

Vliv chemického prostředí na jakost kovových materiálů

Bc. Radek Lipovský

Diplomová práce
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Bc. Radek Lipovský
Osobní číslo: T22366
Studijní program: N0788A270007 Řízení jakosti
Forma studia: Prezenční
Téma práce: Vliv chemického prostředí na jakost kovových materiálů

Zásady pro vypracování

- Literární rešerše k problematice hodnocení povrchů.
- Statistické nalezení a stanovení diferencí mezi vyhodnocováním povrchů ve shodě s ISO 21920-1, ISO 21920-2 či ISO 25178.
- Provedení průzkumové analýzy obrobených povrchů s využitím bezkontaktního profiloměru.
- Statistické vyhodnocení povrchových komparací naměřených dat dle odpovídajících softwarů.

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. ČSN EN ISO 21920-1: Geometrické specifikace produktu (GPS) – Textura povrchu: Profil – Část 1: Indikace textury povrchu. (2023) (01.06.2023). Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
2. ČSN EN ISO 21920-2: Geometrické specifikace produktu (GPS) – Textura povrchu: Profil – Část 2: Termíny, definice a parametry textury povrchu. (2023) (01.06.2023). Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
3. ČSN EN ISO 25178-2. Geometrické specifikace produktu (GPS) – Textura povrchu: Plocha – Část 2: Termíny, definice a parametry textury povrchu. Praha: Český normalizační institut, 2012.
4. MELOUN, Milan, Jiří MILITKÝ a Martin HILL. *Statistická analýza vícerozměrných dat v příkladech*. Praha: Academia, 2012. Gerstner. ISBN 978-80-200-2071-0

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Milena Kubišová, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2024**
Termín odevzdání diplomové práce: **10. května 2024**

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

doc. Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 27. února 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

Tímto děkuji mé vedoucí diplomové práce, paní doktorce Mileně Kubišové, za odborné vedení, vstřícný a zároveň profesionální přístup a poskytnutí cenných rad během konzultací.

„Vždycky se nám zdá lepší to, co nemůžeme dostat, než to, co už máme. V tom spočívá romantika a idiotství lidského života.“

- Erich Maria Remarque

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá problematikou hodnocení povrchů, zkoumáním povrchu různých kovových materiálů za pomoci specifických nástrojů, například bezkontaktní profilometr. Konkrétní materiály byly dlouhodobě zatíženy pod vlivem chemického prostředí ve třech různých kapalinách, kde základem byla kyselina fosforečná. Následná grafická analýza komparací naměřených dat dle odpovídajících softwarů.

Klíčová slova: analýza, geometrické specifikace, vizualizace povrchu, normy, textura, metrologie, materiálové vlastnosti, koroze, kyselina

ABSTRACT

The thesis deals with the issue of surface evaluation, examining the surface of various metallic materials using specific tools, such as a non-contact profilometer. The specific materials were subjected to a long-term chemical environment in three different liquids, where the base was phosphoric acid. Subsequent graphical analysis by comparing the measured data according to the corresponding software.

Keywords: analysis, geometric specifications, surface visualization, standards, texture, metrology, material properties, corrosion, acid

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 MĚŘENÍ POVRCHU	12
1.1 POČÁTKY HODNOCENÍ POVRCHU	12
1.2 ROZDĚLENÍ METOD PRO MĚŘENÍ POVRCHŮ	13
1.2.1 Metody pro kontaktní měření	13
1.2.2 Metody bezkontaktní	14
1.3 STRUKTURA POVRCHU	15
1.3.1 Abbottova–Firestoneova křivka	15
1.3.2 Drsnost a značení	17
2 PŮSOBENÍ CHEMICKÉHO PROSTŘEDÍ NA JAKOST MATERIÁLU	20
2.1 KOROZE	20
2.1.1 Koroze rozdělena dle druhu prostředí	21
2.1.2 Formy koroze	21
2.1.3 Prevence	24
2.1.4 Typy opatření proti vzniku koroze	25
2.2 ODREZOVAČE	26
2.2.1 Aplikace roztoků proti korozi	26
2.3 KYSELINY	27
2.3.1 Kyselina fosforečná	27
2.3.2 Kyselina octová a citronová	28
2.3.3 Kyselina šťavelová	29
2.3.4 Kyselina chlorovodíková	30
3 EXPLORAČNÍ ANALÝZA DAT	31
3.1 POPISNÁ STATISTIKA	31
3.2 TŘÍDĚNÍ DAT	31
3.3 STATISTICKÉ UKAZATELE	32
3.4 GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ DAT	33
3.4.1 Histogram	33
3.4.2 Boxplot	34
3.4.3 Bodový graf	34
3.4.4 Q-Q graf	34
4 DIFERENCE VYHODNOCOVÁNÍ POVRCHŮ MEZI NORMAMI ISO 21920-1, ISO 21920-2 ČI ISO 25 178	35
4.1 ISO 21920-1 A ISO 21920-2	35
4.1.1 Nahrazení pravidla 16 %	35
4.1.2 Hlavní úpravy parametrů profilu	35

4.2	ISO 25178.....	36
4.2.1	Změny v normě	37
5	CÍLE PRÁCE	38
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	39
6	TESTOVANÝ MATERIÁL	40
6.1	VZORKY Z KOVOVÝCH MATERIÁLŮ	40
6.1.1	Popis testovaných materiálů.....	40
6.1.2	Konkrétní vzorky	41
7	KAPALNÉ PROSTŘEDÍ	42
7.1	CHEMICKÉ PROSTŘEDÍ PRO TESTOVANÉ VZORKY	42
7.1.1	Coca-Cola.....	42
7.1.2	Odrezovač Kittfort Forte	43
7.1.3	Odrezovač Kittfort Extra.....	44
8	PROVEDENÍ EXPERIMENTU	45
8.1	PŘÍPRAVA VZORKŮ.....	45
8.1.1	Umístění do skleněných nádob	45
8.2	VZORKY PO 4 TÝDNECH V CHEMICKÉM PROSTŘEDÍ	47
8.2.1	Vzorky ocelových součástí	48
8.2.2	Vzorky mosazného pásu	49
8.2.3	Vzorky hliníkových materiálů.....	49
8.3	HLINÍK POD DROBNOHLEDEM	50
9	VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT	54
9.1	OCEL I.....	54
9.1.1	Parametr R_a – Ocel I.....	55
9.1.2	Parametr R_t – Ocel I	56
9.1.3	Parametry R_p a R_v – Ocel I.....	57
9.2	OCEL II.....	58
9.2.1	Parametr R_a – Ocel II	60
9.2.2	Parametr R_t – Ocel II.....	61
9.2.3	Parametry R_p a R_v – Ocel II	62
9.3	OCEL III	63
9.3.1	Porovnání R_a pro prostředí Coca-Cola a Neutral	64
9.4	MOSAZ	64
9.4.1	Porovnání parametrů R_a , R_t , R_p a R_v pro mosazný vzorek.....	66
9.5	HLINÍK I.....	68
9.5.1	Porovnání Forte x Extra – R_a parametr	70
9.6	HLINÍK II.....	71
9.6.1	Drsnost povrchu a další parametry pro Hliník II	72

ZÁVĚR	75
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	76
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	80
SEZNAM OBRÁZKŮ	82
SEZNAM TABULEK.....	85

ÚVOD

V dnešní době je odolnost a spolehlivost, nejenom konstrukčních, kovových materiálů vystavených různým chemickým prostředím klíčovým faktorem v mnoha odvětvích průmyslu, jako například stavebnictví, automobilový průmysl, letectví, a jiné. Vliv chemických látek na jakost kovů je zásadní, proto se jedná o téma, které neustále získává na významu a důležitosti v souvislosti s dynamicky rostoucími technologiemi a stále se měnícími požadavky průmyslových odvětví. [1]

Jedním z předních problémů kovových materiálů je koroze, ta způsobuje degradaci, která je způsobena chemickou nebo elektrochemickou reakcí. Když dochází k procesu rezivění, kovová plocha se změní, pokryje se červeným povlakem nazývaným rez. Rez sama o sobě není samostatnou chemickou sloučeninou, ale jedná se spíše o vrstvou oxidů, hydroxidů a solí obsahujících železo (které vznikají v důsledku oxidace železa a jeho slitin, jako například ocel). [1]

Korozi lze předejít mnoha způsoby, ať už se jedná o speciální nátěry jako prevence, či antikorozi spreje. Diplomová práce se zabývá kovovými materiály, které byly ponořeny do tří druhů kapalin, téměř každý materiál byl zasažen korozi. Právě proto se jako chemické prostředí vybraly kapaliny, které obsahují ve svém složení kyselinu fosforečnou, ta, laicky řečeno, rozežírá korozi od základů. Působením času a kapalin se dosáhlo zajímavých výsledků, které je možno vidět v praktické části diplomové práce. Každý z vybraných materiálů reaguje odlišně. [2]

Pro analýzu povrchů kovových materiálů se využívá široká škála měřících zařízení, například optické mikroskopy, povrchové profilometry, laserové profilometry, interferometry, spektrofotometry. V této diplomové práci se využívá především bezkontaktního profilometru a mikroskopu. [1]

Cílem práce bylo zjistit, jak na který materiál fungují odlišné chemické prostředí za působení času. Hlavním předmětem měření byl povrch a jeho struktura, jak se v průběhu času a působení chemických kapalin změnil, která ze tří kapalin zafungovala nejlépe a který materiál byl nejvíc náchylný na změny. Následná analýza v podobě softwarových vyobrazení a nalezení, stanovení a porovnání diferencí mezi vyhodnocováním povrchů ve shodě s normami.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 MĚŘENÍ POVRCHU

Při měření povrchu hraje důležitou roli drsnost, ta představuje nesouměrnosti, jež jsou definovány jako variace ve výšce povrchu. Tyto nedokonalosti tvaru, způsobené řeznou hranou nástroje, se objevují při povrchovém zpracování materiálů. Hodnotí se i jiné typy povrchů, například ty, které bývají poškozené vnějšími či vnitřními přírodními vlivy. Tyto rozdíly se dělí na dvě hlavní kategorie, makrostrukturu a mikrostrukturu. V rámci geometrické makrostruktury jsou zahrnuty povrchové odchylky tvaru a polohy. Dále do mikrostruktury geometrické se řadí povrchová zvlnění a drsnost. [1]

1.1 Počátky hodnocení povrchu

Povrchové měření disponuje bohatou historií, počínaje od dotykových metod, kde se používaly převážně kalibry a jednoduché geometrické vzorce, například ke kontrole rovnosti povrchu, až po moderní technologie. [1, 3]

Jak šel čas, byly vyžadovány novější, rychlejší a kvalitnější zařízení a přístroje, byly vyrobeny první optické přístroje, které umožňovaly přiblížení povrchu. Mikroskopie se stala nedílnou součástí výzkumů. Vynález vůbec prvního mikroskopu je připisán holandskému vědci, Zacharias Janssen, a jeho otcí. V roce 1590 vytvořili přístroj s dvěma posuvnými rourami, které byly spojeny spojkou na každé straně. Tím spustili revoluci v mikroskopii, po nich se na zlepšování podílelo mnoho následovníků. Za zmínku stojí nepochybně i Galileo Galilei, který sestrojil první dalekohled – fungování na podobném principu, několik čoček vyskládaných za sebou, přístroj dlouhý několik loktů. Mikroskopy dostaly svůj nynější tvar a vzhled až díky italskému přírodovědci G. B. Amicimu až v první polovině devatenáctého století. [3]

Později, v druhé polovině 20. století, se objevily povrchové profilometry, ty zkoumaly drsnost povrchu, zařízení bylo obohaceno a stylus, ten sledoval povrch a generoval profil měřených těles. Během této doby byly vytvořeny normy pro popis drsnosti povrchu, včetně standardů pro parametry, jako například R_a – střední aritmetická odchylka povrchu. [1,3]

Na konci 20. století se do popředí pomalu dostávaly mikroskopy SEM, ty umožňovaly zkoumání povrchů až s rozlišením na nanometry. V tomto století byla vyvinuta i metoda XPS – rentgenová fotoelektronová spektroskopie, díky ní bylo možné analyzovat chemické složení povrchu materiálů. Z historie lze usoudit, že vývoj přístrojů pro zkoumání povrchu se dynamicky žene kupředu. [1,3]

1.2 Rozdělení metod pro měření povrchů

Existuje několik typů metod pro měření povrchů a výběr konkrétní metody často závisí na specifických vlastnostech povrchu a požadované úrovni přesnosti, to jsou nejdůležitější parametry. Mezi obvyklé typy metod patří *kontaktní metody*, jako je například mechanický kontaktní profilometr, a souřadnicové měřicí stroje (CMM) využívající kontaktní sondu pro souřadnicová měření. Široce se používají také *bezkontaktní metody*, jedná se o další typ měření, jako je optický profilometr využívající světlo pro měření výškových změn a laserové skenování pro vytváření trojrozměrných map povrchu. Elektrické metody, jako je testování vířivými proudy, a metody dálkového průzkumu, jako je LiDAR a fotogrammetrie, hrají roli při měření a mapování povrchů na dálku, ale to už k tématu práce nepatří. Každá metoda má své specifické výhody a použití v závislosti na požadavcích a vlastnostech měřeného povrchu. Při výběru metody se hledí na mnoho faktorů, jedná se převážně o složitost povrchu, přesnost, kvalitu, rychlost a v neposlední řadě cenu zařízení. [4]

1.2.1 Metody pro kontaktní měření

První metodou, která stojí za zmínku, je nepochybně *měření mechanickým kontaktním profilometrem*. Mechanický kontaktní profilometr je zařízení určené k měření profilů nebo drsnosti povrchu pomocí fyzického kontaktu se zkoumaným materiálem. Tento přístroj je vybaven tenkým citlivým hrotem nebo sondou, která přejíždí po povrchu vzorku. Stylus je navržen tak, aby se snadno přizpůsobil různým tvarům povrchu. Mezi hlavní vlastnosti mechanického kontaktního profilometru patří stylus nebo sonda připojená k měřicímu mechanismu, který zaznamenává výškové změny na povrchu. Pohyby stylusu jsou detekovány a převedeny na digitální nebo analogová data. Získané údaje o změnách výšky se obvykle zpracovávají a prezentují pomocí softwaru. Profilometr vytváří profil povrchu obsahující informace o drsnosti, tvaru a dalších charakteristikách. Mechanické kontaktní profilometry, které se běžně používají v průmyslu, při výzkumu materiálů a kontrole kvality, jsou vhodné pro měření detailů, jako jsou drážky, otvory, nerovnosti a další mikroskopické prvky na povrchu materiálu, dá se ale samozřejmě použít i na obrobené či poškozené materiály. Tato zařízení poskytují vysokou přesnost měření povrchu, což je rozhodující pro hodnocení kvality materiálů a výrobků v různých průmyslových odvětvích. Mechanické kontaktní profilometry jsou cenným nástrojem pro detailní analýzu povrchu, zejména v situacích, kdy je vyžadována vysoká přesnost a je možný přímý kontakt s povrchem. [4,5]

Další metoda, která se řadí do bezkontaktních, je *CMM, souřadnicové měřicí stroje*. Tyto stroje můžeme najít převážně v automobilovém, leteckém či kosmickém průmyslu. Lze samozřejmě pomocí CMM měřit i povrch ve špičkové kvalitě, ale používá se hlavně pro měření správných rozměrů součástí, kde nesmí chybět či přebývat žádné množství materiálu. CMM zařízení jsou vybavené pohyblivými sondami, které přejíždí po povrchu, stejně jako u mechanického kontaktního profilometru, ale sondy zároveň zaznamenávají souřadnice a body po celém tělese. Pro řízení pohybu se u těchto strojů čím dál častěji používá CNC technologie. [4,5]

1.2.2 Metody bezkontaktní

Bezkontaktní metody měření povrchů využívají techniky, které zaznamenávají informace o povrchu bez nutnosti fyzického kontaktu s měřeným objektem. Tyto metody jsou zvláště cenné v situacích, kdy je důležité zachovat celistvost povrchu nebo kdy by fyzický kontakt mohl být nepraktický. Bezkontaktní metody se široce uplatňují v různých oblastech, včetně kontroly kvality, výroby, materiálových věd a biomedicínského výzkumu. [4,6]

Jednou z běžných bezkontaktních metod je *optický profilometr*, který využívá světlo k měření topografie povrchu. Promítáním světla na povrch a analýzou odražených nebo rozptýlených světelných obrazců poskytuje optický profilometr podrobné informace o struktuře povrchu. *Laserové skenování* je další bezkontaktní metoda, která využívá laserové paprsky ke skenování povrchu a vytváření trojrozměrného zobrazení. Laserové skenery rychle měří vzdálenosti a zachycují geometrii objektu bez přímého kontaktu, takže jsou vhodné pro řadu aplikací. *Konfokální mikroskopie* je bezkontaktní technika, která využívá fokusované světlo k vytváření detailních 3D obrazů povrchů. Přesným nastavením ohniskové roviny a sběrem odraženého světla může konfokální mikroskopie zachytit povrchové rysy v různých hloubkách a poskytnout tak cenné informace o struktuře objektu. *Interferometrie* je další bezkontaktní metoda, která měří a zachycuje vlastnosti povrchu analýzou interferenčních vzorců světla. Tato technika je známá především pro svou přesnost při měření vzdáleností a drsnosti povrchu. [4,5]

Všeobecně se bezkontaktní metody vyznačují nepřímým kontaktem při měření objektu. Jedná se o metody nedestruktivní, měřený vzorek se obejde bez poškození. Důležité v situacích, kdy je potřeba zachovat integritu povrchu. To je hlavní rozdíl mezi kontaktními a bezkontaktními metodami. Bezkontaktní metody se využívají převážně v oblastech designu a vývoje, medicíny a průmyslového měření. [4]

1.3 Struktura povrchu

Jedná se o termín, který popisuje a označuje geometrické odchylky povrchu od ideálu. Vzniká v důsledku procesu zpracování materiálu, hloubky stopy po nástroji a podobně. Zahrnuje jak prohlubeniny, jako jsou rýhy a trhliny, tak vyvýšeniny, zde se jedná například o vyboulení a otřepy. Stejně jako celkové nedokonalosti povrchu – eroze, koroze. [1,3]

V rámci rozměru nerovností se dají rozřadit do tří skupin:

- *Drsnost povrchu*
- *Vlnitost povrchu*
- *Základní profil*

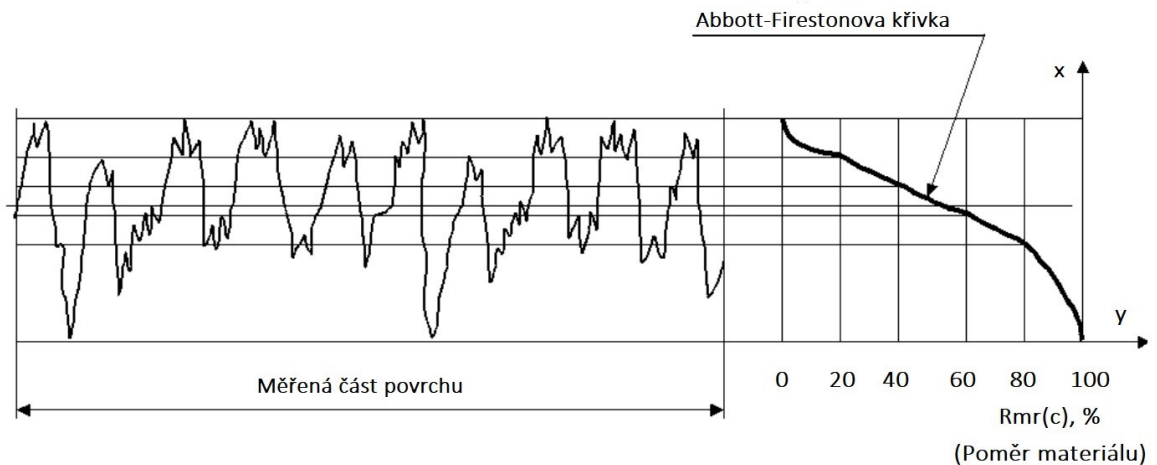
Struktura povrchu je charakterizována různými ukazateli, přičemž jedním z klíčových ukazatelů je drsnost povrchu R_a (průměrná drsnost). R_a vyjadřuje aritmetický průměr výškových odchylek mezi vrcholy a poklesy na povrchu materiálu. Materiály s nižší hodnotou R_a mají hladší povrch, zatímco materiály s vyšší hodnotou R_a jsou drsnější a vykazují více nerovností. Drsnost povrchu může ovlivnit vlastnosti materiálu, jako je mechanická odolnost, tribologické vlastnosti (tření a opotřebení) nebo schopnost udržet povlaky. Měření drsnosti povrchu R_a se provádí pomocí profilometru, který zachycuje mikroskopické výškové odchylky na povrchu a následně vypočítá průměrnou hodnotu odchylky. [1,3]

1.3.1 Abbottova–Firestoneova křivka

O metodě, která se věnovala zkoumání nerovností povrchů, se veřejnost dozvěděla již v první polovině 20. století, konkrétně v roce 1933. O objev a výzkum křivky se zasloužily dva, ve své době, uznávaní vědci. Prvním byl inženýr Ernest James Abott, druhým vědec Floyd Alburn Firestone. [8,9]

Křivka, popisující poměr materiálu v různých úrovních profilu a nerovnost povrchu. Z křivky lze vyčíst nespočet charakteristických vlastností materiálu. Jen z pouhého pohledu lze poznat, o jaký typ materiálu se jedná. Díky získaným datům z křivky lze odhadovat, porovnávat, nebo i popisovat chování měřeného materiálu. Například zdali materiál značně zadržuje těsnící či mazací přípravky, jaká technologická operace byla použita – leštění, broušení, obrábění, zda se jedná o materiál poškozený nezvratnými deformacemi. V minulosti se Abbott-Firestoneova křivka využívala převážně v situacích, kde se

vyhodnocovala data z profilu povrchu tělesa, v 2D grafické podobě. Nyní je možné, a často se používá, zkonstruování křivky i v trojrozměrné podobě. Z této vylepšené metody je možné získat výrazně vyšší množství informací. [8,9]



Obrázek 1 Abbott-Firestoneova křivka [9]

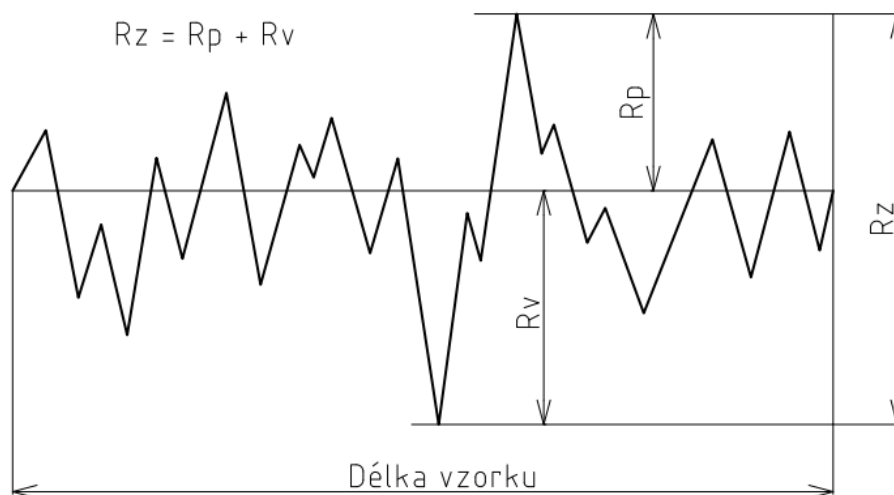
Z obr. 1 lze vidět, že poměr zastoupení materiálu na levé straně grafu se zobrazuje v procentuálním vykreslení na pravé straně. Prakticky se jedná o to, že pokud se počítají veškeré materiálem obsazené linie na levé straně, na pravé straně se ukážou v procentech. Například v grafu první dvě vodorovné čáry představují 0 a 20 % podílu materiálu v liniích. V případě s 20 % lze rozumět, že konkrétně v této části se nachází 20 % materiálu a 80 % „mezer“. Abbott-Firestoneova křivka se tedy skládá z hodnot materiálového zastoupení v daném úseku. [9]

Abbott-Firestoneova křivka je vhodnou charakteristikou pro hodnocení funkčních vlastností povrchů a jejich možného využití. Dokáže rozlišit mezi různými povrchy se stejnou hodnotou R_a nebo jinými výškovými charakteristikami. Obecně lze konstatovat, že každý typ povrchu je charakterizován průběhem Abbottovy křivky. Dnešní moderní zařízení pro měření drsnosti se správným softwarem dokáže vyhodnotit a zobrazit různé vlastnosti povrchu. Abbottovy křivky generované počítačem poskytují vizualizovanou představu o jejich celkových tvarech, ale neposkytují konkrétní hodnocení. Proto je pro hodnocení kvality nezbytná aproximace Abbottovy křivky. [9]

1.3.2 Drsnost a značení

Existuje mnoho parametrů pro měření drsnosti profilu, z nichž nejběžnější je hodnota R_a . R_a měří v rámci určité délky vzorkování aritmetický průměr vrcholů a nejnižších bodů povrchu, včetně odchylek od střední čáry. Měření drsnosti povrchu se provádí pomocí profilometru nebo i laserového skeneru. Čím větší jsou odchylky, tím je povrch drsnější, a pokud je R_a malé, je povrch hladký a plynulejší. R_a se udává v mikrometrech (μm) nebo mikroinčích ($\mu\text{in.}$). [10,11]

R_z – Průměr po sobě jdoucích nejvyšších vrcholů a nejnižších údolí. Vertikální vzdálenost mezi nejvyšším vrcholem a nejnižším údolím, vzdálenost druhého nejvyššího vrcholu a druhého nejnižšího údolí atd. Obvykle se provádí pro pět největších odchylek a poté se vypočítá průměr. [12]



Obrázek 2 Znázornění hodnoty R_z

Hodnota R_{zi} je součet výšky největší špičky a největší propadliny či hloubky v jednotlivých bodech, R_{zi} slouží k nalezení celkové hodnoty R_z . Na vzorci níže lze vidět, jak se do počítat k finální hodnotě R_z .

