

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

FAKULTA STROJNÍ



**VÝBĚR VHODNÉ METODY PRO
KONTROLU ČISTOTY POVRCHU**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Studijní program:

Výrobní inženýrství

Studijní obor:

Bez specializace

Autor bakalářské práce:

Bc. Jan Barborka

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Kudláček, Ph.D.

Praha 2022

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Barborka** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **466545**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**
Studijní program: **Výrobní inženýrství**
Specializace: **Bez specializace**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Výběr vhodné metody pro kontrolu čistoty povrchu.

Název diplomové práce anglicky:

Selection of a suitable method for surface cleanliness control.

Pokyny pro vypracování:

- 1) Rozbor problematiky předúprav povrchu a způsobů hodnocení čistoty povrchu
- 2) Porovnání vybraných metod detekce čistoty povrchu
- 3) Technicko-ekonomické zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

ASM Handbook Volume 5: Surface Engineering ISBN: 978-0-87170-384-2

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Jan Kudláček, Ph.D. ústav strojírenské technologie FS

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


Datum zadání diplomové práce: **28.10.2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **16.01.2023**

Platnost zadání diplomové práce: **31.01.2023**


Ing. Jan Kudláček, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce


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


doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
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.

29.10.2022

Datum převzetí zadání

Barborka

Podpis studenta

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem Výběr vhodné metody pro kontrolu čistoty povrchu vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů, které uvádím v seznamu bibliografických odkazů.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů.

V Praze dne 4.12.2022

.....

Bc. Jan Barborka

ANOTACE

Autor:	Bc. Jan Barborka
Název:	Výběr vhodné metody pro kontrolu čistoty povrchu
Rozsah:	Počet stran: 136 Počet obrázků: 63 Počet tabulek: 23
Akademický rok:	2022/2023
Studijní program, obor:	Výrobní inženýrství, Bez specializace
Vedoucí diplomové práce:	Ing. Jan Kudláček, Ph.D.
Zadavatel:	Fakulta strojní ČVUT v Praze

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá problematikou předúprav povrchu a způsoby hodnocení čistoty a přípravy povrchu. Vybrané metody detekce čistoty povrchu porovnává mezi sebou a posuzuje vhodnost jejich užití v různých aplikacích včetně technicko-ekonomického zhodnocení. Praktická část práce je věnována kalibraci zařízení Recognoil třetí generace, jeho porovnání s předchozími generacemi a dalšími metodami.

KLÍČOVÁ SLOVA

Čistota povrchu; metody hodnocení čistoty povrchu; předúpravy povrchu; vlastnosti povrchu; zařízení Recognoil

ANNOTATION

Author:	Bc. Jan Barborka
Topic:	Selection of suitable method for surface cleanliness control
Summary:	Pages: 136 Pictures: 63 Tables: 23
Academic year:	2022/2023
Field of study:	Manufacturing engineering
Thesis supervisor:	Ing. Jan Kudláček, Ph.D.

ABSTRACT

This thesis deals with the issue of surface pretreatment, methods of cleanliness evaluating and surface preparation. It compares the selected methods of surface cleanliness detection with each other and assesses the suitability of their use in various applications, including technical and economic evaluation. The practical part of this thesis is devoted to the calibration of the third generation Recognoil device, its comparison with previous generations and other methods.

KEYWORDS

Surface cleanliness; surface cleanliness assessment methods; surface pretreatments; surface properties; the Recognoil device

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Kudláčkovi, Ph.D. a konzultantovi Ing. Michalovi Zoubkovi za cenné rady a konzultace při vypracovávání této práce, a poskytnutí zařízení potřebných k provedení experimentu. Děkuji také Ústavu strojírenské technologie, Fakulty strojní ČVUT v Praze za poskytnutí zázemí a firmě TechTest s.r.o. za zapůjčení zařízení Recognoil.

Obsah

1	ÚVOD	10
2	PŘEDÚPRAVY POVRCHU	11
2.1	MECHANICKÉ PŘEDÚPRAVY	11
2.1.1	Tryskání.....	11
2.1.2	Broušení.....	22
2.1.3	Leštění.....	23
2.1.4	Honování.....	24
2.1.5	Omílání.....	24
2.1.6	Kartáčování.....	25
2.2	CHEMICKÉ PŘEDÚPRAVY.....	25
2.2.1	Odmašťování	25
2.2.2	Moření	29
2.3	SPECIÁLNÍ ZPŮSOBY PŘEDÚPRAV	30
2.3.1	Laserem	30
2.3.2	Plazmou	31
2.3.3	Párou.....	31
2.3.4	Plamenem.....	32
3	ČISTOTA A PARAMETRY POVRCHU	33
3.1	VAZBY NEČISTOT S POVRCHEM	33
3.1.1	Adhezní vazba	34
3.1.2	Adsorpční vazba.....	34
3.1.3	Chemická vazba	34
3.2	DRUHY NEČISTOT	34

3.2.1	Nečistoty vlastní	34
3.2.2	Nečistoty cizí.....	35
3.3	DRSNOST	35
4	ZPŮSOBY HODNOCENÍ ČISTOTY POVRCHU	41
4.1	Hodnocení čistoty povrchu na základě povrchového napětí.....	41
4.1.1	Metoda porušení souvislého vodního filmu.....	41
4.1.2	Postřiková metoda.....	41
4.1.3	Inkoustová metoda.....	42
4.1.4	Metoda stanovení kontaktního úhlu	43
4.2	Hmotnostní metoda	45
4.3	Metoda fluorescenční	45
4.3.1	Recognoil	46
4.3.2	SITA CleanoSpector	47
4.4	Infračervená spektrometrie	48
4.4.1	UV-VIS Spektrometrie.....	50
4.4.2	Zdroje a detektory infračerveného záření.....	51
4.4.3	Infračervený spektrometr.....	52
4.5	Stupeň zrezavění povrchu	54
4.6	Stanovení prachu na povrchu	56
4.7	Zkoušení technické čistoty - Norma VDA 19/ ISO 16 232	56
5	POROVNÁNÍ VYBRANÝCH METOD – TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	59
5.1	Porovnání metod pro stanovení zamaštění povrchu.....	59
5.2	Porovnání metod hodnocení drsnosti povrchu	61
6	PRAKTICKÁ ČÁST	63
6.1	Experiment	63
6.2	TESTOVANÉ VZORKY JEJICH MODELY	63

6.3	STANOVENÍ ZÁVISLOSTI HODNOTY FLUORESCENCE A POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ NA MNOŽSTVÍ MASTNOTY – TVORBA KALIBRAČNÍCH KŘIVEK	72
6.3.1	Použité látky	72
6.3.2	Postup a použité přístroje	73
6.3.3	Měření povrchového napětí inkousty Acrotest	81
6.3.4	Porovnání povrchového napětí pomocí průměru kapky.....	85
6.3.5	Zhodnocení výsledků měření povrchového napětí	97
6.3.6	Kalibrační křivky- Závislost naměřené fluorescence na množství mastnoty + porovnání s hodnotami povrchového napětí	98
6.4	Porovnání různých generací zařízení Recognoil mezi sebou a diskuse výsledků 108	
7	ZÁVĚR.....	112
8	SEZNAM JEDNOTEK A ZKRATEK	114
9	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	116
10	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	125
11	SEZNAM GRAFŮ	129
12	SEZNAM TABULEK.....	130
13	PŘÍLOHA	132

1 ÚVOD

Pro správné nanesení a fungování jakékoli povrchové úpravy je nezbytná vhodná volba předúpravy povrchu a její správné provedení. Stav povrchu před aplikací povrchové úpravy je závislý na předchozím zpracování – drsnost, porezita, nerovnosti, otřepy, pozůstatky tepelného zpracování či mastnota a nečistoty, to vše může zásadně ovlivnit kvalitu a trvanlivost povrchové úpravy. Proto je nezbytným krokem povrch upravit tak, aby byl připravený pro následnou povrchovou úpravu.

Přilnavost, kvalitu a trvanlivost nanesené povrchové vrstvy nejvíce ovlivňují drsnost a čistota povrchu. Nečistoty na povrchu mohou mít nejrůznější původ – korozní produkty, okuje, prach, zbytky abraziva či brusiva a další. V praxi nejvýznamnější složkou nečistoty bývá mastnota – oleje, chladicí kapaliny, látky bílkovinné povahy atd. Mastnota navíc působí jako pojivo pro další nečistoty.

Tato diplomová práce se proto zabývá čistotou povrchu, metodami jejího hodnocení, ale i způsoby odstraňování nečistot a předúpravami povrchu obecně. Dále se zabývá využitím kontrolních metod pro stanovení zamaštění povrchu. Cílem práce je též porovnat jednotlivé generace zařízení Recognoil nejen mezi sebou, ale i s dalšími metodami určenými k hodnocení čistoty povrchu.

2 PŘEDÚPRAVY POVRCHU

Velice významným faktorem ovlivňujícím kvalitu a životnost povrchové úpravy ale i celého výrobku je příprava nebo také předúprava povrchu. Pokud není provedena v dostatečné míře a kvalitě, má za následek dřívější porušení celistvosti povrchové úpravy a degradaci povlakovaného materiálu, v nejhorším případě znehodnocení celého výrobku. Pro dosažení požadované čistoty a kvality povrchu nutných pro úspěšnou aplikaci dalších povrchových úprav jsou používány předúpravy povrchu. Ty jsou obvykle děleny na mechanické a chemické, případně lze použít speciální způsoby předúpravy povrchu. Některé technologie předúprav jsou též používány pro finální úpravu povrchu – například kvůli požadovanému vzhledu nebo drsnosti. [2] [3] [4] [5]

2.1 MECHANICKÉ PŘEDÚPRAVY

Jedná se o technologie, které slouží především k úpravě drsnosti, čistoty či vzhledu součásti. Jejich hlavním úkolem tedy je očištění povrchu, zajištění požadované drsnosti (například kvůli zvýšení přilnavosti následných povlaků, lepidel apod.), dosažení požadovaných mechanických vlastností či zvýšení korozní odolnosti. Vybrané technologie a postupy jsou blíže popsány níže. [4]

2.1.1 Tryskání

Tryskání představuje technologii, která využívá metání drobných zrn (abraziva) proti materiálu určenému k otryskání. Užívá se zejména pro zbavování materiálu koroze, okují, nečistot nebo starých nátěrů, nebo také pro dosažení požadované drsnosti povrchu. Nejpoužívanějšími způsoby tryskání je tryskání pomocí stlačeného vzduchu nebo metacích kol. [1]

2.1.1.1 Tryskání stlačeným vzduchem

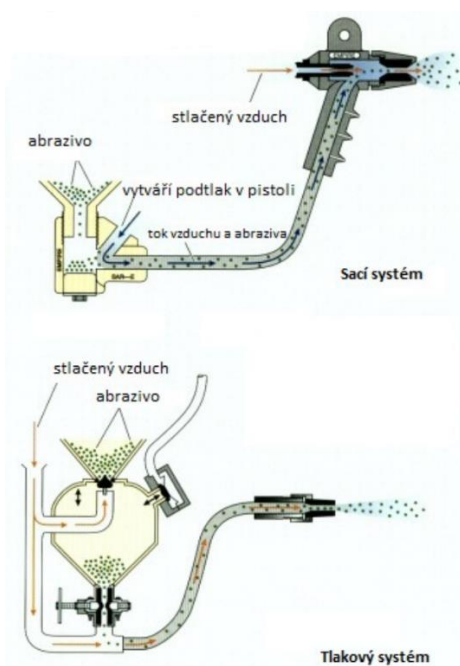
Kinetická energie je abrazivu udělována tlakem vzduchu. Zpravidla se užívá pro tryskání menších výrobků nebo tam, kde se požaduje nižší drsnost. Tomu také odpovídá menší velikost abrazivních zrn. [1]

Pro tryskání přenosných výrobků menších velikostí jsou určeny injektorové a tlakové tryskací kabiny.

Injektorové kabiny se užívají zejména pro tryskání hliníku, nerezů nebo skla lehkými abrazivy, jako je plast, balotina nebo korund. Abrazivo je přisáváno podtlakem do pistole, kde je smícháváno se vzduchem.

Naproti tomu u tlakových tryskacích kabin je abrazivo předem smícháno se stlačeným vzduchem v tlakové nádobě a přes tryskací hadici a trysku vrháno na určený povrch. Tlakové tryskací kabiny disponují vyšším výkonem než injektorové kabiny, a jsou proto určeny k tryskání svarových ploch, otryskání okujů atd. Další výhodou je možnost použití téměř veškerých druhů abraziv, jako je ocelová drť, ocelový granulát, struska, plastové abrazivo, korund atd.

Pro tryskání větších konstrukcí mimo tryskací box jsou určeny mobilní tryskací jednotky. Důležitým faktorem je možnost recyklace abraziva závislá na místě použití. Pokud je možnost abrazivo posbírat, užívají se recyklovatelná abraziva jako je korund, balotina či ocelová drť. Pokud ne, užívá se struska, která na rozdíl od dříve používaného křemičitého písku nepředstavuje ekologickou zátěž. Pro tryskání větších konstrukcí jemným abrazivem (například pískování rozměrných svařenců) jsou vhodné bezprašné jednotky s odsáváním. [1] [8]



Obrázek č. 1 – Tryskání stlačeným vzduchem

[73]

2.1.1.2 Tryskání pomocí metacích kol

Zde je abrazivu kinetická energie udělována metacími koly, které obecně disponují několikanásobně vyššími výkony oproti tryskání stlačeným vzduchem. Použití nachází zejména u rozměrnějších konstrukcí a těžších výrobků jako jsou tyče, odlitky, silné plechy a pásy. Nejčastěji se využívá průběžných tryskačů, kdy je trykaný materiál zavěšen na podvěsném dopravníku a tryskán tak ze všech stran a úhlů. Pro kontinuální tryskání vstupního hutního materiálu je využíváno masivních válečkových dopravníků. [1] [8]

2.1.1.3 Tryskání suchým ledem

Zde jsou jako tryskací médium využívány pelety suchého ledu. Metoda je rychlá, efektivní a ekologicky nezávadná. Je tedy vhodná pro využití k čištění povrchů a zařízení.

Technologie je podobná klasickému tryskání pevných částic pomocí stlačeného vzduchu.

Suchý led: jedná se o pevné skupenství CO_2 , disponuje vysokým chladicím výkonem, nepáchne a je hygienicky i ekologicky nezávadný. Dále také netaje a nezanechává tak mokré stopy. Díky těmto vlastnostem vyhovuje i velice náročným provozům, jako je potravinářský a farmaceutický průmysl. CO_2 je zpravidla získáván z přírodních zdrojů nebo vzniká jako odpadní produkt při chemické výrobě. Skladuje se v kapalném skupenství a snížením tlaku a teploty v zařízení k tomu určeném dojde ke změně na pevné skupenství. Následně jsou v granulátoru/peletizéru formovány pelety (granule) požadovaného tvaru a velikosti a jsou uchovávány v termoboxech.

Za atmosférického tlaku pelety sublimují a jejich povrchová teplota se pohybuje okolo $-78\text{ }^\circ\text{C}$.

Pelety účinkují na čištěný povrch třemi způsoby: kinetickou energií, nízkou teplotou – ochlazení nečistot a jejich následná křehkost a snadná oddělitelnost od povrchu, a v poslední řadě svou sublimací – pelety částečně proniknou do vrstvy nečistot, a při sublimaci dochází k nárůstu objemu (řádově 500-800x), čímž dojde explozivnímu efektu a oddělení nečistot. [12]

Výhody:

- žádné stopy ani abrazivní účinky na čištěném povrchu,
- žádný sekundární odpad,
- ekologická šetrnost, čistota,
- nevzniká nutnost odstraňovat nebo recyklovat tryskací médium.

Nevýhody:

- vyšší provozní hlučnost až 120 dB – nutná ochrana sluchu,
- riziko popálení při kontaktu s peletami – ochrana kůže a očí,
- vysoká pořizovací cena,
- horší skladovatelnost pelet,
- nutnost důkladné výměny vzduchu – 1 kg ledu sublimuje na cca 540 l nedýchatelného plynu těžšího než vzduch. [12]

2.1.1.4 Tryskání vysokotlakým vodním paprskem

Technologie vysokotlakého vodního paprsku je využívána k řezání téměř jakéhokoliv materiálu nebo vodní demolici, nicméně při použití nižších tlaků se dá s výhodou využívat k čištění povrchů. Využívána může být čistá voda, pro zvýšení čistícího účinku však lze přidat abrazivo nebo čisticí chemikálie. Pracovní tlaky mají široké rozmezí, u řezání se pohybují mezi 2000 až 6500 barů, u čištění jsou obvykle nižší – řádově v rozmezí 150 až 2500 barů. Při použití nižších pracovních tlaků nedochází k ovlivnění či poškození základního materiálu. Se zvyšujícím se tlakem dochází ke zvýšení čistícího účinku, nicméně také vzrůstají náklady na zařízení a riziko poškození materiálu. Vysokého tlaku je dosahováno pomocí čerpadla a trysky. Trysky jsou obvykle ocelové, u velmi vysokých tlaků mohou být použity keramické, karbidové nebo diamantové. Technologie je vhodná pro odstranění mastnot, tuků či starých nátěrů, při použití vyšších tlaků i pro korozní produkty, okuje atd. Účinek lze také zesílit zvýšením teploty vody – při teplotě nad 100 °C hovoříme o parním čištění. Jako přídatné abrazivo se využívá například křemičitý písek. Pro omezení vzniku koroze lze do vody přidat inhibitory koroze či pasivační

přípravky. Mezi hlavní výhody patří vysoká variabilita využití, ekologická šetrnost, bezprašnost a vysoká rychlost. [1] [21] [22]

2.1.1.5 Tryskací prostředky

Volba vhodného tryskacího prostředku – abraziva, má významný vliv na vlastnosti otryskaného povrchu – zejména na jeho drsnost, strukturu a čistotu. Dále abrazivo přímo ovlivňuje efektivitu tryskání, plošný výkon – produktivitu, ale i životnost tryskacího zařízení, a tedy náklady celé operace. Jeho správná volba je tedy podmínkou pro dosažení efektivní tryskací operace. [9]

Abrazivo lze rozdělit podle několika hledisek:

- podle materiálu – kovové x nekovové,
- podle původu – přírodní x syntetické,
- podle tvaru – ostrohranné x oblé.

Dále jsou abraziva popsána pomocí specifických vlastností:

- Specifická hmotnost – nejdůležitější vlastnost, která přímo ovlivňuje velikost kinetické energie a setrvačnost. Proto je obvykle požadována specifická hmotnost co možná nejvyšší. Udává se v $\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$.
- Tvrdost – druhá nejdůležitější vlastnost, podle které se určuje vhodnost abraziva. Obecně platí, že tvrdost tryskacího prostředku musí být stejná nebo vyšší než tvrdost tryskaného materiálu, aby docházelo k požadovanému účinku tryskacího procesu.
- Houževnatost – odolnost tryskacího prostředku vůči vlastní deformaci nebo destrukci. Vyšší houževnatost může částečně kompenzovat nižší tvrdost abraziva, nicméně je-li abrazivo houževnaté, ale má nízkou tvrdost, dochází k plastické deformaci na tryskaném povrchu.
- Objemová hmotnost [$\text{kg}\cdot\text{l}^{-1}$] – její kontrola slouží k posouzení míry přítomnosti dutých částic.

- Tvar zrna – zrna oblého tvaru jsou označována jako granuláty, ostrohranná jako drtě. Při použití oblého zrna je dosahováno povrchu s jemnější mikrogeometrií, a převládá zde plastická deformace. Naproti tomu ostrohranné drtě dosahují výrazně razantnějšího úběru materiálu.
- Štěpnost – je vyjádřena stupněm štěpení, který udává rychlost štěpení zrn abraziva, a tedy vytváření nových ostrohranných zrn. Dalším faktorem štěpnosti je geometrický tvar štěpení. Platí, že pro ostrohranná abraziva je požadován určitý stupeň štěpení, díky čemuž dochází k obnově ostrých hran – byť za cenu zmenšování rozměru zrn. Naopak u oblých zrn je požadován co nejnižší stupeň štěpení.
- Zrnitost – velikost zrna – je udávána rozměrem ok třídících sít. Společně se specifickou hmotností určuje kinetickou energii zrna, která významně ovlivňuje razanci a velikost úběru materiálu. Zrnitost je volena podle požadavků na výsledné vlastnosti povrchu, podle použitého zařízení a průměru trysky.
- Homogenita – je vyjádřena procentuálním poměrem částic o stejných nebo podobných vlastnostech k příměsím s vlastnostmi odlišnými.
- Životnost – způsobů hodnocení životnosti je více. Lze vyjádřit jako časový úsek v hodinách, nebo počtem oběhů – recyklací, kterých je abrazivo schopno. Metodika měření recyklovatelnosti však není jasně určena, proto se nejběžněji životnost stanovuje počtem oběhů tryskacího prostředku, po kterém je 50 % abraziva přeměněno v prach.
- Chemicko-technologická vhodnost – posuzuje zejména možnost chemické interakce abraziva s tryskaným materiálem nebo s materiálem nanášeným po tryskání atd. Jde například o kontaminaci nerezového povrchu feritickým materiálem apod.
- Ekologické a zdravotní hledisko – u mokrého tryskání je posuzován takzvaný výluh, u suchého tryskání zase obsah fibrogenních látek – zejména u tryskání křemičitým pískem ve volném prostoru dochází ke vzniku a možnému vdechování mikroskopických částic, které při dlouhodobé expozici způsobují silikózu plic. [9]

Kovové

Kovové tryskací prostředky jsou v současné době nejvíce používané. Mezi ty nejvýznamnější patří ocelový granulát, ocelová drť, litinový granulát a drť, nerezový granulát a drť, sekaný drát, granulát z neželezných kovů a granit – směs ocelové drtě a granulátu. [9]

Ocelový granulát

Vyrábí se ze speciálně zušlechtěné oceli o tvrdosti 40-53 HRC. Jeho struktura je tvořena popuštěným martenzitem – sorbitem, jehož vlastnostmi jsou vysoká odolnost proti únavě, rázům a otěru, a také dobrá odrazová pružnost. Jeho životnost je ovlivněna vlastnostmi tryskaného materiálu a nejlepších hodnot dosahuje při tryskání šedé litiny. Granulát je obvykle urychlován metacími koly a používán k tryskání hutních polotovarů, odlitků a svařenců. [9]

C	Mn	Si	P	S	tvrdost
0,75 až 1,20%	0,60 až 1,10%	0,6 až 1,10%	max 0,04%	max 0,04%	46-53 HRC

Obrázek č. 2. – Složení oceli pro výrobu ocelového granulátu a drti [9]

Ocelová drť

Je vyráběna drcením tepelně upraveného ocelového granulátu, a má tedy identické složení jako výše uvedený granulát. Na rozdíl od granulátu je drť obvykle urychlována pneumatickými zařízeními, a to z důvodu vysokého opotřebení lopatek metacích kol. Životnost metacích zařízení při používání drtě klesá až o polovinu oproti granulátu. [9]

Litinový granulát a drť

Granulát je vyráběn rozstříkem tekutého kovu, což vede k tvaru převážně kulovitého tvaru a přezdívá se mu též litinové broky. Samotný granulát není příliš

často využívaný k tryskání. Nachází využití jako zpevnění do speciálních betonů nebo jako trezorová výplň. Je však výchozí surovinou pro litinovou drť. Využívání litiny jako tryskacího materiálu je však také na ústupu, a to zejména pro její křehkost, a tedy vysokou tříštivost. [9]

Sekaný drát

Vzhledem ke svému tvaru, který zahrnuje ostré hrany i kulaté tvary je používán jako přechod mezi ocelovou drtí a granulátem. Ostré hrany se během používání postupně zaoblí, a nedochází tak k výrazně vyššímu opotřebení metacích kol. Dráty jsou navíc vyráběny z více druhů oceli a také nerezí. Škála tvrdostí je tak široká – od 340 až do 830 HV1. Dráty s nižší tvrdostí z nízkouhlíkové oceli dosahují životnosti až 10 000 cyklů. [9]

Nerezový granulát a drť

Jsou vyráběny z chromové nebo chromniklové oceli, a jsou určeny zejména k tryskání barevných kovů, nerezí či nekovových povrchů. Nerezové abrazivo dosahuje vynikajícího vzhledu tryskaného povrchu – čistý kovový vzhled a zachování původní barvy materiálu. [9]

Nekovové

Nekovové tryskací prostředky mají oproti kovovým mnohem širší rozsah použití, ale i tak je množství jejich aplikací výrazně nižší. Vyznačují se zvýšenou tříštivostí a prašností ve srovnání s kovovými, což vede k vyšší spotřebě materiálu, a tedy k vyšším nákladům. Vyšší prašnost zase zvyšuje nároky na odsávání a filtrační zařízení, ale také zatěžuje více obsluhu. Například rozpadání se křemičitého písku a s ním spojená prašnost toto historicky první abrazivo de facto diskvalifikuje z používání v moderních provozech. Nekovová abraziva jsou rozdělena podle svého původu na přírodní a syntetická. Níže se budeme podrobněji věnovat vybraným nejhojněji používaným nekovovým tryskacím prostředkům. [10]

Mezi nekovové syntetické tryskací prostředky řadíme například: umělý korund – bílý a hnědý, karbid křemíku, skleněné kuličky – balotinu, skleněnou drť, různé druhy strusky, keramické a plastové abrazivo nebo stále více používaný suchý led. [10]

Přírodními nekovovými abrazy jsou například křemenný a olivínový písek, přírodní korund, zirkon, drcený vápenec, drcené ořechové skořápky, pecky, ulity korýšů atd. [10]

Umělý korund

Vyrábí se tavením Al_2O_3 v několika barevných provedeních – hnědém, bílém a růžovém, případně je k dostání i barevný mix. Jde o nejtvrďší nekovový materiál používaný k tryskání. Navzdory minerálnímu charakteru není fibrogenní. Je využíván hlavně k čištění kovových povrchů, předúpravě před žárovým pokovením, k odstraňování otřepů a korozních produktů a dalším aplikacím. Účinek a použití je odvislé také od velikosti zrna. Hnědý korund disponuje výhodou v podobě nižšího opotřebení. Bílý korund je zase vhodný pro aplikace, kde je vyžadována vysoká čistota – bílá barva i při malém znečištění zsedne. Růžový korund se vyznačuje významně vyšší tvrdostí – je legován chromem. Proto je určen zejména k tryskání tvrdých materiálů, jako je nerez, legovaná ocel nebo keramika. [10] [70]



Obrázek č. 3 – Umělý korund mix [74]

Balotina

Balotina je tvořena kuličkami ze sodného skla. Jeho hustota se pohybuje mezi 2450-2500 kg.m⁻³ a tvrdost dle Mohse dosahuje 6-7. Využití nachází zejména při tryskání nerezových ocelí a hliníkových slitin, případně barevných kovů. Další významnou aplikací je zpevňování povrchu či odstraňování otřepů. Zpevňováním povrchu je dosahováno vyšší povrchové tvrdosti, únavové pevnosti či korozní stability, což vede ke zvýšení životnosti o desítky až stovky procent. Často se jedná o finální úpravu povrchu. K významným výhodám patří ekologická a zdravotní nezávadnost, chemická stálost a nehořlavost. [10]

Keramické abrazivo

Takzvaný zibrblast označuje keramické abrazivo na bázi zikonoxidu, které dosahuje tvrdosti až 700 HV. Se svou hustotou 3850 kg.m⁻³ je podstatně těžší než balotina, ale zároveň výrazně lehčí než ocelová abraziva. Je tedy účinnější než balotina, ale nezpůsobuje nežádoucí plastickou deformaci tryskaného povrchu. K dalším výhodám patří minimální prašnost a vysoká životnost, což vede k nízké spotřebě abraziva a jeho dobré recyklovatelnosti. Zároveň dosahuje vysoké kvality

povrchu, je zdravotně a ekologicky nezávadná a nehořlavá, stejně jako balotina. [10]

Karbid křemíku

Je vyráběn ve dvou modifikacích – černém a zeleném SiC. Černý je měkčí a houževnatější než černý. Nevýhodou obou je zasekávání jeho zrn do povrchu tryskaného materiálu. [10]

Křemičitý písek

Jedná se o historicky první abrazivo používané k tryskání. Byl hojně využíván zejména k venkovnímu tryskání. Vyznačuje se nízkou životností, což je kompenzováno jeho nízkou cenou. Vzhledem ke zdravotní závadnosti – fibrogenním vlastnostem vedoucím ke vzniku silikózy je jeho používání výrazně na ústupu, v moderních provozech se již nepoužívá, a bývá někdy nahrazován struskovým abrazivem. [10]

Struskové abrazivo

Ačkoli struskové abrazivo nevykazuje významnou zdravotní zátěž, stále není dostatečně ekologicky nezávadné vzhledem ke svému původu. Proto je jeho používání stále více omezováno. Obvykle je zhotovováno drcením tavné strusky vzniklé při spalování černouhelného prachu. Používá se pro tryskání, řezání vodním paprskem, jako brusivo do smirků, kotoučů či brusných past. Slouží také jako výplň podlah či plnivo cementových a maltových směsí. [10]

Těžké minerály

Patří sem přírodní korund, granát, zirkon atd. Tato abraziva mají poměrně vysokou tvrdost 7 až 9 mohsovy stupnice a vyšší specifickou hmotností. Tyto vlastnosti umožňují jejich použití pro náročnější tryskací operace s vyšším úběrem materiálu. Vzhledem k tomu, že se jedná o materiály těžené v přírodních

nalezištích, jsou využívány zejména v místech blízkým jejich těžbě. Po vyseparování křemene jsou zdravotně nezávadné. [10]

Plastiková abraziva

Jde o perspektivní skupinu tryskacích prostředků. Disponuje vysokou houževnatostí, výdrží, a tedy i hospodárností. Dále je jeho použití šetrné k tryskanému povrchu. Je velice dobře recyklovatelné, šetrné k životnímu prostředí i ke zdraví obsluhy. Nevýhodou je jeho nízká hustota a objemová hmotnost, z čehož vyplývá nevhodnost jeho využití v aplikacích vyžadujících vyšší úběr materiálu. Používá se pro odstraňování organických povlaků, laků, vyhlazování povrchu nebo čištění. [10]

2.1.2 Broušení

Jde o jemné obrábění mnohabřitými nástroji, které jsou tvořeny zrny brusiva a pojivem. Také lze obrábět abrazivem volným. Obrábění probíhá za vysokých řezných rychlostí – obvykle 20 až 50 m. s⁻¹. Broušení je používáno pro dosažení požadované drsnosti, vysoké přesnosti obrábění ale také pro čištění odlitků a výkovků před dalším obráběním.

