

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav strojírenské technologie

**ČIŠTĚNÍ VNITŘNÍCH POVRCHŮ
CHLADIČŮ**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Autor: Jiří Kinkor

Studijní obor: Výrobní a materiálové inženýrství

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

Praha 2018

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kinkor** Jméno: **Jiří** Osobní číslo: **424654**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní a materiálové inženýrství**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Čištění vnitřních povrchů chladičů

Název diplomové práce anglicky:

Inside cleaning of the coolers

Pokyny pro vypracování:

1. Rozbor sledované problematiky
2. Návrh čisticího systému
3. Vyhodnocení čistoty povrchu

Seznam doporučené literatury:

dle pokynů vedoucího

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

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

Jméno a pracoviště druhého(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **23.04.2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **10.08.2018**

Platnost zadání diplomové práce: **10.08.2018**

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

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

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení:

Tímto prohlašuji, že jsem předkládanou práci vypracoval samostatně, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce s využitím uvedené literatury a podkladů, které jsem správně a úplně citoval.

V Praze dne

.....

Jiří Kinkor

Poděkování:

Tímto děkuji panu doc. Ing. Viktoru Kreibichovi, CSc. za jeho odborné vedení, cenné rady, náměty a pomoc při zpracování této práce. Dále děkuji panu Ing. Jiřímu Kuchařovi za jeho pomoc, obětavost, cenné připomínky, rady a celkový motivační přístup k této práci.

Anotace:

Tato práce je zaměřena na vyřešení problému odstranění mědi z funkčních vnitřních prostor olejového chladiče dieselových motorů. První část je věnována teoreticky problematice čištění tepelných výměníků. Problematice chemického čištění povrchů korozivzdorných ocelí a prostředků s tím souvisejících. V praktické části jsou experimentálně ověřeny účinky jednotlivých navržených čistících roztoků. Na základě provedených experimentů je vypracován technologický postup čištění zadaného deskového chladiče použitelný v průmyslovém měřítku. Na závěr je tento postup experimentálně ověřen v laboratorních podmínkách na konkrétním chladiči.

Klíčová slova: Čištění vnitřních prostor, chemické čištění, deskový chladič, odstranění mědi z povrchu.

Annotation:

This thesis is focused on solving the problem of removing copper from functional inner space of the oil cooler of diesel engines. The first part is devoted to theoretical problems of cleaning heats exchangers. Problems of chemical cleaning of stainless steels surfaces and related devices. In the practical part of this thesis are the effects of the each proposed cleaning solutions experimentally verified. On the basis of the experiments is formulated technological proces of cleaning specified plate cooler, which can be use in industrial scale. Finally is this proces experimentally verified under laboratory conditions on the specific cooler.

Key words: Clenaning inner space, chemical cleaning, plate cooler, removing copper from the surface.

Obsah

Seznam použitých symbolů, zkratek a jednotek.....	8
1 Úvod	9
2 Proč čistíme vnitřní povrchy?	10
2.1 Usazeniny	11
2.2 Důsledky usazenin.....	13
3 Problematika čištění vnitřních povrchů	14
3.1 Sedimentace a naplavování	15
3.2 Korozní zanášení	15
3.3 Zanášení v důsledku chemické reakce	16
3.4 Zanášení v důsledku mrznutí.....	16
3.5 Krystalizační a precipitační zanášení.....	16
3.6 Biologické zanášení	17
3.7 Odpor usazenin.....	18
4 Metody čištění vnitřních povrchů	19
4.1 Mechanické způsoby čištění	19
4.1.1 Manuální mechanické čištění	19
4.1.2 Lehké tryskání	20
4.1.3 Vysokotlaké čištění vodou	21
4.1.4 Projektilové čištění.....	22
4.1.5 Speciální metody čištění	23
4.2 Chemické čištění.....	24
5 Problematika čištění povrchů korozivzdorné oceli	25
5.1 Odstranění okují, moření a pasivace.....	26
5.1.1 Odstranění okují.....	26

5.1.2 Moření	27
5.1.3 Pasivace.....	28
5.2 Elektrolytické leštění.....	28
6 Výměníky tepla	30
6.1 Konstrukce rekuperačních výměníků tepla.....	32
7 Pájení v peci	38
8 Praktická část.....	39
8.1 Specifikace olejového chladiče	40
8.1.1 Rozměrová specifikace olejového chladiče	41
8.2 Analýza chladiče.....	42
8.3 Návrh rozpouštěcích kyselin	47
8.3.1 Kyselina dusičná	48
8.3.2 Kyselina chlorovodíková	49
8.3.3 Chlorid železitý	50
8.3.4 Persíran sodný	51
8.4 Čištění jednotlivých vzorků.....	52
8.4.1 Vzorek před čištěním	53
8.4.2 Vzorek čištěný kyselinou dusičnou.....	57
8.4.3 Vzorek čištěný směsí kyseliny chlorovodíkové s peroxidem vodíku	60
8.4.4 Vzorek čištěný směsí persíranu sodného s peroxidem vodíku.....	63
.....	64
9 Sestavení čistícího zařízení.....	66
10 Zhodnocení – závěr.....	74
11 Seznam použitých zdrojů	75

Seznam použitých symbolů, zkratek a jednotek

zkratka / symbol	jednotka	popis
Al ₂ O ₃	[-]	Chemické označení korundu
NaOH	[-]	Chemické označení hydroxidu sodného
Cr	[-]	Chemické označení chromu
Ni	[-]	Chemické označení niklu
Mo	[-]	Chemické označení molybdenu
W	[-]	Chemické označení wolframu
V	[-]	Chemické označení vanadu
N	[-]	Chemické označení dusíku
Mn	[-]	Chemické označení manganu
ppm	[-]	Jedná se o výraz jednu miliontinu z celku (Parts per million), lze přepočítat na %
R _m	[MPa]	Maximální mez kluzu
R _{p0,2}	[MPa]	Smluvní mez kluzu
A	[%]	Tažnost
MPa	[-]	Jednotka napětí
R _a	[μm]	Střední aritmetická úchylka profilu
R _z	[μm]	Výška nerovnosti profilu určená z 10 bodů

1 Úvod

Chladiče jsou nedílnou součástí většiny zařízení pracujících s energií. I při neustálém technologickém pokroku nedokážeme přeměňovat energie z jedné formy do druhé tak efektivně, aby nevznikaly ztráty. Ztráty bývají nejčastěji ve formě tepla, které je zapotřebí odvádět z technologických důvodů z těchto zařízení. Přebytečné teplo se odvádí pomocí chladičů. Chladiče mohou být nejrůznějších druhů a typů. Požadavky na ně kladené jsou vysoká efektivita tepelného prostupu, tedy velká tepelná vodivost a tím i účinnost.

Tato práce je zaměřena na odstranění znečištění chladiče ještě před jeho uvedením do samotného provozu. Znečištění vzniklo na základě zvolené technologie výroby tohoto chladiče. Jedná se o deskový chladič z korozivzdorné oceli. Mezi jednotlivými deskami jsou pro zvýšení velikosti tepelně prostupné plochy členité mřížky. Chladicí desky s mřížkami jsou spojené pomocí kapilárního pájení mědi. Z principu této technologie vyplývá i forma znečištění vnitřních povrchů chladiče tenkou vrstvou mědi.

Chladič je určen do diesellových motorů nákladních tahačů, jako chladič motorového oleje. Pro výrobce motorů je nepřijatelné, aby se motorový olej dostával do kontaktu s takto velkým množstvím mědi. Měď je tedy nutné z veškerých vnitřních ploch chladiče, kromě samotných spojů, odstranit.

Praktická část této práce je zaměřena na nalezení vhodného způsobu odstranění mědi z vnitřních povrchů chladičů. Jednotlivé navržené způsoby jsou experimentálně odzkoušené a následně je vybrán ten nejvhodnější. Postup použitelný v průmyslovém měřítku pro výrobu těchto chladičů je následně ověřen a jsou vyhodnoceny výsledky.

Cílem této práce je provést shrnující rešeršní část a experimentálně ověřit složení a teploty funkčního rozpouštěcího roztoku.

2 Proč čistíme vnitřní povrchy?

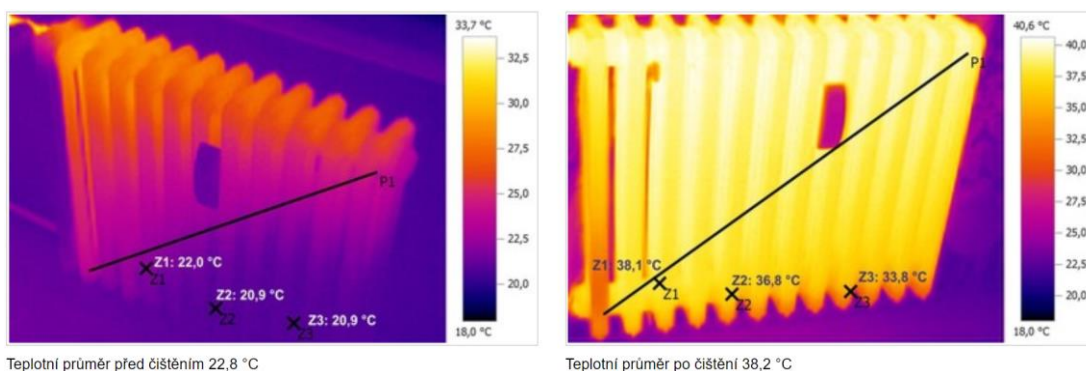
V každém otopném, nebo chladicím systému koluje přenosové médium. Přenosové médium slouží jako nosná látka pro energii, kterou je zapotřebí předat. Chladicí a otopné systémy slouží k předávání energie mezi různými médii. Předávání může například probíhat mezi médii: kapalina-vzduch, kapalina-kapalina, přehřátá vodní pára-voda, aj. Tato média v sobě nesou potenciálně vždy nějaký druh znečištění. Částice znečištění kolující ve vnitřních prostorách otopných, nebo chladicích systémech, narušují jejich funkčnost, účinnost a v neposlední řadě i životnost. Podle typu znečištění v médiu může nežádoucí částice buď narušovat povrch materiálů chladicího, nebo otopného systému, nebo na tomto povrchu ulpívat. Na vnitřním povrchu otopných a chladicích systémů se nejčastěji z přenosového média vylučují anorganické látky a minerály. Negativní vliv na materiály těchto systémů mají také změny pH proudících médií, zejména u kapalných médií. Stejný negativní vliv na materiály má kyslík obsažený v médiích. Kyslík se z média vylučuje a napomáhá ke korozní degradaci daného materiálu otopné, nebo chladicí soustavy. Korozní děj podporovaný kyslíkem uvnitř systému vytváří částičky rzi, které mají větší objem než materiál, ze kterého vznikly. V důsledku toho se zmenšuje prostor potřebný pro proudění přenosového média, který může vyústit až úplným uzavřením (zanesením) daného prostoru.



Obr. 2.1 Ukázka řezu zaneseného litinového radiátoru. [4]

Vrstva korozních částic na původním materiálu také zřetelně snižuje tepelnou vodivost tohoto materiálu, a tím i celkovou účinnost dané otopné, nebo chladicí soustavy. Dalším projevem korozního působení na materiál dané soustavy může být zmenšování průřezu stěny vedoucí až ke vzniku trhliny.

Životnost každé otopné a chladicí soustavy lze prodloužit pravidelným čištěním. Pravidelné a preventivní čištění brání vzniku usazenin a koroze. Některé čistící prostředky mají schopnost pasivovat materiál a tím zvyšovat jeho odolnost vůči korozi. Soustava díky tomu vydrží mnohem déle plně funkční s původními parametry a účinností. Finanční náklady na čištění jsou zpravidla několikanásobně nižší oproti nákladům na opravy a odstávky s tím spojené. [1, 2, 3]



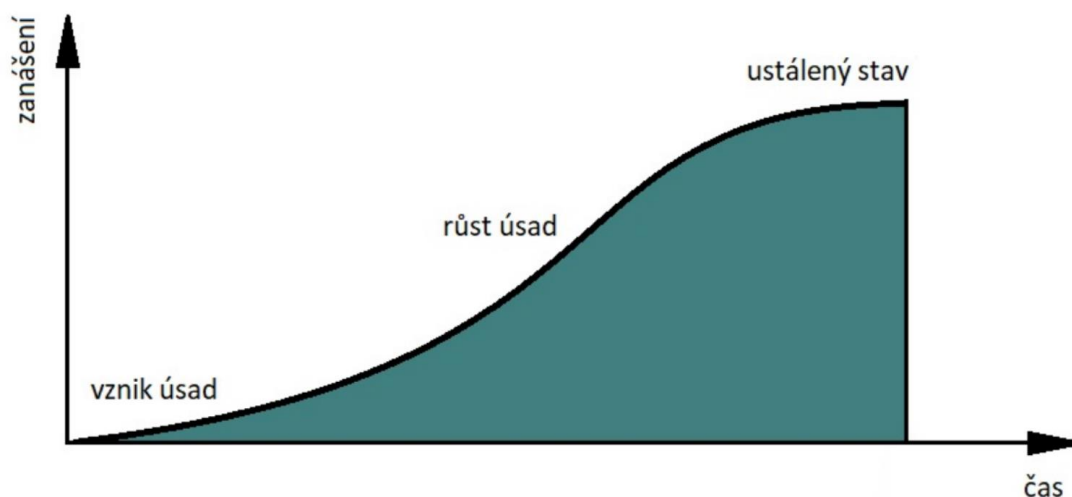
Obr. 2.2 Ukázka litinového radiátorového tělesa před a po vyčištění pohledem termokamery. [3]

2.1 Usazeniny

Pojmem usazeniny se rozumí hromadění nečistot a drobných částic na teplosměnném povrchu výměníku. Ukládáním nečistot na vnitřních přenosových plochách tepla výměníků za jejich provozu vzniká vrstva, která klade dodatečný odpor přenosovému médiu. Průtokový kanál má tímto menší průřez a rychlost proudění kapaliny se v něm úměrně zvyšuje. Zhoršuje se celkově hydrodynamika daného proudění. Z těchto dějů plyne hlavní důsledek snížení účinnosti výměníku.

Rychlost procesu zanášení není vždy stejná. Existuje nespočet typů a druhů výměníků. Liší se materiály, ze kterých jsou tvořeny. Liší se strukturou povrchu, tvarem dutin, velikostí, členitostí a množstvím procházejícího média. Každá tato

odlišnost má vliv na rychlost a intenzitu zanášení. Zanášení dále závisí také na druhu a stavu procházejícího média. Perioda zanášení je tedy u každého zařízení jiná. Existuje mnoho postupů, jak intenzitu zanášení určit. Jedná se například o modelové určování, které je vždy přibližné a nikdy přesně nelze určit přesný čas do zanesení. Tento přesný čas se dá určit pouze známe-li dobu zanesení u konkrétního energetického zařízení, která byla přesně změřena a byly také přesně známy provozní parametry. V tomto případě se dá na stejné energetické zařízení se stejnými parametry procházejícího média aplikovat již známá doba do samotného zanesení.



Obr. 2.3 Obecný průběh zanášení výměníku v čase.

Charakter usazenin bývá také různý. Usazeniny mohou mít strukturu měkkých pohyblivých kalů, drolivého sedimentu, nebo také tvrdých, těžko odstranitelných částic. Tvoří je různé prvky. U výměníků s kolující vodou jde často o minerální usazeniny typu vodní kámen, krystaly, biologické částice a o rez. Složení a rozsah jednotlivých složek v usazeninách závisí hlavně na stavu kolujícího média. Úprava média je tedy velmi důležitým vstupním parametrem pro tvorbu usazenin. Je potřeba zvolit vhodnou metodu a systém úpravy a kontroly média. V médiu může dominovat jeden prvek. Tento prvek se snažíme při vstupu média do soustavy odstranit. Při chodu soustavy se ovšem kvalita a struktura média mění. Je proto nesmírně složité dopředu definovat jaký typ usazenin se bude tvořit. Při výběru metody pro přípravu média je potřeba počítat s proměnlivou kvalitou média za chodu zařízení. Průběh zanášení závislý na čase je znázorněn na Obr. 2.3. Z tohoto obrázku vyplývá, že rychlost zanášení od svého vzniku narůstá, až je povrch výměníku natolik zanesený, že se další zanášení zastaví, tedy ustálí. Zastavení zanášení při takto znečištěném povrchu

je z velké míry ovlivněno několikanásobně zvýšenou rychlostí proudění média vlivem zúžení prostoru. Rychlost proudění dosáhne takových hodnot, při kterých jsou sedimenty odplavovány a odbourávány proudem média. Další sedimenty tedy nevznikají, nebo jen ve velmi omezené míře. Provoz takto znečištěného výměníku je ovšem velmi neefektivní a je zapotřebí teplosměnné plochy neprodleně vyčistit.

Pro lepší porozumění tomuto procesu je potřeba se seznámit s mechanizmy a parametry zanášení. To probíhá níže uvedenými způsoby:

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

2.2 Důsledky usazenin

Z předchozího textu je zřejmý nepříznivý vliv usazenin na chod tepelných výměníků. Usazeniny mají dva hlavní dopady. Prvním dopadem je snížení účinnosti výměníku tepla. Účinnost je snížena v důsledku nižší tepelné vodivosti usazenin. Obecně je tepelná vodivost usazenin mnohem nižší, než tepelná vodivost kovů. Stačí velice tenká vrstva usazenin, aby se tepelná vodivost znatelně snížila. Přítomnost usazenin na vnitřním povrchu otopného zařízení tvoří tento povrch drsnějším, než tomu bylo u čistého. Drsnost povrchu obecně zvyšuje přenos tepla v důsledku vyšších turbulencí proudícího média uvnitř otopného systému. Můžeme říci, že tento jev do jisté míry napomáhá lepší účinnosti celého systému. Zvýšení účinnosti v důsledku zdrsnění povrchu nečistotami a tím následně vzniklé větší turbulence proudění přenosového média, je jen nepatrné ve srovnání se snížením tepelné vodivosti prostupových stěn.

Shrneme-li tento negativní jev, dostaneme několik funkcí mající na tepelnou vodivost hlavní vliv:

- změny kvůli drsnosti povrchu usazenin
- změny v důsledku tepelného odporu vrstvy usazenin
- změny způsobené zvýšenou rychlostí proudění.

Poslední z funkcí je přímým důsledkem druhého dopadu usazování nečistot uvnitř otopných a chladících systémů. Druhým dopadem je narůstání tlaku médií uvnitř tepelných soustav. Tlak zde narůstá v důsledku zmenšování průtokových cest způsobené stále se zvětšujícími vrstvami usazenin na stěnách. Procházející množství média musí být pořád stejné, průřez cesty je menší. Podle fyzikálních zákonů se tedy musí zvyšovat rychlost proudění média a tím i tlak uvnitř celé soustavy. Negativní vliv má i turbulence. [5, 6, 7]

3 Problematika čištění vnitřních povrchů

Odstraňování usazenin z vnitřních povrchů není vůbec jednoduchou, ani levnou záležitostí. Neexistuje žádná univerzální metoda pro čištění. Volba optimální metody záleží na mnoha faktorech. Je zapotřebí dosáhnout co nejlepšího výsledku za co nejnižší finanční náklad. Při čištění nesmí vzniknout riziko porušení výměníku. Ve spoustě otopných systémech je nepřipustná odstávka. Čištění musí tedy probíhat za provozu bez narušení chodu. Výběr vhodné metody tedy závisí na mnoha parametrech:

- typ a druh výměníku
- materiál výměníku
- vlastnosti pracovních tekutin
- teplota povrchu desek
- rychlost proudění pracovních médií
- drsnost povrchu profilovaných desek
- ostatní vlivy.

Dle mechanismu zanášení se nečistoty a usazeniny odstraňují těmito způsoby.

3.1 Sedimentace a naplavování

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 nutné sítko, nebo filtr pro jejich zachycení. Tato metoda je velmi účinná, ovšem nikdy nelze dosáhnout úplného vyčištění. Pokud je výměník dobře přístupný, nebo rozebíratelný, je možné použít mechanických čisticích prostředků, jako jsou například kartáče, nebo vysokotlaké vodní čističe.

3.2 Korozní zanášení

Korozní zanášení je velmi častým a nepříjemným způsobem zanášení. Lze mu alespoň částečně zabránit. Jako první a nejdůležitější je zvolit správný materiál daného výměníku s ohledem na pracovní tekutiny. Jak by se na první pohled mohlo zdát, ani korozivzdorná ocel není odolná vůči veškerým látkám a stejně jako jiné oceli, také podléhá korozi. Existují různé druhy korozivzdorných ocelí, které jsou různě odolné různým látkám. Při výběru materiálu, jako je korozivzdorná ocel, je tedy potřeba brát ohled i na její typ podle druhu procházející tekutiny.

Během provozu se ve výměnících mohou vyskytovat i další chemické látky, na které je s výběrem základního materiálu také potřeba brát zřetel. Stále častým materiálem ovšem bývá nízkolegovaná, tedy běžná konstrukční ocel, která velmi snadno podléhá korozním dějům. Běžná konstrukční ocel je z ekonomického hlediska stále velmi příznivý materiál, oproti například již zmíněné korozivzdorné oceli. V tomto případě musíme přistoupit k problému z druhé strany. Tou druhou stranou je úprava samotné přenosové kapaliny. Můžeme buď zvolit přenosovou kapalinu, která nebude se základním materiálem chemicky reagovat. Například olej ve výměníku z běžné konstrukční oceli, nebo z litiny. Další možností je použít do přenosové kapaliny inhibitory, které alespoň částečně zamezí koroznímu působení kapaliny na materiál výměníku. Inhibitory ale mohou snižovat schopnost přenosu tepla ve výměníku. Je tedy za potřebí prokalkulovat všechny možnosti a zvolit tu nejlepší pro daný systém, ať už z hlediska životnosti, účinnosti, nebo z hlediska finančních nákladů.

3.3 Zanášení v důsledku chemické reakce

Obecně platí čím větší je teplota přenosového média, tím vyšší je přenosová schopnost a účinnost výměníku. Snahou je tedy vždy konstruovat tepelný systém s co nejvyššími přenosovými teplotami. S rostoucí teplotou ovšem exponenciálně roste i četnost chemických reakcí v přenosovém médiu. Důsledkem je vysoká rychlost chemického zanášení daného výměníku. Tento nános na stěnách výměníku snižuje jeho tepelný přestup a tím i celkovou účinnost. Při návrhu výměníku je potřeba brát ohled tedy i na tyto skutečnosti.

Chemické zanesení lze čistit chemickou cestou, pomocí rozpouštědel daného typu usazenin. Další možností je mechanické čištění. Výběr vhodné čisticí metody záleží na typu a druhu daného výměníku.

3.4 Zanášení v důsledku mrznutí

Je známo, že led a námraza obecně mají celkem dobré tepelně izolační účinky. Námraza na tělesech otopných a chladících systémů je tedy velmi nežádoucí. Pokud je to možné, je nejlepším způsobem, jak v takovémto případě postupovat odstranění příčiny námrazy. Platí pouze u často se opakujících problémů se zamrzáním. Řešením může být posunutí bodu tuhnutí dané pracovní kapaliny. Zvýšení teploty pracovní tekutiny, nebo přemístění celého zařízení do jiných prostor. Může postačit například zastřešení, když je daný výměník umístěn volně přístupný povětrnostním vlivům venkovního prostředí.