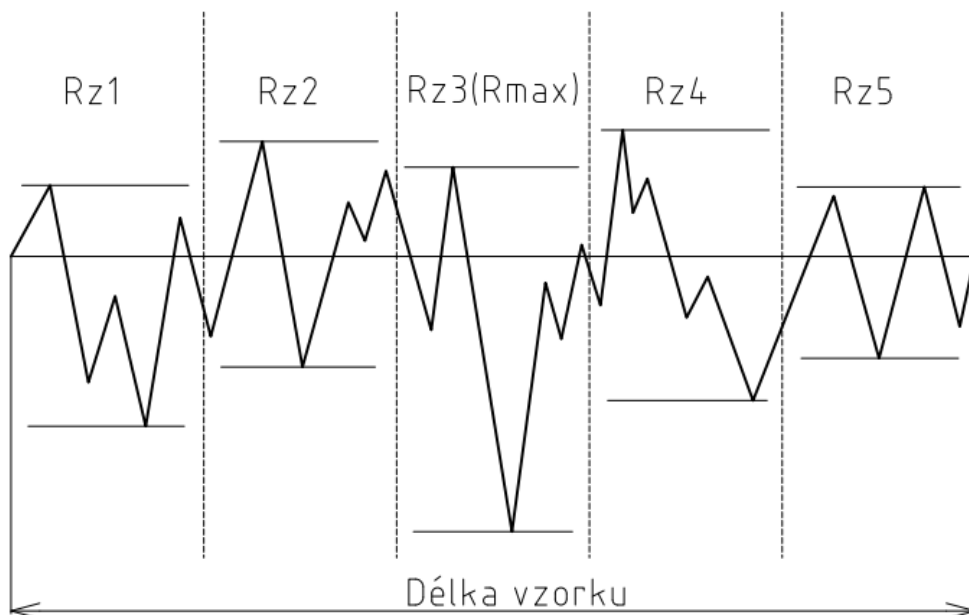
- $$R_z = \frac{1}{n} (R_{z1} + R_{z2} + \dots + R_{zn})$$

R_p – Vypočtená vzdálenost mezi nejvyšším vrcholem profilu a střední čarou v rámci délky hodnocení daného materiálu.

R_v – Opět vypočtená vzdálenost, ale tentokrát mezi nejnižší propadlinou profilu a střední čarou v rámci délky hodnocení vzorku. [12]

R_{\max} – Největší postupná odchylka mezi nejvyšším vrcholem a nejnižším propadlinou, vypočtená v rámci délky vyhodnocení.

Na měřeném povrchu na daném materiálu se vytvoří několik úseků, kde se každému úseku přiřadí R_{z_i} . Místo, kde se nachází nejvyšší hodnota při součtu R_p a R_v , se označuje zkratkou R_{\max} .



Obrázek 3 Znárodnění hodnoty R_{\max}

Dle obrázku 3 lze rozpoznat, že hodnota R_{z3} se značí také jako R_{\max} , jedná se tedy o hodnotu, která má největší hloubku na délce měřeného vzorku. Úsek povrchu s největší prohlubní či propadlinou na materiálu.

R_{mr} – Ukazatel materiálového podílu na měřené vzdálenosti povrchu. Vyjadřuje se v procentech, bývá často spojován s Abbott-Firestoneovou křivkou. Křivka se zde označuje také jako podílová křivka materiálu – udává podíl daného materiálu v závislosti na hladině řezu.

R_t – jedná se v podstatě o totožné značení jako u R_z , s tím rozdílem, že R_t se vztahuje na celou měřenou dráhu. R_z pouze na vymezený měřený úsek. Součet nejvyššího a nejnižšího bodu. [12]

Obrázek 4 Znáznornění hodnoty R_t

Značení drsnosti na povrchu materiálů má široké spektrum značení. Pro normalizované hodnoty parametrů drsnosti R_a se používají tato čísla:

- 0,012 0,025 0,05 0,1 0,2 0,4 0,8 1,6 3,2 6,3 12,5

Pro rozsáhle poškozené či hrubě obrobené povrchy se dokonce mohou využít i tyto označení s vysokými hodnotami:

- 50 100 200 225 400

Výrobky s nízkou hodnotou R_a jsou podstatně dražší než výrobky s vysokou hodnotou R_a . Například k dosažení hladkých povrchů s nízkou hodnotou R_a mohou být nutné případné další procesy, jako je broušení povrchu, a časově náročné ruční leštění každého kusu. Druhá z těchto možností vyžaduje brusné směsi, jako je páska nebo smirkový papír, a je velmi namáhavá a pomalá ve srovnání s obráběcími procesy používanými k dosažení nižších hodnot R_a . V této diplomové práci se ovšem řeší převážně povrchy, které jsou poškozené či poničené za pomoci působení kapalin a času. [11,12]

2 PŮSOBENÍ CHEMICKÉHO PROSTŘEDÍ NA JAKOST MATERIÁLU

Chemické prostředí může významně ovlivnit kvalitu materiálů, zejména kovů a jejich slitin. Tato vzájemná interakce může zahrnovat různé chemické procesy, které mohou mít jak pozitivní, tak negativní dopad na vlastnosti materiálu.

Chemické prostředí, zejména vlhkost a přítomnost agresivních chemických látek, může způsobit korozi materiálů. Korozní procesy mohou snížit mechanickou pevnost materiálu a vést k jeho degradaci. Některé materiály mohou reagovat s chemickými sloučeninami ve svém okolí, což vede ke změnám jejich struktury nebo vlastností. Například reakce s kyselinami mohou vést k rozpuštění nebo změně tvaru materiálu. Určitá chemická prostředí mohou působit jako katalyzátory specifických chemických reakcí a ovlivňovat stabilitu a strukturu materiálu. [13]

2.1 Koroze

Koroze je přirozený proces, který může významně ovlivnit integritu a životnost materiálů, především kovů. Je výsledkem chemických reakcí mezi materiálem a okolním prostředím, na nichž se obvykle podílí vlhkost a kyslík. Dopady koroze na kvalitu materiálu mohou být značné.

Nejběžnější formou koroze je rezavění, ke kterému dochází u železných kovů, jako je železo a ocel. Když jsou tyto kovy vystaveny působení kyslíku a vlhkosti, podléhají oxidaci a vytvářejí oxid železitý nebo rez. Tento proces oslabuje strukturální integritu materiálu a vede k postupnému zhoršování jeho mechanických vlastností. Koroze se může projevovat v různých prostředích, včetně mořských, industriálních a atmosférických. Faktory, jako je kyselost, slanost a přítomnost znečišťujících látek, mohou proces koroze urychlit. Ke zmírnění dopadu koroze na materiály se často používají ochranná opatření, jako jsou nátěry, inhibitory nebo použití slitin odolných proti korozi. Důsledky koroze nepřesahují pouze estetické hledisko, protože může ohrozit bezpečnost a funkčnost konstrukcí a zařízení, ale hlavně hledisko funkčnosti již dříve zmíněných konstrukčních či průmyslových materiálů. Pravidelná kontrola, údržba a použití korozi-vzdorných materiálů jsou základními strategiemi boje proti nebezpečným účinkům koroze a zajištění dlouhodobé spolehlivosti materiálů v různých aplikacích. Především v aplikacích, kde je bezpečnost nejdůležitějším parametrem pro fungování. [13]

2.1.1 Koroze rozdělena dle druhu prostředí

Korozi lze rozdělit do různých kategorií na základě prostředí, ve kterém se vyskytuje. Tři základní klasifikace zahrnují atmosférickou korozi, vodní korozi a korozi půdy.

- *Atmosférická koroze* – označuje poškozování materiálů v důsledku působení vzduchu a jeho složek. Kovy, zejména železo a ocel, jsou náchylné k atmosférické korozi, pokud jsou v kontaktu s kyslíkem a vlhkostí. Tento typ koroze je ovlivňován faktory, jako je vlhkost, teplota, znečišťující látky a přítomnost korozivních plynů ve vzduchu. Běžné metody zmírnění atmosférické koroze představují ochranné nátěry, inhibitory a správný výběr materiálu.
- *Vodní koroze* – probíhá za přítomnosti vody nebo vodných roztoků. Zahrnuje různé podkategorie, včetně bodové koroze, štěrbinové koroze, galvanické koroze a rovnoměrné koroze. Důlková koroze má za následek malé důlky na povrchu materiálu, zatímco štěrbinová koroze se vyskytuje v uzavřených prostorech nebo štěrbinách, často zhoršených stojatou vodou. Galvanická koroze vzniká při elektrickém kontaktu dvou nepodobných kovů za přítomnosti elektrolytu a rovnoměrná koroze je generalizovaná koroze, která probíhá rovnoměrně po celém povrchu materiálu.
- *Půdní koroze* – Koroze půdy zahrnuje degradaci materiálů uložených v zemi. Nejvíce korodují půdy s vysokým obsahem vlhkosti, vysokou kyselostí, vysokým obsahem rozpuštěných solí a vysokou elektrickou vodivostí. Tato forma koroze se týká zejména podzemních konstrukcí, potrubí a kovových součástí ve styku s půdou. Koroze v půdě může vést k problémům, jako je korozní praskání pod napětím a vodíková křehkost. [13]

2.1.2 Formy koroze

Koroze zahrnuje různé formy, z nichž každá má odlišné vlastnosti a mechanismy. Pro pochopení koroze jako takových je lze rozdělit do několika podkategorií:

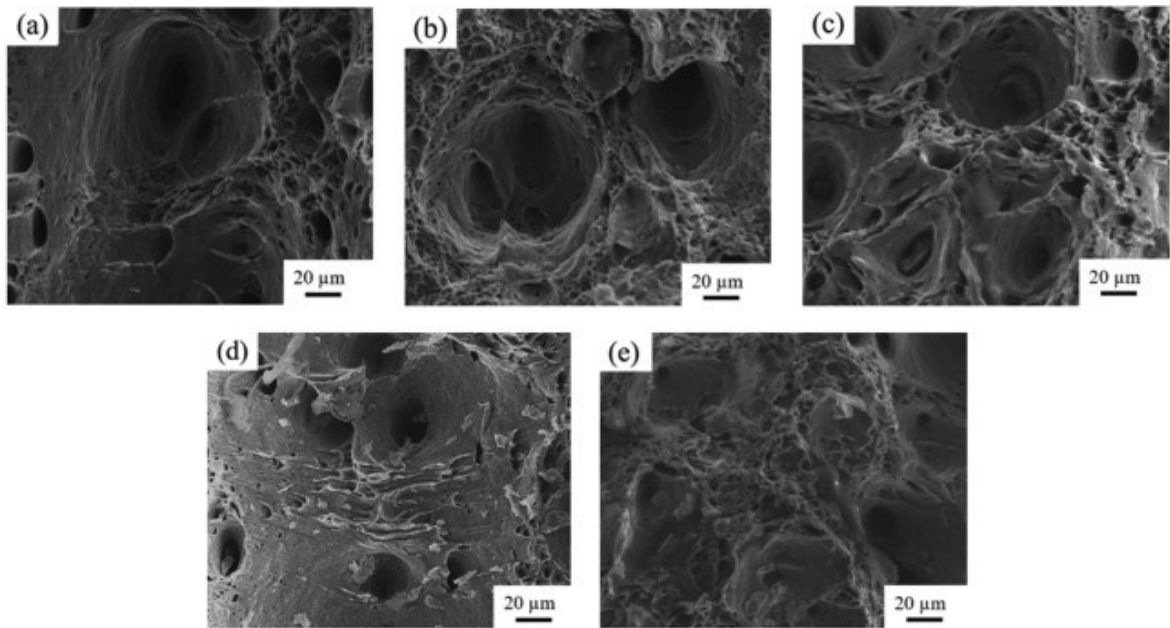
- *Základní koroze* – Jedná se o typ koroze, která více či méně rovnoměrně poškozuje povrch kovu. Lze ji také definovat jako typ koroze, která probíhá stejnou rychlostí na celé ploše. Hlavní příčinou této koroze je kyslík. Nejběžnějšími materiály, které vykazují obecnou korozi, jsou litina a ocel. Když jsou vystaveny vlhkému ovzduší, získávají vzhled podobný rzi.

- *Korozní praskání (pod napětím)* - Jev, který zajímá celou řadu výzkumníků kovů. Pokud k němu dojde v provozních podmínkách, často bez jakýchkoli předchozích náznaků bránících kolapsu, může být jeho účinek katastrofální. Jedná se o typ koroze, která je důsledkem napětí působícího na materiál (přítomný původně v inertním prostředí), a tím vede ke vzniku trhliny v korozním prostředí. Může být urychlena buď zbytkovým vnitřním napětím v kovu, nebo vnějším napětím. Většinou k ní dochází při vysokých teplotách. Je častější u slitin než u kovů. Může vzniknout pouze tehdy, jsou-li splněny následující tři faktory: Přítomnost náchylného materiálu, vystavení koroznímu prostředí a vystavení tahovému namáhání. [14]



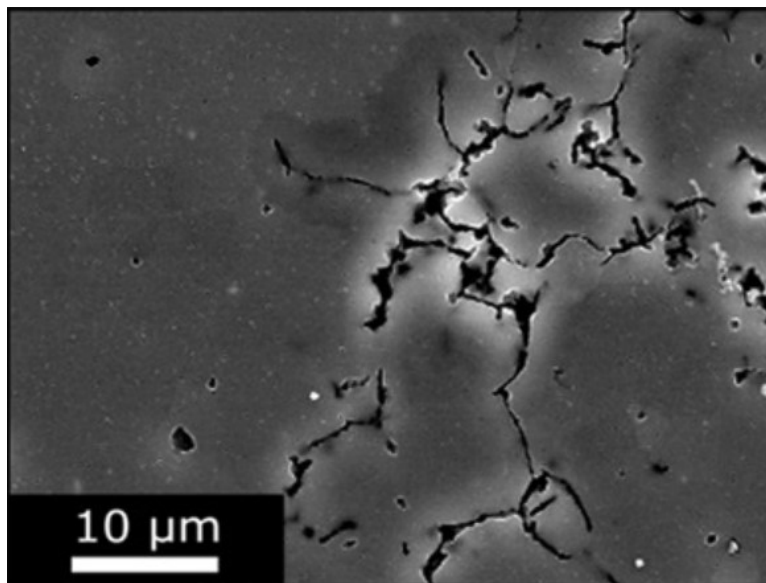
Obrázek 5 Korozní praskání [15]

- *Lokální koroze* – Liší se od základní koroze především v lokalitě působení, základní koroze působí relativně na větší ploše. K této korozi dochází, když malé oblasti kovového povrchu korodují mnohem snadněji než celek v korozním prostředí. Tyto malé oblasti jsou z povrchu kovu částečně zkorodovány v důsledku přítomnosti korozního prostředí vyšší rychlostí. Oblast s omezeným přísunem kyslíku se stává anodou, zatímco druhá oblast s plným přísunem se stává katodou. Dále se dělí na dva typy: důlková koroze a štěrbinová koroze.
 - *Důlková koroze* – Tento typ koroze se zpočátku vyskytuje na relativně malé ploše materiálu. Po určité době se tato oblast zvětší a prohloubí, čímž se na povrchu vytvoří důlky. Oblast pokrytá nečistotami nebo vodou má nižší koncentraci kyslíku, takže se chová jako anoda, zatímco druhá oblast se chová jako katoda. Obvykle se vyskytuje u pasivních materiálů. Přítomnost nerovnoměrností přispívá ke vzniku této koroze. [14]



Obrázek 6 Důlková koroze [16]

- *Štěrbínová koroze* – Je jedním z hlavních praktických problémů, zejména v námořních oblastech. Postihuje především korozivzdorné oceli. Přítomnost chloridů zvyšuje obtíže při manipulaci se štěrbinovou korozí. Jedná se o korozi v omezeném prostoru, ke které je přístup pracovní kapaliny z korozního prostředí do prostoru (štěrbiny) nedostatečný. Oblast spár má ve srovnání s vnější oblastí relativně nižší obsah kyslíku, takže oblast spár působí jako anoda, zatímco vnější oblast jako katoda. Tato koroze je nastartována koncentračními gradienty. Koroze začíná seskupením chloridových iontů uvnitř štěrbin. Probíhá při relativně nižší teplotě než důlková koroze.
- *Mezikrystalová koroze* – Mikrostruktura kovů a slitin je tvořena zrn, která jsou od sebe oddělena hranicemi zrn. Mezikrystalová koroze je lokalizované napadení podél hranic zrn nebo v jejich bezprostřední blízkosti, zatímco většina zrn zůstává z velké části nezasázena. Tato forma koroze je obvykle spojena s chemickými segregančními efekty (nečistoty mají tendenci se obohacovat na hranicích zrn) nebo specifickými fázemi vysráženými na hranicích zrn. Takové srážení může v blízkosti vytvářet zóny se sníženou korozní odolností.[14]



Obrázek 7 Mezikrystalová koroze [17]

- Galvanická koroze – Podle elektrochemie probíhá galvanická korozní reakce v diskrétních částech kovového povrchu, a to v anodické a katodické části. Přednostní koroze jednoho kovu (v přítomnosti vhodného elektrolytu) před druhým, pokud jsou oba v elektrickém kontaktu, se nazývá galvanická koroze. Jedná se o elektrochemický jev dvou nepodobných kovů elektricky spojených a umístěných ve vhodném elektrolytu. Kov na katodě je chráněn, zatímco kov na anodě koroduje. Galvanickou korozi vykazují pouze nepodobné kovy. Méně reaktivní kov je přiřazen jako katoda, zatímco druhý je přiřazen jako anoda. Rychlost galvanické koroze je přímo úměrná rozdílu potenciálů mezi oběma kovy. [14]

2.1.3 Prevence

Před úpravou jakýchkoli ochranných opatření by měl být povrch kovu řádně očištěn. Jednou z nejrozšířenějších metod předběžné úpravy je odmašťování. Těkavé organické rozpouštědlo, jako je trichlorethylen, pomáhá rozpouštět mastné i mastné povrchové vrstvy. Další opatřením může být moření v kyselině. Oleje a mastnotu lze z povrchu odstranit také omytím alkalickým roztokem. Další metodou čištění je použití plamene z petrolejového hořáku. Starý nátěr, olej a mastnota se odstraní díky náhlé expanzi kovů.

Po těchto úpravách je materiál připravený na použití konkrétních metod používaných jako prevence před vznikem koroze. [14]

2.1.4 Typy opatření proti vzniku koroze

Obětní metoda – Znamená ochranu kovu pokrytím jeho povrchu vrstvou jiného kovu, který je aktivnější nebo elektropozitivnější než kov prvotní. Povrch kovu, který je aktivnější, ztrácí elektrony přednostně před povrchem druhého kovu a ztrácením elektronů se převádí do iontového stavu. Postupem času se aktivnější kov plně spotřebovává, ale jen do doby, než je v něm přítomen.

Katodická ochrana – Jedná se o široce používanou metodu prevence koroze. Většinou se používá k zabránění rezavění potrubí. Provádí se dodáváním elektrického proudu do potrubí (které má být chráněno) z vnějšího zdroje. Železný předmět, který má být chráněn, je spojen s aktivnějším kovem. Železný předmět se stává katodou, zatímco kov použitý k ochraně se stává anodou. V důsledku oxidace se anoda pomalu vyčerpává na své ionty v důsledku ztráty elektronů.

Bariérová ochrana – Kovový povrch může být opatřen nátěrem na ochranu proti korozi. Většina těchto povlaků funguje jako bariéra mezi kovovým povrchem a korozním prostředím, a proto se tato metoda nazývá bariérová ochrana. Jedná se o jednu z nejjednodušších metod prevence koroze. Při této metodě se mezi kovový povrch a atmosféru umístí vhodná bariéra. Kovový povrch tak zůstává chráněn před působením vzduchu, vody a oxidu uhličitého a nekoroduje.

Pro aplikaci bariérové ochrany lze použít tyto metody:

- Nanesení barev či olejů
- Pokrytí kovového povrchu nekorodujícími kovy
- Pokrytí kovového povrchu chemickými látkami

Galvanické pokovování – Jedná se o metodu nanášení povlaku jednoho kovu na druhý průchodem elektrického proudu roztokem. Používá se k mnoha účelům, například jako dekorace, zlepšení vzhledu či ochrana. Chromování lze použít k pokovení disků kol vozidel, plynových hořáků, aby odolaly korozi. Niklování se používá k dekorativním účelům a také na různé strojní součásti. [14]

2.2 Odrezovače

Odrezovače hrají klíčovou roli při řešení problému rzi, která se běžně vyskytuje na kovových površích v důsledku působení vlhkosti a kyslíku. Tyto roztoky jsou speciálně vyvinuty tak, aby rozpouštěly a odstraňovaly rez a navracely kovové předměty do původního stavu. Jeden z převládajících typů odstraňovačů rzi obsahuje kyselé složky, například kyselinu fosforečnou nebo šťavelovou, které účinně rozkládají rez tím, že ji chemicky přeměňují na sloučeninu rozpustnou ve vodě.

2.2.1 Aplikace roztoků proti korozi

Obvykle se aplikují tyto roztoky kartáčováním nebo namáčením zrezivělého povrchu, čímž se umožní přípravku na odstranění koroze proniknout do rzi a uvolnit ji.

Při použití odstraňovačů rzi na poškozené kovy se postupuje v několika základních krocích. Začíná se přípravou kovového povrchu, jeho očištěním jemným čisticím prostředkem nebo odmašťovacím roztokem, aby se odstranily nečistoty a kontaminanty. Na zatvrdlých místech může být nutné použít drátěný kartáč nebo smirkový papír k lehkému obroušení povrchu, čímž se zajistí lepší kontakt s odstraňovačem rzi.

- *Bezpečnost* – Zásadní je upřednostnění bezpečnosti, což vede k tomu, aby pracovník používal vhodné ochranné prostředky včetně rukavic a ochranných brýlí, které ho ochrání před případným postříkáním nebo kontaktem.

Správný odstraňovač rzi se vybírá na základě typu kovu a závažnosti rzi, přičemž se zvažují roztoky na bázi kyselin, jak již bylo zmíněno – kyselina fosforečná nebo šťavelová, nebo ekologicky šetrné alternativy. Kromě odstraňovačů rzi na bázi kyselin existují také ekologické alternativy, které využívají přírodní kyseliny, jako je kyselina citronová. Tyto alternativy jsou méně korozivní a mají minimální dopad na životní prostředí, přičemž se stále osvědčují při odstraňování rzi. Některé odstraňovače rzi se dodávají ve formě gelu, který zajišťuje lepší přilnavost ke svislým povrchům, zatímco jiné jsou k dispozici v tekuté formě pro snadnou aplikaci na větší plochy. [18]

Odstraňovač rzi se nanáší štětcem, houbou nebo hadříkem podle pokynů výrobce. U menších předmětů je vhodnou metodou ponoření do nádoby naplněné roztokem odstraňovače rzi, zatímco na svislých plochách se osvědčují odstraňovače rzi na bázi gelu.

