jako CaO, MgO) – obvykle značí nedostatečnou úpravu vody nebo netěsnost kondenzátoru, což značí, že pod nánosy je celá řada solí, které podporují korozi pod nánosy (nebezpečí vodíkové koroze)

Si (jako SiO₂) > 5 % - silikáty mají nízkou tep. vodivost a pokud jsou ve vrstvě těžko se odstraňují

Al (jako Al₂O₃) > 5 % - problém zejména při jejich odstraňování

C - uhlíkové hydrofobní sloučeniny jsou extrémně izolační, velmi obtížně odstranitelné chemickým čištěním

Cr, Mo, Mn – obvykle do 2 %, mohou být potenciálně nebezpečné a komplikují chemické čištění [56]

Tab. 5 Využitelnost chemikálií pro rozpouštění oxidů železa (magnetitu) [56].

Inhibované činidlo	Max. koncentrace Fe váhová %	
	Teoretická	Praktická
5-10 % HCl	2,3 -6,1	2,0
2-10 % citran amonný	0,44 -2,76	0,44 -2,0
3 -14 % (EDTA-NH ₄)	0,5 – 2,6	0,5 -2,0
1 -2 % HF	0,83 -1,87	0,8 -1,8

2.6.8.2 Rozhodnutí o chemickém čištění ve vazbě na likvidaci odpadních vod

Likvidace odpadních vod může představovat významné navýšení ceny, která se může rovnat i ceně vlastního čištění. Pro větší kotle vlastní čištění stojí od 0,5 -1,5 mil USD (tj.11,5 – 34,5 mil Kč).

Z hlediska odpadů může být zejména problém s Cr a Cu případně s dalšími těžkými kovy, proto je výhodnější chemicky čistit častěji (opakovaně).

Z důvodu náročnější likvidace Cr v odpadních vodách po chemickém čištění se ustupuje od čištění přehříváků či přihříváků, kde bývá v nánosech vyšší obsah Cr [56].

2.6.8.3 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. V následující tabulce jsou uvedeny maximální přípustné hodnoty prvků, které mohou být v odpadních vodách

po chemickém čištění. Jelikož se jedná o nebezpečné látky, platí třída vyluhovatelnosti III [6, 58, 59, 60, 61].

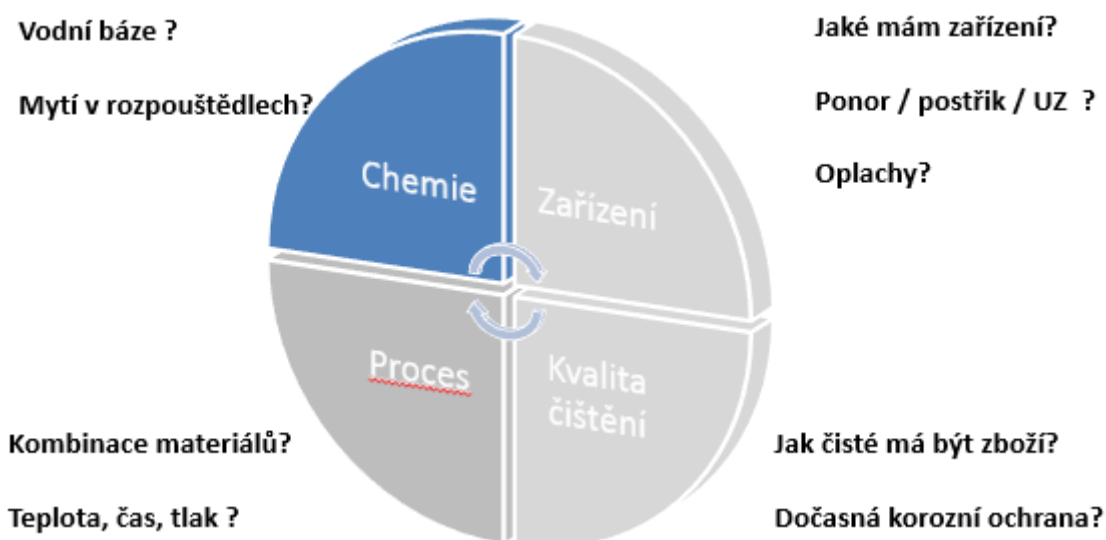
Tab.6 Nejvyšší přípustné hodnoty škodlivin v odpadních vodách dle vyhlášky č. 294/2005 Sb. [59].

Ukazatel	Třída vyluhovatelnosti III [mg.l ⁻¹]
Chloridy	2500
Fluoridy	50
Sírany	5000
Chrom	7
Měď	10
Zinek	4
Rozpuštěné látky	10000

2.7 Optimalizace procesu čištění

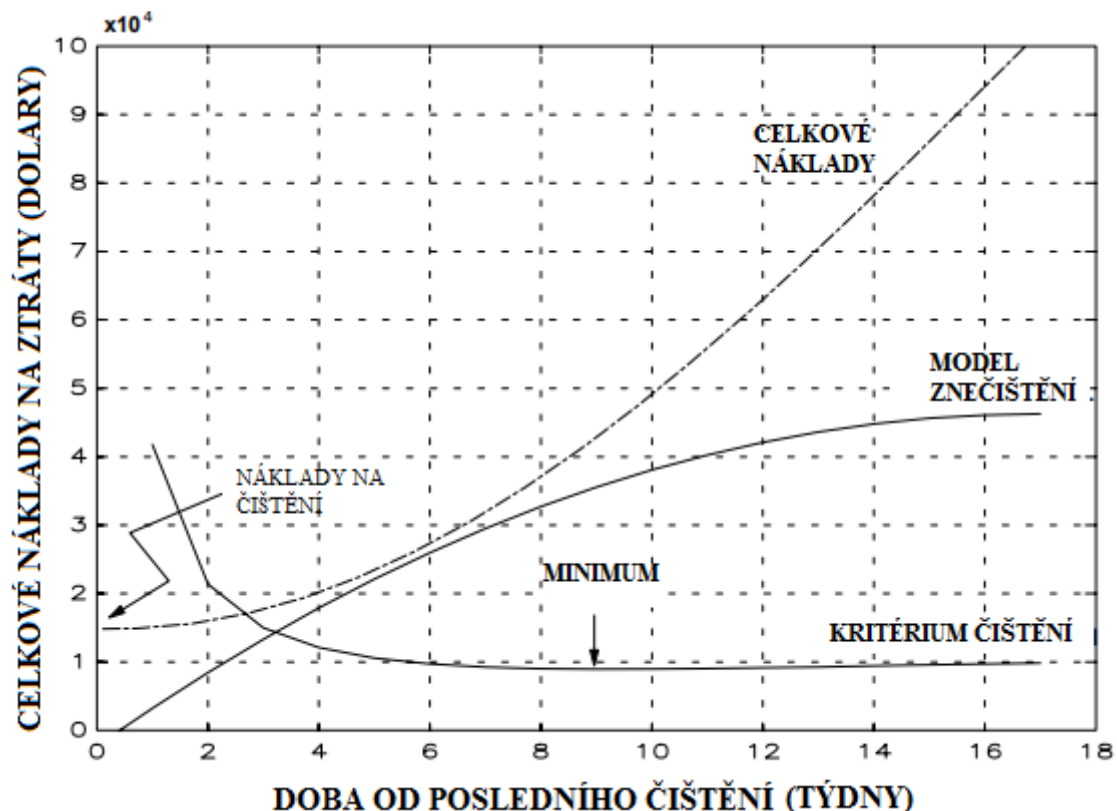
Při optimalizaci procesu čištění se jedná nejen o způsob, jak ušetřit a optimalizovat náklady za čištění. Měla by se převážně sledovat otázka bezpečnosti i jak zlepšit kvalitu nebo rychlost čištění. Proces čištění závisí na mnoha faktorech. Jsou jimi chemie, spotřeba energie zařízení, proces a výsledná kvalita vyčištění (Obr. 22).

Optimalizace procesu začíná již přípravou před čištěním, konkrétně odběrem vzorků, dále samotnou volbou a přípravou čištění a monitoringem, jestli výsledek čištění byl úspěšný [62, 63].



Obr. 22 Závislost faktorů pro optimalizaci čistícího procesu. Z grafu jsou patrné vzájemné závislosti, které ovlivňují výsledek čištění [48].

Trubkové výměníky tepla jsou důležitou součástí procesu, ve kterém jsou instalovány, a jejich stav může významným způsobem ovlivnit ekonomiku procesu několika způsoby. Aby se zlepšila výkonnost těchto výměníků tepla, které jsou náchylné k problémům se znečištěním, je třeba získat a analyzovat historická data a vytvořit model znečišťování. Rovněž musí být kvantifikovány náklady na znečištění a musí být stanoveno kritérium čištění, průměrné hodinové náklady na ztráty. Optimální doba pro čištění je, když toto kritérium dosáhne své minimální hodnoty. Dále by měla být zvolena metoda čištění, která nejenže dokáže efektivně zvládnout typ znečištění, ke kterému dochází u tohoto výměníku tepla, ale také vede k minimálním ročním nákladům na údržbu a prostoje [64].



Obr. 23 Ukázka typického diagramu odolnosti vůči znečištění, celkové náklady od posledního čištění a kritérium čištění (průměrné hodinové náklady na znečištění) s ohledem na dobu od posledního čištění [64].

Pro předvídání času, kdy průměrné hodinové náklady ztrát převzou jeho minimální hodnotu, musí být data reprezentující průměrný hodinový poměr nákladů a času v posledních několika měsících regresní [64].

3. Cíle 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 vyčištění v řádu několika hodin bez demontáže čištěného zařízení,
- snadnou ekologickou likvidovatelnost a prokazatelnou bezpečnost odpadů z procesu čištění.

Dílčí cíle práce jsou:

- 1) Návrh technologického postupu čištění při použití 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 čistícími 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.

4. Experimentální část

Počáteční experimenty této práce byly zaměřeny na sledování hmotnostních úbytků čištěných 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 čištěný materiál.

4.1 Výběr metody čištění vnitřních povrchů energetických soustav

Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.6 Rozbor metod čištění vnitřních povrchů dělí se na metody mechanické a chemické nebo též na metody off-line a on-line.

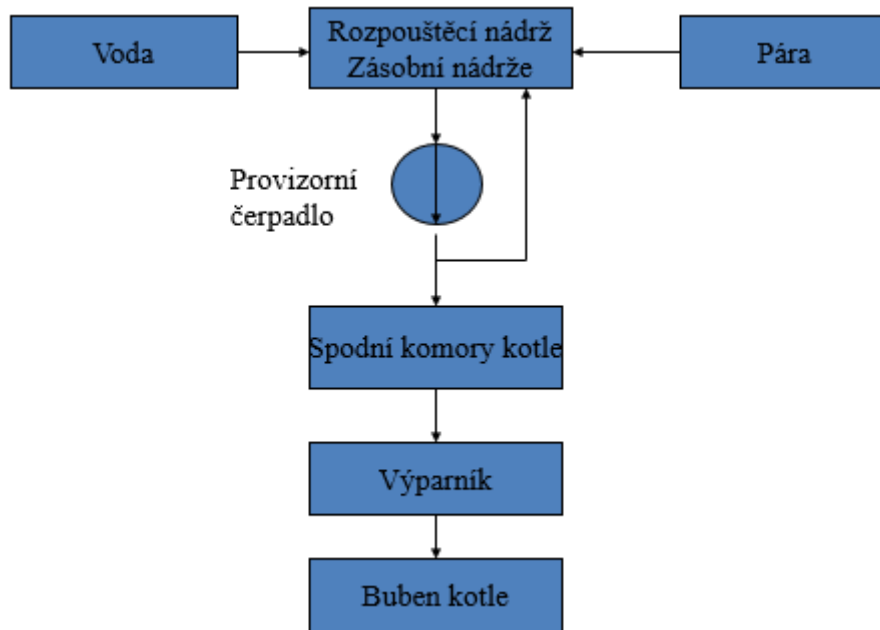
Řešení problematiky v experimentální části této práce je blíže zaměřeno na výběr optimálního způsobu chemického čištění, a to z důvodů cílů práce zaměřené na aplikace čištění otopných systémů a chladičů obecného tvaru teplosměnných ploch v průmyslu a energetice. Mezi největší přednosti chemického čištění 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

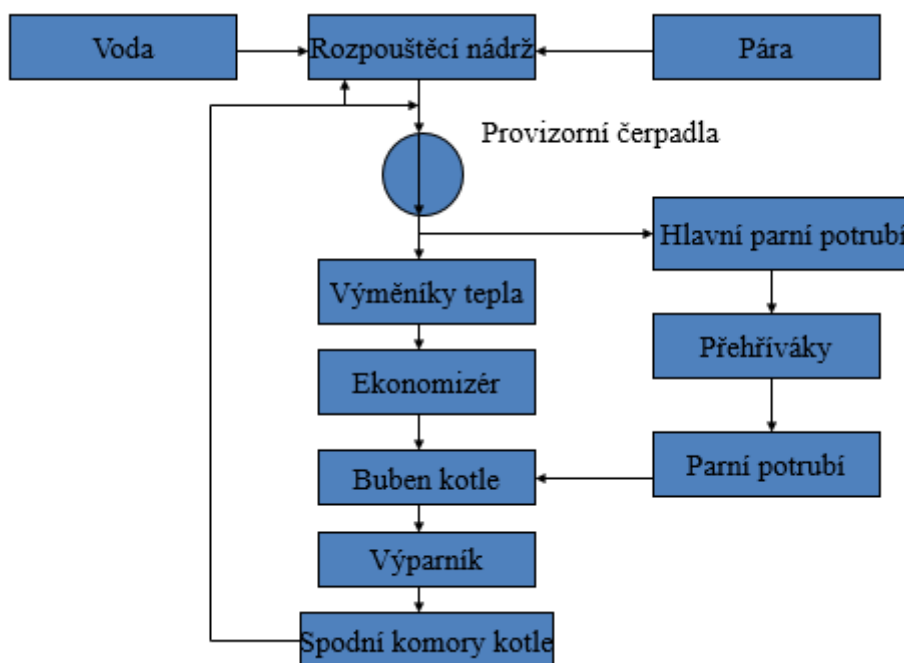
Obvykle čištění pomocí minerálních kyselin jako HCl, HF, kyselina citronová apod. případně jejich směsí. Metody se dají rozdělit na:

- Statická – její výhody jsou: jednoduchost, poměrně malé množství provizorních zařízení, nízká cena čištění. Nevýhody: horší účinnost, nižší rychlost čištění, horší kontrola vlastního procesu čištění.



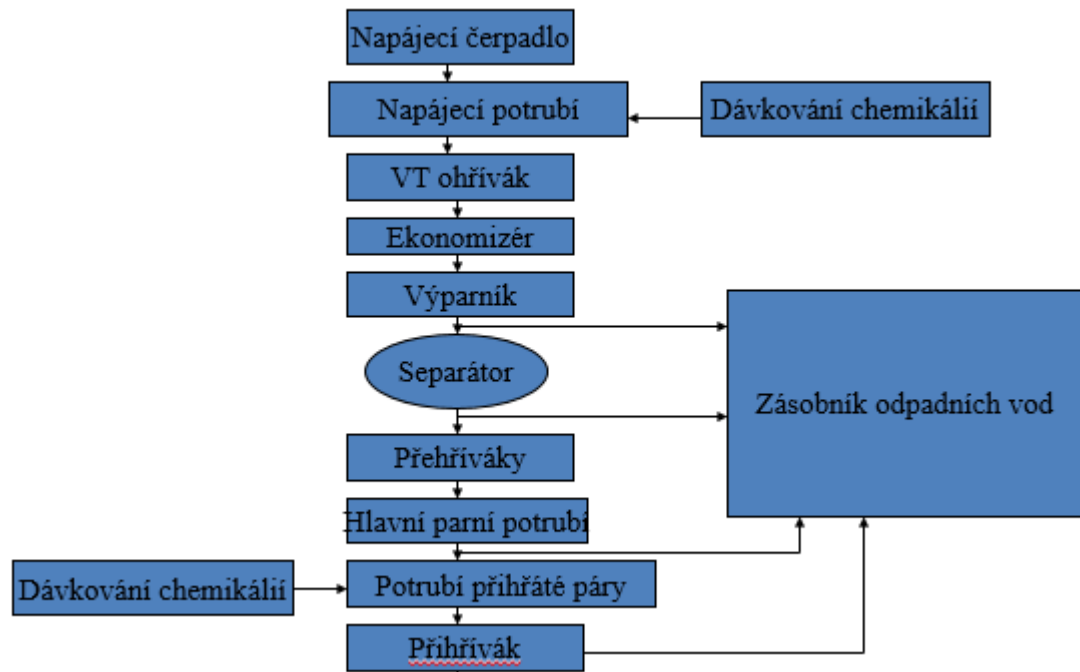
Obr. 24 Princip čištění statickou metodou [6].

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



Obr. 25 Princip čištění cirkulační metodou [6].

- 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.



Obr. 26 Princip čištění průtlačnou metodou [6].

- 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 [6, 57, 66, 67].

b) Chemické čištění na provozovaném zařízení

Tento postup je v podstatě omezen na alkalické čištění. Používají se pevné alkálie jako NaOH, Na_3PO_4 , 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 [6, 57, 66, 67]

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 kombináční metodu, kdy prostředek konal pohyb a bylo přisáváno 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.

Dále byly experimenty provedeny pro porovnání chemických metod čištění s čištěním pomocí ultrazvuku, jak je uvedeno ve zdroji [15A]. Hlavní závěry experimentů provedených v uvedeném zdroji, jsou v rychlejších, efektivnějších a také bezpečnějším využití chemických metod oproti použití čištění ultrazvukem. Čištění ultrazvukem má především nevýhody v omezení pracovního prostoru či přípravy velké vany s lázní, pokud se jedná o velké energetické celky a soustavy. A s tím i souvisí bezpečnost použitých materiálů a konstrukčního řešení jako celku bez demontáží těchto soustav, bez čehož se ultrazvukové čištění neobejde. Chemickými metodami mohou být systémy kompletně vyčištěny bez demontáže, čímž se snižuje riziko selhání, poškození materiálu a eliminace ucpaní systému.