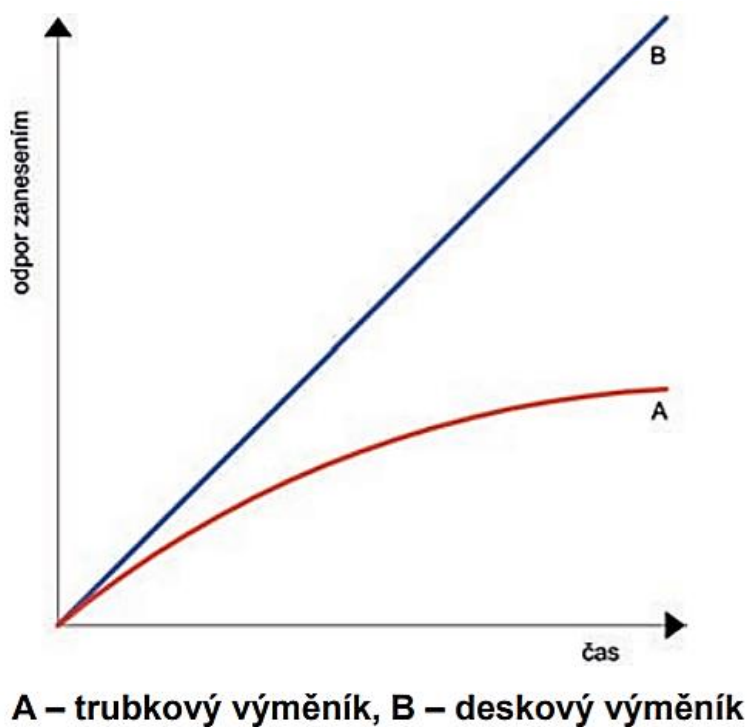
3.5 Krystalizační a precipitační zanášení

Podle druhu pracovního média se z něho mohou vylučovat krystalky a precipitáty. Tyto částice nám poté zanášejí otopný, nebo chladící systém. Částičky vzniklé tímto způsobem jsou velmi tvrdé a pevné. Je velmi obtížné je mechanicky odstranit. K odstranění se tedy přistupuje chemickými cestami. Další možností,

jak těmto usazeninám zabránit v usazování je jim předejít. Do přenosového média lze přidat různé chemické látky, které zabrání vylučování částic a jejich následnému usazení.

3.6 Biologické zanášení

Nánosy na stěnách výměníků vzniklé bakteriemi a jinými organickými látkami brání 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 a také odstranit vše organické v přenosovém médiu. Před použitím pesticidů je důležité zjistit, jestli daný pesticid nereaguje s materiálem výměníku.



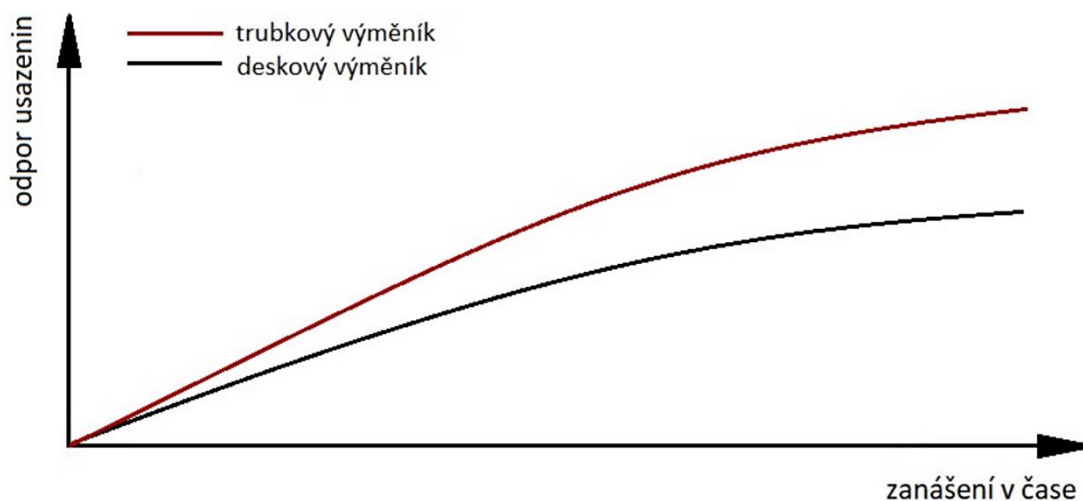
Obr. 3.1 Časový průběh zanášení výměníku nečistotami [5]

3.7 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
- podmínky koroze jsou minimální.

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 zanesení, než je tomu u trubkových výměníků. Vliv lineární rychlosti proudění a turbulence tekutiny u trubkového a deskového výměníku můžeme vidět na Obr. 3.2. [5, 8]



Obr. 3.2 Obecný průběh nárůstu odporu vlivem usazenin.

4 Metody čištění vnitřních povrchů

Způsoby čištění vnitřních povrchů tepelných výměníků 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 takzvané „odstavit z provozu“. On-line metody lze tedy, na rozdíl od metod off-line, použít za chodu daného zařízení.

4.1 Mechanické způsoby čištění

Mechanické způsoby čištění se používají všude tam, kde z nějakých důvodů nelze použít způsoby chemické. Nevýhodou tohoto způsobu čištění je, že se musí daná soustava vždy odstavit z provozu. Někdy je zapotřebí jednotlivé části dokonce i rozebrat. Mechanické čištění je velmi účinné, ale nikdy neodstraní veškeré usazené nečistoty.

K odstranění nečistot je využívána kinetická energie abrazivních nástrojů a prostředků, vysoký tlak vody a jiných médií. Může být použito některých speciálních prostředků z důvodu k šetrnosti materiálu daného výměníku, jako například: suchý led, apod. [5, 8, 11]

4.1.1 Manuální mechanické čištění

Tato metoda se volí pro zvlášť znečištěné výměňkové systémy. Za použití nejrůznějších nástrojů: kartáčů, škrabek, sekáčů, kladiv, aj. jsou odstraněny hrubé vrstvy nánosů a usazenin. Takovýto způsob čištění je velmi časově náročný a neefektivní. Navíc většinou ani nebývá dosaženo požadované čistoty povrchu. Za tímto způsobem čištění často následuje některý z dalších způsobů.

4.1.2 Lehké tryskání

Lehké tryskání je způsob mechanického čištění využívající abrazivo o malé hmotnosti k vyčištění zanesených ploch. Princip je jednoduchý, spočívá v dodání dostatečné kinetické energie abrazivním částicím. Tato kinetická energie může být dodána buď v podobě stlačeného vzduchu, nebo v podobě tlakové vody. Abrazivní částičky jsou unášeny tímto stlačeným proudem pod vysokou rychlostí. S vysokou kinetickou energií dopadají na povrch čistěného tělesa, které zbavují veškerých ulpělých nečistot. Jako čistící abrazivní materiál se nejčastěji používají hnědý a bílý korund (Al_2O_3). Hnědý korund se používá častěji, je vhodný k otryskávání oceli. Bílý korund je vhodný ke tryskání neželezných kovů a korozivzdorných ocelí. Bílým korundem dosáhneme menšího obsahu vnášených prvků do tryskaného kovu, jako jsou atomy síry, železa a chromu. Zrnka korundu mají také vlastnost s názvem „samoostřicí efekt“. Samoostřicí efekt znamená vzájemné tření se o sebe vysoce tvrdých korundových zrn, která se tímto ostří. Díky tomuto jevu je zajištěna vyšší životnost a menší prašnost abrazivního prostředku. Dalšími tryskacími prostředky může být například: ocelové broky, ocelový nastříhaný drát, suchý led, soda, aj. Nevýhodou této metody může být velké nebezpečí erozivního poškození zvláště u tenkých stěn tryskaných zařízení. Směs tryskacího abrazivního materiálu a otryskaného nánosu je považována za nebezpečnou a musí se s ní tedy adekvátně zacházet.



Obr. 4.1 Mobilní otryskávací zařízení. [15]

Výhody lehkého tryskání:

- zařízení je mobilní
- rychlost provedení
- nízká cena
- malé zatížení životního prostředí.

Nevýhody lehkého tryskání:

- možnost poničení otryskávané součásti
- nutnost soustavu rozebrat
- hodí se pouze pro větší výměňkové systémy. [6, 7, 12, 14]

4.1.3 Vysokotlaké čištění vodou

Nečistoty a usazeniny jsou odstraňovány pomocí proudu vody pod vysokým tlakem (až 20 MPa). Kinetická energie vysoce rychle proudícího paprsku vody dopadá na usazeniny, odlepuje je od vlastního povrchu výměníku a ty jsou poté unášeny pryč z výměníku. Obsluha musí při tomto způsobu čištění zvláště dbát na bezpečnost. Působí zde velké tlaky.

Výhody vysokotlakého čištění vodou:

- nízké náklady
- mobilita zařízení
- minimální zátěž životního prostředí.



Obr. 4.2 Mobilní vysokotlaké čisticí zařízení. [21]

Nevýhody vysokotlakého čištění vodou:

- manipulace s vysokým tlakem
- nebezpečí mechanického poškození čištěné součásti. [7, 10, 14]

4.1.4 Projektilové čištění

Projektilové čištění je vhodné zejména pro čištění trubkových výměníků. Celý princip spočívá v protlačení vhodného projektilu znečištěnou trubicí. Projektilu je dodávána kinetická energie pomocí stlačené vody a vzduchu. Vodní pumpa dodává dostatečný tlak vody do pistole, která se s projektilem přiloží ke znečištěné trubce. Pomocí tlaku vody a vzduchu je projektil hnán trubicí. Projektil odbourává a narušuje nečistoty, která následně proudící voda odnese z trubky ven. [9, 7, 12]



Obr. 4.3 Ukázka zařízení pro projektilové čištění (nalevo vodní pumpa, napravo projektilová pistole s projektily). [13]

Typů projektilů je mnoho. Pro výběr správného projektilu je potřeba zvážit mnoho parametrů. Průměr trubky, míru znečištění, charakter znečištění, atd.



Obr. 4.4 Ukázka různých projektilů. [16]

Tento způsob čištění je vhodné opakovat v častých intervalech. Zamezí se tím nadměrnému zanesení trubek.

Výhody projektilového čištění:

- vysoká rychlost čištění
- šetrnost k životnímu prostředí
- zvláště vhodné pro kal a vrstvy bahna.

Nevýhody projektilového čištění:

- Vždy zbydou na povrchu nějaké nečistoty
- Velká spotřeba vody
- Nebezpečí mechanické poškození trubek. [7, 9]

4.1.5 Speciální metody čištění

Metoda čištění Hydrodrill – proplachování a vyvrtávání je rychlá a účinná. Tato metoda je použitelná pouze na trubkové výměníky. Princip spočívá ve speciálním nástroji, ze kterého tryská voda pod vysokým tlakem a nástroj se zavrtává směrem do čištěné trubky současně. Vrtáním jsou odstraněny tvrdé usazeniny a vysokým tlakem vody jsou odstraněny další zbytky nečistot. Výhoda této metody spočívá hlavně ve své rychlosti. Trubka o délce 6 m je obvykle vyčištěna za 30 až 90 vteřin. [10, 17]



Obr. 4.5 Ukázka zařízení Hydrodrill. [10]

4.2 Chemické čištění

Chemické způsoby čištění mají oproti mechanickým velkou výhodu. Výhoda spočívá v čištění za chodu celého zařízení. Kvůli chemickému čištění není nutné zařízení odstavovat, ani rozebírat. Problematika chemického čištění spočívá ve správně zvoleném čistícím prostředku v závislosti na typu zanesení a základním materiálu výměníku. Při správné volbě vstupních parametrů je chemické čištění mnohem rychlejší, než čištění mechanické.

Při chemickém čištění je potřeba se vyvarovat použití látek a přípravků narušující povrch materiálu, ze kterých je výměník vyroben. U deskových pájených výměníků je vhodné provádět periodické chemické čištění. Při nedodržení doporučených intervalů by se mohl výměník zanešť a už by nešel vyčistit chemickou cestou. U rozebíratelných deskových výměníků je použití chemikálie omezené zejména odolností mezideskových těsnících hmot. Existuje mnoho druhů materiálů, ze kterých se desková těsnění vyrábějí. Je potřeba zjistit konkrétní typ těsnění a v jeho závislosti volit druh chemikálie. Například pro běžná pryžová těsnění lze použít většinu běžných těsnících přípravků. Rozdíly jsou ovšem v použité koncentraci a teplotě při vlastním čištění.

Pro korozní znečištění vnitřního povrchu výměníku se obecně volí jako čistící technologie moření. Moření probíhá ve směsi kyselin. Nejběžnější mořící kyseliny jsou: kyselina chlorovodíková a kyselina sírová. Pro neželezné kovy se hojně využívají alkalické roztoky (NaOH). Proces moření narušuje základní materiál a musí po něm následovat pasivace povrchu. Dnes se ovšem jako čistící prostředky většinou používají jiné látky s větší šetrností vůči základnímu materiálu. Moderní látky obsahují různé inhibitory a urychlovače čistících reakcí. Jsou zároveň i šetrné k čištěným materiálům. Tyto moderní prostředky navíc rovnou i pasivují a konzervují čištěný povrch.

5 Problematika čištění povrchů korozi odolné oceli

Korozi odolnými ocelmi jsou označovány všechny legované ušlechtilé oceli, které mají ve svém chemickém složení 12 % a více procent chromu. Tyto oceli se za přístupu kyslíku dokáží pasivovat. Pasivační povrchová vrstva slouží jako ochrana vůči dalším korozním dějům. Materiál s pasivační vrstvou má zvýšenou odolnost vůči korozi. Korozní odolnost však neplatí zdaleka za všech podmínek. Pro různé účely použití a různá prostředí je potřeba volit různá chemická složení korozi odolných ocelí. [18]

Obvyklý obsah chromu u korozi odolných ocelí bývá od 12 do 27 % Cr spolu s dalšími legujícími prvky. Těmi jsou například Ni, Mn, N, Mo, W, V, a další. Legujícími prvky lze ovlivňovat vlastnosti kovu, jako je např.: elektrochemická ušlechtilost, teplotní roztažnost, odolnost vůči různým kyselinám a chemickým látkám, magnetické schopnosti, žárovečnost, žáruvzdornost, a další. I při velkém množství obsažených legovaných prvků zůstávají základním nosným materiálem slitiny železa s uhlíkem, tedy oceli. Od nich je nutné odvozovat vliv všech dalších přídavných prvků.

Antikorozi podstata tedy spočívá v komplexní, na chrom bohaté pasivaci oxidické vrstvy na oceli. Tento stav je běžným stavem povrchu korozi odolných ocelí za běžných podmínek. K pasivaci korozi odolné oceli dojde, je-li kovově čistý povrch vystaven okolnímu prostředí s dostatečným množstvím kyslíku. Kyslík je hlavním činitelem při tvorbě na chrom bohaté oxidické vrstvy. Proces oxidace probíhá za dostatečně velkého přísunu kyslíku. S rostoucím časem roste i tloušťka oxidické vrstvy. V přírodních podmínkách na vzduchu, nebo v kontaktu s provzdušněnou vodou je tedy tento proces zcela přirozený. Na povrchu korozi odolné oceli vzniká „antikorozi povrchová plocha“. Takto vzniklý povrch má dokonce samoobnovující schopnosti při mechanickém porušení oxidické vrstvy. [18, 23, 24, 25]

5.1 Odstranění okují, moření a pasivace.

Každý z pojmů v nadpisu tohoto odstavce představuje rozdílné procesy, které jsou bohužel spolu často zaměňovány. Jedná se o povrchové úpravy korozivzdorných ocelí, každá ovšem rozdílného typu. [19]

5.1.1 Odstranění okují

Zpravidla u válcovaných profilů je díky teplotnímu a mechanickému namáhání materiálu při výrobě utvořena na povrchu oxidická vrstvička. Tato vrstvička bývá relativně silné tloušťky a tmavošedé barvy. Je tedy pouhým okem jasně viditelná. Proces odstranění okují provádí zpravidla výrobce před expedicí. Proces má dvě fáze. V první fázi je narušena soudržnost povrchové oxidické vrstvičky se základním materiálem. Ve druhé fázi je jiným prostředkem tato vrstvička zcela odstraněna z povrchu kovu.

Kontaminace povrchu korozivzdorných ocelí oxidickými vrstvami je pro jejich vlastnosti a požadovanou funkčnost nepříjemná. Vznik oxidické vrstvy má za následek vytvoření ochuzeného místa o některé z legujících prvků. Legující prvky, jak je již uvedeno výše, jsou nositelem oné korozní odolnosti.

Proces odstranění okují odstraní pouze hrubou tlustou oxidickou vrstvu. Pod touto vrstvou se nachází ještě další jemnější oxidická vrstvička. Tu lze odstranit procesem: moření. Moření tedy ve většině případů následuje jako další krok při konečné přípravě povrchu korozivzdorných ocelí.



Obr. 5.1 Nalevo povrch korozivzdorné oceli s okujemi, napravo již odokujený a odmořený tentýž povrch. [19]

5.1.2 Moření

Jak je již popsáno v předchozím odstavci, mořením se odstraňuje tenká zoxidovaná vrstva na povrchu korozivzdorné oceli. V této povrchové vrstvě je snížený obsah chromu. Zdroj [20] uvádí dle poznatků z praxe snížení obsahu chromu o 3 až 5 %. Často, dle typu korozivzdorné oceli, se tedy obsah chromu dostane pod hranici 12 % Cr v základní matici materiálu a na hranicích zrn obsah chromu klesá ještě více. Chrom jakožto hlavní činitel korozivzdornosti je pro samopasivační schopnost nepostradatelný.

Zoxidovaná vrstvička může vzniknout různými vlivy. Vzniká po svařování na okrajích svarů, po pájení a vůbec po jakémkoliv nevhodném ovlivnění materiálu vysokým tepelným příkonem. Takto zoxidovaná vrstva je viditelná změnou barvy povrchu. Na obr. 7.2 je možné vidět tuto vrstvu po okrajích jednotlivých svarů. Vrstva má od lehce modré až po hnědo-oranžovou barvu. Někdy se též označuje termínem: „náběhové barvy“.



Obr. 5.2 Ukázka zoxidované vrstvy na povrchu korozivzdorné oceli podél svarů. [20]

Samotné moření se může provádět ponorem, nástřikem, nanášením štětcem, atd. Mořícími látkami bývá nejčastěji směs kyseliny dusičné a fluorovodíkové. Směs se vždy nanáší po důkladném odmaštění. Po odmoření následuje oplach vysokotlakou teplou vodou, nebo ponorem do teplé vody. Během

procesu moření se odstraní oxidické vrstvy ochuzené o chrom a materiál získá zpátky svou schopnost se samo pasivovat. Povrch korozivzdorné oceli je matný a má šedostříbrnou barvu.

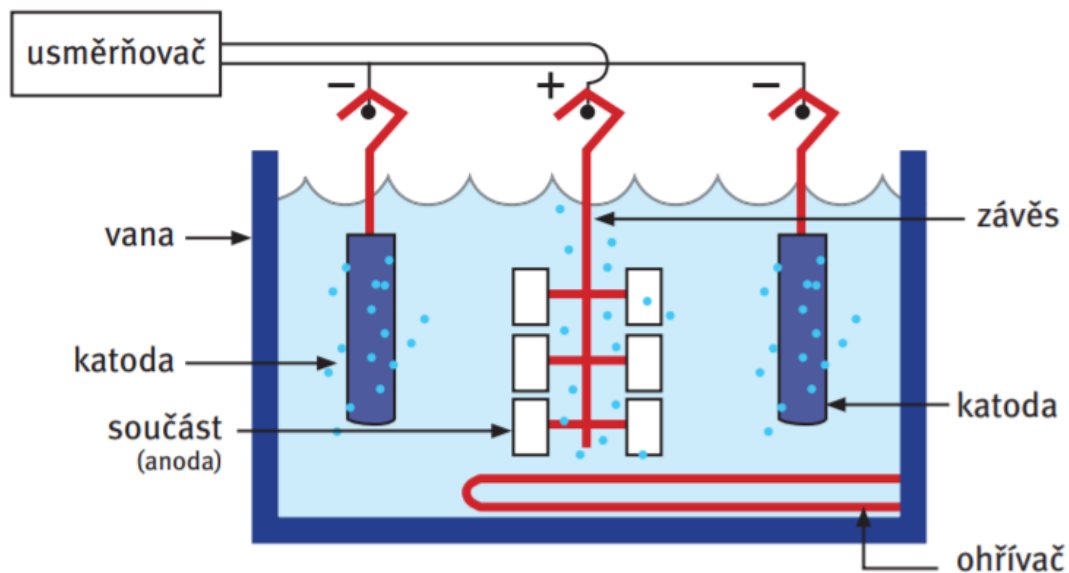
5.1.3 Pasivace

Korozivzdorná ocel má schopnost samopasivace bez jakýchkoliv pomocných procesů. Někdy je ovšem potřeba pasivaci podpořit. Může to být za účelem zrychlení procesu, zvýšení hloubky pasivované vrstvy, nebo jiné. Pasivovaná vrstva tvoří protikorozi ochranu na povrchu oceli. Pasivaci lze podpořit oksyločením kyselinou. K tomuto účelu se nejčastěji používá kyselina dusičná. Na rozdíl od moření, u pasivace nedochází k zmenšování tloušťky pasivovaného povrchu. Dochází zde pouze k přeměně materiálu. [19, 20]

5.2 Elektrolytické leštění

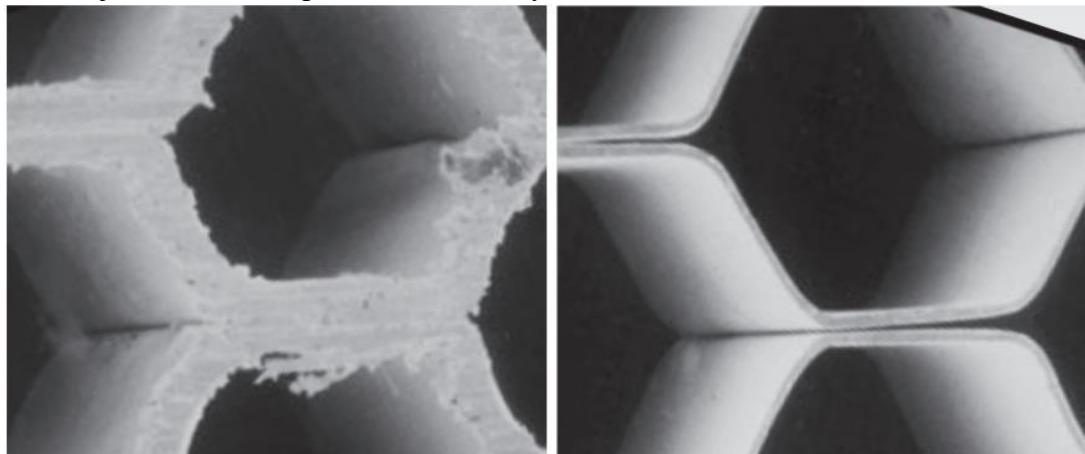
Z leštěného předmětu se elektrolyticky odebírají ionty materiálu na povrchu. Elektrolytické leštění efektivně vyhlazuje mikroskopickou drsnost povrchu materiálu. Materiál se tím stává hladký a lesklý. Je výrazně zmenšeno ulpívání jakýchkoliv částic a nečistot. Hladký povrch se také lépe čistí. Elektrolyticky lze nejen vyhladit povrch, ale také odstranit otřepy a ostřiny, vzniklé při výrobě součásti.