Pro usnadnění chemického rozkladu rzi je rozhodující nechat odstraňovač rzi působit na kovový povrch po doporučenou dobu. V případě potřeby lze jemně drhnout zrezivělá místa

kartáčem nebo brusnou podložkou, aby uvolněnou rez odstranila a umožnila dál působit. Dalším krokem je důkladné opláchnutí ošetřeného kovového povrchu čistou vodou, čímž se odstraní odstraňovač rzi a veškeré zbytky.

Správná likvidace zbytků odstraňovače rzi a odpadu se řídí předpisy platnými v dané lokalitě a zohledňuje dopad na životní prostředí a bezpečnost. [18]

2.3 Kyseliny

Korozi, která je běžným faktorem degradace kovů vlivem okolních prostředí, jako je kyslík a vlhkost, lze efektivně řešit použitím různých kyselin. Jednou z takových slabších kyselin je kyselina octová, běžně obsažená v octu, která je známá svou schopností rozpouštět určité typy koroze. Podobně kyselina citronová, získávaná z citrusů, slouží jako další mírnější, ale účinná možnost odstranění koroze. Kyselina fosforečná se často používá v přípravcích na odstraňování rzi, protože nejenže odstraňuje rez, ale také přeměňuje oxid železitý na více stabilní sloučeninu, která poskytuje ochranný povlak. Kyselina šťavelová, obsažená v některých produktech na odstraňování rzi, je známá svou účinností při odstraňování forem koroze. Kyselina chlorovodíková je sice silnou variantou pro řešení těžké koroze, ale její žíravá povaha vyžaduje opatrné zacházení a dodržování bezpečnostních protokolů.

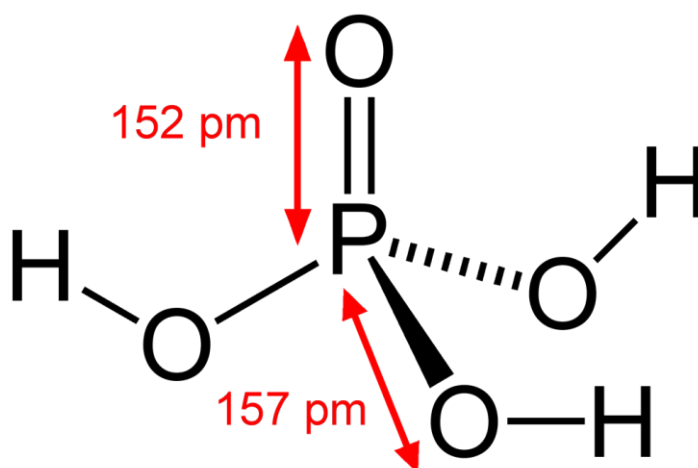
2.3.1 Kyselina fosforečná

Kyselina fosforečná je čirá bezbarvá kapalina nebo průhledná krystalická pevná látka. Čistá pevná látka taje při 42,35 °C a má hustotu 1,834 g/cm³. Kapalina je obvykle 85% vodný roztok. Dodává se jako pevná látka i jako kapalina. Extrémně žíravá pro kovy, a dokonce i tkáň, proto je nutné být při zacházení s touto kyselinou obezřetný. Kyselina fosforečná je nekorozivní a netoxická kyselina, která je bezpečná a levná. Jedná se o fosforovou oxokyselinu, která se skládá z jedné oxo a tří hydroxy skupin kovalentně spojených s centrálním atomem fosforu. Má význam jako rozpouštědlo, lidský metabolit, metabolit řas a hnojivo. Je to konjugovaná kyselina dihydrogenfosforečnanu a fosforečnanového iontu.

Účinek proti rzi – Kyselina fosforečná je definitivně nápomocná při odstraňování povrchové rzi ze železných kovů a poskytuje určitou ochranu proti následnému opětovnému rezivění. Vyskytuje se ve většině přípravků – odrezovačů. Hlavně pro své specifické vlastnosti, kdy, dá se říci, rozežírání korozi. Zároveň poskytuje objektu poškozenému korozí ochranou vrstvou, která zabraňuje tvorbě koroze. [19]

Výskyt – Tmavě zbarvené nealkoholické nápoje jsou jedním z největších zdrojů kyseliny fosforečné v americké stravě. Cola, Pepsi a mnoho dalších tmavých nealkoholických nápojů používají kyselinu fosforečnou pro svou ostrou chuť a prodloužení trvanlivosti.

Kyselina fosforečná se přirozeně vyskytuje také v mnoha druzích ovoce a jejich šťávách. Kromě samotného použití kyseliny fosforečné je největší spotřeba kyseliny fosforečné při výrobě fosforečnanových solí. [19]

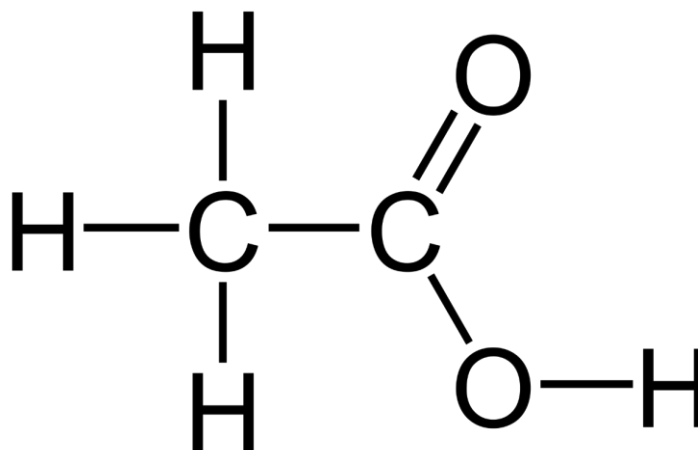


Obrázek 8 Chemický vzorec kyseliny fosforečné [20]

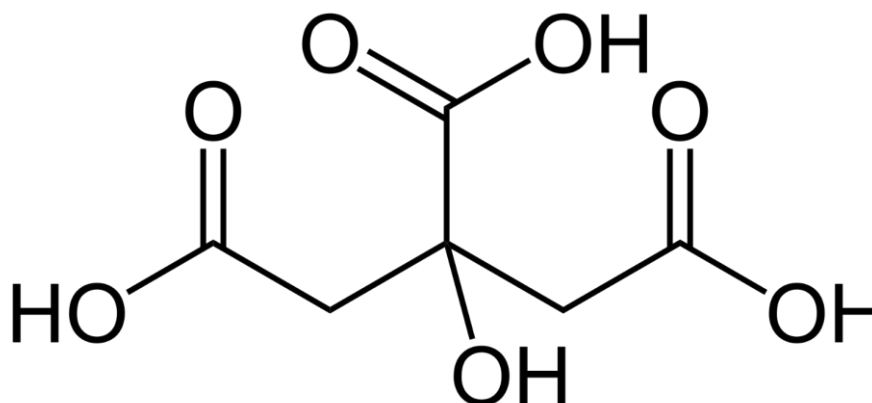
2.3.2 Kyselina octová a citronová

Jedná se o typy kyselin, které také hrají roli v zabránění či odstranění koroze. Oproti ostatním kyselinám, které byly již dříve zmíněny, působí tyto dvě proti korozi s nejslabším efektem.

Účinek proti korozi – Kyselina citronová, nacházející se přirozeně v citrusových plodech, má mírně kyselý charakter a může sloužit jako slabé chelatační činidlo, vážící kovové ionty a tvořící stabilní komplexy, což může bránit tvorbě koroze. Kyselina octová, používaná v potravinářství a domácnostech, má antiseptické vlastnosti, které mohou předejít růstu mikroorganismů. Přičemž její slabé chelatační vlastnosti mohou také přispět ke snížení koroze. Nicméně pro průmyslové a kritické aplikace (odstranění koroze) jsou vhodnější specializované inhibitory koroze, které jsou navrženy specificky k poskytnutí účinné ochrany proti korozním procesům. [21,22]



Obrázek 9 Chemický vzorec kyseliny octové [23]



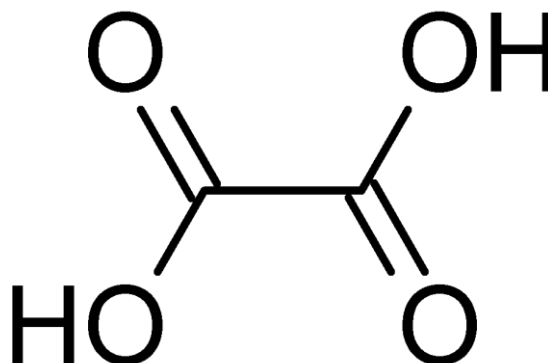
Obrázek 10 Chemický vzorec kyseliny citronové [24]

2.3.3 Kyselina šťavelová

Kyselina šťavelová je přirozeně se vyskytující sloučenina, která se nachází v různých rostlinách a zelenině, jako je špenát, rebarbora a červená řepa.

Účinek proti rzi – Z hlediska reaktivity proti korozi vykazuje kyselina šťavelová chelatační vlastnosti a vytváří stabilní komplexy s ionty kovů. Díky této vlastnosti je schopna inhibovat korozi tím, že se váže na kovové povrchy a zabraňuje tvorbě korozivních sloučenin. Primárně se ale využívá jiných kyselin či prostředků, které bojují s korozi s vyšší účinností – například již zmíněná kyselina fosforečná. Nicméně je možné kyselinu šťavelou nalézt v mnoha přípravcích. Jelikož se jedná o kyselinu, která je nebezpečná člověku, musí se dbát na opatrné zacházení.

Použití – Mimo boj s korozi lze využít kyselinu šťavelovou například jako rozpouštědlo vodního kamene nebo jako přípravek na odšedování a čištění. [25]



Obrázek 11 Chemický vzorec kyseliny šťavelové [26]

2.3.4 Kyselina chlorovodíková

Kyselina chlorovodíková je vodný roztok plynného chlorovodíku a hlavní složka žaludeční kyseliny, která se přirozeně tvoří v lidském žaludku a pomáhá trávit potravu. Kyselina chlorovodíková se vyrábí synteticky pro různé průmyslové a komerční účely.

Zacházení s kyselinou – S kyselinou chlorovodíkovou je nutné zacházet opatrně vzhledem k žíravé povaze, která představuje riziko pro oči, kůži a sliznice. Krátkodobá expozice při vdechování může mít za následek podráždění a zánět očí, nosu a dýchacích cest. To může vést k plicnímu edému. Požití kyseliny chlorovodíkové může způsobit poleptání sliznic, jícnu a žaludku, zatímco kontakt s kůží může vést k těžkým popáleninám, vředům a jizvám.

Účinek proti rzi – Kyselina chlorovodíková bojuje proti korozi procesem známým jako moření nebo čištění kyselinou, kdy reaguje s oxidy kovů za vzniku rozpustných chloridů kovů. Tato reakce usnadňuje rozpouštění korozních procesů. Vzniklé rozpouštěné chloridy kovů lze snadno smýt, čímž se z povrchu kovu účinně odstraní rez. [27]

3 EXPLORAČNÍ ANALÝZA DAT

Explorační (neboli průzkumná) analýza dat je zásadní fází procesu analýzy dat, v níž je hlavní důraz kladen na shrnutí a vizualizaci hlavních charakteristik souboru dat. Cílem metodiky EDA je získat poznatky, objevit souvislosti a identifikovat vztahy v datech. Často se jedná o jeden z počátečních kroků datových analytiků předtím, než se vrhnou na pokročilejší modelování nebo testování hypotéz.

3.1 Popisná statistika

Popisná statistika je statistický obor, který se zabývá shrnutím, uspořádáním a prezentací dat smysluplným a stručným způsobem. Hlavní význam spočívá v popisu a analýze základních rysů a charakteristik souboru dat, přičemž se zdržuje širších zobecnění nebo závěrů.

Vyšetření dat probíhá kvantitativně i kvalitativně, vyjádřeno především popisem číselným. Z tohoto typu statistiky se poté vyčlení další dílčí statistické disciplíny. Například matematická statistika, nejvýznamnější, založena na teorii pravděpodobnosti. [28]

3.2 Třídění dat

Data se třídí z důvodu zpřehlednění souboru, snížení numerické náročnosti či zjištění empirického rozdělení statistického souboru

Podle počtu znaků:

- 1 třídící znak – Rozdělení statistického souboru například podle pohlaví, na muže a ženy, třídícím znakem se tedy stává pohlaví. Využívá se především při zjišťování charakteristik populace.
- Vícestupňové dělení – Při analýze dat se dbá na několik různých faktorů, jednoduchým příkladem mohou být lidské charakteristiky. Může se jednat o rozdělení podle výšky, váhy, pohlaví, a jiné.

Podle typu třídění:

- Prosté – malý počet různých znaků
- Intervalové – vysoký počet různých hodnot

Data spojitá – Mohou nabývat jakýchkoliv hodnot v určitém rozmezí, může se jednat například o výšku, váhu, délku časového období. Spojitá data jsou tedy typem kvantitativních dat, která představují přesné měření téměř libovolné číselné hodnoty. Spojitá datová proměnná má často mnoho desetinných míst, protože jde o přesné měření mezi dvěma definovanými body. Spojitá data se mohou v průběhu času měnit, což například společnostem umožňuje analyzovat jejich činnost a předvídat budoucí trendy. Podnik může například sledovat dobu, kterou tým potřebuje k dokončení projektů.

Data diskrétní – Diskrétní data jsou taková, která mohou nabývat pouze spočetně mnoha hodnot. V číselné reprezentaci jsou tato data znázorněna na reálné ose prostřednictvím oddělených bodů. Příklady diskrétních dat zahrnují například počet krevních buněk v 1 ml krve, počet králíků v králíkárně, počet hospitalizací pro srdeční slabost, počet krvácivých epizod za rok u pacienta s hemofilií nebo počet dětí v rodině. [28]

3.3 Statistické ukazatele

Statistické ukazatele slouží k poskytnutí kvantitativních informací o různých aspektech datových souborů. Tyto ukazatele mají mnoho účelů a mohou být využity v různých fázích analýzy dat. Zde je několik důležitých datových ukazatelů:

Medián – Hodnota, která rozděluje uspořádaný seznam dat na dvě stejně velké části. To znamená, že polovina hodnot je menší než medián, a polovina hodnot je větší. Pro výpočet mediánu je třeba nejprve seřadit data a pak určit střední hodnotu. Pokud je počet dat sudý, medián je průměrem dvou středních hodnot.

Průměr – Aritmetický průměr je součet všech hodnot v sadě dělený počtem hodnot. Je to běžný způsob reprezentace "střední hodnoty" dat. Průměr (\bar{x}) se vypočítá jako součet všech hodnot ($\sum x$) dělený počtem hodnot (n): $\bar{x} = \sum x / n$.

Směrodatná odchylka – Měří, jak moc jsou hodnoty v sadě rozptýleny kolem průměru. Vyšší hodnota směrodatné odchylky značí větší rozptyl. Směrodatná odchylka (σ nebo s) se vypočítá jako odmocnina z variačního čísla. Variance (s^2 nebo σ^2) se získá výpočtem průměrného druhého mocniny odchylek od průměru.

Variační koeficient – Variační koeficient je poměr směrodatné odchylky k průměru, normalizovaný ukazatel variability. Umožňuje porovnávat variability mezi různými datovými soubory bez ohledu na jejich škálu.

Modus – Hodnota nebo hodnoty v datovém souboru, které se vyskytují nejčastěji. Modus je užitečný zejména pro kategoriální nebo nominální data. Například v distribuci známek může být modus známka, kterou studenti dosahují nejčastěji.

Percentil – Percentily jsou hodnoty, pod kterými padá určený procentní podíl dat. Pomáhají identifikovat relativní polohu konkrétní hodnoty v celkovém distribučním spektru. Například 25. percentil znamená, že 25 % hodnot je menších než tato hodnota.

Kvartil – Kvartily jsou hodnoty, které rozdělují uspořádaný soubor dat na čtyři části. První kvartil (Q1) je hodnota pod kterou padá první čtvrtina dat, medián je druhý kvartil (Q2), a třetí kvartil (Q3) je hodnota pod kterou padá první třetina dat. Interkvartilový rozsah je rozdíl mezi Q3 a Q1.

Korelace – Měří sílu a směr lineárního vztahu mezi dvěma kvantitativními proměnnými. Poskytuje informace o tom, jak dvě proměnné spolu souvisí. Hodnota korelačního koeficientu se pohybuje od -1 do 1, přičemž -1 znamená perfektní negativní korelaci, 1 perfektní pozitivní korelaci a 0 žádnou korelaci.

Regresní analýza – Modeluje vztah mezi závislou proměnnou a jednou nebo více nezávislými proměnnými. Umožňuje předpovídat hodnoty závislé proměnné na základě hodnot nezávislých proměnných. To je užitečné při identifikaci trendů a predikci budoucích hodnot. [28]

3.4 Grafické znázornění dat

Grafické znázornění dat je důležitou součástí statistické analýzy, protože umožňuje vizuálně identifikovat vzory, rozložení a vlastnosti dat. [28]

3.4.1 Histogram

Histogram je statistické grafické zobrazení, které znázorňuje rozložení spojitého souboru dat pomocí vnesených sloupců, z nichž každý představuje určitou kategorii nebo interval třídy. Výška sloupce odráží četnost nebo počet datových bodů v každé skupině. Histogramy v podstatě odhalují vzorce, trendy a poznatky skryté v neuspořádaných, nezpracovaných datech – zobrazují uspořádaný obraz, který umožňuje mnohem snadnější a efektivnější interpretaci a analýzu. Kromě toho histogramy slouží jako odrazový můstek pro složitější statistické koncepty a metody.

3.4.2 Boxplot

Grafické znázornění pěti hlavních statistických charakteristik dat: minimální hodnota, první kvartil (Q1), medián (Q2), třetí kvartil (Q3) a maximální hodnota. Pomáhá identifikovat odchylky, vybočení a rozptyl dat.

Graf, který se používá při zobrazení rozložení datových bodů v rámci vybraného měření. Tyto grafy zobrazují rozsahy v rámci měřených proměnných. Zahrnují odlehlé hodnoty, medián, modus a místo, kde leží většina datových bodů v "boxu".

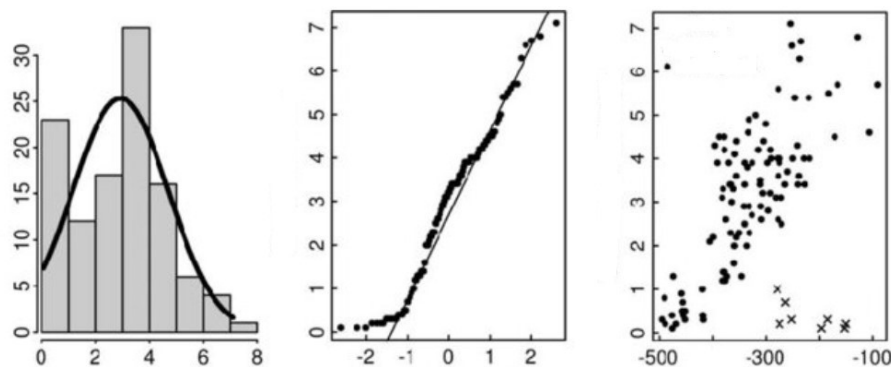
3.4.3 Bodový graf

Bodové grafy vizuálně znázorňují korelaci mezi dvěma proměnnými v rámci souboru dat. Zobrazují datové body ve dvourozměrné rovině nebo kartézské soustavě, kde nezávislá proměnná nebo atribut je vynesena podél osy X a závislá proměnná je vynesena podél osy Y.

Nejčastějším použitím grafu rozptylu je zobrazení vztahu mezi dvěma proměnnými a pozorování povahy tohoto vztahu. Pozorované vztahy mohou být buď kladné, nebo záporné, nelineární, nebo lineární a silné, nebo slabé.

3.4.4 Q-Q graf

Grafická metoda pro určení, zda dva soubory dat pocházejí z množin se společným rozdělením. Graf kvantilů prvního souboru dat proti kvantilům druhého souboru dat. Kvantilem rozumíme podíl (nebo procento) bodů pod danou hodnotou. To znamená, že kvantil 0,3 (nebo 30 %) je bod, ve kterém 30 % procent dat spadá pod danou hodnotu a 70 % nad ni. Mezi výhody Q-Q grafu rozhodně patří, že data nemusí být stejná a lze testovat mnoho aspektů současně. [28]



Obrázek 12 Histogram, Q-Q graf, bodový graf [29]

4 DIFERENCE VYHODNOCOVÁNÍ POVRCHŮ MEZI NORMAMI ISO 21920-1, ISO 21920-2 ČI ISO 25 178

Normy ISO (Mezinárodní organizace pro normalizaci) slouží k nastavení standardů pro produkty, služby a systémy s cílem zajištění kvality, bezpečnosti a účinnosti.

Normy ISO 21920-1, ISO 21920-2, ISO 25 178 popisují systém klasifikace metod používaných především pro měření textury povrchu.

4.1 ISO 21920-1 a ISO 21920-2

Tato norma stanoví pravidla pro označování textury povrchu profilovými metodami v technické dokumentaci výrobku pomocí grafických symbolů. [30]

Profilová norma ISO 21920-1 se skládá ze 3 částí:

- *První část* – tato norma v podstatě obsahuje normu ISO 1302 s některými doplňky pocházejícími z normy ISO 1101 a dalších specifikačních dokumentů.
- *Druhá část* – zahrnuje všechny parametry stávajících profilových norem a přidává nové, buď staré parametry, které byly vyřazeny, nebo parametry převzaté z normy ISO 25178, například parametr P_{vv} bude udávat objem dutin v údolích na primárním profilu.
- *Třetí část* – poskytuje výchozí specifikační hodnoty, které lze na výkrese vynechat, jako jsou jednotky, index vnoření, typ filtru atd.

4.1.1 Nahrazení pravidla 16 %

Další důležitá změna se týká pravidla 16 % definovaného v normě ISO 4288, které je poměrně složité. Pravidlo 16 % v normě ISO 21920-1 již není výchozím pravidlem. V případě potřeby jej lze nahradit zadáním více měření a nastavením tolerance statistického parametru. Jinak jsou tolerance a specifikace ověřovány s ohledem na jediné měření. [31,32]

4.1.2 Hlavní úpravy parametrů profilu

Všechny parametry jsou nyní definovány na délce vyhodnocení měřeného vzorku a nejsou již průměrovány (s výjimkou parametrů od vrcholu k nejnižším bodům – propadlinám).

- *Výškové parametry* – Tyto parametry (R_a , R_q , R_{sk} , R_{ku} , R_t) se v této normě nemění. Některé parametry, které byly dříve klasifikovány jako výškové parametry (R_p , R_v), jsou nyní klasifikovány jako parametry od vrcholu k údolí či propadlině.
- *Prostorové parametry* – Zde jsou definovány pouze dva parametry: R_{al} , autokorelační délka, převzatá z plošného parametru S_{al} , a R_{sw} , dominantní prostorová vlnová délka. Parametr R_{Sm} , dříve klasifikovaný jako prostorový parametr, je zde parametrem prvků.
- *Hybridní parametry* – R_{dq} , střední kvadratický gradient, se nemění. Je však přidán nový parametr R_{da} , aritmetický střední gradient (byl v ISO 4287 z roku 1984). Parametr, R_{dt} , udává maximální absolutní hodnotu gradientů. Parametry, R_{dl} a R_{dr} , udávají rozvinutou délku profilu (v mm), resp. poměr rozvinuté délky (v %).
- *Parametry poměru materiálu* – R_{mr} a R_{dc} se nemění. Nový parametr R_{mc} je definován jako inverzní k R_{mr} , stejně jako byl na plochách definován plošný parametr S_{mc} . Ve zdejším návrhu je však chybně uveden jako R_c . Další parametr, R_{mrr} , je definován jako R_{mr} s jiným odkazem.
- *Funkční parametry, R_k* – Parametry R_k , R_{pk} a R_{vk} se nemění. Jsou přidány nové parametry, R_{pkx} a R_{vqx} , ze staré normy DIN 4776 R_{pk*} a R_{vk*} . Parametry R_{mr1} a R_{mr2} jsou přejmenovány na R_{mrk1} a R_{mrk2} . Parametry R_{pq} , R_{vq} a R_{mq} z normy předchozí ISO 13565-3 se nemění.
- *Parametry objemu* – Parametry objemu materiálu a objemu prázdného prostoru z předešlé normy ISO 25178-2 jsou zde k dispozici na profilech: R_{vm} , R_{vmp} , R_{vmc} , R_{vv} , R_{vvc} , R_{vvv} . [31,32]

4.2 ISO 25178

Tato norma specifikuje termíny, definice a parametry pro stanovení textury povrchu plošnými metodami. Norma ISO 25178-2, vydaná v roce 2012, byla důležitým milníkem ve výzkumu textury povrchu. Norma ISO poprvé definovala soubor plošných parametrů textury povrchu. To byl významný pokrok ve srovnání s klasickou profilometrií. [33]

4.2.1 Změny v normě

Parametry funkce – Jedna z důležitých změn, kterou tato revize přinesla, se nachází v jedné z kapitol, kde byla opravena definice otevřených a uzavřených prvků. S předchozí definicí nebylo možné tyto pojmy správně implementovat a používat.