Broušící nástroje jsou nejčastěji kotouče, ale používají se také brusné kameny, segmenty a pásy. Nástroje se skládají z brusných zrn, pojiva a pórů, ve kterých se hromadí tříška. [4] [11]

Jako materiály pro brusná zrna jsou užívány umělý korund, karbidy křemíku a boru, kubický nitrid boru či diamant. [4] [11]

Důležitým parametrem brusných nástrojů je zrnitost brusiva. Pro nejhrubší broušení je používáno brusivo zrnitosti 24 až 100, a je prováděno za sucha. Jemnější brusiva mají zrnitost 120 až 240 a kotouče jsou již mazány pro snížení tření a dosažení jemnějšího povrchu. Nejjemnější broušení – tzv. předlešťování s kotouči o zrnitosti 280 až 500 se užívá jako předúprava pro leštění. [4] [11]



Obrázek č. 4 – Brusný kotouč [75]

2.1.3 Leštění

Jedná se o dokončovací operaci, která je používána pro dosažení velice nízké drsnosti pod $R_a 0,1 \mu\text{m}$ a také pro čištění povrchu, obecně pro dosažení dokonalého vzhledu výrobku. Úběr materiálu je velice nízký a probíhá rovnoměrně ve všech směrech. Leštění nezlepšuje geometrickou ani rozměrovou přesnost. Lze jej podle způsobu provedení rozdělit na mechanické, chemické a elektrochemické. U mechanického leštění jsou užívány textilní nebo plstěné kotouče a leštící pasty. Pro hrubší leštění jsou určeny mastnější pasty s hrubší zrnitostí brusiva, textilní kotouče a vyšší obvodové rychlosti – řádově do $40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Pro jemné leštění měkké plstěné kotouče, sušší pasty a nižší obvodové rychlosti okolo $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Jako další nástroj může být použit diamantový pás nebo kartáč. Abrazivem pro leštění může být jemný umělý i přírodní korund, vídeňské vápno, nebo oxidy chromitý, hlinitý či železitý. [4] [11] [13] [14]

2.1.4 Honování

Tato technologie je převážně používána jako dokončovací operace vnitřních válcových ploch, jako jsou válce motorů, kompresorů či hydraulických zařízení. Lze honovat i vnější válcové plochy jako písty nebo kalená ozubená kola. Honování je v podstatě broušení nízkými řeznými rychlostmi a jako nástroje slouží honovací kameny, které jsou k obráběné ploše tlačeny tlakem 0,3 až 1,4 MPa. V průběhu vnitřního honování vykonává otáčivý a přímočarý pohyb honovací hlava s upnutými kameny a obrobek stojí. Při vnějším honování zpravidla oba pohyby provádí obrobek a honovací hlava stojí. Honovací kameny bývají z karbidu křemíku, umělého korundu, technického diamantu nebo kubického nitridu bóru, podle obráběného materiálu. Pro chlazení a odvod brusiva se používá petrolej a minerální oleje. Honováním lze dosáhnout velice nízké drsnosti 0,1 až 0,2 μm a vysokého stupně přesnosti geometrie válcových ploch. Odstraňuje ovalitu, kuželovitost a vlnitost ploch, nemá však vliv na souosost. [15]

2.1.5 Omílání

Technologie omílání je používána k vyhlazování povrchu, strhávání ostrých hran, odstraňování ostřin, ale také ke zpevnění povrchu, leštění, odstraňování okují a nečistot. Úběr a odstranění materiálu je založeno na principu tření a je vhodná zejména pro hromadné zpracování drobnějších součástek.

Omílání můžeme dělit na rotační, vibrační a odstředivé. Jako omílací prostředky jsou používány přírodní materiály jako drcená žula, kůže, piliny nebo umělé jako karbid křemíku, ocelové kuličky nebo oxid hlinitý.

Při omílání jsou obvykle používány chemické látky, které mohou sloužit k odmaštění, odrezování nebo zabránění korozi, ale i lakovat nebo sušit. [4] [11] [16]

2.1.6 Kartáčování

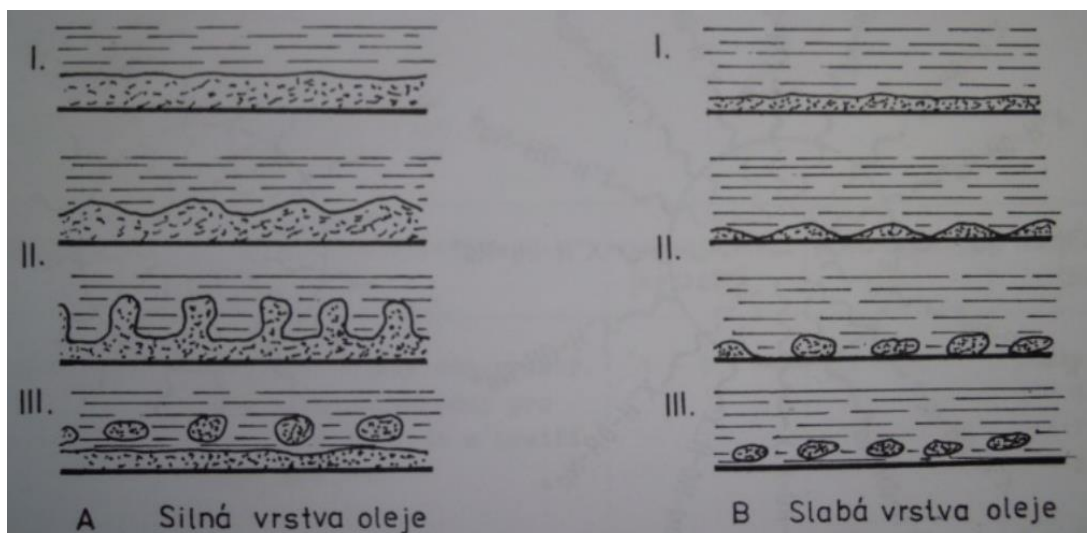
Tato úprava povrchu se používá zejména k odstranění hrubých nečistot a koroze nebo operace sloužící ke sjednocení a zjemnění povrchu a odstranění oxidických vrstev po broušení. Jako nástroje slouží drátěné kartáče a kotouče, pro jemné dokončovací kartáčování jsou určeny měkké kotouče z přírodních sisalových nebo umělých vláken, jejichž účinek lze doplnit brusnými pastami. Výhodou technologie je možnost opracovávání výrobků složitých tvarů. Nevýhodou je, že kartáčováním nelze odstranit všechny nečistoty, neboť zejména zbytky koroze zůstanou v pórech materiálu. [4] [11] [17]

2.2 CHEMICKÉ PŘEDÚPRAVY

Chemické a elektrochemické předúpravy povrchu slouží zejména k odstraňování nečistot. Mezi ty nejdůležitější patří zejména různé druhy odmašťování a moření.

2.2.1 Odmašťování

Při odmašťování jsou nečistoty uvolňovány z povrchu materiálu a převedeny do roztoku či emulze. Odmašťovací přípravky by také měly zamezit opětovnému vyloučení nečistot na povrch. Tento způsob čištění se používá pro druhy nečistot, které nejsou k základnímu materiálu vázány silnými chemickými vazbami, ale pouze adhezními silami nebo fyzikální adsorpcí. Výhodou této technologie je, že při odstraňování nečistot nedochází k ovlivnění povrchu. [7]



Obrázek č. 5 – Schéma emulgace mastnoty při procesu odmašťování [7]

- I. – souvislá vrstva mastnoty na povrchu
- II. – rozrušování souvislé vrstvy mastnoty
- III. – emulgace a dispergace mastnoty roztokem

Mezi nejdůležitější způsoby odmašťování patří:

- odmašťování vodnými roztoky – alkalickými, tenzidovými, emulzními,
- odmašťování v organických rozpouštědlech,
- odmašťování ultrazvukem,
- odmašťování pomocí páry,
- odmašťování elektrolytické.

2.2.1.1 Alkalické roztoky

Jde o nejvíce rozšířenou technologii čištění kovových povrchů, ačkoliv je poměrně složitá. Alkalická rozpouštědla odstraňují nečistoty emulgací a dispergací – nečistoty rozpouští a uvolňuje do roztoku.

Tento způsob je vhodný zejména pro mastnoty a tuky živočišného nebo rostlinného původu, protože minerální mastnoty typu olejů, vosků a vazelín nezmydelňují. Minerální mastnoty jsou proto odmašťovány za zvýšených teplot, kdy dochází snadněji k emulgaci ve formě kapiček do odmašťovadla. [7]

Roztoky se mohou skládat z louhu, uhličitanů, křemičitanů, sody, povrchově aktivních látek a emulgátorů zabraňujících opětovnému shlukování tukových kuliček.

Alkalické roztoky, jak již vyplývá z názvu, jsou zásaditého charakteru s pH přesahující hodnotu 10, což zabraňuje hydrolýze mýdla. Tato vyšší zásaditost bohužel podporuje korozi zejména lehkých a barevných kovů. V současné době jsou proto stále více využívány povrchově aktivní látky – tenzidy, které umožňují snižování pH roztoků, teplot, a zkvalitňují a zrychlují celý proces odmaštění.

Výhodou této technologie je účinnost a ekonomická výhodnost zejména u průběžných linek. Mezi nevýhody patří nutnost odsávání výparů a zajištění dokonalého vyčištění odpadních vod, které vznikají po nezbytném oplachu od alkálií. [7]

2.2.1.2 Emulzní roztoky

Používají se zejména na silné vrstvy tuků a mastnoty. Aplikace je prováděna máčením nebo postřikem. Obsahují emulgátory (například trietanolové mýdlo), které mastnotu oddělí a umožní odplavení vodou. Dalšími složkami jsou smáčedla, inhibitory atd. rozpuštěné ve vodě. [7]

2.2.1.3 Tenzidové roztoky

Jak již bylo výše zmíněno, tenzidy neboli detergenty nachází významné využití v kombinaci s alkalickými rozpouštědly, nicméně díky nim lze využívat roztoky s prostředím slabě zásaditým, neutrálním a v extrémních případech i v prostředí slabě kyselém. Tenzidy lze aplikovat ručně, postřikem i ponorem. Velkou výhodou je vysoká biologická odbouratelnost. [19]

2.2.1.4 Odmašťování organickými rozpouštědly

Organická rozpouštědla nachází využití v oblastech, kde není vhodné použití alkalických roztoků, jako například u některých barevných kovů. Rozpouštěcí schopnost se také zvyšuje s rostoucí teplotou. Metoda je rychlá a efektivní. Mezi organická rozpouštědla patří například benzin, petrolej a chlorované uhlovodíky – nejvíce trichloretylen. Hlavní nevýhodou organických rozpouštědel je toxicita, u některých hořlavost, ekologická zátěž a obtížná likvidace vyčerpané lázně. Například hojně využívaný trichloretylen je sice nehořlavý, ale velmi snadno kontaminuje půdu a při regeneraci za vyšších teplot může docházet k vzniku jedovatého fosgenu. [19]

2.2.1.5 Odmašťování ultrazvukem

Jedná se o moderní a velice efektivní způsob odmašťování, který kombinuje chemický účinek odmašťovačů (zpravidla se jedná o organické rozpouštědlo) s fyzikálním jevem zvaným kavitace. Ultrazvukovým zdrojem jsou v čisticí kapalině vytvářeny mikroskopické bublinky, které následně implodují za vzniku rázové vlny, která narušuje strukturu usazené nečistoty. Kavitace obecně může poškozovat povrch materiálu, nicméně díky mikroskopickým rozměrům kavit nedochází u ultrazvukového odmašťování k poškozování základního materiálu. [19]

Zařízení funguje tak, že přivádí vysokofrekvenční energii z generátoru na ultrazvukový měnič, který ji přetváří na mechanicko-akustické kmity. Ty vytváří ve vaně homogenní ultrazvukové pole, které způsobuje intenzivní kmitání molekul média a vznik mikroskopických bublinek – kavit tam, kde střídavý akustický tlak dosáhne záporných hodnot. Po opětovném nárůstu tlaku dojde k implozi kavity. [19]

Ultrazvukové frekvence se pohybují od 20 do 40 kHz, kde nižší frekvence vytváří kavity o větším průměru se silnějšími tlakovými vlnami, a jsou tedy vhodné spíše

pro robustnější a silně znečištěné předměty. Naopak vyšší frekvence nad 35 kHz jsou vhodné pro jemné čištění drobných předmětů. [19]

2.2.1.6 Elektrolytické odmašťování

Technologie využívá kombinace alkalických odmašťovacích prostředků a působení elektrického proudu, které výrazně zvyšuje účinek. Lze tak odstranit i pevně ulpělé nečistoty, které by běžnými alkalickými rozpouštědly nešly odstranit. Tento druh odmaštění se používá jako konečné například před galvanickým pokovením. [7] [20]

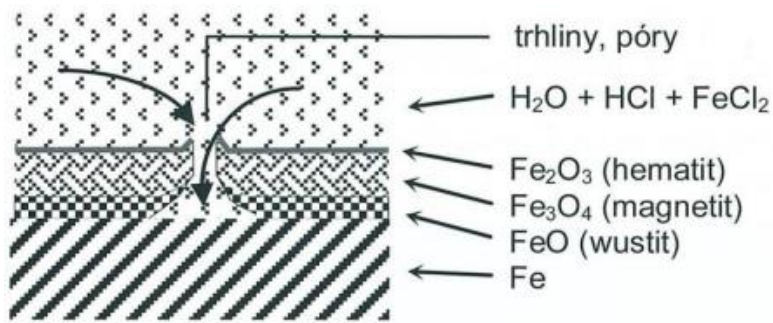
Elektrolýzou dochází k disociaci alkalického roztoku na ionty. Pokud je předmět zapojen jako katoda, vytvoří se na jeho povrchu silně alkalická zóna a účinek se zesílí. Nestálý alkalický kov se slučuje s vodou na hydroxid, který dále zintenzivňuje odmaštění, stejně jako vodík, který se vylučuje na katodě a jeho bublinky mechanicky odtrhávají mastnotu. Nevýhodou může být vznik vodíkové křehkosti. [7] [20]

Pokud zapojíme předmět jako anodu, dochází k rozpouštění kovu a vylučování kyslíku, který zintenzivňuje odmašťování mechanickým účinkem. [7]

Nejúčinnější metodou je kombinace katodického a anodického odmašťování. Katodicko-anodické odmašťování probíhá déle na katodě než na anodě, a to ideálně v poměru 3:1. Tato metoda je vhodná zejména pro odmašťování plechových pásů a drátů. [7]

2.2.2 Moření

Jedná se o chemický způsob odstraňování anorganických nečistot, zejména okujů a korozních produktů. Látky nerozpustné ve vodě jsou přeměňovány na látky ve vodě rozpustné. Jako mořidlo jsou užívány roztoky silných kyselin – kyseliny chlorovodíkové, sírové, fosforečné a dalších, případně jejich směsí. Při moření jsou rozpouštěny nejen nečistoty a korozní produkty, ale i základní materiál. [1]



Obr. č. 6 – Princip moření a složení oxidů železa v okujích [27]

Okuje na ocelových površích se skládají z oxidů železa FeO – wüstit, Fe₃O₄ – magnetit a Fe₂O₃ – hematit. Jejich rozpustnost se liší – nejlépe rozpustný je wüstit, který je však zároveň nejbliž kovu, a tedy i vzdálen od přímého působení kyseliny. Nejhůře rozpustný je naopak hematit, který vytváří horní krycí vrstvu. Vzhledem k tomu pozitivně působí obvykle se vyskytující trhliny a póry ve vrstvě okují. Bohužel kyseliny nejrychleji reagují se základním materiálem – ocelí. Tím dochází k rozpouštění železa a vzniku vodíku. Ten následně částečně difunduje do materiálu a způsobuje vodíkovou křehkost, což je nežádoucí, částečně však proniká pod vrstvu okují, kde se slučuje, zvětšuje objem, a tím tlakově působí na okuje, což napomáhá k jejich odtržení. K zamezení vzniku vodíkové křehkosti je užíváno více nástrojů – například: zkrácení doby moření, použití inhibitorů, nebo následné žihání na odstranění vodíkové křehkosti [1] [18]

2.3 SPECIÁLNÍ ZPŮSOBY PŘEDÚPRAV

2.3.1 Laserem

Tato technologie je alternativou k čištění povrchu za pomoci rozpouštědel – odmašťování či moření, ale lze s ní nahradit i metody mechanické, například tryskání. Hlavní výhodou je to, že nedochází k přímému kontaktu nástroje či abraziva se základním materiálem. Díky tomu nedochází k dalšímu znečištění materiálu. Obvykle je využíván pulzní laser, jehož pulzy o vysoké energii se při

dopadu mění na energii tepelnou. Výhodou je široké spektrum možností využití, kompaktní rozměry některých přístrojů, a zejména ekologický provoz ve srovnání s odmašťováním a mořením – přístroje pracují bez použití chemických látek. Další výhodou je také možnost provádět úpravu pouze na vybraných místech povrchu. [23] [24] [25]

2.3.2 Plazmou

Předúprava plazmou je používána před nanášením povrchových vrstev pokovením, potiskem či lepením pro upravení povrchové energie, která ovlivňuje například smáčivost povrchu a adhezi následně nanesené vrstvy. Dále se používá k čištění povrchů od bakterií, mastnoty nebo prachu. To vše, aniž by došlo k ovlivnění struktury materiálu pod povrchem. To je dáno nízkými provozními teplotami, což se hodí zejména u materiálů s nízkou teplotou degradace, jako jsou například plasty. Další výhodou je možnost aplikace u členitých výrobků. Proces obvykle probíhá ve vakuové komoře, odkud je vyčerpán vzduch, a poté napuštěn procesní plyn. Tím může být kyslík, dusík či argon. Pokud je užíván vzduch, hovoříme o atmosférické plazmě. Účinky provedené povrchové aktivace mají různou dobu trvání v závislosti zejména na typu materiálu, avšak nikdy nejsou trvalé. Odezívají od doby v řádu minut, až po dobu několika měsíců. [26] [27] [28] [29]

2.3.3 Párou

Čištění párou je využíváno zejména pro odstraňování tuků a mastnoty, bakterií a virů na rozměrných površích. Technologie je někdy řazena pod technologii odmašťování, kdy odmašťovací efekt páry bývá podpořen odmašťovacími prostředky. Pára proniká i do těžko přístupných míst a nijak neovlivňuje strukturu materiálu. Povrch je navíc po ošetření chvíli antistatický. Dá se aplikovat na povrch jakéhokoliv materiálu. [19] [30] [31]

2.3.4 Plamenem

Tato technologie je používána u masivních předmětů k odstranění zbytkové rzi z pórů například po kartáčování. Funguje na principu rozdílné teplotní roztažnosti korozních produktů a základního materiálu, čímž je rez uvolněna a následně odfouknuta tlakem plynu. Ve zbytcích koroze dojde teplem plamene k vysušení jejích těkavých složek, čímž dochází k inhibici koroze. Nástrojem je zpravidla kyslíko-acetylenový hořák, kterým se přejíždí po povrchu předmětu. [32] [34]

Další důležitou aplikací je předúprava polymerních povrchů. Povrch je na krátký čas opalován plamenem, což vede k porušení molekulárních vazeb a napojení iontů z plamene – zejména skupiny OH a COOH. Na povrchu původně nepolárního materiálu vznikají polární skupiny, což má za následek významné zvýšení povrchové energie, čímž je dosaženo zlepšení adhezních vlastností povrchu. Obvykle je pro tento účel používán propanbutan nebo metan ve směsi se vzduchem. Poměr mísení plynu se vzduchem hraje významnou roli, stejně tak přebytek kyslíku v plamenu či tvar a délka plamene. Geometrie plamene je ovlivňována typem hořáků. Metoda je vhodná zejména pro silnostěnné výrobky a tvarové díly. [32] [34]

3 ČISTOTA A PARAMETRY POVRCHU

Povrch každého materiálu je vystaven usazování nečistot, se kterými se setkává při výrobě, manipulaci či skladování. Je nutné rozlišovat nečistoty, které na povrchu materiálu ulpěly, a jsou tedy cizího původu, a pak ty, které vznikly chemickou přeměnou základního materiálu, a jedná se tedy o nečistoty vlastní. [1] [2] [3]

Ačkoliv je škála nečistot, které musí být odstraňovány, velice pestrá – prach, emulze, okuje, korozní produkty a jejich zplodiny, bývá často společným jmenovatelem mastnota. Mastnota funguje jako pojivo mezi nečistotami a materiálem i mezi nečistotami navzájem. Zdroje mastnoty jsou poměrně široké. Často se jedná o maziva a oleje používané při strojírenské výrobě, konzervační prostředky, nečistoty a tuky živočišného původu atd. [1] [2] [3]

Jedná-li se o kovy, je získání vysoce čistého povrchu velmi obtížné, protože kovy – kromě kovů ušlechtilých, se vyznačují vysokou reaktivitou. Povrchové atomy kovu se tak velmi rychle slučují s atomy okolního prostředí, což vede ke vzniku oxidických filmů na povrchu. Ve strojírenství jsou kovy používány nejvíce, navíc vzhledem k jejich vysoké reaktivitě s okolím je poměrně obtížné je udržovat v čistotě a zároveň bránit korozi. Proto se dále budeme věnovat zejména čistotě kovových povrchů a vazbám nečistot k nim. [1] [2] [3]

3.1 VAZBY NEČISTOT S POVRCHEM

Nečistoty jsou k povrchu vázány vazbami fyzikálními – adhezí a adsorpcí nebo vazbou chemickou. Fyzikálními vazbami jsou vázány nečistoty cizího původu, chemickou vazbou nečistoty vlastní. Chemická vazba je silnější než vazby fyzikální.

3.1.1 Adhezní vazba

V důsledku adheze způsobené mezimolekulárními přitažlivými silami ulpívá na povrchu materiálu prach různého druhu – například kovový prach a třísky vznikající při obrábění, brusiva, leštící pasty a další nerozpustné anorganické nečistoty. Částičky nečistot na povrchu mohou držet i pomocí mechanických vlivů, jako je nerovnost povrchu. [3] [6]

3.1.2 Adsorpční vazba

Adsorpce je působena převážně fyzikálními silami, a její vazebné síly jsou výrazně silnější než adheze, ale slabší než vazba chemická. Vyskytuje se zpravidla u látek kapalných a voskových substancí nerozpustných ve vodě. Jedná se tak zejména o mastné látky jako jsou oleje používané k řezání, tažení či konzervování, maziva, pasty k broušení a leštění, chladicí média atd. Takto ulpělé nečistoty jsou odstraňovány chemickou úpravou povrchu – odmašťováním. [3] [6]

3.1.3 Chemická vazba

Touto vazbou jsou k povrchu materiálu poutány nečistoty vlastní – jsou k povrchu poutány chemisorpcí v důsledku existující chemické vazby. Tato vazba je z uvedených vazeb nejsilnější. [3] [6]

3.2 DRUHY NEČISTOT

Nečistoty jsou podle svého původu děleny na vlastní – ty, které vznikly reakcí základního materiálu s okolím, a cizí – jsou cizího původu.

3.2.1 Nečistoty vlastní

Vlastní nebo též vázané nečistoty jsou k základnímu materiálu vázány chemickou vazbou, tedy vazbou nejsilnější. Jedná se o zplodiny, které vznikly chemickou přeměnou kovu reakcí s okolním prostředím. Při tepelném zpracování za vysokých teplot vznikají okuje, a vlivem působení korozního prostředí vzniká

rez. Zejména tedy jde o oxidy železa, dále pak hydroxidy, uhličitany a sulfidy. Korozní produkty pak mají větší specifický objem než základní kov, což má za následek vznik korozních puchýřů pod nátěrem a jeho následné porušení. Vzhledem k síle chemické vazby se tyto nečistoty obtížněji odstraňují, a paleta metod k jejich odstranění je poměrně široká. Využívány jsou jak metody mechanické – tryskání, kartáčování, omílání, broušení atd., tak metody chemické – moření, odrezování či dekapování. [2] [3] [6]

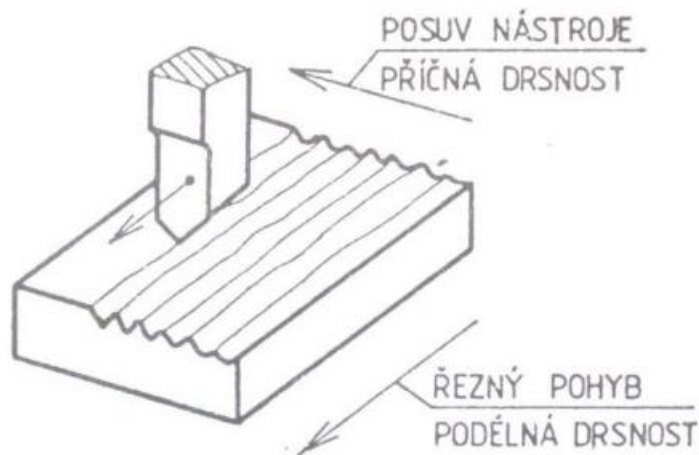
3.2.2 Nečistoty cizí

Tyto nečistoty jsou k povrchu vázány pouze fyzikálními silami – adhezí a adsorpcí. Patří sem mastné látky – oleje, tuky, maziva, pasty atd., kovové nečistoty – prach a třísky, zbytky brusiva, brusných a leštících past, produkty používané při slévání jako grafit a slévárenský písek, prach z ovzduší a další. Zpravidla jsou odstraňovány odmašťováním, pokud jde pouze o nečistoty vázané adhezí a není přítomná mastnota, je možné například prachové částice odstranit ofukem či otěrem. [2] [3] [33] [35]

3.3 DRSNOST

Poměrně významným faktorem, který ovlivňuje vlastnosti povrchu – zejména přilnavost, je drsnost povrchu. Drsnost je definována jako nerovnost povrchu, která vzniká při výrobě součásti, a je výsledkem použité výrobní technologie a také případnou předúpravou. [1]

Přiměřená velikost nerovností je vhodná pro aplikaci nátěrů i jiných povrchových vrstev, protože zvětšuje povrch, a tedy i stykovou plochu. Hladké povrchy (např. leštěné) nevykazují dostatečnou přilnavost, naopak u příliš drsných povrchů dochází k zatečení nátěru do prohlubní a nepřekrytí vrcholů nerovností. To má za následek oslabení nebo porušení nátěrového filmu, což vede ke zhoršení korozní odolnosti. [1]



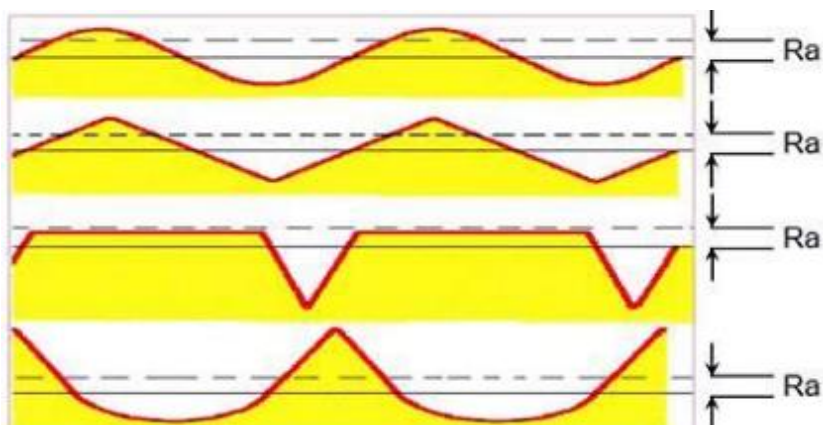
Obrázek č. 7 – Ukázka rozdílné drsnosti v příčném a podélném směru [48]

Drsnost je často důsledkem obráběcích procesů, a vzhledem k obráběcím pohybům je rozdílná ve směru pohybu nástroje a řezného pohybu. Proto je nutné drsnost povrchu vyhodnocovat ve dvou na sebe kolmých směrech – příčném a podélném. [48]

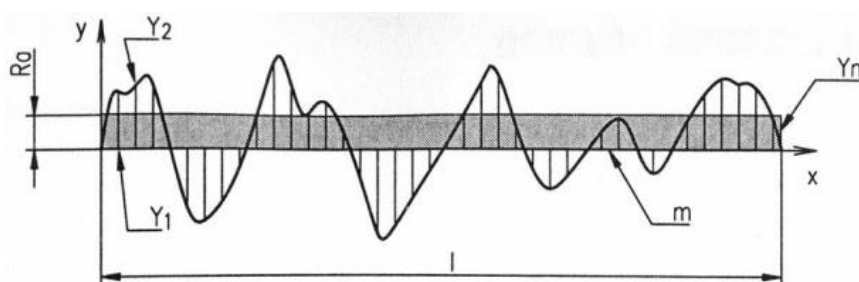
Drsnost není vyjadřována jedním parametrem. Obvykle je popisována třemi parametry R_a , R_q a R_z . [55]

R_a – střední aritmetická odchylka profilu

Jde o průměrnou odchylku profilu od střední čáry v rozmezí základní délky. Nevypovídá o charakteristice povrchu kontrolované součásti. Je to vhodný parametr pro regulaci a řízení obráběcího procesu, protože jeho změna bývá následkem změny vstupních parametrů procesu, jako jsou břitové destičky, řezná rychlost, posuv atd.



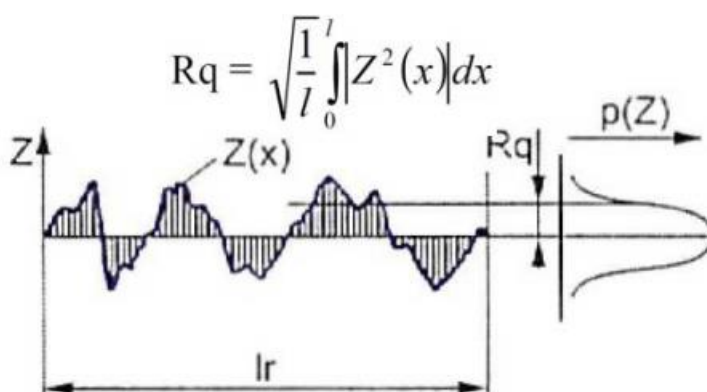
Obrázek č. 8 – Ukázka rozdílných povrchů se stejnou hodnotou Ra [50]



$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| = \frac{|y_1| + |y_2| + |y_3| + \dots + |y_n|}{n} \qquad R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx$$

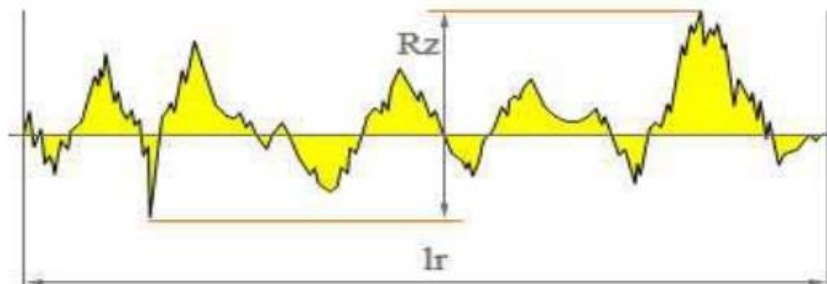
Obrázek č. 9 – Určení hodnoty Ra pomocí integrální a statistické metody [50]

R_q – Průměrná kvadratická odchylka profilu – střední kvadratická hodnota odchylek profilu uvnitř základní délky



Obrázek č. 10 – Určení průměrné kvadratické hodnoty drsnosti [50]

R_z – Největší výška profilu – součet největší výšky Z_p a nejnižší hloubky Z_v povrchu v rozsahu základní délky. [49] [50] [55]



Obrázek č. 11 – Hodnocení největší výšky profilu R_z [50]

Tabulka č. 1: Hodnoty drsnosti dosahované různými technologiemi [48]

Druh plochy	Výrobní metoda	Přesnost rozměrů (stupeň přesnosti) IT		Drsnost povrchu obrobené plochy R_a (μm)	
		střední hospodárná	dosahovaný rozsah	střední hospodárná	dosahovaný rozsah
1	2	3	4	5	6
Rovinné plochy	hoblování				
	hrubování 300 mm	12	12 až 13	50	25 až 100
	1 200 mm	13	12 až 14	50	25 až 100
	načisto 300 mm	10	9 až 11	6,3	3,2 až 12,5
	1 200 mm	11	9 až 12	6,3	3,2 až 12,5
	jemné (široký nůž)	9	7 až 10	1,6	0,8 až 1,6
	frézování				
	válcovou frézou,				
	hrubování do 300 mm	12	10 až 13	25	12,5 až 50
	hrubování do 1 200 mm	13	11 až 13	25	12,5 až 50
	válcovou frézou,				
	načisto do 300 mm	10	9 až 11	3,2	1,6 až 6,3
	načisto do 1 200 mm	11	9 až 12	3,2	1,6 až 6,3
	frézovací hlavou,				
	hrubování do 300 mm	11	10 až 13	25	12,5 až 50
	hrubování do 1 200 mm	12	11 až 13	25	12,5 až 50
	frézovací hlavou,				
	načisto do 300 mm	9	8 až 10	3,2	0,8 až 6,3
	načisto do 1 200 mm	10	8 až 11	3,2	0,8 až 6,3
	jemné frézování, nástroj SK	6	5 až 7	0,8	0,4 až 1,6
	broušení				
	nahrubo	10	9 až 11	1,6	1,6 až 3,2
načisto	7	5 až 7	0,8	0,4 až 1,6	
jemné	5	3 až 6	0,2	0,025 až 0,4	
lapování					
načisto	4	3 až 5	0,2	0,1 až 0,4	
jemné	3	1 až 3	0,025	0,012 5 až 0,05	
leštění					
zaškrabávání			0,1	0,012 5 až 0,2	
protahování			0,4	0,2 až 0,8	
hrubování	8	7 až 9	1,6	0,8 až 3,2	
načisto	7	5 až 7	0,4	0,1 až 0,8	

Hodnocení drsnosti probíhá pomocí drsnoměrů, profiloměrů nebo komparativní metodou za pomoci etalonů drsnosti – ty se mohou lišit i způsobem úpravy povrchu. Mezi moderní způsoby měření patří měření optickými přístroji. Drsnoměry vyhodnocují profil na určité délce, a ukazují více hodnot – například Ra, Rq, Rz atd. Profiloměry měří pouze bodově a výsledkem jsou hodnoty Rmax. [51] [52] [53]

Etalony (komparátory) drsnosti jsou standardizovány dle norem ČSN EN ISO 8503-1 a 2, jsou vyrobeny z oceli a slouží k porovnání s hodnoceným povrchem. Vzhled a textura povrchu je dána způsobem předúpravy, proto například pro tryskaný povrch jsou k dispozici etalony tryskané ostrohrannou drtí nebo oblým granulátem (viz abraziva). [51] [52]

Bezkontaktní hodnocení drsnosti je používáno především v laboratorní praxi za pomoci snímačů – nejčastěji na principu laseru či CLA (Chromatic Length Aberration). Snímače CLA fungují na principu rozkladu bílého světla, jehož složky o různé vlnové délce dále míří na snímaný povrch. Následné zachycení odraženého světla umožňuje přiřadit každému snímanému bodu prostorovou polohu. Snímače CLA dosahují vyšší přesnosti než snímače laserové.