Proces elektrolytického leštění obnažuje čistý povrchově nenarušený základní materiál. Odstraňuje veškeré nežádoucí účinky předchozích povrchových úprav, vrypů apod. Negativní vliv mechanického pnutí, hrubnutí povrchu, tepelného pnutí a zadírání částic se díky elektrolytickému leštění dokonce zmenšuje. Jak je již známo, čím hladší a souvislejší povrch korozivzdorné oceli, tím je její protikorozi odolnost větší. Elektrolytické leštění tedy zvyšuje korozivzdornost korozivzdorné oceli.



Obr. 5.3 Schéma procesu elektrolytického leštění korozivzdorné oceli. [22]

Podstatou procesu je pomocí elektrického proudu odebrání iontů materiálu ponořeného do vhodného elektrolytu jako anody. Můžeme si tento proces představit jako opak galvanického pokovování. Leštěná součást je zavěšena na kovový háček do elektrolytu o vhodném složení. Dále jsou do elektrolytu ponořeny další kovové desky z materiálu dle leštěné součásti. Leštěná součást je připojena na kladný pól stejnosměrného elektrického zdroje. Ostatní kovové desky jsou připojeny na záporný pól. Vznikne uzavřený elektrický obvod, kde leštěná součást tvoří anodu a ostatní kovové desky jsou katodou. Elektrolyt se při připojení stejnosměrném elektrickém proudu chová jako elektrický vodič a umožňuje odebrání iontů kovu z povrchu anody, tedy leštěné součásti. Ionty jsou přitahovány ke katodě, ovšem většina jich zůstává rozpuštěna v elektrolytu.



Obr. 5.4 Nalevo snímek kovových voštin před elektrolytickým leštěním, napravo po vyleštění. [22]

Intenzita odebrání kovu je úměrná velikosti procházejícího proudu obvodem a také složení daného elektrolytu. V místech otřepů a drobných ostřin na leštěném materiálu je na malý objem kovu vysoká proudová hustota. Díky tomuto fyzikálnímu jevu jsou otřepy a ostřiny rozpouštěny rychleji než zbytek součásti. Při elektrolytickém leštění korozivzdorných ocelí se některé prvky odebírají rychleji než ostatní. Například železo a nikl mizí mnohem rychleji než chrom. Tím je ještě zvýšena korozivzdornost takto upraveného povrchu. [22]

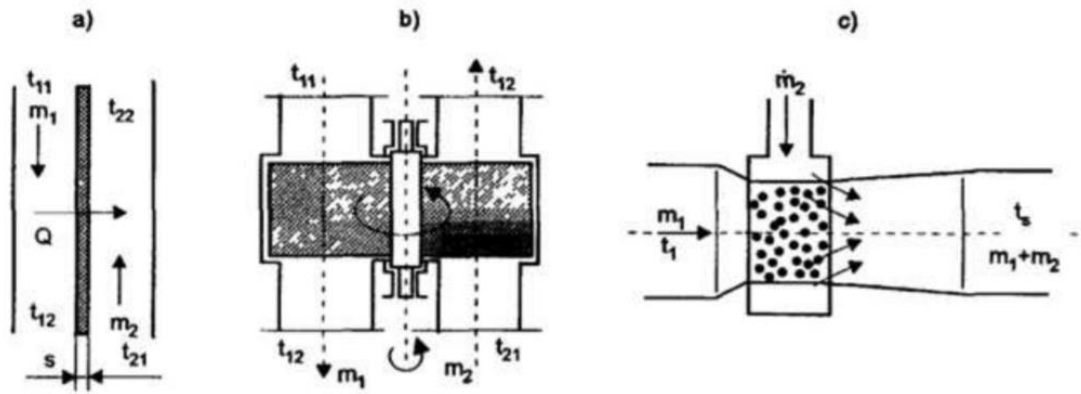
6 Výměníky tepla

Tepelné výměníky slouží k průběžnému nebo přerušovanému předávání tepelné energie pomocí proudících teplonosných médií. Podle způsobu použití existují tři základní druhy. Rekuperační, regenerační a směšovací.

Rekuperační tepelné výměníky pracují na principu oddělených kolujících médií. Ohřívané i ochlazované médium proudí ve výměníku od sebe oddělena neprostupnou přepážkou. Obě média mají svou teplosměnnou plochu o určité velikosti S_1 a S_2 pro ohřívání/ochlazované médium.

Regenerační tepelné výměníky pracují na principu naakumulování energie do teplonosné látky uvnitř výměníku, kterou později předají dál. V praxi to znamená, že nejdříve koluje výměníkem ohřáté médium, které ohřívá vnitřek výměníku. Ve výměníku se energie naakumuluje. Poté s určitým časovým odstupem začne výměníkem kolovat jiné chladnější médium, které naakumulovanou energii z výměníku odebírá zpátky do sebe a přenáší ji dále.

Ve směšovacích výměnících se ohřívaná i ochlazovaná média směšují dohromady. Může to být například rozstřík kapek, kde teplosměnnou plochou je povrch kapek.



Obr. 6.1 Obecné schéma a) rekuperační výměník, b) regenerační výměník, c) směšovací výměník.

Podle účelu dělíme výměníky na tyto:

- ohříváky
- chladiče
- výparníky a odparky
- kondenzátory
- přehříváky a mezipřehříváky
- sušárny
- termické odplyňovány vody
- topná tělesa ústředního vytápění.

Podle proudění výměníky dělíme takto:

- souproudé
- protiproudé
- křížové
- se šikmým vzájemným proudem
- s kombinovaným prouděním.

Nejčastější dělení tepelných výměníků je dělení podle konstrukčního uspořádání:

- bubnové
- deskové
- trubkové

- svazkové
- šroubové
- hadové
- žebrové
- vlásenkové.

Na konstrukci tepelných výměníků jsou kladeny následující požadavky:

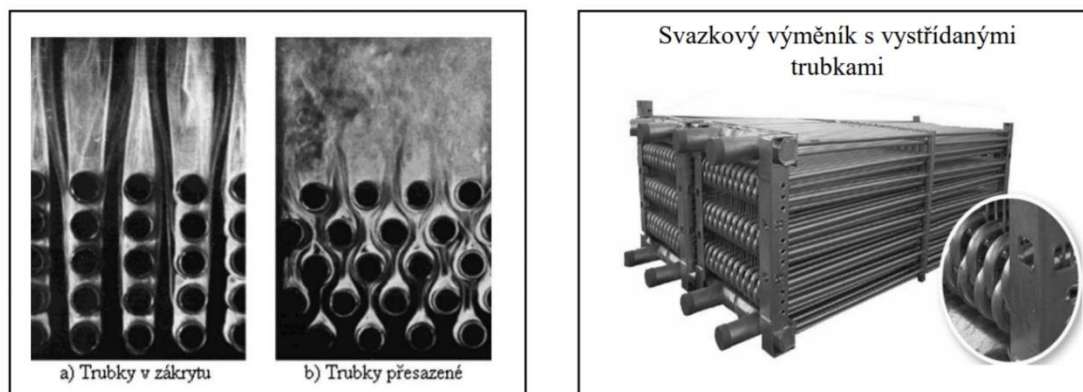
- co nejmenší rozměry a hmotnost
- co nejnižší cena výměníku
- co nejmenší tlakové ztráty
- co nejvyšší účinnost a spolehlivost v provozu. [26]

6.1 Konstrukce rekuperačních výměníků tepla

Jak již bylo řečeno, v rekuperačních výměnících pracují teplonosné látky odděleně od sebe. Oddělení tvoří pevná stěna výměníku, která je zároveň výhřevnou plochou. Podle tvaru dělicí stěny bývají rekuperační výměníky tepla nejčastěji: trubkové, deskové a výměníky s žebrovanými povrchy.

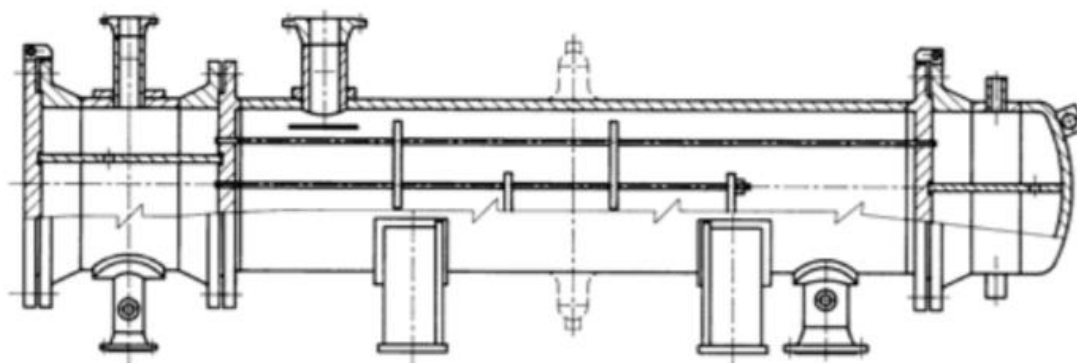
Trubkové výměníky, jak již název napovídá, jsou tvořeny svazkem trubek v plášti. Trubky mohou být různě uspořádány, mohou mít různě zvlněný povrch, nebo žebrování. Nejčastěji bývají použity trubky kruhového průřezu. Uložení trubek v plášti bývá také různé v závislosti na teplotě kolujícího média. Pevné uložení trubek v plášti se používá pro takové provozní parametry, kdy tepelná roztažnost materiálu pláště a teplosměnných trubek výměníku nevyvolají dilatační disproporce. Příliš velké dilatační disproporce by mohly nadměrně zatěžovat konstrukci výměníku a mohlo by dojít až k prasknutí některého ze spojů. Nadměrné dilatační disproporce vyvolané vlivem rozdílné tepelné roztažnosti materiálů výměníku, nebo vyvolané příliš velkou provozní teplotou se dají řešit dvěma způsoby. Za prvé je možné do pláště výměníku zakomponovat kompenzátor. Za druhé se v těchto případech používají takzvané

trubkové výměníky s plovoucí hlavou. Jedná se o konstrukci, kde jsou trubky v plášti uloženy volně a mohou se tedy nezávisle na plášti tepelně roztahovat.

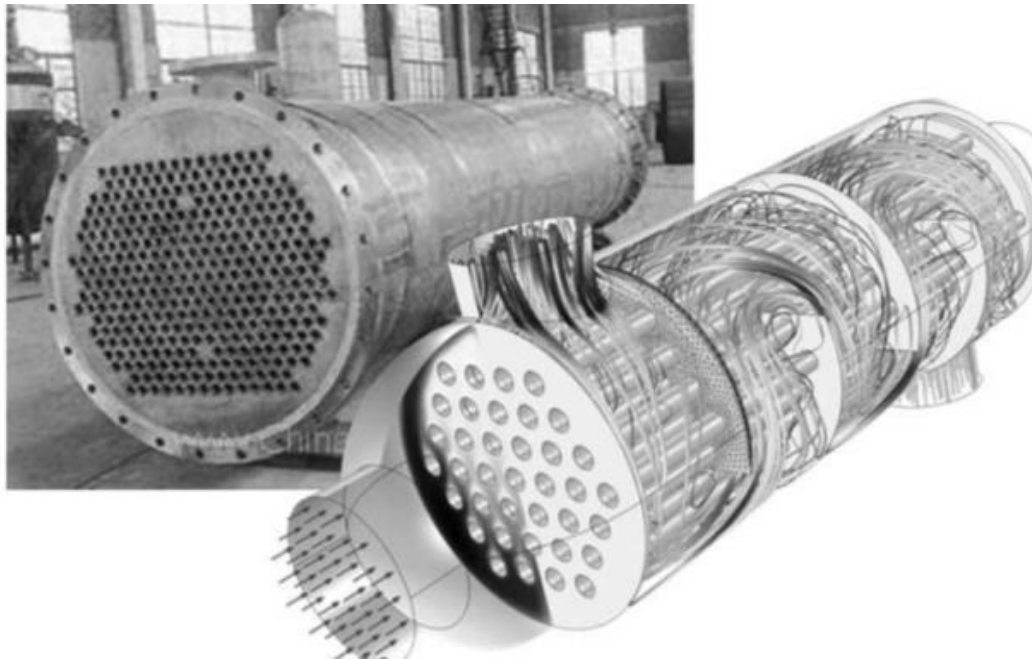


Obr. 6.2 Ukázka konstrukčního uspořádání různých trubkových výměníků tepla. [26]

Trubkové výměníky s pevnými trubkovicemi jsou i přes některé své nedostatky nejčastěji používanými trubkovými výměníky. Trubky jsou pevně spojeny s pláštěm výměníku nejčastěji svarem. Vnitřkem trubek koluje jedno ze dvou teplosměnných médií, kolem těchto trubek a pláště koluje druhé médium. Přenos tepla probíhá prostřednictvím stěn trubek. Na médium, které koluje mezi vnějšími stěnami trubek a pláštěm, je kladen velký důraz na jeho čistotu. Mezitrubkový prostor totiž není možné mechanicky čistit. Prostor je obalen pláštěm a na vnější stranu trubek se tudíž není možné dostat žádným mechanickým nástrojem. Vnější mezitrubkový prostor je možné čistit pouze chemickým způsobem. Ke vnitřnímu prostoru trubek je u většiny trubkových výměníků možnost se po demontáži přírub dostat. Na médium kolující vnitřní částí trubek nejsou tedy kladeny takové požadavky ohledně čistoty, jelikož je možné trubky vyčistit i mechanicky.

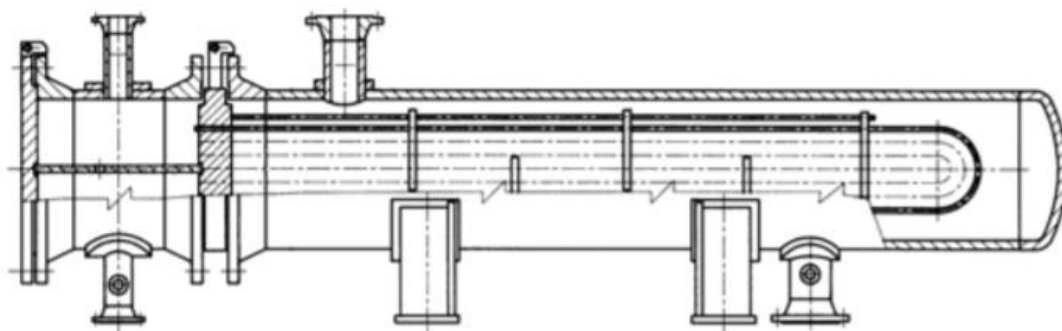


Obr. 6.3 Obecné schéma plášťového trubkového výměníku s pevnými trubkami. [27]

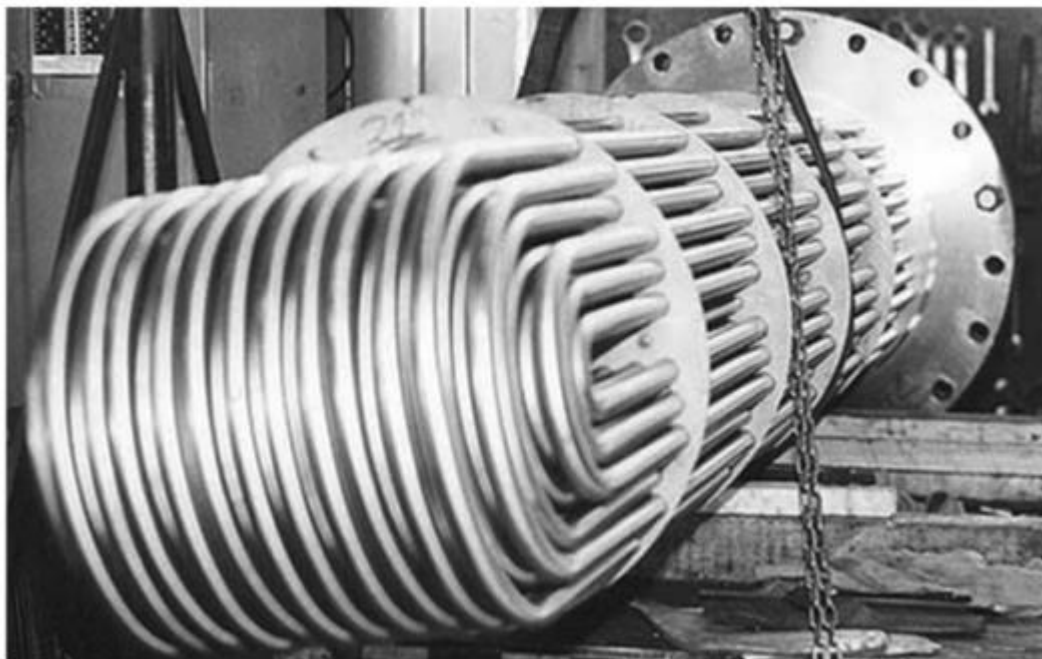


Obr. 6.4 Ukázka konstrukce plášťového trubkového výměníku s pevnými trubkami. [26]

Další velice rozšířenou konstrukcí jsou trubkové výměníky s U trubkami, též nazývané: Vláškové výměníky. Tyto výměníky jsou používány v případech, kdy již zmiňovaná nadměrná vzájemná tepelná roztažnost dosahuje příliš vysokých hodnot. Trubky se mohou díky svému U tvaru libovolně roztahovat. Je zde dokonce zajištěn, díky možnosti vyjmutí celého svazku trubek ven, vnější přístup k trubkám a tím i jejich mechanické vyčištění. Používají se zde trubky velmi malých rozměrů a tlouštěk. Výměníky mají malé rozměry, malou hmotnost a dobře využívají prostupu tepla pláštěm. Bohužel je zde i několik nevýhod. Vnitřní prostory trubek nelze mechanicky čistit. Při porušení nelze vyměnit pouze jednu trubku. [26, 27]



Obr. 6.5 Obecné schéma vláskového výměníku s U trubkami. [27]



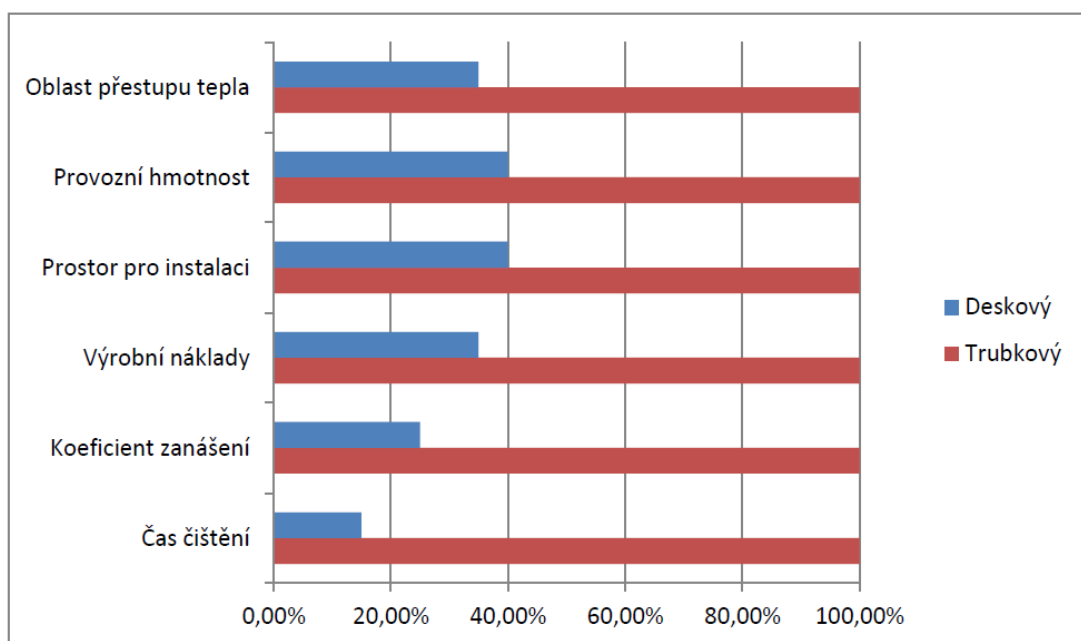
Obr. 6.6 Ukázka konstrukce vlásenkových U trubek patřících dovnitř U trubkového tepelného výměníku. [26]

Výměníky s žebrovanými povrchy se používají spíše pro menší aplikace. Žebra mohou být jak zevnitř trubek, tak i zvenčí. Žebrování slouží k zvětšení teplosměnného povrchu trubek. Používají se například v zařízeních, kde kolují pracovní média s odlišným součinitelem přestupu tepla. Žebra jsou vždy na straně pracovního média s menším přestupem tepla.



Obr. 6.7 Ukázka žebrovaných trubek užívaných v tepelných výměnících. [26]

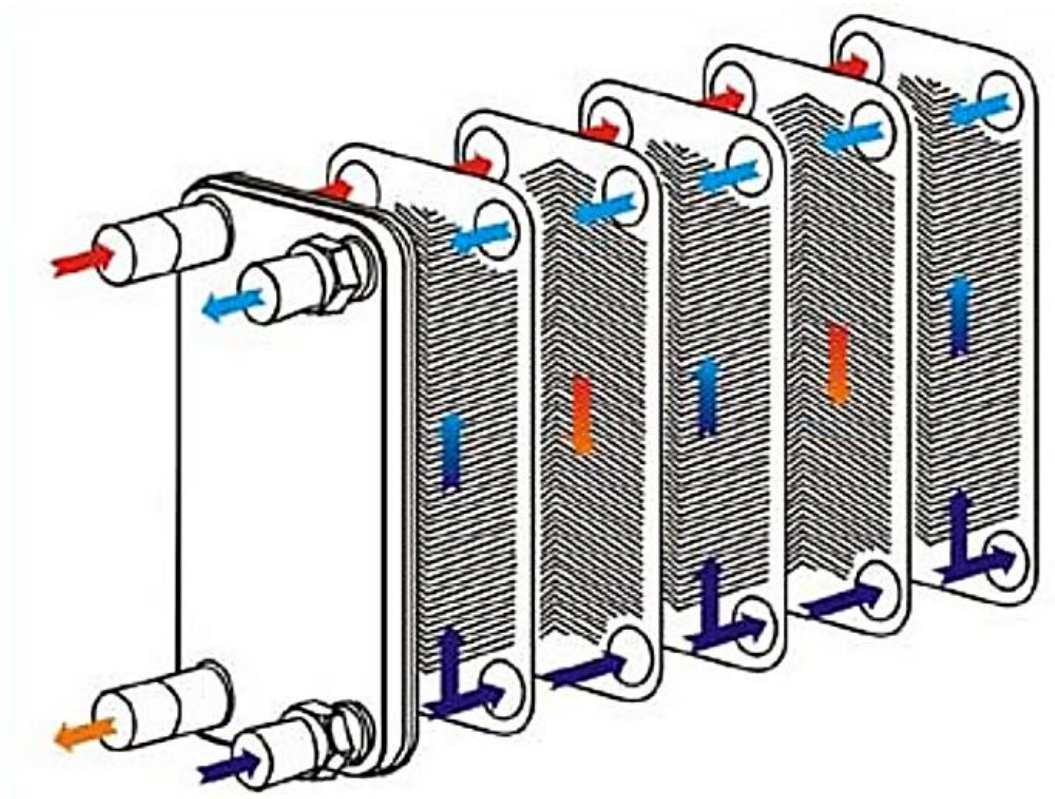
Deskové výměníky vynikají svými kompaktními rozměry, vysokým výkonem přestupu tepla, nižším teplotním gradientem, vyššími turbulencemi proudění a snadnější údržbou ve srovnání s trubkovými výměníky tepla. Deskové výměníky jsou v poslední době stále častěji využívány i díky postupujícím technologiím na jejich výrobu. Stále se zvyšující požadavky na úsporu materiálu mají za výsledek vývoj nových kompaktních deskových výměníků. Jsou zde použity tenčí desky, tím vznikají menší kanály pro proudění teplosměnných médií a zároveň větší teplosměnné plochy výměníku. Tyto výměníky mají větší koeficienty přestupu tepla s kompaktnějšími rozměry.