Vylepšený text pro lepší přehlednost – Revidovaný text normy byl vylepšen a sjednocen s normou ISO 21920 pro profily, aby byly pojmy oběma normám definovány stejným způsobem. Kapitola o fraktálních parametrech byla pro přehlednost přepsána a některé parametry byly rovněž přejmenovány pro zajištění souladu s ostatními parametry pole. [33]

5 CÍLE PRÁCE

Cílem diplomové práce, zaměřené na působení chemického prostředí na jakost kovových materiálů, je zpracovat několik kritérií.

Z teoretické části se jedná o literární rešerši k celkové problematice ohledně hodnocení povrchů materiálů.

Dále statistické nalezení a stanovení diferencí mezi vyhodnocováním povrchu ve shodě s ISO 21920-1, ISO 21920-2 nebo ISO 25178.

Část teoretická se zabývá provedením průzkumové analýzy poškozených povrchů s využitím bezkontaktního profilometru.

Měřená data bylo potřeba zpracovat a vyhodnotit v odpovídajících softwarech, především v softwaru MiniTab. Ten byl velmi nápomocný při grafické i deskriptivní analýze a vyobrazení dat.

Na základě vyhodnocených dat bylo zapotřebí provést komparaci naměřených dat, aby došlo k získání konkrétních výsledků.

Materiály byly mezi sebou porovnávány. U konkrétních testovacích vzorků byly zjišťovány hodnoty drsnosti povrchu. Vlivem působení chemického prostředí se měnila drsnost i celkový vzhled povrchu.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 TESTOVANÝ MATERIÁL

Materiál se vybíral podle stáří a vzhledu, primárně vyhledávány ty materiály, které vykazovaly nejrozsáhlejší vnější poškození.

Pro dostatečnou reakci prostředí na testované vzorky byly vybrány kapaliny s obsahem kyseliny fosforečné, tedy Coca-Cola a dva typy odrezovačů s rozdílným složením. Působením prostředí začaly materiály měnit drsnost povrchu, kyselina postupně rozkládá a odbourává rez ze vzorků.

6.1 Vzorky z kovových materiálů

Pro výzkum této diplomové práce byly použity kovové materiály. Především se jednalo o kovy, které byly poškozeny vlivy vnějšího prostředí, jako příklad lze uvést korozi.

- *2 typy hliníkových materiálů*
- *Mosazný pás*
- *3 typy ocelových součástí*

6.1.1 Popis testovaných materiálů

Materiály byly cíleně vybrány ty nejvíce poškozené a zároveň i nejstarší. Důvodem výběru bylo zajistit co nejvýraznější výsledky z průběhu testování a pozorování při ponoření do kapalin.

Veškeré vybrané materiály byly rozřezány na 4 díly. Pro řezání byla použita úhlová bruska na kovy a svěrák pro upnutí kovových vzorků. Jeden díl z každého materiálu byl vždy uzavřen do nádoby s neutrálním prostředím – z důvodu zachování původních vzorků pro následné porovnání s ostatními pozorovanými vzorky. Další díly byly využity pro ponoření do agresivních kapalin – Coca-Cola, odrezovač Kittfort Forte, odrezovač Kittfort Extra.

Zkoumané materiály byly kompletně ponořeny do testovacích kapalin, pozorovány po dobu 4 týdnů. Každý týden se měnila tekutá složka v nádobách. Po určitém čase se v nádobách se vzorky ponořenými do Coca-Coly začala vytvářet na hladině plíseň. Plíseň byla způsobena kontaminací vzorku a lidským faktorem – případný dotyk (reakce potu), ať už sklenice či vzorku, vytváří typické prostředí pro vznik plísní, společně s cukry z Coca-Coly.

- *4 týdny působení prostředí na testované materiály*
- *Každý týden výměna prostředí – vyvarování se plísní*

6.1.2 Konkrétní vzorky

I když se se vzorky manipulovalo opatrně, v rukavicích a s pomocí papírových ubrousků, je možné, že se omylem dotkly například prsty vnitřku sklenice. U odrezovače Forte a Extra se po určitém čase, konkrétněji po 4 dnech, začala vytvářet na povrchu kapaliny hustá vrstva, kombinace odstraněné koroze a příměsí odrezovačů.

- *Hliníkové součásti* – Pro pozorování byly vybrány 2 strojní součásti – pravděpodobně používané v automobilovém či leteckém průmyslu, odhadované stáří přibližně 10 let, jedná se o slitiny hliníku – takzvané duraly, obě součásti měly dle vzhledu jiné procento přídavných materiálů. Například slitiny hliníku s mědí dostávají označení „řada 2000“. Jak již bylo zmíněno – název dural, je využíván jako obchodní název.
- *Mosazný vzorek* – Jedná se o klasickou mosaz, tedy o slitinu mědi a zinku, pro testování a pozorování byl využit mosazný pás, taktéž rozdělen na čtyři části, výhodou rovného povrchu pásu je snadnější testování – především díky snadnému zacházení při měření na strojích. Jelikož je mosaz známý pro svou odolnost vůči korozi (nejedná se o úplnou odolnost), byl tento vzorek poškozen pouze slabě, vnějšími vlivy a lehkou korozí, která se následně projevila až po pozorování na mikroskopu.
- *Oceli* – Všechny tři vzorky materiálu z oceli se řadí do třídy 10, první vzorek s odhadovaným stářím více než 15 let, vyžíván jako držení pro okapy. Další dva testovací vzorky – čep a strojní součást, též značně poškozeny korozí a vnějšími vlivy prostředí.



Obrázek 13 Testované vzorky kovových materiálů

7 KAPALNÉ PROSTŘEDÍ

Pro značné a výrazné výsledky působení prostředí na testovaný materiál je vhodné použití kapalin, které vyvolávají ve vzorcích změnu vzhledu povrchu, či struktury povrchu. Ideálním faktorem pro výskyt deformací či změn vzhledu na materiálu je výskyt kyseliny fosforečné, ta do jisté míry rozežírá korozi, tím se samozřejmě ruku v ruce mění drsnost povrchu materiálu i jeho vzhled.

7.1 Chemické prostředí pro testované vzorky

Jak již bylo zmíněno, byly použity 3 různé kapaliny s obsahem kyseliny fosforečné, konkrétně jeden z nejznámějších nápojů na světě – Coca-Cola a přípravky proti korozi, přesněji odrezovače firmy Kittfort.

- *Coca-Cola*
- *Kittfort Forte*
- *Kittfort Extra*

7.1.1 Coca-Cola

Pro zajímavost, kyselina fosforečná se vyskytuje téměř ve všech černě zbarvených sladkých bublinkových nápojích. Zvýrazňuje chuť – dodává štiplavost a kyselost pro vyvážení sladkosti cukru. Má samozřejmě i jiné účinky, které negativně, ve vyšších dávkách, působí na lidské zdraví. Například vyšší šance výskytu osteoporózy (příliš vysoký příjem fosforu z kyseliny), poničení zubů či poškození ledvin.

Skrze testování vzorků pro diplomovou práci se stala Coca-Cola vhodným kandidátem. Bohužel není uvedeno, jaké procentuální zastoupení má kyselina v nápoji. Jedná se totiž o specifické složení receptury, které není nikde veřejně sdíleno, obchodní tajemství. Tyto složky jsou ale regulovány zdravotními normami. Lze tedy říci, že zastoupení kyseliny fosforečné v nápoji Coca-Cola bude pravděpodobně v menším měřítku – pro bezpečnost konzumentů.

To potvrdily i výsledky testování povrchu kovových materiálů, vzorky ponořené do Coca-Coly vykazovaly nejnižší poškození ze všech 3 vzorků, jak lze vidět o několik stránek níže. Hodnoty R_a , R_v , R_p či R_t vzorků v Coca-Cole nebyly v porovnání s odrezovači Forte a Extra vyšší. Naopak se blížily k hodnotám testovacích vzorků, bez vlivu chemického prostředí na materiál.

7.1.2 Odrezovač Kittfort Forte

Tmavě zbarvený přípravek proti korozi se stabilizátorem účinku, nanášení nátěrem nebo ponořením. Prostředek dle bezpečnostního listu obsahuje kyselinu orto-fosforečnou (systematický název pro kyselinu fosforečnou), ethanol a částečně i složku taninu. Tanin se využívá pro ochranu kovů.

Pro užití prostředku je potřeba dodržovat zásady a pravidla k ochraně vlastního zdraví. Přípravek totiž obsahuje látky nebezpečné pro lidské zdraví. Z bezpečnostního listu lze vyčíst, co dělat v případě poleptání, jak s přípravkem zacházet, jak skladovat, či co přesně a v jakém množství obsahuje.

Bezpečnostní značení produktu:

- *GHS02 – označení pro hořlavé látky*
- *GHS07 – označení pro dráždivé látky*



Obrázek 14 Odrezovač Kittfort Forte

7.1.3 Odrezovač Kittfort Extra

Oproti odrezovači Kittfort Forte má Extra jednodušší složení, obsahuje totiž pouze kyselinu orto-fosforečnou. Vzhledově disponuje světlejší barvou než Forte, jelikož neobsahuje tanin a ethanol.

Pro Kittfort Extra platí podobně striktní předpisy pro manipulaci, v bezpečnostní listině se může každý dočíst vše potřebné o aplikaci přípravku.

Bezpečnostní značení produktu:

- *GHS07 – označení pro dráždivé látky*

Produkt se oproti odrezovači Forte nevyznačuje hořlavými látkami, neobsahuje totiž ethanol, z tohoto důvodu Extra nemá bezpečnostní značení pro hořlaviny.



Obrázek 15 Odrezovač Kittfort Extra

8 PROVEDENÍ EXPERIMENTU

Tato kapitola se zaměřuje na kompletní vypracování experimentu v laboratoři, od začátku – sběru materiálu, až po konec – vizuální výsledky vzorků, i z přístrojů. Pro každý testovaný materiál byly nastaveny stejné podmínky, teplota v laboratoři 21 stupňů, umístění ve stínu, pravidelná výměna kapalného prostředí. Tímto se zaručila stabilita experimentu – zapříčinilo se vzniku abnormalit, které by mohly narušit proces testování, experiment byl tedy proveden za stejných podmínek.

8.1 Příprava vzorků

Jak již bylo zmíněno, pro experiment byly vybrány 3 materiály:

- *Hliník – 2 součásti, odlišné vzorky*
- *Mosaz – 1 mosazný pás*
- *Ocel – 3 odlišné vzorky*

Z těchto 3 materiálů bylo vybráno 6 vzorků. Pro testování materiálů bylo zapotřebí zajistit 3 odlišné chemické prostředí pro ponoření, plus jedno neutrální pro pozdější porovnání. Šest vzorků bylo tedy rozřezáno úhlovou bruskou na kovy. Každý byl rozdělen na 4 části – to odpovídá dohromady 24 vzorkům. Každý byl jemně ošetřen, zbaven nečistot.

8.1.1 Umístění do skleněných nádob

Do skleněných nádob byly v rukavicích umístěny vzorky s chemickým prostředím. Před umístěním vzorků byly nádoby vydesinfikovány, aby se zabránilo nepotřebným reakcím. I přes opatrnou manipulaci, se v nádobách s Coca-Colou vyskytla mírná plíseň na hladině tekutiny.

Pro zachování původních vzorků, bez reakcí chemického prostředí, bylo 6 vzorků uchováno ve sterilním prostředí. Tyto vzorky byly také měřeny, aby se zjistilo, jak které prostředí reaguje a následně se porovnal s nepoškozenými vzorky.



Obrázek 16 Vzorky hliníku I po 2 týdnech působení v chemickém prostředí



Obrázek 17 Vzorky hliníku II po 2 týdnech působení v chemickém prostředí



Obrázek 18 Vzorky mosazného pásu po 2 týdnech působení v chemickém prostředí



Obrázek 19 Vzorky oceli I a III po 2 týdnech působení v chemickém prostředí



Obrázek 20 Vzorky oceli I a III po 2 týdnech působení v chemickém prostředí

8.2 Vzorky po 4 týdnech v chemickém prostředí

Vzorky byly vytaženy z nádob po 4 týdnech působení. Uchovávány v laboratorní digestoři ve stínu, stejné podmínky – teplota, světlo, manipulace se vzorky.

Na vzorcích namáčených v odrezovačích Forte a Extra se vyskytly značné rozdíly, především na ocelových a hliníkových vzorcích. Vytvořila se na povrchu vrstva – kombinace odstraněné koroze se zbytky odrezovače. Mosazný pás na první pohled změnil jen barvu, pod mikroskopem či pod profilometrem Zygo 8100 se ale ukázalo, že i na mosazném vzorku se projeví rozdíly. Viditelně lidským okem se změnil i hliník, všechny tři chemické prostředí změnil výrazně barvu vzorku. Po důkladném prozkoumání se zjistilo, že největší povrchovou změnou prošly materiály, které byly ponořeny do odrezovačů.

8.2.1 Vzorky ocelových součástí

K nejrozsáhlejší změnám textury povrchu docházelo na vzorcích z oceli, výrazně u vzorků namočených do odrezovače Forte (uprostřed) a odrezovače Extra (na pravé straně). Oceli číslo I a III byly značně poškozeny korozí a ostatními vnějšími vlivy, proto se dostavily viditelné účinky.



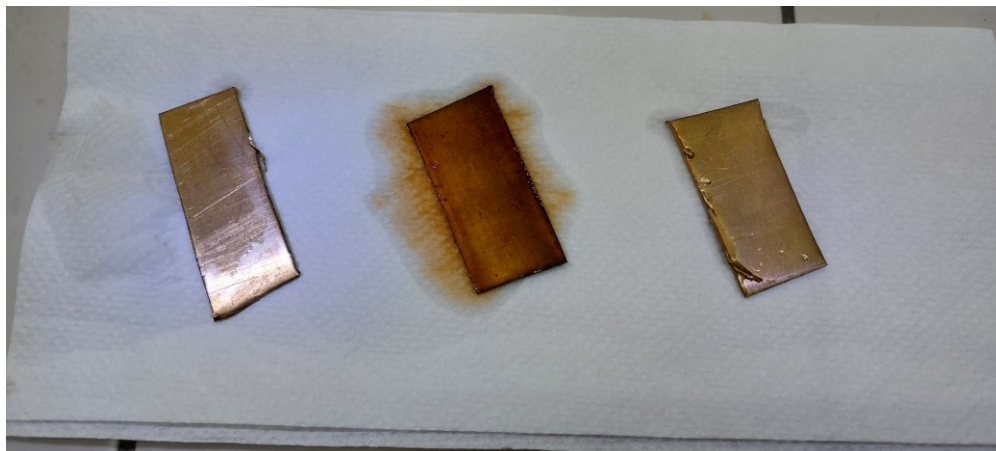
Obrázek 21 Ocel, vzorek I a II



Obrázek 22 Ocel, vzorek III

K nejvýraznější změně povrchové textury došlo u oceli I – obrázek 21, levý vzorek. U oceli číslo III nedocházelo k tak výrazným vzhledovým změnám, jelikož se nejednalo o příliš starý vzorek, též nebyl rázně poničen vnějšími vlivy.

8.2.2 Vzorky mosazného pásu



Obrázek 23 Vzorek mosazi

Mosazný pás na první pohled nepůsobí, že by prošel změnou kvality povrchu, pouze z vizuální stránky se změnila barva materiálu. U Coca-Coly se dostalo tmavšího zbarvení, vzorek ponořený do odrezovače Forte získal unikátní hnědé zbarvení, jedná se o absorpci barvy odrezovače a jeho složek do povrchu materiálu. I když se mosazný pás neprokazuje viditelnými změnami povrchu, pohledem měřících přístrojů lze vidět změny.

8.2.3 Vzorky hliníkových materiálů



Obrázek 24 Vzorek hliníku I

Vzorek hliníku I se reprezentuje výraznými změnami barvy, zatímco působení v Coca-Cole změnilo barvu na hnědou, ponoření v odrezovačích pomohlo vzorkům k jasným černým barvám.

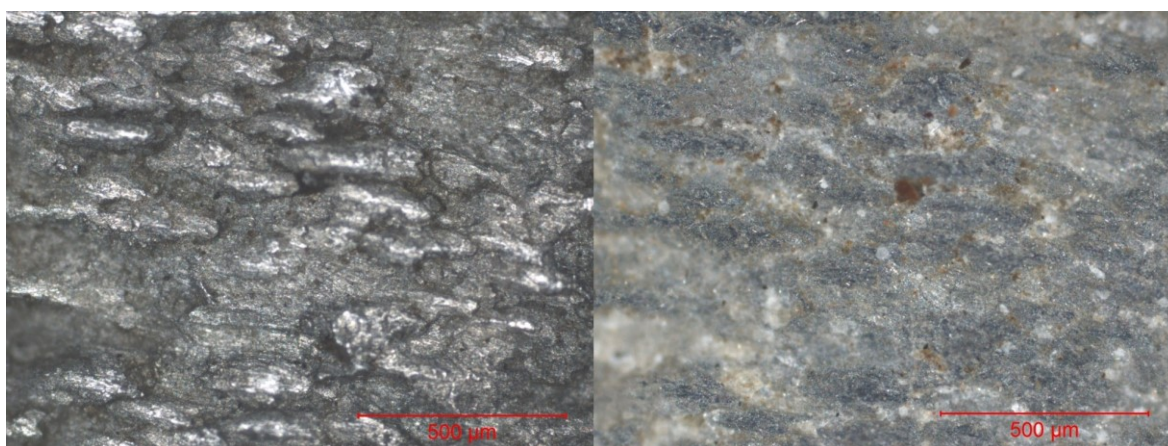


Obrázek 25 Vzorek hliníku II

I pro druhý vzorek hliníku platí stejné vzhledové změny, spektrum barev se tedy pohybuje od hnědé až k šedočerné. Docházelo také i k změnám povrchové struktury, jak je popsáno níže.

8.3 Hliník pod drobnohledem

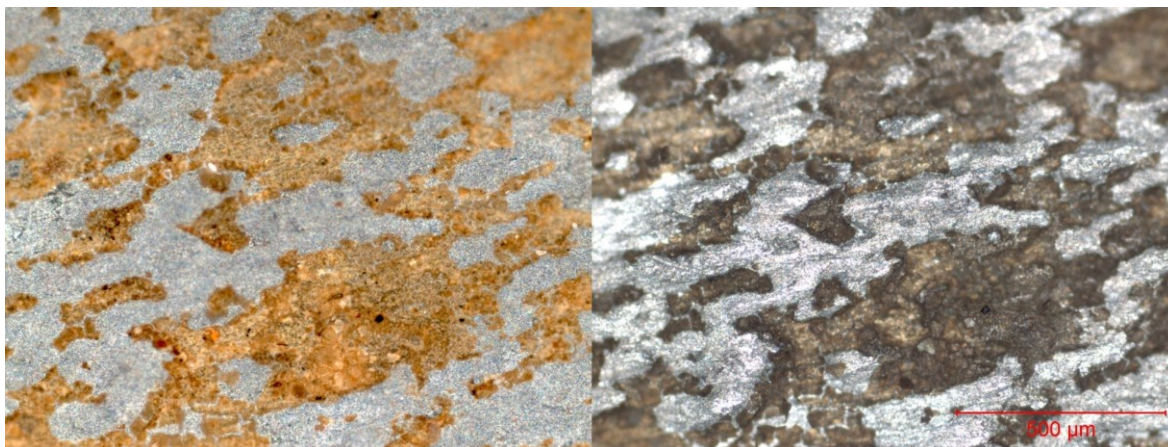
Jelikož prošel hliník výraznými vzhledovými změnami – co se týče textury povrchu či barevného spektra, byly oba vzorky měřeny na konfokálním mikroskopu. Pro porovnání byly vedle sebe postaveny vzorky hliníku I a II. Výsledky byly zaznamenány pro neutrální prostředí, Coca-Colu i oba prostředky proti korozi – Forte a Extra.



Obrázek 26 Hliník I a II v neutrálním prostředí, konfokální mikroskop

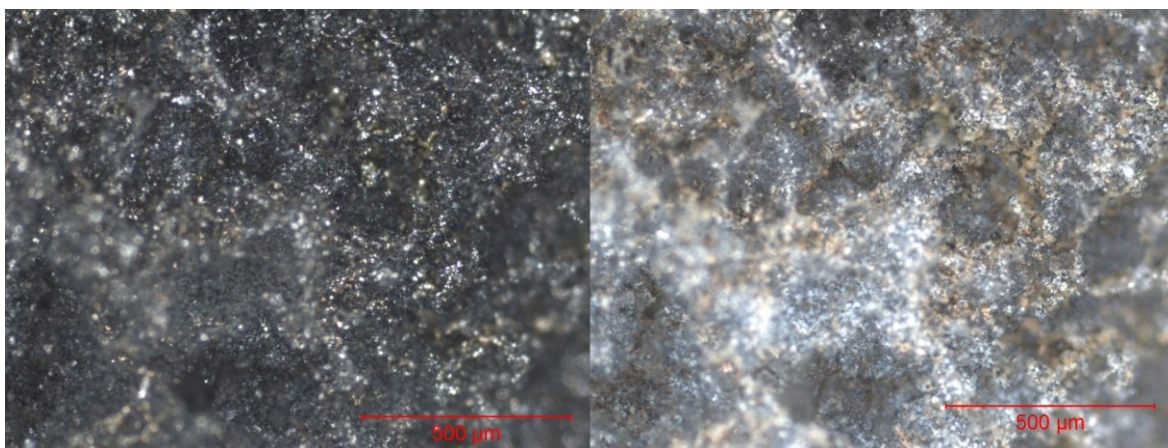
Pro veškeré pohledy na detailní fotografie konfokálním mikroskopem bylo v pravém dolním rohu umístěno měřítko. Dodává přehled o skutečné velikosti měřené oblasti, červená čára představuje vzdálenost 500 μm .

Na detailním záběru vzorků hliníku v neutrálním prostředí – bez vlivu chemického prostředí, lze vidět výskyt oranžových skvrn. Skvrny symbolizují přítomnost koroze, která na první pohled lidským okem nebyla vidět.



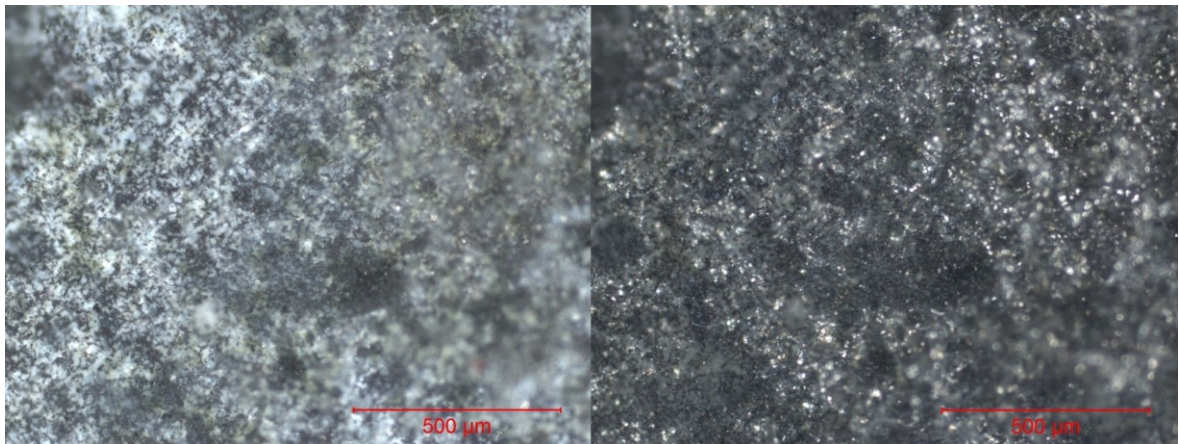
Obrázek 27 Hliník I a II v Coca-Cole, konfokální mikroskop

U vzorků Coca-Coly se projevil prohlubně zabarvené do oranžové až tmavě hnědé barvy, ty se po umytí po experimentu a následném vysušení lehce odbarvily. Jedná se o prohlubně s povrchem, do kterého se snadno usazují nečistoty. Nejedná se proto pouze o známky koroze, ale i o zbytkové zabarvení Coca-Coly, které mělo tendenci se usazovat do poškozených částí vzorku.