Mezi nejčastěji používané metody patří hodnocení povrchu drsnoměrem. Jde o dotykovou metodu, při níž je měřicí hrot posouván po povrchu v rozmezí nastavené základní délky. Na této délce jsou snímány a zaznamenávány příčné pohyby hrotu, jejichž vyhodnocením je získán profil drsnosti. Výsledkem jsou pak hodnoty Ra, Rq, Rz a další.. Tato metoda byla také použita v praktické části této práce při hodnocení vlastností jednotlivých vzorků. Pro ten účel byl použit drsnoměr Mitutoyo SJ-210. [54]



Obrázek č. 12 – Drsnoměr Mitutoyo SJ-210 [64]

4 ZPŮSOBY HODNOCENÍ ČISTOTY POVRCHU

Může být posuzován stupeň zamaštění povrchu, jeho zrezivění (jedná-li se o ocelový povrch), přítomnost okují, zaprášení nebo zbytky starých nátěrů. Způsobů a metod hodnocení čistoty povrchu je tedy poměrně hodně a některé vybrané budou popsány níže.

4.1 Hodnocení čistoty povrchu na základě povrchového napětí

4.1.1 Metoda porušení souvislého vodního filmu

Metoda je používána jako orientační hodnocení zamaštění v provozu nebo jako předběžná zkouška před dalšími přesnějšími zkouškami. Funguje na základě vlastnosti čistého kovového povrchu, na kterém se určitou dobu drží vodní film bez porušení. Zkoušené vzorky jsou namočeny do demineralizované vody a následně umístěny tak, aby byly naklonené pod úhlem 45 °. Poté je měřen čas, a pokud souvislý vodní film vydrží déle než jednu minutu, je povrch považován za dostatečně čistý. Měření by mělo probíhat v bezprašném prostředí při teplotě 20 °C bez okolních tepelných vlivů. Metoda byla součástí dříve užívané normy ČSN 03 8215, jež se zabývala detekcí mastnoty na kovových površích. [5] [6]

4.1.2 Postřiková metoda

Metoda je určena pro méně zamaštěné kovové povrchy, a též byla součástí normy ČSN 03 8215. V průběhu zkoušky je na suchý kovový povrch rozprašován roztok vody a látky snižující její povrchové napětí. Dále je měřen čas potřebný k vytvoření souvislého vodního filmu na vzorku, který je úměrně ovlivněn množstvím a druhem zamaštění. Jednodušší formou metody je pouhé srovnání časů mezi zkoumaným vzorkem a „čistým“ etalonem. Pokud není doba postřiku delší o více než 20 %, je vzorek považován za dostatečně čistý. Pokud chceme tuto metodu kvantifikovat, je třeba mít pro definovaný typ zamaštění kalibrační graf, ze kterého lze odečíst plošná koncentrace zamaštění odpovídající naměřenému času. [5] [6]

4.1.3 Inkoustová metoda

Jedná se o spíše orientační metodu měření znečištění/zamaštění povrchu, která je založena na rozdílném povrchovém napětí nečistot a základního (čistého) povrchu. [36]

Obecně platí, že čím vyšší je povrchové napětí, tím lepší je přilnavost další nanesené povrchové vrstvy – nátěrů, pokovení, lepidel či folií. Nečistoty a zejména mastnota povrchové napětí významně snižují. [36]

Pro účely měření či porovnávání povrchového napětí byly vyvinuty inkousty, které se po nanesení chovají jako kapaliny s definovaným povrchovým napětím. Inkousty jsou vyráběny více výrobci. Například sada inkoustů Everstar obsahuje pouze 3 druhy inkoustů, které indikují plošnou hustotu nečistot: A - 0,1 g.m⁻² a méně, B - 0,01 g.m⁻² a méně, C - 0,001 g.m⁻² a méně. Inkousty jsou sice definovány pomocí plošné hustoty nečistot, ale fungují také na základě povrchového napětí. Pro běžné aplikace je hodnota zbytkového zamaštění 0,01 g.m⁻² dostačující. [36]

Princip zkoušky spočívá v tom, že pokud je na povrch nanesen film kapaliny odpovídající vyššímu povrchovému napětí, než jaké má zkoušený povrch, film se během krátké doby (řádově vteřin) roztrhá, a kapalina se shlukuje do kapiček. [36]

Přesnější sadu inkoustů vyrábí například firma Acrotest, jejíž produkt byl použit také v praktické části této práce. Jedná se o sadu inkoustů – kapalin s definovaným povrchovým napětím v rozmezí 28-42 mN.m⁻¹ s přesností měření 1 mN.m⁻¹. Inkousty jsou dodávány ve formě lahviček s inkoustem, který je nanášen pomocí štětce, nebo ve formě fixu. [37]

Zkouška probíhá tak, že je obvykle jako první nanesen inkoust s definovaným povrchovým napětím 38 mN.m⁻¹, což je hodnota obvykle považovaná za hraniční, co se týče přilnavosti – nižší hodnoty povrchového napětí jsou většinou z pohledu přilnavosti nedostačující. Pokud není inkoustový film porušen, je nanesen inkoust

o vyšší hodnotě povrchového napětí, a tak dále, dokud není nalezena hodnota povrchového napětí. Pokud je inkoustový film naopak ihned porušen, a rozpadne na kapky, je povrchové napětí nižší, a je nutno nanést inkoust o nižší hodnotě povrchového napětí. Pokud byl film porušen u hodnoty, která je pro aplikaci další povrchové vrstvy nedostatečná, je nutné povrch znovu očistit, odmastit, případně jinak upravit povrch materiálu. [36] [37]

4.1.4 Metoda stanovení kontaktního úhlu

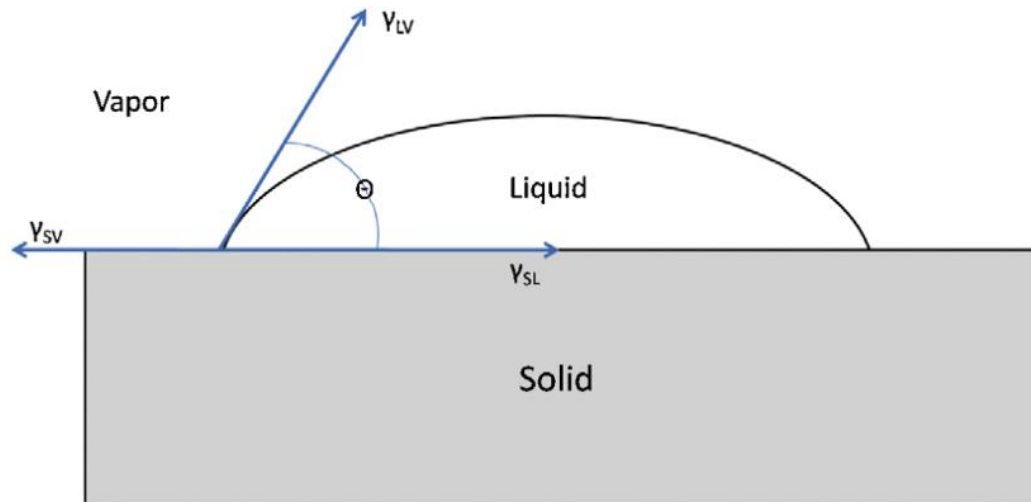
Metoda je určena ke studiu a měření povrchové energie a smáčivosti povrchu. Na fázovém rozhraní probíhá mnoho fyzikálních a chemických procesů. Fáze označuje část objemu systému, ve které se vlastnosti mění spojitě nebo jsou konstantní. Fáze jsou odděleny fázovým rozhraním, na kterém dochází ke skokovým změnám vlastností. [39]

Metoda je proveditelná dvěma způsoby:

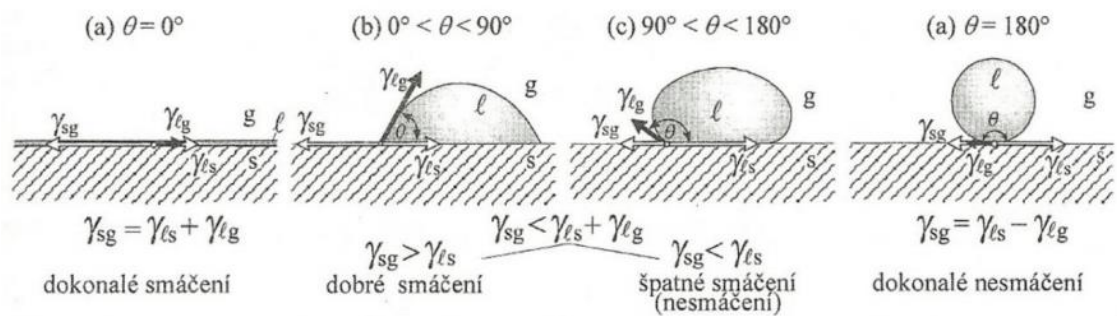
- Metoda tečen – je měřen úhel mezi tečnami k profilu v bodě kontaktu s pevným povrchem
- Metoda odraženého světla – provádí se za použití mikroskopu, a principem je odraz paprsku emitovaného mikroskopem zpět. Mikroskop je přitom zaostřen na třífázový kontaktní bod. Tato metoda je použitelná pouze pro úhly menší než 90 °.

Používanější je metoda tečen. Nejprve je pomocí pipety nanesena kapka kapaliny o definovaných vlastnostech na povrch zkoumaného vzorku. Dále je měřen úhel mezi povrchem testovaného vzorku a tečnou k povrchu kapky. Tvar, průměr, a tedy i úhel smáčení jsou závislé na hodnotě povrchového napětí měřeného povrchu. Úhel smáčení je ohraničen tečnou k povrchu kapky, která je vedena bodem styku kapky s povrchem. Pokud je úhel větší než 90°, jedná se o špatně smáčivý povrch, pokud menší, je povrch dobře smáčivý. Je-li úhel nulový, dochází k roztékání, a povrch je dokonale smáčivý. Naopak je-li hodnota úhlu rovna 180°, dosahují interakce kapaliny a pevné látky maxima, a povrch je zcela

nesmáčivý. Chování kapaliny na povrchu je také závislé na vlastnostech použité kapaliny – zejména jejím povrchovém napětí. [39]



Obrázek č. 13 – Měření kontaktního úhlu kapky na pevném povrchu [63]



Obrázek č. 14 – Hodnocení smáčivosti povrchu podle velikosti kontaktního úhlu [39]

4.2 Hmotnostní metoda

U této metody je určována hodnota zamaštění pomocí rozdílu hmotností mezi zamaštěnými a čistými zkoušenými vzorky. Metoda je vhodná pro téměř jakýkoli materiál. Pro určení plošného zamaštění je třeba znát plochu zkoušeného vzorku, a také vlastnosti zkoumané mastnoty, jako je například měrná objemová hmotnost. Dále musí být k dispozici dostatečně přesné váhy, aby byly schopny rozlišit a zvážit i mírně zamaštěné předměty. Z tohoto hlediska je metoda vhodnější spíše pro kvantifikaci mastnoty u silněji zamaštěných předmětů, u kterých navíc musí být známá jejich plocha. Proto metoda není zcela vhodná pro předměty složitých tvarů. [5] [6]

V praktické části této práce byla metoda použita pro kvantifikaci zamaštění zkušebních vzorků, kde se ukázala být velice vhodnou, neboť byly měřeny tenkostěnné vzorky s pravidelnou velkou plochou, a rozdíly v hmotnosti tak byly dobře měřitelné i u nižšího stupně zamaštění.

4.3 Metoda fluorescenční

Metoda je založena na vlastnosti molekul mastnoty, které jsou přirozenými fluorofory – fluorescenci, ke které dochází při ozáření mastnoty UV zářením. [40]

Fluorescence spadá pod jev zvaný luminiscence, což je schopnost některých molekul absorbovat a následně vyžářit záření o určité vlnové délce. Absorbované záření vybudí – excituje elektrony, které při návratu do nižší energetické hladiny vyžáří energii ve formě fotonů o nižší energii, než byly fotony pohlcené. Vyzařované vlnění má tak delší vlnovou délku než absorbované záření, a u pro nás stěžejní fotoluminiscence je viditelné okem – světlo. Podle doby dohasínání luminiscenci dělíme na fosfoescenci trvající až několik minut, fluorescenci – po ukončení buzení téměř okamžitě mizí, a zpožděnou fluorescenci, kdy záření vyhasíná po dobu, kterou se molekula nachází v metastabilním stavu. Metoda je vhodná pro stanovování zejména středních hodnot zamaštění a nečistot. [5] [6] [35] [38] [40] [41] [42]

4.3.1 Recognoil

Zařízení Recognoil je vyvíjeno a vyráběno firmou TechTest s.r.o. Funguje na principu vyvolání fluorescence pomocí UV-VIS záření v látce znečišťující měřený povrch. Měření probíhá na celé snímané ploše, což má pozitivní vliv na přesnou lokalizaci nečistot na kontrolované ploše. Zařízení první generace uvedené na trh v roce 2014 je přenosné, ovšem je zde nutnost kabelového připojení k tabletu či notebooku s potřebným softwarem. Druhá generace uvedená v roce 2018 je již bezdrátová a přenos dat probíhá pomocí wifi, nadále je však potřeba PC vybavené odpovídajícím softwarem. Třetí generace nesoucí označení 3W je již zcela autonomní. Je vybavena displejem a možností připojení ke cloudovému úložišti, což ve spojení s robustním a ergonomickým designem umožňuje jeho využití v jakýchkoliv podmínkách a provozech. Přístroj lze připojovat k dalším zařízením pomocí wifi nebo Bluetooth. Mezi další benefity patří větší hodnocená plocha a možnost připojení externích sond. [38] [43]



Obrázek č. 15 – Zařízení Recognoil 3W [43]

Přístroje nachází široké uplatnění v průmyslu všude tam, kde je potřeba detekovat nežádoucí mastnotu na površích před nanášením povrchových vrstev nebo naopak kontrolovat přítomnost a kvalitu olejových filmů. Mezi tyto obory patří například: [38] [43]

- lakování,
- povlakování,
- galvanické pokovení,
- tváření,
- odmašťování,
- čisticí procesy,
- svařování, pájení, lepení.

4.3.2 SITA CleanoSpector

Přístroj pracuje na principu vyvolané fluorescence za pomoci UV-VIS záření, které je vytvářeno pomocí LED diody. Na rozdíl od přístroje Recognoil ale měření probíhá pouze v jednom bodě. Vyzářené vlnění je zaznamenáváno pomocí snímače, a poté vyhodnocováno. Intenzita fluorescence je úměrná velikosti zamaštění. Rozsah měřitelných hodnot je od 0 do 2000 RFU (Relative Fluorescence Unit). [44]

Protože přístroj neměří celou snímanou plochu, ale pouze bod, je nezbytný výběr tzv. kritických bodů na povrchu každé měřené součásti. Přístroj je kalibrován pro různé povrchy pomocí referenčních vzorků, které jsou odmaštěny v laboratorních podmínkách, a jsou tedy považovány za čisté. Paměť přístroje umožňuje uložení referenčních hodnot až pro 20 různých povrchů. Kalibrovaným přístrojem poté operátor provádí měření v kritických bodech, a výsledná hodnota je vyjadřována v procentech čistoty – 100 % je shoda naměřené hodnoty s hodnotou absolutně čistého referenčního vzorku. Dále je udávána nejmenší, nejvyšší a průměrná hodnota znečištění na vzorku. Výhodou může být jednoduchost obsluhy, která je prováděna jediným tlačítkem, a srozumitelnost

údajů vyjádřených v procentech. Nevýhodou je měření pouze v jednom bodě, což může vést ke vzniku nepřesnosti, pokud je například zvolen bod, ve kterém se míra znečištění výrazněji odlišuje od okolního průměru. [44] [45]



Obrázek č. 16 a 17 – Možnosti využití přístroje Sita CleanoSpector [45]

4.4 Infračervená spektrometrie

Tato metoda je řazena mezi nedestruktivní analytické metody, stejně jako metoda fluorescenční. Zkoumaný vzorek tedy není v průběhu analýzy nikterak poškozen. Princip metody spočívá v interakci molekul zkoumaného vzorku s vlnami infračerveného záření. Pokud dojde k pohlcení fotonu, mluvíme o absorpční infračervené spektroskopii, pokud je naopak foton vyzářen, jedná se o infračervenou spektroskopii emisní. [57] [58]

Samotné infračervené záření se nachází v rozmezí vlnové délky 780 nm až 1 mm, má tedy vlnovou délkou větší, než má viditelné světlo. Nachází se v oblasti vlnočtů $12500 - 10 \text{ cm}^{-1}$. Vzhledem k rozsahu oblasti je dále dělena na 3 podskupiny: [57] [58]

- $12\,500 - 5000 \text{ cm}^{-1}$ blízká infračervená oblast
- cm^{-1} střední infračervená oblast
- cm^{-1} vzdálená infračervená oblast

Tabulka č.2: Spektrum elektromagnetického záření ve spektroskopii [61]

	UV-VIS 50-800 nm	IR 1-100 μm	MW 1-10 mm
Elektronická spektroskopie	Absorpční UV-VIS Luminiscenční spektroskopie		
Vibrační spektroskopie	Ramanova spektroskopie	Infračervená spektroskopie	
Rotační spektroskopie	Ramanova spektroskopie		Mikrovlnná spektroskopie

Infračervené záření disponuje menším množstvím energie než UV-VIS záření, proto nedochází k vybuzení elektronů do vyšších energetických hladin. Zároveň má však více energie, než jakou má mikrovlnné záření, které stačí pouze na rotační přechody molekul. U infračerveného záření dochází k rotačně-vibračním přechodům, které poté infračervená spektrometrie měří. Pokud se hmotnost sousedních atomů liší o více než 100 % nebo silové konstanty vazby alespoň o 25 %, dochází ke vzniku vibrací. Silové konstanty jsou v poměru 1:2:3 u jednoduché, dvojně a trojně vazby. Dvojná a trojná vazba se tedy ve spektru projevují charakteristickou vibrací. [59] [61]

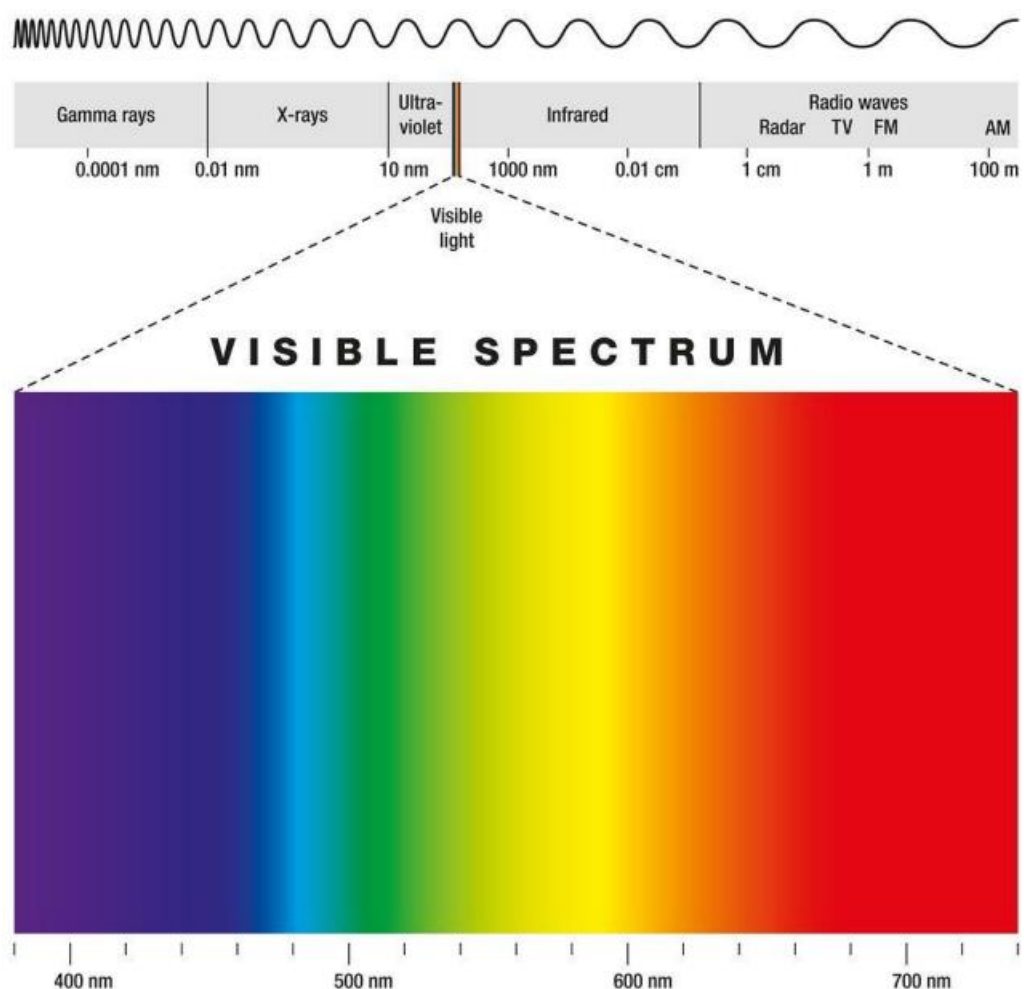
Tabulka č.3: Energetické oblasti infračerveného záření [59]

Oblast	Vlnová délka [μm]	Energie [meV]	Vlnčet [cm^{-1}]	Typ excitace
Vzdálená IČ	1000 – 50	1,2 – 25	10 – 200	Vibrace mřížky
Střední IČ	50 – 2,5	25 – 496	200 – 4000	Molekulární vibrace
Blízká IČ	2,5 – 1	496 – 1240	4000 – 10 000	Vyšší harmonické (overtony)

4.4.1 UV-VIS Spektrometrie

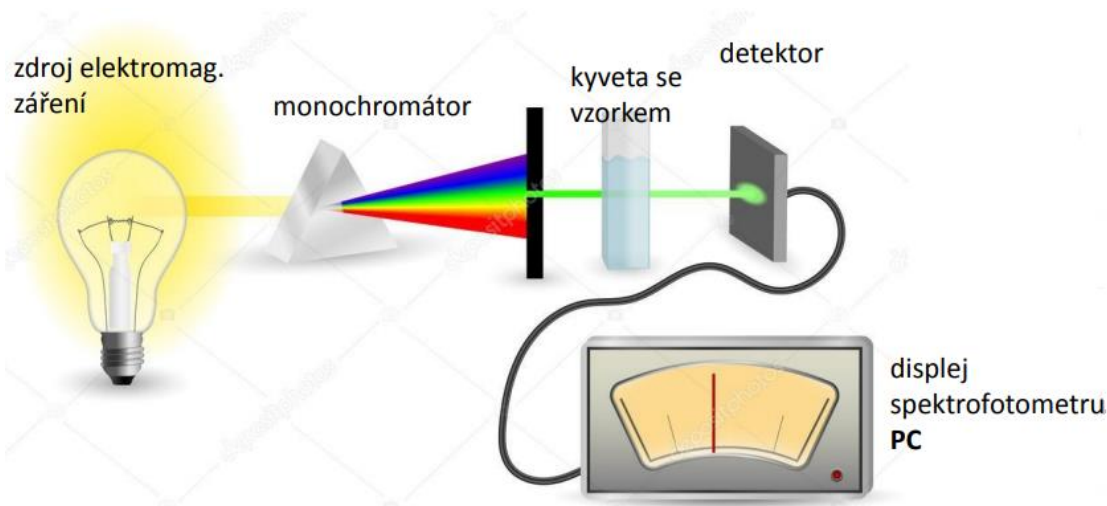
Ultrafialovo-viditelná spektrometrie patří mezi běžně používané analytické metody pro měření vlastností zkoumaného vzorku. Spadá pod spektrofotometrii, jejímž principem je zkoumání vzorku na základě pohlcování záření různých vlnových délek.

Stejně jako u spektrometrie infračervené a metody fluorescenční jde o nedestruktivní metodu analýzy, která nezpůsobuje poškození zkoumaného vzorku. Pro analýzu je však používáno UV záření a viditelné spektrum záření – světlo.



Obrázek č. 18 – Rozsah vlnových délek světla na škále vlnění [72]

Viditelné záření má výrazně užší oblast vlnových délek než infračervené záření. Nachází se v rozsahu 380 – 780 nm.



Obrázek č. 19 – Princip spektrofotometrie [72]

Vyhodnocování probíhá měřením neabsorbovaného záření.

Jako zdroj záření bývá používána wolframová žárovka produkující vlnové délky od 350 do 3000 nm, přičemž měření probíhá pouze ve viditelné oblasti, nebo halogenová žárovka, jejíž spektrum zasahuje i do UV oblasti. Pro měření v UV oblasti je jako zdroj záření užívána deuteriová lampa.

4.4.2 Zdroje a detektory infračerveného záření

Zdroje záření se liší podle oblasti záření. Pro střední oblast IČ záření, která je ve spektrometrii nejvíce používaná, to jsou keramické tyčinky zahříváné na vysokou teplotu (cca 1500 °C) nebo tyčinky z karbidu křemíku (1000-1400 °C). Pro blízkou oblast IČ záření jsou používány wolframové nebo wolframo-halogenové žárovky, naopak pro oblast vzdálenou rtuťové výbojky. Pro monochromatické záření jsou používány LED diody nebo lasery. [59] [61]

Jako detektory jsou používány přístroje pracující na bázi tepelných účinků IČ záření, jako je odporový teploměr – bolometr, termočlánek a další. [59]

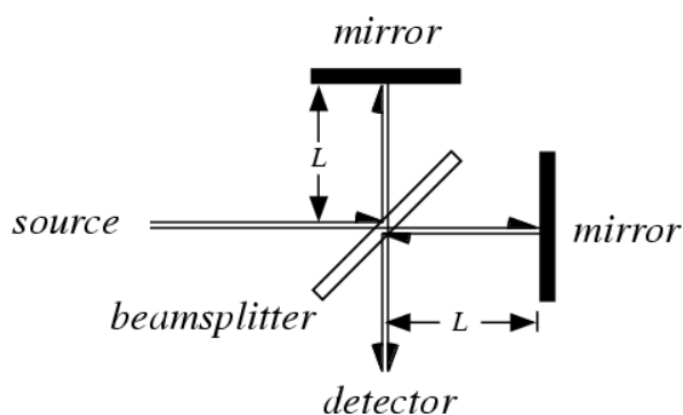
4.4.3 Infračervený spektrometr

Existují tři druhy IČ spektrometru:

- Disperzní – za vzorkem je umístěna mřížka (monochromátor), která propouští postupně záření podle vlnové délky na detektor.
- Nedisperzní – monochromatický zdroj záření
- Interferometrický spektrometr (FTIR)

V infračervené spektrometrii jsou využívány dva typy zařízení – infračervený spektrometr s fourierovou transformací (FTIR) a disperzní spektrometr. Úkolem obou zařízení je registrovat infračervené spektrum a závislost jeho intenzity na vlnové délce. [61]

Infračervený spektrometr s Fourierovou transformací (FTIR) je nejpoužívanější a také nejcitlivější. Neobsahuje monochromátor, ale interferometr – tzv. Michelsonův interferometr. Snímá celé spektrum záření najednou a získaný interferogram poté zpracovává pomocí fourierovy transformace. Výhodou je současný záznam celého spektra, citlivost, stabilita, vyšší rozlišovací schopnost, a lze použít na všechny oblasti infračerveného záření. [59] [60] [61] [62]

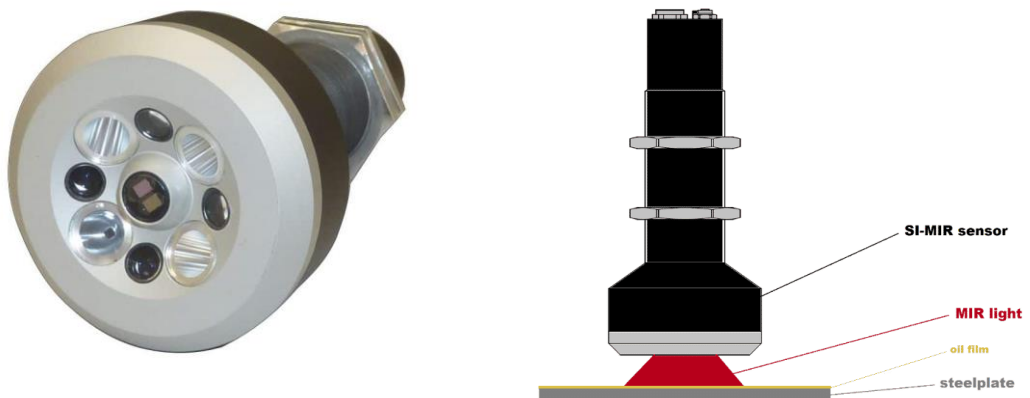


Obrázek č. 20 – Michelsonův interferometr [62]

Měřiče na bázi infračerveného spektrometru lze využívat také pro měření mastnoty jako alternativu pro přístroje měřící na bázi fluorescence. Každý olej či mastnota reaguje na určitou vlnovou délku infračerveného záření. [71]

SPECTRO-M-10MIR

Infračervené záření specifické vlnové délky je vyzařováno na olejovou vrstvu, a následně zachycováno dvěma detektory umístěnými v hlavici senzoru. První detektor je naladěný na vlnovou délku, na kterou reaguje daný olej. Druhý detektor je naladěný na jinou vlnovou délku pro měření nulového bodu, a slouží jako kontrola. Pro přesnost měření je třeba senzory vždy kalibrovat na daný typ oleje a kovu základního materiálu – každý typ oleje totiž absorbuje jiné množství infračerveného záření. Vyhodnocení tloušťky olejové vrstvy je pak zajištěno speciálním softwarem. [71]



Obrázek 21 a 22: Infračervený senzor SPECTRO-M-10MIR [71]

4.5 Stupeň zrezavění povrchu

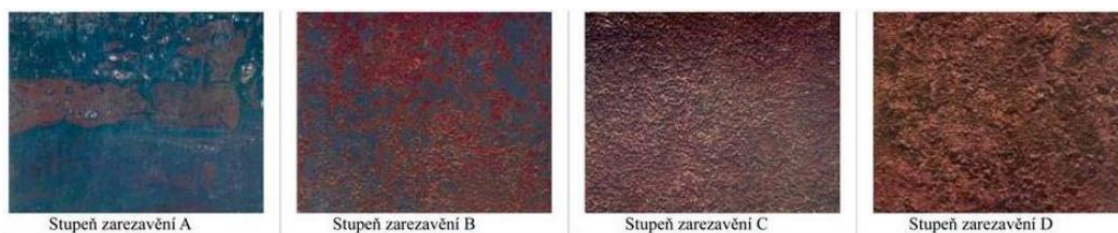
Metoda se jinak také nazývá stupněm přípravy ocelového podkladu, a je popsána normou ČSN EN ISO 8501-1:2007. Povrchy jsou hodnoceny vizuálně, a porovnávány s fotografiemi referenčních vzorků uvedených v normě jako standard výchozího stavu před další úpravou. Stupeň zrezivění je tedy stanoven porovnáním a označen písmenem A, B, C nebo D. [46] [47]

Tabulka č. 4: Stupně zrezavění povrchu [46]

A	Téměř celý povrch je pokryt pevně ulpívajícími okujemi, ale nevykazuje viditelné známky rzi
B	Povrch, ze kterého se odlupují okuje a začíná se na něm tvořit vrstva rzi.
C	Okuje z povrchu oceli už odkorodovaly, nebo je lze odstranit kartáčováním. Při prohlídce povrchu oceli bez zvětšení lze jen výjimečně objevit důlkovou korozi.
D	Okuje z povrchu oceli už odkorodovaly a povrch oceli při prohlídce bez zvětšení vykazuje důlkovou korozi

Tabulka č. 5: Stupně přípravy povrchu a jejich popis [46]

ČSN ISO 8501-1, OZNAČENÍ	ČSN ISO 8501-1, popis či požadavek	ČSN ISO 8501-1, OZNAČENÍ	ČSN ISO 8501-1, popis či požadavek
Sa3 – vizuálně čistý ocelový povrch	Při prohlídce bez zvětšení se na povrchu nezjistí přítomnost olejů, mastnot, nečistot, okuje, rez, zbytky nátěrů a cizích látek. Povrch musí vykazovat jednotný kovový vzhled.	St 2 – důkladné ruční a mechanizované čištění	Při prohlídce bez zvětšení se nezjistí přítomnost olejů, mastnot a nečistot včetně nepřilnavých vrstev okujů, rzi, nátěrů a cizích látek.
Sa2 – důkladné tryskání	Při prohlídce bez zvětšení se na povrchu nezjistí přítomnost olejů, mastnot, nečistot a téměř žádné okuje, rez, nátěry a cizí látky. Všechny zbytky nečistot musí být pevně přilnavé.	St 3 – velmi důkladné ruční a mechanizované čištění	Odpovídá stupni St2, ale čištění musí být mnohem důkladnější a povrch musí vykazovat kovový odstín daný podkladem.
Sa1 – lehké otryskání	Při prohlídce bez zvětšení se na povrchu nezjistí přítomnost olejů, mastnot, nečistot stejně jako nepřilnavé okuje, rez, nátěry a cizí látky. Všechny zbytky nečistot musí být pevně přilnavé.		
Sa 2 ^{1/2} – velmi důkladné otryskání	Při prohlídce bez zvětšení se na povrchu nezjistí přítomnost olejů, mastnot, nečistot, okuje, rez, zbytky nátěrů a cizích látek. Všechny zbylé stopy nečistot musí být pouze ve formě skvrn nebo pásů.		