Obr. 6.8 Graf srovnávající různé aspekty deskových výměníků s výměníky trubkovými. [28]

Jak je možné vidět na obr. 6.8 ekonomické rozdíly deskového oproti trubkovému výměníku tepla jsou opravdu značné. Z pohledu na tento graf může nastat otázka: „Proč se vlastně trubkové výměníky tepla používají?“. Pro malé a střední aplikace jsou ve většině případů vhodné výměníky deskové. Pro větší aplikace ovšem konstrukce trubkových výměníků skýtá mnohé výhody. Mnohdy je potřeba tepelného výměníku takové velikosti, kdy není možné vyrobit deskový výměník tepla. Dalším aspektem je, že trubkové výměníky nepotřebují takovou míru automatizace a přesných přípravků pro svou výrobu, jako výměníky deskové. Konstrukce trubkových výměníků tedy umožňuje relativně levnou výrobu jednoho, či několika kusů daného výměníku přesně na míru. Deskové výměníky se vyrábí ve velkých sériích na přesných

přípravcích. Jednotlivé desky jsou lisovány a následně spojovány. Bylo by ekonomicky velmi náročné vyrábět přípravky na lisování a další technologické kroky pro výrobu jednoho, nebo jen několika deskových výměníků přímo na míru.



Obr. 6.9 Schéma proudění ochlazované a ohříváné kapaliny deskovým výměníkem. [29]

Jednotlivé desky tohoto typu výměníku jsou vyrobené z kovu a mají v sobě prolisy. Po pevném přitisknutí desek k sobě, tvoří prolisy kanály. Z obr. 6.9 je patrné, že obě teplosměnná média proudí odděleny vždy jednou deskou výměníku protiběžně. Teplosměnnou plochou je tedy součet všech ploch jednotlivých desek výměníku.

Desky k sobě mohou být buď pájené, nebo staženy šroubovými svorníky. Šroubované výměníky vyžadují těsnění mezi každou deskou. [6, 26, 28]

7 Pájení v peci

Jedná se o druh kapilárního pájení. Princip této metody spočívá v ohřátí celého objemu pájené součásti. Velká výhoda je v tom, že se dá pájet i více součástí s více různými spoji v peci najednou. Lze to díky rovnoměrnému ohřívání celého objemu pece a následně i rovnoměrnému chladnutí. V pájených součástech tedy nevzniká žádné vnitřní pnutí ani deformace. Je-li potřeba dodatečného tepelného zpracování materiálu pájené součásti, je možné provést tuto operaci rovnou v pájecí peci. V peci lze přesně nastavit a řídit nárůst teploty, výdrž na teplotě, velikost teploty a chladnutí. Díky tomu lze dosáhnout přesně požadovaných technologických parametrů pro správný výsledek a opakovatelnost.

Pájení v peci lze rozdělit podle druhu vnitřní atmosféry na:

- v běžné atmosféře za použití tavidla
- v redukční atmosféře
- v ochranné atmosféře za použití tavidla
- ve vakuu.

V závislosti na materiálu a druhu pájených součástí volíme vhodný způsob pájení. Jako pájky se používají různé materiály např.: slitiny mosazi, mědi, hliníku, stříbra, niklu a další. Pájky lze nanášet ve formě pasty, prášku, drátků apod. Teplota tavení pájky musí být vždy nižší než teplota tavení pájených materiálů. Spoj vzniká difuzí tekuté pájky.

Při vysokých teplotách nastává problém oxidace pájeného kovu. Metody pájení v peci řeší problém oxidů pecní atmosférou nebo vakuem. Exo-plyny (zemní plyn, propan atd.) nebo směsi H_2/N_2 , štěpený amoniak, vodík apod., reagují za vysokých teplot s oxidy za vzniku čistého kovu, vodních par a dusíku. Ve vakuu dochází k rozrušení oxidační vrstvy působením podtlaku a teploty. Typ vakua a typ ochranné atmosféry závisí na pájeném materiálu a ovlivňuje volbu příslušné pájky. Součásti pájené v peci s vakuem jsou po vyjmutí bez jakýchkoli oxidických vrstev a mohou jít přímo na povrchovou úpravu, bez nutné předúpravy. Pájením v peci se spojují například diamantové řezné krystaly s nosnou deskou, lopatky turbín, nebo také deskové výměníky tepla. [30, 31]

8 Praktická část

Praktická část této práce je zaměřena na vyřešení problému odstranění mědi z funkčních vnitřních prostor olejového chladiče dieselových motorů specifikovaném níže. Dále už jen olejový chladič, myšleno vždy tento specifikovaný typ.

Jedná se o deskový chladič z korozi-vzdorné oceli. V meziprostoru mezi jednotlivými deskami se nachází „zvlněné pletivo“, také ze stejné korozi-vzdorné oceli jako celý chladič. Pletivo uvnitř desek tvoří kanály, zvyšuje turbulentnost proudění a velikost teplosměnné plochy. Desky chladiče spolu s pletivem jsou k sobě spájeny mědí metodou pájení v peci s ochrannou atmosférou. Měď je rozlitá ve spojích mezi deskami a pletivem. Díky použité metodě pájení jsou tenkou vrstvou mědi pokryty i veškeré vnitřní plochy chladiče včetně pletiva. Měď se při průchodu oleje chladičem do oleje vylučuje.

Nové dieselové motory, kde má tento typ chladiče být použit, mají některé své komponenty potaženy blíže nespecifikovaným nano-povlakem. Obsah mědi v motorovém oleji, který v těchto motorech pracuje je pro nano-povlak škodlivý. Zadavatel problému uvádí, že hranice maximálního únosného množství vyloučené mědi v oleji musí být menší, než 100 ppm, tedy pod 0.01 %. V testech provedených na chladiči za podmínek:

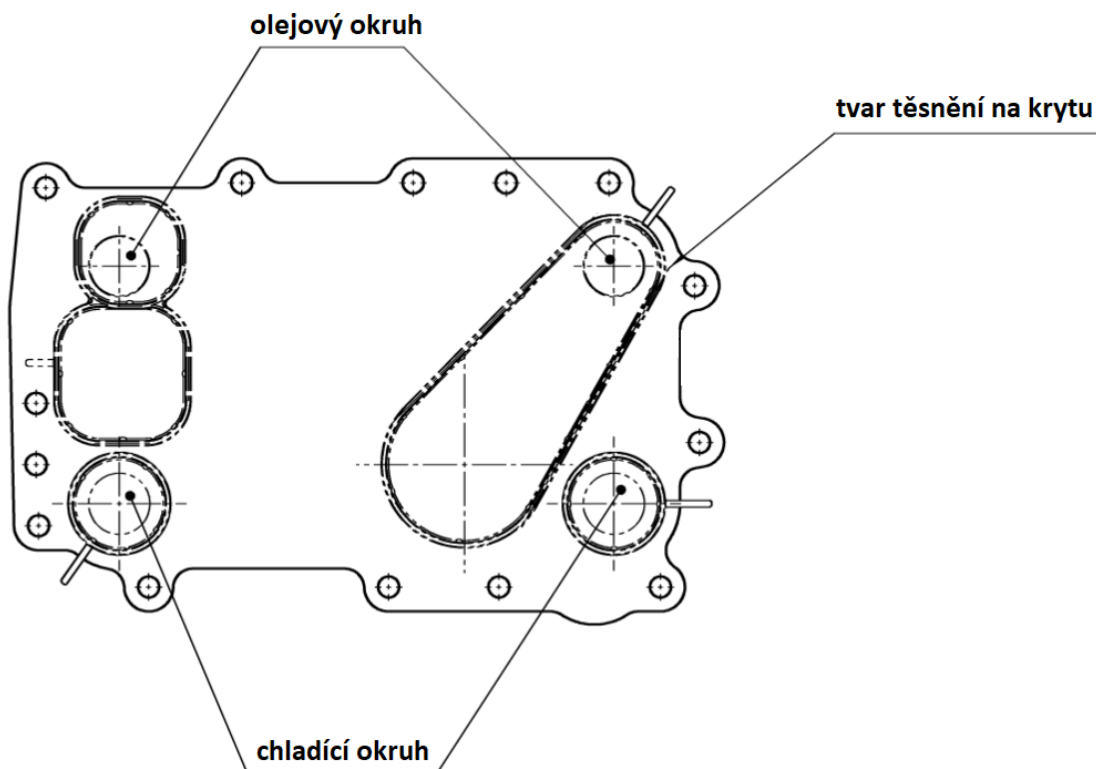
- teplota kolujícího oleje: 118 °C
- doba trvání zkoušky: 120 h
- testovaný kolující olej: motorový olej Tir 7900 / FE10W30
- analýza koncentrace mědi podle: ASTM D4927 nebo ekvivalentu (ICP)

Výsledky testu jsou uvedeny v dokumentu zadavatele: „nano coating for oil-coolant heat exchanger specification“, který bohužel není k dispozici. Znáám je pouze výsledek kde hodnota vyloučené mědi v oleji překročila povolené množství. Řešením problému je zamezení, nebo značné omezení kontaktu kolujícího oleje s mědí. Cílem této diplomové práce je, jak již bylo řečeno výše, vyřešit technologickou otázku zamezení, nebo omezení kontaktu oleje s mědí. Jako řešení se naskýtají dvě možnosti:

- 1) Nanést na vnitřní povrch chladiče vrstvu jiného kovu než je měď.
- 2) Odstranit chemickou cestou co možná největší množství mědi z vnitřních prostor chladiče.

8.1 Specifikace olejového chladiče

Vnitřní prostor chladiče se sestává ze dvou oddělených okruhů. Připojení chladiče je řešeno pomocí příruby z korozi-vzdorného plechu o tloušťce 4,74 mm. Každý z oddělených okruhů má vstupní a výstupní otvor o průměru 25 mm. Olejový okruh je připojen do horních dvou otvorů v přírubě a prochází vnitřními kanály o celkové teplosměnné ploše 9890 cm². Chladicí okruh je připojen do spodních dvou otvorů v přírubě a prochází vnitřními kanály o celkové teplosměnné ploše 9805 cm².

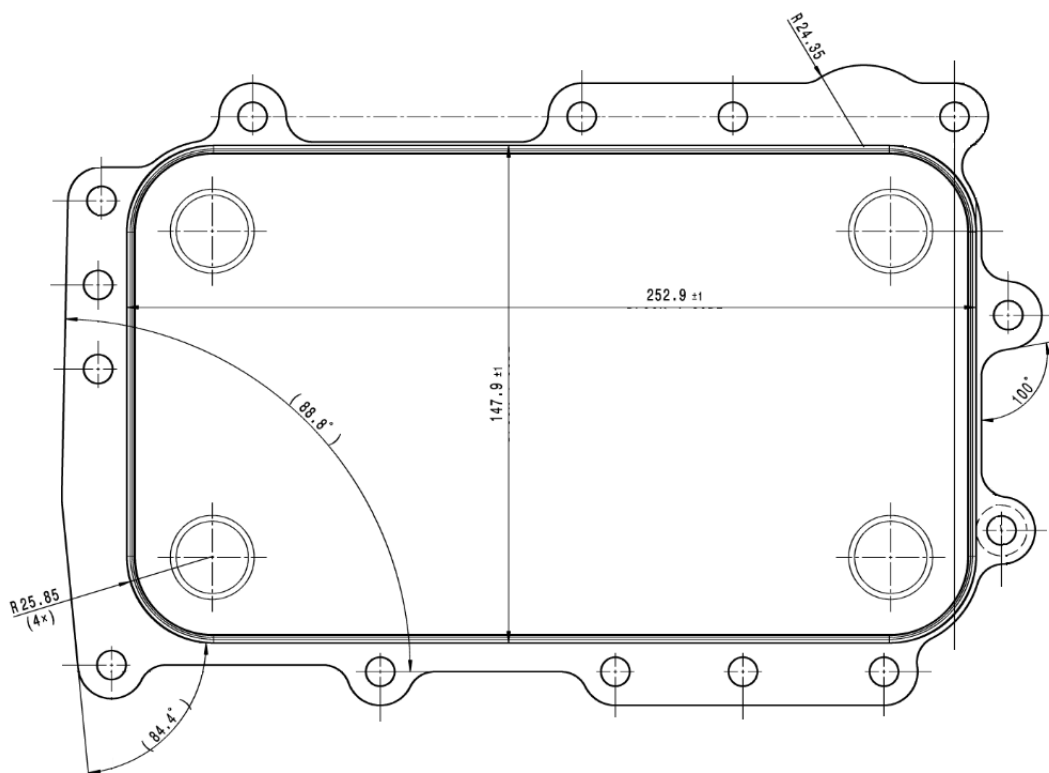


Obr. 8.1 Pohled na připojovací přírubu chladiče s popisem jednotlivých okruhů.

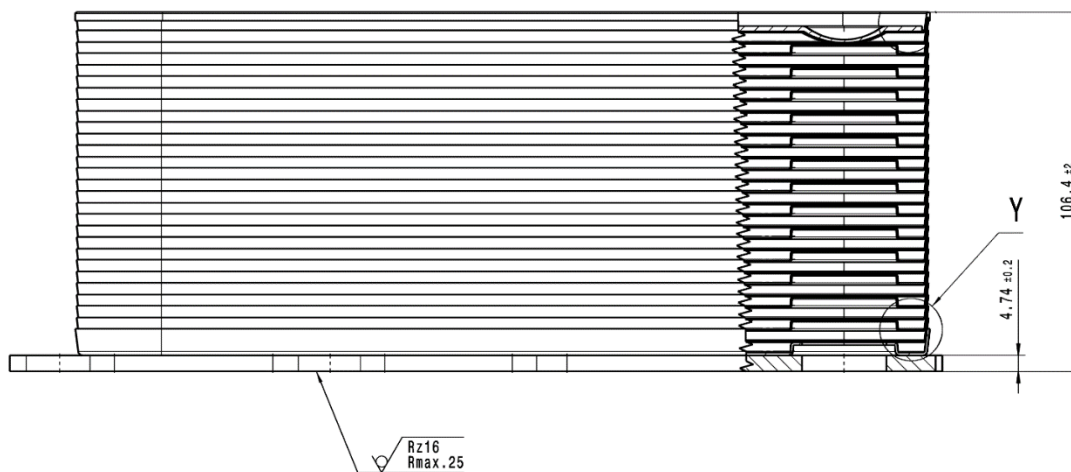
Parametry chladiče:

- | | |
|---|-----------|
| – pracovní tlak v olejové části: | 20 bar |
| – pracovní tlak v chladicí části: | 4 bar |
| – průtok oleje: | 130 l/min |
| – průtok chladicího média: | 80 l/min |
| – teplota oleje při vstupu: | 120 °C |
| – teplota chladicího média při vstupu: | 103 °C |
| – min. tlak při roztržení olejové části: | 100 bar |
| – min. tlak při roztržení chladicí části: | 10 bar |

8.1.1 Rozměrová specifikace olejového chladiče



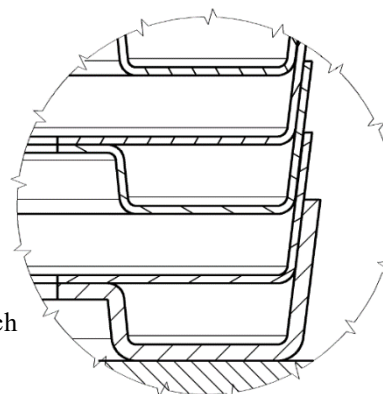
Obr. 8.2 Rozměry chladiče – pohled shora.

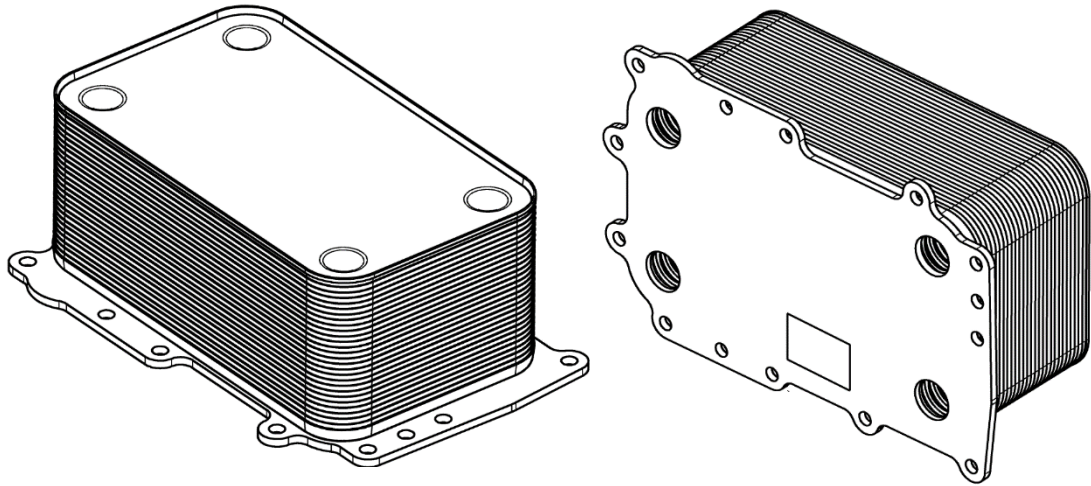


Obr. 8.3 rozměry chladiče – pohled bokorys.

Y
5:1

Obr. 8.4 Detail na složení jednotlivých desek uvnitř chladiče.





Obr. 8.5 3D model chladiče.

8.2 Analýza chladiče

Před navrhováním vhodné metody, jak zabránit kontaktu oleje s mědí uvnitř chladiče, je nutné znát materiál ze kterého je chladič vyroben. Známo je pouze, že chladič je vyroben z korozivzdorné oceli. Pro bližší specifikace materiálu byl použit měřicí přístroj typu spektrální analyzátor.

Konkrétně spektrální analyzátor **Delta Dynamic XRF**:

Ruční spektrální analyzátor Delta Dynamic XRF je vyráběn v USA společností Waltham. K analyzování využívá rentgenky s výkonem 4W. Pro lehké prvky využívá maximálního proudu až 200 μA . Má úzkou geometrii detektoru pro maximalizaci užitečného signálu. K detekci využívá velkoplošný SDD detektor. Je vyroben z odlehčeného materiálu Lexan a je vodotěsný a prachotěsný. Zobrazení naměřených hodnot zprostředkovává průmyslový dotykový displej Blanview.

Ruční spektrální analyzátor Delta dokáže analyzovat tyto prvky:

Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Nb, Mo, Hf, W, As, Ta, Re, Pb, Ag, Sn, Bi, Sb, Au, Pd, Pt, Ir, Rh.

Dále pak prvky Al, Mg, Si, P, S bez použití vakua či hélia. [32]



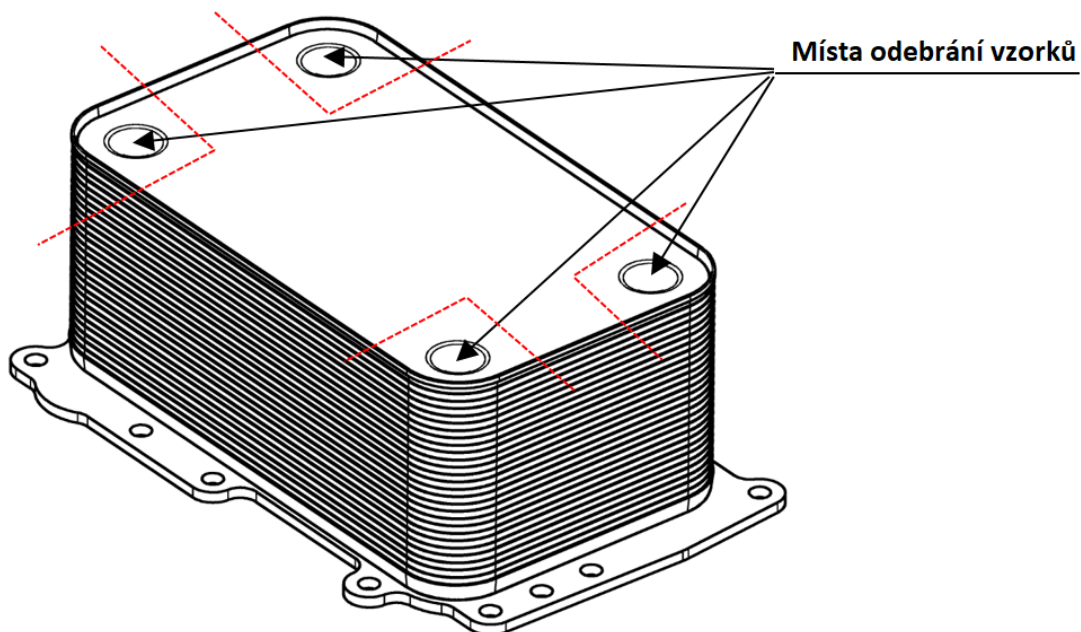
Obr. 8.6 Ruční spektrální analyzátor DeltaDynamic XRF. [32]

K provedení analýzy stačí pouze přístroj zapnout do příslušného režimu a na několik sekund ho přiložit čelem, kde má senzor k měřenému vzorku. Přístroj poté zobrazí na svém displeji veškeré naměřené prvky i s příslušnou hodnotou nepřesnosti. Výsledek je možné pomocí USB přesunout do počítače, nebo lze opsat hodnoty jednotlivých prvků přímo z displeje.