4.2 Příprava vzorků a jednotlivých čisticích prostředků

Sady vzorků pro porovnání čisticích schopností jednotlivých prostředků byla zvoleny z různých materiálů nejčastěji se vyskytujících současně v systémech 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, jejichž názvy jsou uvedeny v tabulce. Po důkladném prověření čisticích prostředků na evropském trhu, splňující podmínky EU, byly vybrány následující 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). Hmotnosti vzorků jsou uvedeny v tabulce 7 [1A].

Coracon clean – čisticí prostředek – kapalný koncentrát bez fosfátů, boritanů, dusitanů, křemičitanů, zinku a dalších látek. Odolný vůči teplotám do 150 °C.

Decalcit T131 – práškový čisticí koncentrát včetně kyselin, obsahující inhibitory, obsahuje povrchově aktivní částice.

Destrulith – kapalný koncentrát, směs organických kyselin

Z-fáze – kapalný koncentrát s nízkým obsahem kyselin chlorovodíkové se speciálními inhibitory koroze a urychlovačem čisticí reakce.

SENTINEL X800 Jetflo – vysoce účinný kapalný koncentrát v teplém i studeném stavu,

SENTINEL X400 – kapalný koncentrát, netoxický, bezpečná a snadná manipulace

BCG HR – kapalný koncentrát, směs organických kyselin a inhibitorů koroze, které reagují s nánosy uvnitř systému a převádějí je do roztoku

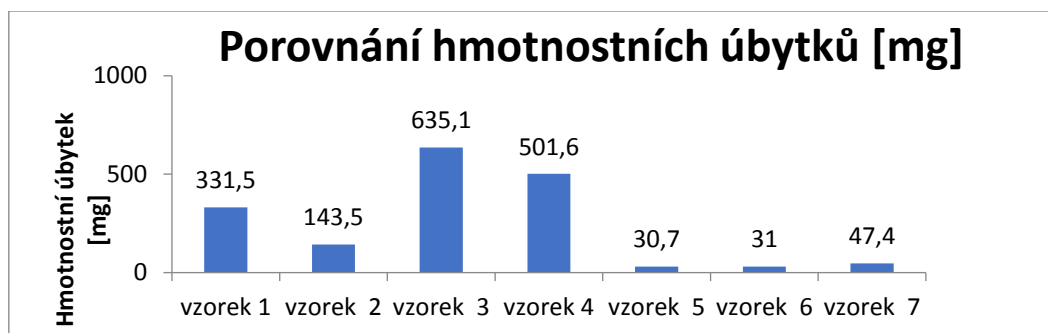
4.3 Porovnávání jednotlivých čisticích prostředků z hlediska hmotnostních úbytků

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

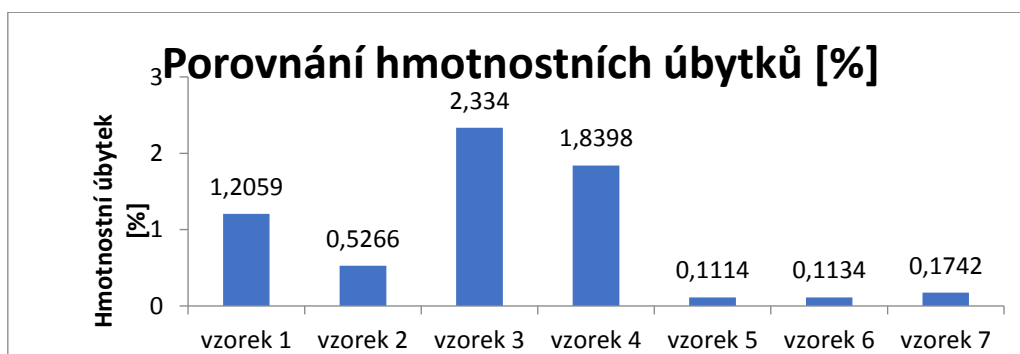
Tab. 7 Čisticí prostředky, jejich koncentrace a hmotnosti ocelových vzorků před a po čištění, kdy čisticí prostředek nekonal pohyb [1A].

Prostředek	Vzorek	Koncentrace chemikálie [obj. %]	Hodnota pH před zkouškou	Hodnota pH po zkoušce	Hmotnost před zkouškou [g]	Hmotnost po zkoušce [g]	Hmotnostní úbytek	
							[mg]	[%]
Coracon Clean	1	10 %	3,7	4,2	27,4880	27,1565	331,5	1,2059
Decalcit T131	2	1 %	3,2	3,8	27,2457	27,1022	143,5	0,5266
Destrulith	3	50 %	3,5	4,1	27,2100	26,5749	635,1	2,334
Z-fáze	4	10 %	0,7	1,1	27,2636	26,7620	501,6	1,8398
SENTINEL X800 Jetflo	5	1 %	4,4	4,9	27,5555	27,5248	30,7	0,1114
SENTINEL X400	6	3 %	4,3	4,8	27,3271	27,2961	31,0	0,1134
BCG HR	7	1 %	3,9	4,3	27,2100	27,1626	47,4	0,1742

Na grafu (Obr. 27 a Obr. 28) lze sledovat a porovnat hmotnostní úbytky vzorků v miligramech při použití různých čisticích prostředků (uvedených v Tab. 7) při zkoušení vzorků z nízkouhlíkové oceli.



Obr. 27 Hmotnostní úbytky ocelových vzorků v miligramech při použití rozdílných čisticích prostředků [1A].

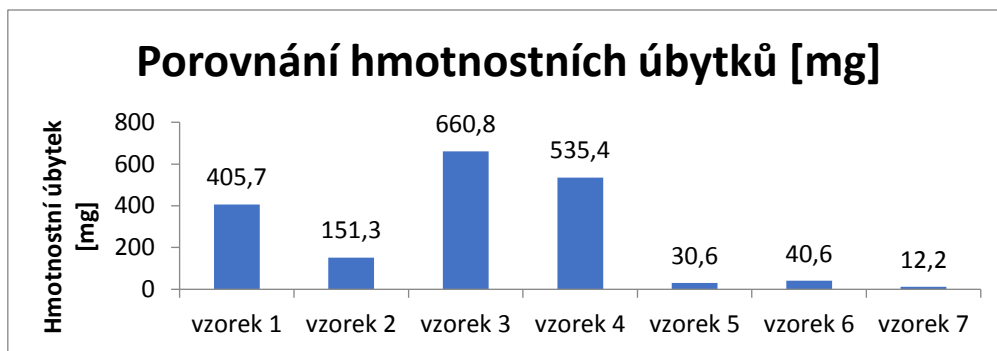


Obr. 28 Hmotnostní úbytky ocelových vzorků v procentech při použití rozdílných čisticích prostředků.

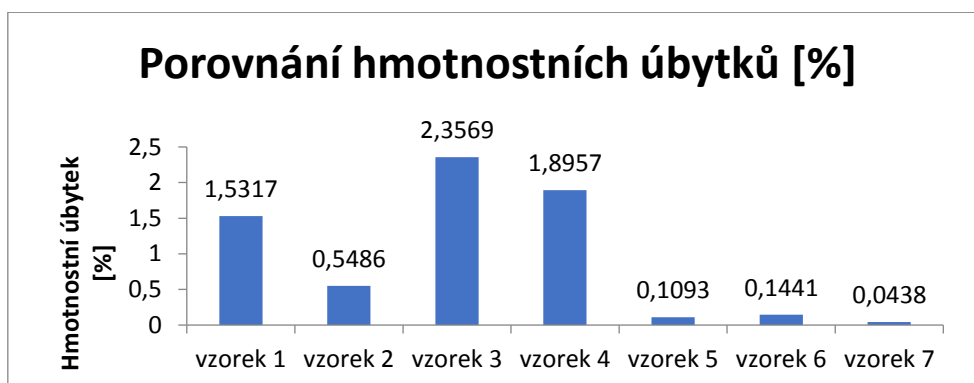
Dále bylo provedeno zkoušení, kdy čisticí prostředek konal pohyb (Tab. 8, Obr. 29 a 30).

Tab. 8 Čisticí prostředky, jejich koncentrace a hmotnosti ocelových vzorků před a po čištění zkoušenými prostředky, kdy čisticí prostředek konal pohyb [2A].

Prostředek	Vzorek	Koncentrace chemikálie [obj. %]	Hodnota pH před zkouškou	Hodnota pH po zkoušce	Hmotnost před zkouškou [g]	Hmotnost po zkoušce [g]	Hmotnostní úbytek	
							[mg]	[%]
Coracon Clean	1	10 %	3,7	4	26,4870	26,0813	405,7	1,5317
Decalcit T131	2	1 %	3,2	3,6	27,5774	27,4261	151,3	0,5486
Destrulith	3	50 %	3,5	3,8	28,0364	27,3756	660,8	2,3569
Z-fáze	4	10 %	0,7	0,8	28,2429	27,7075	535,4	1,8957
SENTINEL X800 Jetflo	5	1 %	4,4	4,7	27,9743	27,9437	30,6	0,1093
SENTINEL X400	6	3 %	4,3	4,7	28,1600	28,1194	40,6	0,1441
BCG HR	7	1 %	3,9	4,2	27,8259	27,8137	12,2	0,0438



Obr. 29 Hmotnostní úbytky ocelových vzorků v miligramech při použití rozdílných čisticích prostředků [2A].



Obr. 30 Hmotnostní úbytky ocelových vzorků v procentech při použití různých čisticích prostředků [2A].

Diskuze výsledků zkoušených vzorků z nízkouhlíkové oceli:

Z uvedených zkoušek vyplynulo, že nejvyšší čisticí schopnost mají prostředky Destrulith, Z-fáze a Coracon Clean, Protože u čisticího prostředku Destrulith je potřeba 50 % koncentrátu do čisticího roztoku na znečištěné systémy, byl k dalšímu čištění procesu zvolen jako ekonomicky nejvhodnější čisticí prostředek pod označením Z-fáze. Jednoznačně z tohoto výběru prostředků od firmy Novochem, který navíc umožňuje pasivaci povrchu po procesu čištění, která doposud byla prováděna jako samostatná následná operace. Vzhledem k patentovému krytí tohoto prostředku jej nevyrábí jiná firma nežli výše zmíněná (Novochem). Práce se dále zabývá optimalizací technologických parametrů při použití tohoto prostředku pro čištění vnitřních povrchů energetických soustav.

4.4 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 pro použití v energetice (z hlediska bezpečnosti a univerzálnosti).

4.5 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 9). Obsahuje katalyzátor glyoxal ($C_2H_2O_2$) a další složky určené pro rychlé odstranění korozních produktů, kotelního kamene a minerálů ve vnitřních prostorách 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 i funkci pasivační. V kontaktu s kovově čistým povrchem (po vyčištění korozní produktů, minerálních usazenin) se tento povrch i současně inhibičně pasivuje. Tak odpadá následná technologická operace pasivace povrchu. Na základě těchto informací a jejich ověření byl tento prostředek vyhodnocen jako nejúčinnější, a byl proto dále zkoumán a využit na konkrétní aplikace čištění vnitřních povrchů energetických a průmyslových zařízení.

Byly vyzorovány značné úspory energií. 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. 9 Základní složení čisticího 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

4.6 Návrh a konstrukce zařízení pro čištění vnitřních povrchů energetických soustav

Po zkušenostech s aplikacemi čištění vnitřních povrchů energetických zařízení a po konzultaci s odborníky, kteří se zabývají čerpadly, bylo navrženo a zkonstruováno prototypové čisticí a později provozní zařízení. Zařízení je mobilní, aby bylo možno jej dopravit k čištěnému zařízení. Použité čerpadlo je značky NIROSTAR z ušlechtilé (korozivzdorné) oceli, aby odolávalo chemikáliím, je vhodné především pro čerpání abrazivních i agresivních (korozivních) kapalin. Jako materiál oběžných kol byl použit ethylenpropylendienový kaučuk (EPDM), který je vhodný pro vysoké teploty, kyseliny a louhy a má velkou elasticitu i vynikající mechanickou odolnost. U čerpadla je umístěn frekvenční měnič, který umožňuje měnit rychlost proudícího čisticího prostředku. Čerpadlo je opatřené třícestným ventilem, aby bylo možno měnit směry toku čisticího prostředku. Nad čerpadlem s frekvenčním měničem je umístěna sběrná nádoba na čisticí prostředek. Frekvenční měnič umožňuje plynou regulace přidáváním či ubíráním otáček oběhového kola čerpadla. Dále umožňuje změnu směru cirkulace proudění čisticího prostředku (obousměrný provoz motoru), což je také velmi důležitý poznatek, který byl při konstrukci čisticího zařízení zohledněn. Sběrná nádoba může distribuovat a skladovat čisticí prostředek pomocí samospádu nebo je alternativně opatřena víkem a tlakovým ventilem, kdy je přítok do sběrné nádoby řešen tlakově. Navržené čerpadlo je schopno též přisávat vzduch, který přispívá ke změně charakteru procesu čištění v některých případech čištění.

Plynulé řízení otáček čerpadla pomocí frekvenčního měniče může též napomoci při dávkování přesné koncentrace čisticího prostředku. Optimálním výkonem čerpadla lze dosáhnout i dobré energetické účinnosti.

Výhody frekvenčního měniče:

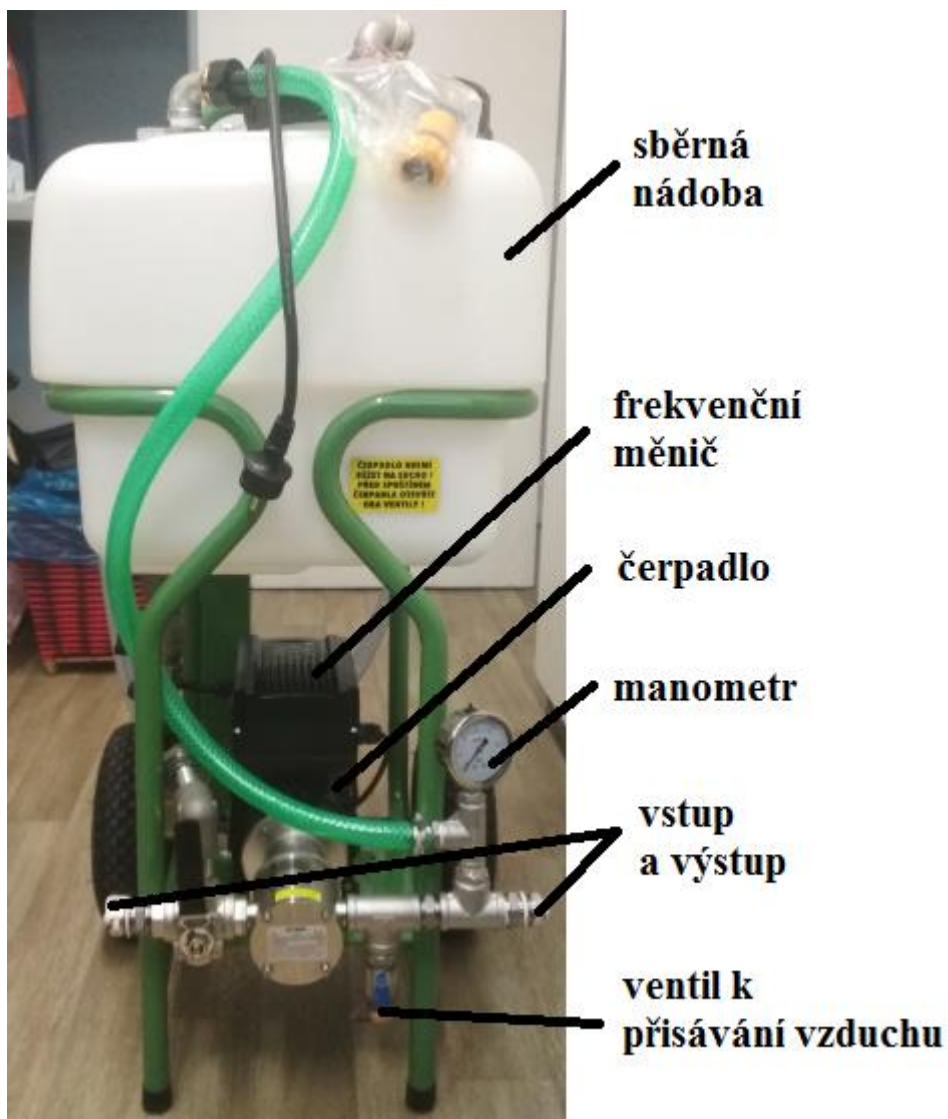
- obousměrný provoz motoru,
- ochrana proti přetížení,
- přesné ovládání otáček motoru a dobrá energetická účinnost.

Výhody čerpadel s oběžnými koly:

- samonasávání na sucho,
- bezpečné čerpání bez pulzací,
- nenáročná údržba a spolehlivost.

Obr. 10 Technické parametry motoru čerpadla.

Doporučený výkon motoru/převodník	0,37 až 0,55 kW/0,75 kW
Napětí/kmitočet	1 AC 200 V -10 % až 230 V +15 %, 50/60 Hz + -6 %
Napájecí proud	6,9 A
Jmenovitý výstupní proud při 230 V/4 kHz	3,9 A
Výstupní napětí	1 AC, 0 do síťového napětí
Výstupní kmitočet	0 až 400 Hz
Přetížení max. 60 s	150 %
Ochranná funkce	přepětí, přetížení, I2t, zkrat, teplota motoru, teplota měniče, proudová ochrana, protiblokovací systém
Doporučená síťová pojistka (pomalá)	10 A
Řízení procesu	volně nastavitelné PID regulátor
Rozměry (d x š x v)	180 x 110 x 130 mm
Okolní teplota	- 10 °C (bez kondenzace) až do 40 °C (50 °C s odlehčením)
Třída ochrany	IP 65



Obr. 31 Navržené a sestavené čisticí zařízení.

5 Aplikační část

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

5.1 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. 33 a 34) 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].