Obrázek č 23 – Stupně zrezavění [46]

Pro hypotetický stupeň přípravy A Sa 1 neexistuje fotografický vzor. Tento stupeň je ve skutečnosti nedosažitelný nebo naprosto nevyhovující pro aplikaci nátěrů či povlaků.



B Sa 1



C Sa 1



D Sa 1

Pro hypotetický stupeň přípravy A Sa 2 neexistuje fotografický vzor. Tento stupeň je ve skutečnosti nedosažitelný nebo naprosto nevyhovující pro aplikaci nátěrů či povlaků.



B Sa 2



C Sa 2



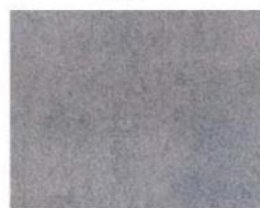
D Sa 2



A Sa 2½



B Sa 2½



C Sa 2½



D Sa 2½



A Sa 3



B Sa 3



C Sa 3



D Sa 3

Obrázek č. 24: Ukázka stupňů přípravy různě zrezavěného povrchu tryskáním [46]

Výše vyobrazené standardy byly připraveny tryskáním křemenným pískem. Vzhled může být odlišný po použití jiné metody přípravy nebo i jiného abraziva, je dán také barvou oceli, okují, osvětlením a tak dále. Proto jsou uvedené standardy pouze orientační, a je třeba klást důraz na další faktory, nejen ten vizuální. [46] [47]

4.6 Stanovení prachu na povrchu

Tato metoda je určena ke stanovení množství a velikosti prachových částic ulpělých na ocelovém povrchu a je upravena normou ČSN EN ISO 8502-3:2017.

Prachové částice snižují přilnavost, a jsou nežádoucí zejména pro aplikaci organických povlaků, ale i dalších povrchových úprav. Zkouška probíhá pomocí průhledné lepicí pásky. Páska o délce 150 mm je přitisknuta pevně k povrchu, poté odtrhnuta a nalepena na kontrastní povrch, kde je množství a velikost částic vyhodnocováno srovnáním s referenčními vyobrazeními. [56]

Tabulka č. 6: Třídy velikostí prachových částic [56]

Třída	Popis částic
0	Částice neviditelné ani při zvětšení 10x
1	Částice viditelné při zvětšení 10x, ale ne prostým okem (průměr částic menší než 50 μm)
2	Částice právě viditelné prostým okem (mezi 50 μm a 100 μm)
3	Částice zřetelně viditelné prostým okem (částice o průměru do 0,5 mm)
4	Částice o průměru 0,5 mm až 2,5 mm
5	Částice s průměrem větším než 2,5 mm

4.7 Zkoušení technické čistoty - Norma VDA 19/ ISO 16 232

Čistota součástek je v dnešní době středobodem průmyslových výrobních procesů – je nezbytná pro dosažení vysoké kvality výrobku. Ke znečištění produktu dochází obvykle v průběhu výroby, nebo následkem špatného skladování a manipulace. Rizika způsobená nečistotami mohou způsobovat neefektivní provoz zařízení, prostoje ve výrobě, plýtvání energií a materiálem, ale mohou být také pro provoz zařízení zcela fatální a způsobit nevratné poškození. [67]

Vzhledem k technologickému pokroku a rostoucí složitosti moderních technických produktů začalo v 90. letech docházet k nárůstu škod způsobených nedostatečnou čistotou komponentů zejména v automobilovém a leteckém

průmyslu. Tak vznikla potřeba standardizovat technologické postupy. Za tímto účelem byla vypracována norma VDA 19 – kontrola technické čistoty – kontaminace funkčních dílů v automotive částicemi, která byla vydána v roce 2004. Jedná se o normu původně německou (Verband Der Automobilindustrie). Její mezinárodní forma vyšla v roce 2007 jako norma ISO 16 232. Norma byla dále revidována, čímž došlo k rozdělení na VDA 19.1 – Zkoušení technické čistoty a VDA 19.2 – Technická čistota při montáži. [65] [66]

VDA 19.1 zahrnuje:

- specifikace čistoty – mezní hodnoty čistoty pro díly a systémy,
- výběr zkušební metody – extrakce, médium, filtrace, analýzy,
- zacházení s výrobky s ohledem na čistotu – personál, balení, skladování a transport atd.,
- kvalifikační zkoumání a hodnota slepého pokusu.

VDA 19.2 obsahuje: koncepci čisté výroby, měření vlivů na čistotu, okolní prostředí, logistiku, personál, montážní zařízení a možnosti analýzy čistoty. Dodržování požadavků této normy je vyžadováno zejména pro palivové, brzdové, chladičové a hydraulické soustavy a jejich komponenty. [65] [66]

Kontrola technické čistoty probíhá na celé výrobní lince odběrem vzorků. Pro přesné zjištění množství kontaminantů jsou částice extrahovány, a poté filtrovány skrze membránové filtry. Částice jsou extrahovány ze vzorků ponořením do kapaliny, ostřikem, oplachem, nebo ultrazvukovou lázní, a poté je kapalina (médium) filtrována skrze membránový filtr, kde jsou kontaminanty zachycovány. Filtr je následně usušen a částice podrobeny vícekrokovému procesu kontroly – zjištění velikosti, množství i původu částic. [67]



Obrázek č. 25 – Možnost postupu při hodnocení čistoty povrchu [67]

5 POROVNÁNÍ VYBRANÝCH METOD – TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Cílem technicko-ekonomického zhodnocení je porovnat vybrané metody hodnocení čistoty a struktury povrchu mezi sebou podle jejich užitných vlastností, praktičnosti, schopností a ceny. Výsledkem by mělo být určení nejvhodnější metody pro měření znečištění/zamaštění povrchu v technické praxi.

5.1 Porovnání metod pro stanovení zamaštění povrchu

System bodového hodnocení – každé kritérium má přiřazen svůj koeficient (celé číslo v rozmezí 1 až 5) podle své důležitosti pro aplikaci měření zamaštění povrchu. Daným koeficientem je pak násobeno bodové ohodnocení každé metody/přístroje, které vyjadřuje úspěch v daném kritériu nebo schopnost kritérium splnit.

Kritéria, která lze posoudit pouze pomocí ANO/NE, mají hodnocení jednoduché. Je-li kritérium splněno, je kolonka pro příslušnou metodu a kritérium vyplněna slovem ANO, což je ohodnoceno 2 body. Není-li kritérium splněno, obdrží metoda či přístroj v daném kritériu hodnocení NE, čemuž odpovídá 0 bodů.

Bohužel nebylo možné posoudit všechny kvality a schopnosti metod či přístrojů pouze pomocí hodnocení ANO/NE, protože některé metody plnily dané kritérium lépe, jiné hůře, nicméně plnily. Proto byl zaveden systém slovního ohodnocení, které bylo doplněno odpovídajícím počtem bodů.

Neplnil-li přístroj/metoda dané kritérium vůbec, nebo byl-li zcela nevhodný, obdržel 0 bodů. Pokud byl v dané disciplíně podprůměrný nebo ji plnil s obtížemi, obdržel 1 bod. Uspokojivý výsledek byl hodnocen 2 body, a pokud přístroj/metoda kritérium plnil bez obtíží či nadstandardně dobře, obdržel 3 body.

Tabulka č. 7: Porovnání metod pro stanovení zamaštění povrchu

METODA KRITÉRIUM A JEHO VÁHA [1-5]	Plošná Fluorescence Recognoil 3W (R)	Povrchové napětí – inkousty	Infračervené záření	Bodová fluorescence Sita (S) CleanoSpector
Jednoduchá obsluha [4]	ANO – 2 b.	ANO – 2 b.	NE – 0 b.	ANO – 2 b.
Pořizovací náklady [kč] [5]	Nižší statisíce – 2 b.	Jednotky tisíc – 3 b.	Statisíce – vyšší než u fluorescence – 1 b.	Nižší statisíce – 2 b.
Provozní náklady [4]	Nízké – 3 b.	Střední – 2 b.	Střední – 2 b.	Nízké – 3 b.
Přenositelnost zařízení [2]	Dobrá – 3 b.	Dobrá – 3 b.	Obtížná – 1 b.	Dobrá – 3 b.
Možnost automatizace [3]	ANO – 2 b.	NE – 0 b.	Obtížná – 1 b.	ANO – 2 b.
Možnost robotizace [3]	ANO – 2 b.	ANO – 2 b.	NE – 0 b.	ANO – 2 b.
Životnost [5]	Vysoká – 3 b.	Nízká – 1 b.	Střední – 2 b.	Vysoká – 3 b.
Použití na vnitřní plochy [2]	ANO – 2 b.	Obtížné – 1 b.	NE – 0 b.	Obtížné – 1 b.
Měření větší plochy [3]	ANO – 2 b.	NE – 0 b.	Ne zcela – 1 b.	NE – 0 b.
Reprodukovatelnost výsledků [4]	Dobrá – 3 b.	Obtížná – 1 b.	Dobrá – 3 b.	Dobrá – 3 b.
Archivace výsledků [1]	ANO – 2 b.	Obtížná – 1 b.	Obtížná – 1 b.	ANO – 2 b.

Dosažené hodnocení	87 b.	55 b.	44 b.	79 b.
--------------------	-------	-------	-------	-------

Zhodnocení výsledků

Z porovnání metod pro stanovení zamaštění povrchu – UV-VIS fluorescenční metody plošné a bodové, metody povrchového napětí měřeného inkousty a metody infračervené spektrometrie vyšla na základě stanoveného hodnocení nejlépe plošná metoda fluorescenční reprezentovaná zařízením Recognoil třetí generace. Stalo se tak zejména díky vysoké variabilitě, jednoduchosti obsluhy a přijatelné ceně. Na druhém místě se umístil přístroj Sita CleanoSpector, který také pracuje na principu fluorescence, ale měří pouze bodově. Tato skutečnost společně s nemožností měření vnitřních ploch zapříčinila bodovou ztrátu vůči zařízení Recognoil 3W, nicméně i tak přístroj potvrdil výhody fluorescenční metody. Sita CleanoSpector nabízí snadnou ovladatelnost a spolehlivost, bohužel doplácí na nemožnost měření větší plochy. Třetí příčka náležela metodě měření povrchového napětí pomocí inkoustů či fixů. Tato metoda je spíše orientačním testem, je zcela nevhodná pro posuzování větších ploch, nelze automatizovat, a spotřeba inkoustů je poměrně vysoká. Velikou výhodou je naopak výrazně nižší pořizovací cena, která se pohybuje v řádu jednotek tisíc korun, zatímco ostatní zařízení v řádu stovek tisíc korun. Jako nejméně vhodná metoda pro měření zamaštění povrchu ve výrobním procesu se ukázala metoda měření infračerveného záření. Metoda je vhodná spíše pro laboratorní podmínky – do terénu je nevhodná, přístroje jsou ze všech metod nejdražší a obsluha není snadná.

5.2 Porovnání metod hodnocení drsnosti povrchu

Subjektivní metody měření, tedy vizuální a fyzickou kontrolu (pozorováním či hmatem) a porovnání s komparátory drsnosti je možné provádět spíše jako nižší stupeň kontroly nebo v aplikacích, kde není požadována vysoká přesnost. Navíc je tento způsob kontroly vhodný spíše pro zkušené zaměstnance. Výhodou je

relativně nízká pořizovací cena komparátorů a nízké náklady na provedení zkoušky – pouze čas obsluhy. Nevýhodou nízká přesnost a reprodukovatelnost výsledků. Pro aplikaci přesného měření drsnosti či posuzování povrchů s nízkou drsností jsou subjektivní metody nevhodné.

Objektivní metody kontroly, tedy pomocí měřicích přístrojů optických či dotykových, zajišťují významně přesnější měření drsnosti.

Dotykové přístroje – drsnoměry a profiloměry

Drsnoměry měří drsnost povrchu na celé nastavené délce pomocí posuvu měřicího hrotu, přičemž jsou zaznamenávány jeho příčné pohyby. Drsnoměry mají obvykle kapesní rozměry a jsou snadno přenositelné. Výhodou je měření na stanovené délce, výsledky mají proto větší výpovědní hodnotu o charakteru povrchu. Nevýhodou je, že měřicí hrot, který snímá příčné nerovnosti, je zpravidla vyroben z diamantu či jiného materiálu s velmi vysokou tvrdostí, což při posuvu po povrchu materiálu způsobuje rýhy. Tato aplikace není proto vhodná zejména pro měkké materiály. Přesnost je ovlivněna tvarem a poloměrem snímacího hrotu a přitlačnou silou.

Bezkontaktní přístroje

Pro laboratorní účely jsou používány zejména přístroje pracující s bezkontaktními snímači – nejčastěji CLA nebo laserovými. Výhodou je větší přesnost a nepoškození zkoumaného povrchu, nevýhodou je výrazně vyšší cena a nepřenositelnost zařízení.

Pro běžné aplikace měření drsnosti a profilu povrchu je zcela vyhovující měření drsnoměrem, které nabízí dostatečnou přesnost a reprodukovatelnost výsledků, snadnou přenositelnost i obsluhu a nižší cenu oproti bezkontaktním metodám.

6 PRAKTICKÁ ČÁST

Hlavním cílem praktické části diplomové práce bylo porovnat metody kontroly čistoty povrchu. Za tímto účelem byl proveden experiment, ve kterém byly zkoumány vzorky různých materiálů – ocel, zinkovaný plech, hliník a sklo pomocí vybraných metod. Jednou z vybraných metod byla metoda fluorescenční, která byla prováděna pomocí zařízení Recognoil. Dalším cílem práce bylo porovnání tří generací zařízení Recognoil mezi sebou.

6.1 Experiment

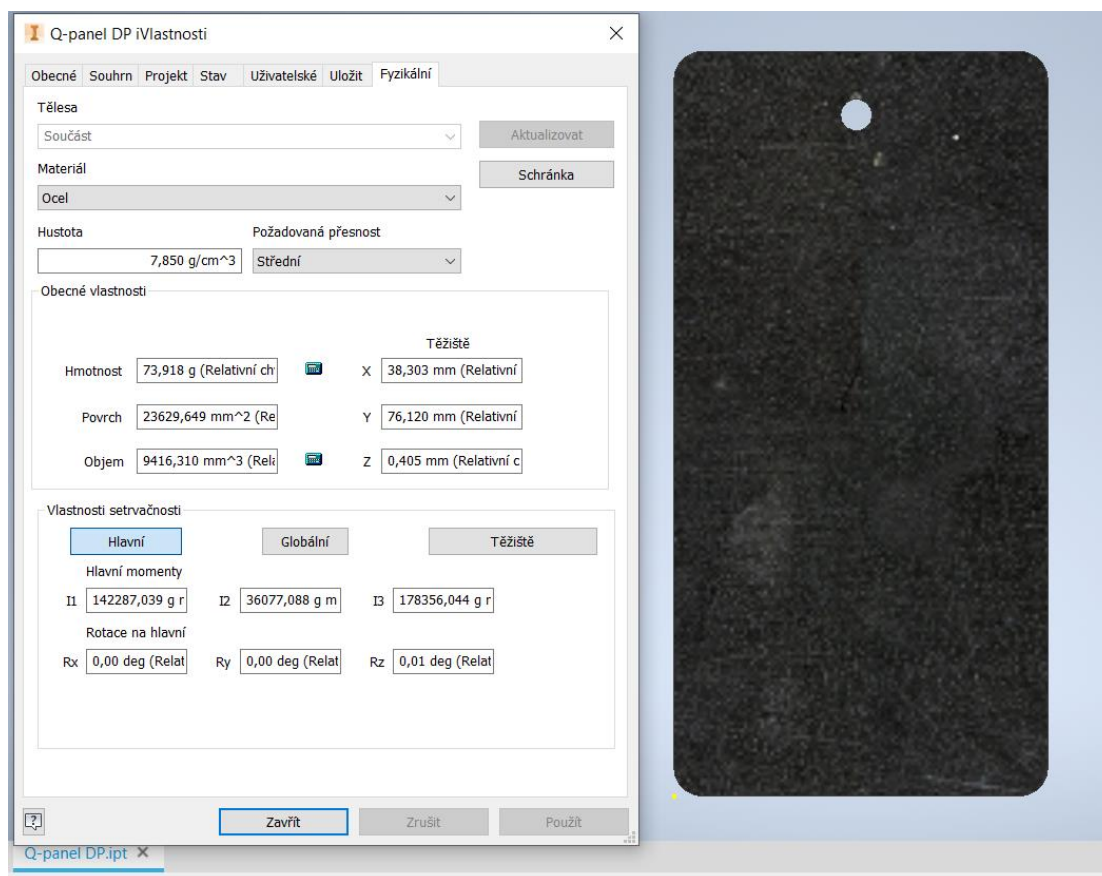
V průběhu experimentu byla na vzorky nanášena vrstva oleje. Množství naneseného oleje bylo postupně zvyšováno, přičemž byly průběžně hodnoceny vlastnosti povrchu – zejména povrchové napětí a fluorescence v závislosti na plošné koncentraci oleje, dále pak vliv struktury povrchu na množství ulpělého oleje.

Hypotéza byla taková, že s rostoucím množstvím mastnoty budou vzrůstat hodnoty fluorescence, a naopak bude klesat povrchové napětí. Dalším předpokladem bylo, že drsnější povrch či povrch s oxidovanou vrstvou bude mít schopnost zachycení většího množství mastnoty, než povrch hladký.

6.2 TESTOVANÉ VZORKY JEJICH MODELŮ

Níže uvedené obrázky vzorků jsou modely vytvořené v softwaru Autodesk Inventor Professional 2021 podle rozměrů skutečných vzorků

Ocelové Q-panely



Obrázek č. 26 – Model ocelového Q-panelu a jeho vlastnosti

Materiál: za studena válcovaná ocel ISO 3574 CR1

Tabulka č. 8: Chemické složení ocelových Q-panelů

Mn	C	P	S
0,60 % max.	0,15 % max.	0,030 % max.	0,035 % max

Plocha povrchu vzorků: 23 629, 6 mm²

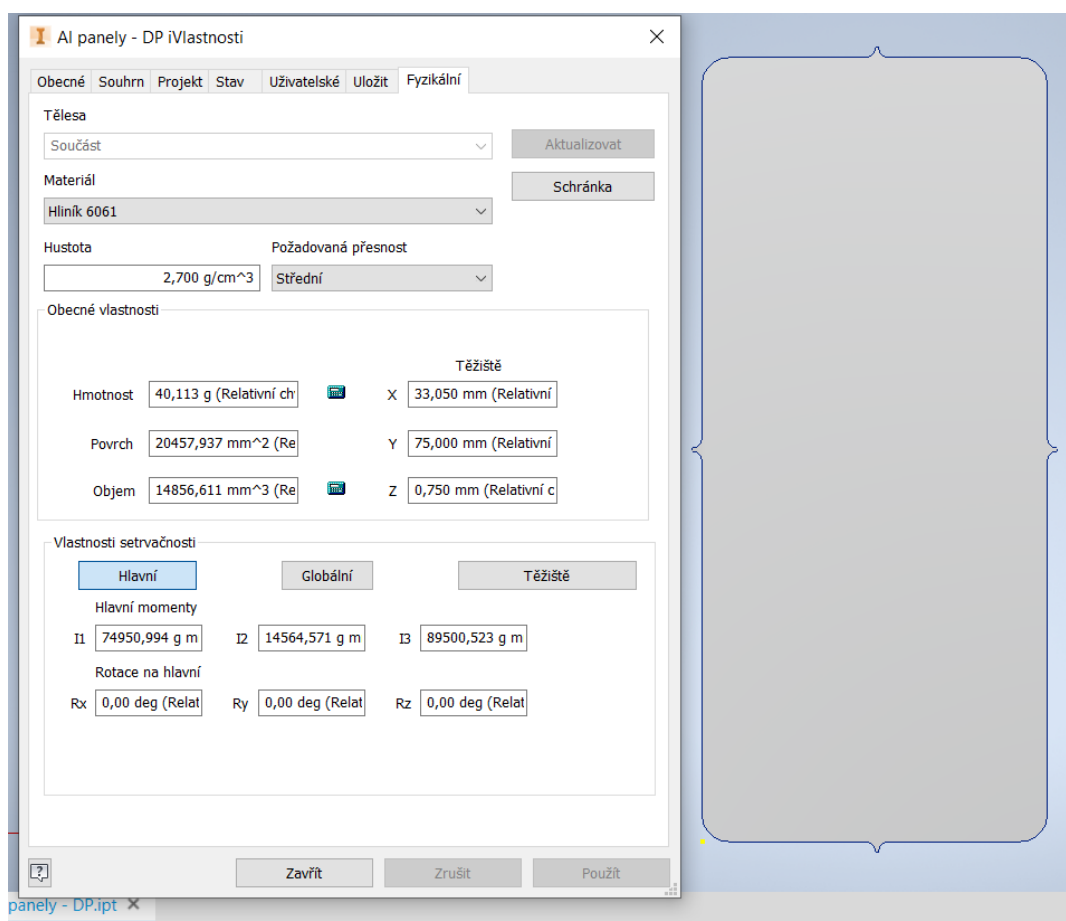
Teoretická hmotnost dle modelu: 73,9 g

Tabulka č. 9: Vlastnosti povrchu ocelových Q-panelů

Průměrná drsnost povrchu	Příčný směr	Podélný směr
Ra	0,962 μm	0,373 μm
Rq	1,195 μm	0,479 μm
Rz	6,533 μm	2,457 μm

Drsnost povrchu byla měřena pomocí hrotového drsnoměru Mitutoyo SJ-210. Měření probíhalo na třech místech každého vzorku do kříže v podélném a příčném směru. Z naměřených hodnot byl následně stanoven aritmetický průměr pro daný materiál.

Al panely



Obrázek č. 27 – Model hliníkových panelů a jeho vlastnosti

Materiál: Hliníková slitina EN AW-3105 (AlMn0,5Mg0,5)

Tabulka č. 10: Chemické složení Al panelů

Mn	Mg	Fe	Si	Zn	Cu	Cr
0,3-0,8 %	0,2-0,8 %	0,7 %	0,6 %	0,4 %	0,3 %	0,2 %

Plocha povrchu: 20 457,9 mm²

Teoretická hmotnost podle modelu: 40,1 g

Tabulka č. 11: Vlastnosti povrchu Al panelů

Průměrná drsnost povrchu	Příčný směr	Podélný směr
Ra	0,132 μm	0,335 μm
Rq	0,171 μm	0,411 μm
Rz	1,024 μm	1,989 μm

Al panely s oxidovanou plochou

Hliníkové panely s oxidovanou plochou disponovaly shodnými rozměry i strukturou povrchu jako hliníkové panely bez oxidace.

Příprava oxidované plochy na Al panelech

Vytvořením oxidu hlinitého Al₂O₃ za působení vyšších teplot – tzv. Bömitování, dojde k vytvoření konverzní vrstvy o tloušťce 0,5-1,5 μm. Ta může sloužit ke zvýšení odolnosti proti otěru či korozi, často je však vytvářena pro svou schopnost lepšího zachycení maziva zejména při procesech tváření. Předmětem experimentu

bylo proto zjistit, nakolik se změní vlastnosti povrchu po vytvoření této konverzní vrstvy.

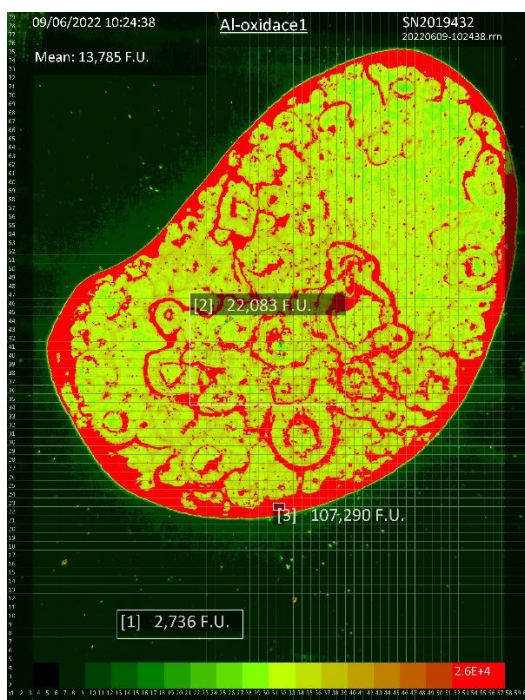


Obrázek č. 28 – Příprava oxidovaných ploch na hliníkových panelech 1

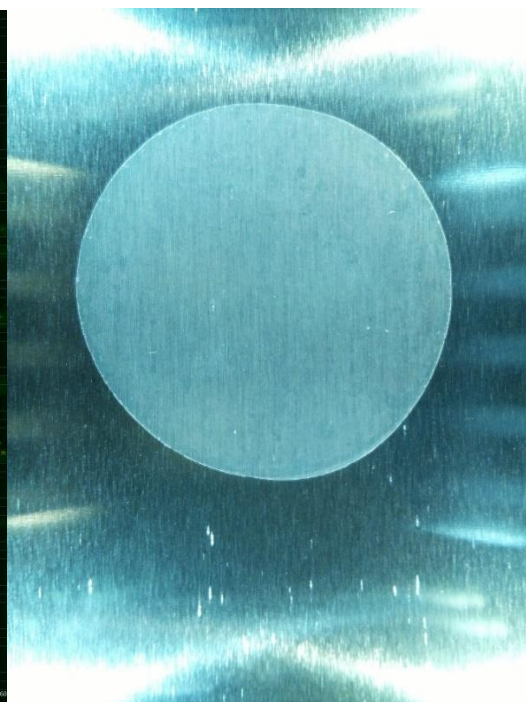
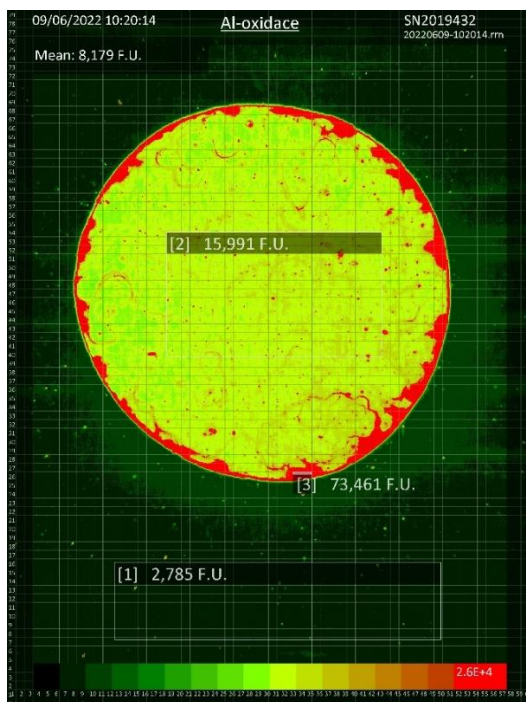
Na čisté Al plechy byly nanесeny kapky vody co možná největší velikosti, které byly poté odpařeny pomocí plotny 3D tiskárny Průša.