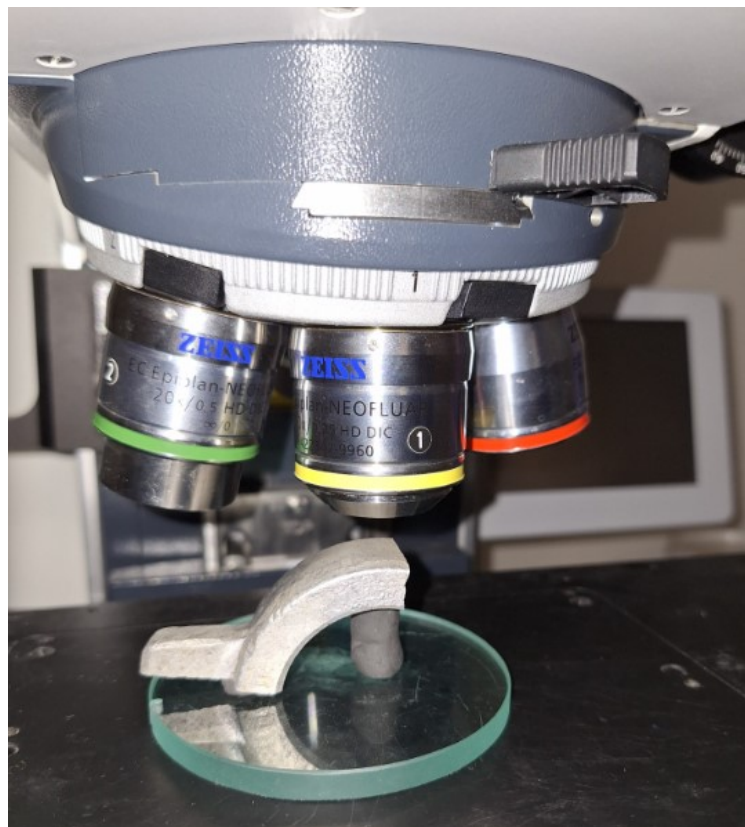
Obrázek 28 Hliník I a II v odrezovači Forte, konfokální mikroskop

Odrezovač Forte za působení kyseliny orto-fosforečné v kombinaci s ethanolem se postaral o rozežraný povrch vzorku. Koroze se vlivem působení v ponoření téměř kompletně odstranila. Odplavená rez zapříčinila vznik nových prohlubní, tím se drsnost materiálu změnila. Drsnost dosáhla vyšších hodnot, textura povrchu získala drsnější a nepravidelný vzhled povrchu.



Obrázek 29 Hliník I a II v odrezovači Extra, konfokální mikroskop

U druhého odrezovače, který neobsahuje ethanol, ale jen kyselinu orto-fosforečnou, se prokazuje ještě účinnější působení chemického prostředí. Na fotografii se nenachází známky zbytkové koroze. Z tohoto výsledku lze tvrdit, že působení samostatné kyseliny orto-fosforečné je výhodnější pro odstranění koroze na hliníkových materiálech. Stejně jako u odrezovače Forte, lze po vizuální stránce potvrdit, že kyselina opět poničila texturu testovaného vzorku. Povrch byl obohacen o větší množství nepravidelně tvarovaných prohlubní.



Obrázek 30 Umístění testovaného vzorku hliníku na mikroskopu

Rozměr pro směr X	1024 μm
Rozměr pro směr Y	1024 μm
Skenovací model	Plocha, rovina
Objektiv mikroskopu	EC Epiplan-Neofluar 10x/0.25 HD M27
Rozdělovače paprsku	FW1 : POL
Expoziční čas kamery	0,04 s

Tabulka 1 Natavení konfokálního mikroskopu

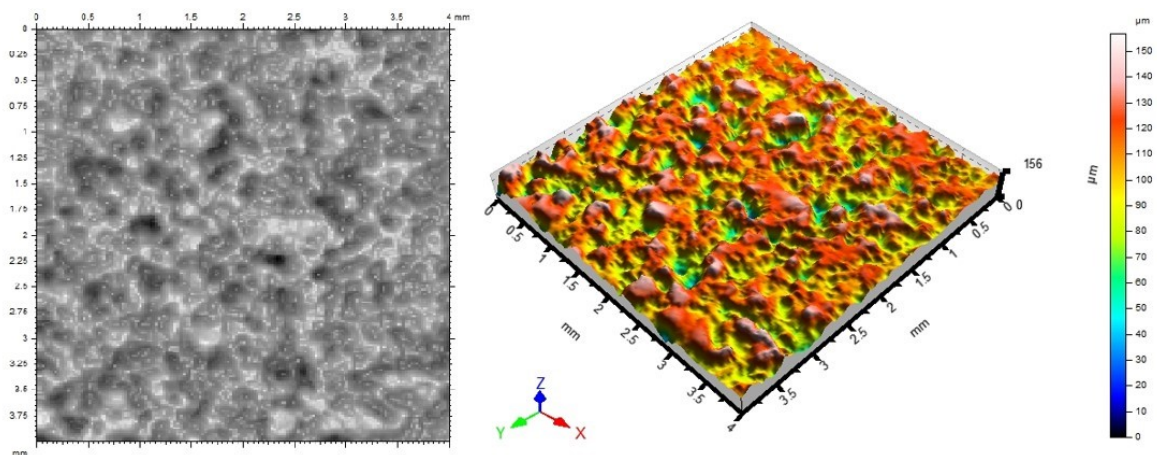
9 VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT

Pro vyhodnocování dat byly použity především 2 softwary. Microsoft Excel pro úpravu získaných dat z povrchů materiálů a pro přehlednou analýzu, ať už grafickou či početní, byl využit software MiniTab.

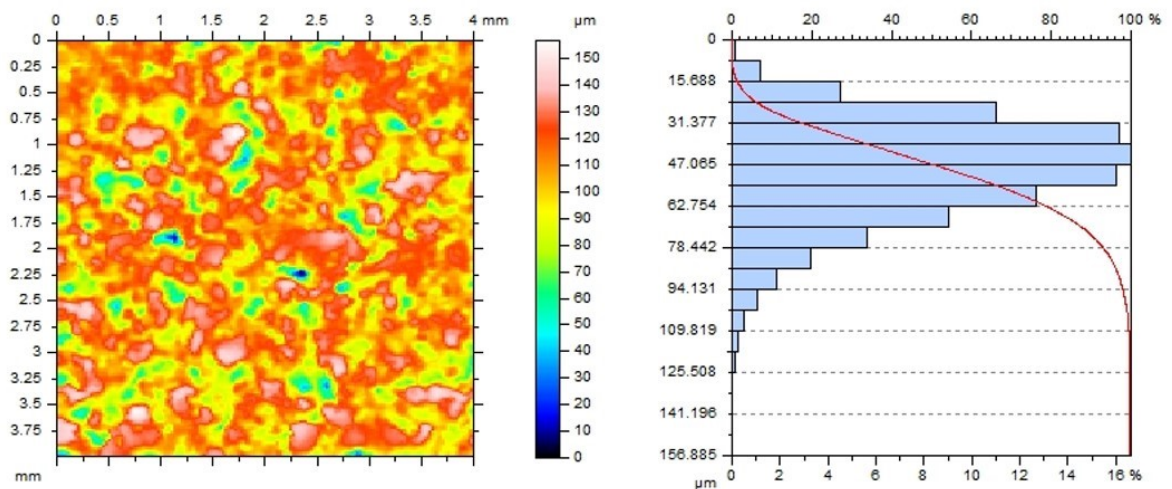
Na všech testovaných vzorcích byly měřeny celkem 4 povrchové parametry – R_a , R_t , R_p a R_v . Ty bývají klíčové pro analýzy povrchových měření.

9.1 Ocel I

Každý ze vzorků byl rozčleněn na měření dle několika kategorií. Ocel I byla rozdělena podle měřených parametrů – R_a , R_t , R_p a R_v . a dle působení v chemickém prostředí – neutrální, Coca-Cola a odrezovače Forte + Extra.



Obrázek 31 3D model drsnosti povrchu pro vzorek Ocel I, po působení v odrezovači Extra



Obrázek 32 Abbottova–Firestoneova křivka pro poměr materiálu (Ocel I, odrezovač Extra)

9.1.1 Parametr R_a – Ocel I

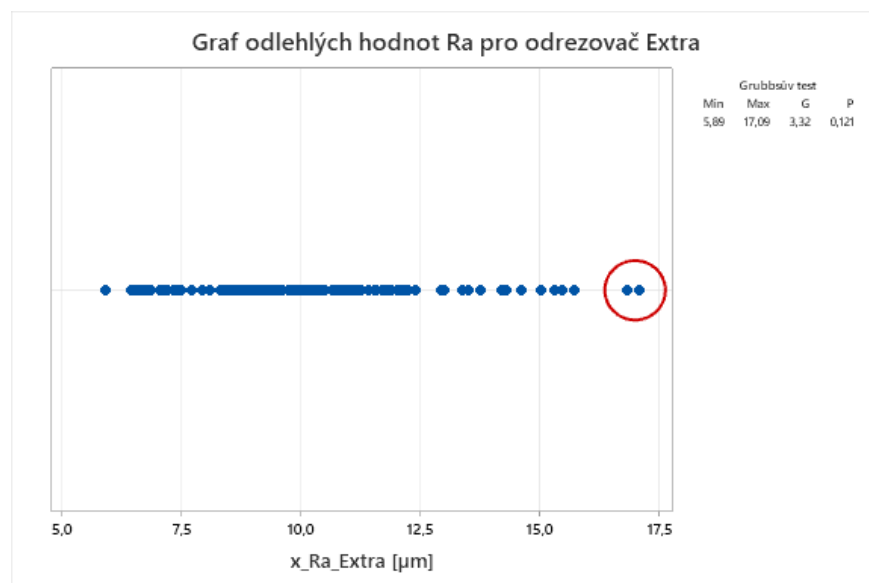
Nejdřív byl zhotoven Grubbsův test na zjištění odlehlých hodnot. Nulová hypotéza – veškerá data pocházejí z normálního rozdělení. Alternativní hypotéza – nejnižší a nejvyšší data jsou odlehlé hodnoty. Hladina významnosti určena na $\alpha = 0,05$.

Grubbsův test							
Proměnná [μm]	N	Průměr	Smodch	Min	Max	G	p
x Ra Cola	161	7,398	1,443	3,682	10,993	2,57	1
y Ra Cola	161	6,550	1,310	4,258	10,415	2,95	0,455
x Ra Extra	161	10,180	2,083	5,895	17,090	3,32	0,121
y Ra Extra	161	9,691	1,869	6,209	13,791	2,19	1
x Ra Forte	161	9,646	1,541	6,426	13,434	2,46	1
y Ra Forte	161	9,293	1,634	5,707	13,184	2,38	1
x Ra Neutral	161	6,073	1,044	3,723	8,334	2,25	1
y Ra Neutral	161	5,805	1,188	3,692	9,610	3,20	0,185

Tabulka 2 Hodnoty R_a pro vzorek 1

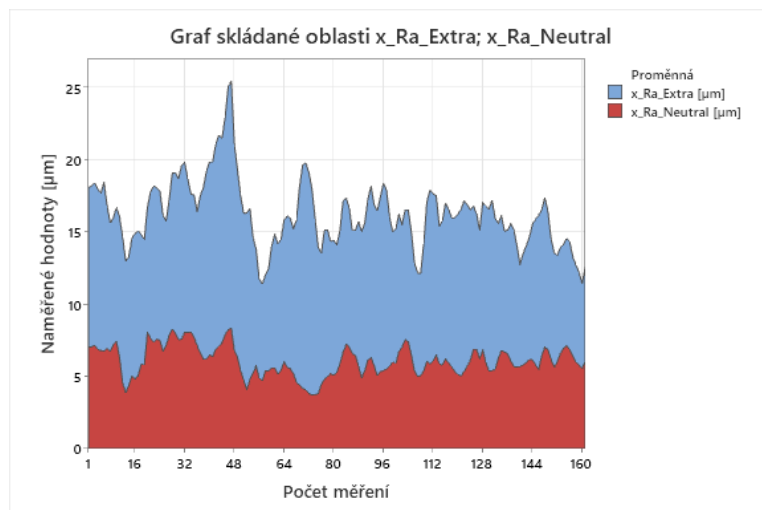
Z tabulky 2 lze vyhodnotit, že nejnižší hodnoty R_a má vzorek bez působení v chemickém prostředí. Hodnoty pro měření v osách x i y mají nejnižší hodnoty. Povrch je tedy oproti ostatním prostředím hladký.

Naopak ponoření v chemickém prostředí odrezovače Extra přináší o více než 50 % hrubší povrch oproti kontrolnímu vzorku. Nejvyšší hodnota byla naměřena v odrezovači Extra, v ose x její hodnota přesáhla 17 μm .



Obrázek 33 Graf odlehlých hodnot pro odrezovač Extra na x ose

V grafu lze vidět výskyt nejvyšších hodnot u nejvíce poškozeného vzorku. Žádná odlehlá hodnota na hladině významnosti 5 %.



Obrázek 34 Graf skládané oblasti mezi vzorky x_Ra_Extra a x_Ra_Neutral

Již na první pohled je zřejmé, že hodnoty měření u odrezovače Extra způsobily na povrchu nejvyšší výskyt nerovností. Textura povrchu je nepravidelná s vyšším výskytem ostrých prohlubní.

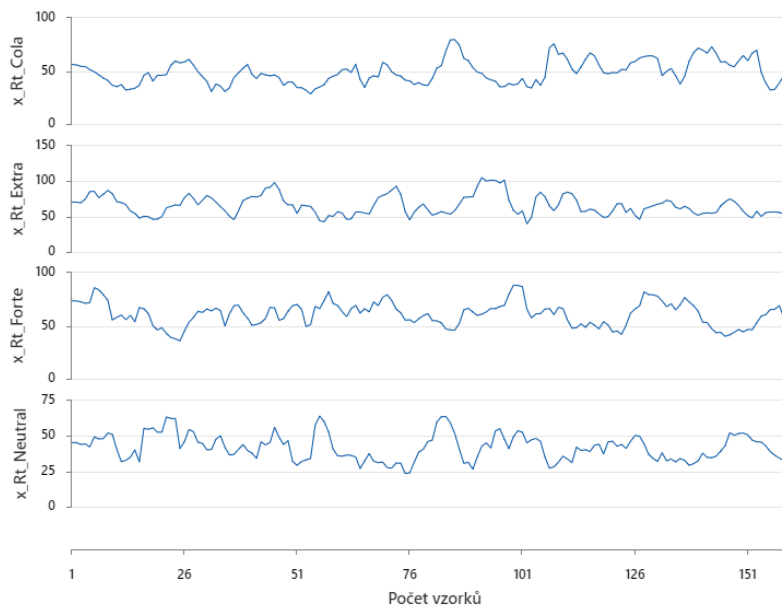
9.1.2 Parametr R_t – Ocel I

Hodnota R_t odpovídá součtu nejvyšších špiček profilu a zároveň nejnižších bodů – prohlubní u měřeného vzorku profilu. Tento parametr udává profil vzorku, jak lze vidět v kapitole 9.1 u obrázku 31 a 32.

Grubbsův test							
Proměnná [µm]	N	Průměr	Smodch	Min	Max	G	p
x Rt Cola	161	48,900	11,506	28,274	79,527	2,66	1
y Rt Cola	161	42,918	9,289	24,953	67,219	2,62	1
x Rt Extra	161	65,780	14,090	39,680	105,180	2,80	0,756
y Rt Extra	161	58,897	11,887	35,845	90,116	2,63	1
x Rt Forte	161	60,923	11,221	35,771	88,168	2,43	1
y Rt Forte	161	55,559	9,198	34,894	85,758	3,28	0,137
x Rt Neutral	161	41,993	9,197	23,464	64,147	2,41	1
y Rt Neutral	161	39,219	10,870	19,066	77,345	3,51	0,057

Tabulka 3 Hodnoty R_t pro vzorek 1

V průměrných hodnotách lze opět vypořadovat, že odrezovač Extra způsobuje nejsilnější změny v povrchu testovaného vzorku. I Coca-Cola způsobuje určité poškození, vlivem obsahu kyseliny fosforečné a cukrů.

Obrázek 35 Graf časové řady pro Ocel I, parametr R_t

Graf časové řady vyobrazuje konkrétní trasu povrchu v ose x , veškeré hodnoty jsou v μm . Parametr R_t obsahuje nejvyšší hodnoty.

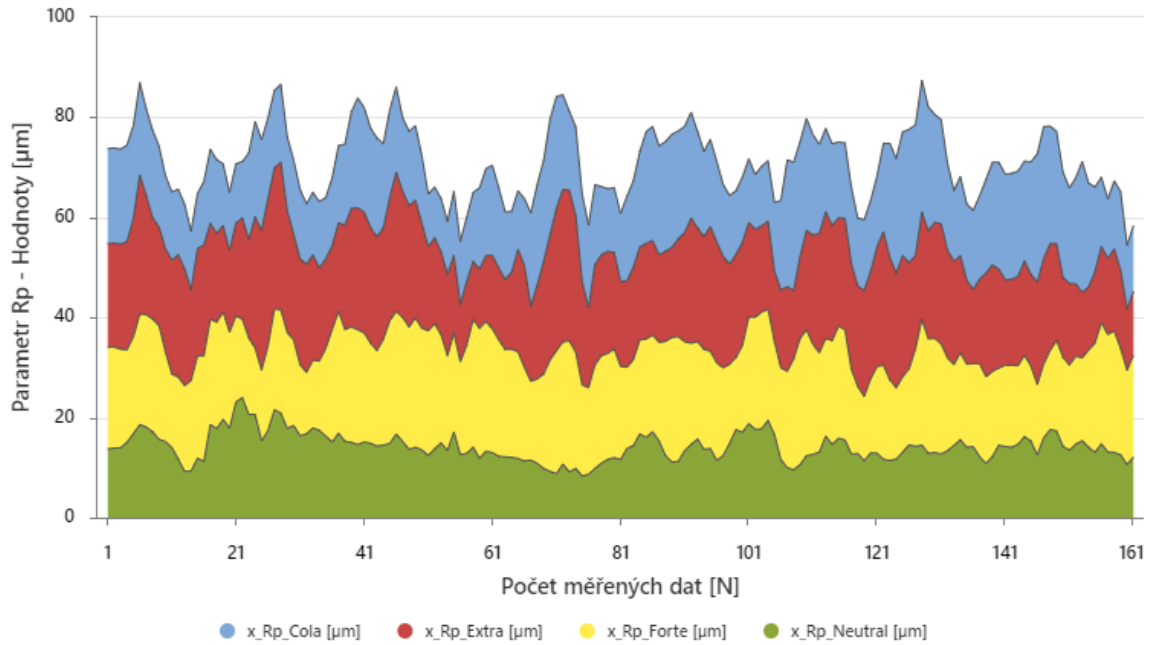
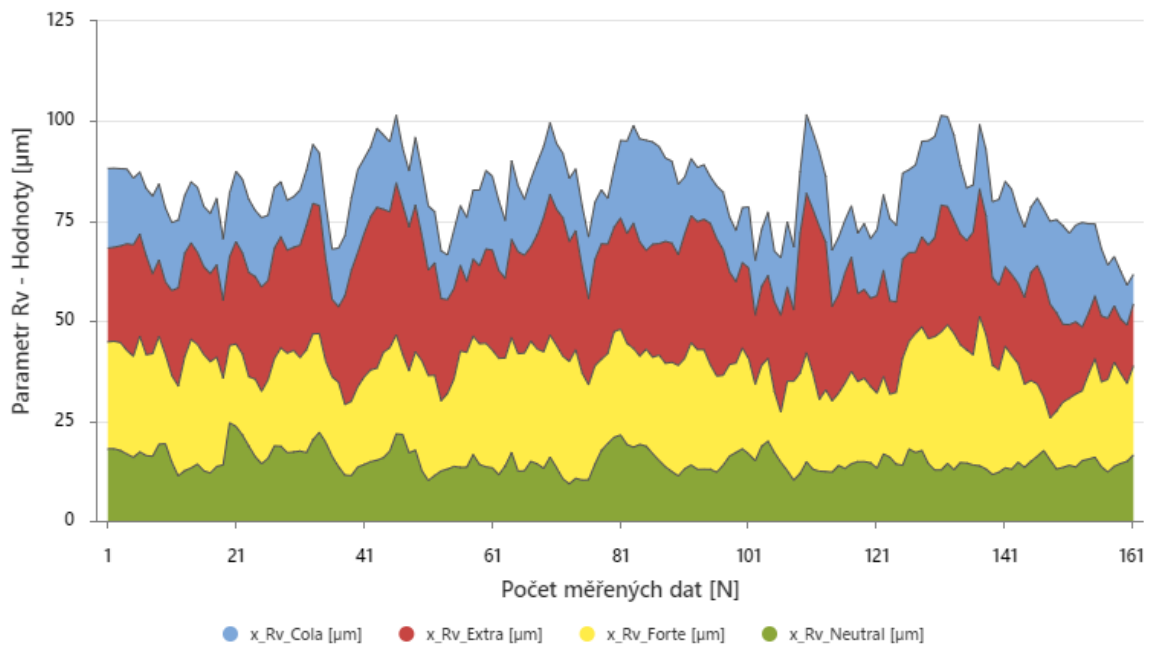
9.1.3 Parametry R_p a R_v – Ocel I

Hodnoty R_p a R_v vypovídají o extrémních hodnotách na měřeném úseku. R_p konkrétně udává výšku největší špičky a parametr R_v hloubku největší prohlubně, pro R_v parametr se často užívá i označení R_m .

Grubbsův test							
Proměnná, x-osa [μm]	N	Průměr	Smodch	Min	Max	G	p
Parametr R_p							
x R_p Cola	161	17,108	4,088	10,141	26,619	2,33	1
x R_p Extra	161	20,091	4,051	11,477	30,464	2,56	1
x R_p Forte	161	19,700	3,364	12,320	26,177	2,19	1
x R_p Neutral	161	14,204	2,878	8,319	23,978	3,40	0,089
Parametr R_v							
x R_v Cola	161	17,064	3,625	7,375	27,563	2,90	0,544
x R_v Extra	161	26,010	5,973	13,586	43,306	2,90	0,545
x R_v Forte	161	24,416	4,855	10,466	37,401	2,87	0,587
x R_v Neutral	161	15,046	2,867	9,263	24,534	3,31	0,124

Tabulka 4 Hodnoty x-ové osy pro R_p a R_v ze vzorku Ocel I

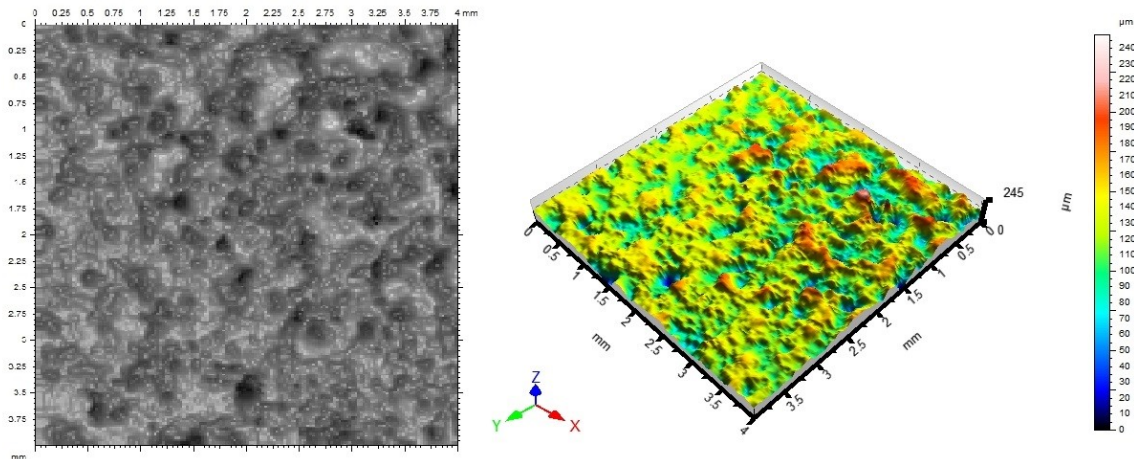
Výrazné změny v chování povrchu u kontrolního vzorku v porovnání se vzorky máčenými do odrezovačů Forte a Extra. Coca-Cola pro svůj nízký obsah kyseliny fosforečné zanechává méně výrazné změny než odrezovače. Grubbsův test prokazuje absenci odlehlých hodnot.