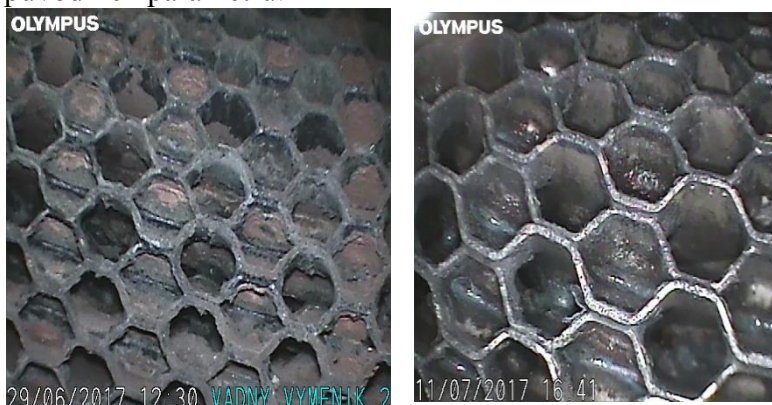
Obr. 32 Zapojení tepelného výměníku do čistícího okruhu [8A].



Obr. 33 Endoskopický snímek nejzanesenějšího místa vstupu primární strany výměníku [7A].

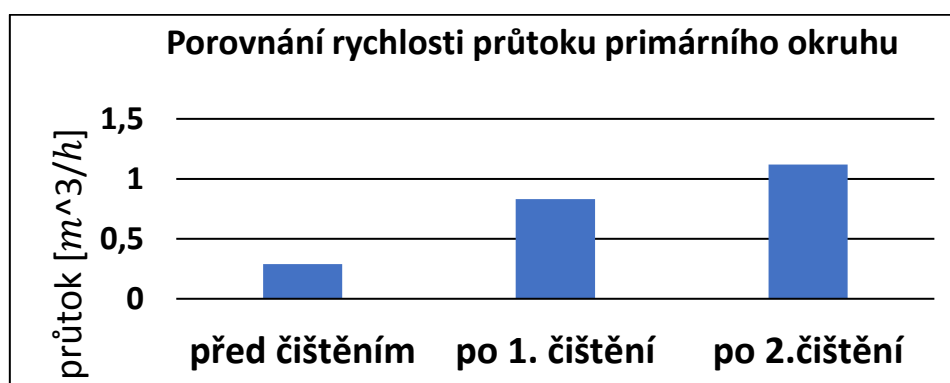
5.2 Vyhodnocení experimentů měření tepla– odstranění korozních produktů

Z obrázků 33 a 34 je patrné silné znečištění korozními produkty a následné vyčištění výměníku a obnovení jeho původních parametrů.



Obr. 34 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. 35 Porovnání průtoku primárního okruhu výměníku před a po chemickém čištění [6A].

Tab. 11 Doba ohřevu sekundární strany výměníku na teplotu 30 °C [7A].

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

5.3 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. 36) 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].

5.4 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. 36 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.

5.5 Čištění otopného kotle administrativní budovy

Cílem této práce jsou běžná otopná a chladicí zařízení i komunálního charakteru (administrativní budovy, školy, rodinné domy) je zde uvedena praktická aplikace čištění vnitřního povrchu otopného kotle o objemu 121 litrů, provozní parametry – tlak max. 6 barů, provozní teplota 65 – 70 °C, teplota max. 120 °C [20A].



Obr. 37 Fotografie čištěného kotle [1A, 12A].

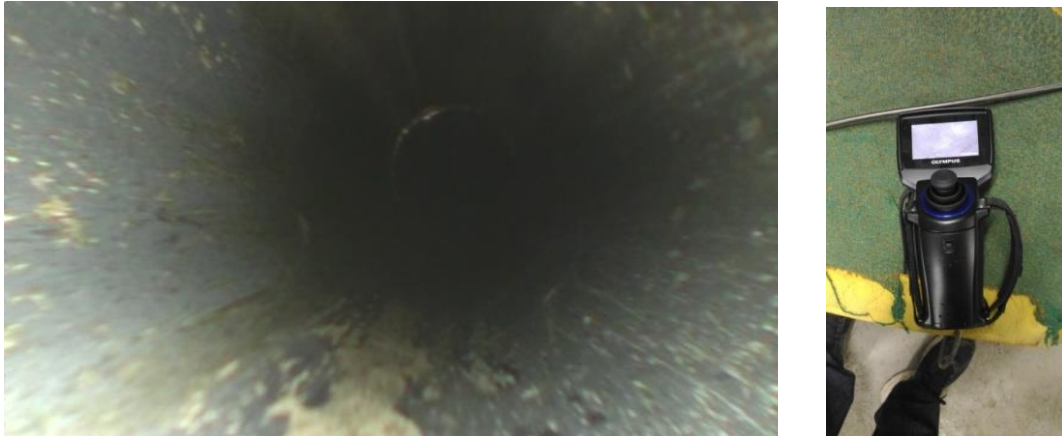
V tabulce 12 jsou naměřené hodnoty z procesu čištění čisticího prostředku a čas, při kterém byly tyto hodnoty měřeny. Hodnoty jsou měřeny jak na začátku, v průběhu a na konci čištění. Hodnota pH vody v kotli před čištěním byla 7,4.

Tab. 12 Tabulka času a hodnoty pH před, během a po čištění [1A, 12A].

Měření	Hodnota pH	Čas [min]	Poznámka
1	7,4	-	Před čištěním – hodnota pH vody v kotli
2	0,5	0	Začátek čištění – hodnota pH koncentrátu
3	0,7	7	Čištění intenzivní (dle parametrů teploty prostředku)
4	0,9	11	Čištění
5	1,0	21	Čištění
6	1,2	36	Čištění
7	1,3	46	Čištění
8	1,3	60	Čištění ukončeno (pH prostředku se nemění)
9	1,3	75	Konec čištění a proplach vodou

5.6 Vyhodnocení čistoty vnitřního povrchu otopného kotle

Po vyčištění kotle byla endoskopicky kontrolována čistota vnitřního povrchu. Z pořízených endoskopických snímků je patrné, že se vnitřní povrch otopného kotle povedlo vyčistit do kvality povrchu původní litinové struktury kotle před zanesením [21A].



Obr. 38 Endoskopický snímek po vyčištění otopného kotle, kde je vidět vyčištěný vnitřní povrch původní litinové kvality. Vpravo je detail průmyslového endoskopického videoskopu značky Olympus Série C [1A, 12A].

5.7 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 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. 39) [9A].

5.8 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.39 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].

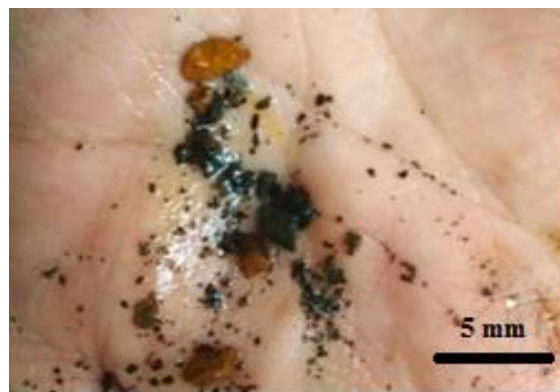
5.9 Příklad aplikace chemického čištění bez demontáže – čištění tvářecích válců

Příkladem takového provedení rychlého čištění je údržba zaneseného vnitřního povrchu hnětacích válců. Jedná se o zařízení určené ke zpracování plastů s velmi přesnou regulovanou teplotou pracovního povrchu válců - chlazením.



Obr. 40 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). Z obrázku 41 je patrný čistící efekt, resp. nečistoty odstraněné bez demontáže během čištění (obrázek vlevo). Obrázek vpravo ukazuje usazeniny zachycené filtrem [10A, 13A].



Obr. 41 Ukázka čištění a rozpuštění usazenin ve sběrné nádobě s čistícím prostředkem. Vpravo je ukázka hrubých nečistot zachycených filtrem v čistícím okruhu [10A, 13A].

Průběh čištění

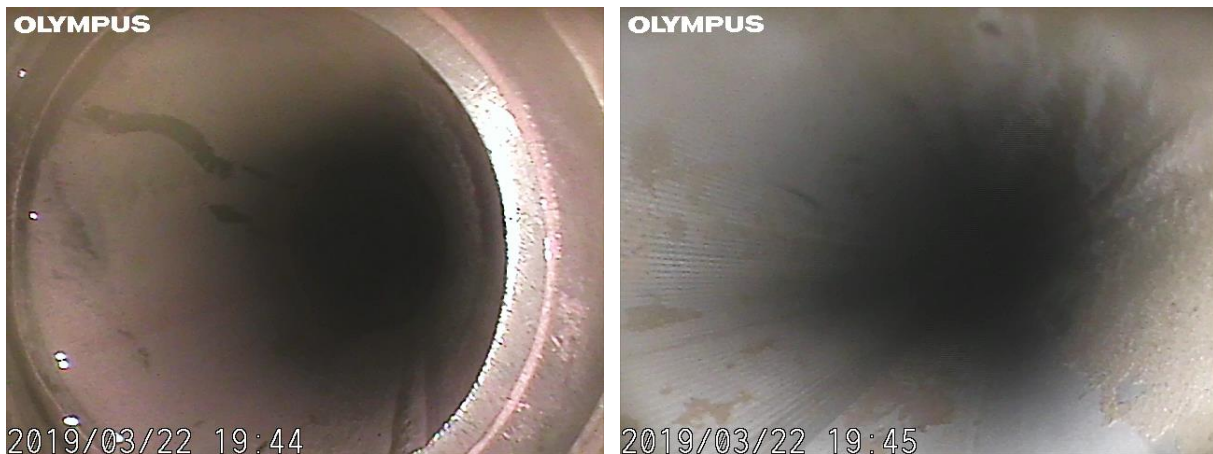
Jelikož používaný čisticí prostředek je na vodní bázi, pro sledování průběhu čištění je nutné mimo jiné sledovat vývoj hodnoty pH.

Tab. 13 Tabulka času a hodnot pH před, během a po čištění.

Průběh čištění – čas v minutách	Hodnota pH	Poznámka
0	-	Proplach horkou vodou 30 min z důvodu provozního podchlazení celého zařízení
25	1,68	Načerpáno 38 l čisticího prostředku
60	1,71	Změna toku čisticího média z důvodu velkého rozpuštění usazenin, muselo se odebrat cca 8 litrů prostředku.
80	1,72	
110	1,87	
140	1,9	
170	1,66	Z důvodu velkého množství usazenin bylo odčerpáno cca 30 litrů použitého čisticího prostředku a dočerpáno 15 litrů nového čisticího prostředku.
195	1,35	Dočerpáno 15 litrů nového čisticího prostředku.
210	1,35	Z důvodu konstrukčního řešení bylo provedeno pootočení čištěných tvářecích válců o půl otáčky válce, aby bylo zajištěno (ověřeno), že je čištěn celý povrch válce.
230	1,35	Nedochází ke změně pH.
265	1,35	
290	1,35	
325	1,35	Ukončeno čištění.
340	-	Proplach čistou vodou.
365	-	Konec proplachu čistou vodou.

5.10 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. 42 Ukázka vyčištění vnitřních povrchů chlazených válců pro tváření plastu znečištěných korozi a minerály [10A, 13A].

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

Je zde především prezentován nejen přístup k vyhledávání vhodného způsobu čištění, ale především ověření bezpečného způsobu vyčištění na základě ověření kvality čištěného povrchu konfokálním mikroskopem.

Sledovaný a čištěný chladič (Obr. 43) 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.

Tab. 14 Chemické složení austenitické korozivzdorné oceli DIN 1.4301.

C [%]	Si [%]	Mn [%]	Ni [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Cu [%]
max. 0,07	max. 1,5	max. 1,5	8 až 11	max. 0,04	max. 0,03	18 až 20	max. 0,5

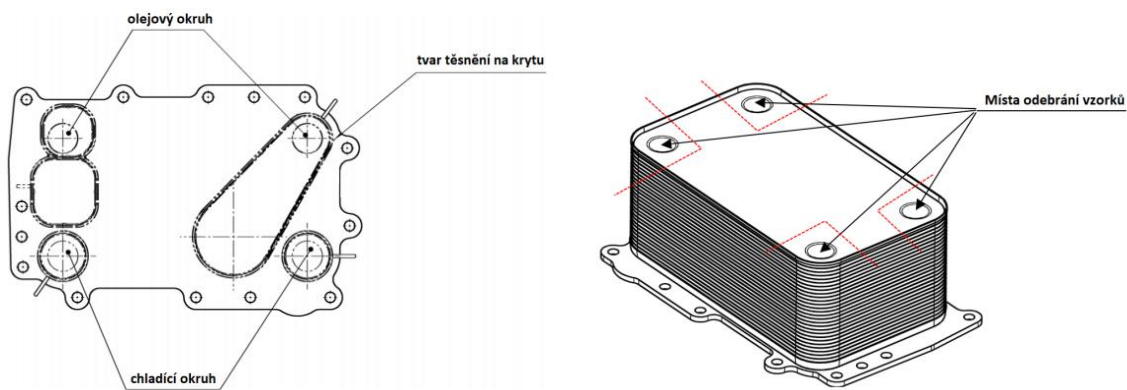
Mechanické vlastnosti:

Pevnost v tahu $R_m = 440 - 640$ MPa, smluvní mez kluzu $R_{p0,2} = 175$ MPa a tažnost $A = 30$ %.

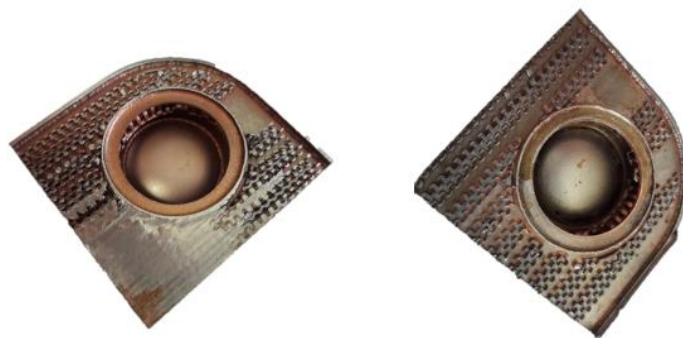
Obecně se korozivzdorné oceli vyznačují zvýšenou odolností proti korozi za atmosférických i zvýšených parametrů. Lze je rozdělit do skupin. Dle struktury na: feritické, austenitické

a martenzitické či dle chemického složení: na chromové, chromniklové a chrommanganové. O technologickém použití vhodné korozivzdorné oceli rozhodují její fyzikální a mechanické vlastnosti, především odolnost proti korozi v uvažovaném prostředí [5].

Je to austenitická korozivzdorná ocel, která má vynikající korozní odolnost v běžném prostředí (voda, městské i venkovské prostředí). Je dobře svařitelná i pájitelná všemi běžnými metodami a po svařování je odolná vůči mezikrystalové korozi. Po svařování není nutná tepelná úprava. Vzhledem k nízkému obsahu C má i dobrou obrobitelnost a tvařitelnost. Hlavní využití má v chemickém, potravinářském a farmaceutickém průmyslu pro výměníky, zásobníky, tlakové nádoby a další zařízení. Je hojně využívána tam, kde je materiál namáhán tepelným zatížením [68].



Obr. 43 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. 44 Ukázka dvou z odebraných vzorků [10A, 11A].

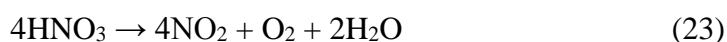
Na vnitřním povrchu odebraných vzorků je zřetelně vidět tenký měděný povlak (Obr. 44 a Obr. 46), který vznikl ve výrobě od pájení a který má být z povrchu chladiče vyčištěn. K čištění chladičů jako celku byla použita metoda čištění proplachem vhodným čistícím prostředkem, který nepoškozuje materiál čištěného chladiče [10A, 11A].

5.11.1 Návrh čistících prostředků

Chladič je nerozebíratelný. Jediná možnost, jak měď z vnitřních prostor odstranit, je chemickou cestou pomocí rozpouštění mědi. Měď je možné rozpouštět pomocí minerálních kyselin. Jako ušlechtilý kov ovšem nedokáže z kyseliny vytěsnit kationty vodíku. Pro rozpouštění je tedy nutné použít oxidační prostředí. Oxidující kyseliny, nebo neoxidující kyseliny s oxidačním činidlem. Jako oxidační činidlo může být použit například peroxid vodíku. Pro splnění úkolu vyčištění chladiče bylo navrženo několik různých směsí kyselin a chemických látek. Návrh těchto látek probíhal s ohledem na předpokládané možnosti odstranění mědi, vliv na obsluhu a životní prostředí i na finanční náklady čištění. V neposlední řadě byl brán v úvahu vliv dané čistící látky na materiál chladiče, tedy na kvalitu povrchu po procesu čištění materiálu tedy použité korozivzdorné oceli.

Kyselina dusičná

Kyselina dusičná (HNO_3) je velmi silná minerální kyselina. Čistá 100 % kyselina dusičná je bezbarvá kapalina s hustotou: $1,513 \text{ g/cm}^3$. Tuhne a vytváří bílé krystaly při teplotě $-42 \text{ }^\circ\text{C}$. K varu se dostává při teplotě $+83 \text{ }^\circ\text{C}$. Vystavená působení vzduchu a slunečnímu záření se rozkládá na kyslík, oxid dusičitý a vodu:



Oxid dusičitý se v kyselině dusičné následně znovu rozpouští a zabarvuje ji do žluta až červena. Díky tomu lze poznat stav a „čerstvost“ kyseliny. Při koncentraci přes 86 % kyselina vypouští do ovzduší bezbarvý až červenohnědý dým podle svého znečištění. Takováto kyselina je označována jako dýmavá. Kyselina dusičná o koncentraci 68,4 % a více vytváří s vodou azeotropickou směs. 1 l váží cca 1 400 g. Je nestálá a vytváří jedovatý plyn. Je velmi silným oxidačním činidlem. Kyselina dusičná ve většině případů neodštěpuje vodík při reakci s kovy, na rozdíl od většiny ostatních kyselin. Uvolňuje místo toho oxid dusíku, který zpříčiňuje její silné oxidační vlastnosti.

Některé kovy se při styku s koncentrovanou kyselinou dusičnou rozpouštějí. Při nízké koncentraci (4 – 5 %) ovšem kyselina dusičná vytvoří na povrchu těchto kovů ochrannou oxidickou vrstvu. Tento jev se označuje jako pasivace a je možné ho využít například u korozivzdorných ocelí.

V roztoku zředěné kyseliny dusičné je možné měď rozpouštět za vzniku roztoku dusičnanu měďnatého a uvolňování oxidu dusnatého.