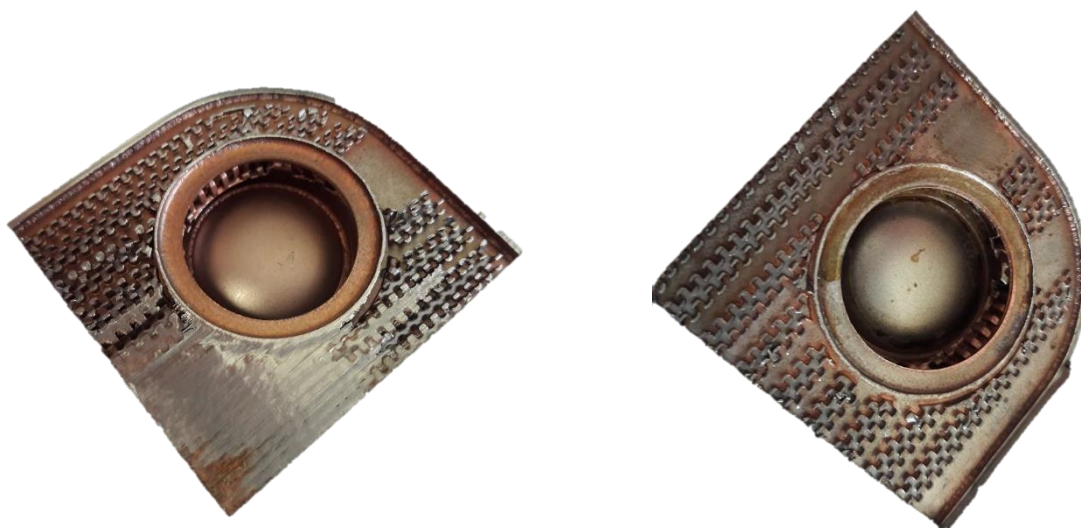


Obr. 8.7 Ukázka měření složení materiálu na přírubě pomocí ručního spektrálního analyzátoru Delta. [32]

Jeden vzorek chladiče byl rozřezán na pásové pile. Byly z něj nařezány malé dílce o velikosti cca 50 x 50 x 20 mm. Vzorky byly odebrány vždy ze svrchní části chladiče v místě průběžných otvorů. Bylo tedy možné odebrat celkem čtyři kusy vzorků. Vzorky byly vždy se svrchním obalem chladiče a se dvěma vrstvami kanálů.



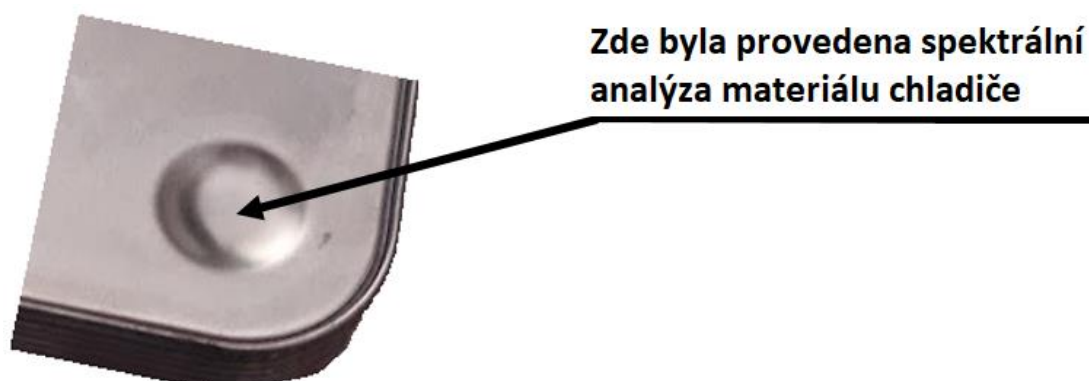
Obr. 8.8 Vyznačení míst, ze kterých byly odebrány čtyři vzorky.



Obr. 8.9 Ukázka dvou odebraných vzorků.

Na vnitřních površích odebraných vzorků je zřetelně vidět tenký měděný povlak. Zde tedy spektrální analýza provedená být nemohla. Vnější povrch chladiče

je ovšem čistý, bez měděného povlaku. Spektrální analýza byla tedy provedena na vnější straně jednoho ze čtyřech vzorků, v místě na Obr. 8.10.



Obr. 8.10 Místo provedení spektrální analýzy materiálu chladiče.

Spektrometr naměřil následující hodnoty:

El	%	+/-	Spec (DIN 1-4308)
Si	0.45	0.01	[0.00-1.50]
V	0.17	0.01	Stopa[0.15]
Cr	17.89	0.08	[18.00-20.00]
Mn	0.79	0.04	[0.00-1.50]

El	%	+/-	Spec (DIN 1-4308)
Fe	71.99	0.12	[60.00-80.00]
Co	0.49	0.06	Stopa[0.60]
Ni	7.91	0.08	[8.00-11.00]
Cu	0.32	0.02	[0.00-0.50]

Obr. 8.11 Výsledky analýzy kovu ze spektrometru.

Podle naměřených hodnot na spektrometru nám sám přístroj dle svých databází určil normu a označení příslušného materiálu. Zkoumaný olejový chladič je tedy vyroben z austenitické korozivzdorné oceli: DIN 1.4308. Český ekvivalent této jakosti je ČSN 42 2931.

Chemické složení materiálu dle normy:

Tab. 8.1 Chemické složení austenitické korozivzdorné oceli DIN 1.4308.

C [%]	Si [%]	Mn [%]	Ni [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Cu [%]
max 0,07	max 1,5	max 1,5	08.XI	max 0,04	max 0,03	18 - 20	max 0,5

Mechanické vlastnosti:

- R_m: 440 – 640 MPa
- R_{p0,2}: 175 MPa
- A: 30 %

GX5CrNi19-10 je austenitická korozivzdorná ocel, paramagnetická. Má vynikající korozní odolnost v běžném prostředí a také v určitém chemickém prostředí, například v kontaktu s: kyselinou dusičnou, nebo organickými chladnými roztoky kyselin. Je dobře svařitelná všemi běžnými metodami a po svaření je odolná vůči mezikrystalové korozi. Po svařování není nutná tepelná úprava. Díky nízkému obsahu C má i dobrou obrobiteľnosť a kujnosť. Hlavní využití má v chemickém, potravinářském a farmaceutickém průmyslu pro výměníky, zásobníky, tlakové nádoby, a jiné. Je hojně využívána tam, kde je materiál deformován tepelným zatížením. [33]

8.3 Návrh rozpouštěcích kyselin

Možnost pokrýt vnitřní plochy chladiče, ve kterých koluje olej, jiným kovem, než je měď byla po krátké úvaze ihned zavrhnuta. Museli bychom ověřit účinky daného nanášeného materiálu na nano-povlakované dílce motoru, zdali nemají stejný negativní vliv na nano-povlak, jako měď. Hlavním důvodem ovšem byly příliš velká vnitřní plocha chladiče. Jen olejový kanál sám o sobě má vnitřní plochu 9890 cm². Při dalším povlakování, ať jakoukoliv metodou, by mohlo dojít k ucpání některého z kanálů. Nehledě na obrovské množství vyloučeného kovu a tím i zvýšení hmotnosti, snížení tepelného prostupu a další problémy. Zadavatel popisuje ve svých požadavcích problémy, kterým je nutné se vyvarovat:

- tlaková ztráta chladiva a olejových kanálů nesmí být ovlivněna povlakem
- žádné zablokování kanálu není povoleno a musí mu být zabráněno
- povlak nesmí mít dopad na přenosových schopnostech chladiče.

Jako nejschůdnější možnost připadá v úvahu odstranění co největšího množství mědi z vnitřních povrchů chladiče, tedy alespoň v místech, kde proudí ochlazovaný olej. Chladič je nerozebíratelný. Jediná možnost, jak měď z vnitřních prostor odstranit je chemickou cestou pomocí rozpouštědla mědi.

Měď je možné rozpouštět pomocí minerálních kyselin. Jako ušlechtilý kov ovšem nedokáže z kyseliny vytěsnit kationty vodíku. Pro rozpuštění je tedy nutné mít oxidační prostředí. Oxidující kyseliny, nebo neoxidující kyseliny s oxidačním činidlem. Jako oxidační činidlo může být použit například peroxid vodíku.

Pro náš účel bylo navrženo několik různých směsí kyselin a chemických látek. Návrh těchto látek probíhal s ohledem na předpokládané rozpustné účinky mědi. Vliv na obsluhu a okolní prostředí, Finanční stránka věci byla také zohledněna. V neposlední řadě byl brán v úvahu vliv dané látky na materiál chladiče, tedy na korozi vzdornou ocel GX5CrNi19-10.

8.3.1 Kyselina dusičná

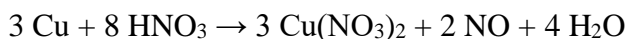
Kyselina dusičná je velmi významná a silná minerální kyselina. Má vzorec: HNO_3 . Je známa od 14. století. Čistá 100% kyselina dusičná je bezbarvá kapalina s hustotou: $1,513 \text{ g/cm}^3$. Tuhne a vytváří bílé krystaly při teplotě $-42 \text{ }^\circ\text{C}$. K varu se dostává při teplotě $+83 \text{ }^\circ\text{C}$. 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“. Při koncentraci přes 86 % kyselina vypouští do ovzduší bezbarvý až červenohnědý dým podle svého znečištění. Takováto kyselina je označována jako dýmavá. Koncentrovaná kyselina dusičná 68,4 % a více vytváří s vodou azeotropickou směs. 1 l váží cca 1400 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 zapříčiňuje 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 možný 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.

Standardní věty o nebezpečnosti:

H272 Může zesílit požár; oxidant.

H314 Způsobuje těžké poleptání kůže a poškození očí.

H290 Může být korozivní pro kovy.

H331 Toxický při vdechování.



Obr. 8.12 Výstražné symboly nebezpečnosti.

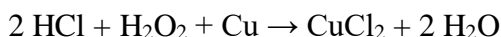
8.3.2 Kyselina chlorovodíková

Kyselina chlorovodíková též nazývaná kyselina solná patří mezi velmi silné kyseliny. Jde o vodný roztok plynného chlorovodíku. Chemické označení je HCl. Jedná se o jednu lidstvu nejdéle známou a nejvíce využívanou kyselinu. Čistá kyselina chlorovodíková je bezbarvá. Technická kyselina chlorovodíková je častější, ale nedosahuje takové čistoty. Technická kyselina chlorovodíková má lehce nažloutlou barvu díky přítomnosti železitých iontů. Má ostrý štiplavý zápach. Tuhne při $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ a varu dosahuje při $+110\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dosahuje hmotnosti $1,19\text{ g/cm}^3$.

Reaguje s mnoha neušlechtilými kovy. Vznikají přitom chloridy. Nemá oxidační účinky, ani ve velké koncentraci. Vyskytuje se v sopečných plynech, v trávicím traktu většiny savců. Výpary způsobují velmi rychlou korozi kovů v jejich blízkosti. Výpary jsou toxické a leptají sliznice.

V průmyslu je nejčastěji kyselina chlorovodíková používána v 31% koncentraci. V této koncentraci má největší stupeň kyselosti. Používá se například k detekci vápence (silně šumí). Směs kyseliny chlorovodíkové a kyseliny dusičné v poměru 3:1 (nazývané lučavka královská) dokáže leptat kovy jako je zlato a patina.

V roztoku zředěné kyseliny chlorovodíkové měď nelze nerozpouštět. Měď lze rozpouštět po přidání oxidačního činidla (nejběžněji peroxid vodíku), rozpouštění může probíhat velmi pomalu až bouřlivě v závislosti 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.

Standardní věty o nebezpečnosti:

H314 Způsobuje těžké poleptání kůže a poškození očí.

H335 Může způsobit podráždění dýchacích cest.

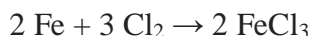
H290 Může být korozivní pro kovy.



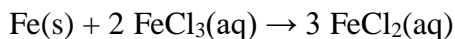
Obr. 8.13 Výstražné symboly nebezpečnosti.

8.3.3 Chlorid železitý

Chlorid železitý je hyroskopická anorganická sloučenina s chemickým označením FeCl_3 . Za přítomnosti vzdušné vlhkosti se samovolně roztéká. Vyrábí se z železa, nebo železné rudy.



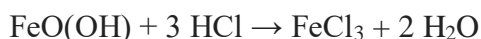
1) Rozpuštění železa v roztoku chloridu železitého



2) Rozpuštění železné rudy v kyselině chlorovodíkové



Nejsnadněji lze chlorid železitý vyrobit rozpuštěním kovové rzi v kyselině chlorovodíkové.



Takto připravený chlorid železitý není zcela čistý, ale na některé účely je plně vyhovující.

Chlorid železitý se v průmyslu používá nejčastěji k leptání poměděných plošných spojů, tedy k leptání mědi. Dokáže leptat i ostatní kovy. Nožíři například využívají chlorid železitý ke zvýraznění kresby na „damaškové oceli“. Leptadlo vyleptá oba druhy oceli damaškové čepele. Jeden druh oceli více, druhý méně s odlišným zbarvením. Takto vznikají krásné designové nože. Další využití je například jako vložkovací přípravek při čištění odpadních vod. Vložky kalu se zhutní a lépe potom sedimentují. [34, 35, 36]

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

Standardní věty o nebezpečnosti:

H302 Zdraví škodlivý při požití.

H315 Dráždí kůži.

H318 Způsobuje vážné poškození očí.

H290 Může být korozivní pro kovy.



Obr. 8.14 Výstražné symboly nebezpečnosti.

8.3.4 Persíran sodný

Nazývaný též leptací sulfát má chemickou značku $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$. 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 $\mu\text{m}/\text{min}$. Nedoporučuje se překračovat pracovní teplota 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. [35, 36, 37]

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

Standardní věty o nebezpečnosti:

H272 Může zesílit požár; oxidant.

H302 Zdraví škodlivý při požití.

H315 Dráždí kůži.

H317 Může vyvolat alergickou kožní reakci.

H319 Způsobuje vážné podráždění očí.

H334 Při vdechování může vyvolat příznaky alergie nebo astmatu nebo dýchací potíže.

H335 Může způsobit podráždění dýchacích cest.



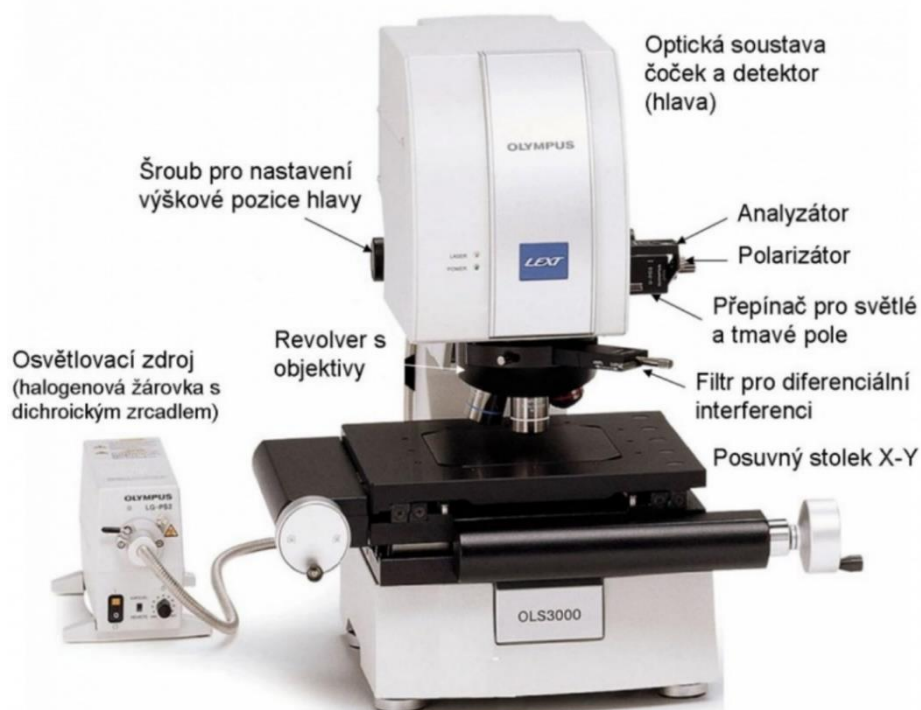
Obr. 8.15 Výstražné symboly nebezpečnosti.

8.4 Čištění jednotlivých vzorků

Nejdůležitějším hodnotícím faktorem je výsledný stav povrchu základního materiálu chladiče. Je velmi důležité, aby korozivzdorná ocel, ze které je chladič vyrobený, nebyla nijak povrchově narušena. K tomuto účelu je jako nejlepší měřicí přístroj konfokální mikroskop.

Naše 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 $0,1 \mu\text{m}$. 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 obrázky umožňuje systém skládání jednotlivých řezů s posuvem v ose Z. [39]



Obr. 8.16 Konfokální mikroskop Olympus LEXT OLS3000. [38]

8.4.1 Vzorek před čištěním

Na obr. 8.17 je vidět jeden ze vzorků před vyčištěním od měděného povlaku.



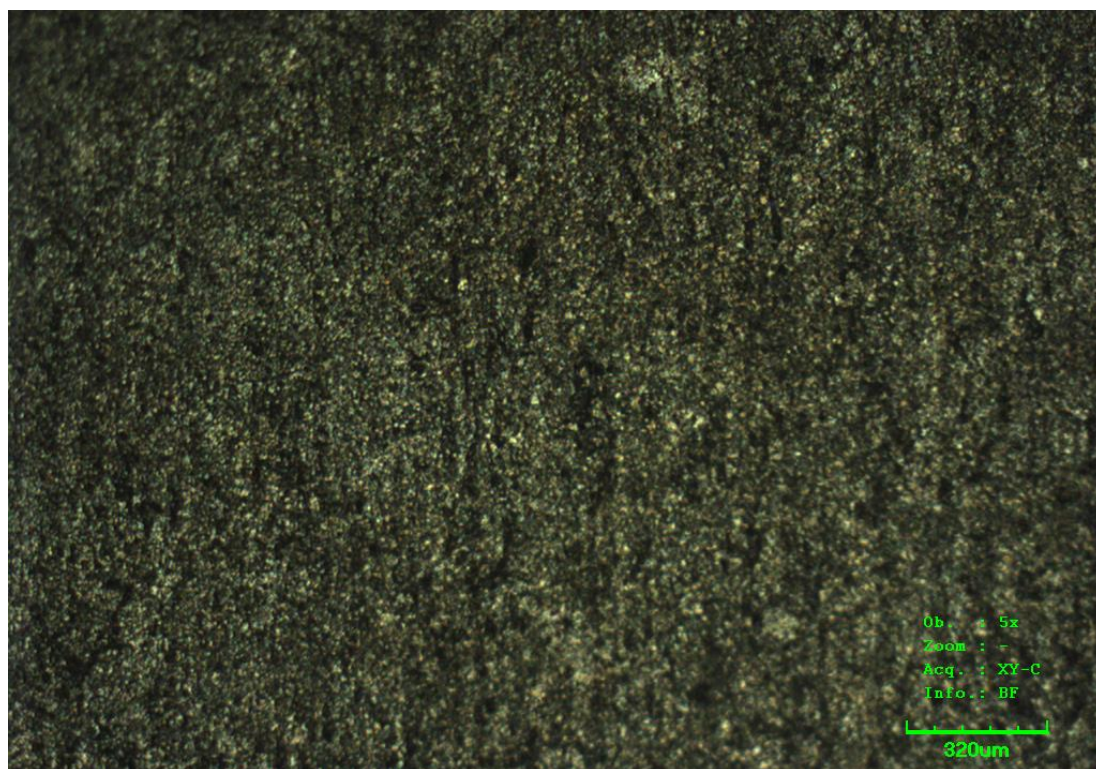
Obr. 8.17 Vzorek číslo 1 před vyčištěním.

Měření hmotností jednotlivých vzorků byla prováděna na laboratorní ocejchované váze Ohaus Explorer PRO (Obr. 8.20) Tato váha měří s přesností 0,1 mg.

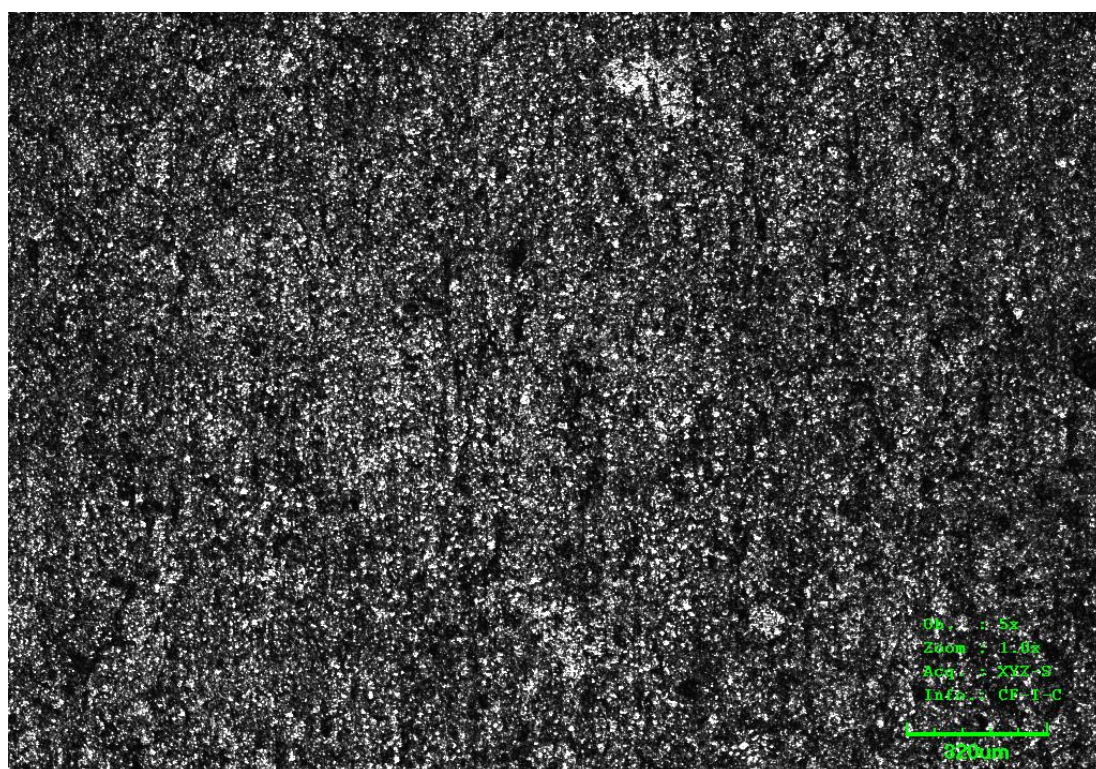


Obr. 8.18 Laboratorní váha Ohaus explorer PRO.

Struktura povrchu před čištěním je u všech vzorků stejná. Z konfokálního mikroskopu máme detailní snímky tohoto povrchu potaženého mědí. Na obr. 8.19 je barevný snímek struktury povrchu s příslušným měřítkem.