Obrázek 36 Graf skládané oblasti pro Ocel I, parametr R_p Obrázek 37 Graf skládané oblasti pro Ocel I, parametr R_v

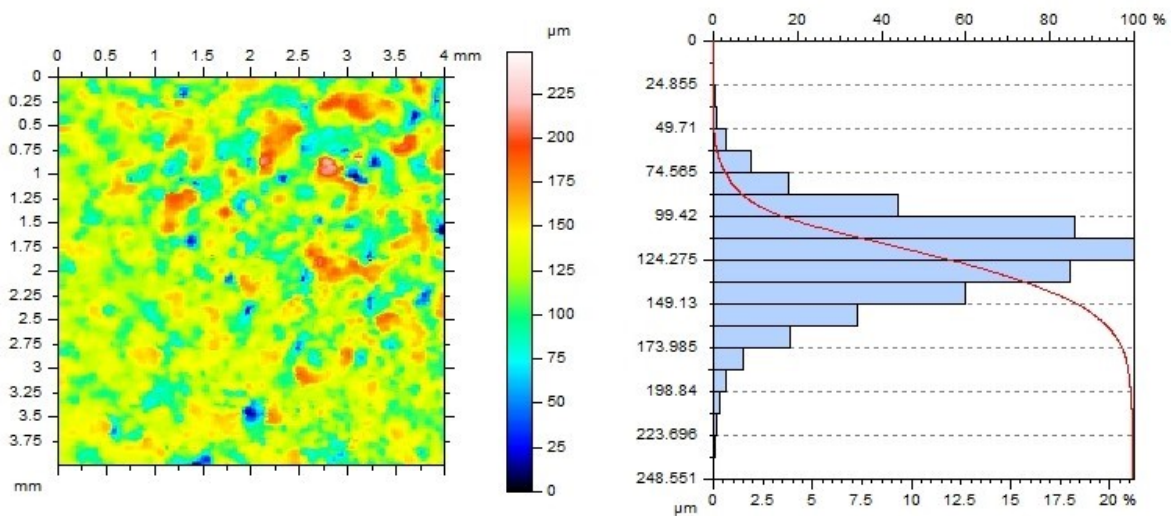
9.2 Ocel II

Dalším vzorkem, ze šestice testovaných materiálů, je ocel s označením II, jedná se o ocelový kolík, tudíž byl povrch měřen s drobnými komplikacemi. Nicméně, vzorek kulatého tvaru byl nakonec úspěšně otestován.

Na obrázcích níže lze spatřit grafické vykreslení, 3D modely testovaného vzorku a následně i Abbottova–Firestoneova křivka. Ta vypovídá o nerovnosti povrchu tělesa. V literatuře lze nalézt i označení Křivka materiálového poměru profilu.



Obrázek 38 3D model drsnosti povrchu pro vzorek Ocel II, po působení v odrezovači Extra



Obrázek 39 Abbottova–Firestoneova křivka pro poměr materiálu (Ocel I, odrezovač Extra) Modely naznačují, že měření neprobíhalo tak, jak u prvního vzorku – u oceli I, v určitých oblastech se nachází větší množství příliš vysokých hodnot. Důvodem je zaoblený tvar měřeného vzorku, část s výskytem oranžových skvrn byla blíže snímači. Tento vzorek tedy disponuje nezvyklým množstvím vysokých a zároveň i nízkých hodnot. Pro vzorek Ocel II byly opět zvoleny modely s působením v odrezovači Extra.

Křivka materiálového poměru profilu se od prvního vzorku liší, skladba výsledných hodnot profilu tělesa je rozdílná.

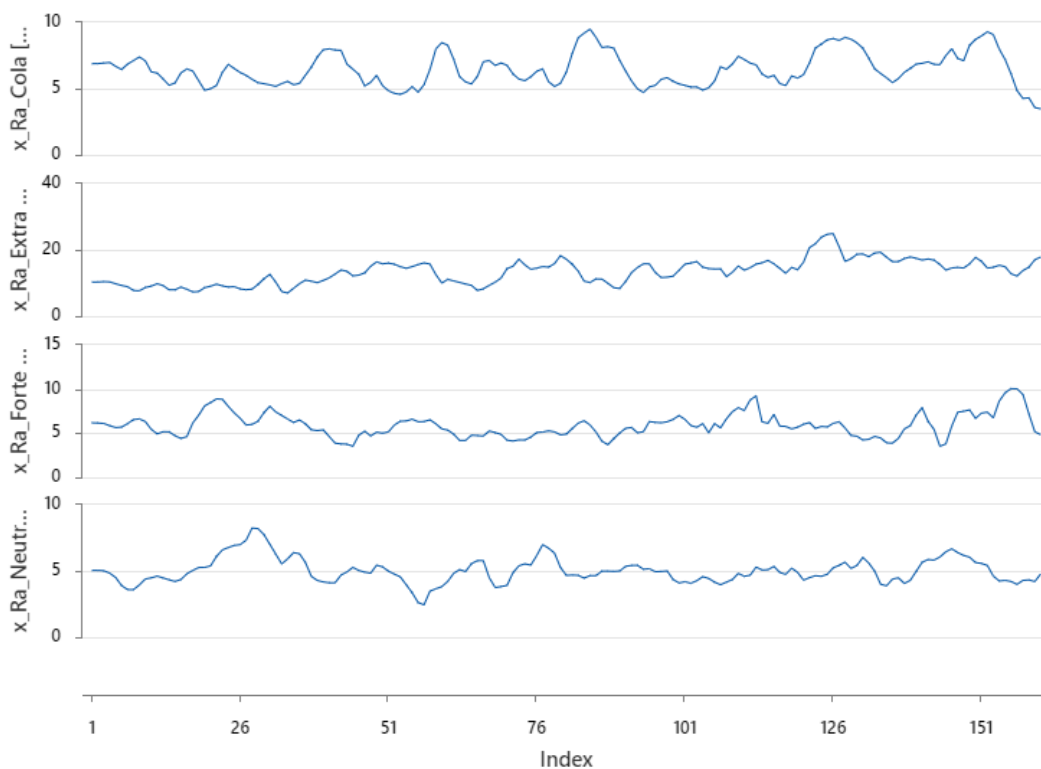
9.2.1 Parametr R_a – Ocel II

Grubbsův test							
Proměnná [μm]	N	Průměr	Smodch	Min	Max	G	p
x Ra Cola	161	6,452	1,256	3,471	9,491	2,42	1
y Ra Cola	161	5,812	1,232	3,339	9,534	3,02	0,354
x Ra Extra	161	13,359	3,716	6,965	24,918	3,11	0,259
y Ra Extra	161	12,384	2,912	7,383	21,160	3,01	0,365
x Ra Forte	161	5,901	1,342	3,521	10,045	3,09	0,28
y Ra Forte	161	5,963	1,746	2,616	10,176	2,41	1
x Ra Neutral	161	5,003	0,953	2,443	8,243	3,40	0,087
y Ra Neutral	161	4,921	0,978	2,409	7,546	2,68	1

Tabulka 5 Hodnoty R_a pro vzorek 1

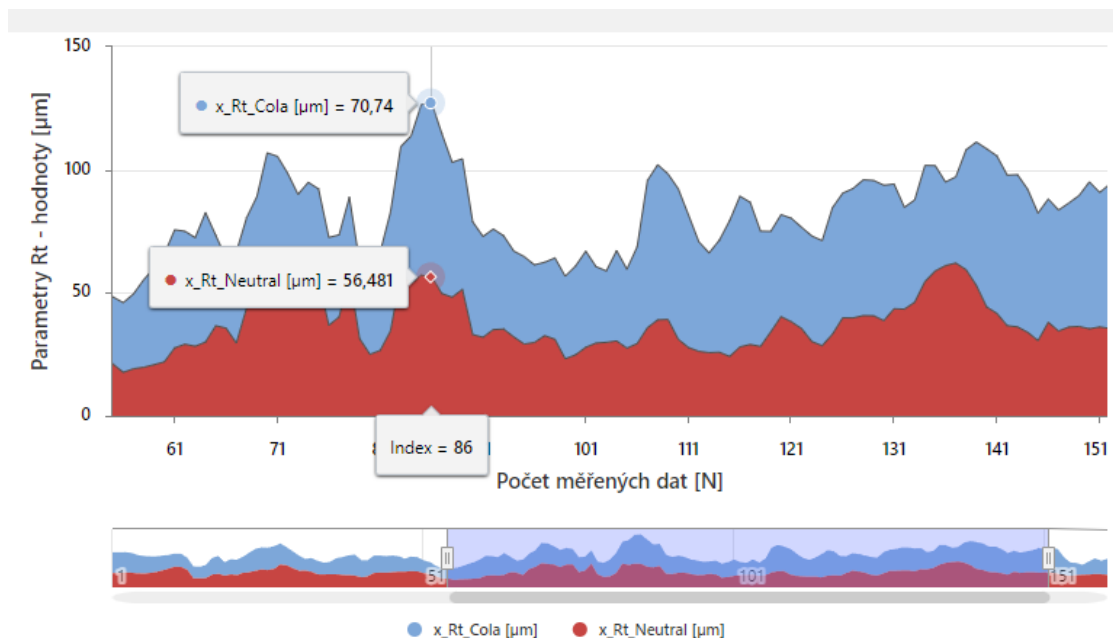
Hodnoty pro vzorky Oceli II se nejvýrazněji změnilly v prostředí odrezovače Extra, naopak v prostředí Coca-Coly a odrezovače Forte docházelo pouze k méně výrazným změnám povrchu testovaných vzorků.

Nejvýraznější vliv na drsnost povrchu má odrezovač Extra, z povrchu materiálu odstraní korozí i vnější nečistoty. Po měsíčním pobytu v kapalině docházelo i k odstranění a odplavení čistého materiálu, odrezovač tedy začal rozežírat i testovaný vzorek. Tím způsobil přibližně dvojnásobnou drsnost oproti ostatním prostředím.

Obrázek 40 Graf časové řady pro Ocel II, parametr R_a

9.2.2 Parametr R_t – Ocel II

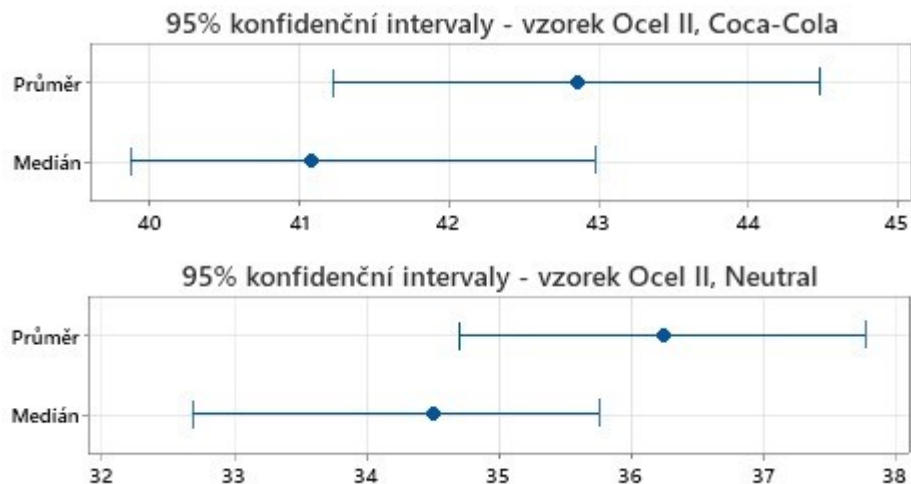
Grubbs' Test							
Proměnná [μm]	N	Průměr	Smodch	Min	Max	G	p
x Rt Cola	161	42,851	10,410	23,975	70,740	2,68	1
y Rt Cola	161	37,531	8,121	23,057	59,591	2,72	0,976
x Rt Extra	161	84,750	23,490	42,720	147,540	2,67	1
y Rt Extra	161	83,670	18,150	46,840	134,150	2,78	0,794
x Rt Forte	161	46,140	12,800	24,310	88,160	3,28	0,137
y Rt Forte	161	43,820	13,070	19,650	83,520	3,04	0,336
x Rt Neutral	161	36,231	9,848	17,688	62,110	2,63	1
y Rt Neutral	161	32,266	7,741	14,855	53,878	2,79	0,767

Tabulka 6 Hodnoty R_t pro vzorek 1

Obrázek 41 Graf skládané oblasti pro Ocel II, parametr R_t – Coca-Cola x Neutral
 Pro porovnání ve skládaném grafu byly vybrány 2 vzorky. Ocel II testovaná v Coca-Cole a Ocel II kontrolní vzorek. Tyto dva vzorky se liší nejméně, nicméně – při grafické analýze i při vyhodnocení deskriptivní statistikou lze vypozařovat rozdíly.

Vzorky vybrány z x-ové osy:

- *Neutral* – průměr 36,231 [μm], směrodatná odchylka odkazuje na to, jak se hodnoty liší od průměru, zde o 9,848 [μm]
- *Coca-Cola* – průměr 42,851 [μm], směrodatná odchylka 10,410, od průměrů se tedy více odlišují data z experimentu s Coca-Colou



Obrázek 42 Konfidenční intervaly, porovnání pro Neutral a Coca-Cola

Graf prozrazuje, že průměry obou vzorků jsou ovlivněny příliš vysokými a příliš nízkými hodnotami. Medián ukazuje, že střed všech hodnot se odlišuje od průměrných hodnot. U vzorku ponořeném do Coca-Coly i u kontrolního vzorku lze vidět, že průměry mají vyšší hodnoty než medián. To znamená, že musel být vyšší počet odlišně větších hodnot než nižších hodnot, aby se medián takto vzdálil od hodnot průměru.

9.2.3 Parametry R_p a R_v – Ocel II

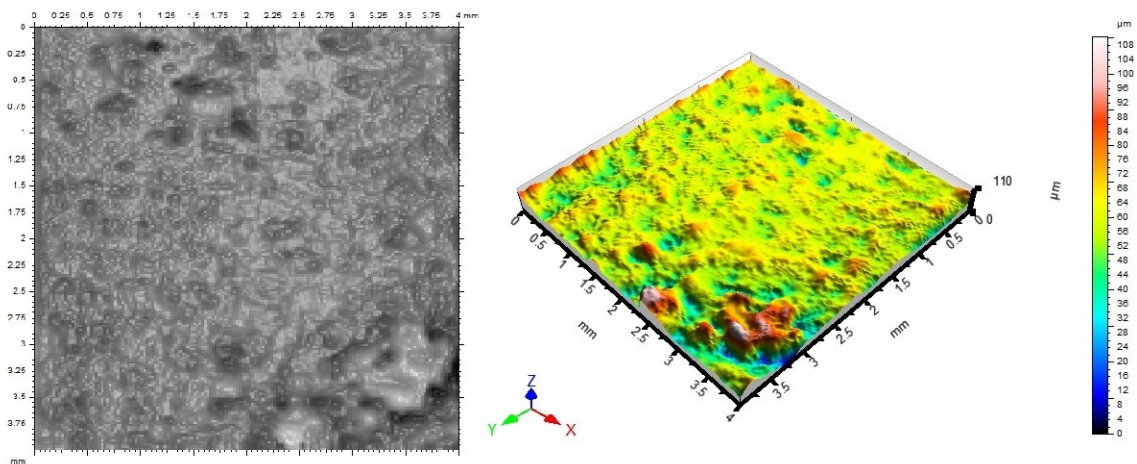
Grubbsův test							
Parametr R_p							
Proměnná, x-osa [μm]	N	Průměr	Smodch	Min	Max	G	p
x R_p Cola	161	15,039	3,662	8,873	23,793	2,39	1
x R_p Extra	161	28,787	8,246	14,200	51,148	2,71	0,991
x R_p Forte	161	14,023	3,809	6,451	26,610	3,30	0,126
x R_p Neutral	161	10,817	1,995	5,377	16,686	2,94	0,466
Parametr R_v							
Proměnná, x-osa [μm]	N	Průměr	Smodch	Min	Max	G	p
x R_v Cola	161	14,810	3,215	8,025	25,722	3,39	0,089
x R_v Extra	161	34,699	10,510	16,489	62,528	2,65	1
x R_v Forte	161	16,765	4,944	7,367	31,966	3,07	0,295
x R_v Neutral	161	13,268	3,096	6,618	23,585	3,33	0,114

Tabulka 7 Hodnoty x-ové osy pro R_p a R_v ze vzorku Ocel II

Pouze na základě deskriptivní statistiky lze konstatovat, že opětovně nejvyššího stupně drsnosti povrchu dosáhl vzorek, který byl namočený do odrezovače Extra. Od kontrolního vzorku, u parametru R_p , se vzorek v Coca-Cole liší přibližně o 50 %. Za povšimnutí stojí údaje, které ukazují, že vzorek v Coca-Cole způsobil vyšší poškození povrchu než odrezovač Forte.

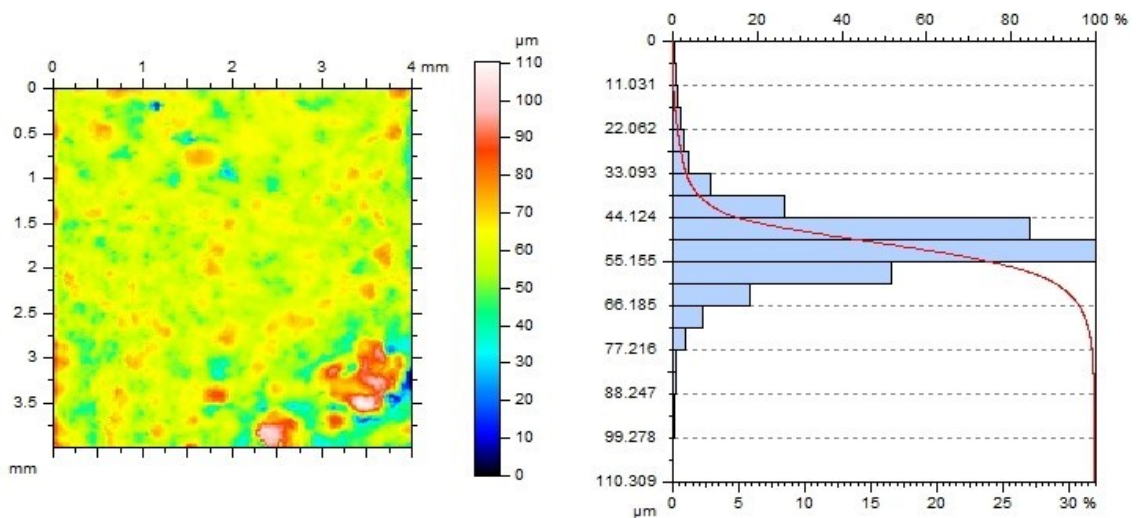
9.3 Ocel III

Ocel III je posledním testovaným ocelovým vzorkem, ponořeným ve všech chemických prostředích. Opět se jedná o materiál kulatého tvaru. Pro zachování korektního testování byly všechny vzorky testovány na stejných místech – na vnějších pláštích tělesa válcového tvaru. Vzorek Ocel III má větší průměr než vzorek Oceli II, který byl též válcového tvaru. Vyšším průměrem vzorku bylo snadnější změřit strukturu povrchu.



Obrázek 43 3D model drsnosti povrchu pro vzorek Ocel III, po působení v odrezovači Extra

Oproti vzorkům Oceli I a II se tento odlišuje méně drsným povrchem. Na většině plochy lze vidět jemná struktura, i přes působení vzorku v odrezovači Extra. Na spodní hraně 3D modelu se nachází nepravidelný výstupek, část modelu, kde se nachází vrcholy i prohlubně.

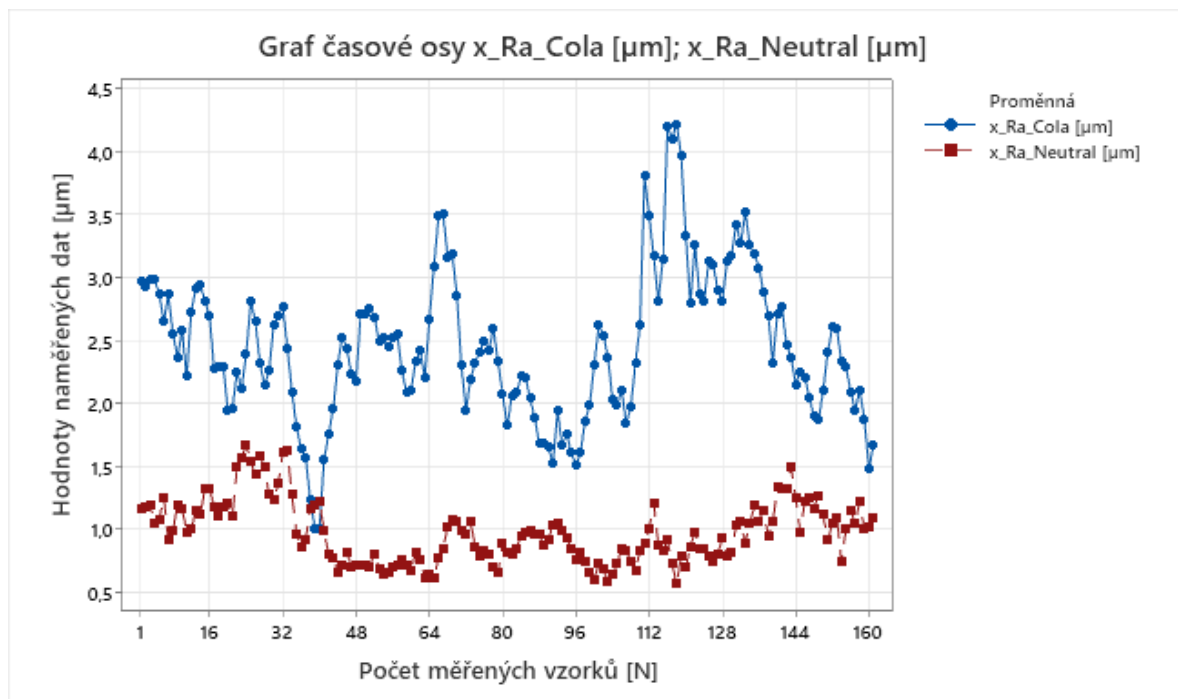


Obrázek 44 Obrázek 45 Abbottova–Firestoneova křivka pro poměr materiálu (Ocel III, odrezovač Extra)

9.3.1 Porovnání R_a pro prostředí Coca-Cola a Neutral

Deskriptivní statistika								
Proměnná [μm]	N	Průměr	Smoch	Minimum	Maximum	Q1	Medián	Q3
x Ra Coca-Cola	161	2,459	0,586	1,006	4,225	2,088	2,397	2,814
x Ra Neutral	161	0,982	0,245	0,573	1,672	0,794	0,966	1,160

Tabulka 8 Porovnání hodnot x-ové osy pro Ocel III – Coca-Cola a kontrolní vzorek U vzorku Oceli III měla nečekaně zásadní vliv na vzorek Coca-Cola. Oproti kontrolnímu vzorku se u některých hodnot odlišuje až v dvojnásobném měřítku. Vliv prostředí Coca-Coly materiálu způsobilo nepravidelně strukturovaný povrch, s vícero vrcholy i prohlubněmi. Rozdíl drsnosti povrchu je téměř 2,5x vyšší.