Látka je klasifikována jako nebezpečná podle nařízení (ES) č.1272/2008.

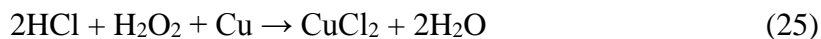
Kyselina chlorovodíková

Kyselina chlorovodíková (HCl), též nazývaná kyselina solná, patří mezi velmi silné kyseliny. Jde o vodný roztok plynného chlorovodíku. Čistá kyselina chlorovodíková je bezbarvá. Technická kyselina chlorovodíková má lehce nažloutlou barvu díky přítomnosti železitých iontů. Má ostrý štiplavý zápach. Tuhne při -30 °C a varu dosahuje při +110 °C. Dosahuje hmotnosti 1,19 g/cm³.

Reaguje s mnoha neušlechtilými kovy. Vznikají přitom chloridy. Nemá oxidační účinky ani ve velké koncentraci. Výpary způsobují velmi rychlou korozi kovů v jejich blízkosti. Výpary jsou toxické a leptají sliznice.

V průmyslu je nejčastěji kyselina chlorovodíková používána v její maximální 31 % koncentraci. Směs kyseliny chlorovodíkové a kyseliny dusičné v poměru 3:1 (nazývané lučavka královská) dokáže leptat kovy jako je zlato a platina.

V roztoku zředěné kyseliny chlorovodíkové měď nelze rozpouštět. Měď lze rozpouštět po přidání oxidačního činidla (nejběžněji peroxid vodíku), rychlost závisí na koncentraci kyseliny a poměru peroxidu vodíku. Koncentrovaná kyselina chlorovodíková měď také nerozpouští, ale po přidání oxidačních činidel probíhá rozpouštění velmi rychle za vzniku zeleného roztoku chloridu měďnatého.



Látka je klasifikována jako nebezpečná podle nařízení (ES) č.1272/2008 [69, 70, 71].

Persíran sodný

Nazývaný též leptací sulfát má chemickou značku Na₂S₂O₈. Uchovává se ve formě bílých vloček bez zápachu. Má maximální rozpustnost ve vodě 700 g/l. Používá se především jako leptadlo mědi v elektrotechnice. Výhoda jeho použití spočívá především v jeho rezistivitě vůči používaným lakům a maskovacím látkám při leptání plošných spojů. Používá se jako náhrada leptadla chloridu železitého. Na vyleptaném povrchu nezůstávají skvrny a samotný leptací proces je lépe pozorovatelný.

Optimální pracovní teplota persíranu sodného je 40 – 45 °C. Rychlost leptání souvislého povrchu mědi je při optimálních podmínkách 3 μm/min. Nedoporučuje se překračovat pracovní teplotu 54 °C. Nad 54 °C se roztok začíná rozkládat a zhoršují se jeho účinky. Roztok persíranu sodného s vodou má životnost 4 až 8 týdnů, záleží na znečištění mědi. Roztok se doporučuje namíchat v koncentraci 250 g práškového persíranu sodného do 1 l vody.

Látka je klasifikována jako nebezpečná podle nařízení (ES) č.1272/2008 [70, 71, 72].

5.11.2 Hodnocení kvality povrchu jednotlivých vzorků

Nejdůležitějším hodnotícím kritériem je výsledný stav povrchu materiálu chladiče po působení čistícího prostředku. Vzhledem k negativnímu působení chloridu železitého na korozivzdornou ocel bylo vyloučeno čištění chloridem železitým, který sice leptá měď a mohl by se k čištění od povlaku použít, ale korozivzdorná ocel je velmi náchylná na působení chloridů.

K tomuto účelu byl jako nejvhodnější vytipován konfokální mikroskop. Měření byla prováděna na konfokálním mikroskopu Olympus LEXT OLS 3000. Jedná se o konfokální laserový řádkovací mikroskop umožňující submikronové zobrazení povrchů materiálů o rozlišení až 0,1 μm . Dále umožňuje přesné 3D měření povrchu materiálu. Rozsah zvětšení od 120x až do 14 400x. Další výhodou je umístování měřených vzorků přímo na mikroskopický stolek bez potřeby použití vakua a povlakování. OLS 3000 disponuje laserovým paprskem o vlnové délce 408 nm. Základním snímacím principem tohoto mikroskopu je, že výsledný obraz tvoří bod po bodu řádkováním. Jsou tedy snímány jednotlivé řezy v rovině X-Y a posuv v ose Z. Každý pořízený snímek je tedy složen z mnoha řezů tvaru snímaného povrchu. Konfokální obrazy jsou vždy zaostřené v celém snímaném prostoru. Vytvářet 3D obrazy umožňuje systém skládání jednotlivých řezů s posuvem v ose Z [90].

Touto metodou sledování lze mimo kvality povrchu posoudit i bezpečnost provedeného čištění, resp. sledovat, zda nedošlo k poškození čištěného materiálu - naleptání.



Obr. 45 Konfokální mikroskop Olympus LEXT 3000 [73].

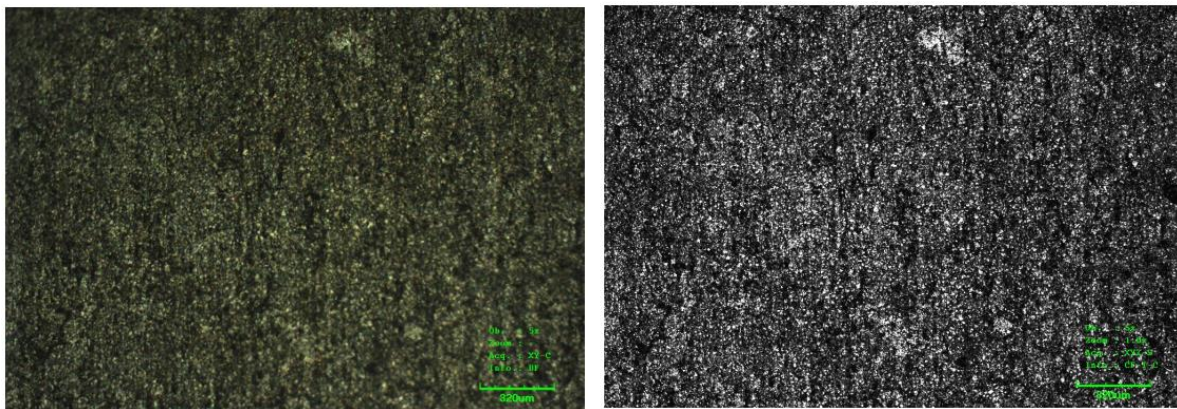
5.11.3 Referenční vzorek před čištěním

Na obr. 46 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.



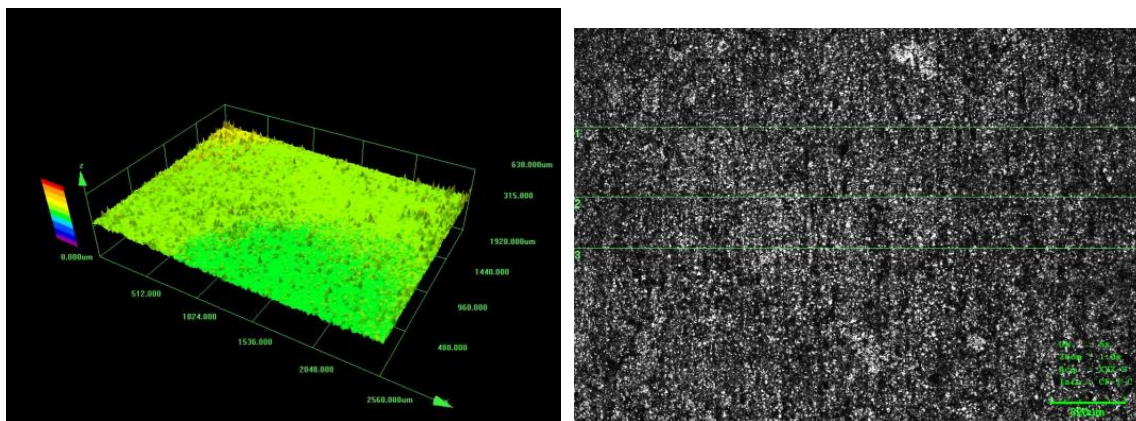
Obr. 46 Vzorek číslo 1 před vyčištěním [10A, 11A].

Struktura povrchu před čištěním je u všech vzorků stejná. Z konfokálního mikroskopu byly zhotoveny detailní snímky tohoto povrchu potaženého mědí. Na obr. 47 je barevný i černobílý snímek struktury povrchu s příslušným měřítkem.



Obr. 47 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. 48 je vidět 3D struktura drsnosti povrchu ve snímané oblasti vzorku [10A, 11A].



Obr. 48 Vlevo je 3D struktura drsnosti povrchu sledovaného vzorku před čištěním a vpravo označení míst, kde byla provedena měření hodnot drsností 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 tabulky 15 byly odebrány z míst označených zelenými čarami na Obr. 48.

Tab. 15 Naměřené hodnoty drsností 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

5.11.4 Výsledky analýzy vlivu jednotlivých čisticích prostředků

Použití vhodného i nevhodného čisticího prostředku k čištění vnitřního povrchu olejového chladiče od mědi je uvedeno v této kapitole. Samozřejmě musí být po čištění myšleno i na následnou pasivaci vnitřního povrchu chladiče.

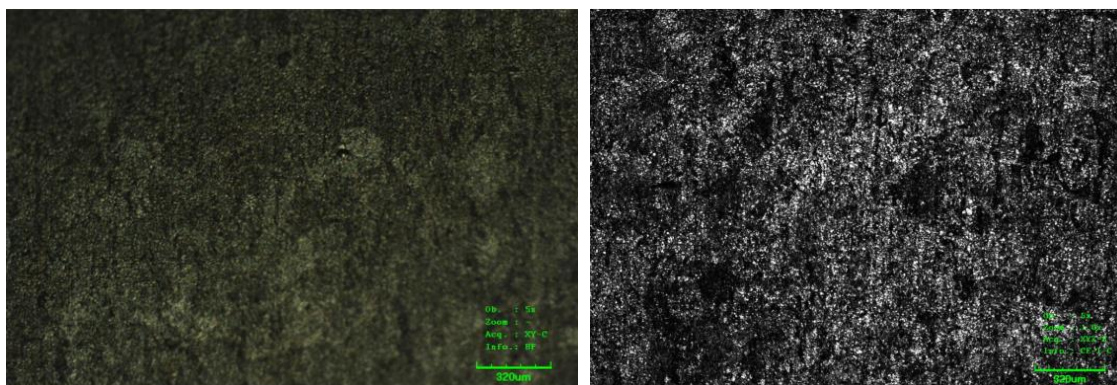
Vzorek čištěný kyselinou dusičnou

Na obr. 49 je znázorněn vzorek číslo 1 před a po vyčištění. Vzorek byl čištěn 20 % kyselinou dusičnou po dobu 20 minut.



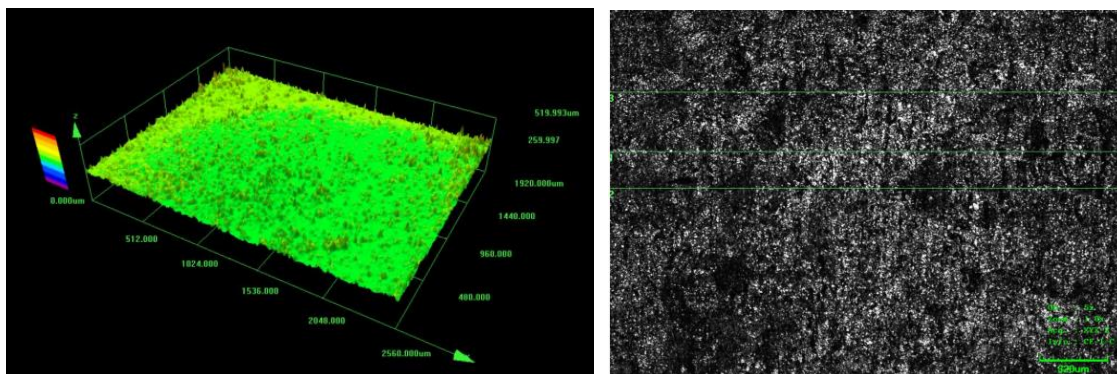
Obr. 49 Vlevo vzorek 1 před čištěním a vpravo po čištění [10A, 11A].

Vzorek 1 měl před čištěním hmotnost 75,034 g a po čištění 73,782 g. To je hmotnostní úbytek 2,252 g. Jak je možné vidět z obrázku 49 nepovedlo se vyčistit veškerou povrchovou měď a v dutinách ji zůstalo ještě více. Kyselina dusičná nebyla na odstranění mědi dostatečně účinná.



Obr. 50 Vlevo je barevný mikroskopický snímek struktury povrchu vzorku 1 po čištění a vpravo černobílý mikroskopický snímek struktury povrchu po čištění (měřítko na obrázku 320 µm) [10A, 11A].

Oproti snímku struktury nevyčištěného vzorku je tato struktura zřetelně jemnější a povrch není naleptán.



Obr. 51 Vlevo je 3D struktura drsnosti povrchu vzorku 1 po vyčištění a vpravo označení míst, kde byly odebrány hodnoty pro drsnost (měřítko na obrázku 320 µm) [10A, 11A].

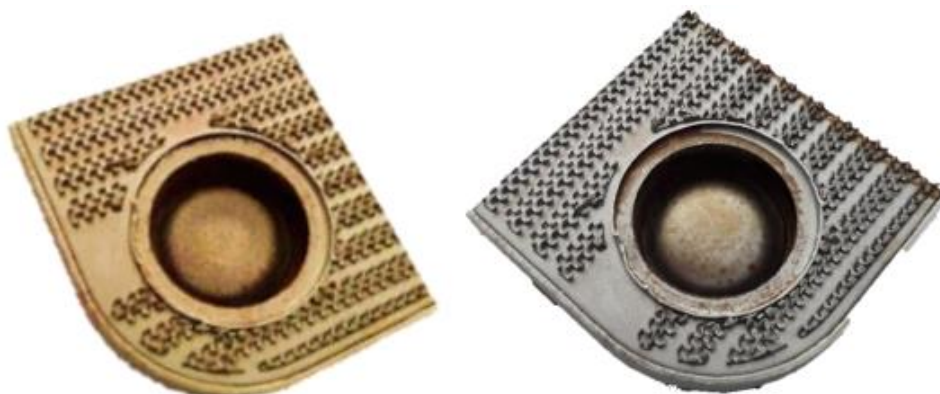
Tab. 13 Naměřené hodnoty drsnosti vzorku 1 po čištění. Naměřené hodnoty jsou v μm [10A, 11A].

měřená veličina		Rz	Ra
naměřené hodnoty	1	73,6164	8,7291
	2	62,3669	7,7208
	3	25,1795	4,5709

Hodnoty drsností vyčištěného vzorku číslo 1 se jen nepatrně liší od hodnot poměděného vzorku. Statisticky můžeme říci, že tento povrch je oproti poměděnému povrchu o něco drsnější [10A, 11A].

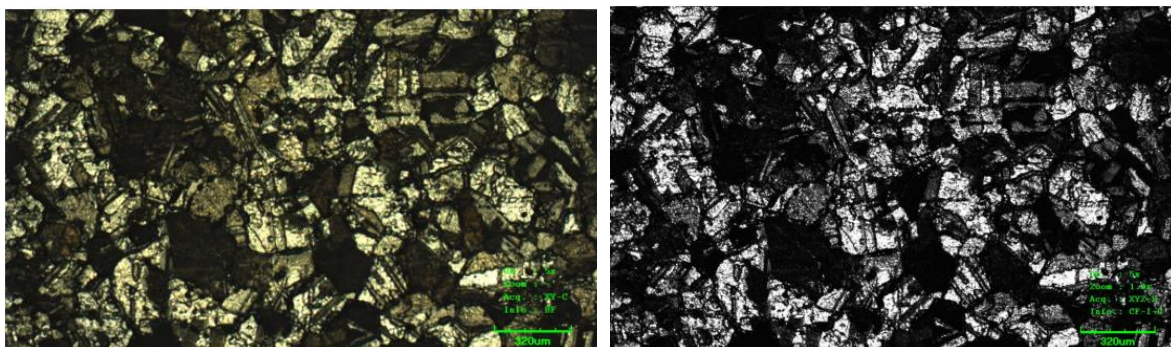
Vzorek čištěný směsí kyseliny chlorovodíkové s peroxidem vodíku a vody

Na obr. 52 je znázorněn vzorek číslo 2 před a po vyčištění. Vzorek byl čištěn směsí 31 % kyseliny chlorovodíkové, 30 % peroxidu vodíku a vody v poměru: 1:1:1 po dobu 20 minut.



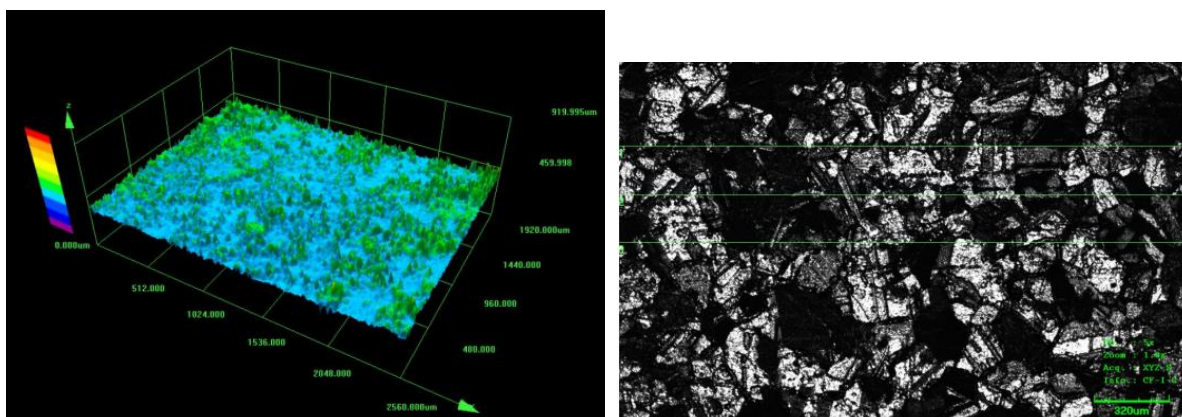
Obr. 52 Vlevo je vzorek 2 před čištěním, vpravo po chemickém čištění [10A, 11A].