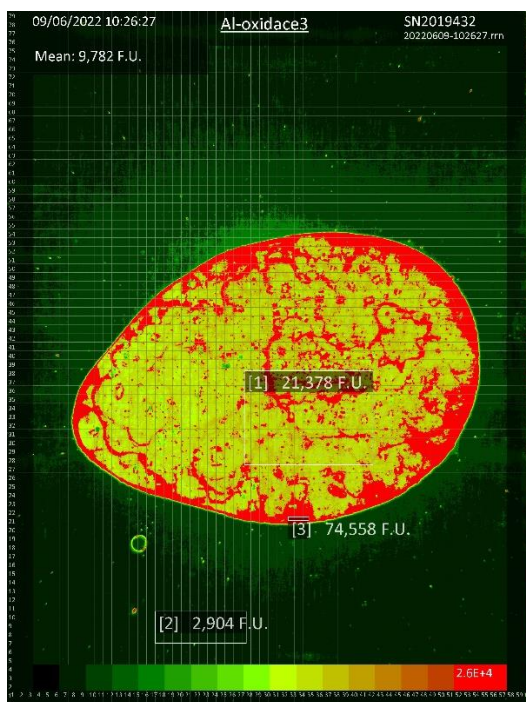
Obrázek č. 29: Příprava oxidovaných ploch na hliníkových panelech 2



Obrázky č. 30 a 31 – Oxidovaný povrch hliníku a jeho fluorescence – vzorek č. 1



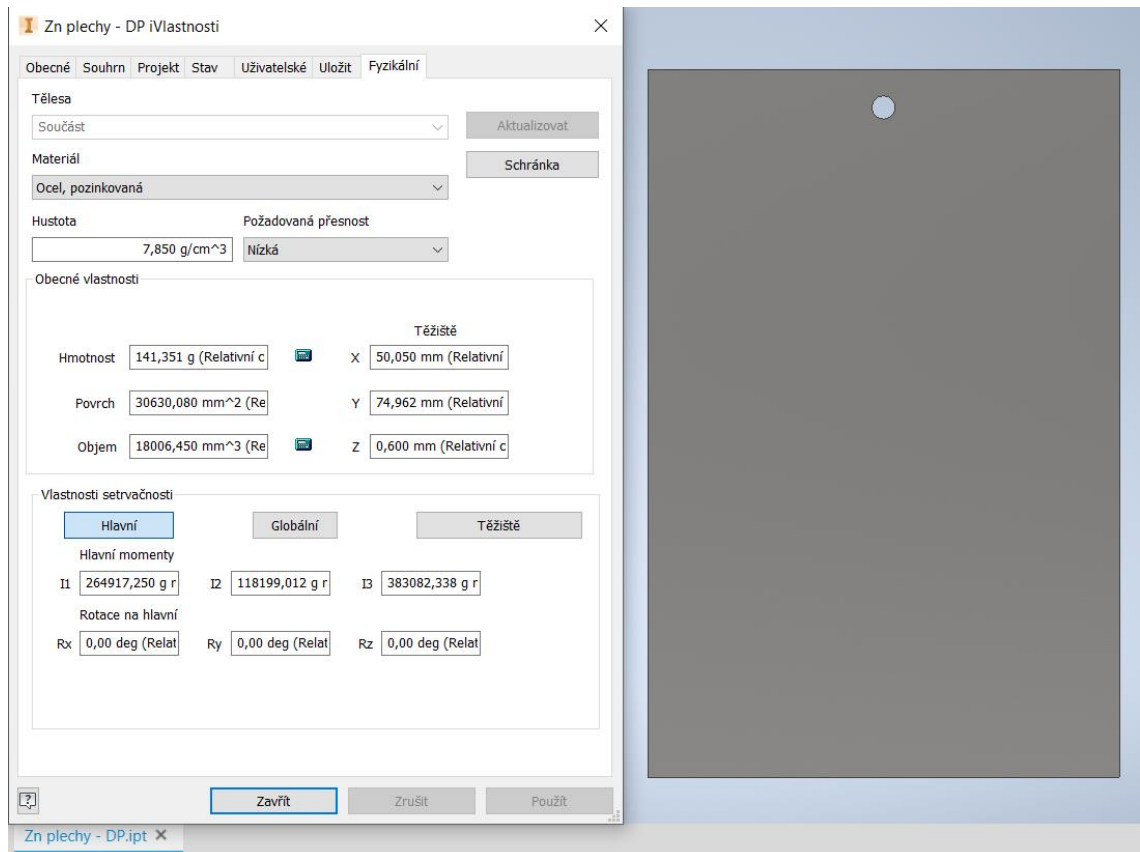
Obrázky č. 32 a 33 – Oxidovaný povrch hliníku a jeho fluorescence – vzorek č. 2



Obrázky č. 34 a 35 – Oxidovaný povrch hliníku a jeho fluorescence – vzorek č. 3

Vzorky byly následně změřeny pomocí fluorescenční metody. Oxidovaná plocha vykazovala výrazně zvýšené hodnoty fluorescence oproti čistému povrchu válcovaného hliníku.

Zn plechy



Obrázek č. 36 – Model žárově zinkovaného plechu a jeho vlastnosti

Materiál: DX57D+Z dle EN 10 346 – nízkouhlíková ocel pro tváření za studena, žárově zinkovaná

Tabulka č. 12: Chemické složení zinkovaných ocelových plechů

C	Si	Mn	P	S	Ti
0,12 % max.	0,5 % max.	0,6 % max.	0,1 % max.	0,045 % max.	0,3 % max.

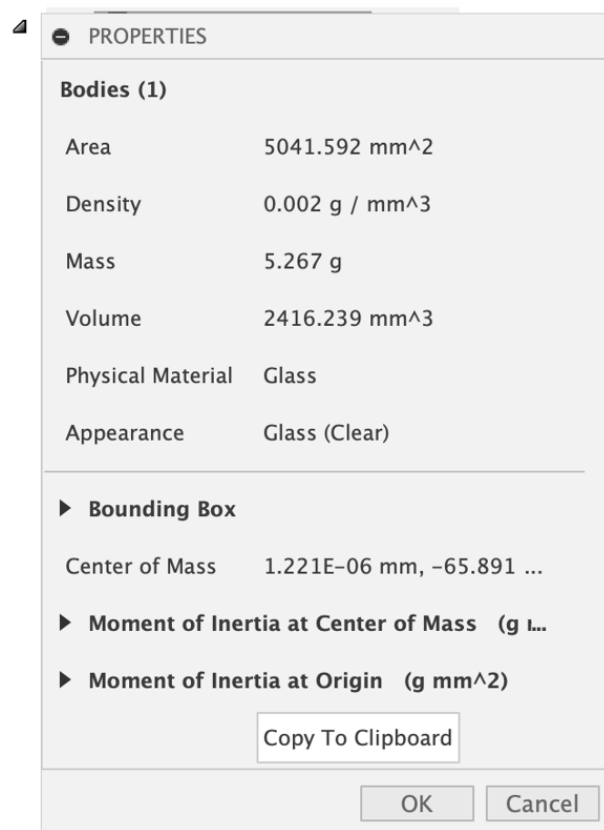
Teoretická hmotnost: 141,4 g

Plocha povrchu: 30 630,1 mm²

Tabulka č. 13: Vlastnosti povrchu Al panelů

Průměrná drsnost povrchu	Příčný směr	Podélný směr
Ra	0,950 μm	1,025 μm
Rq	1,213 μm	1,312 μm
Rz	5,056 μm	5,406 μm

Křemenné sklo



Obrázek č. 37 – Model křemenného skla a jeho vlastnosti

Hmotnost: 5,305 g

Plocha jedné strany: 2481,2 mm² (sklo bylo olejem natíráno pouze z jedné strany)

Průměrná drsnost povrchu (u skla směr nerozhoduje)

Tabulka č. 14: Vlastnosti povrchu křemenného skla

	Průměrná drsnost povrchu
Ra	0,015 μm
Rq	0,021 μm
Rz	0,116 μm

6.3 STANOVENÍ ZÁVISLOSTI HODNOTY FLUORESCENCE A POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ NA MNOŽSTVÍ MASTNOTY – TVORBA KALIBRAČNÍCH KŘIVEK

Tvorba kalibrační křivky je provedena srovnáním naneseného množství oleje na kalibrační vzorek definovaným způsobem a následně naměřené fluorescence. Olej, který zde představoval nečistotu, byl na vzorky nanášen vypouštěcí metodou, kdy byl ponořen do roztoku oleje Multidraw KTL N 20 a technického benzínu v koncentracích 2,5, 5, 10 a 15 %. Tím bylo dosaženo postupného zvyšování plošné koncentrace oleje na testovaných vzorcích. Na vzorky křemičitého skla byl olej nanášen v koncentraci 100 % a následně roztírán pomocí stěrky a hadru z důvodu nemožnosti zavěšení ve vypouštěcí nádobě, a tedy aplikaci vypouštěcí metody.

Výsledkem je kalibrační křivka pro daný typ oleje, kterou lze popsat matematickou rovnicí, díky které bude možné z hodnoty fluorescence určit tloušťku vrstvy dané mastnoty na povrchu vzorku.

6.3.1 Použité látky

Aby bylo možné využívat fluorescence jako metody k posouzení zamaštění/znečištění zkoumaných vzorků, je nutné, aby daný olej byl touto metodou zachytitelný. Dalším požadavkem byla dobrá rozpustnost v běžně

užívaném rozpouštědle – v našem případě technickém benzínu. Námi použitý tažný olej Multidraw KTL N 20 všechny požadavky splňoval.

Pro nanesení olejové vrstvy byl tedy použit roztok oleje Multidraw KTL N 20 a technického benzínu. Směs byla vždy připravena v den měření, aby bylo zamezeno odtékání tech. benzínu, a tím změně koncentrace. Další nezbytné látky byly: demineralizovaná voda pro přípravu odmašťovací a oplachové lázně a odmašťovací prostředek STAR 50 PN od firmy EVER STAR.

6.3.2 Postup a použité přístroje

Vážení – laboratorní váhy

Pro vážení vzorků před nanesením a po nanesení vrstvy oleje byly použity laboratorní váhy OHAUS Explorer Pro vážící s přesností 0,0001 g. Každý vzorek byl vážen 3x, a z naměřených hodnot byl vypočten aritmetický průměr, který byl zaznamenán.

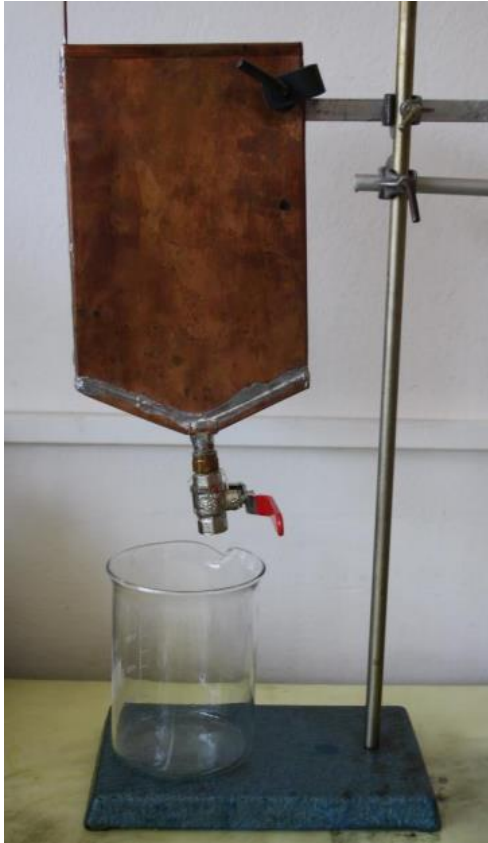
Nejprve byly váženy čisté a suché vzorky. Po nanesení vrstvy oleje a odtékání technického benzínu byly vzorky váženy znovu. Aby nedošlo při vážení k porušení či setření vrstvy oleje o miskou vah, nebo naopak její zašpinění, byl vyroben a instalován přípravek s tenkými hroty, na který byly dané vzorky po kalibraci vah umístěny.



Obrázek č. 38 – Laboratorní váhy OHAUS Explorer Pro EP 214 C [68]

Nanášení oleje – nádoby

Vrstva oleje byla nanášena ponorem do speciálně upravené měděné nádoby, která byla pomocí upínky zavěšena na stojanu. Směs namíchaná v požadované koncentraci pomocí dvou odměrných válců byla přelita do nádoby. Vzorky opatřené děrou byly po dobu 1 minuty zavěšeny pomocí drátu za okraj nádoby tak, aby se jejich plochy nedotýkaly stěn nádoby a byly celé ponořeny. Vzorky bez děr byly po požadovanou dobu drženy za okraj kleštěmi. Po uplynutí jedné minuty bylo zahájeno vypouštění nádoby. Vypouštění probíhalo otevřením vypouštěcího ventilu, kterým byla nádoba opatřena, do polohy cca 45°. Tím bylo dosaženo téměř stejné rychlosti vypouštění, a plynule klesající hladina zajistila vrstvu oleje a technického benzínu na vzorku bez nehomogenit způsobených stékáním.



Obrázek č. 39 – Plochá měděná nádoba s ventilem na stojanu – zařízení pro nanášení vrstvy oleje vypouštěcí metodou

Odtěkání

Po ukončení vypouštění byl vzorek opatrně vyjmut z nádoby tak, aby nedošlo k nežádoucímu kontaktu s nádobou, a tím k poškození nanesené vrstvy. Poté byl vzorek umístěn na přípravek s hroty, kde byl ponechán po dobu 5 minut na vzduchu. Během této doby došlo k odtěkání technického benzínu, a na vzorku zůstala pouze vrstva oleje.

Očištění a odmaštění

Všechny vzorky byly před nanesením první vrstvy oleje očištěny a odmaštěny, aby následné měření nebylo ovlivněno případnými ulpělými nečistotami. Před nanesením dalších vrstev bylo nutné přidat další předčištění od nečistot

způsobených měření povrchového napětí – tedy zejména inkoustu, ale také od map způsobených kapkami isopropylalkoholu, demí vody, a také od smítek prachu, který na zamaštěném povrchu v průběhu měření snadno ulpíval. Po odstranění těchto hrubých nečistot za pomoci utěrek, hadrů a technického benzínu, byly vzorky ponořeny do odmašťovací lázně v ultrazvukové vaně Kraintek K2. Lázeň sestávala z demivody a odmašťovacího prostředku STAR 50 PN od firmy EVER STAR o koncentraci 10 %. Proces probíhal za teploty 60 °C po dobu 5 minut. Poté vzorky prošly dvojitým oplachem – nejprve v nádobě s teplou vodou, pak v nádobě s demivodou pro druhý oplach. Poté byly vzorky vysoušeny. Po vysušení byl vzorek orientačně změřen zařízením Recognoil, zda hodnoty fluorescence/zamaštění odpovídají hodnotám čistého vzorku. Pokud hodnoty zamaštění byly u některého vzorku zvýšené, a nedošlo tedy k dostatečnému odmaštění, byl vzorek znovu vložen do odmašťovací ultrazvukové vany, a celý proces se opakoval. Pokud již lázeň nevykazovala požadované odmašťovací vlastnosti, byla nahrazena novou. Ihned po odmaštění byly vzorky opláchnuty – nejprve v běžné teplé vodě, a poté v demivodě. Tím byly zajištěny co možná nejvíce homogenní podmínky pro následné nanášení oleje na vzorky a další měření.



Obrázek č. 40 – Ultrazvuková vana Kraintek K2

Vysoušení

Bezprostředně po oplachu byly vzorky vysoušeny fénem o příkonu 2200 W, aby bylo zabráněno vzniku koroze působením vody a vzduchu.

Měření

Vzorek byl položen na pracovní stůl a na lícové straně měřen zařízeními Recognoil, Recognoil 2W a Recognoil 3W. Měření probíhalo vždy na třech místech vzorku, a při změně zařízení bylo měření opět prováděno na stejných místech, nebo s co možná největším překryvem s původně měřenou oblastí. Je třeba zmínit, že každá ze tří generací zařízení Recognoil disponuje rozdílnými rozměry i snímanou oblastí, proto nebylo možné zajistit snímání oblasti vždy zcela totožné, což do naměřených výsledků mohlo vnést určitou odchylku. Tato odchylka by však neměla být nikterak zásadní.

Kalibrační vzorky a výpočet tloušťky naneseného oleje

Tvorba kalibračních křivek probíhala na pěti druzích vzorků po třech kusech, kde každý druh měl svůj charakteristický tvar, rozměry a materiál, případně povrchovou úpravu.

- Ocelové Q-panely – do hladka broušené plechy z válcované oceli o rozměrech 76,6x152,6x0,81 mm. Místo ostrých hran byly vybaveny rádiusy o poloměru 6 mm a otvorem pro zavěšení vzorku a snadnější manipulaci.
- Hliníkové panely 66,1x150x1,5 mm – hladké a čisté
- Hliníkové panely 66,1x150x1,5 mm – s oxidovanou plochou vytvořenou odpařením vody na plotně.
- Pozinkované plechy 100,1x150,1x1,2 mm vybavené otvorem pro zavěšení a manipulaci, obdélníkový tvar s ostrými hranami.
- Křemičité sklo

Výpočet

- 1) Stanovení aritmetického průměru hmotnosti čistého vzorku

$$m_{i\check{c}} = (m_{i\check{c}1} + m_{i\check{c}2} + m_{i\check{c}3}) / 3 \quad (1)$$

kde $m_{i\check{c}}$ je hmotnost i-tého vzorku

- 2) Stanovení aritmetického průměru hmotnosti zamaštěného vzorku

$$m_{iz} = (m_{iz1} + m_{iz2} + m_{iz3}) / 3 \quad (2)$$

kde m_{iz} je hmotnost i-tého vzorku

- 3) Výpočet hmotnosti oleje ulpělého na i-tém vzorku

$$m_{i_oleje} = m_{iz} - m_{i\check{c}} \quad (3)$$

- 4) Výpočet tloušťky vrstvy oleje na i-tém vzorku

$$V_i = m_{i_oleje} / \rho_{oleje} \quad [m^3] = [kg] / [kg \cdot m^{-3}] \quad (4)$$

kde

V_i je objem ulpělého oleje na i-tém vzorku

ρ_{oleje} je hustota oleje při 15 °C podle normy DIN EN ISO 12185 podle listu výrobce.

$$t_i = V_i / S_j \quad [m] = [m^3] / [m^2] \quad (5)$$

kde t_i je tloušťka vrstvy ulpělého oleje na i-tém vzorku

S_j je plocha daného druhu vzorků získaná z modelu vzorku, a kde $j = 1,2,3,4$

$S_1 = 23\,629,6 \text{ mm}^2$ plocha ocelových Q-panelů

$S_2 = 20\,457,9 \text{ mm}^2$ plocha hliníkových panelů

$S_3 = 30\,630,1 \text{ mm}^2$ plocha zinkovaných plechů

$S_4 = 2416,2 \text{ mm}^2$ plocha křemenného skla

t – tloušťka vrstvy oleje

S – plocha vzorku

V – objem ulpělého oleje na vzorku

m – hmotnost ulpělého oleje na vzorku

ρ – hustota použitého oleje

$m_{i\check{c}}$ – hmotnost čistého vzorku

m_{iz} – hmotnost zamaštěného vzorku

Příklad

$$m_{i\check{c}} = 72,887 \text{ g}$$

$$m_{iz} = 72,889 \text{ g}$$

$$m_{i_oleje} = m_{iz} - m_{i\check{c}}$$

$$m_{i_oleje} = 72,889 - 72,887$$

$$m_{i_oleje} = 0,002 \text{ g} = 2 \times 10^{-6} \text{ kg}$$

$$\rho = 920 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$S = 23\,629,6 \text{ mm}^2$$

$$V = \frac{m}{\rho} \quad V = \frac{2 \cdot 10^{-6}}{920} = 2,174 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3 \quad V = 2,174 \text{ mm}^3$$

$$t = \frac{V}{S} \quad t = \frac{2,174}{23\,629,6} = 9,2 \cdot 10^{-5} \text{ mm} \quad t = 0,092 \text{ } \mu\text{m}$$

6.3.3 Měření povrchového napětí inkousty Acrotest



Obrázek č. 41 – Sada inkoustů acrotest s rozsahem 32-44 mN.m⁻¹ [69]

V rámci této práce byla použita velice podobná sada inkoustů s jmenovitými hodnotami povrchového napětí 28, 30, 36, 38, 40, 42 a 44 mN.m⁻¹. Vzhledem k tomu, že v sadě nebyly inkousty s definovaným povrchovým napětím 32 a 34 mN.m⁻¹, došlo k negativnímu ovlivnění přesnosti hodnocení u vzorků, jejichž povrchové napětí se nacházelo v rozmezí 30-36 mN.m⁻¹.

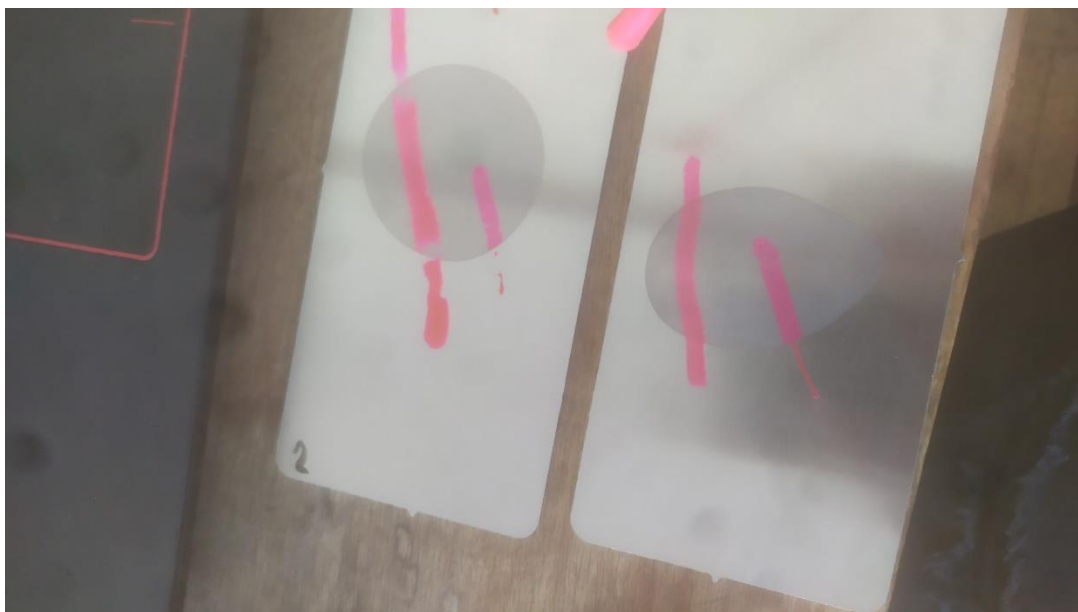
Měření vždy začalo nanesením inkoustu o povrchovém napětí 38 mN.m⁻¹, což je hodnota považovaná za mezní, co se týče uspokojivé přilnavosti. Povrchy s povrchovým napětím nižším než 38 mN.m⁻¹ nevykazují dostatečnou přilnavost respektive nejsou dostatečně očištěny.



Obrázek č. 42 – Postupné nanášení inkoustů o různém povrchovém napětí

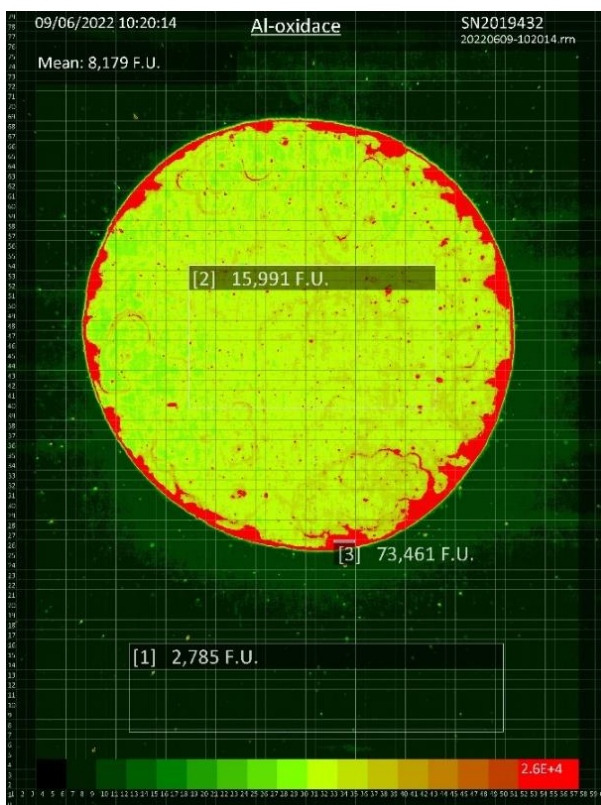


Obrázek č. 43 – Čisté ocelové Q-panely – inkoust s povrchovým napětím 36 – celistvý, inkoust s povrchovým napětím 40 – roztrhaný nebo alespoň shluklý do užší stopy

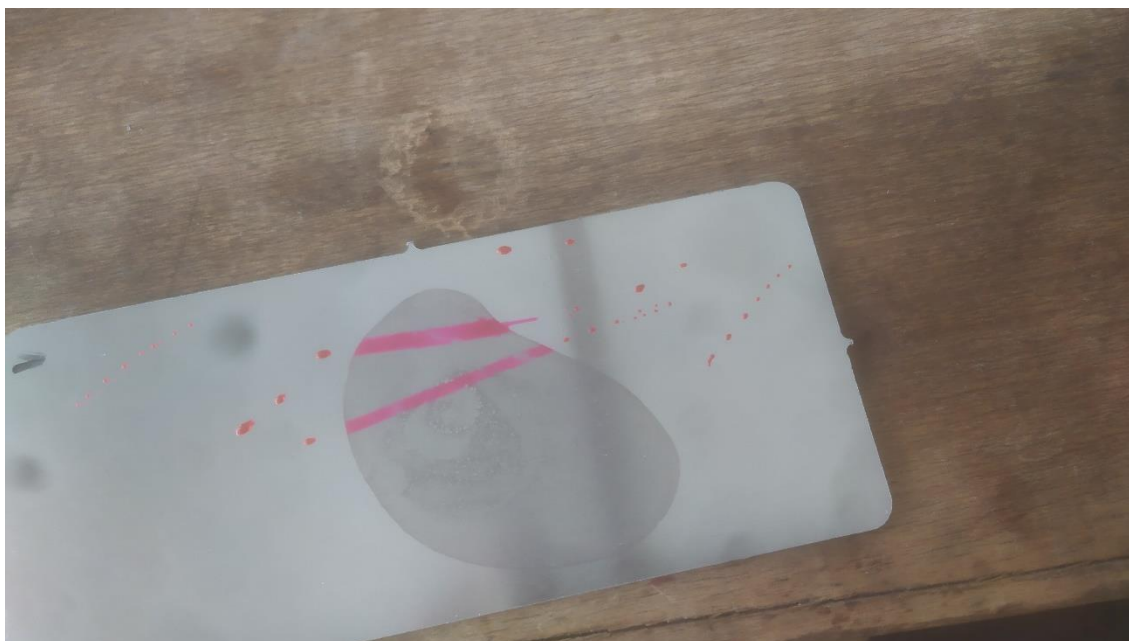


Obrázek č. 44 – Ukázka trhání zkušební filmů na okrajích oxidované plochy neodmaštěného Al panelu

Trhání inkoustového filmu na okrajích oxidované plochy neodmaštěných hliníkových panelů koresponduje s výrazně vyšší naměřenou hodnotou fluorescence v těchto místech. Viz. obrázek níže.



Obrázek č. 45 – Vyšší hodnoty fluorescence na okrajích oxidované plochy



Obrázek č. 46 – Ukázka vyššího povrchového napětí na zoxidované ploše neodmaštěných Al panelů oproti ploše bez oxidace, jež pravděpodobně nese zbytky konzervačního oleje – inkoust o stejné hodnotě povrchového napětí se mimo oxidovanou plochu trhá, neboť povrchové napětí neoxidované plochy je významně nižší.

Zde se hodnoty povrchového napětí lišily až o $10 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$, protože hliníkové panely nesly zbytky ochranného olejového filmu, zatímco v průběhu tvorby oxidované plochy došlo na dané ploše i k odstranění mastnoty. Hodnoty povrchového napětí se před odmaštěním pohybovaly na neoxidované ploše v rozmezí 28 až $30 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$, zatímco na oxidované 38 až $40 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$. Po důkladném odmaštění vykazovaly oxidované i neoxidované plochy shodně hodnotu $44 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$, což neznamená, že povrchové napětí oxidovaných a neoxidovaných ploch bylo stejné, nicméně nebyl k dispozici inkoust o vyšším povrchovém napětí.

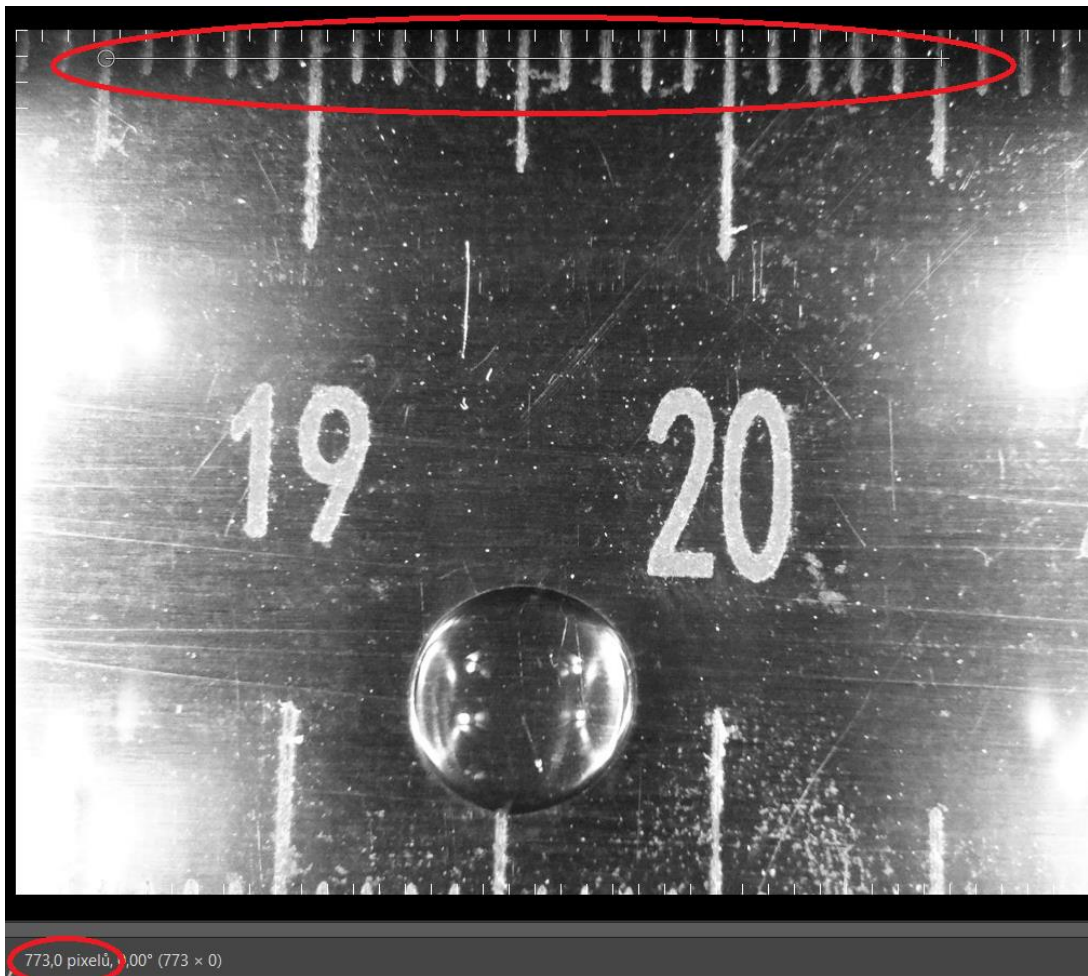
6.3.4 Porovnání povrchového napětí pomocí průměru kapky

Další použitou metodou hodnotící smáčivost povrchu bylo měření průměru kapek.

Pro tento účel byly testovány tři kapaliny – demineralizovaná voda, izopropylalkohol a glycerin. Glycerin se ukázal jako nevhodný kvůli své vysoké viskozitě a s ní související nemožnosti přesného nanášení požadovaného množství.

Dále používané kapaliny – demi voda a isopropylalkohol byly nanášeny pomocí mikropipety s nastavitelným množstvím. Bylo zvoleno množství shodné pro obě používané kapaliny – 3,5 μ l.

Snímání kapek bylo prováděno bezprostředně po jejich nanesení – v řádu několika vteřin. U demi vody kapka svůj tvar i rozměry zachovávala, u kapek isopropylalkoholu docházelo k silnému roztékání, a po dosažení maximálního rozměru docházelo kvůli těkavé povaze látky ke zmenšování kapky. Na zamaštěných površích tato skutečnost nijak neovlivnila výsledky měření, neboť i po částečném odtékání zůstávaly viditelné kontury o největším dosaženém rozměru kapky. Při měření čistých povrchů bylo třeba provést záznam měření ve chvíli, kdy kapka dosáhla svého maximálního rozměru pro minimalizaci odchylky měření.