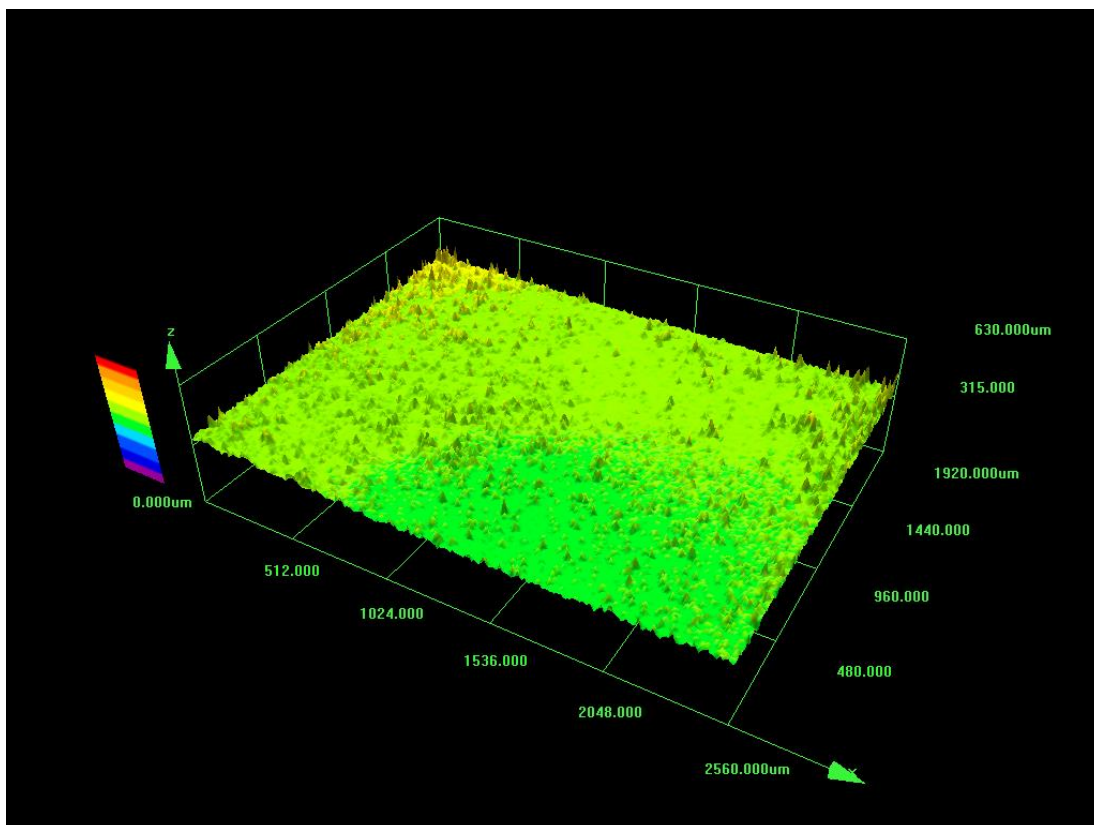


Obr. 8.19 Barevný snímek struktury povrchu.



Obr. 8.20 Černobílý snímek struktury povrchu.

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 snímku 8.21 je vidět 3D struktura drsnosti povrchu ve snímané oblasti vzorku.



Obr. 8.21 3D struktura drsnosti povrchu poměděného vzorku.

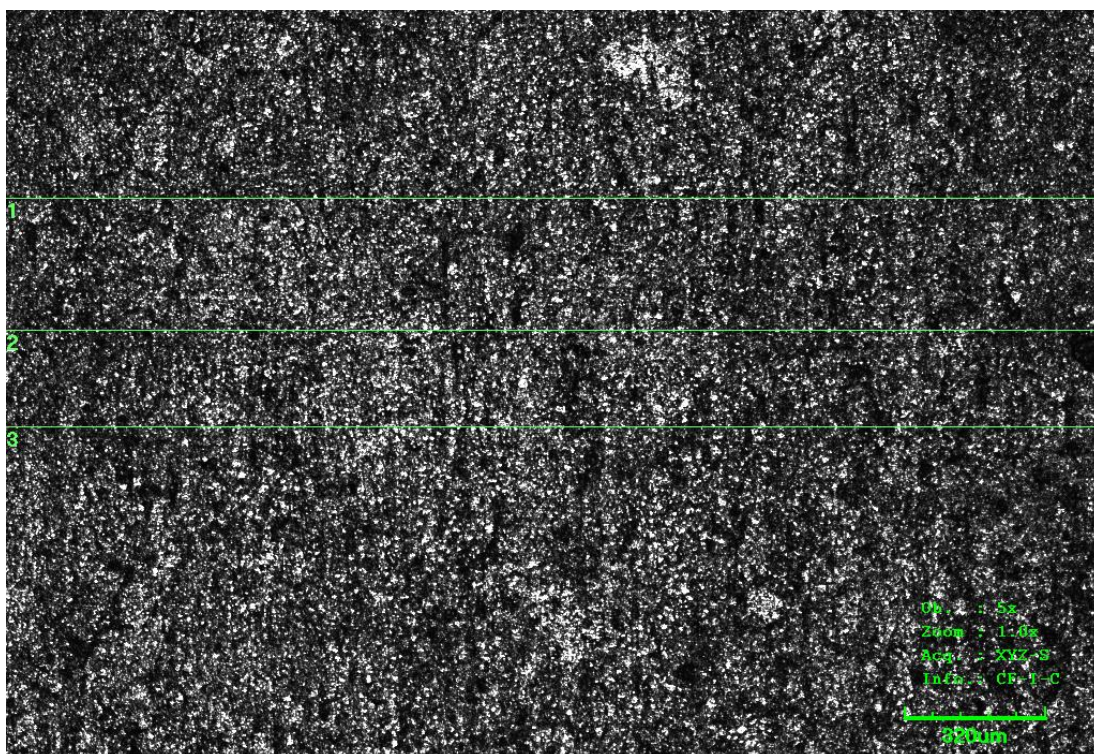
Drsnost povrchu byla vyhodnocována i číselně pomocí ustáleného označení profilu povrchu Rz a Ra. Byly provedeny pokaždé 3 různá měření v různých místech.

U poměděného vzorku byly naměřeny následné drsnosti:

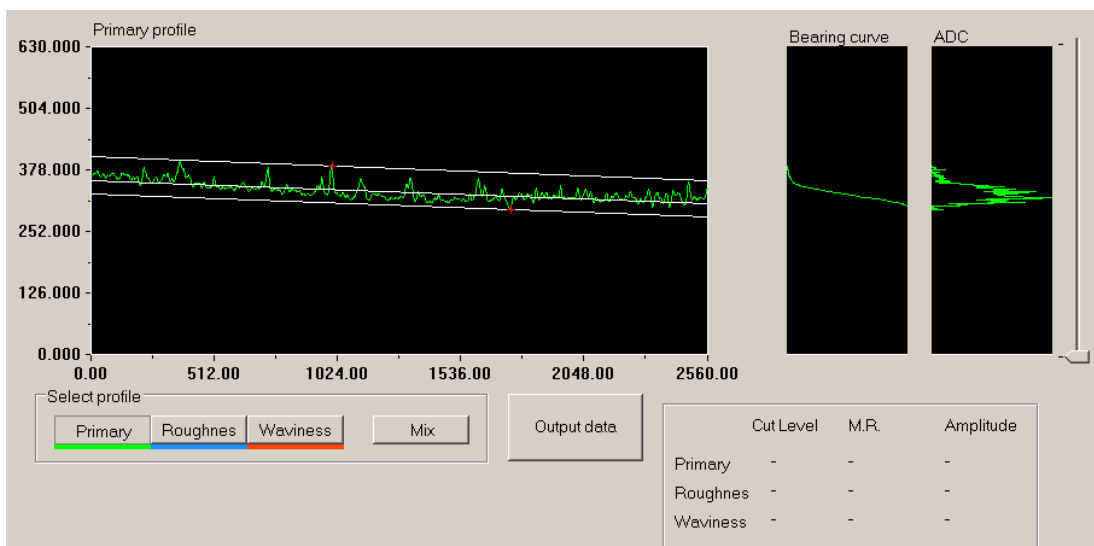
Tab. 8.1 Naměřené hodnoty drsností na poměděném vzorku.

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

Naměřené hodnoty drsnosti z tabulky 8.1 byly odebrány z míst označených zelenými čarami na obr. 8.22.



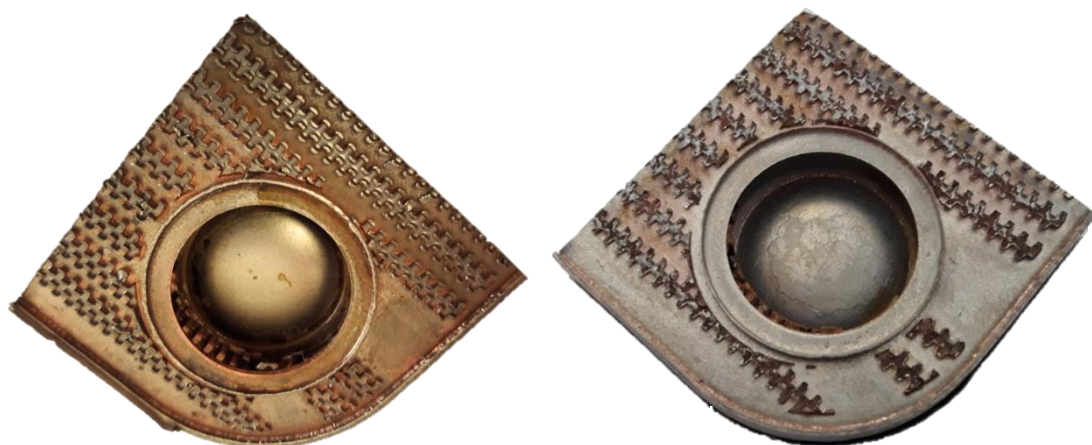
Obr. 8.22 Označení míst kde byly odebrány hodnoty pro drsnosti.



Obr. 8.23. Profil příčné drsnosti zobrazený z konfokálního mikroskopu.

8.4.2 Vzorek čištěný kyselinou dusičnou

Na obr. 8.24 je znázorněn vzorek číslo 1 před a po vyčištění. Vzorek byl čištěn 20% kyselinou dusičnou po dobu 20 minut.

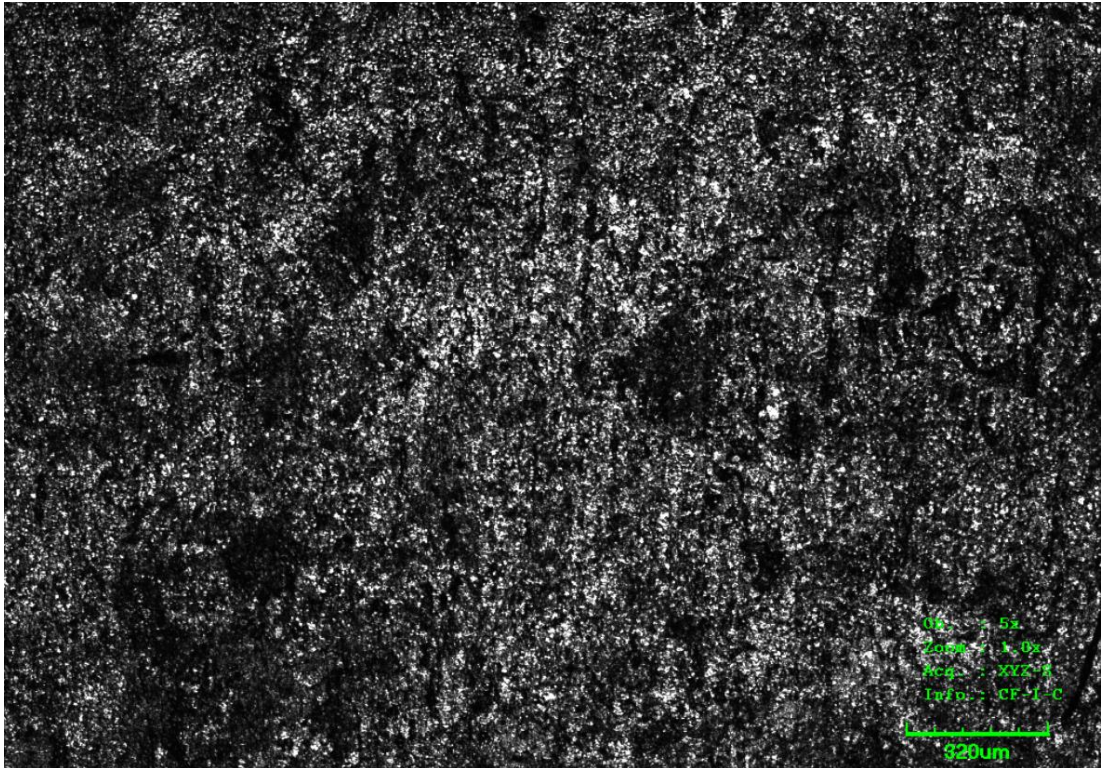


Obr. 8.24 Nalevo vzorek 1 před čištěním, napravo po čištění.

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 8.24 nepovedlo se vyčistit veškerou povrchovou měď a v dutinách ji zůstalo ještě více. Kyselina dusičná nebyla na odstranění mědi dostatečně účinná.

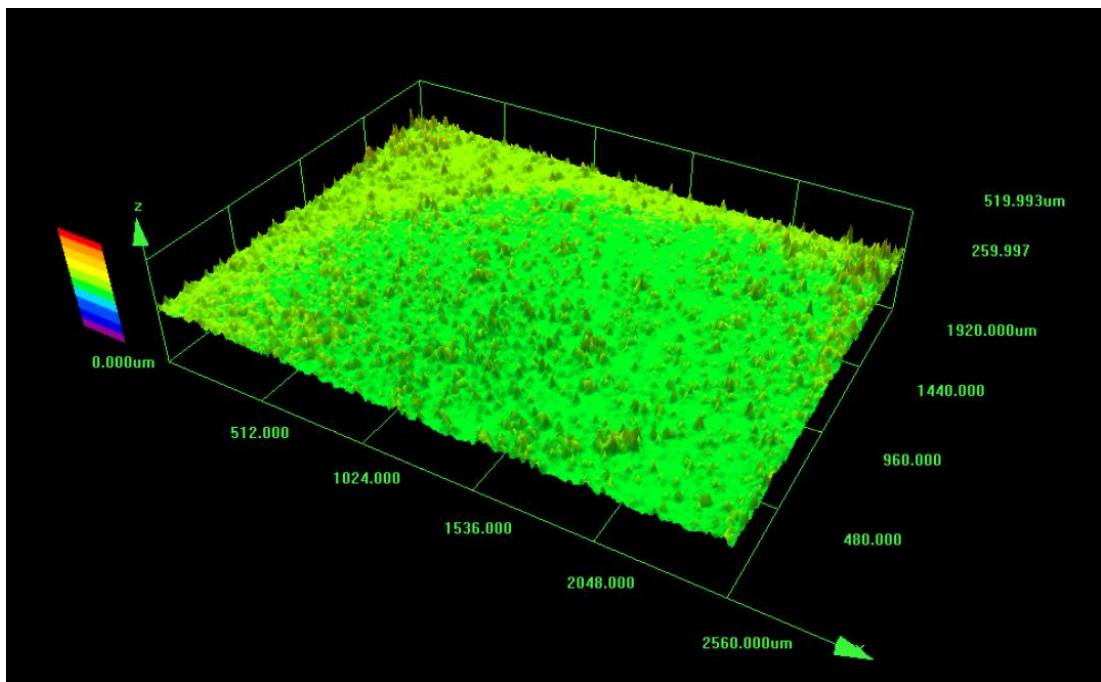


Obr. 8.25 Barevný mikroskopický snímek struktury vyčištěného povrchu vzorku 1.



Obr. 8.26 Černobílý mikroskopický snímek struktury vyčištěného povrchu vzorku 1.

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

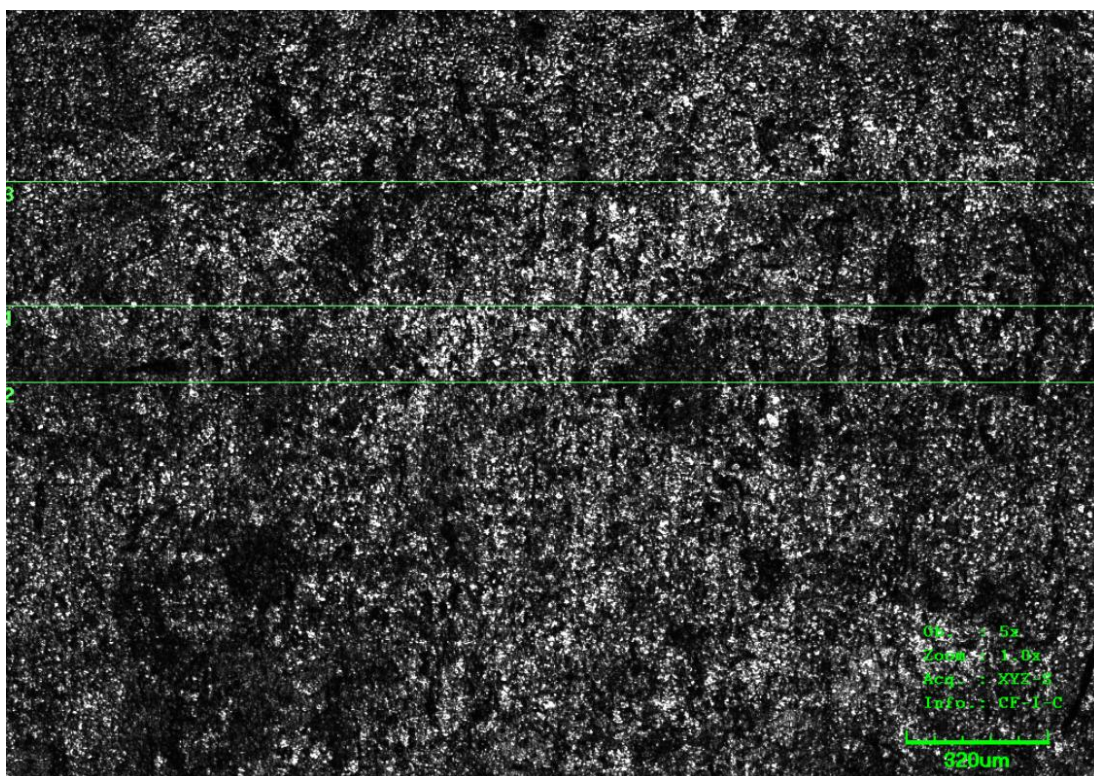


Obr. 8.27 3D struktura drsnosti povrchu vzorku 1 po vyčištění.

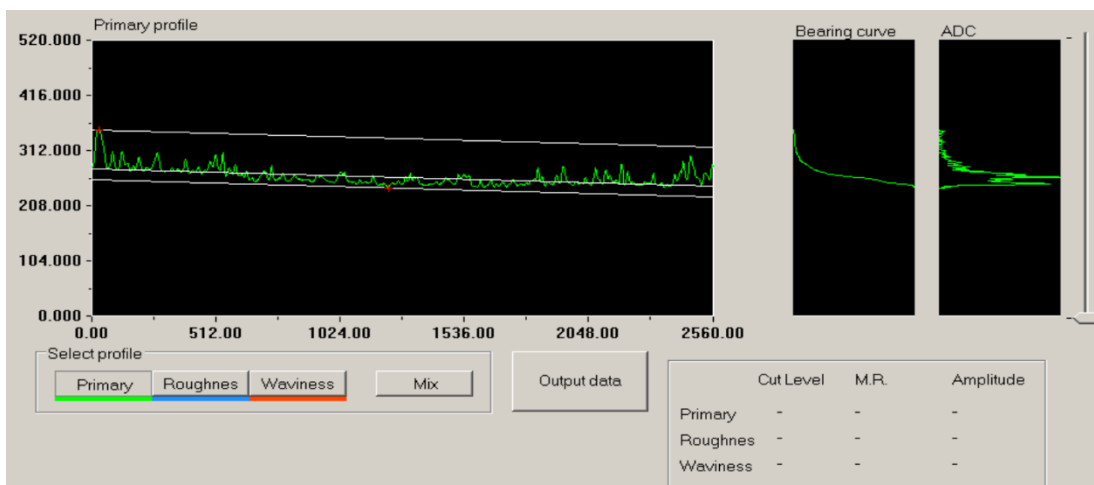
Tab. 8.2 Naměřené hodnoty drsnosti vzorku 1 po čištění.

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.



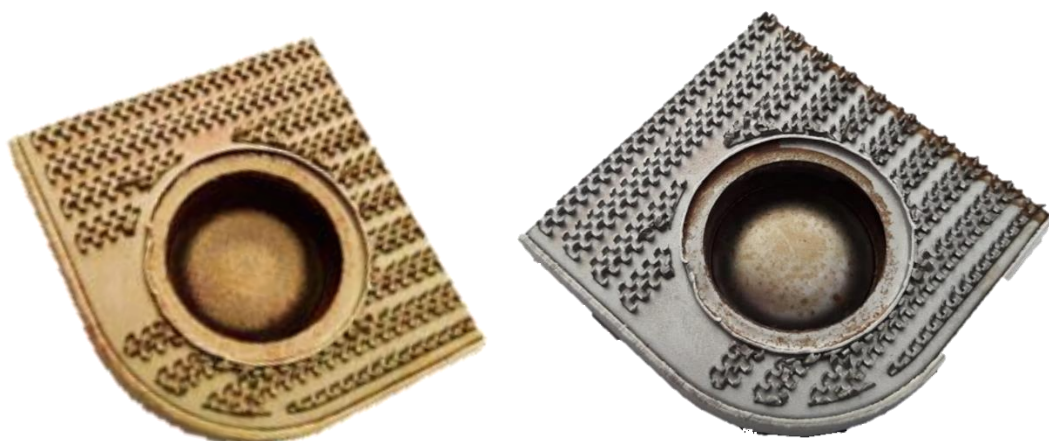
Obr. 8.28 Označení míst, kde byly odebrány hodnoty pro drsnost vyčištěného vzorku 1.



Obr. 8.29 Profil příčné drsnosti vyčištěného vzorku 1.

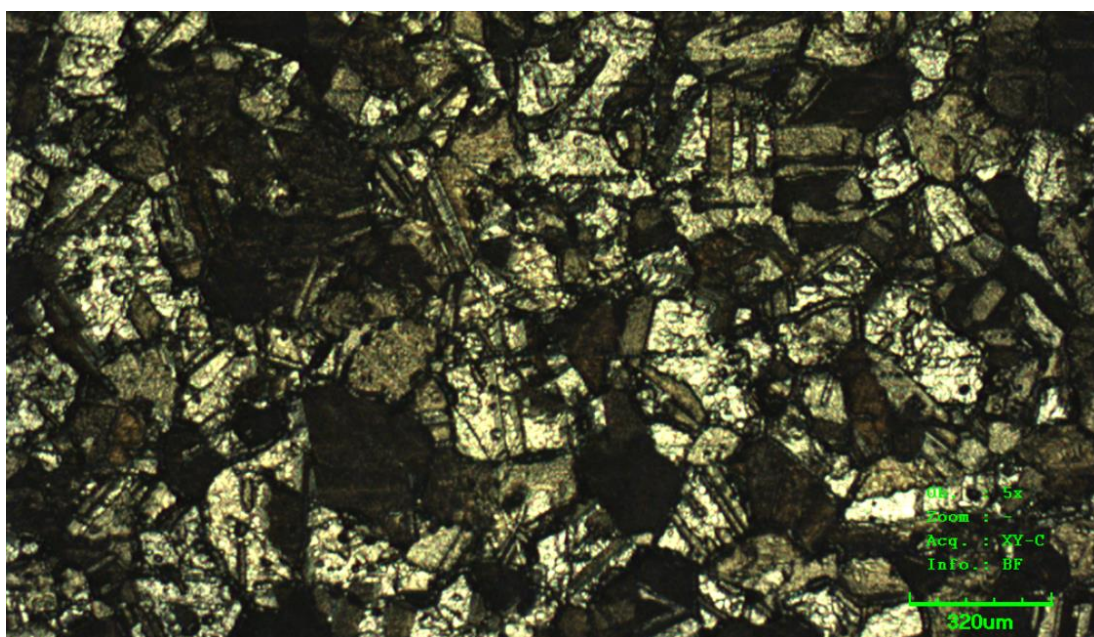
8.4.3 Vzorek čištěný směsí kyseliny chlorovodíkové s peroxidem vodíku

Na obr. 8.30 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.