Vzorek 2 měl před čištěním hmotnost 68,3 g a po čištění 62,725 g. To je hmotnostní úbytek 5,575 g. Jak je možné vidět z obr. 52 směs kyseliny chlorovodíkové s peroxidem vodíku byla na vyčištění veškeré mědi z povrchu vzorku dostatečně účinná. Vzorek začal ale bezprostředně po vyčištění korodovat. Opět se potvrdilo nevhodné použití chloridů na korozivzdorné oceli. Tato čistící směs byla pro materiál chladiče příliš agresivní.



Obr. 53 Vlevo je barevný mikroskopický snímek struktury povrchu vzorku 2 po čištění a vpravo černobílý mikroskopický snímek struktury povrchu po čištění (měřítko na obrázku 320 μm) [10A, 11A].

Na obou mikroskopických snímcích povrchu vzorku 2 po vyčištění (Obr. 53) lze zřetelně vidět naleptanou strukturu. Jsou vidět jednotlivá zrna základního materiálu chladiče. To je důvod okamžité koroze vyčištěného vzorku.



Obr. 54 Vlevo je 3D struktura drsnosti povrchu vzorku 2 po vyčištění a vpravo označení míst, kde byly odebrány hodnoty pro měření drsnosti (měřítko na obrázku 320 μm) [10A, 11A].

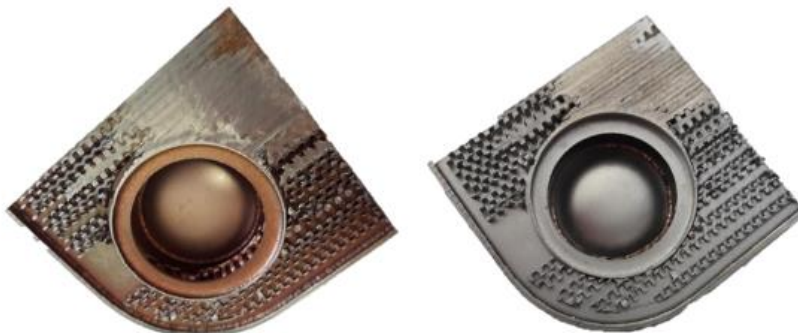
Tab. 16 Naměřené hodnoty drsnosti vzorku 2 po čištění. Naměřené hodnoty jsou v μm [10A, 11A].

měřená veličina		Rz	Ra
naměřené hodnoty	1	58,132	9,1178
	2	79,6253	13,4922
	3	155,613	9,8022

Hodnoty drsností vyčištěného vzorku číslo 2 se velice liší od hodnot poměděného vzorku. Povrch má po naleptání mnohem vyšší drsnost než povrch potažený mědí [10A, 11A].

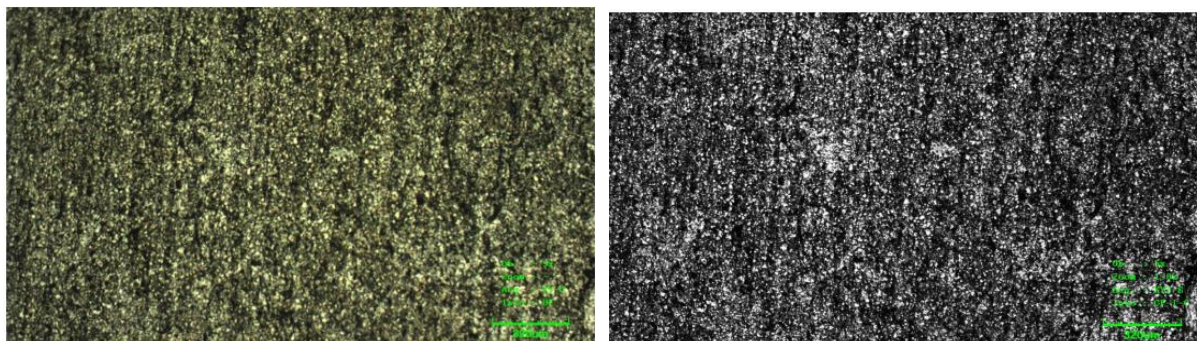
Vzorek čištěný směsí persíranu sodného s peroxidem vodíku

Na obr. 55 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.



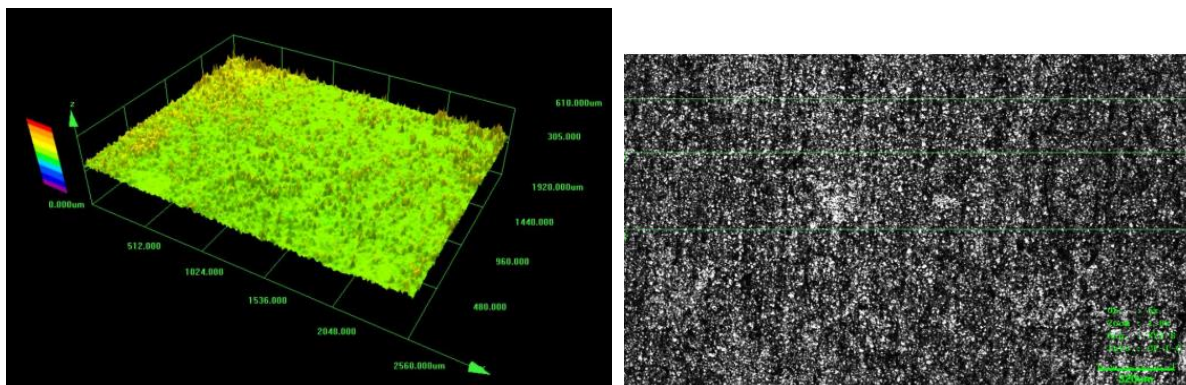
Obr. 55 Vlevo je vzorek 3 před čištěním, vpravo po čištění [10A, 11A].

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 55, 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. 56 Vlevo je barevný mikroskopický snímek struktury povrchu vzorku 3 po čištění a vpravo černobílý mikroskopický snímek struktury povrchu po čištění (měřítko 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. 57 Vlevo je 3D struktura drsnosti povrchu vzorku 3 po vyčištění a vpravo označení míst, kde byly odebrány hodnoty pro měření drsností (měřítko na obrázku 320 μm) [10A, 11A].

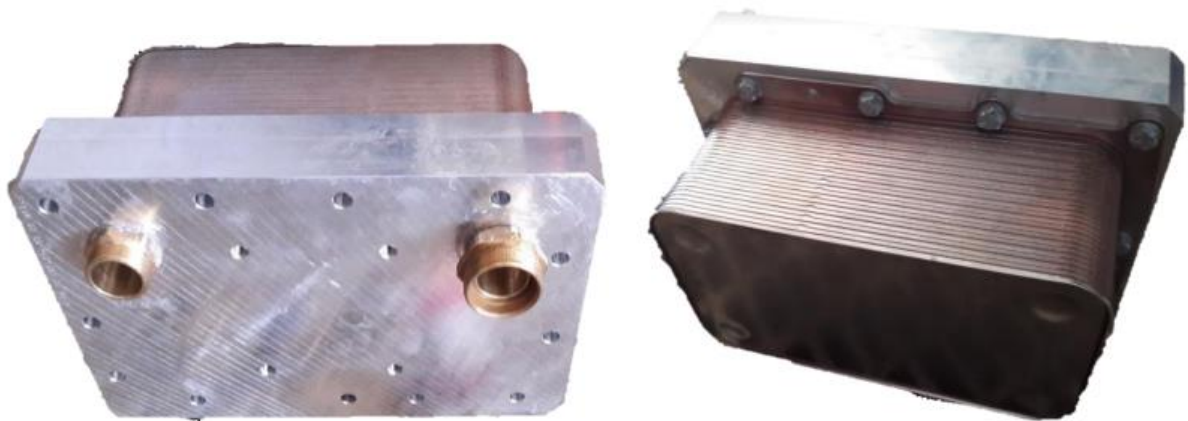
Tab. 17 Naměřené hodnoty drsnosti vzorku 3 po čištění. Naměřené hodnoty jsou v μm [10A, 11A].

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 zařízení

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. Čistící zařízení se musí skládat z okruhu s kolující směsí. Byla použita cirkulační metoda. Jako první je potřeba vyřešit problém, jak chladič připojit do okruhu. Tento problém byl vyřešen pomocí speciální na míru vyrobené příruby. Je potřeba vyčistit okruh pouze pro olejové médium.



Obr. 58 Příruba s namontovaným chladičem vlevo pohled zepředu a vpravo pohled zezadu.

Chladič byl k přírubě přišroubován šrouby a utěsněn pomocí pryžových těsnících kroužků mezi procházejícími otvory pro kolující médium. Veškeré komponenty potřebné od čerpacího okruhu byly připravené. Následovala tlaková a vodotěsná zkouška. Tato zkouška byla z důvodu bezpečnosti prováděna pouze s vodou a jednoduchým čerpadlem.



Obr. 59 Ukázka úspěšné zkoušky na těsnost celého čerpacího okruhu s vodou.

Jak je možné vidět na Obr. 59, tlaková zkouška proběhla úspěšně. Bylo tedy možné přistoupit k namíchání odzkoušené čistící směsi persíranu sodného s peroxidem vodíku a vodou ve stanoveném poměru.

Pro správný oběh kapaliny v čerpacím systému bylo zapotřebí 6 l obíhající kapaliny. Na 6 l vody bylo použito 1,5 kg persíranu sodného a 30 ml 30 % peroxidu vodíku. Jedná se o stejně koncentrovanou směs, jaká byla odzkoušena u zkušební vzorku, tedy 250 g persíranu sodného a 5 ml 30 % peroxidu vodíku na 1 l vody.

Namíchaná směs byla přečerpána do čerpacího okruhu a po spuštění časomíry začalo přečerpávání přes chladič. Směs se při reakci s nečistotami a mědí uvnitř přečerpávaného okruhu zahřála na pracovní teplotu cca 43 °C. Tato teplota je pro čistící schopnosti persíranu sodného optimální.

Po uplynutí stanoveného času 30 minut na proplachování směsi chladičem, byla směs odstavena. Následovalo přečerpávání čisté vody, tedy výplach. Po 5 minutách výplachu čistou vodou následovalo zapasivování slabě koncentrovanou kyselinou dusičnou. Pro správnou funkci přečerpávaného okruhu je zapotřebí kolování alespoň 6 l kapaliny.

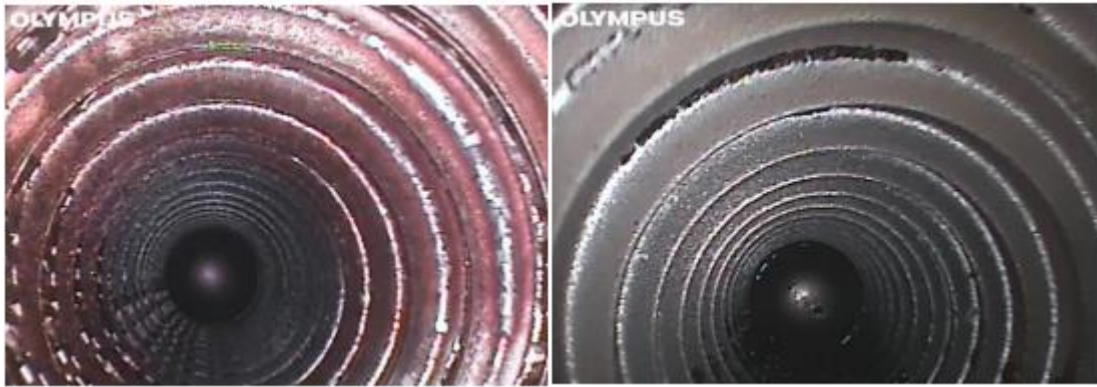
Do přečerpávacího okruhu byla přečerpána namíchaná slabá koncentrace 5 % kyseliny dusičné. Byl spuštěn měřič času a následně čerpadlo. Slabě koncentrovaná kyselina dusičná lehce reagovala se zbytky mědi uvnitř čištěného chladiče. Její pracovní teplota se zvedla oproti teplotě okolí jen o cca 1 °C. Po uplynutí 10 minut bylo přečerpávání zastaveno a následoval výplach. Výplach byl prováděn čistou vodou stejně jako po čištění směsí persíranu sodného a peroxidu vodíku. Trval stejnou dobu, tedy 5 minut. Přečerpávací soustava byla následně rozebrána a spolu s chladičem vyfoukána vzduchem a vysušena. Chladič byl zkontrolován endoskopem. Likvidace kapalných odpadů viz. kapitola 4.19 [10A, 11A].

5.11.5 Vyhodnocení čištěného povrchu chladiče odstranění mědi

Výsledky čištění vnitřních povrchů olejového okruhu chladicího zařízení jsou zobrazeny na obr. 61.



Obr. 60 Čištěný olejový chladič.



Obr. 61 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 i praktickém 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 a úspěšného vyčištění tohoto úkolu.

5.12 Čištění kapalných odpadů

Aplikací čistícího prostředku (např. typu Z-fáze) se z teplosměnných ploch a vnitřních potrubních rozvodů kotlů a výměníků uvolní vápenné usazeniny, oxidy a hydráty kovů, především železa, ale i např. mědi dle typu čištěného vnitřního povrchu a zanesení. Čistící prostředek Z-fáze, vyráběný firmou Novochem, je podle bezpečnostních listů klasifikován (jako každý průmyslový prostředek) jako nebezpečná směs podle Nařízení 1272/2008/ES (CLP) a je proto nutné odpady po jeho použití zneškodnit (viz kapitola 13 – Přílohy, část bezpečnostního listu), jakožto i veškeré jiné odpady po čištění vnitřních povrchů. Po vyčerpání čistícího prostředku vznikne kapalný odpad, tj. kyselý roztok (viz. kapitola 4.5), který kromě kyseliny chlorovodíkové obsahuje sole rozpuštěných kovů a nerozpuštěné látky. Kapalné odpady tohoto charakteru se běžně čistí pouze chemicky, úpravou hodnoty pH, při kterém se vysráží těžké kovy, ale organické látky obsažené v čistícím prostředku se prakticky neodstraní. Z ekologického hlediska by bylo proto žádoucí, aby takové kapalné odpady po chemickém čištění mohly být přiváděny na biologickou čistírnu, kde by došlo k odstranění přítomných organických látek biologickým dočištěním [74]. Společné čištění průmyslových odpadních vod se splaškovými vodami je nejlepší zárukou zneškodnění průmyslových odpadů, a tím i zachování čistoty toků. Cílem této části práce je proto experimentálně ověřit a případně

navrhnout dvoustupňový systém čištění, při kterém se v prvním stupni chemickým srážením odstraní pevné usazeniny a kovy a ve druhém stupni organické látky.

5.12.1 Chemické čištění

Při úpravě průmyslových odpadních vod se nejčastěji využívá acidobazická reakce – neutralizace. Reakcí mezi kyselinami a zásadami se ustavuje řada rovnováh určujících výsledné pH vody. Hodnota pH je hlavním faktorem pro chemické reakce probíhající ve vodách, např. při srážení kovů nebo rozpouštění sraženin. Při nižších hodnotách pH než 5 dochází k porušení biologické rovnováhy a zmenší se schopnost samočištění, což má negativní vliv na vodní flóru i faunu.

Pro posouzení čistícího efektu prostředku byl proveden zkušební test, kdy do čerstvě připraveného roztoku 1600 ml čistící lázně bylo zavěšeno 5 znečištěných vzorků ocelových trubek o délce 29 mm a průměru 33,4 mm a celkové hmotnosti 330,98 g. Průměrná tloušťka korozních produktů byla 6 až 7 mm. Lázeň měla teplotu 27,9 °C a byla intenzivně míchána při 300 ot/min. V závislosti na čase působení čistícího prostředku byly průběžně sledovány změny pH, koncentrace železa, viz Tab. 18.

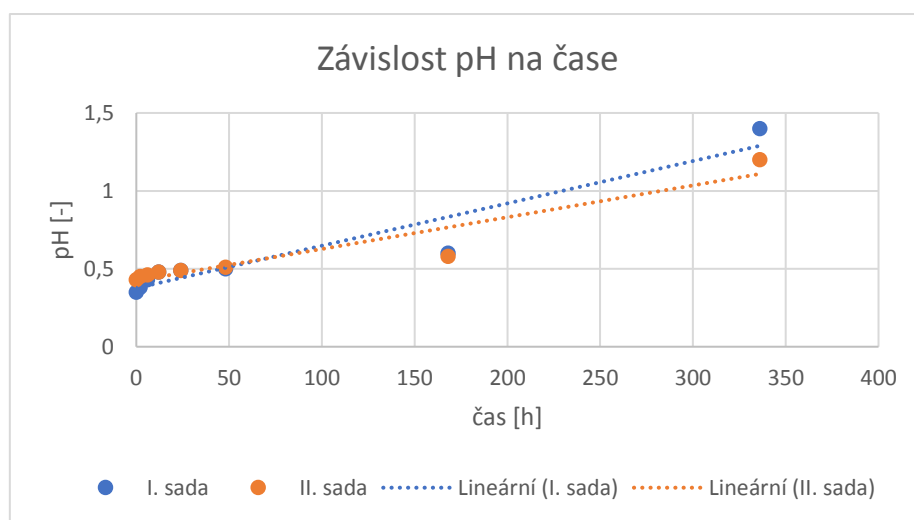
Tab. 18 Závislost hodnoty pH a železa na čase (získaná data zpracovány v grafech Obr. 62, 63, 64 a 65 jako I. sada) [14A].

Čistící prostředek Doba působení (h)	pH	Železo (g/l)
0	0,35	0,0019
2	0,38	0,81
6	0,43	1,28
12	0,48	1,88
24	0,49	2,88
48	0,50	4,39
168	0,60	9,91
336	1,40	19,1

S dobou působení se účinnost čištění postupně zpomalovala. Po 14 ti dnech expozice byl čistící efekt lázně již minimální a zkouška byla proto zastavena. Vzorky trubek byly čisté, bez zjevných usazenin. Vyčištěné trubky byly opět zváženy. Jejich celková hmotnost byla 289,70 g, v lázni se tedy rozpustilo 41,28 g usazených solí. Pro ověření reprodukovatelnosti výsledků měření, případně vyloučení chyb, byl proveden duplicitní zkušební test provedený za stejných podmínek, viz Tab. 19. Celková hmotnost vzorků trubek před čištěním byla 332,15 g, po jejich vyčištění 299,74 g. V čistící lázni se tudíž rozpustilo 32,41 g usazených solí.