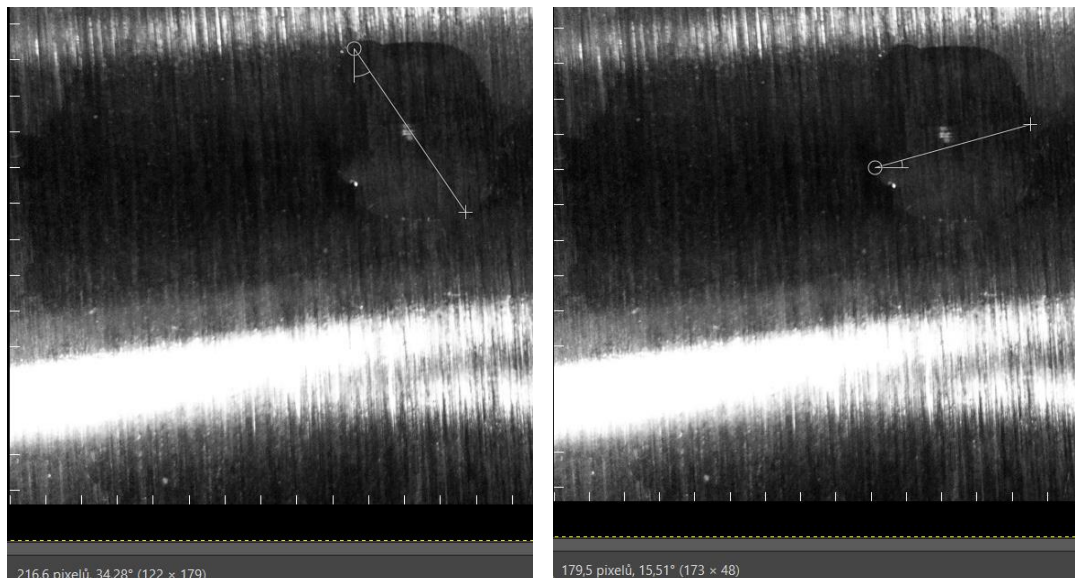


Obrázek č. 47 – Přepočet měřítka pro měření rozměrů kapek z fotografií – SW Gimp

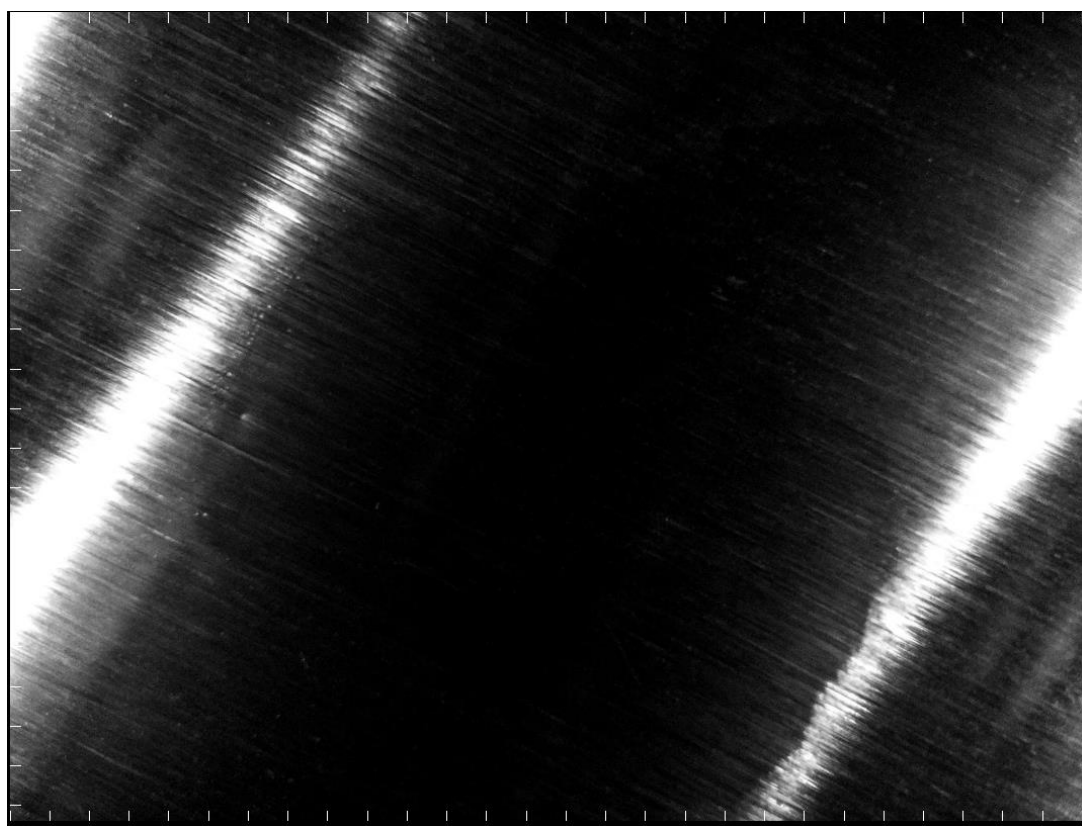
Pro převedení rozměrů na požadovanou jednotku délky [mm] a přesné měření průměrů kapek byly fotografie zpracovávány v softwaru Gimp. V tomto softwaru lze přesně měřit vzdálenosti pomocí počtu pixelů.

Fotografie kapek zaznamenané zařízením Recognoil jsou vybaveny měřítkem, kde by vzdálenost mezi ryskami měla představovat délku 1 mm, nicméně bylo provedeno srovnání s posuvným měřidlem, ze kterého vyplynulo, že měřítko není vždy zcela přesné. Proto bylo opakovaně provedeno měření, ze kterého vyplývá, že vzdálenost 1 mm odpovídá 38,65 pixelům. Pomocí tohoto převodu tak bylo možné s velkou přesností stanovit průměry jednotlivých kapek.

Jelikož se kapky nenacházejí na zcela homogenním podkladu, není jejich průměr ve všech směrech stejný. Proto byla každá kapka měřena alespoň třemi průměry v různém směru, z nichž byl následně určen arytmetický průměr.

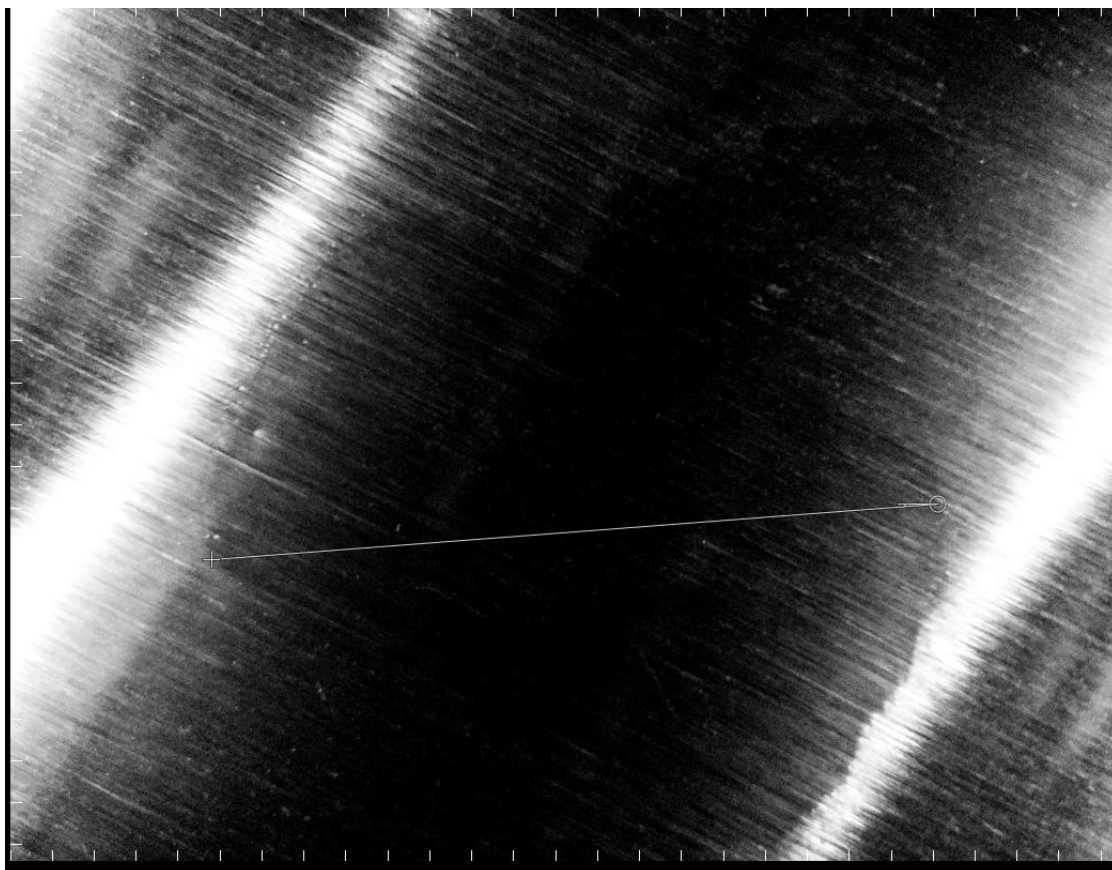


Obrázky č. 48 a 49 – Stanovení průměru kapky pomocí softwaru Gimp



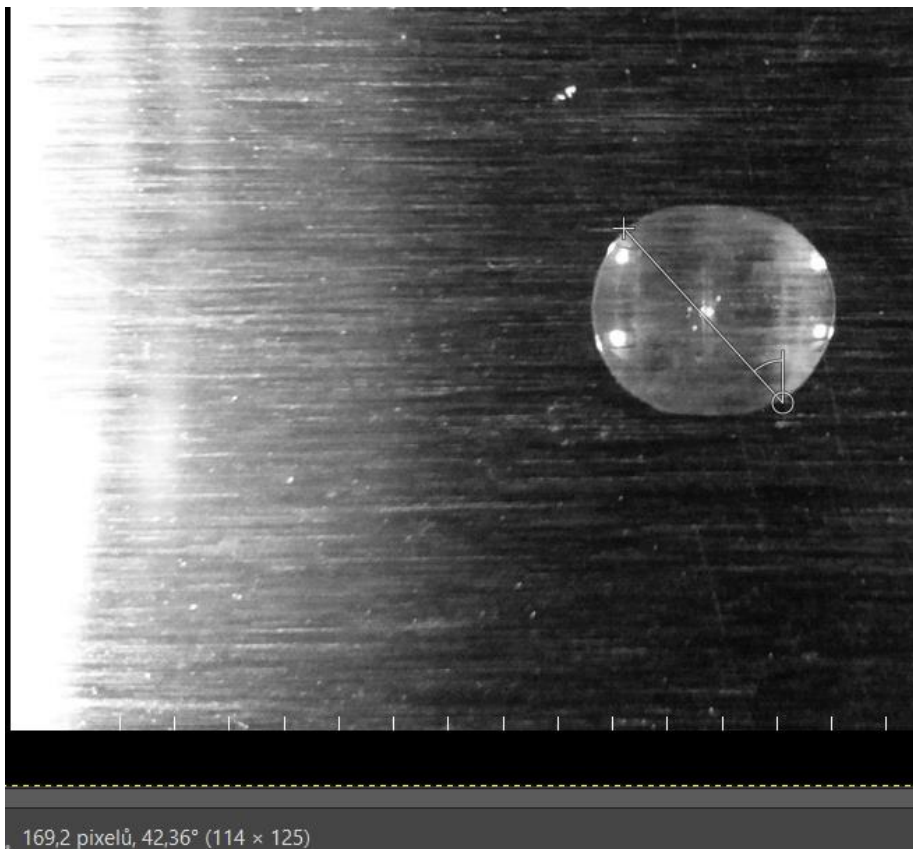
Obrázek č. 50 – Snížená viditelnost rozpíjejícího se isopropylalkoholu na povrchu válcované oceli.

Zejména u testování ocelových vzorků isopropylalkoholem docházelo ke snížené rozpoznatelnosti hranice kapky. Pomocí SW Gimp a možností úpravy jasu však bylo možné dosáhnout přijatelné rozlišitelnosti a kapku změřit.

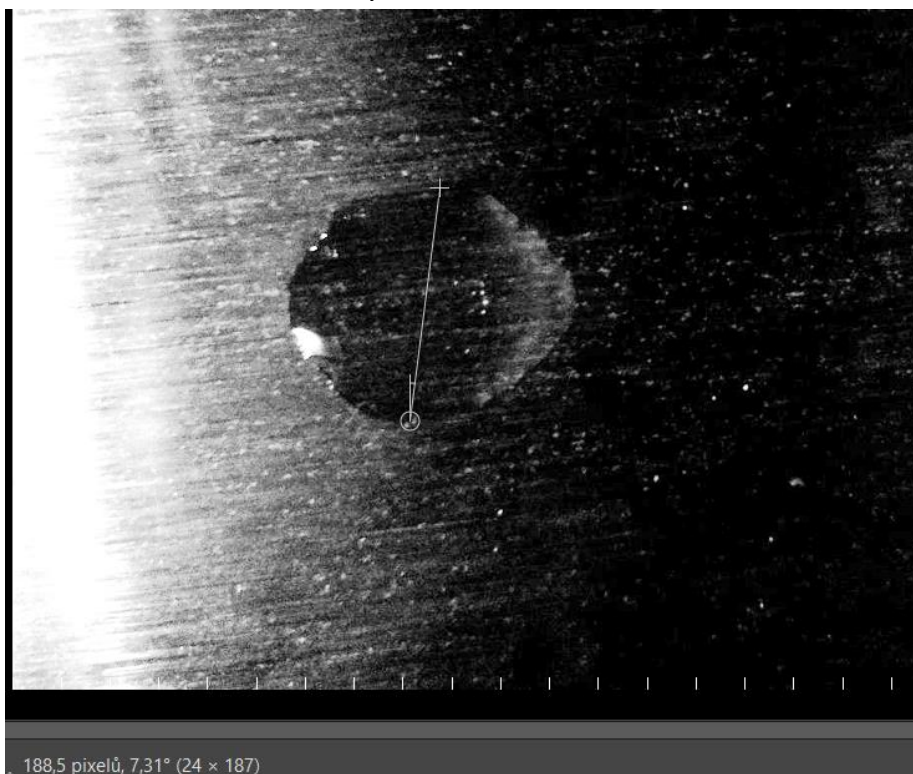


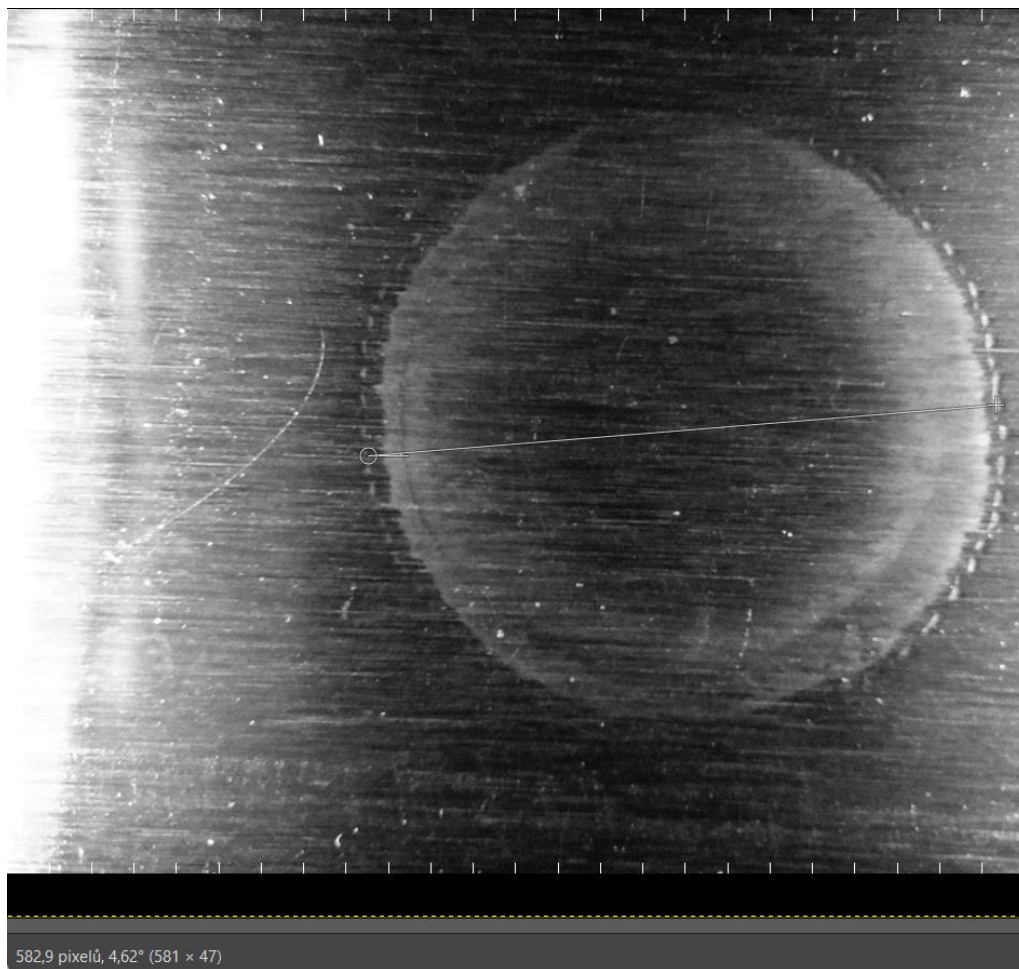
Obrázek č. 51 – Úprava kontrastu obrázku 50 a změření průměru kapky v sw Gimp

Ocelové Q-panely



Obrázky 52 a 53 – Nahoře: Kapka demineralizované vody na mírně zamaštěném ocelovém povrchu, plošná koncentrace oleje $0,212 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, Dole: Kapka demineralizované vody na čistém ocelovém povrchu





Obrázek č. 54 – Ocel, plošná koncentrace oleje $0,212 \text{ g.m}^{-2}$, použitá kapalina – isopropylalkohol

Tabulka č. 15: Průměry kapek na ocelových Q-panelech v závislosti na hodnotě zmaštění a povrchového napětí

Plošná koncentrace oleje [g.m ⁻²]	Průměr kapky [mm] demi voda	Průměr kapky [mm] isopropylalkohol	Povrchové napětí podle inkoustů [mN.m ⁻¹]	Fluorescence Recognoil 3W [F.U.]
0	5,01	12,45	38	1 617
0	4,11	9,33	40	2 180
0	5,18	17,34	38	2 623
0,211	4,04	14,90	30	275 333
0,212	4,36	13,64	30	273 000
0,296	3,65	13,27	30	291 667

Zinkované plechy

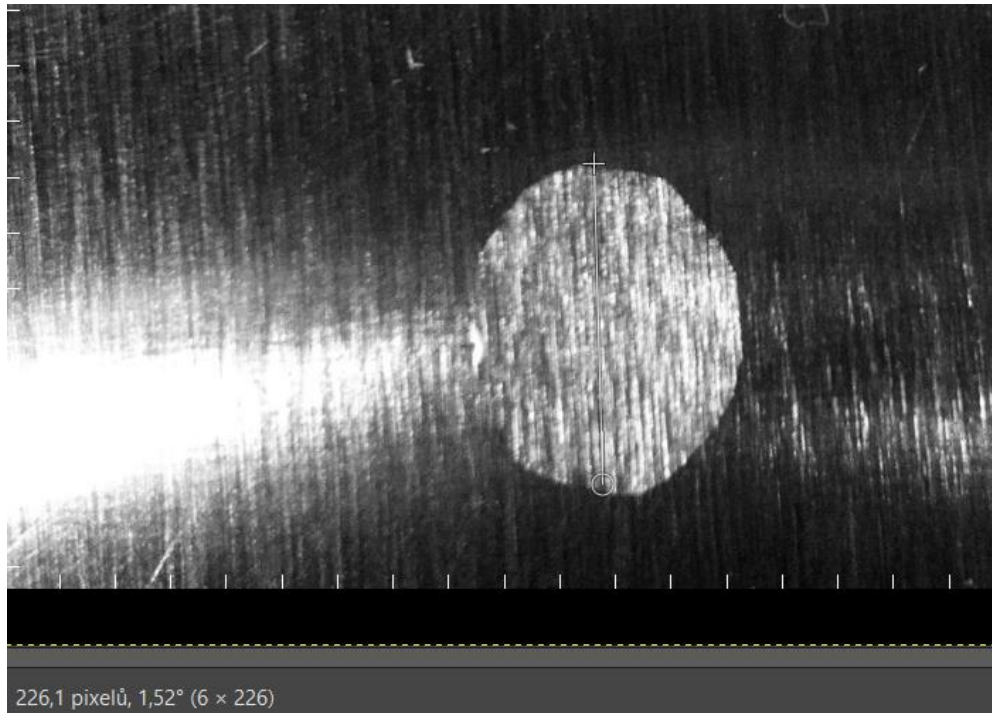


Obrázky č. 55 a 56 – Nalevo odmaštěný zinkovaný povrch, napravo povrch s plošnou koncentrací 0,555 g.m⁻²

Tabulka č. 16: Průměry kapek na pozinkovaných pleších v závislosti na hodnotě zmaštění a povrchovém napětí

Plošná koncentrace oleje [g.m ⁻²]	Průměr kapky [mm] demi voda	Průměr kapky [mm] isopropylalkohol	Povrchové napětí podle inkoustů [mN.m ⁻¹]	Fluorescence Recognoil 3W [F.U.]
0	4,48	11,48	38	4 283
0	3,85	11,37	40	9 167
0	4,03	10,46	40	11 200
0,196	3,82	13,81	30	467 667
0,522	3,99	15,47	30	606 333
0,555	3,73	13,81	30	828 000

Hliníkové panely bez oxidace



Obrázek č. 57 – Kapka demineralizované vody na čistém hliníkovém povrchu



Obrázek č. 58 – Kapka demineralizované vody na Al povrchu s plošnou koncentrací oleje $0,587 \text{ [g.m}^{-2}\text{]}$



Obrázek č. 59 – Kapka isopropylalkoholu na Al povrchu s plošnou koncentrací oleje 0,587 [g.m⁻²]

Tabulka č. 17: Průměry kapek na hliníkovém povrchu bez oxidace v závislosti na hodnotě zamaštění a povrchovém napětí

Plošná koncentrace oleje [g.m ⁻²]	Průměr kapky [mm] demi voda	Průměr kapky [mm] isopropylalkohol	Povrchové napětí podle inkoustů [mN.m ⁻¹]	Fluorescence Recognoil 3W [F.U.]
0	5,46	12,72	40	2 013
0	5,34	12,10	40	1 950
0	4,87	13,57	40	2 103
0,782	4,38	15,69	36	1 166 667
0,587	4,41	14,92	36	849 667
0,440	4,39	13,92	36	695 667

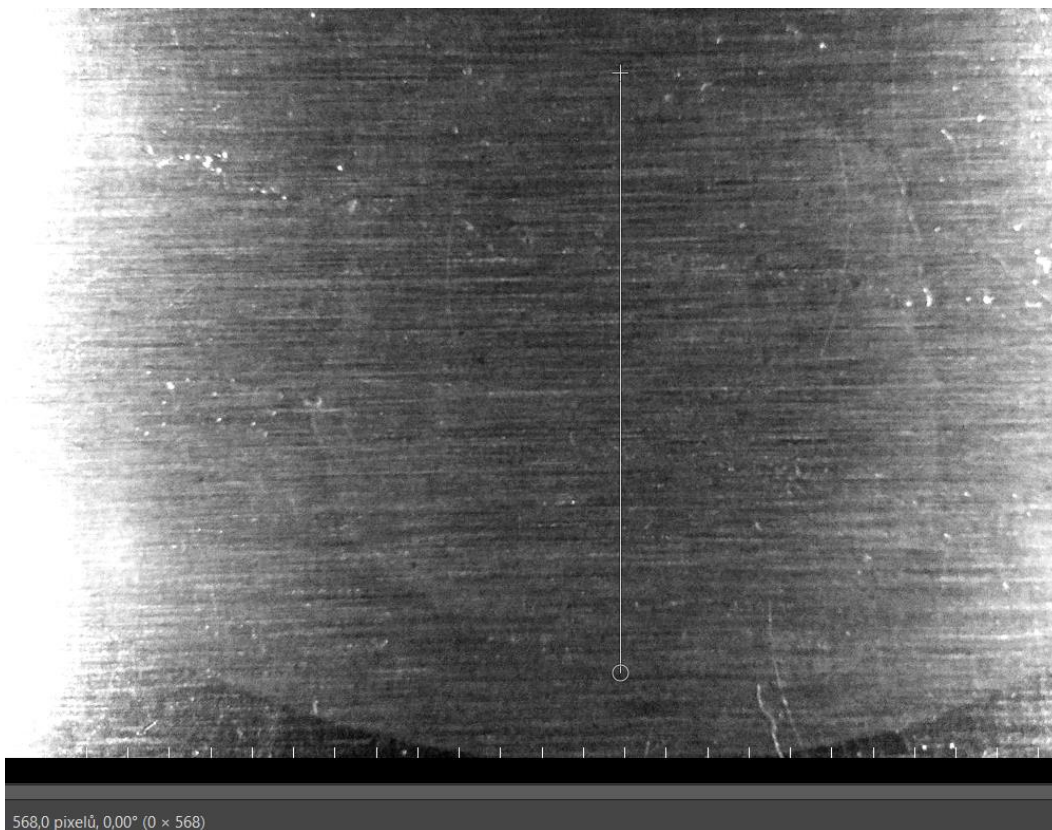
Hliníkové panely oxidované



Obrázek č. 60 – Kapka demineralizované vody na oxidovaném hliníkovém povrchu



Obrázek č. 61 – Kapka demineralizované vody na oxidovaném hliníkovém povrchu s plošnou koncentrací oleje 0,587 [g.m⁻²]



Obrázek č. 62 – Kapka isopropylalkoholu na oxidovaném hliníkovém povrchu s plošnou koncentrací oleje $0,587 \text{ [g.m}^{-2}\text{]}$

Tabulka č. 18: Průměry kapek na zoxidovaném hliníkovém povrchu v závislosti na hodnotě zamaštění a povrchovém napětí

Plošná koncentrace oleje $[\text{g.m}^{-2}]$	Průměr kapky [mm] voda	Průměr kapky [mm] isopropylalkohol	Povrchové napětí podle inkoustů $[\text{mN.m}^{-1}]$	Fluorescence Recognoil 3W [F.U.]
0	5,43	12,45	44	22 083
0	4,96	14,02	44	15 991
0	4,49	13,55	44	21 378
0,440	4,50	15,32	36	891 000
0,440	5,10	14,67	36	863 000
0,342	4,52	12,09	36	903 000

6.3.5 Zhodnocení výsledků měření povrchového napětí

Inkoustovou metodou bylo prokázáno, že se zvyšující se hodnotou zamaštění klesá povrchové napětí. Pokles byl však nejvíce patrný při srovnání čistého povrchu a povrchu mírně zamaštěného – s plošnou koncentrací v řádu desetin $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$. U ocelových Q-panelů došlo ke skokovému poklesu povrchového napětí okolo hodnot plošné koncentrace $0,2 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, a dále se již hodnota naměřeného povrchového napětí pomocí inkoustů neměnila.

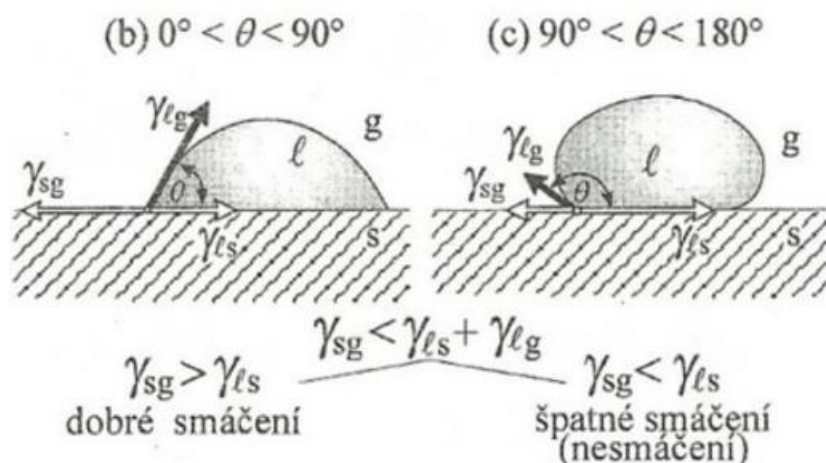
U neoxidovaných hliníkových panelů byla situace obdobná, první pokles byl opět zaznamenán u plošné koncentrace okolo $0,2 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, kdy byl naměřen pokles ze 40 na $36 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$, a poté další – ze 36 na $30 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$ při plošné koncentraci oleje přesahující $1 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$.

U oxidované hliníkové plochy došlo k prudké změně také při plošné koncentraci okolo $0,2 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, kdy povrchové napětí kleslo ze 44 na $36 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$, a poté s přibývajícím množstvím oleje už zůstávalo stejné.

Zinkované plechy měly podobný průběh jako ocelové Q-panely – při plošné koncentraci oleje pohybující se okolo $0,2 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ došlo k prudkému poklesu povrchového napětí, a to ze 40 na $30 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$, a dále se již s přibývajícím množstvím oleje neměnilo.

Pokud budeme vycházet z výše uvedené skutečnosti, že povrchové napětí klesá s rostoucím stupněm zamaštění (ač nelineárně), a spolu s ním klesá i smáčivost povrchu, mělo by docházet ke změně rozměrů případně tvaru kapek.

Bohužel je třeba konstatovat, že pouze měření průměru kapky z pohledu shora nemusí být dostatečně vypovídající. Kapalina totiž na různě smáčivém povrchu mění tvar podle níže uvedeného obrázku č. 63.



Obrázek č. 63 – Rozdíl tvaru kapek na rozdílně smáčivém povrchu

Úkaz vyobrazený na obrázku 63 lze dobře pozorovat na srovnání průměru a tvaru kapek na obrázcích 55 a 56 na straně 91. Průměry kapek se od sebe zásadně neliší navzdory tomu, že rozdíl povrchového napětí zde činí $10 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$.

V průběhu celého měření tedy bylo pozorováno, že kapky na velmi mírně zamaštěném povrchu, tj. řádově do $0,2$ až $0,3 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, zmenšují svůj průměr oproti kapkám na čistém povrchu. Poté dochází ke zplošťování kapky, následkem čehož lze naměřit i větší průměr kapky, než jaký byl naměřen na čistém povrchu.

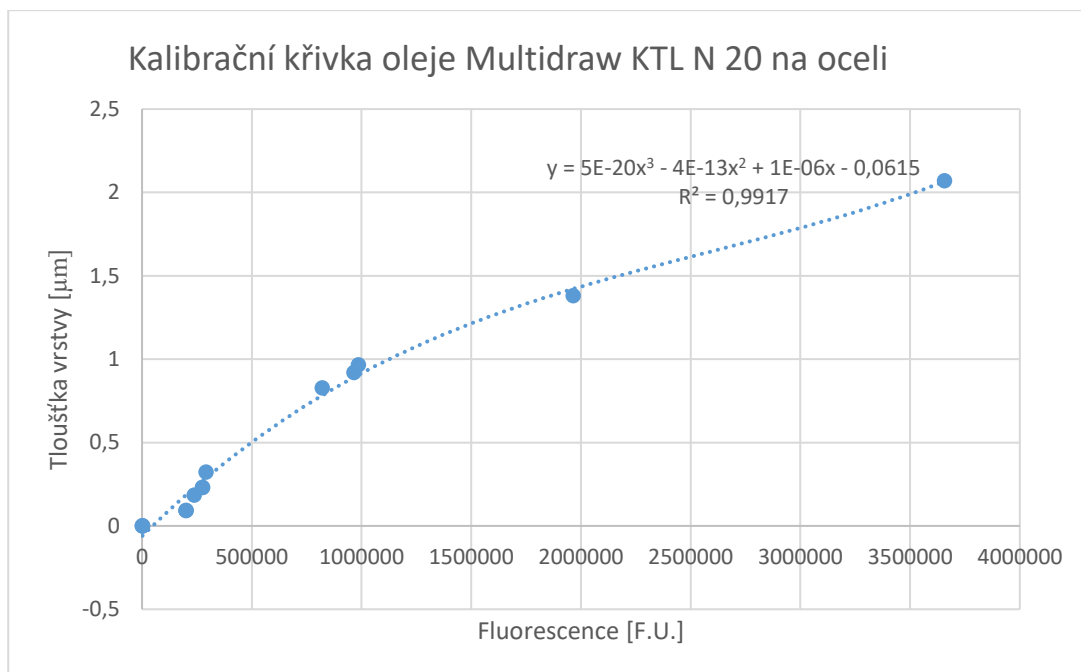
6.3.6 Kalibrační křivky- Závislost naměřené fluorescence na množství mastnoty + porovnání s hodnotami povrchového napětí

Měření probíhalo pomocí zařízení Recognoil 3W s cílem stanovit a popsat průběh závislosti hodnoty fluorescence na množství oleje – plošné koncentraci, a porovnat se změnou povrchového napětí.