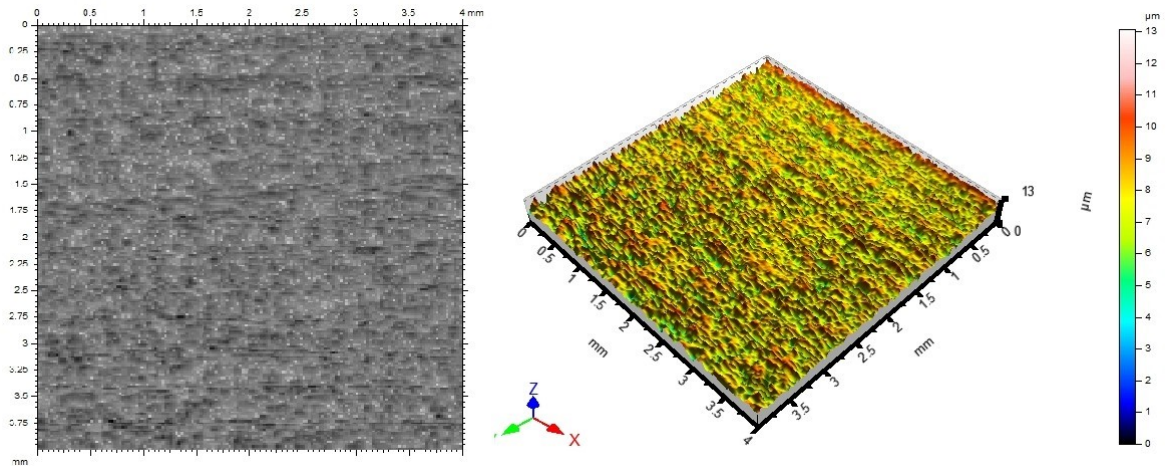


Obrázek 46 Graf časové osy pro Ocel III, porovnání parametru R_a u Coca-Coly a kontrolního vzorku

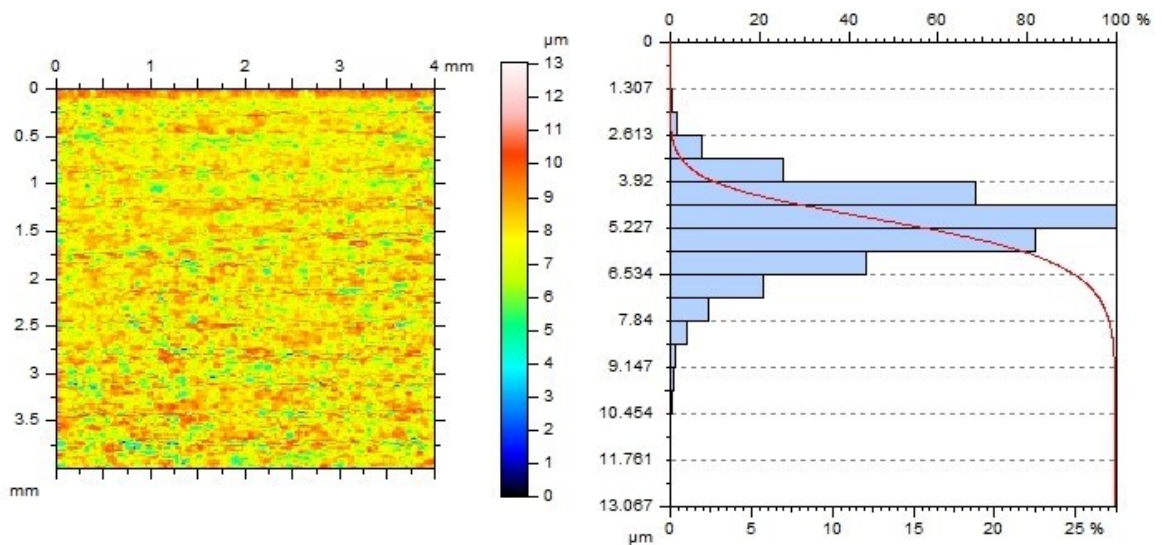
Graf časové osy ukazuje, že neutrální vzorek – takzvaně kontrolní, disponuje takřka hladkým povrchem. Oproti tomu vzorek namočený na měsíc v Coca-Cole dokazuje, že vliv kyseliny fosforečné a ostatních prvků způsobil rozežráná a poškození testovacího vzorku.

9.4 Mosaz

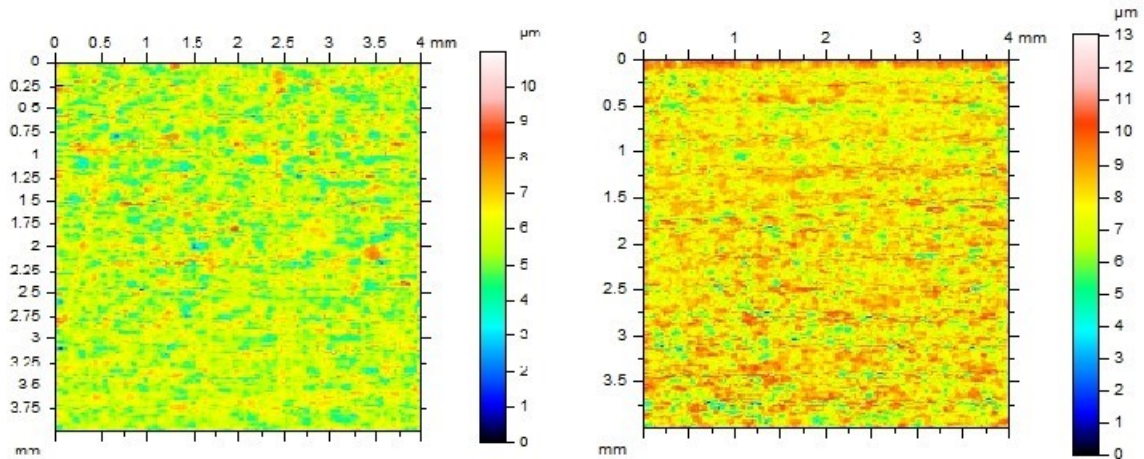
Mosazný pás byl již na začátku experimentu odhadován, že bude mít nejnižší hodnoty ze všech testovaných vzorků. Jedná se totiž o vzorek, který má jednotný hladký povrch. I přes stáří vzorku se ukázalo, že na svém povrchu měl nejnižší výskyt poškozených částí. Testováním se potvrdilo, že povrch je opravdu jemný s monotónní strukturou.



Obrázek 47 3D model drsnosti povrchu pro vzorek Mosaz, po působení v odrezovači Extra
 Vzorek mosazi se po důkladném měření prokázal svou jemností povrchu. Drsnost se pohybuje v rozmezí 0 až 13 μm .



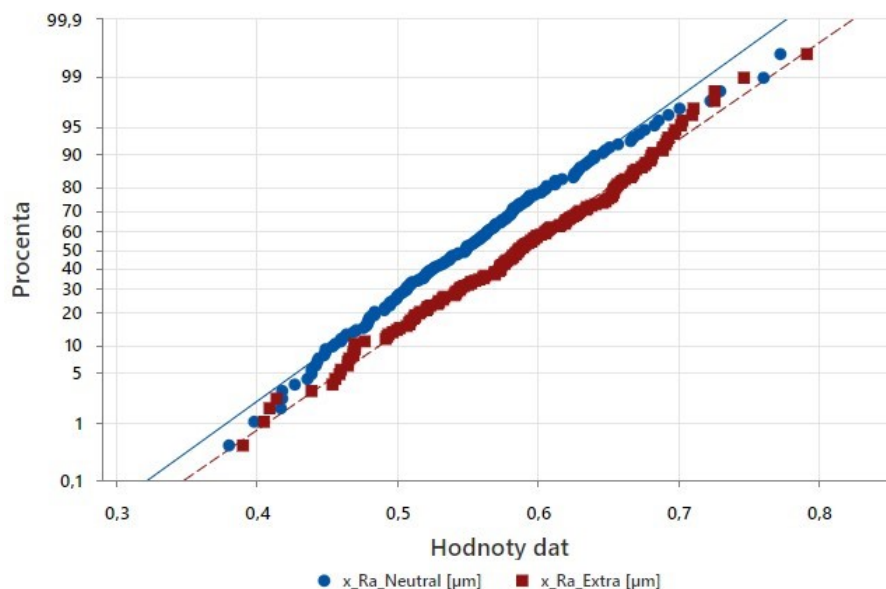
Obrázek 48 Abbottova–Firestoneova křivka pro poměr materiálu (Mosaz, odrezovač Extra)
 Měřená oblast na testovaném materiálu byla v rozmezí 4x4 mm. Oproti všem ostatním měřeným vzorkům má mosaz nejjemnější strukturu povrchu. I po působení v nejsilnějším prostředí – v odrezovači Extra.



Obrázek 49 Porovnání drsnosti mosazného vzorku – kontrolní vzorek (nalevo) a prostředí odrezovače Extra (napravo)

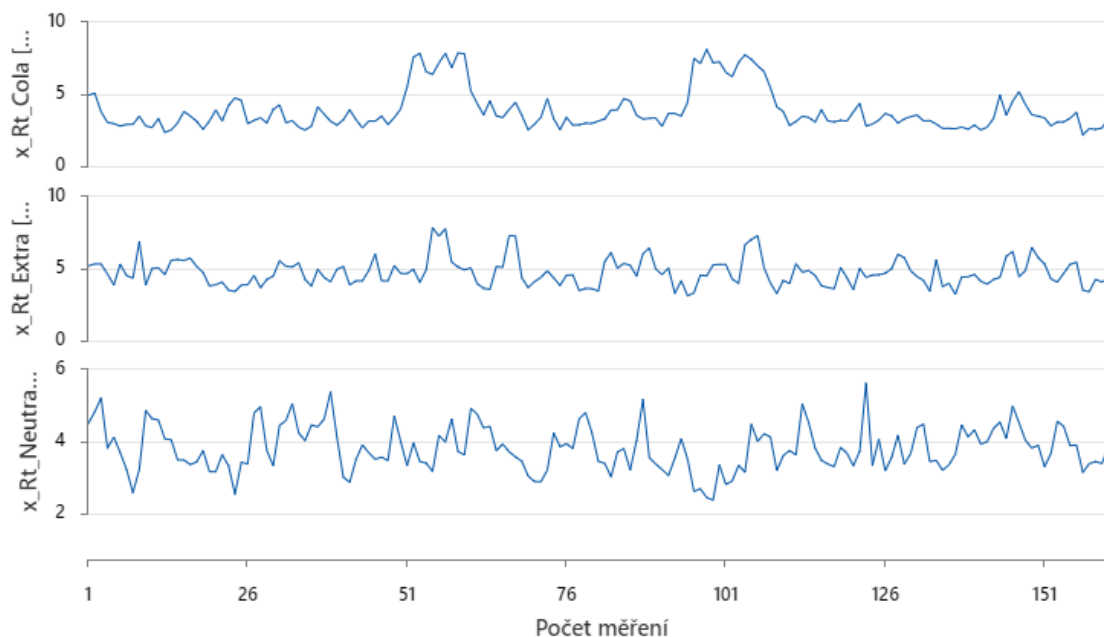
I přes působení nejsilnějšího přípravku ze všech 3 testovaných, se vzorky od sebe liší minimálně. Zatímco drsnost u kontrolního vzorku dosahuje 10 μm , drsnost u mosazného vzorku v prostředí odrezovače Extra dosahuje jen o 3 μm více.

9.4.1 Porovnání parametrů R_a , R_t , R_p a R_v pro mosazný vzorek



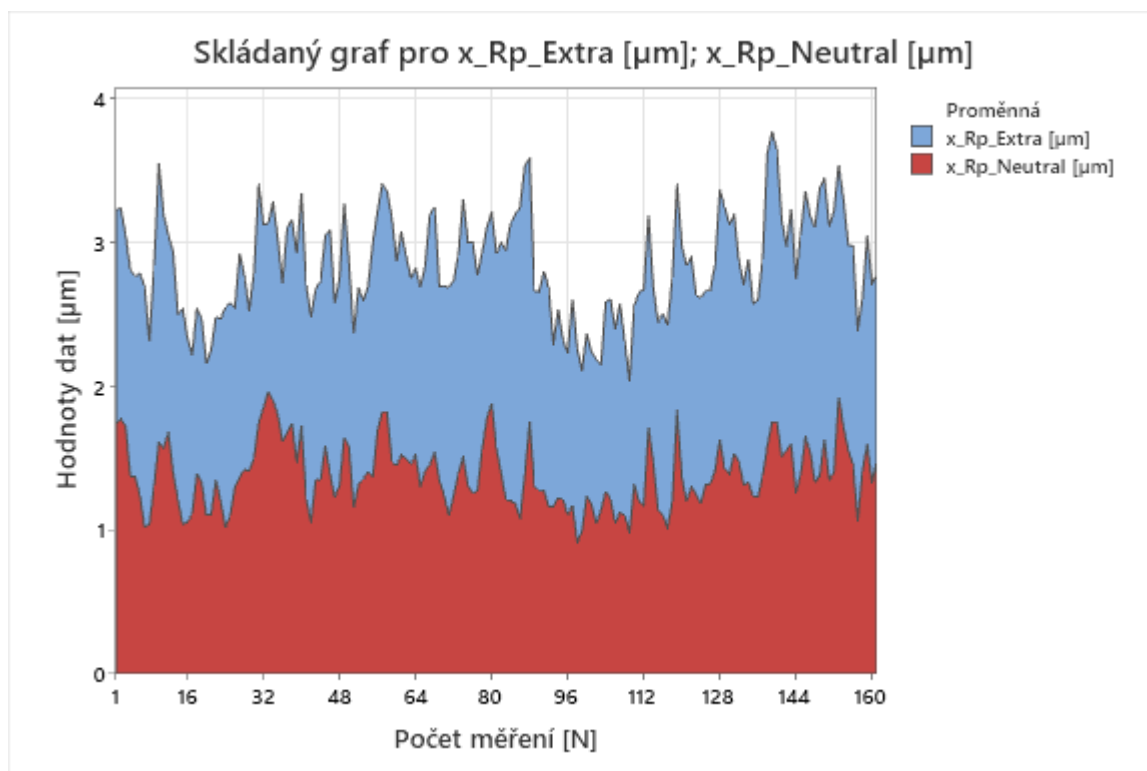
Obrázek 50 Pravděpodobnostní graf mosazného vzorku pro parametry R_a – kontrolní vzorek (modrý) a vzorek v odrezovači Extra (červený)

Dle rozpojení grafu lze usoudit, že hodnoty vzorku z odrezovače Extra převyšují hodnoty kontrolního vzorku. Povrch vzorku Extra má jednoznačně vyšší hodnotu parametru R_a , rozdíl mezi nimi je v průměru přibližně 0,03 μm . I přes zrakem hladký povrch se jeho textura změnila, odrezovač způsobil odplavení nečistot a drobné koroze, tím způsobil vyšší R_a .

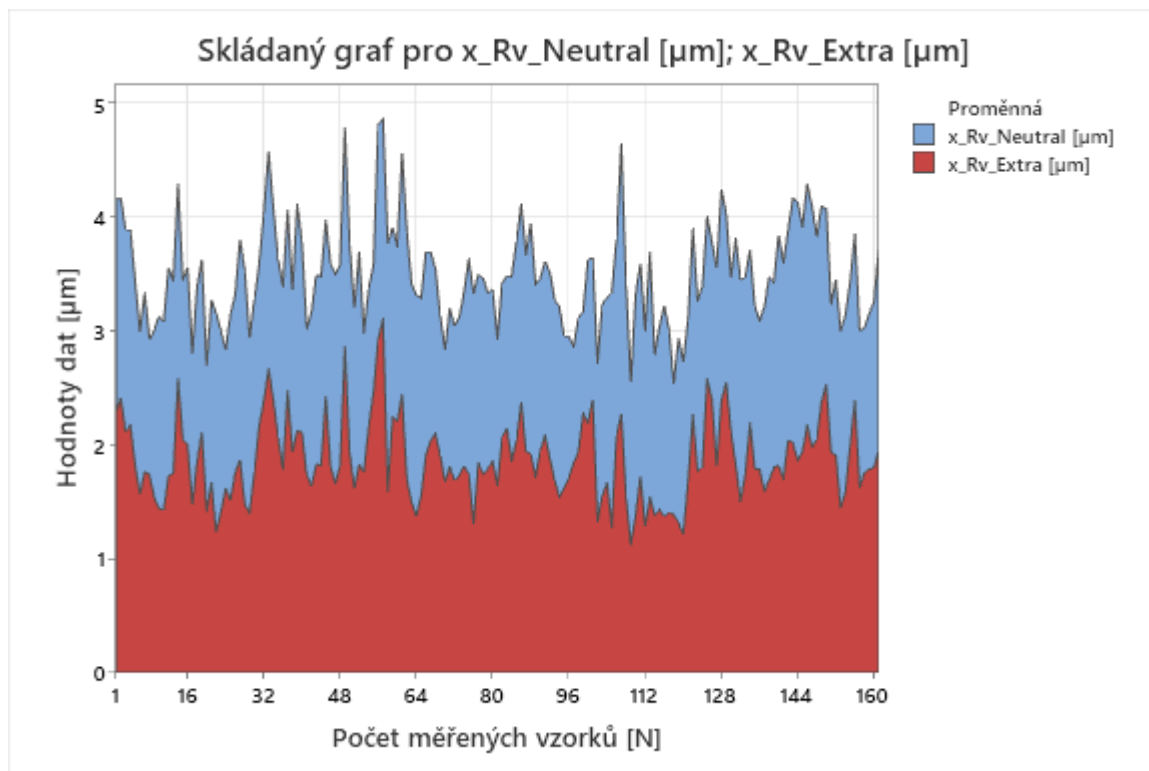


Obrázek 51 Graf časové osy pro parametr R_t – porovnání hodnot pro vzorek v Coca-Cole, v odrezovači Extra a pro kontrolní vzorek

Dle dat vložených do grafu časové osy lze zpozorovat, že data kontrolního vzorku pro parametr R_t se nachází v rozmezí 2 až 6 μm . Oproti tomu se vzorky Coca-Coly i Extra odrezovače odlišují výrazněji. Dosahují přibližně o 30 % vyšších hodnot. Po působení kyseliny fosforečné se postupně uvolňují vrstvy koroze i vnějších nečistot.



Obrázek 52 Skládaný graf pro parametr R_p – vzorek Extra a kontrolní



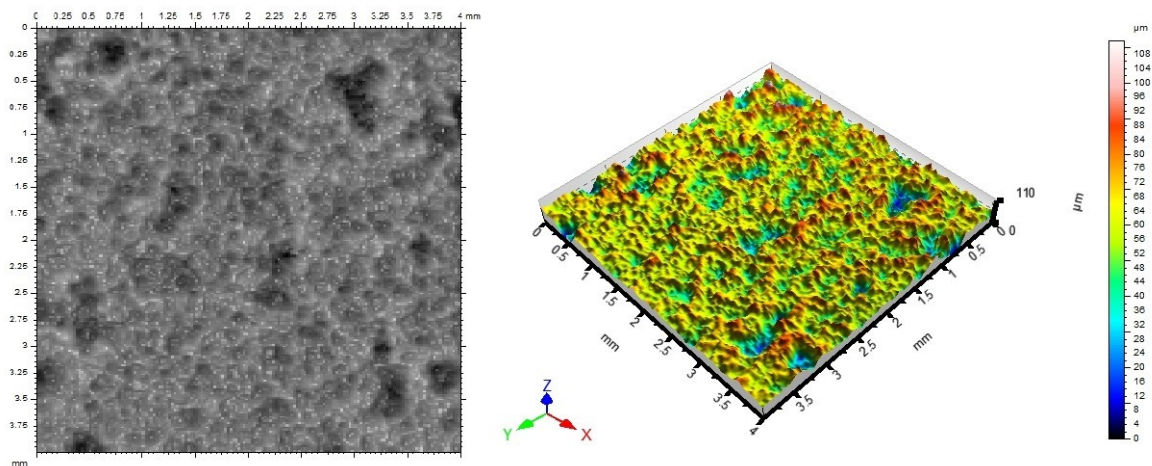
Obrázek 53 Skládaný graf pro parametr R_v – vzorek Extra a kontrolní
Pro zobrazení dat byly použity hodnoty z odrezovače Extra a z kontrolního vzorku. Důvodem bylo nejvyšší zastoupení změn, především co se týče textury povrchu. U testovacích vzorků z odrezovače Forte či Coca-Coly byly rozdíly minimální.

9.5 Hliník I

Dalším testovacím vzorkem je Hliník I, strojní součást rozřezána na 4 stejné dílce. Pro porovnání účinku chemických prostředí byly zvoleny opět 3D modely a vykreslení přibližné podoby drsnosti materiálu.

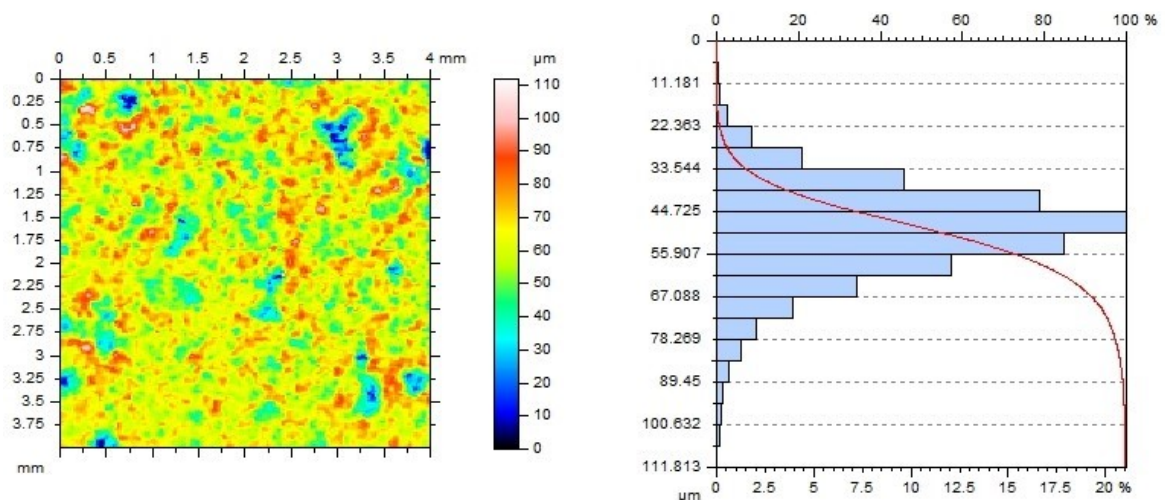
Nejsilnější viditelnou změnou prošly vzorky namočené v odrezovači Extra a Forte, Coca-Cola se nelišila téměř vůbec.

Testovací vzorek byl měřen v úseku, kde působilo zaoblení součásti. Zaoblení na tomto vzorku nehraje příliš velkou roli, narozdíl od testovacího vzorku Oceli II – zde se jednalo o součást válcového typu. Vliv zaoblení se na vykreslení modelu neprojevil, měřená oblast je takřka minimální.



Obrázek 54 3D model drsnosti povrchu pro vzorek Hliník I, po působení v odrezovači Extra

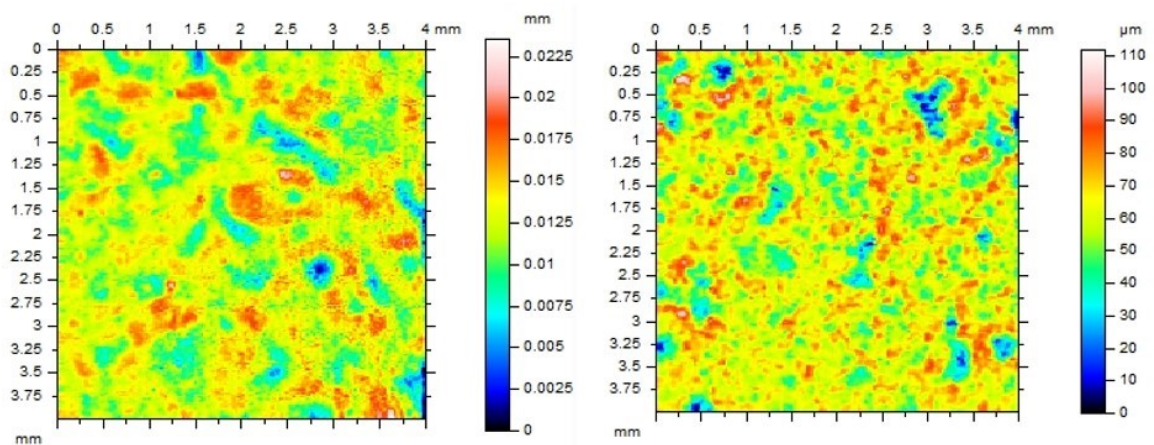
I přes působení nejsilnějšího chemického prostředí, odrezovače Extra, se profil povrchu neprojevuje výraznými odlišnostmi. Povrch působí hladce, nicméně i zde se nachází určité množství menších prohlubní či výstupků.



Obrázek 55 Abbottova–Firestoneova křivka pro poměr materiálu (Hliník I, odrezovač Extra)

Abbottova–Firestoneova křivka (napravo) u vzorku Hliník I ukazuje poměrné množství materiálu. Z grafu lze rozpoznat, že nejvyšší množství hodnot se pohybuje kolem drsnosti povrchu přibližně v rozmezí 50-60 μm . Tvar a zaoblení křivky lze přirovnat k průběhu operace broušení.