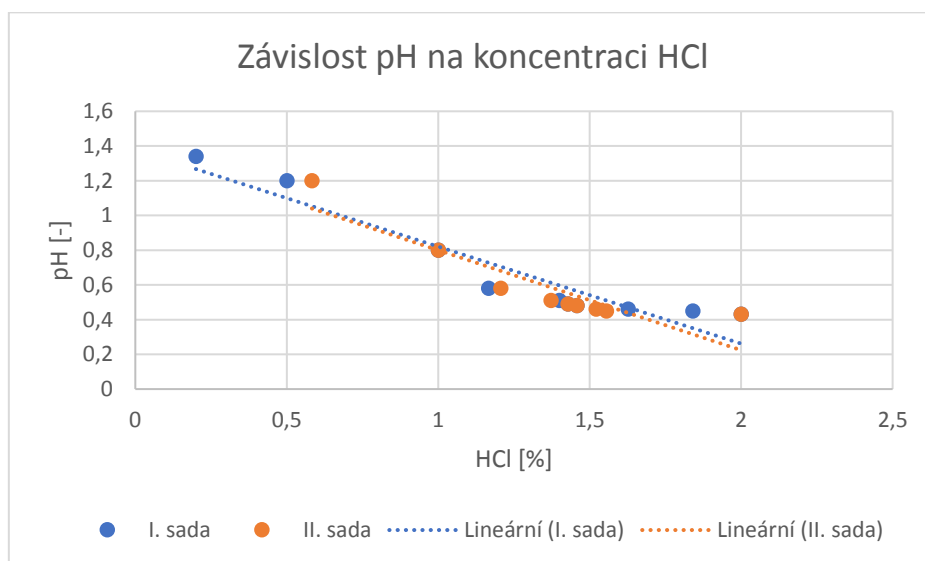
Tab. 19 Závislost hodnoty pH a železa na čase (v grafech Obr. 62, 63, 64 a 65 jako II. sada) [14A].

Čistící prostředek Doba působení (h)	pH	Železo (g/l)
0	0,43	0,0021
2	0,45	0,55
6	0,46	1,06
12	0,48	1,61
24	0,49	2,25
48	0,51	3,81
168	0,58	11,3
336	1,2	19,50



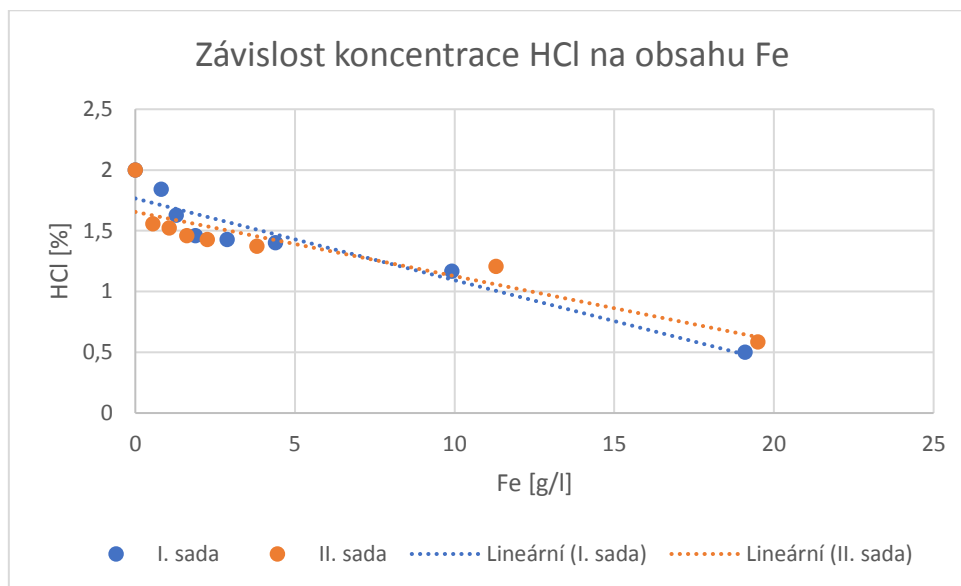
Obr. 62 Grafická závislost změny pH na čase.

Hodnota pH se s časem zvyšuje, snižuje se koncentrace kyseliny chlorovodíkové, čistící roztok se vyčerpává.



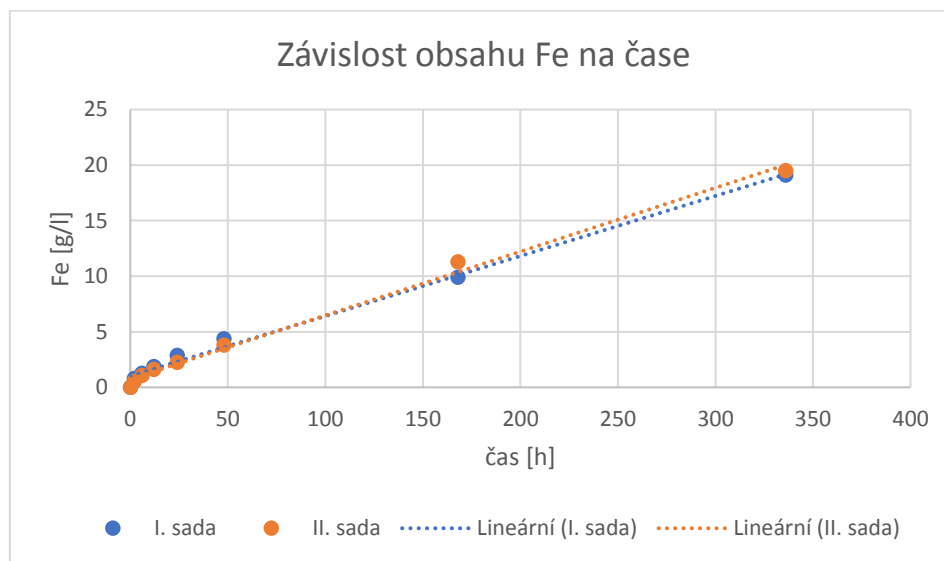
Obr. 63 Grafická závislost změny pH na koncentraci kyseliny chlorovodíkové v lázni.

Pokles koncentrace HCl a růst pH signalizuje vyčerpání čistícího prostředku v průběhu čištění.



Obr. 64 Grafická závislost změny koncentrace kyseliny chlorovodíkové v lázni na obsahu železa.

Z grafické závislosti je vidět průběh čištění, kdy většina korozních produktů železa byla rozpuštěna a došlo ke konci čištění.



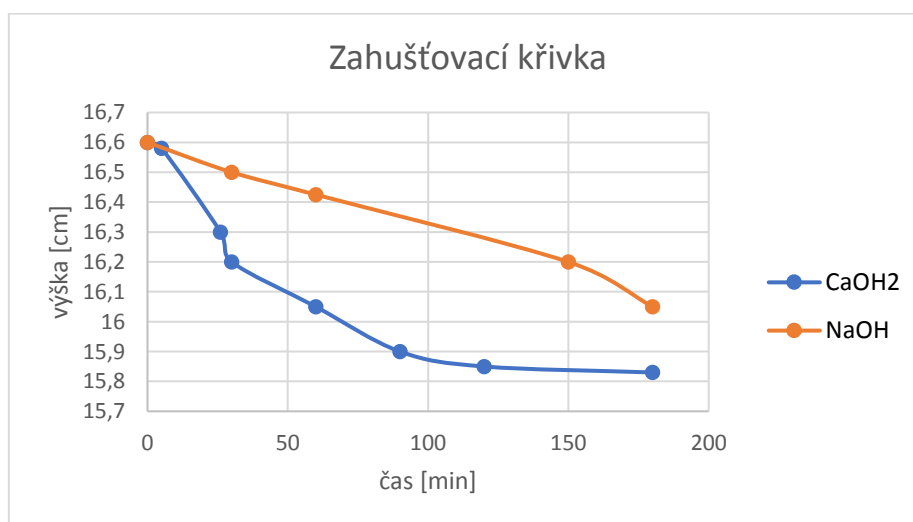
Obr. 65 Grafická závislost obsahu železa v lázni na čase.

Z předchozích testů je zřejmé, že po vyčerpání čistícího prostředku vznikne kyselý kapalný odpad s vysokým obsahem rozpuštěných solí, který se musí před vypuštěním do kanalizace upravit. Jako první stupeň čištění byla proto zvolena neutralizace. Zvýšením hodnoty pH v rozsahu hodnot 7 – 9 se z vodných roztoků vyloučí většina kovů v podobě kalů, které se potom oddělují např. sedimentací nebo filtrací [75, 76].

K neutralizaci byla použita dvě činidla. Hydroxid vápenatý, z něhož byla připravena vodná suspenze (tzv. vápenné mléko, která se obvykle připravuje jako 10 % roztok) a roztok hydroxidu sodného. Při použití vápenného mléka vzniká větší množství kalů, jsou to hlavně uhličitany a fosforečnan vápenatý a nerozpustné podíly, které jsou součástí činidla. Příprava roztoku hydroxidu sodného je jednodušší, při neutralizaci se tvoří méně kalu, protože sodné soli jsou rozpustnější než soli vápenaté. Vzniká však větší množství rozpustných sloučenin, takže vyčištěná odpadní voda obsahuje více solí.

Srážení hydroxidem vápenatým

400 ml vyčerpané kyselé lázně o pH 1,5 bylo vysráženo 20 % ní suspenzí vápenného mléka. Srážení probíhalo za neustálého míchání (300 ot/min.) a bylo ukončeno při dosažení pH 8,3. Přídavek vápenného mléka byl 80 ml. V průběhu srážení se tvořil tmavozelený a oranžový kal, který po odfiltrování a vysušení při 105 °C měl hmotnost 35,53 g. Sušina odsazeného kalu byla cca 7,8 %. Hydroxidy kovů mají poměrně velký objem a malou hmotnost. Tvoří cca 1 – 2 % objemu vodného roztoku a jejich hmotnost se velmi málo liší od hmotnosti vody. Vločky kalu nejsou ostře ohraničené proti prostředí, a proto klesají jen pomalu. Když množství suspendovaných látek v suspenzi vzrůstá, začne se při určité koncentraci vytvářet při usazování mezi kapalnou fází a vrstvou kalu rozhraní. Objem kalového sloupce se postupně zmenšuje, tj. dochází k zahušťování kalu. Pro navrhování usazovacích nádrží je třeba znát charakteristiku suspenze. Zahušťovací rychlost pro tuto suspenzi byla zjišťována ve skleněném odměrném válci, kde byl sledován pohyb rozhraní mezi kapalnou fází a vrstvou kalu v závislosti na čase [75, 80]. Zahušťování kalu v závislosti na čase během sedimentace je znázorněno v grafu Obr. 66.



Obr. 66 Zahušťovací křivka – červená čára závislost pro NaOH a modrá závislost pro Ca(OH)₂.

Srážení hydroxidem sodným

Za stejných podmínek bylo provedeno srážení 20 % ním roztokem hydroxidu sodného. Přídavek pro dosažení hodnoty pH 8,1 činil 80 ml. Kal po odfiltrování a vysušení při 105 °C měl hmotnost 35,10 g. Sušina odsazeného kalu je cca. 7,5 %. Při zahušťování kalu vysráženého hydroxidem sodným byla výška kalového rozhraní po 150 minutách stejná, jako výška zahušťovaného kalu vysráženého hydroxidem vápenatým dosažená po 30 minutách. Z praktického hlediska nemá zahušťování takového kalu význam. Zahušťování kalu je znázorněno v grafu Obr. 66.

Výsledky rozborů zneutralizovaného čistícího prostředku, po odfiltrování vysrážených kalů hydroxidem vápenatým a hydroxidem sodným, jsou uvedeny v Tab. 20.

Tab. 20 Výsledky rozborů zneutralizovaného čistícího prostředku č. 1 [14A].

Ukazatel (mg/l)	Srážení Ca (OH) ₂	Srážení NaOH
BSK ₅	7 300	6 500
CHSK _{Cr}	14 100	14 300
Chloridy	27 800	28 900
Fluoridy	552	398
Železo	45	185
RL ₁₀₅	11 156	10 193

5.12.2 Biologické čištění

Vyčerpaný čistící prostředek typu Z-fáze svým složením odpovídá kyselým průmyslovým odpadním vodám obsahující těžké kovy a organické látky. Největší podíl těžkých kovů, především železa, se odstraní v prvním stupni při chemickém čištění. Účelem druhého stupně čištění, biologického aktivačního procesu, je odstranění organických, biologicky rozložitelných netoxických, případně i toxických látek a další snížení obsahu železa nebo i jiných těžkých kovů.

Z poměru BSK₅ : CHSK_{Cr} lze odhadnout zastoupení biologicky rozložitelných látek. Čím je hodnota tohoto poměru vyšší, tím více biologicky snadno rozložitelných látek voda obsahuje. U odpadních vod obsahujících snadno biologicky rozložitelné látky se tento poměr pohybuje v rozmezí 0,5 až 0,75 [77]. Vzhledem k tomu, že tato podmínky byla splněna, viz Tab. 20, zjištěné hodnoty BSK₅ a CHSK_{Cr}, bylo provedeno poloprovozní testování biologického čištění již chemicky vyčištěného a odsazeného vzorku čistícího prostředku (č.1), při kterém byl zjišťován vliv prostředku na čistírenský aktivovaný kal [78].

Provedení testu:

Vzhledem k dosaženým lepším hodnotám ukazatelů byl k testu použit zneutralizovaný čisticí prostředek (č.2) hydroxidem vápenatým na hodnotu pH 8,0 po následném odfiltrování vysrážených kalů. Výsledky rozborů jsou uvedeny v Tab. 21.

Tab. 21 Výsledky rozborů zneutralizovaného čisticího prostředku č.2 [14A].

Ukazatel (mg/l)	Srážení Ca (OH) ₂	Srážení NaOH
BSK ₅	7 700	6 800
CHSK _{Cr}	14 200	14 500
Chloridy	16 000	17 300
Fluoridy	723	648
Železo	72,1	260
RL ₁₀₅	10 025	8 647

Vzorky aktivovaného kalu z Ústřední čistírny odpadních vod (ÚČOV Praha) byly smíchány s definovanými objemy zneutralizovaného čisticího roztoku. Po promíchání a 30 min sedimentaci a následně po 24 hod provzdušňování byly předány k analytickému a biologickému rozboru. Pro poloprovozní testování byl zvolen objem 2 l směsi aktivovaného kalu z aktivační nádrže pražské čistírny odpadních vod.

První poloprovozní testování spočívalo v nahrazení 1 000 ml supernatantu za 1 000 ml čisticího roztoku. Do dvou kádinek o objemu 2 l byly paralelně připraveny vzorky aktivovaného kalu. Po 30 min sedimentaci bylo v kádinkách 500 ml/l aktivovaného kalu. Následně bylo odpipetováno 1 000 ml supernatantu, které bylo nahrazeno stejným objemem čisticího roztoku.

Ihned po zahájení provzdušňování došlo k výskytu biologické pěny na hladině. Vločky kalu byly viditelně rozpadlé a mikroorganismy nevykazovaly známky života. Druhé poloprovozní testování bylo provedeno nahrazením 100 ml supernatantu za 100 ml čisticího roztoku. Do dvou kádinek o objemu 2 l byly paralelně připraveny vzorky aktivovaného kalu z čistírny odpadních vod. Po 30 min sedimentaci bylo v kádinkách 600 ml/l aktivovaného kalu.

Po zahájení provzdušňování došlo k výskytu biologické pěny na hladině. Vločky kalu byly viditelně rozpadlé. Vzorek supernatantu byl světle rezavý s chemickým zápachem a rovněž nevykazoval známky života.

Třetí poloprovozní testování bylo provedeno nahrazením 10 ml supernatantu za 10 ml čisticího roztoku. Do dvou kádinek o objemu 2 l byly paralelně připraveny vzorky aktivovaného kalu

z pražské čistírny odpadních vod. Po 30 min sedimentaci bylo v kádinkách 650 ml/l aktivovaného kalu.

Po zahájení provzdušňování nedošlo k výskytu biologické pěny na hladině. Vločky kalu zůstaly vizuálně beze změny. Vzorky pro chemické analýzy byly odebrány po promísení a 30 min sedimentaci a následně po 24 hod provzdušňování.

Tab. 22 Výsledky rozborů čistícího prostředku s aktivovaným kalem.

Vzorek	pH	Vodivost (mS/m)	CHSK _{Cr} (mg/l)	BSK ₅ (mg/l)	N-NH ₄ ⁺ (mg/l)	Pcelk (mg/l)	Chloridy (mg/l)	Železo (mg/l)	RL (105 °C) (mg/l)
Supernatant před zahájením testování	6,9	106,8	43,0	20,0	6,41	1,09	121	0,044	–
Supernatant s 10 ml čistícího roztoku po 30min provzdušňování	7,0	132,4	119	49,0	5,29	2,75	208	1,10	–
Supernatant s 10 ml čistícího roztoku po 24hod provzdušňování	7,6	131,7	63,0	23,0	0,089	1,13	219	0,129	1 000

Poznámka: Supernatant = odsazená voda aktivovaného kalu (po promísení a 30 min sedimentaci).

6 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 je součástí čisticího prostředku a který funguje jako katalyzátor, a tak zrychluje čisticí reakce a zároveň jako inhibitor, který po vyčištění od úsad čistý povrch přímo pasivuje.