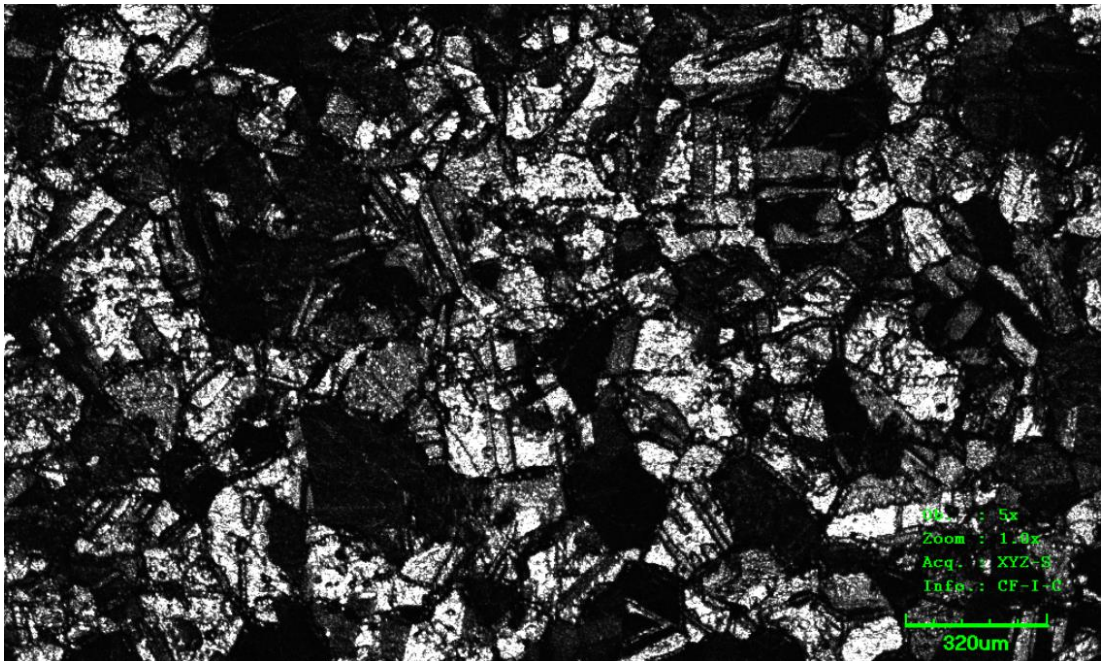


Obr. 8.30 Nalevo vzorek 2 před čištěním, napravo po čištění.

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 obrázku 8.30 Směs kyseliny chlorovodíkové s peroxidem vodíku byla na vyčištění veškeré mědi z povrchu vzorku dostatečně účinná. Vzorek začal ale bezprostředně po vyčištění korodovat. Tato čistící směs je pro materiál chladiče příliš agresivní.

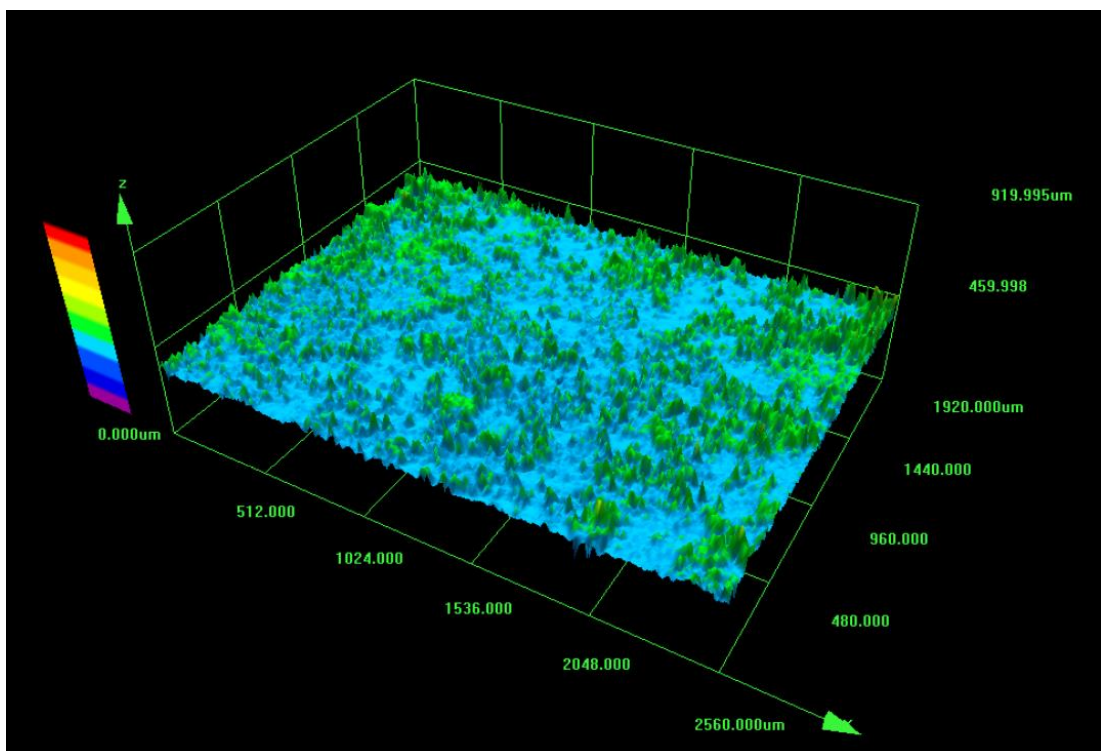


Obr. 8.31 Barevný mikroskopický snímek struktury vyčištěného povrchu vzorku 2.



Obr. 8.32 Černobílý mikroskopický snímek struktury vyčištěného povrchu vzorku 2.

Na obou mikroskopických snímcích povrchu vzorku 2 po vyčištění můžeme zřetelně vidět naleptanou strukturu. Jsou vidět jednotlivá zrna materiálu chladiče. To je důvod okamžité koroze vyčištěného vzorku.

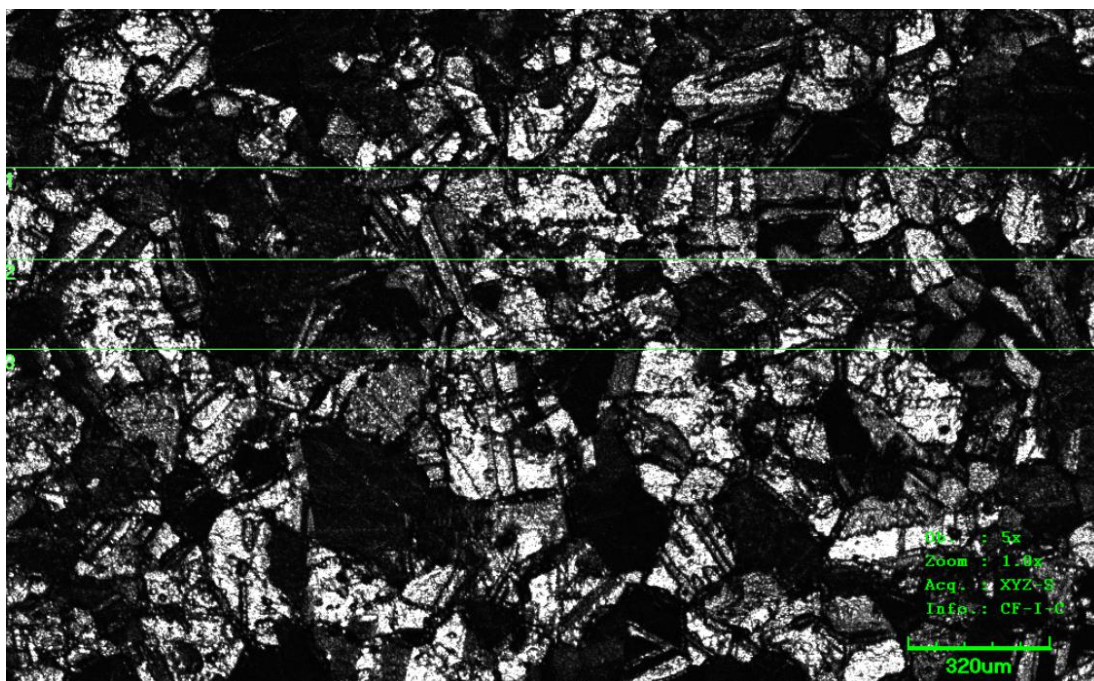


Obr. 8.33 3D struktura drsnosti povrchu vzorku 2 po vyčištění.

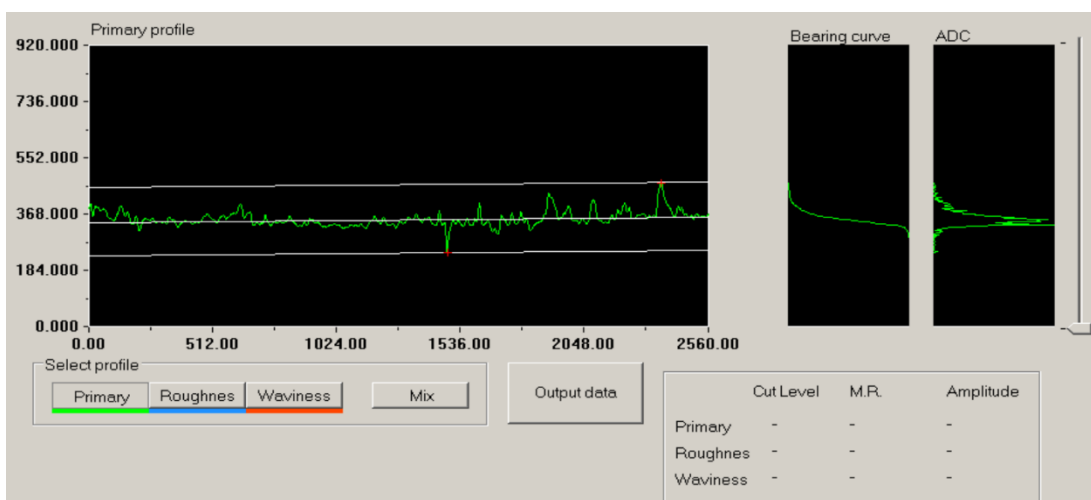
Tab. 8.3 Naměřené hodnoty drsnosti vzorku 2 po čištění.

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.



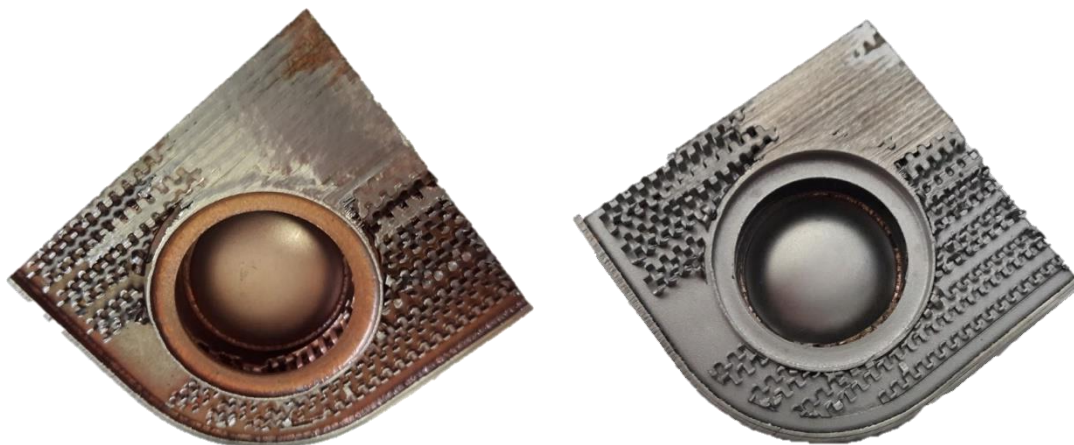
Obr. 8.34 Označení míst, kde byly odebrány hodnoty pro drsnost vyčištěného vzorku 2.



Obr. 8.35 Profil příčné drsnosti vyčištěného vzorku 2.

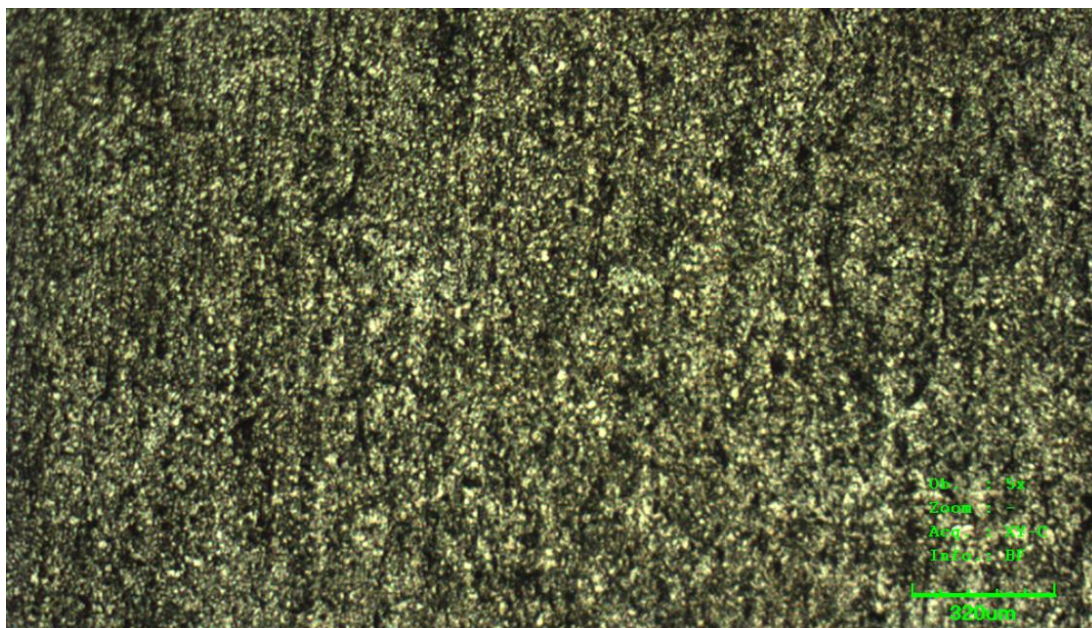
8.4.4 Vzorek čištěný směsí persíranu sodného s peroxidem vodíku

Na obr. 8.36 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.

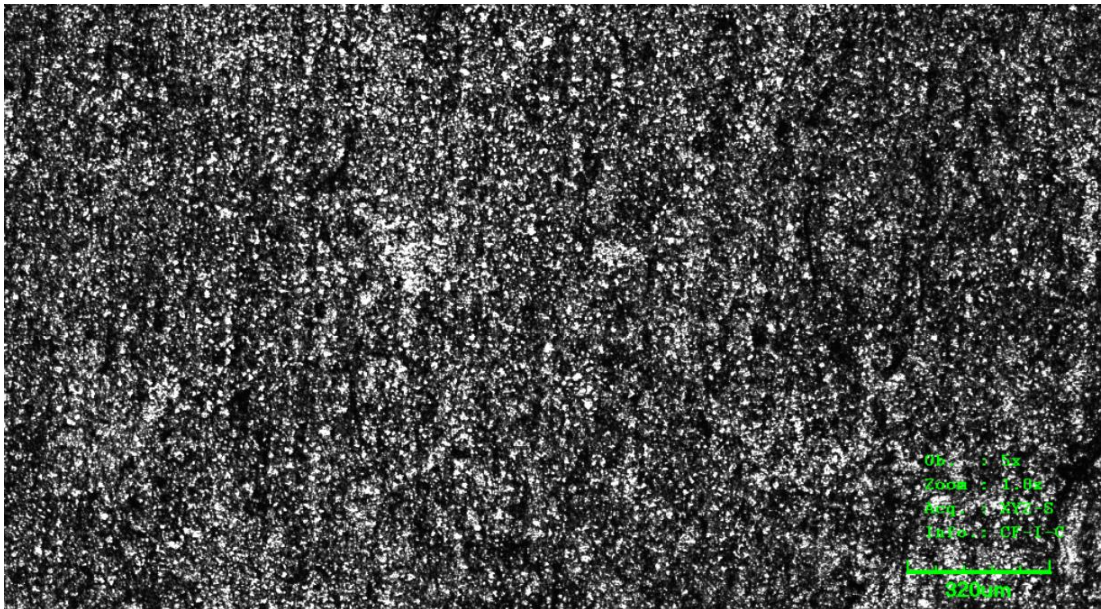


Obr. 8.36 Nalevo vzorek 3 před čištěním, napravo po čištění.

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 8.36 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.

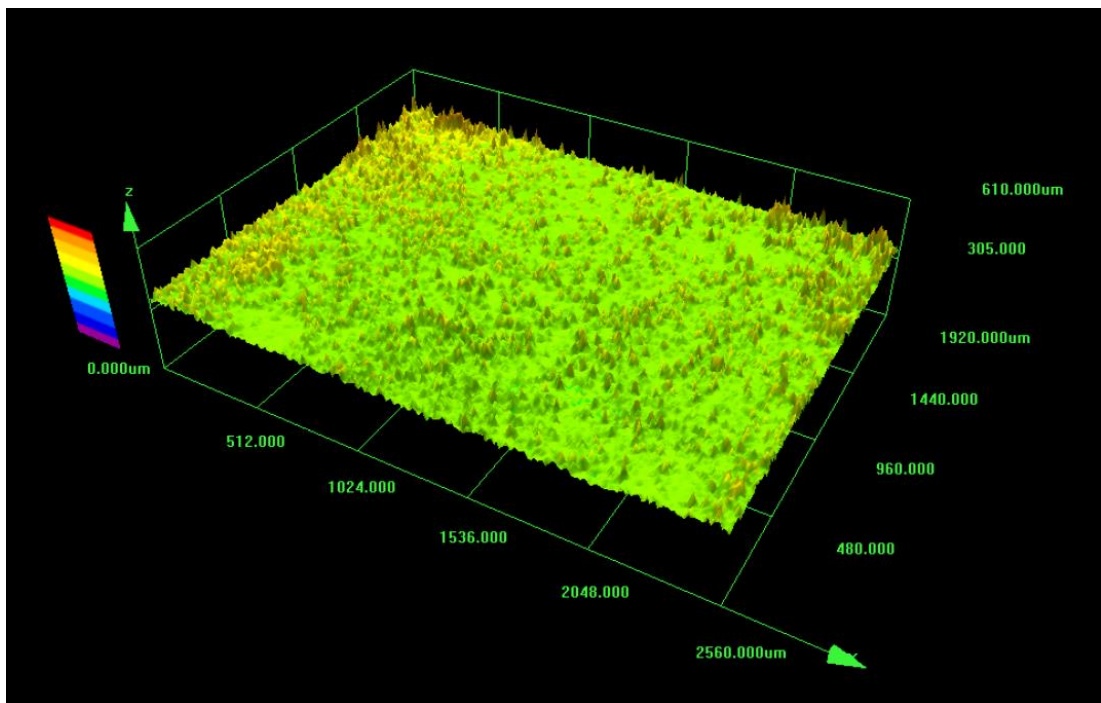


Obr. 8.37 Barevný mikroskopický snímek struktury vyčištěného povrchu vzorku 3.



Obr. 8.38 Černobílý mikroskopický snímek struktury vyčištěného povrchu vzorku 3.

Na snímku povrchu vyčištěného vzorku 3 můžeme vidět zřetelný rozdíl v kvalitě povrchu oproti předešlým vyčištěným vzorkům. Mikrostruktura povrchu je velice jemná a stejnotná. Povrch není naleptán. Tento vzorek má nejlepší výsledek.

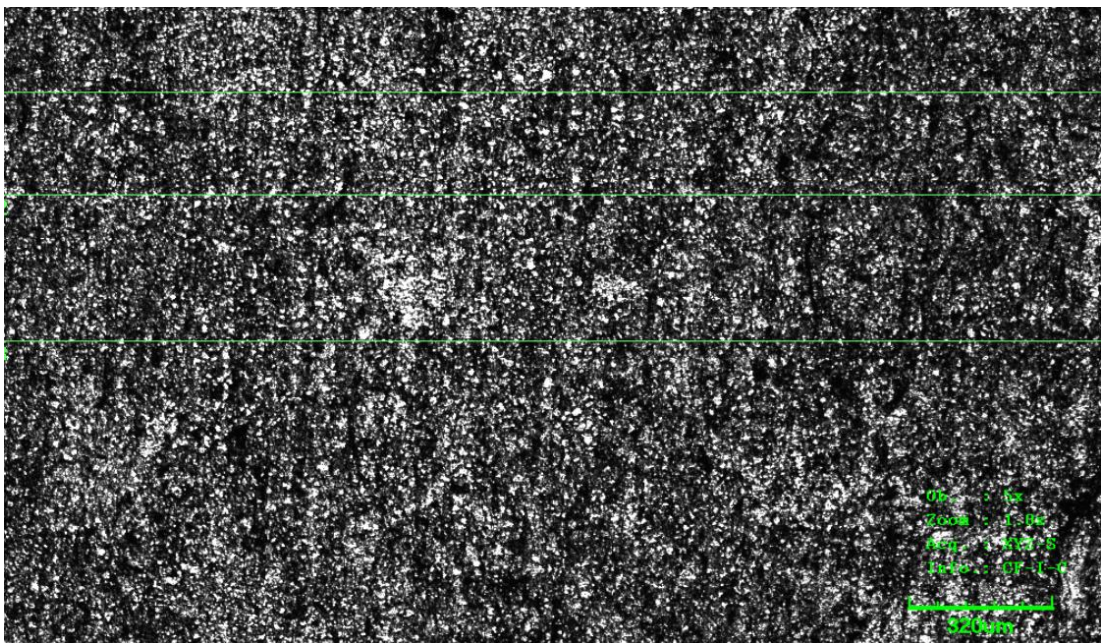


Obr. 8.39 3D struktura drsnosti povrchu vzorku 3 po vyčištění.