Je třeba zmínit, že i důkladně očištěné a odmaštěné povrchy různých kovových materiálů vykazují různě vysokou nenulovou fluorescenci. To může být způsobeno rozdílnou drsností a texturou povrchu, stopovou přítomností nečistot, či fluorescencí povrchů samotného přístroje v okolí detektoru. Zejména pro odlišnost povrchů je proto třeba kalibrační křivku oleje pro každý materiál zvlášť.

Tabulka č. 19: Ocelové Q-panely

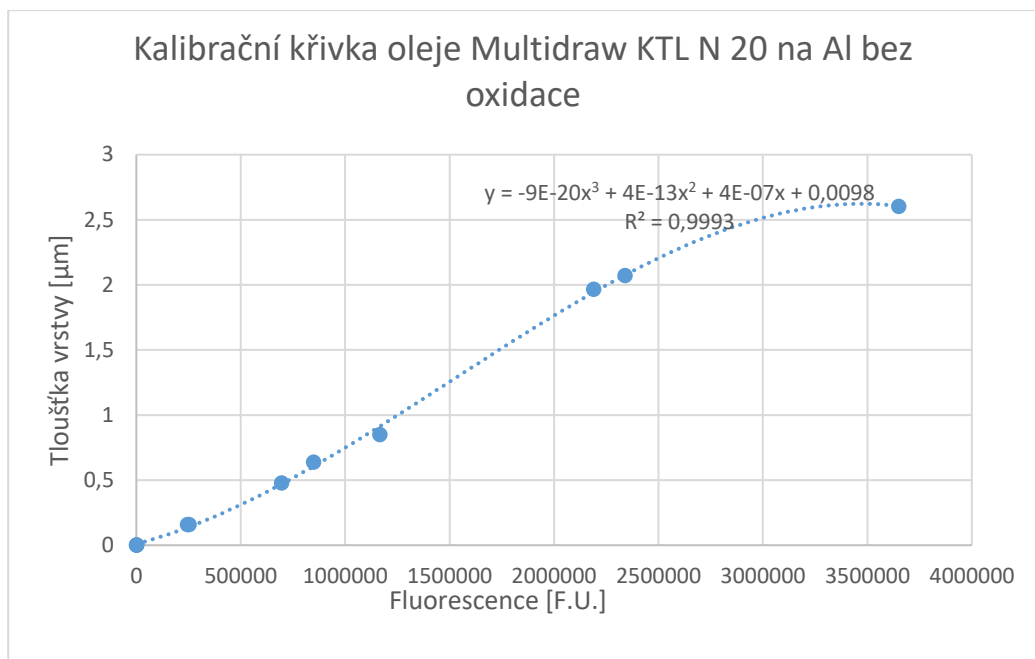
Vzorek číslo	Hmotnost naneseného oleje [g]	Tloušťka naneseného oleje [μm]	Plošná koncentrace [$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$]	Fluorescence [F.U.]	Povrchové napětí – fixy [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]
1	0,000	0,000	0,00	1 617	40
2	0,000	0,000	0,00	2 180	38
3	0,000	0,000	0,00	2 623	38
4	0,002	0,092	0,08	201 333	36
5	0,004	0,184	0,17	238 667	36
6	0,005	0,230	0,21	275 333	30
7	0,007	0,322	0,30	291 667	30
8	0,020	0,92	0,85	965 333	30
9	0,021	0,966	0,89	985 667	30
10	0,018	0,828	0,76	822 000	30
11	0,030	1,380	1,27	1 965 667	30
12	0,045	2,07	1,90	3 656 667	30



Graf č.1: Závislost hodnot fluorescence na tloušťce olejové vrstvy – kalibrační křivka olejového filmu na ocelovém podkladu

Tabulka č. 20: Al panely neoxidované

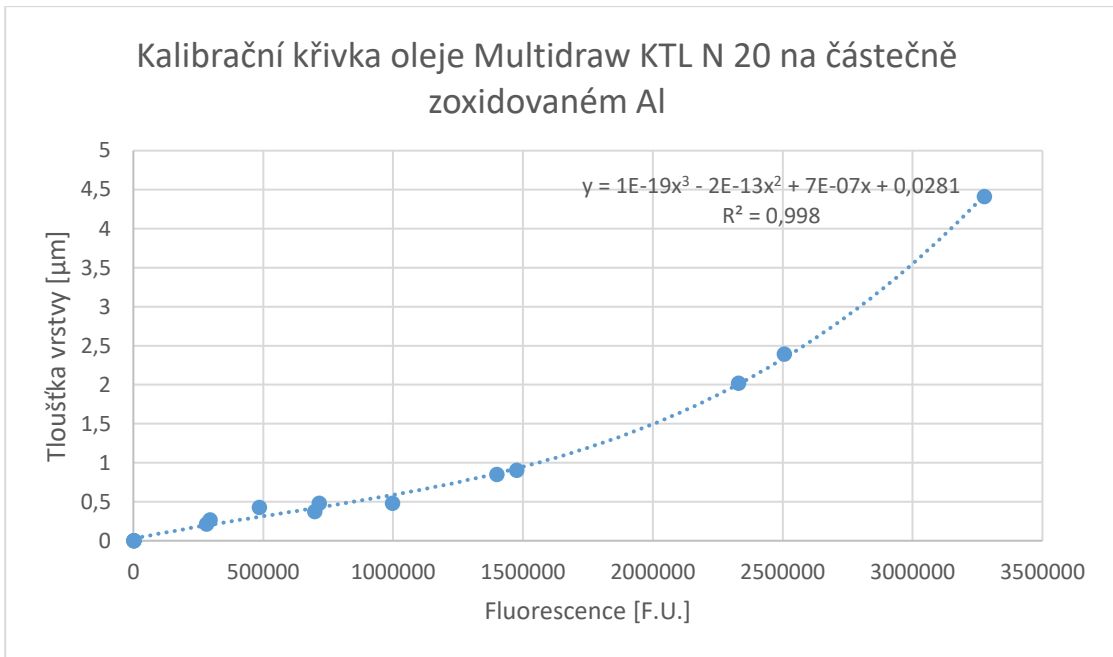
Vzorek číslo	Hmotnost naneseného oleje [g]	Tloušťka naneseného oleje [μm]	Plošná koncentrace [$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$]	Fluorescence [F.U.]	Povrchové napětí – fixy [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]
1	0,000	0,000	0,00	1 950	40
2	0,000	0,000	0,00	2 013	40
3	0,000	0,000	0,00	2 103	40
4	0,003	0,159	0,15	253 000	36
5	0,009	0,478	0,44	695 667	36
6	0,012	0,638	0,59	849 667	36
7	0,016	0,850	0,78	1 166 667	36
8	0,020	1,063	0,98	1 281 333	30
9	0,021	1,116	1,03	1 356 667	30
10	0,037	1,966	1,81	2 190 000	30
11	0,039	2,072	1,91	2 340 000	30
12	0,049	2,603	2,40	3 650 000	30



Graf č.2: Závislost hodnot fluorescence na tloušťce olejové vrstvy – kalibrační křivka olejového filmu na čistém hliníkovém podkladu

Tabulka č. 21: Al panely oxidované

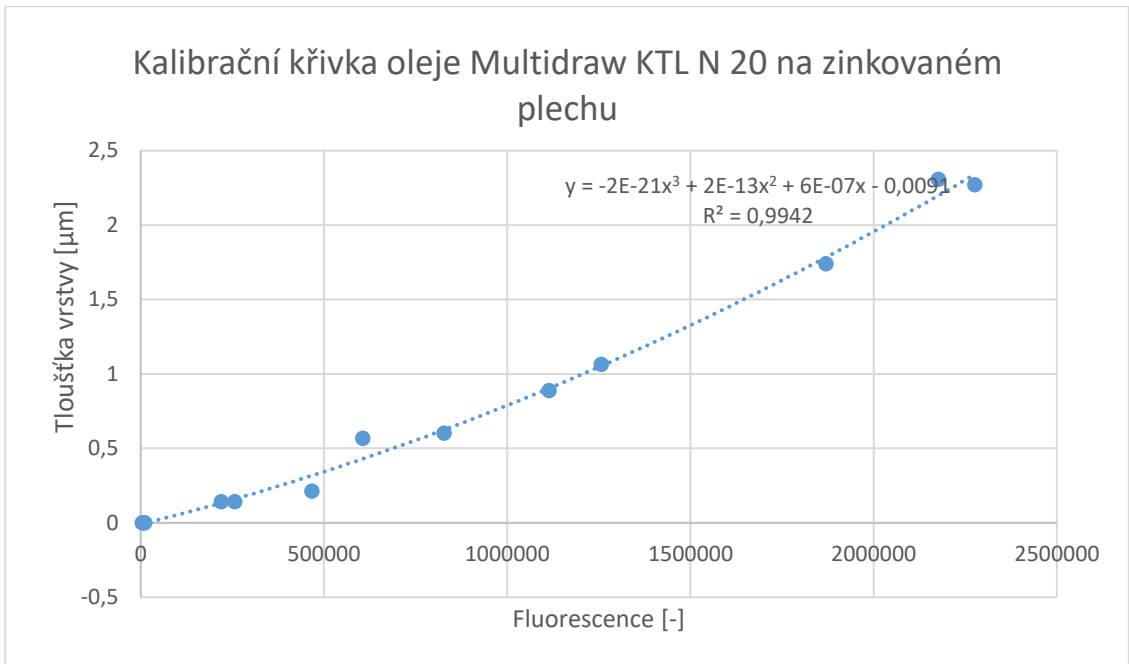
Vzorek číslo	Hmotnost naneseného oleje [g]	Tloušťka naneseného oleje [μm]	Plošná koncentrace [$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$]	Fluorescence [F.U.]	Povrchové napětí – fixy [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]
1	0,000	0,000	0,00	22 083	44
2	0,000	0,000	0,00	15 991	44
3	0,000	0,000	0,00	21 378	44
4	0,004	0,213	0,20	282 000	36
5	0,005	0,266	0,24	296 333	36
6	0,007	0,372	0,34	699 000	36
7	0,009	0,478	0,44	856 667	36
8	0,016	0,850	0,78	1 400 000	36
9	0,017	0,903	0,83	1 476 667	36
10	0,038	2,019	1,86	2 330 000	36
11	0,045	2,391	2,20	2 506 667	36
12	0,83	4,410	4,06	3 276 667	36



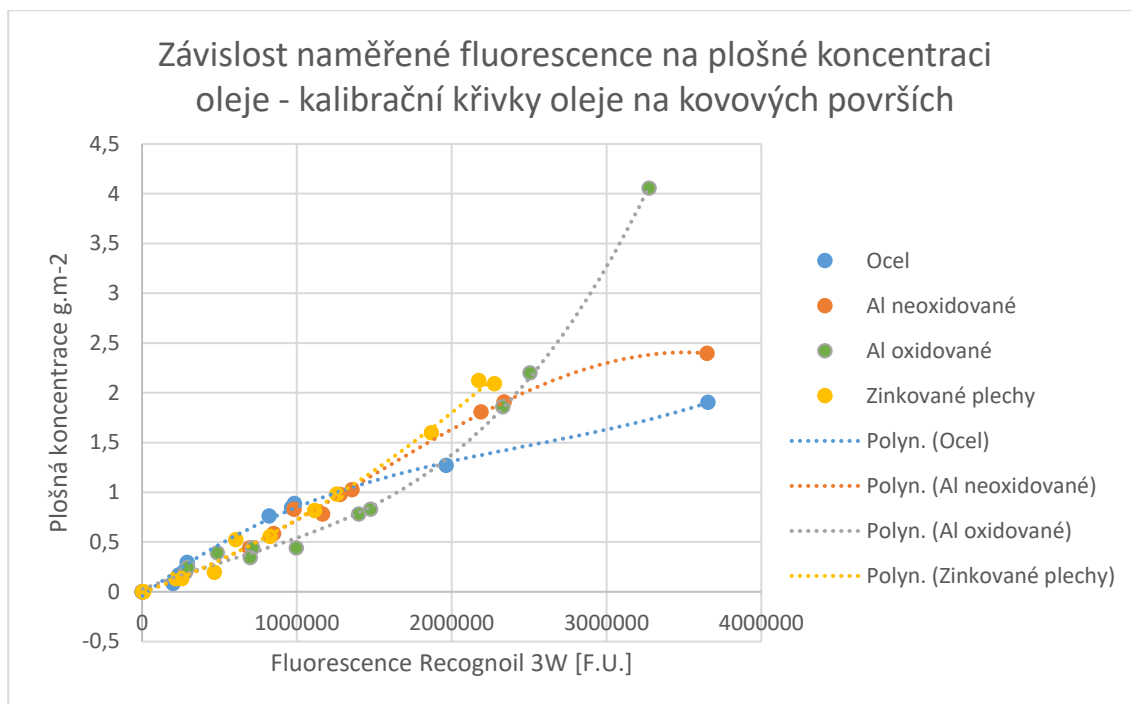
Graf č.3: Závislost hodnot fluorescence na tloušťce olejové vrstvy – kalibrační křivka olejového filmu na částečně zoxidovaném hliníkovém podkladu

Tabulka č. 22: Zinkované plechy

Vzorek číslo	Hmotnost naneseného oleje [g]	Tloušťka naneseného oleje [μm]	Plošná koncentrace [$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$]	Fluorescence [F.U.]	Povrchové napětí – fixy [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]
1	0,000	0,000	0,00	4 283	40
2	0,000	0,000	0,00	9 167	40
3	0,000	0,000	0,00	11 200	38
4	0,004	0,142	0,13	238 500	30
5	0,006	0,213	0,20	467 667	30
6	0,016	0,568	0,52	606 333	30
7	0,017	0,603	0,56	828 000	30
8	0,025	0,887	0,82	1 115 000	30
9	0,030	1,065	0,98	1 256 667	30
10	0,049	1,739	1,60	1 870 000	30
11	0,064	2,271	2,09	2 276 667	30
12	0,065	2,307	2,12	2 176 667	30



Graf č.4: Závislost hodnot fluorescence na tloušťce olejové vrstvy – kalibrační křivka olejového filmu na pozinkovaném plechu



Graf č.5: Závislost hodnot fluorescence na plošné koncentraci – porovnání kalibračních křivek jednotlivých materiálů

Z grafu lze ve shodě s předpokladem pozorovat nárůst hodnot fluorescence společně se vzrůstajícími hodnotami plošné koncentrace oleje. Lze také pozorovat odlišné průběhy závislosti fluorescence na plošné koncentraci u různých druhů materiálů.

Například ocel zprvu vykazuje nižší hodnoty fluorescence než ostatní materiály, posléze se však její trend mění, a je schopna dosáhnout nejvyšších hodnot fluorescence, aniž by její povrch disponoval větší plošnou koncentrací oleje než ostatní povrchy.

Oxidovaný hliník dosáhl nejvyšší hodnoty plošné koncentrace oleje, navzdory tomu však nedosáhl nejvyšších hodnot fluorescence, a jeho celkový průběh se liší od ostatních materiálů.

Neoxidovaný hliníkový povrch vykázal zvýšenou růstovou tendenci fluorescence u vyšších hodnot zamaštění – podobně jako ocel.

Zinkované plechy vykázaly téměř lineární závislost – růst fluorescence odpovídal rostoucím hodnotám zamaštění.

6.4 Porovnání různých generací zařízení Recognoil mezi sebou a diskuse výsledků

Jedním z cílů této práce bylo porovnání hodnot naměřených zařízeními Recognoil 1., 2. a 3. generace mezi sebou. Všechny tři generace fungují na stejném principu – vyvolání luminiscence kontaminantů, její následné zachycení a vyhodnocení pomocí softwaru. Intenzita fluorescence je udávána v jednotkách F.U. – Fluorescence Units nebo spíše Relative Fluorescence Units, neboť tyto jednotky nemají přesnou definici, a slouží pouze pro relativní vyjádření intenzity fluorescence – hodnota fluorescence je jinak bezrozměrná.

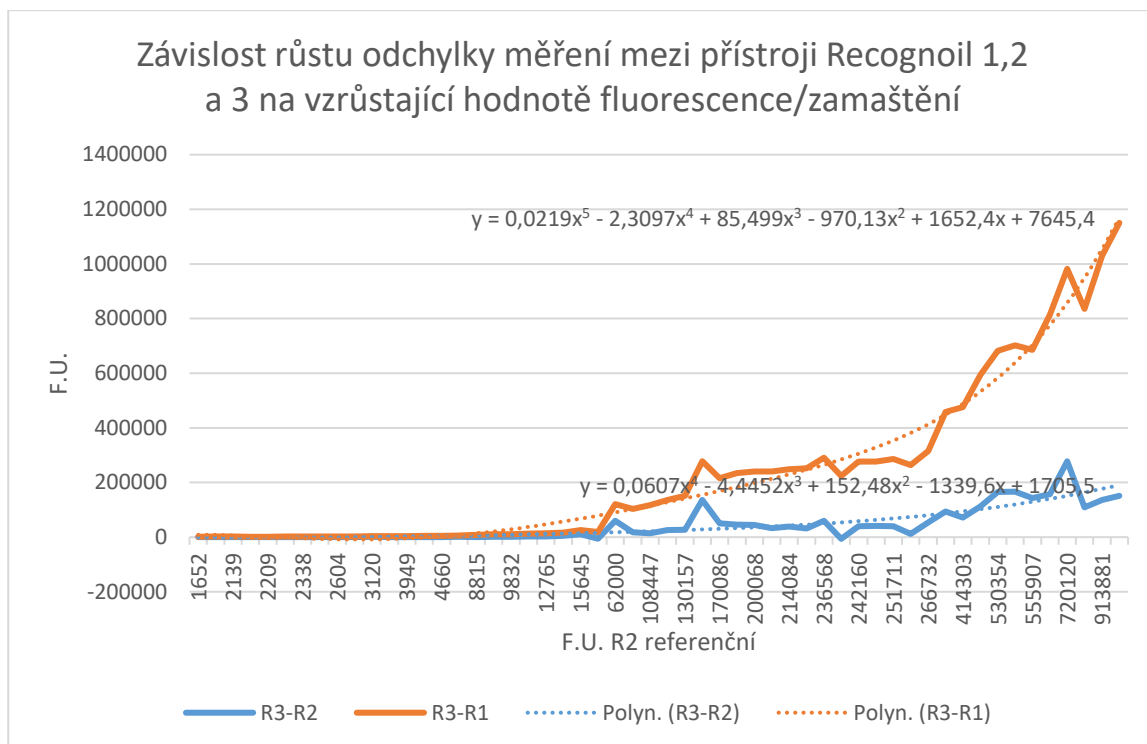
Tabulka č. 23: Porovnání vybraných naměřených hodnot fluorescence mezi zařízeními Recognoil

Recognoil (R1) [F.U.]	Recognoil 2W (R2) [F.U.]	Recognoil 3W (R3) [F.U.]	R3 - R2	R3 - R1
168	2 130	2 246	116	2 078
174	1 652	1 616	-36	1 442
307	3 949	4 106	157	3 799
780	12 783	17 006	4 223	16 226
4 936	108 447	122 000	13 553	117 064
8 908	243 783	285 000	41 217	276 092
13 256	555 907	699 000	143 093	685 744
19 767	913 881	1 050 000	136 119	1 030 233

Očištěné a odmaštěné kovové povrchy dosahují hodnot fluorescence menších než 200 u Recognoilu první generace, a okolo hodnoty 2000 u Recognoilů druhé a třetí generace (2W, 3W). Ani u jednoho zařízení nelze na použitých kovových površích naměřit hodnoty blížíící se 0. Nejnížší naměřené hodnoty v průběhu experimentů byly 200 u Recognoilu 3W respektive 250 u Recognoilu 2W, což byly hodnoty naměřené na důkladně očištěné a odmaštěné černé desce za zamezení přístupu okolního světla. Pro porovnání – fluorescence nepoužitého čirého mikroskopického skla dosahovala hodnot ± 1900 . Kovový povrch proto lze považovat za čistý, pokud dosahuje hodnot nižších než 150 F.U. u Recognoilu 1. generace, respektive 2000 F.U. u generace 2. a 3. Naopak nejvyšší naměřené hodnoty u kovových povrchů s plošnou koncentrací oleje Multidraw KTL N 20 nepřesahující 1 g.m^{-2} se u Recognoilu 1 blížily 20 000 F.U., u Recognoilu 2W a Recognoilu 3W se blížily 1 200 000 F.U.

Pro silnější vrstvy oleje s plošnou koncentrací okolo 2 g.m^{-2} u ocelového povrchu nebo $2,4$ až 4 g.m^{-2} u povrchu hliníkového bylo zařízením Recognoil 3W dosahováno hodnot okolo 3 650 000 F.U. Tyto hodnoty jsou ovšem krajní, proto jejich statistickou výpovědní hodnotu je třeba brát s jistou rezervou.

Výše uvedená zjištění potvrzují skutečnost, že fluorescenční metoda pro stanovení tloušťky vrstvy je vhodná zejména pro střední hodnoty zamaštění, respektive že velmi vysoké hodnoty mastnoty jsou již pro tuto metodu obtížně kvantifikovatelné.



Graf č. 6: Závislost rozdílu mezi zařízeními Recognitoil na hodnotě fluorescence

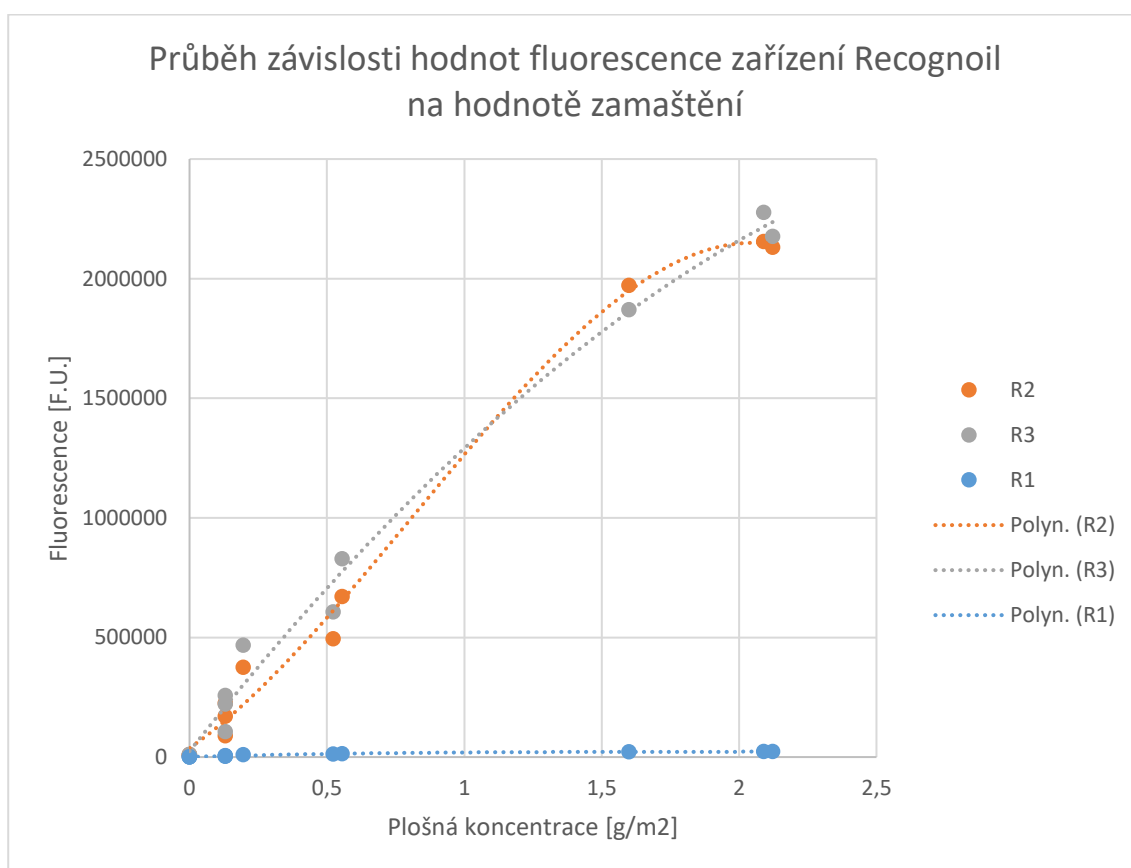
Rozdíly mezi hodnotami naměřenými zařízeními Recognitoil 2W a 3W jsou velmi malé. Vyšších hodnot zpravidla dosahuje zařízení Recognitoil 3W, v nezanedbatelném počtu případů však byly naměřeny vyšší hodnoty zařízením R 2W. Průměrná odchylka zařízení R2 vůči R3 byla 13 %, přičemž jsou započítány i extrémní odchylky, které mohly být způsobeny například porušením olejové vrstvy v průběhu měření nebo změřením mírně odlišné oblasti s nerovnoměrně ulpělou mastnotou. Těchto případů však bylo zaznamenáno pouze v řádu jednotek, a tedy by neměly zásadně ovlivnit výsledky měření. Se zvyšujícími se hodnotami fluorescence se procentuální odchylka nezvětšuje, a drží se na stabilních hodnotách.

Totéž neplatí o rozdílu mezi zařízeními R1 a R3. Zařízení R1 ukazuje hodnoty fluorescence řádově 10x nižší (pro nízké hodnoty zamaštění), než zařízení R3. U vysokých hodnot zamaštění vykazuje hodnoty až 50x nižší. To má za následek exponenciálně rostoucí hodnotu rozdílu R3-R1 s rostoucími měřenými hodnotami. Ten se u nižších hodnot fluorescence pohybuje okolo 88 %, a spolu se stoupajícími

hodnotami fluorescence roste až na 98 %, což je patrné také z grafu – hodnota rozdílu roste exponenciálně.

Porovnání průběhů hodnot fluorescence jednotlivých generací zařízení Recognoil v závislosti plošné koncentraci oleje.

Pro porovnání průběhu závislosti hodnot fluorescence jednotlivých zařízení na stupni zamaštění byl vybrán povrch zinkovaného plechu, neboť jeho průběh byl nejbližší lineárnímu.



Graf č. 7: Průběh závislosti hodnot fluorescence na hodnotách plošné koncentrace oleje pro tři generace zařízení Recognoil na povrchu zinkovaných plechů

Zařízení Recognoil 2W a 3W vykazují velice podobné průběhy závislostí hodnot fluorescence na plošné koncentraci. Zařízení první generace vykazuje hodnoty řádově 10-50x nižší v závislosti na velikosti naměřené hodnoty.

7 ZÁVĚR

Užitím inkoustové metody pro hodnocení povrchového napětí bylo prokázáno, že se stoupající hodnotou zamaštění klesá povrchové napětí. K nejvýraznějšímu poklesu povrchového napětí dochází při srovnání čistého povrchu s povrchem mírně zamaštěným. U všech hodnocených kovových povrchů došlo k nejvýraznějším poklesům povrchového napětí při plošné koncentraci oleje okolo 0,2-0,3 g.m⁻². Další pokles se zvyšující se hodnotou zamaštění sice probíhal, nicméně byl pozvolnější. Lze usuzovat, že od určité hodnoty plošné koncentrace oleje by se hodnota povrchového napětí dále neměnila.

Metodou měření průměru kapek bylo pozorováno chování kapaliny na různě zamaštěném povrchu. Jak bylo uvedeno výše, se stoupající hodnotou zamaštění klesá povrchové napětí, a s ním také smáčivost povrchu. Se zhoršující se smáčivostí povrchu se mění tvar kapky. Na čistých površích s vyšším povrchovým napětím dochází k lepšímu smáčení. Jak se povrchové napětí snižovalo, docházelo nejprve ke zmenšování průměru kapky demineralizované vody, poté ke stagnaci rozměrů, a s vyššími hodnotami zamaštění průměr kapek dokonce mírně narůstal. Tato skutečnost byla způsobena zploštěním tvaru kapky. Nejmenší naměřené průměry kapek demineralizované vody byly pozorovány při hodnotách plošné koncentrace oleje 0,2 až 0,3 g.m⁻². Další kapalina použitá v experimentu – isopropylalkohol se ukázala být pro vyhodnocování povrchového napětí na mírně až středně zamaštěných kovových površích jako nevyhovující. Při plošné koncentraci oleje, která se až na výjimky v průběhu experimentu pohybovala od 0 do 2 g.m⁻², docházelo u isopropylalkoholu k roztékání – dokonalému smáčení povrchu. V důsledku toho nedocházelo ke změně tvaru kapky či ke zmenšování jejího průměru. Naopak na čistých površích byly rozměry kapek spíše menší, protože v roztékání isopropylalkoholu částečně bránila porozita povrchu.

Měření pomocí fluorescenční metody ukázalo nárůst hodnot fluorescence a její průběh v závislosti na hodnotách zamaštění. Dalším důležitým zjištěním bylo, že každý testovaný povrch vykázal trochu jiný průběh závislosti. Nejrozdílněji se

choval povrch ocelový ve srovnání s oxidovaným hliníkovým povrchem. Ačkoliv hodnota plošné koncentrace oleje dosáhla na oxidované hliníkové ploše nejvyšších hodnot, nedosahovala zároveň nejvyšších hodnot fluorescence. Naopak povrch ocelový dosáhl nejvyšší hodnoty fluorescence, ačkoliv hodnota plošné koncentrace oleje byla z maximálních naměřených hodnot pro každý materiál tou nejnižší.

Na základě provedeného technicko-ekonomického zhodnocení metod a nástrojů pro kontrolu zamaštění povrchu byla jako nejefektivnější metoda použitelná ve výrobních procesech vyhodnocena plošná fluorescenční metoda, a to zejména z důvodu vysoké variability, jednoduchosti obsluhy, dobré reprodukovatelnosti výsledků a přijatelné ceně.

Při porovnání jednotlivých generací zařízení Recognoil – tedy zařízení Recognoil, Recognoil 2W a Recognoil 3W je třeba vyzdvihnout výhodu samostatnosti zařízení Recognoil 3W, které díky cloudovému připojení nepotřebuje žádné další zařízení na rozdíl od předchozích generací. První generace vyžaduje kabelové připojení k počítači nebo tabletu, což poněkud snižuje praktičnost jeho použití zejména v terénu. Druhá generace sice disponuje bezdrátovým připojením pomocí wifi, nicméně stále vyžaduje přítomnost dalšího zařízení s příslušným softwarem, ve kterém probíhá inspekce pořízených snímků. Z hlediska přenositelnosti, samostatnosti a variability díky vlastnímu displeji a přídavným sensorům je tedy jasným vítězem zařízení Recognoil 3W.

Dalším důležitým aspektem hodnocení byly rozdíly v naměřených hodnotách mezi jednotlivými zařízeními. Zařízení Recognoil 2W a 3W vykazují podobné hodnoty fluorescence, nicméně lze pozorovat obvykle vyšší hodnoty fluorescence u zařízení Recognoil 3W. Zařízení první generace Recognoil vykazovalo výrazně nižší hodnoty fluorescence ve srovnání s následujícími generacemi, a to v závislosti na množství mastnoty. Při nízkém stupni zamaštění byly naměřené hodnoty vůči zařízení 2W přibližně 10x nižší. U silněji zamaštěných povrchů s plošnou koncentrací oleje okolo $2 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ byly hodnoty F.U. až 50x nižší. Rozdíl mezi naměřenými hodnotami tedy nerostl úměrně, ale exponenciálně.