Navržený bodový technologický postup čištění:

- Endoskopická kontrola vnitřních povrchů před čištěním a analýza typu usazenin
- Příprava čisticího prostředku (roztoku)
- Aplikace čisticího roztoku do čištěného zařízení
- Cirkulace roztoku, popř. přísávání vzduchu do soustavy a změna směru cirkulace
- Průběžná kontrola parametrů čisticího roztoku (chemické složení, pH roztoku, teplota)
- Vyčerpání roztoku ze soustavy
- Proplach soustavy
- Endoskopická kontrola vnitřních povrchů po vyčištění
- Ekologická likvidace použitého roztoku a vyčištěných nečistot – neutralizace a biologické čištění

Navržený optimalizovaný technologický postup se liší, od jiných doposud používaných postupů, několika důležitými body, jimiž zrychluje proces čištění vnitřních povrchů energetických zařízení a soustav. Jsou jimi přísávání vzduchu a změna směru cirkulace prostředku, které přispívají k urychlení čisticího procesu. Dále při vhodně zvoleném čisticím prostředku je technologická operace pasivace součástí procesu a odpadají tak další operace jako je neutralizace, proplach, pasivace, což opět zrychluje proces čištění.

Jako základ pro čisticí prostředky s aplikacemi pro energetické systémy a průmyslová otopná a chladicí zařízení se jeví v současnosti nejvhodnější koncentráty s obsahem inhibitoru glyoxal (např. Z-fáze).

7 Souhrn výsledků a diskuze

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 [43, 49, 86].

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 čisticí média, která 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 [86, 89].

V práci byl optimalizován technologický postup čištění vnitřních povrchů používaných při čištění otopných a chladicích zařízení, který je doposud celosvětově používán (např. firmou Sentinel Performance Solutions Ltd) a který je i popsán ve zdrojích [87, 88, 91, 92]. 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 [86, 89, 93].

Nový optimalizovaný způsob čištění, prezentovaný v práci, umožňuje čisticí process realizovat bez mechanického dočištění, jak tomu uvádí Merrick [40], pouze řízený obsahem a koncentrací složení čisticího prostředku.

Chemické čištění odpadů

Vyčerpaná čisticí lázeň obsahovala velké množství železa (rozpuštěná rez), viz Tab. 18 a Tab. 19. 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 [77, 79]. Oproti tomu se Fe^{3+} začíná srážet již při pH 2,8 a při pH nad 3,5 se kvantitativně vysráží. Hartinger [79], 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 čisticí lázně na hodnotu pH 8 se po 14 ti dnech snížilo pH na 6,1. Z uvedených výsledků (Tab. 20, Tab. 21) je patrné, že k lepšímu vysrážení železa dojde při použití hydroxidu 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 [75]. 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. Na zahušťovací křivce lze pozorovat 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 byly stanoveny souřadnice pro bod A [5; 16,58] a B [26; 16,3].

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

Zahušťovací rychlost pro suspenzi vysráženou hydroxidem sodným je dána vztahem:

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

$$u_{\text{NaOH}} = \frac{HA-HB}{tB-tA} = \frac{16,58-16,43}{60-3} = 2,63 \times 10^{-3} \text{ cm/min} = 1,58 \times 10^{-3} \text{ m/h} \quad (27)$$

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 [75, 80]. Vzhledem k tomu, že po aplikaci vodného čistícího 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 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 čistícího 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), 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 [81]. 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 [82]. 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 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). 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 odpadních vod přitékajících na komunální čistírny vždy snadno dosažitelná. Za těchto okolností je proto společné čištění chemicky předčištěných kapalných odpadů čistícího prostředku Z-fáze s komunálními odpadními vodami účinným a ekologicky výhodným způsobem.

8 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 pracích 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, 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.

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 chladicích typu voda-vodík generátoru 1 000 MW.

Získaných poznatků při zkoumání způsobu čištění v laboratorních i průmyslových podmínkách bylo využito k návrhu a sestavení čisticího zařízení 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.

9 Splnění cílů disertační práce

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

Hlavním cílem práce (kapitoly 3) 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. přisávání 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). Na vybraných strojírenských 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].

Cíl byl splněn.

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 – 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 čistícího 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 prisávání vzduchu a změna toku čistícího média.

Po vyzkoušení metodiky v laboratorních podmínkách i na energetických zařízeních byla tato metodika aplikována přímo v praxi např. na chladicím 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

Při klasických obecně využívaných metodách čištění vnitřních povrchů otopných 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. 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. 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.

10 Shrnutí a 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 eventuálním 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.

11 Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] GHOLIVAND, K., KHOSRAVI, M., HOSSEINI S.G., FATHOLLAHI, M. A novel surface cleaning method for chemical removal of fouling lead layer from chromium surfaces. *Applied Surface Science* [online]. 2010, 256(24), 7457-7461 [cit.2016-09-09]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/229198933_A_novel_surface_cleaning_method_for_chemical_removal_of_fouling_lead_layer_from_chromium_surfaces
- [2] ČERVINKOVÁ, J. IEA: Key World Energy Statistics 2018: Energetika v zahraničí. *OENERGETICE.CZ* [online]. 2019 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/zahranicni/iea-key-world-energy-statistics-2018>
- [3] Rozdělení korozivzdorných materiálů. [online]. [cit. 2016-09-09]. Dostupné z: http://umi.fs.cvut.cz/files/01_kkm_rodeleni_korozivzdornych_materialu.pdf
- [4] Vysokolegované chromové oceli [online]. [cit. 2018-10-11]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=28725_47
- [5] ČÍHAL, V. Korozivzdorné oceli a slitiny. 1. vyd. Praha: Academia, 1999, 437 s. ISBN 80-200-0671-0.
- [6] OTÁHAL, V. *Problematika čištění energetických zařízení*. Odborný seminář FS ČVUT v Praze. Čištění otopných a energetických zařízení. 13.4.2016.
- [7] HÁK, V., ČERVENÝ, J. Projektování plastů, Základní informace k projektování plastů, třídní kurz pracovníků CADPRO s.r.o., ČVUT v Praze – FS. V Praze prosinec 2011.
- [8] HRANOŠ, P. *Stroje a zařízení v chemickém průmyslu: studijní text pro SPŠCH.*, vydáno v nakladatelství Pavel Klouda., 2001. ISBN 80-902155-7-2.
- [9] World Energy Outlook 2018. *The gold standard of energy analysis. Fuels*. [online]. [cit. 2018-03-16]. Dostupné z: <https://www.iea.org/weo2018/fuels/>
- [10] GROYSMAN, A. *Corrosion for everybody*. New York: Springer, c2010. ISBN isbn978-90-481-3476-2.
- [11] Engineering ToolBox, (2003). *Overall Heat Transfer Coefficients for Fluids – Heat Exchanger Surface Combinations*. [online]. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: https://www.engineeringtoolbox.com/overall-heat-transfer-coefficients-d_284.html
- [12] 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>
- [13] ŠKAROHLÍD, J., BENEŠOVÁ, B., PREHRADNÁ, J. *Vliv zanášení trubek na přestup tepla*. Odborný seminář FS ČVUT v Praze. Čištění otopných a energetických zařízení. 15.11.2016.
- [14] 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>
- [15] CRITTENDEN, B. D., KOLACKZKOWSKI, S. T., PHILLIPS, D. Z. (1999). Chemical reaction fouling. In: BOTT, T. R., MELO, L. F., PANCHAL, C. B., SOMERSCALES, E. F. C., (eds.), *Understanding Heat Exchanger Fouling and Its Mitigation*, Castelveccchio Pascoli, Lucca, Italy, 11-16 May 1997. Begell House Inc., New York, pp. 91–103.
- [16] BOTT, T. R. (1988a). Crystallisation fouling - basic science and models. In: MELO, L. F., BOTT, T. R., BERNARDO, C. A. (eds.), *Fouling Science and Technology*, NATO Science Series: E, Alvor, Portugal, 18-30 May 1987. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 251–260.
- [17] 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>
- [18] PÄÄKKÖNEN, T. M., RIHIMÄKI, M., SIMONSON, C. J., MUURINEN E., KEISKI, R.L. *Modeling CaCO₃ crystallization fouling on a heat exchanger surface – Definition of fouling layer properties and model parameters*. International Journal of Heat and Mass Transfer Volume 83, April 2015, Pages 84-98.
- [19] ALBERT, F., AUGUSTIN, W., SCHOLL, S. *Roughness and constriction effects on heat transfer in crystallization fouling*. Chemical Engineering Science. Volume 66, Issue 3, 1 February 2011, Pages 499-509

- [20] ZHAO X., CHEN, X. D. (2013). *A Critical Review of Basic Crystallography to Salt Crystallization Fouling in Heat Exchangers*, *Heat Transfer Engineering*, 34:8-9, 719-732, DOI: 10.1080/01457632.2012.739482
- [21] HASSON, D. (1981). Precipitation fouling. In: SOMERSCALES, E. F. C. and KNUDSEN, J. G. (eds.), *Fouling of Heat Transfer Equipment*, Troy, NY (USA), 13-17 August 1979. Hemisphere, Washington, pp. 527–568.
- [22] *Heat Transfer Research*, Inc. [online]. Navasota, Texas 77868, USA: HTRI, 2017 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://www.htri.net/>
- [23] 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.
- [24] YIANTSIOS, S. G., ANDRITSOS, N., KARABELAS, A. J. (1997). Modeling heat exchanger fouling: current status, problems and prospects. In: PANCHAL, C. B., BOTT, T. R., SOMERSCALES, E. F. C. and TOYAMA, S. (eds.), *Fouling Mitigation of Industrial Heat-Exchange Equipment*, San Luis Obispo, California (USA), 18-23 June 1995. Begell House Inc., New York, pp. 337–351.
- [25] Types of Fouling In Heat Exchangers. *Chemical Process Engineering & Simulation*. 2018. Dostupné z: https://chempds.blogspot.com/2018/12/types-of-fouling-in-heat-exchangers_18.html
- [26] EPSTEIN, N. (1988b). Particulate fouling of heat transfer surfaces: mechanism and models. In: L. F. Melo, T. R. Bott, and C. A. Bernardo (eds.), *Fouling Science and Technology*, NATO Science Series: E, Alvor, Portugal, 18-30 May 1987. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 143–164.
- [27] GUDMUNDSSON, J. S. (1981). Particulate fouling. In: SOMERSCALES, E. F. C. and KNUDSEN, J. G. (eds.), *Fouling of Heat Transfer Equipment*, Troy, NY (USA), 13-17 August 1979. Hemisphere, Washington, pp. 357–387.
- [28] KARABELAS, A. J., YIANTSIOS, S. G., THONON, B., GRILLOT, J. M. (1997). Liquid-side fouling of heat exchangers. an integrated R&D approach for conventional and novel designs. *Appl. Therm. Eng.*, 17(8-10), 727–737.
- [29] LISTER, D. H. (1981). Corrosion products in power generating systems. In: SOMERSCALES, E. F. C. and KNUDSEN, J. G. (eds.), *Fouling of Heat Transfer Equipment*, Troy, NY (USA), 13-17 August 1979. Hemisphere, Washington, pp. 135–200.

- [30] SOMERSCALES, E. F. C. (1997). Corrosion fouling. *Exp. Therm Fluid Sci.*, 14, 335–355.
- [31] SOMERSCALES, E. F. C. (1999). Mitigation of corrosion fouling. In: BOTT, T. R., MELO, L. F., PANCHAL, C. B. and SOMERSCALES, E. F. C. (eds.), *Understanding Heat Exchanger Fouling and Its Mitigation*, Castelvechio Pascoli, Lucca, Italy, 11-16 May 1997. Begell House Inc., New York, pp. 23–53
- [32] BRENNER, O. *Vysokoteplotní koroze*. Celoživotní vzdělávání na ČVUT v Praze. Dvousemestrové stadium. Korozní inženýr. 2014.
- [33] WATKINSON, A. P. (1988). Critical review of organic fluid fouling. *Technical report*, Argonne National Laboratory.
- [34] WATKINSON, A. P., WILSON, D. I. (1997). Chemical reaction fouling: A review. *Exp. Therm Fluid Sci.*, 14(4), 361–374
- [35] KENT, C. A. (1988). Biological fouling: basic science and models. In: MELO, L. F., BOTT, T. R. and BERNARDO, C. A. (eds.), *Fouling Science and Technology*, NATO Science Series: E, Alvor, Portugal, 18-30 May 1987. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 207–222.
- [36] MELO, L. F. (1999). An overview of biofouling from basic science to mitigation. In: BOTT, T. R., MELO, L. F., PANCHAL, C. B. and SOMERSCALES, E. F. C. (eds.), *Understanding Heat Exchanger Fouling and Its Mitigation*, Castelvechio Pascoli, Lucca, Italy, 11-16 May 1997. Begell House Inc., New York, pp. 55–66.
- [37] HABIB, B., FARID, M. Heat transfer and operating conditions for freeze concentration in a liquid–solid fluidized bed heat exchanger. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. Volume 45, Issue 8, August 2006, Pages 698-710. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.cep.2006.02.006>
- [38] RAO, T. S., KORA, A. J., CHANDRAMOHAN, P., PANIGRAHI, B. S., NARASIMHAN, S. V. (2009) Biofouling and microbial corrosion problem in the thermo-fluid heat exchanger and cooling water system of a nuclear test reactor, *Biofouling*, 25:7, 581-591, DOI: 10.1080/08927010903016543
- [39] 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>
- [40] *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/>

- [41] KREIBICH, Viktor. *Koroze a technologie povrchových úprav: návody ke cvičení*. Praha: České vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-01-00750-2.
- [42] Airblast Mini Blast: Pro čištění vnitřních stěn trubek. *Gamin s.r.o.* [online]. 2019 [cit. 2019-09-20]. Dostupné z: <https://www.gamin.cz/airblast-mini-blast/>
- [43] 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].
- [44] KREIBICH, V. *Teorie a technologie povrchových úprav*. Praha: České vysoké učení technické, 1996. ISBN 800101472x.
- [45] Čištění potrubí. *ROTHENBERGER* [online]. 2016, , 1-43 [cit. 2017-02-28]. Dostupné z: http://www.esl.cz/eshop/pdf/cistici-technika_2015.pdf
- [46] 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>
- [47] High pressure water jetting in the oil and gas industry. *WOMA GmbH* [online]. 2015 [cit. 2019-11-29]. Dostupné z: <https://s3.kaercher-media.com/asset/12990/1453665724/brochurewomagas.pdf>
- [48] 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/technical-papers/optimum-heat-exchanger-performance-depends-clean-tubes_1.pdf
- [49] *Projectile tube cleaning Inc.* [online]. 2015 [cit. 2016-08-18]. Dostupné z: <http://www.projectiletube.com/>
- [50] *Condenser and Heat Exchanger Tube Cleaning, Air-Cooled Condenser Cleaning, Eddy Current and Remote Field Testing, Trancer Gas Leak Detection*. 2015. USA, 2015.
- [51] 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>
- [52] 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>

- [53] 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.
- [54] KONVALINKA, R. *Optimalizace čistícího procesu*. Technologie čištění a předúprav povrchu. Čejkovice. 2019.
- [55] HOLEČEK, L. *Vliv nové legislativy na používání prostředků řady Star v provozní praxi a kontrolní metody stupně odmaštění prostředky řady Star*. Progresivní a netradiční technologie povrchových úprav. Brno. 2014
- [56] OTÁHAL, V. *Chemické čištění zařízení v energetice*. Odborný seminář 16.10.2017. MSV v Brně 2017.
- [57] 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.
- [58] Sbírka zákonů. ČESKÁ REPUBLIKA. In: http://eagri.cz/public/web/file/105217/sb0008_2011_23_2011.pdf. Praha, 2010, ročník 11, částka 8, číslo 23. [cit. 2017-07-06]
- [59] *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.
- [60] *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>
- [61] 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]
- [62] Optimizing boiler cleaning process. [online]. [cit. 2017-11-02]. Dostupné z: http://www.laboreleclatam.com/wp-content/uploads/2018/03/laborelec_Water_Boiler_Cleaning_en-uk_press_.pdf
- [63] ISMAILIA, R. A., LEEB, M. W., WILSONA, D. I., VASSILIADIS, V. S. *Optimisation of heat exchanger network cleaning schedules: Incorporating uncertainty in fouling and cleaning model parameter*. Computers & Chemical Engineering. Volume 121, 2 February 2019, Pages 409-42. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098135418310664>

- [64] PUTMAN, R. E. OPTIMIZING THE CLEANING OF HEAT EXCHANGERS. Conco Consulting Corp. Dostupné z: <http://www.concosystems.com/sites/default/files/userfiles/files/technical-papers/optimizing-cleaning-heat-exchangers.pdf>
- [65] OTÁHAL, V., *Chemické čištění vnitřních povrchů otopných systémů*. Odborný seminář MSV v Brně 2017.
- [66] KOHLI, R., MITTAL, K. L. Developments in Surface Contamination and Cleaning. Volume 3: Methods for Removal of Particle Contaminants. Elsevir. Oxford. UK. 2011.
- [67] 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.
- [68] Specifikace nerezových materiálů. Armat.cz [online]. Řetová, CZ: Armat, 2017, 2017 [cit. 2018-08-05]. Dostupné z: <http://www.armat.cz/pdf/specifikacenerezovych-oceli-chemicke-slozeni.pdf>
- [69] Metalcentrum.cz [online]. Valašské Meziříčí: Metalcentrum, 2017 [cit. 2018- 09-12]. Dostupné z: <https://www.metalcentrum.cz/med/>
- [70] GREENWOOD, N. N, EARNSHAW A. Chemie prvků. Praha: Informatorium, 1993. ISBN 8085427389.
- [71] SÝKOROVÁ, D., MASTNÝ, L. *Návody pro laboratoře z anorganické chemie*. Vyd. 2. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2001. ISBN isbn80-7080-452-1. 78
- [72] GM-electronic. Gme.cz [online]. GME, 2018 [cit. 2018-06-13]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/persiran-sodny-500g>
- [73] *Konfokální laserová rastrovací mikroskopie*. Chempoint.cz [online]. Praha: Chempoint, 2018 [cit. 2018-07-10]. Dostupné z: <http://www.chempoint.cz/konfokalni-laserova-rastrovaci-mikroskopie-clsm>
- [74] FUKA, T., FRANČE, P. *Snižování koncentrací těžkých kovů v procesu čištění*. Průběžná zpráva rezortního úkolu č. RA 129 5001-03. SVÚOM Praha 1985.
- [75] PTÁČEK, M., ERLEBACH, J., LISCHKE, P., MATĚJKA, Z. *Čištění odpadních vod z galvanotechniky a chemické povrchové úpravy*. SNTL Praha 1981
- [76] FRANČE, P., FUKA, T. *Kurz galvanotechnikův*. Dom techniky ČSVTS Bratislava 1991
- [77] PITTER, P. *Hydrochemie*. VŠCHT Praha 1999