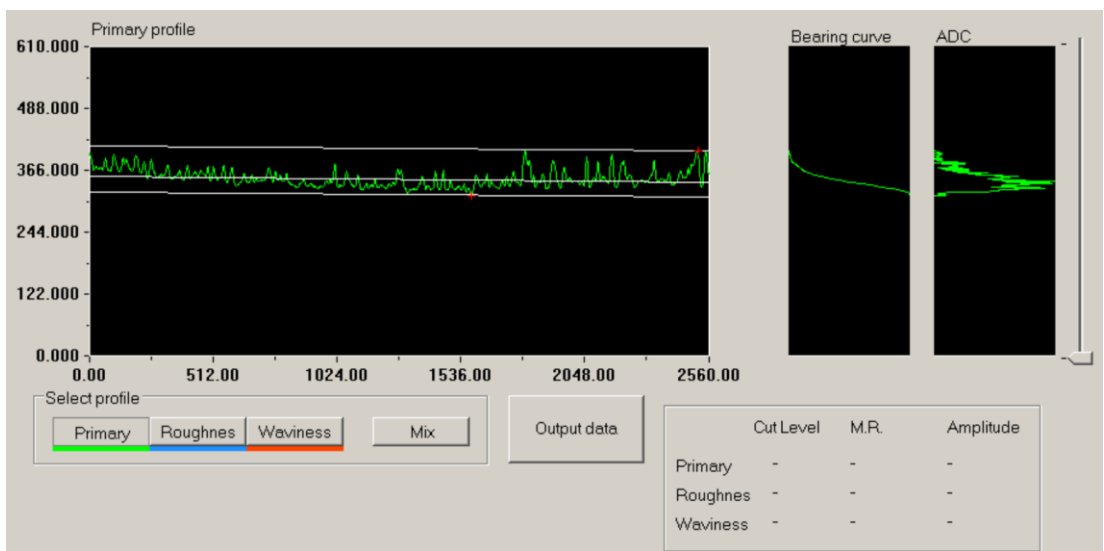
Tab. 8.4 Naměřené hodnoty drsnosti vzorku 3 po čištění.

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.



Obr. 8.40 Označení míst, kde byly odebrány hodnoty pro drsnost vyčištěného vzorku 3.

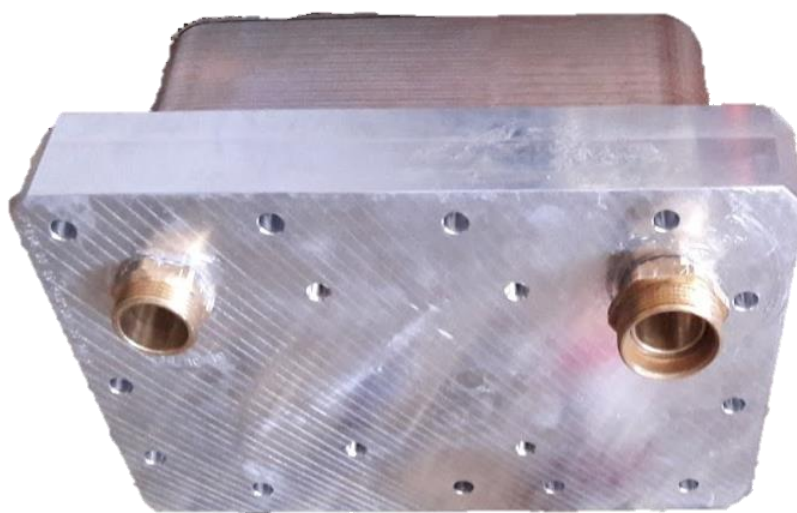


Obr. 8.41 Profil příčné drsnosti vyčištěného vzorku 3.

9 Sestavení čistícího zařízení

Jako čistící látka s nejlepšími výsledky na kvalitu výsledného povrchu byla vyhodnocena směs persíranu sodného s peroxidem vodíku. Touto směsí je potřeba vyčistit celý vnitřní prostor chladiče, ve kterém koluje olej pro ověření použitelnosti při výrobě.

Čistící zařízení se musí skládat z okruhu s kolující směsí. Jako první je potřeba vyřešit problém, jak chladič připojit do okruhu. Tento problém byl vyřešen pomocí speciální na míru vyrobené příruby. V přírubě jsou pouze dva otvory pro kolující médium na rozdíl od čtyřech otvorů v chladiči. Tyto pouze dva otvory jsou zde, protože čistit druhý okruh pro chladící médium je zbytečné. Potřebujeme vyčistit okruh pouze pro olejové médium.



Obr. 9.1 Příruba s namontovaným chladičem pohled zepředu.



Obr. 9.2 Příruba s namontovaným chladičem pohled zezadu.

Chladič byl k přírubě přišroubován 12 M8 šrouby a utěsněn pomocí pryžových těsnících kroužků mezi procházejícími otvory pro kolující médium. V přírubě jsou dva otvory s trubkovým závitem o velikosti 1" (1 coule). Do těchto závitů byla zašroubováno mosazné šroubení pro připojení hadic.



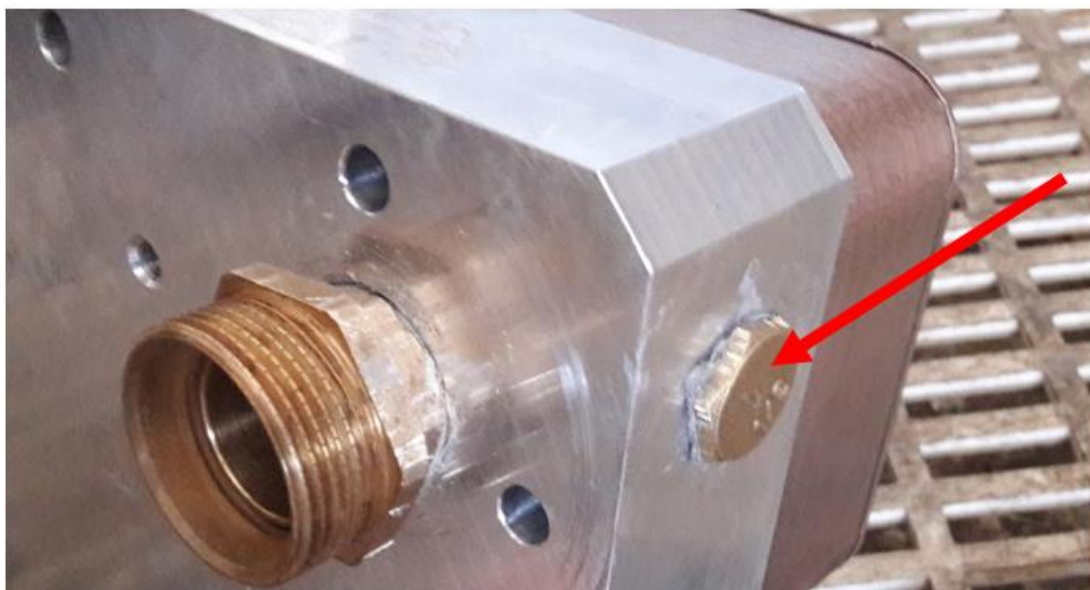
Obr. 9.3 Mosazné šroubení pro připojení hadic.

Každý závit bylo nutné vodotěsně utěsnit. K tomuto účelu bylo použito keramické těsnící vlákno na vodovodní závity Loctite 55.



Obr. 9.4 Ukázka keramického těsnícího vlákna Loctite 55.

V přírubě byl také další otvor v trubkovém závitu o velikosti 1/2" (1/2 coule). Tento otvor byl vytvořen v místě vstupu oleje a tedy i čistící směsi do chladiče. Měl sloužit pro měření tlaku proudícího média. Nakonec při zkoušení nebyl tlakoměr použit a otvor byl zaslepen.



Obr. 9.5 Zaslepení otvoru pro měření tlaku procházející kapaliny.

Pro přečerpávání čistící směsi bylo použito teplovodní čerpadlo KSB RIO C 25 – 40. Toto čerpadlo lze nastavit na 3 různé intenzity čerpání s výkonem od 40 W, přes 59 W až na 70 W. Napájené standardně ze sítě 230 V.



Obr. 9.6 Štítek teplovodného čerpadla KSB RIO C 25 – 40.



Obr. 9.7 Teplovodné čerpadlo KSB RIO C 25 – 40.

Připojení čerpadla do okruhu na hadice bylo řešeno plastovou přechodkou s vnitřním maticovým závitem pasujícím na přírubu čerpadla. Spoj mezi přírubou čerpadla a plastovou přechodkou byl utěsněn tvrdým těsnícím kroužkem používaným ve vodárenství.



Obr. 9.8 Plastová přechodka pasující na čerpadlo nalevo, napravo těsnění.

Po našroubování plastových přechodek s těsněním na těleso čerpadla a jejich dotažením, můžeme vidět výsledek na obr. 9.9.



Obr. 9.9 Těleso čerpadla s našroubovanými plastovými přechodkami.

Veškeré komponenty potřebné do čerpacího okruhu byly připravené. Následným krokem bylo připojení hadic mezi jednotlivé komponenty.



Obr. 9.10 Sestavený čistící okruh.

Hadice byly v místě svého připojení pro jistotu ještě zafixovány ocelovými šroubovacími stahovacími objímkami. Následovala tlaková a vodotěsná zkouška. Tato zkouška byla z důvodu bezpečnosti prováděna pouze s vodou.



Obr. 9.11 Ukázka úspěšné zkoušky na těsnost celého čerpacího okruhu s vodou.

Jak je možné vidět na obr. 9.11 tlaková zkouška proběhla úspěšně. Nyní lze tedy přistoupit k namíchání odzkoušené čistící směsi persíranu sodného s peroxidem vodíku a vodou ve stanoveném poměru.

Pro správný oběh kapaliny v našem 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, jako u zkušební vzorku v kapitole 8.4.4, tedy 250 g persíranu sodného a 5 ml 30% peroxidu vodíku na 1 l vody.

Namíchaná směs byla přečerpána do našeho 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. Bohužel se ale negativně projevila na tuhosti použitých přečerpávacích hadic. Byly použity plastové hadice s plastovým opletením. Plast se vlivem vyšší teploty stal měkčím a v místech

mechanického namáhání se lehce zdeformoval. Na vlastní průtok čerpací směsi to ovšem nemělo žádný dopad.



Obr. 9.12 Čerpací okruh se směsí persíranu sodného a peroxidu vodíku.

Po uplynutí stanoveného času na přečerpávání směsi chladičem, tedy 30 minutách. Byla směs odstavena. Následovalo přečerpávání čisté vody, tedy výplach. Po 5 minutách výplachu následovalo zapasivování slabě koncentrovanou kyselinou dusičnou.

Pro správnou funkci přečerpávaného okruhu je zapotřebí kolování alespoň 6 l kapaliny. Do 6 l vody bylo tedy přidáno 360 ml 65% kyseliny dusičné pro výslednou koncentraci kyseliny dusičné ve vodě 5 %.

Do přečerpávacího okruhu byla přečerpána namíchaná slabá koncentrace kyseliny dusičné. Byl spuštěn měřič času a následně ihned 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. Přečerpávání kyseliny dusičné můžeme vidět na obr. 9.13. 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.

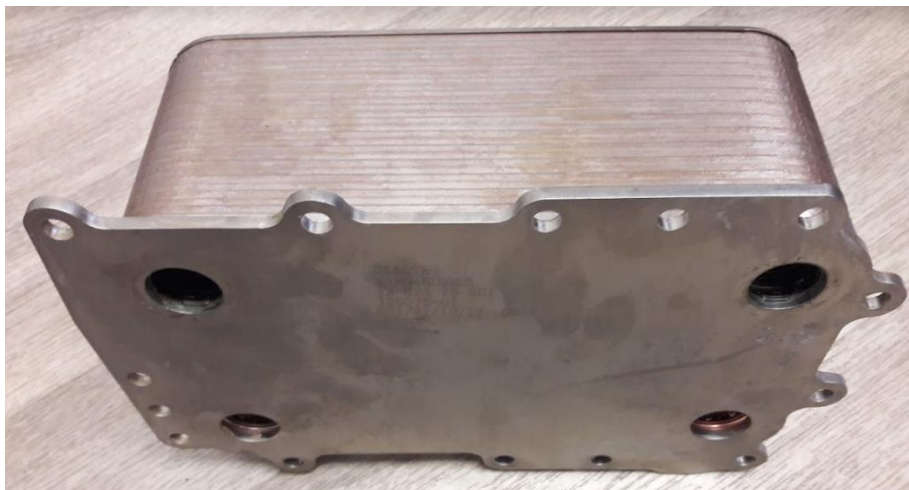


Obr. 9.13 Přečerpávání 5 % kyseliny dusičné.

Přečerpávací soustava byla následně rozebrána a spolu s chladičem vysušena. Chladič byl prozkoumán endoskopem.

10 Zhodnocení – závěr

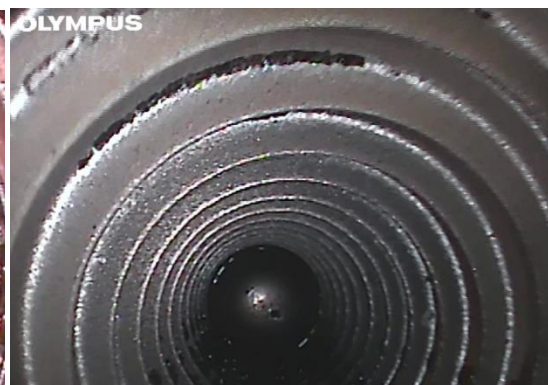
Výsledky čištění vnitřních povrchů olejového okruhu chladiče pro dieselové motory nákladních tahačů, který je zobrazen na obr. 10.1 jsou patrné z obrázků 10.2 a 10.3.



Obr. 10.1 Čištěný olejový chladič.



Obr. 10.2 Endoskopický pohled dovnitř prostorů čištěného chladiče před vyčištěním.



Obr. 10.3 Endoskopický pohled dovnitř prostorů čištěného chladiče po vyčištění.

Zobrazení provedeno endoskopem Olympus IPLEX Ultralite (zvětšeno). Po důkladném teoretickém i praktickém sledování zadaného problému je výsledek patrný a vyhovuje pro požadované aplikace.

Vzhledem ke spolupráci a vývojovému charakteru práce nelze v závěru uvádět bližší podrobnosti. Řešení této problematiky bud pokračovat i v příštích letech. Vzhledem k těmto zkušenostem je nezbytné upozornit eventuální zájemce o výsledky z čištění vnitřních povrchů na skutečnost ochranných autorských práv.

11 Seznam použitých zdrojů

- [1] KUCHAR, Jiří a Viktor KREIBICH. *Čištění otopných a energetických zařízení*, 9. Odborný seminář, Technologie, kvalita a rizika ve výrobě, 26/4-27/4/2016 [cit. 2018- 07-09]
- [2] OTÁHAL, Vlastimil, *Problematika čištění energetických zařízení*. Odborný seminář FS ČVUT v Praze. Čištění otopných a energetických zařízení. 13.4.2016 [cit. 2018- 07-09]
- [3] KRYCH, David. Dejte topení do čistírny. In: TBZ-info: stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov [online]. 15.5.2014 [cit. 2018-07-09]. Dostupné z: <http://vytapani.tzbinfo.cz/provoz-a-udrzba-vytapani/11221-dejte-topeni-do-cistirny>
- [4] Údržba vnitřních povrchů otopných systémů – chemické čištění. *Finextechnology* [online]. Praha: Finextechnology [cit. 2018-07-10]. Dostupné z: <http://finextechnology.cz/chemicke-cisteni-udrzba-topeni/>
- [5] Zanášení deskových výměníků. *CHEMAGAZÍN* [online]. 2013, XXIII(1), 40 [cit. 2018-07-10]. Dostupné z: http://www.chemagazin.cz/userdata/chemagazin_2010/file/PDF_full/CHEMAGAZ%20C3%8DN_1-2013.pdf
- [6] ADÁŠEK, Dominik. *Ekologické a ekonomické dopady čištění výměníků v teplárenství*. Praha, 2017. Bakalářská práce. ČVUT v Praze Fakulta Strojní.
- [7] GRACH, Luboš. *Čištění vnitřních ploch otopné soustavy*. Praha, 2016. Bakalářská práce. České Vysoké Učení Technické v Praze Fakulta Strojní.
- [8] *Heat Transfer Research, Inc.* [online]. Navasota, Texas 77868, USA: HTRI, 2017 [cit. 2018-07-11]. Dostupné z: <https://www.htri.net/>
- [9] *Desalination: Intensification of the cleaning action of structurally different projectiles by multiple injections and changing injection rate*. Abd-Elhady M.S., Malayeri M.R., Jalalirad M.R. (2014) *Desalination*, 337 (1) , pp. 52-59.
- [10] KUCHAR, Jiří, Viktor KREIBICH a Vladimír AGARTANOV. Čištění energetických zařízení. *MM Průmyslové spektrum*. 2016, **2016**(12), 94. DOI: 161258.
- [11] TŘEŠKA, Michal. *Čištění otopných soustav a jeho vliv na účinnost systému*. Praha, 2017. Diplomová práce. ČVUT v Praze Fakulta stavební.
- [12] KUBĚNKA, Michal. *Čištění vnitřních povrchů teplosměnných systémů*. Praha, 2017. Bakalářská práce. ČVUT v Praze Fakulta strojní.

- [13] *Projectile Tube Cleaning Inc.* [online]. Pennsylvania, USA: PROJECTILE all rights reserved, 2017 [cit. 2018-07-11]. Dostupné z: <https://www.projectiletube.com/>
- [14] KREIBICH, Viktor a Karel HOCH. *Koroze a technologie povrchových úprav*. Praha, 1991. [cit. 2018-07-11]
- [15] *Pískovačka.cz* [online]. Praha: Pískovačka.cz, 2018 [cit. 2018-07-12]. Dostupné z: <https://obchod.piskovacka.cz/podtlakovy-otryskacac/>
- [16] *Conco Total Performance™* [online]. USA: Conco system, 2018 [cit. 2018-07-12]. Dostupné z: <http://www.concosystems.com/>
- [17] Condenser and Heat Exchanger Tube Cleaning, Air-Cooled Condenser Cleaning, Eddy Current and Remote Field Testing, Tracer Gas Leak Detection. 2015. USA, 2015. Conco Systems [online]. Verona: Conco Services, ©2017 [cit. 2018-07-12]. Dostupné z: <http://www.concosystems.com/>
- [18] MACEK, Karel a Petr ZUNA. *Nauka o materiálu*. Praha: České vysoké učení technické, 1996. ISBN 8001015076.
- [19] , Euro inox. : *Materiály a jejich použití volume 4* [online]. , 2 [cit. 2018-07-23]. DOI: 978-2-87997-139-1. Dostupné z: http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/Passivating_Pickling_CZ.pdf
- [20] Vliv zbarvených pásem kolem svarů na vlastnosti svaru i jeho tepelně ovlivněné oblasti a na další okolí svarového spoje – predikce, verifikace a validace, vlivy dalších typů koroze. *Konstrukce* [online]. 2017, 2017, **2017**, 2 [cit. 2018-07-31]. ISSN 1803-8433. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/vliv-zbarvenych-pasem-kolem-svaru-na-vlastnosti-svaru-i-jeho-tepelne-ovlivnene-oblasti-a-na-dalsi-okoli-svaroveho-spoje-predikce-verifikace-a-validace-vlivy-dalsich-typu-koroze/>
- [21] Comet K 1251 (33/160) TS - Studenodvodní průmyslový vysokotlaký čistič. *Topení-Korínek.cz* [online]. 2018 [cit. 2018-07-31]. Dostupné z: <https://www.topeni-korinek.cz/cistici-stroje/vysokotlake-cistice-bez-ohrevu/6589-comet-k-1251-33-160-ts-studenovodni-prumyslovy-vysokotlaky-cistic.htm>
- [22] Elektrolytické leštění korozivzdorných ocelí: Euroinox. *Worldstainless* [online]. 2017, , 1-20 [cit. 2018-07-31]. Dostupné z: http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/Electropolishing_CZ.pdf
- [23] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002. ISBN 8072042483.

- [24] ČÍHAL, Vladimír. *Mezikrystalová koroze ocelí a slitin: vysokoškolská příručka pro vysoké školy technické*. 3., přeprac a dopln. vyd. Praha: SNTL, 1984.
- [25] BRENNER, Otakar. Korozivzdorné oceli jako konstrukční materiály. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2003, **2003**(4), 84 [cit. 2018-07-31]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/korozivzdorne-oceli-jako-konstrukcni-materialy.html>
- [26] DLOUHÝ, Tomáš. *Výměníky tepla v energetice: výměníky tepla a kotle*. Praha, 2018. Studijní podklady. ČVUT v Praze fakulta Strojní, Ústav energetiky.
- [27] Tepelné výměníky. In: *ZVU Engineering a.s.* [online]. 2017, 2017 [cit. 2018-08-02]. Dostupné z: http://www.zvuengineering.cz/files/cz/brozury/Tepelne_vymeniky_brozura_revize_0.pdf
- [28] BANI KANANEH, Ali a Julian PESCHEL. *Fouling in Plate Heat Exchangers: Some Practical Experience* [online]. [cit. 2018-08-02]. Dostupné z: <https://www.intechopen.com/books/heat-exchangers-basics-design-application/fouling-in-plate-heat-exchangers-some-practical-experience>
- [29] *Pájené výměníky* [online]. [cit. 2018-08-02]. Dostupné z: <http://www.g-mar.cz/pajene-vymeniky/>
- [30] RUŽA, Viliam. *Pájení*. 2. vydání. Praha : SNTL n.p. 1988. 456 s. ISBN
- [31] STARÝ, Jiří. *Bezolovnaté pájení - materiálová a procesní kompatibilita v inertní a inertně/redukční atmosféře: Lead free soldering - material and process compatibility in inert and inert/reduction atmosphere : zkrácená verze Ph.D. Thesis*. [Brno: VUTIUM], c2005. ISBN 80-214-3055-9.
- [32] *Spektrometry.cz* [online]. Blansko: BAS, 2018 [cit. 2018-08-02]. Dostupné z: https://www.spektrometry.cz/analyzatory/rucni_rentgenove_analyzatory_xrf.php
- [33] Specifikace nerezových materiálů. *Armat.cz* [online]. Řetová, CZ: Armat, 2017, 2017 [cit. 2018-08-03]. Dostupné z: <http://www.armat.cz/pdf/specifikace-nerezovych-oceli-chemicke-slozeni.pdf>
- [34] *Metalcentrum.cz* [online]. Valašské Meziříčí: Metalcentrum, 2017 [cit. 2018-08-03]. Dostupné z: <https://www.metalcentrum.cz/med/>
- [35] GREENWOOD, N. N a Alan EARNSHAW. *Chemie prvků*. Praha: Informatorium, 1993. ISBN 8085427389.
- [36] SÝKOROVÁ, Dagmar a Libor MASTNÝ. *Návody pro laboratoře z anorganické chemie*. Vyd. 2. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2001. ISBN isbn80-7080-452-1.

- [37] GM-electronic. *Gme.cz* [online]. GME, 2018 [cit. 2018-08-03]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/persiran-sodny-500g>
- [38] Konfokální laserová rastrovací mikroskopie. *Chempoint.cz* [online]. Praha: Chempoint, 2018 [cit. 2018-08-04]. Dostupné z: <http://www.chempoint.cz/konfokalni-laserova-rastrovaci-mikroskopie-clsm>
- [39] KUDLÁČEK, Jan. *Nové laserové konfokální mikroskopy pro materiálový výzkum – LEXT OLS 3100 (UV) a LEXT 3000 (IR)*. , 1-3.