8 SEZNAM JEDNOTEK A ZKRATEK

dB – decibel – jednotka hluku

kg – kilogram – jednotka hmotnosti

μm – mikrometr – jednotka délky/tloušťky

mm – jednotka délky/tloušťky

m – metr – jednotka délky

m^2 – metr čtvereční – jednotka obsahu plochy

m^3 – metr krychlový – jednotka objemu

l – litr – jednotka objemu

dm^3 – decimetr krychlový – jednotka objemu

$^{\circ}\text{C}$ – stupeň Celsia – jednotka teploty

% – procenta – jednotka podílu z celku

HRC – tvrdost podle Rockwella – jednotka tvrdosti

HV – tvrdost podle Vickerse – jednotka tvrdosti

s – sekunda – jednotka času

R_a – střední aritmetická odchylka profilu – charakteristika vlastností profilu povrchu

R_q – Průměrná kvadratická odchylka profilu – charakteristika vlastností profilu povrchu

R_z – Největší výška profilu – charakteristika vlastností profilu povrchu

kHz – kilohertz – jednotka frekvence

Mpa – megapascal – jednotka tlaku

t – tloušťka vrstvy oleje

S – plocha vzorku

V – objem ulpělého oleje na vzorku

m – hmotnost ulpělého oleje na vzorku

$m_{i\check{c}}$ – hmotnost čistého vzorku

m_{iz} – hmotnost zamaštěného vzorku

ρ – jednotka měrné hmotnosti

9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KALEDOVÁ, Andrea. *Technologie nátěrových hmot II.: povrchové úpravy a způsoby předúpravy materiálů*. Vyd. 1. Pardubice: Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická, Ústav polymerních materiálů, 2003. ISBN 80-7194-555- 2
- [2] LUKAVSKÝ, Ladislav, Stanislav BOUŠKA a Václav FIALA. *Nátěrové hmoty: 1.díl*. 3. upr. vyd. Praha: Merkur, 1993. ISBN 80-7032-301-9.
- [3] KUDLÁČEK, Jan, Jiří BUREŠ, Marie VÁLOVÁ a Viktor KREIBICH. Problematika předúprav povrchu: Část 1. - Nečistoty. *Povrchová úprava* [online]. 2007, březen 2007, 4., 5-7 [cit. 2022-12-13]. ISSN 1801-707X. Dostupné z: <https://docplayer.cz/13282810-Povrchova-uprava-problematika-preduprav-povrchu-zpravy.html>
- [4] NOVOTNÝ, Jiljí et al. *Technologie I: slévání, tváření, svařování a povrchové úpravy*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1996. 227 s. ISBN 80-01-01420-7.
- [5] KRAUS, Václav. *Povrchy a jejich úpravy*. Plzeň: Západočeská univerzita, Strojní fakulta, 2009. ISBN 978-80-7082-668-3.
- [6] KOPŘIVA, Andreas. *Porovnání účinnosti odmašťovacích prostředků* [online]. Praha, 2015 [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/63519/F2-BP-2015-Kopriva-Andreas-BPAndreasKopriva.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Bakalářská. ČVUT v Praze. Vedoucí práce Ing. Jan Kudláček, Ph.D.
- [7] MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. 3.vyd. Ostrava: VŠBTU Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1217-7
- [8] Tryskáci zařízení. *Spolmont: Tryskání* [online]. 2021 [cit. 2022-12-10]. Dostupné z: <https://www.spolmont.cz/tryskani>

- [9] SEDLÁČEK, Alexander. Kovové tryskácí prostředky. *Povrcháři* [online]. 2010, 4-7 [cit. 2022-12-06]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: http://www.povrchari.cz/kestazeni/201008_povrchari.pdf
- [10] SEDLÁČEK, Alexander. Nekovové tryskácí prostředky. *Povrcháři* [online]. 2010, 2010(10), 9-12 [cit. 2022-12-06]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: http://www.povrchari.cz/kestazeni/201010_povrchari.pdf
- [11] KREIBICH, Viktor. Teorie a technologie povrchových úprav. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1996. 89 s. ISBN 80-01-01472-X.
- [12] ČUMPELÍK, Jiří. Tryskání suchým ledem: Výroba a technologie. *Průmyslové spektrum* [online]. 2006, 12. 4. 2006, (4) [cit. 2022-12-10]. ISSN 60405. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/tryskani-suchym-ledem>
- [13] Leštění. *Elektronická učebnice: Druhy dokončovacích operací* [online]. [cit. 2022-12-10]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1387>
- [14] ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3 – 1. díl: Metody, stroje a nástroje pro obrábění*. Praha: Scientia, 2000. ISBN 80-7183-207-3.
- [15] Honování. *Elektronická učebnice: Druhy dokončovacích operací* [online]. [cit. 2022-12-10]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1384>
- [16] Omílání. *Elektronická učebnice: Druhy dokončovacích operací* [online]. [cit. 2022-12-10]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1388>
- [17] *Varianty povrchové úpravy* [online]. [cit. 2022-12-07]. Dostupné z: <https://www.brusivo-luko.cz/sluzby/varianty-povrchove-upravy>
- [18] ŠTRUC, Josef. *Moření oceli*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1985.

[19] VOJKOVSKÝ, Karel. *Sledování účinnosti odmašťovacích lázní*. Praha, 2008. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta strojní. Vedoucí práce Viktor Kreibich.

[20] PODJUKLOVÁ, Jitka. *Speciální technologie povrchových úprav I*. 1.vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1994. ISBN 80-7078-235-8.

[21] High pressure water jetting: What does high pressure water jetting mean?. Corrosionpedia [online]. 2020, 15.5.2020 [cit. 2022-12-10]. Dostupné z: <https://www.corrosionpedia.com/definition/2175/high-pressure-water-jetting>

[22] Čištění vysokotlakým vodním paprskem. Chemwork [online]. [cit. 2022-12-10]. Dostupné z: <http://www.chemwork.cz/cisteni-vysokotlakym-paprskem>

[23] KIZLINK, Juraj. *Technologie chemických látek a jejich využití*. Brno: VUTIUM, 2011. ISBN 978-80-214-4046-3.

[24] Přenosný pulzní laser na čištění kovů. *Riselaser Česká Republika* [online]. 17.9.2021 [cit. 2022-12-07]. Dostupné z: <https://www.riselaser.cz/l/prenosny-pulzni-laser/>

[25] JEDELSKÝ, J., P. NĚMEC, D. VESELÝ a P. KALENDA. Povrchová úprava materiálů pomocí laseru. *MM Průmyslové spektrum*. b.r., 2005(4), 82. ISSN 1212- 2572

[26] TENDERO, Claire, Philippe LEPRINCE, Christelle TIXIER, Pascal TRISTANT a Jean DESMAISON. Atmospheric pressure plasmas: A review. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy* [online]. 2006, (61), 2-30 [cit. 2022-11-30]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0584854705002843?via%3Dihub>

[27] KOUDELKOVÁ, Lenka. *Vliv předúprav a čistoty povrchu na adhezi nátěrových hmot* [online]. Praha, 2018 [cit. 2022-12-10]. Dostupné z: <file:///C:/Users/Honza%20Barborka/Downloads/F2-DP-2018-Koudelkova-Lenka->

DP_KOUDELKOVA_2018%20(1).pdf. Diplomová. ČVUT v Praze. Vedoucí práce Ing. Jan Kudláček, Ph.D.

[28] Předúprava: Ožeh, koróna, plazma. *Teca-Print* [online]. Brno, 2016, 20.5.2016 [cit. 2022-12-10]. Dostupné z: <https://www.tecaprint.cz/blog/preduprava>

[29] Základy předúpravy plazmou, co je plazma?. *Meritage* [online]. [cit. 2022-12-10]. Dostupné z: <https://www.meritage.cz/zaklady-predupravy-plazmou-co-je-plazma/>

[30] Parní čištění a odmašťování povrchů. *Facility Cleaning Service* [online]. [cit. 2022-12-10]. Dostupné z: <https://www.prumyslovecisteni.cz/parni-cisteni/>

[31] ŽÁK, Michal. Vliv stavu povrchu a materiálu na detekci zamaštění. Praha, 2012. Diplomová práce. České vysoké učení technické. Vedoucí práce Ing. Jan Kudláček Ph.D.

[32] Předúprava povrchu plamenem: Opalovací zařízení, ožeh povrchu plamenem pro primární úpravu povrchu plamenem plastových a kovových povrchových dílů. *Meritage* [online]. 2019, 16.1.2019 [cit. 2022-12-10]. Dostupné z: [https://www.meritage.cz/hill-preduprava-plamenem/https://www.meritage.cz/hill-preduprava-plamenem/](https://www.meritage.cz/hill-preduprava-plamenem/)

[33] KUDLÁČEK, Jan a Petr CHÁBERA. Vyhodnocování čistoty povrchu. *MM Průmyslové spektrum*. b.r., 2013(5), 104. ISSN 1212-2572.

[34] Předúprava: Ožeh, koróna, plazma. *Teca-Print* [online]. Brno, 2016, 20.5.2016 [cit. 2022-12-10]. Dostupné z: <https://www.tecaprint.cz/blog/preduprava>

[35] PACÁK, Lukáš a Jan KUDLÁČEK. Detekce mastných nečistot v praxi. *Povrcháři*. 2012, 2012(1), 10-13. ISSN 1802-9833. Dostupné z: http://www.povrchari.cz/kestazeni/201201_povrchari.pdf

[36] PACÁK, Lukáš. *Detekce mastnoty v procesu předúprav pro aplikace povrchové úpravy* [online]. Praha, 2011 [cit. 2022-12-11]. Disertační. ČVUT v Praze. Vedoucí práce Doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.

[37] Fixy a inkousty pro určení povrchového napětí. *Gamin* [online]. Ostrava [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://www.gamin.cz/fixy-a-inkousty/>

[38] CHÁBERA, Petr a Jan KUDLÁČEK. Nové možnosti detekce čistoty povrchu metodou UV-VIS spektroskopie. *Povrcháři*. 2015, 2015(1), 5-7. ISSN 1802-9833.

[39] BARTOVSKÁ, Lidmila a Marie ŠIŠKOVÁ. *Fyzikální chemie povrchů a koloidních soustav* [online]. Praha: VŠCHT Praha, 2005 [cit. 2022-12-12]. ISBN 80-7080-579-X. Dostupné z: http://147.33.74.135/knihy/uid_isbn-80-7080-579-X/pages-img/obalka-1.html

[40] NERADIL, Jakub. *Fluorescenční mikroskopie: Princip fluorescence* [online]. PŘF MU, 2015, 24.2.2015 [cit. 2022-12-12]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1431/jaro2016/Bi8920/um/2016_01_TISK_princip_fluorescence.pdf

[41] MLČOCH, Zbyněk. Ultrafialové záření: UV záření - UVA, UVB, UVC - škodlivost, vlastnosti. *Zbynekmlcoch* [online]. 2009, 25.4.2009 [cit. 2022-12-12]. Dostupné z: <https://www.zbynekmlcoch.cz/texty/technika/ultrafialove-zareni-uv-zareni-uva-uvb-uvc-skodlivost-vlastnosti>

[42] Fluorescence: Fluorescence, photoluminescence and doped semiconductors. *Webexhibits* [online]. [cit. 2022-12-12]. Dostupné z: <https://www.webexhibits.org/causesofcolor/11AB.html>

[43] Recognoil: Nejefektivnější měření čistoty povrchů. *Recognoil* [online]. [cit. 2022-12-12]. Dostupné z: <https://recognoil.cz/>

[44] CleanoSpector - zařízení na rychlou detekci kontaminace na povrchu kovů. *Gamin* [online]. Ostrava: Gamin [cit. 2022-12-12]. Dostupné z: https://www.gamin.cz/fileadmin/user_upload/CleanoSpector_pro_sledovani_cistoty_kovovych_povrchu_01.pdf

[45] SITA Process Measuring Technology. *Sita-process* [online]. SITA Process Solutions, 2019, 2019 [cit. 2022-12-12]. Dostupné z: <https://www.sita-process.com/products/>

[46] ČSN EN ISO 8501-1. *Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Vizuální hodnocení čistoty povrchu - Část 1: Stupně zrezavění a stupně přípravy ocelového podkladu bez povlaku a ocelového podkladu po úplném odstranění předchozích povlaků*. 2007.

[47] NEVĚČNÝ, Petr. Stupně přípravy ocelového podkladu dle ČSN ISO 8501-1 a podobných norem. *Povrchové úpravy* [online]. Praha: PRESS AGENCY, 2012, (2), 2-5 [cit. 2022-12-12]. ISSN 0551-7354.

[48] Drsnost povrchu. *Spszengrova* [online]. [cit. 2022-12-13]. Dostupné z: https://www.spszengrova.cz/wp-content/uploads/2020/04/Drsnost_povrchu.pdf

[49] GORDYENKO, Diana. *Integrita povrchu* [online]. Praha, 2015 [cit. 2022-12-13]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/63543/F2-BP-2015-Gordeyko-Diana-Bakalarska%20prace.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Bakalářská. ČVUT v Praze. Vedoucí práce Ing. Vítězslav Rázek, CSc.

[50] POSPÍŠILOVÁ, Elena. Integrita obráběného povrchu. *SlidePlayer* [online]. 2014 [cit. 2022-12-13]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/1913161/>

[51] ČSN EN ISO 8503-1. *Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Charakteristiky drsnosti povrchu otryskaných ocelových podkladů - Část 1: Specifikace a definice pro hodnocení otryskaných povrchů s pomocí ISO komparátorů profilu povrchu*. 2012.

[52] ČSN EN ISO 8503-2. *Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Charakteristiky drsnosti povrchu otryskaných ocelových podkladů - Část 2: Hodnocení profilu povrchu otryskané oceli komparátorem*. 2012.

[53] Příprava povrchu. *Gamin* [online]. Ostrava: Omega Design [cit. 2022-12-13]. Dostupné z: <https://www.gamin.cz/priprava-povrchu-preduprava/>

[54] Měření drsnosti povrchu. *Proinex Instruments* [online]. Ostrava: Proinex Instruments [cit. 2022-12-13]. Dostupné z: https://www.proinex.cz/cs/blog/10_merenidrsnosti-

[55] Parametry drsnosti: Výběr cut-offu (filtru profilu) podle ISO 4288:1998 a ISO 3274:1998. *JENOPTIK* [online]. [cit. 2022-12-15]. Dostupné z: <https://www.jenoptik.cz/cz/technicke-informace/drsnost-povrchu-dle-din-en-iso/>

[56] ČSN EN ISO 8502-3. *Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Zkoušky pro vyhodnocení čistoty povrchu - Část 3: Stanovení prachu na ocelovém povrchu připraveném pro natírání (metoda snímání samolepicí páskou)*. 2017.

[57] Patrik. Infračervená spektrometrie. *VŠCHT* [online]. Praha: VŠCHT Praha [cit. 2022-12-15]. Dostupné z: <https://www.vscht.cz/files/uzel/0005766/Infra%C4%8Derven%C3%A1+spektrometrie.pdf?redirected>

[58] Infračervená spektrometrie. *VŠCHT* [online]. Praha: VŠCHT Praha [cit. 2022-12-15]. Dostupné z: <http://old.vscht.cz/lms/Zverze/Infrared.htm>

[59] Infračervená a Ramanova spektrometrie: Infračervené záření, energetické oblasti. *Upce* [online]. Pardubice [cit. 2022-12-15]. Dostupné z: https://holcapek.upce.cz/teaching/Mol_spek/Mol_spek_prednaska2_IC_Raman.pdf

[60] Infračervená spektrometrie. ZCU [online]. Plzeň [cit. 2022-12-15]. Dostupné z: https://tftp.zcu.cz/www/files/projects/frvs-3892007/skripta_kap3_irspektrometrie.pdf

[61] MORAVEC, Zdeněk. Infračervená spektroskopie: Metody chemického výzkumu. *is.muni.cz* [online]. [cit. 2022-12-15]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/el/sci/podzim2017/C5060/MCHV-Moravec-IR.pdf>

[62] Fourier transform spectrometer <https://scienceworld.wolfram.com/physics/FourierTransformSpectrometer.html>

[63] Plasma-modified polymer surfaces: Characterization using XPS. *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena* [online]. Elsevier, 2010, May 2010, (178-179), 394-408 [cit. 2022-12-16]. ISSN 0368-2048. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.1016/j.elspec.2009.12.003](https://doi.org/10.1016/j.elspec.2009.12.003)

[64] Drsnoměr Surftest SJ-210 [mm]. *STOOLS* [online]. [cit. 2022-12-16]. Dostupné z: https://www.stools-shop.cz/drsnomer-surf-test-sj-210--mm-/?gclid=CjwKCAiAy_CcBhBeEiwAcoMRHJ-Ue7KHXSUrjB0fwc4M8bhEaK8ncW5NSgt6pevxZmQx97IUKZICXhoCiUcQAvD_BwE

[65] VDA 19.1: Obsah. *Technickenormy* [online]. [cit. 2022-12-16]. Dostupné z: <https://www.technickenormy.cz/publicdoc/vda-191-obsah.pdf>

[66] Řešení technické čistoty ZEISS. *ZEISS* [online]. ZEISS Global [cit. 2022-12-16]. Dostupné z: <https://www.zeiss.cz/metrologie/reseni/technicka-cistota.html>

[67] PISCANI, Francesco. An Introduction to Technical Cleanliness Inspection. *OLYMPUS* [online]. EVIDENT, 2017 [cit. 2022-12-16]. Dostupné z: <https://www.olympus-ims.com/en/insight/cleanliness-inspection/>

[68] Explorer Pro Analytical. *OHAUS* [online]. [cit. 2022-12-28]. Dostupné z: <https://us.ohaus.com/en-US/Products/Balances-Scales/Analytical-Balances/Explorer-Pro-Analytical/EP214C>

[69] Acrotest. *PackMarket* [online]. [cit. 2022-12-28]. Dostupné z: <https://packmarket.net/product/dyne-inks-set-check-treatment/>

[70] <https://abranova.cz/umely-ruzovy-korund-legovany-chromem>

[71] Non-contact thickness measurement of oil with infrared sensors. *Sensorpartners* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.sensorpartners.com/en/applications/thickness-measurement-of-oil-with-infrared-sensors/>

[72] PAZNOCHT, Luboš. UV-VIS Spektrofotometrie. *Czu.cz* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: https://home.czu.cz/storage/1177/121996_Spektrofotometrie.pdf

[73] Jak funguje pískovací kabina. *Piskovacka.cz* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.piskovacka.cz/info-82-co-je-piskovani-cim-se-piskuje/>

[74] Mix korund F-30. *Abranova-eshop* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://abranova-eshop.cz/mix-korund-f-30?gclid=Cj0KCQiAzeSdBhC4ARIsACj36uH2bQCUUcvUAIWGE>

[75] *Brusný kotouč* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.naradiprofesional.cz/203076-bow-5760050-brusny-kotouc-k220-250-mm>

10 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Tryskání stlačeným vzduchem [73].....	12
Obr. 2: Složení oceli pro výrobu ocelového granulátu a drti [9].....	17
Obr. 3: Umělý korund mix [74].....	20
Obr. 4: Brusný kotouč [75].....	23
Obr. 5: Schéma emulgace mastnoty při procesu odmašťování [7].....	26
Obr. 6: Princip moření a složení oxidů železa v okujích [27].....	30
Obr. 7: Ukázka rozdílné drsnosti v příčném a podélném směru [48].....	36
Obr. 8: Ukázka rozdílných povrchů se stejnou hodnotou Ra [50].....	37
Obr. 9: Určení hodnoty Ra pomocí integrální a statistické metody [50].....	37
Obr. 10: Určení průměrné kvadratické hodnoty drsnosti [50].....	38
Obr. 11: Hodnocení největší výšky profilu Rz [50].....	39
Obr. 12: Drsnoměr Mitutoyo SJ-210 [64].....	40
Obr. 13: Měření kontaktního úhlu kapky na pevném povrchu [63].....	44
Obr. 14: Hodnocení smáčivosti povrchu podle velikosti kontaktního úhlu [39].....	44
Obr. 15: Zařízení Recognoil 3W [43].....	47
Obr. 16: Možnosti využití přístroje Sita CleanoSpector [45].....	48
Obr. 17: Možnosti využití přístroje Sita CleanoSpector [45].....	48
Obr. 18: Rozsah vlnových délek světla na škále vlnění [72].....	50
Obr. 19: Princip spektrofotometrie [72].....	51
Obr. 20: Michelsenův interferometr [62].....	52
Obr. 21: Infračervený senzor SPECTRO-M-10MIR [71].....	53
Obr. 22: Infračervený senzor SPECTRO-M-10MIR [71].....	53

Obr. 23: Stupně zrezavění [46].....	54
Obr. 24: Ukázka stupňů přípravy různě zrezavěného povrchu tryskáním [46].....	55
Obr. 25: Možnost postupu při hodnocení čistoty povrchu [67].....	57
Obr. 26: Model ocelového Q-panelu a jeho vlastnosti.....	64
Obr. 27: Model hliníkových panelů a jeho vlastnosti.....	65
Obr. 28: Příprava oxidovaných ploch na hliníkových panelech 1.....	67
Obr. 29: Příprava oxidovaných ploch na hliníkových panelech 2.....	68
Obr. 30: Oxidovaný povrch hliníku a jeho fluorescence – vzorek č. 1.....	68
Obr. 31: Oxidovaný povrch hliníku a jeho fluorescence – vzorek č. 1.....	68
Obr. 32: Oxidovaný povrch hliníku a jeho fluorescence – vzorek č. 2.....	69
Obr. 33: Oxidovaný povrch hliníku a jeho fluorescence – vzorek č. 2.....	69
Obr. 34: Oxidovaný povrch hliníku a jeho fluorescence – vzorek č. 3.....	69
Obr. 35: Oxidovaný povrch hliníku a jeho fluorescence – vzorek č. 3.....	69
Obr. 36: Model žárově zinkovaného plechu a jeho vlastnosti.....	70
Obr. 37: Model křemenného skla a jeho vlastnosti.....	71
Obr. 38: Laboratorní váhy OHAUS Explorer Pro EP 214 C [68].....	74
Obr. 39: Plochá měděná nádoba s ventilem na stojanu – zařízení pro nanášení vrstvy oleje vypouštěcí metodou.....	75
Obr. 40: Ultrazvuková vana Kraintek K2.....	77
Obr. 41: Sada inkoustů acrotest s rozsahem 32-44 mN/m [69].....	81
Obr. 42: Postupné nanášení inkoustů o různém povrchovém napětí.....	82
Obr. 43: Čisté ocelové Q-panely – inkoust s povrchovým napětím 36 – celistvý, inkoust s povrchovým napětím 40 – roztrhaný nebo alespoň shluklý do užší stopy.....	82

Obr. 44: Ukázka trhání zkušebního filmu na okrajích oxidované plochy neodmaštěného Al panelu.....	83
Obr. 45: Vyšší hodnoty fluorescence na okrajích oxidované plochy.....	83
Obr. 46: Ukázka vyššího povrchového napětí na zoxidované ploše neodmaštěných Al panelů oproti ploše bez oxidace, jež pravděpodobně nese zbytky konzervačního oleje – inkoust o stejné hodnotě povrchového napětí se mimo oxidovanou plochu trhá, neboť povrchové napětí neoxidované plochy je významně nižší.....	84
Obr. 47: Přepočítání měřítka pro měření rozměrů kapek z fotografií – SW Gimp.....	86
Obr. 48: Stanovení průměru kapky pomocí softwaru Gimp 1.....	87
Obr. 49: Stanovení průměru kapky pomocí softwaru Gimp 2.....	87
Obr. 50: Snížená viditelnost rozpíjejícího se isopropylalkoholu na povrchu válcované oceli.....	87
Obr. 51: Úprava kontrastu obrázku 50 a změření průměru kapky v sw Gimp.....	88
Obr. 52: Kapka demineralizované vody na mírně zamaštěném ocelovém povrchu, plošná koncentrace oleje 0,212 g.m ⁻²	89
Obr. 53: Kapka demineralizované vody na čistém ocelovém povrchu.....	89
Obr. 54: Ocel, plošná koncentrace oleje 0,212 g.m ⁻² , použitá kapalina – isopropylalkohol.....	90
Obr. 55: Odmaštěný zinkovaný povrch.....	91
Obr. 56: Zinkovaný povrch s plošnou koncentrací 0,555 g.m ⁻²	91
Obr. 57: Kapka demineralizované vody na čistém hliníkovém povrch.....	92
Obr. 58: Kapka demineralizované vody na Al povrchu s plošnou koncentrací oleje 0,587 [g.m ⁻²].....	93
Obr. 59: Kapka isopropylalkoholu na Al povrchu s plošnou koncentrací oleje 0,587 [g.m ⁻²].....	94
Obr. 60: Kapka demineralizované vody na oxidovaném hliníkovém povrchu.....	95

Obr. 61: Kapka demineralizované vody na oxidovaném hliníkovém povrchu s plošnou koncentrací oleje 0,587 [g/m ²].....	95
Obr. 62: Kapka isopropylalkoholu na oxidovaném hliníkovém povrchu s plošnou koncentrací oleje 0,587 [g/m ²].....	96
Obr. 63: Rozdíl tvaru kapek na rozdílně smáčivém povrchu.....	98

11 SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Závislost hodnot fluorescence na tloušťce olejové vrstvy – kalibrační křivka olejového filmu na ocelovém podkladu.....	100
Graf 2: Závislost hodnot fluorescence na tloušťce olejové vrstvy – kalibrační křivka olejového filmu na čistém hliníkovém podkladu.....	102
Graf 3: Závislost hodnot fluorescence na tloušťce olejové vrstvy – kalibrační křivka olejového filmu na částečně zoxidovaném hliníkovém podkladu.....	104
Graf 4: Závislost hodnot fluorescence na tloušťce olejové vrstvy – kalibrační křivka olejového filmu na pozinkovaném plechu.....	106
Graf 5: Závislost hodnot fluorescence na plošné koncentraci – porovnání kalibračních křivek jednotlivých materiálů.....	107
Graf 6: Závislost rozdílu mezi zařízeními Recognoil na hodnotě fluorescence.....	110
Graf 7: Průběh závislosti hodnot fluorescence na hodnotách plošné koncentrace oleje pro tři generace zařízení Recognoil na povrchu zinkovaných plechů.....	111

12 SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Hodnoty drsnosti dosahované různými technologiemi [48].....	38
Tab. 2: Spektrum elektromagnetického záření ve spektroskopii [61].....	48
Tab. 3: Energetické oblasti infračerveného záření [59].....	49
Tab. 4: Stupně zrezavění povrchu [46]	54
Tab. 5: Stupně přípravy povrchu a jejich popis [46]	54
Tab. 6: Třídy velikostí prachových částic [56].....	56
Tab. 7: Porovnání metod pro stanovení zamaštění povrchu.....	59
Tab. 8: Chemické složení ocelových Q-panelů.....	63
Tab. 9: Vlastnosti povrchu ocelových Q-panelů.....	64
Tab. 10: Chemické složení Al panelů.....	65
Tab. 11: Vlastnosti povrchu Al panelů.....	65
Tab. 12: Chemické složení zinkovaných ocelových plechů.....	69
Tab. 13: Vlastnosti povrchu Al panelů.....	70
Tab. 14: Vlastnosti povrchu křemenného skla.....	71
Tab. 15: Průměry kapek na ocelových Q-panelech v závislosti na hodnotě zamaštění a povrchového napětí.....	90
Tab. 16: Průměry kapek na pozinkovaných pleších v závislosti na hodnotě zamaštění a povrchovém napětí.....	91
Tab. 17: Průměry kapek na hliníkovém povrchu bez oxidace v závislosti na hodnotě zamaštění a povrchovém napětí.....	93
Tab. 18: Průměry kapek na zoxidovaném hliníkovém povrchu v závislosti na hodnotě zamaštění a povrchovém napětí.....	95
Tab. 19: Ocelové Q-panely.....	98

Tab. 20: Al panely neoxidované.....	100
Tab. 21: Al panely oxidované.....	102
Tab. 22: Zinkované plechy.....	104
Tab. 23: Porovnání vybraných naměřených hodnot fluorescence mezi zařízeními Recognoil.....	107

13 PŘÍLOHA

Množství naneseného oleje – ocelové Q-panely

Vzorek číslo	Hmotnost čistého vzorku [g]	Hmotnost zamaštěného vzorku [g]	Hmotnost oleje [g]	Tloušťka olejové vrstvy [μm]
1	72,887	72,889	0,002	0,092
2	72,729	72,731	0,002	0,092
3	71,470	71,474	0,004	0,184
4	72,886	72,891	0,005	0,230
5	72,729	72,734	0,005	0,230
6	71,471	71,478	0,007	0,322
7	72,885	72,905	0,020	0,920
8	72,730	72,751	0,021	0,966
9	71,473	71,491	0,018	0,828
10	72,872	72,917	0,045	2,070
11	72,720	72,749	0,029	1,334
12	71,471	71,501	0,030	1,380

Množství naneseného oleje – Al panely

Vzorek číslo	Hmotnost čistého vzorku [g]	Hmotnost zamaštěného vzorku [g]	Hmotnost oleje [g]	Tloušťka olejové vrstvy [μm]
1	38,392	38,395	0,003	0,159
2	38,275	38,278	0,003	0,159
3	38,255	38,257	0,002	0,106
4	38,392	38,408	0,016	0,850
5	38,274	38,286	0,012	0,638
6	38,254	38,263	0,009	0,478
7	38,393	38,413	0,020	1,063
8	38,275	38,296	0,021	1,116
9	38,255	38,272	0,017	0,903
10	38,389	38,428	0,039	2,072
11	38,272	38,309	0,037	1,966
12	38,250	38,299	0,049	2,603

Množství naneseného oleje – Al panely s oxidovanou plochou

Vzorek číslo	Hmotnost čistého vzorku [g]	Hmotnost zamaštěného vzorku [g]	Hmotnost oleje [g]	Tloušťka olejové vrstvy [μm]
1	38,653	38,657	0,004	0,213
2	38,525	38,533	0,008	0,425
3	38,592	38,597	0,005	0,266
4	38,654	38,663	0,009	0,478
5	38,525	38,534	0,009	0,478
6	38,594	38,601	0,007	0,372
7	38,654	38,676	0,022	1,169
8	38,526	38,542	0,016	0,850
9	38,593	38,610	0,017	0,903
10	38,648	38,693	0,045	2,391
11	38,522	38,560	0,038	2,019
12	38,581	38,664	0,083	4,410

Množství naneseného oleje – Zinkované plechy

Vzorek číslo	Hmotnost čistého vzorku [g]	Hmotnost zamaštěného vzorku [g]	Hmotnost oleje [g]	Tloušťka olejové vrstvy [μm]
1	140,511	140,515	0,004	0,142
2	140,486	140,490	0,004	0,142
3	140,516	140,520	0,004	0,142
4	140,496	140,502	0,006	0,213
5	140,472	140,488	0,016	0,568
6	140,502	140,519	0,017	0,603
7	140,476	140,500	0,024	0,852
8	140,467	140,492	0,025	0,887
9	140,481	140,511	0,030	1,065
10	140,450	140,514	0,064	2,271
11	140,451	140,500	0,049	1,739
12	140,431	140,496	0,065	2,307

Množství naneseného oleje – křemenné sklo

Vzorek číslo	Hmotnost čistého vzorku [g]	Hmotnost zamaštěného vzorku [g]	Hmotnost oleje [g]	Tloušťka olejové vrstvy [μm]
1	5,305	5,817	0,512	230
2	5,305	5,306	0,001	0,450
3	5,305	5,3054	0,0004	0,180