- [78] ČEJKOVÁ, J., MATOUŠOVÁ, L. *Poloprovozní testování – analýza čistícího roztoku*. Informativní zpráva VUV T.G.M. Praha 2019
- [79] HARTINGER, L. *Taschenbuch der Abwasserbehandlung*, Band 1: Chemie, Carl Hanser Verlag, Munchen Wien 1976
- [80] PITTER, P., TUČEK, F., CHUDOBA, J., ŽÁČEK, L. *Laboratorní metody v technologii vody*. SNTL Praha 1983
- [81] ŠOLÍN, V., PTÁČEK, M. *Čištění odpadních vod z povrchových úprav kovů*. SNTL Praha 1965
- [82] STRNADOVÁ, N., JIROVSKÁ, A. *Eliminace těžkých kovů aktivovaným kalem*. VŠCHT Praha 1995.
- [83] KADEŘÁVEK, F., *F. J. Gerstner a pražská polytechnika*. (Czech) [F. J. Gerstner and Prague Polytechnic School]. *Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, vol. 1 (1956), issue 4, pp. 443-446
- [84] BRYNJOLFSSON E., McAFEE A. *Druhý věk strojů. Práce, pokrok a prosperita v éře špičkových technologií*. Příbram. 2015.
- [85] Ultrasonic Heat Exchanger Clean In Place Technology. *ORANGE Ultrasonics Inc.: ORANGE CLEANTECH. Engineering sound into superior cleaning technology* [online]. Ontario, Kanada. 2019 [cit. 2019-10-08]. Dostupné z: <https://orangeultrasonics.com/morko-usp>
- [86] 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.
- [87] Technologický postup chemického čištění. *COMFORT s.r.o.: HALTARON chemické čištění potrubí* [online]. Turnov, Česká republika. 2019 [cit. 2019-10-08]. Dostupné z: <http://cistenipotrubic.cz/chemicke-cistenipotrubitechnologicky-postup-chemickeho-cistenic/>
- [88] 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-cistenic/>
- [89] Jak na výběr vhodné topné čistící 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-cisticic-chemikalie>

- [90] KUDLÁČEK, Jan. *Nové laserové konfokální mikroskopy pro materiálový výzkum – LEXT OLS 3100 (UV) a LEXT 3000 (IR)*. , 1-3.
- [91] 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/>
- [92] 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/>
- [93] 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-cisteni-rozvodu-topeni-a-vody-bcg-navod.pdf>
- [94] Ultrasonic cleaning of heat exchangers: The alternative for conventional high pressure cleaning. *VARICLEAN benelux bv* [online]. Oldenzaal, Nizozemsko. 2019 [cit. 2019-10-08]. Dostupné z: <https://www.variclean.eu/site/ultrasonic-cleaning-heat-exchangers>

12 Publikace autora

12.1 Publikace autora související s disertační prací

- [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]. VTZ 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/cisteneni-energeticky-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.
- [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.

12.2 Odborné akce pořádané autorem přímo související s disertační prací

KUCHAŘ, J., KREIBICH, V. *Progresivní a netradiční strojírenské technologie*. 4.10.2018 odborný seminář. 60. Mezinárodní strojírenský veletrh v Brně.

KUCHAŘ, J., KREIBICH, V. *Čištění a předúpravy povrchu ve strojírenství a energetice*. 12.10.2017 odborný seminář. 59. Mezinárodní strojírenský veletrh v Brně.

KUCHAŘ, J., KREIBICH, V. *Předúpravy povrchu ve strojírenství*. 6.10.2016 odborný seminář. 58. Mezinárodní strojírenský veletrh v Brně.

KUCHAŘ, J., KREIBICH, V. *Čištění otopných a energetických zařízení*. 15.11.2016 odborný seminář. FS ČVUT v Praze.

KUCHAŘ, J., KREIBICH, V. *Čištění otopných a energetických zařízení*. 13.4.2016 odborný seminář. FS ČVUT v Praze.

12.3 Publikace autora přímo nesouvisející s disertační prací

[1NA] KUCHAŘ, J., KREIBICH, V., BENEŠOVÁ, D. Possibilities of brush plating process. *In: Technological forum 2015 Book of Proceedings*. Vydavatelství: Ing. Jan Kudláček. Jaroměř. 2015. pp. 72-74. ISBN 978-80-87583-13-5.

[2NA] KUCHAŘ, J., KREIBICH, V., HAZDRA, Z. Renovování strojních součástí technologií tampónování. *Občasník Povrcháři*. 2015,(8), pp. 9-10. ISSN 1802-9833.

[3NA] KUCHAŘ, J., KUDLÁČEK, J., TESAŘÍKOVÁ, P. Corrosion resistant coating for the printing industry. *In: IN-TECH 2016 - International Conference on Innovative Technologies*. Rijeka: Faculty of Engineering University of Rijeka, 2016. pp. 347-350. ISSN 1849-0662.

[4NA] KUCHAR, J., KREIBICH, V. Renovace technologií tampónování. *Občasník Povrcháři*. 2017,(1), pp. 6-7. ISSN 1802-9833.

[5NA] HRDINOVÁ, H., KUCHAR, J., KREIBICH, V. Laser as a tool for surface cleaning. *In: International Conference on Innovative Technologies 2017*. Rijeka: Faculty of Engineering University of Rijeka, 2017. pp. 247-249. ISSN 0184-9069.

12.4 Odborné akce pořádané autorem přímo nesouvisející s disertační prací

KUCHAR, J., KREIBICH V. *Normy pro strojírenství na zítra*. FS ČVUT v PRAZE.
21.6.2016

12.5 Vyzvané přednášky

[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.

13 Přílohy

13.1 Příloha I - Bezpečnostní list čisticího prostředku Z-fáze – výňatky z bezpečnostního listu

ODDÍL 1. IDENTIFIKACE LÁTKY/SMĚSI A SPOLEČNOSTI/PODNIKU	
1.1	Identifikátor výrobku
Název:	Z-faza
Jiné prostředky identifikace:	neuveдено
Registrační číslo:	nepřiděleno, nejedná se o látku
1.2	Příslušná určená použití látky nebo směsi a nedoporučená použití
Určená použití:	Prostředek se používá k odstranění rzi, vodního kamene a dalších usazenin z vnitřních a vnějších povrchů trubek, výměníků, ohřivačů, kondenzátorů a dalších výměníků tepla. Může být rovněž použit k čištění kovových konstrukcí před natíráním od rzi a dalších usazenin
Nedoporučená použití:	Nepoužívejte v místnostech, které nejsou vybaveny odtahovou vzduchotechnikou. Vyvarujte se vdechování výparů. Při práci s prostředkem používejte osobní ochranné pomůcky.

ODDÍL 2. IDENTIFIKACE NEBEZPEČNOSTI

Celková klasifikace směsi: směs je klasifikovaná jako nebezpečná podle Nařízení 1272/2008/ES (CLP).

ODDÍL 3. SLOŽENÍ/INFORMACE O SLOŽKÁCH

Směs kyselin, organických rozpouštědel, povrchově aktivních látek a pomocných látek ve vodním roztoku

3.1	Látky nevztahuje se				
3.2	Směsi Směs obsahuje tyto nebezpečné látky / látky s expozičním limitem Společenství v pracovním prostředí / látky perzistentní, bioakumulativní a toxické nebo látky vysoce perzistentní a vysoce bioakumulativní:				
Název látky Registrační číslo REACH	Obsah (% hm.)	ES číslo CAS číslo Indexové číslo	Klasifikace podle 1272/2008/ES*		Expoziční limit
kyselina chlorovodíková REACH 01-2119484862-27-XXXX	< 20	231-595-7 7647-01-0 017-002-01-X	Skin Corr. 1B STOT SE 3	H314 H335	Exp. lim. (nár./ES) viz. 8.1
glyoxal REACH dosud neuvedeno	< 10	203-474-9 107-22-2 605-016-00-7	Muta. 2 Acute Tox. 4 Eye Irrit. 2 Skin Irrit. 2 Skin Sens. 1	H341 H332 H319 H315 H317	-
kyselina 5-sulfosalicylová REACH dosud neuvedeno	< 1	202-555-6 5965-83-3 -	Skin Irrit. 2 Eye Irrit. 2	H315 H319	-
2-aminoethanol REACH dosud neuvedeno	< 1	205-483-3 141-43-5 603-030-00-8	Acute Tox. 4 Acute Tox. 4 Acute Tox. 4 Skin Corr. 1B STOT SE 3	H332 H312 H302 H314 H335	Exp. limit (nár./ES) viz. 8.1
1-butanol REACH 01-2119484630-38-xxxx	< 1	200-751-6 71-36-3 603-004-00-6	Flam. Liq. 3 Acute Tox. 4 STOT SE 3 Skin Irrit. 2 Eye Dam. 1 STOT SE 3	H226 H302 H335 H315 H318 H336	Exp. limit (národní) viz. 8.1

13.2 Příloha II – Biologický rozbor aktivovaného kalu s čisticím prostředkem

Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.Masaryka, v.v.i.
 Odsor analýz a hodnocení složek životního prostředí; odd. hydrobiologie
 Podbabská 30/2582, 160 00 Praha 6
 tel.: 229 197 411

Záznam č.: 3/2019

str.: 1/1

Biologický rozbor vzorku aktivovaného kalu

Číslo vzorku:	600
Zadavatel:	240-Ing. Čejková
Číslo zakázky:	9540

Označení vzorku	AK + ČK
Datum odběru	22.02.2019
Datum příjmu	22.02.2019
Datum zpracování	22.02.2019

1. MAKROSKOPICKÉ HODNOCENÍ	
A. Sedimentace	
Supernatant	čirý (jen s malým množstvím mikrovláček)
Odsaditelnost	dobrá
Plovoucí látky	ne
Vyplování kalu	ne
B. Po roztřepání	
Vzhled vloček	amorfni
Zápach	slabý, zemitý
Zbarvení kalu	šedohnědý, světlejší než ve vzorku č 601 (AK kontrolní)
Pěna	ne
2. MIKROSKOPICKÉ HODNOCENÍ	
A. Vločky	
Velikost	agregáty o velikosti <1000 µm, v menší míře se vyskytují z agregátů uvolněné drobné až střední vločky (<100 až <500 µm)
Tvar	amorfni
Struktura	nepříliš husté agregáty
Příměsi	detritus, minerální částice
B. Biocenóza	
Stav	živá, aktivní
Typ, popis	Početně nejbohatšími mikroskopickými organismy ve vločkách jsou kofeninožci (Testacea) rodu <i>Arcella</i> . Největší podíl na biomase kalu mají přisedlí nálevníci (Ciliata): <i>Operculana</i> sp. a <i>Vorticella</i> sp.; ojediněle se vyskytuje <i>Stentor</i> sp. Mezi vločkami se v mnohem menší míře vyskytují bezbarví bičíkovci (<i>Bodo</i> sp., <i>Astasia</i> sp.) a plovoucí nálevníci (<i>Glaucocoma</i> sp.). Ojediněle jsou přítomni vířníci (<i>Rotifera</i>).
C. Vlákňité organismy	
Četnost	ve vločkách ojediněle
Větvění	krátká vlákna bez větvení
Inkluze	ne
Typ	<i>Microthrix</i>
D. Volné bakterie	
Četnost	nizká
Typ	koky, tyčinky
3. SOUHRN	
živá, aktivní biocenóza bez známek poškození	
4. POZNÁMKA	

Datum: 18. 2. 2019

Zpracoval: RNDr. Ladislav Havel, CSc.

Vedoucí oddělení 223: RNDr. Blanka Desortová, CSc.

Výzkumný ústav vodohospodářský
 T. G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce
 Podbabská 30/2582, Praha 6



Výsledky zkoušek se týkají pouze vzorků uvedených v tomto protokolu - nenahrazuje jiné dokumenty. Bez svolení laboratoře může být protokol reprodukován pouze jako celek.

13.3 Příloha III – Limity ukazatelů znečištění pro souhrnnou skupinu znečišťovatelů do jednotné a splaškové kanalizace

Limity ukazatelů znečištění pro souhrnnou skupinu znečišťovatelů do jednotné a splaškové kanalizace limity jsou uvedeny v mg/l		
základní ukazatele	pv	sv
pH	6-10	
teplota	40 °C	
BSK ₅ biochemická spotřeba kyslíku	900	400
CHSK _{Cr} chemická spotřeba kyslíku	2 000	1 200
N-NH ₄ ⁺ dusík amoniakální	80	40
N _{celk} dusík celkový	110	70
P _{celk} fosfor celkový	18	9
RL ₁₀₅ rozpuštěné látky sušené při 105 °C	2 000	1 000
NL ₁₀₅ nerozpuštěné látky sušené při 105 °C	900	500
RL ₅₅₀ (RAS) rozpuštěné látky žíhané při 550 °C	1 000	500
SO ₄ ²⁻ sírany	400	200
F ⁻ fluoridy	2,40	1,20
CN ⁻ kyanidy veškeré	0,20	0,10
S ²⁻ sulfidy	0,10	
C ₁₀ -C ₄₀ uhlovodíky C ₁₀ až C ₄₀ (NEL-GC)	6	3
tuky a oleje	100	70
FN 1 fenoly jednosytné	10	5
PAL-A aniontové tenzidy	10	5
PAL-A aniontové tenzidy	10	5
PAL kationtové tenzidy	1	0,5
PAL neiontové tenzidy	3	1,5
AOX ¹⁾ adsorbovatelné organicky vázané halogeny	0,20	0,10
AOX ¹⁾ (v případě povinného zdravotního zabezpečení odpadních vod chlorováním)	5,00	3,00
kovy ²⁾		
Ag stříbro	0,200	0,100
As arzen	0,200	0,100
Ba baryum	3,000	1,500
Cd kadmium	0,050	0,020
Cr _{celk} chrom celkový	0,200	0,100
Cr ^{VI} chrom	0,100	0,050

Cu	měď	0,500	0,100
Hg	rtuť	0,010	0,005
Ni	nikl	0,100	0,050
Pb	olovo	0,100	0,050

Se	selen	0,020	0,010
V	vanad	0,100	0,050
Zn	zinek	4,000	2,000
Benzen		0,50	
Ethylbenzen		0,01	
Toluen		0,50	
Naftalen		0,50	
xylen suma		0,50	
Chlorbenzen		0,1000	
Dichlorbenzen		0,0100	
1,2,4 - trichlorbenzen		0,0100	
Hexachlorbenzen		0,0005	
PCB ³⁾ polychlorované bifenyly		0,0001	
PAU ⁴⁾ polycyklické aromatické uhlovodíky suma		0,1000	
Tetrachlormethan		0,010	
Trichlormetan		0,010	
1,2 - dichlorethan		0,100	
1,1,2, - trichlorethan		0,010	
1,1,2,2, - tetrachlorethen (TCE – PCE – perchlorethylen)		0,100	
1,2 - cis - dichlorethen		0,010	
Trichlorethen		0,010	
2 - monochlorfenol		0,001	
2,4 - dichlorfenol		0,001	
2,4,6 - trichlorfenol		0,001	
Pentachlorfenol		0,010	

Poznámky:

V tabulce základní ukazatele **hodnota „pv“** udává maximální možnou koncentraci znečištění zjištěnou v prostém vzorku odpadních vod. Prostý vzorek se získá jednorázovým odběrem, v určitém místě a čase.

V tabulce základní ukazatele **hodnota „sv“** udává maximální možnou koncentraci znečištění zjištěnou ze směsných vzorků. Směsný 24-hodinový vzorek se získá smísením více odebraných vzorků objemově stejných, popř. o objemu úměrnému aktuálnímu průtoku s intervalem odběru 2 hodin nebo kratším. Konečný časový průběh odběru vzorků se stanoví tak, aby co nejpřesněji

obsáhl vliv vypouštění jednotlivých druhů odpadních vod v daném místě. Analytické metody stanovení jednotlivých ukazatelů jsou uvedeny dle platných norem a předpisů.

- 1) Stanovení limitu ukazatele AOX se provádí v nefiltrovaném vzorku.
- 2) Limit platí pro součet koncentrací kongenerů PCB 28,52, 101,138,153,180.
- 3) Limit platí pro součet specifických sloučenin PAU: benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten, benzo(ghi)perylene, indeno(1,2,3-cd)pyren, benzo(a)pyren.

13.4 Příloha IV – Dokumentace k vyzvaným přednáškám

VYZVANÁ PŘEDNÁŠKA

Tímto prohlašuji a potvrzuji vyzvanou přednášku **Ing. Jiřího Kuchaře, IWE**, který přednesl příspěvek **dne 13. listopadu 2018** na téma „**Bezpečné čištění povrchů**“ na konferenci **VTZ 2018 (Facility management vyhrazených technických zařízení)**, která se uskutečnila 13. – 14. listopadu v Brně v hotelu Myslivna.

V Líbeznicích dne 8. ledna 2019

Jan
Lhotský

Digitálně podepsal Jan
Lhotský
DN: cn=Jan Lhotský, o,
ou=Medim, spol. s r.o.,
email=jan@lhotskz.net, c=CZ
Datum: 2019.01.08 14:17:47
+01'00'


za Medim, spol. s r.o.

Jan Lhotský

VYZVANÁ PŘEDNÁŠKA

Tímto prohlašuji a potvrzuji vyzvanou přednášku **Ing. Jiřího Kuchaře, IWE**, který přednesl příspěvek **dne 19. března 2019** na téma „**Progresivní čištění vnitřních povrchů**“ na odborném semináři **AKTUÁLNÍ STAV V OBORU TLAKOVÝCH ZAŘÍZENÍ aneb KOTELNY, NÁDOBY, POTRUBÍ A JAK NA NĚ?**, který se uskutečnil 19. března v Plzni na Středním odborném učilišti elektrotechnickém.

V OSTRAVĚ dne 18.3.2019


.....
za KAPKA PLUS s r.o.

KAPKA PLUS s.r.o.
Křmečinská 631/44b
720 00 Ostrava – Hrabová
tel.: +420 792 307 805
e-mail: info@kapkaplus.cz
IČ: 04869422

za KAPKA PLUS s r.o.
Ing. Kateřina Látalová, Ph.D.