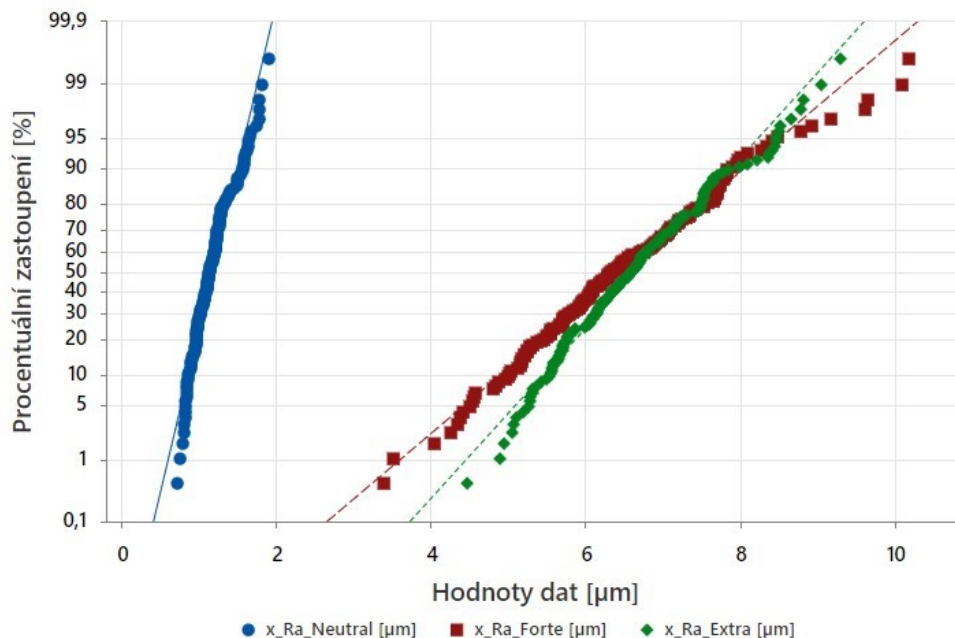
Drsnost (nalevo) ukazuje nejvyšší zastoupení hodnot ve žlutém spektru barvy. Tyto hodnoty se pohybují, jak již bylo zmíněno u Abbott–Firestone křivky, okolo 50-60 μm . Oranžové a červené zastoupení ukazuje na vyšší body na vzorku, modré a zelené na prohlubně.



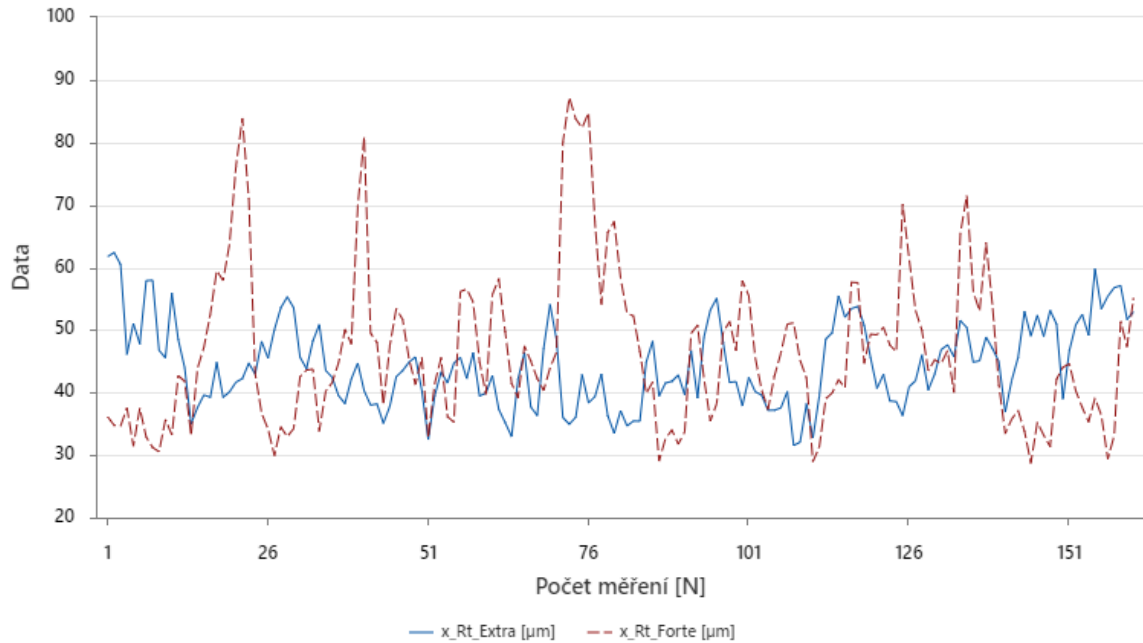
Obrázek 56 Porovnání drsnosti vzorku Hliník I – kontrolní vzorek (nalevo) a prostředí odrezovače Extra (napravo)

Z nejvyšších a nejnižších hodnot lze spolehlivě rozpoznat, že vliv odrezovače Extra je opravdu razantní. Zatímco nevyšší data u kontrolního vzorku dosahují maximálně do 22,5 μm , u vzorku s odrezovačem až do 110 μm .

9.5.1 Porovnání Forte x Extra – R_a parametr



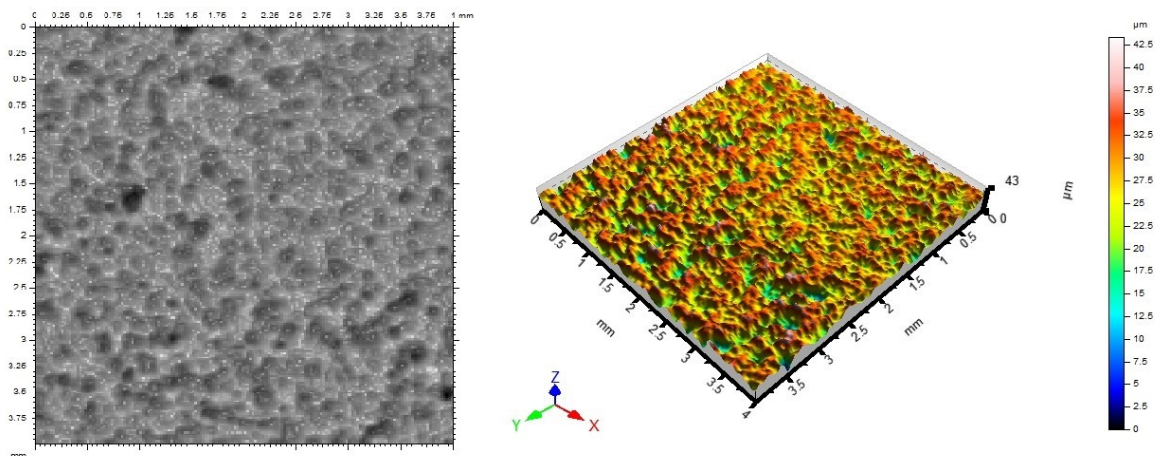
Obrázek 57 Pravděpodobnostní graf vzorku Hliník I pro parametry R_a – kontrolní vzorek (modrý), vzorek v odrezovači Forte (červený) a vzorek v odrezovači Extra (zelený)



Obrázek 58 Graf časové osy pro parametr R_t – porovnání hodnot pro vzorek Hliník I v odrezovači Extra a v odrezovači Forte

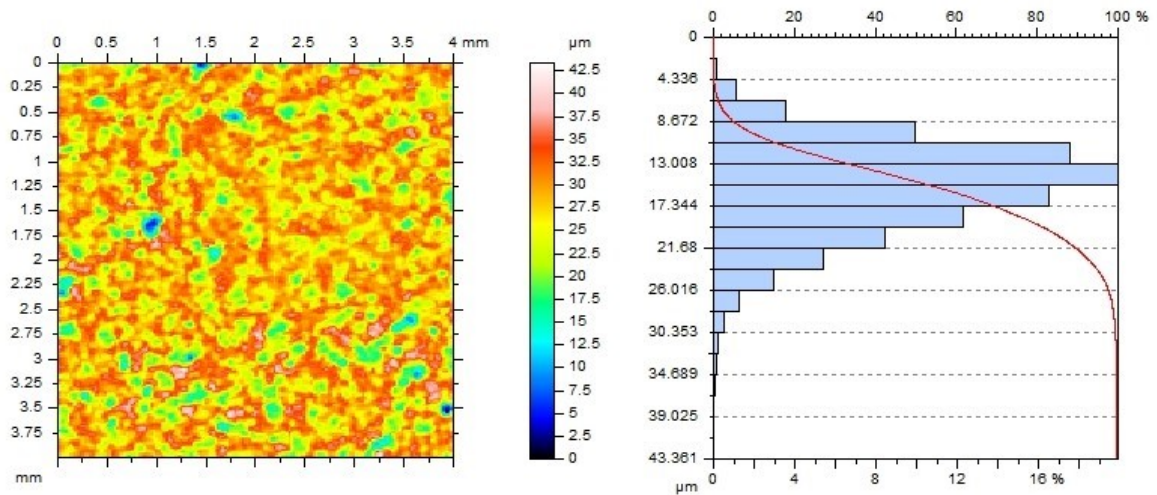
Z proloženého grafu lze určit, že i když jsou hodnoty pro Extra i Forte v průměru téměř totožné, odrezovač Forte působil agresivněji. To lze vidět na výkyvech hodnot. Počet prohlubní i počet vrcholů dokazuje, že povrch byl poničen agresivním rozežráním.

9.6 Hliník II



Obrázek 59 3D model drsnosti povrchu pro vzorek Hliník II, po působení v odrezovači Forte

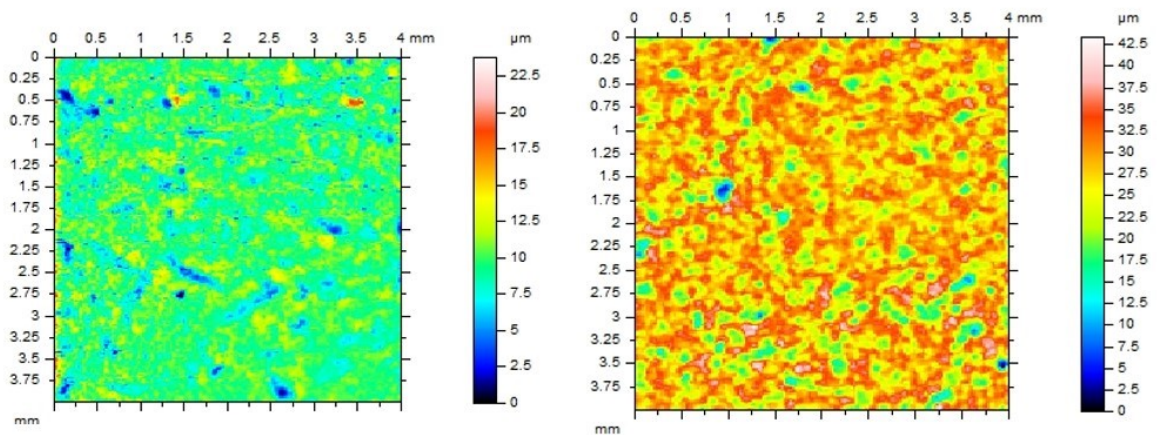
U druhého vzorku, z hliníkových materiálů, byl vybrán jako ukázkový vzorek z prostředí odrezovače Forte. Tento typ odrezovače působil na vzorek Hliník II nejvýrazněji.



Obrázek 60 Abbottova–Firestoneova křivka pro poměr materiálu (Hliník II, odrezovač Forte)

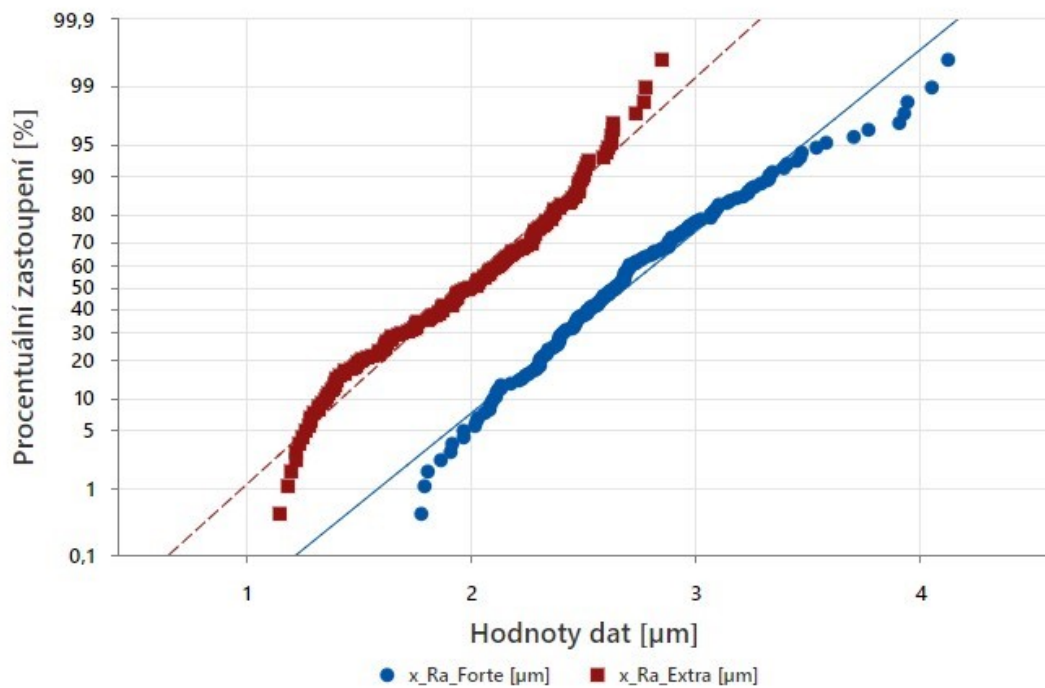
Celkově lze říct, že pro hliníkové materiály působí odrezovač Forte efektivněji než Extra. Z testovaných vzorků jsou hliníkové jediné, kde výraznější změny tvoří Forte. U ocelových vzorků způsobuje největší změny odrezovač Extra.

9.6.1 Drsnost povrchu a další parametry pro Hliník II



Obrázek 61 Porovnání drsnosti vzorku Hliník II – kontrolní vzorek (nalevo) a prostředí odrezovače Forte (napravo)

Diference mezi jednotlivými drsnostmi představuje agresivitu prostředí na testovaný vzorek. Zatímco u kontrolního vzorku se drsnost pohybuje nejčastěji v rozmezí 7,5 až 12,5 μm, u vzorku s působením odrezovače Forte až k hodnotám 40 μm.

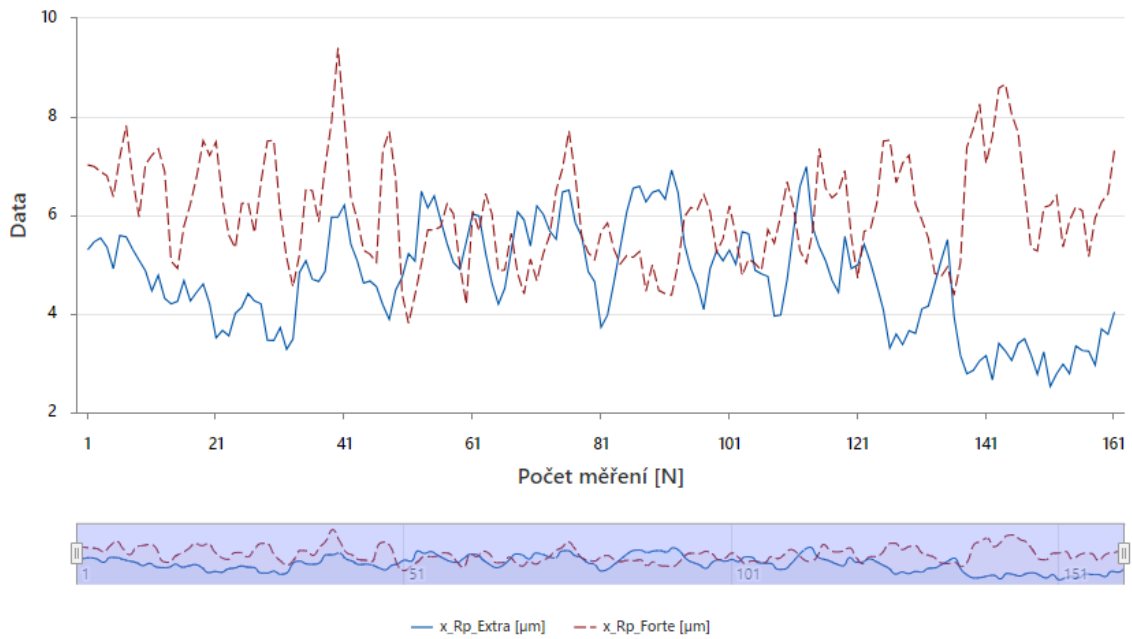


Obrázek 62 Pravděpodobnostní graf vzorku Hliník II pro parametry R_a – vzorek v odrezovači Forte (modrý) a vzorek v odrezovači Extra (červený)

Deskriptivní statistika					
Proměnná [μm]	N	Průměr	Smodch	Minimum	Maximum
x Ra Extra	161	1,966	0,426	1,148	2,849
y Ra Extra	161	1,914	0,545	0,893	3,274
x Ra Forte	161	2,691	0,476	1,777	4,123
y Ra Forte	161	2,663	0,467	1,776	3,978

Tabulka 9 Hodnoty Extra a Forte pro parametr R_a ke vzorku Hliník II

Důkazem silnějšího působení Odrezovače Forte v porovnání s Extra je soubor hodnot z tabulky a zobrazení hodnot v grafu nahoře. Jak již bylo zmíněno, pro hliníkové materiály je nejsilnějším a zároveň nejagresivnějším přípravkem odrezovač Forte. Jedná se o působení složek odrezovače – kyselina orto-fosforečná, ethanol a tanin. Ty mají na hliníkové vzorky silný vliv.



Obrázek 63 Graf časové osy pro parametr R_t – porovnání hodnot pro vzorek Hliník II v odrezovači Extra a v odrezovači Forte

Graf se nachází v rozmezí 2 až 10 μm . U vzorku Forte se hodnoty pohybují ve vyšších hladinách než u odrezovače Extra.

Celkově z analýzy vyplývá, že nejvyšší vliv na hliníkové vzorky má odrezovač Forte. Působení odrezovače Extra se nedostavilo v síle, která byla očekávána po zhodnocení předešlých vzorků.

ZÁVĚR

Závěrečná práce byla rozdělena do 2 částí, teoretické a praktické.

Teoretická část byla strukturována tak, aby zahrnovala informace o metodách měření povrchů, o vlivech chemického prostředí na kovové materiály, o korozi a dalších vnějších jevech působících na jakost povrchu a v neposlední řadě o zpracování naměřených dat.

Cílem praktické části bylo zjistit, jaký má vliv působení chemického prostředí na jakost vybraných kovových vzorků.

Hlavním faktorem v chemickém prostředí při projevení změn na testovaných vzorcích byl obsah kyseliny fosforečné.

Testovalo se dohromady 6 vzorků – 3 ocelové, 2 hliníkové a jeden mosazný. Působení celkem ve 3 různých prostředích (+ kontrolní vzorek bez vlivu chemického prostředí) – Coca-Cola, odrezovač Extra a odrezovač Forte.

Vzorky byly testovány po dobu 4 týdnů s pravidelnou výměnou kapalných složek po 1 týdnu.

Po ukončení experimentu a zhodnocení dat bylo zjištěno, že Coca-Cola má nejnižší účinek v porovnání s ostatními chemickými prostředími. Drsnost povrchu se u všech typů kovových materiálů zvýšila přibližně o 10-30 %.

Působení odrezovače Extra bylo razantní u prvních 4 materiálů – u Oceli I, II, II a u mosazi. Povrch materiálů byl značně poškozen, u některých ocelí se drsnost zvýšila až dvojnásobně. Ze vzorků byla odstraněna koroze, a dokonce se začal odlupovat i základní materiál. To znamená, že působení kyseliny fosforečné z odrezovače Extra mělo silný vliv na jakost materiálu.

U hliníkových vzorků se naopak projevil jako nejsilnější přípravek odrezovač Forte. Ten obsahuje kyselinu fosforečnou, ethanol a tanin.

Celkově lze říci, že jakost kovových materiálů nejméně ovlivnily odrezovače Forte a Extra. Především přítomnost vysokého podílu kyseliny fosforečné. Pro hliníkové materiály podíl kyseliny fosforečné a dalších přídatných materiálů. Menší vliv mělo působení vzorků v Coca-Cole, ta totiž obsahuje jen malé množství kyseliny, hlavně z důvodu bezpečnosti. Zároveň na materiály v Coca-Cole působily i jiné složky, například cukry.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MUSOLFF, Carl; MALBURG, Mark. The Surface Texture Answer Book. Digital Metrology Solutions, Inc., 2021. ISBN 10: 1736846825. [cit. 2024-02-06].
- [2] Handbook of Corrosion Engineering. Online. Elsevier, 2023. ISBN 9780323951852. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/C2021-0-02205-7>. [cit. 2024-02-06].
- [3] WHITEHOUSE, David. Surfaces and their measurement. London: Kogan Page Science, 2004. ISBN 9781903996607. [cit. 2024-02-06].
- [4] TAUDT, Christopher a TAUDT, Christopher. Surface Profilometry. Online. In: Development and Characterization of a Dispersion-Encoded Method for Low-Coherence Interferometry. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2022, s. 39-88. ISBN 978-3-658-35925-6. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-3-658-35926-3_3. [cit. 2024-02-08].
- [5] LEACH, Richard; HAITJEMA, Han; SU, Rong a THOMPSON, Adam. Metrological characteristics for the calibration of surface topography measuring instruments: a review. Online. Measurement Science and Technology. 2020, roč. 32, č. 3. ISSN 0957-0233. Dostupné z: <https://doi.org/10.1088/1361-6501/abb54f>. [cit. 2024-02-08].
- [6] WOLF, Gert W. Surfaces—topography and topology. Online. Surface Topography: Metrology and Properties. 2020, roč. 8, č. 1. ISSN 2051-672X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1088/2051-672X/ab70e8>. [cit. 2024-02-08].
- [7] KUBATOVA, Dana a MELICHAR, Martin. Roughness Evaluation Using Abbott-Firestone Curve Parameters. Online. In: KATALINIC, Branko (ed.). Proceedings of the 30th International DAAAM Symposium 2019. DAAAM Proceedings. DAAAM International Vienna, 2019, s. 0467-0475. ISBN 9783902734228. Dostupné z: <https://doi.org/10.2507/30th.daaam.proceedings.063>. [cit. 2024-02-12].
- [8] ROY, Ashutosh a VEMAGANTI, Kumar. Anisotropy Characterization Using Abbott-Firestone Curves. Online. Journal of Tribology. 2020, roč. 142, č. 2. ISSN 0742-4787. Dostupné z: <https://doi.org/10.1115/1.4045163>. [cit. 2024-02-12].
- [9] LIPA, Zdenko a TOMANÍČKOVÁ, Dagmar. Choosing the most appropriate mathematical model to approximate the abbot curve. Materials Science and Technology [elektronický zdroj]. 2010, roč. 10, č. 4, s. 37-43. [cit. 2024-02-12].

- [10] LEACH, Richard; HAITJEMA, Han; SU, Rong a THOMPSON, Adam. Metrological characteristics for the calibration of surface topography measuring instruments: a review. Online. *Measurement Science and Technology*. 2020, roč. 32, č. 3. ISSN 0957-0233. Dostupné z: <https://doi.org/10.1088/1361-6501/abb54f>. [cit. 2024-02-12].
- [11] WOLF, Gert W. Surfaces—topography and topology. Online. *Surface Topography: Metrology and Properties*. 2020, roč. 8, č. 1. ISSN 2051-672X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1088/2051-672X/ab70e8>. [cit. 2024-02-12].
- [12] DASHTI, Mohammad; ALBANNAI, Abdulaziz. A Review on Surface Roughness (Ra) Ranges for Some Finishing Processes. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Volume 11 (2020). ISSN 2229-5518. [cit. 2024-02-12].
- [13] UMOREN, Saviour A.; SOLOMON, Moses M. a SAJI, Viswanathan S. Basic concepts of corrosion. Online. In: *Polymeric Materials in Corrosion Inhibition*. Elsevier, 2022, s. 83-102. ISBN 9780128238547. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823854-7.00018-7>. [cit. 2024-02-12].
- [14] HARSIMRAN, S.; SANTOSH, K. a RAKESH, K. OVERVIEW OF CORROSION AND ITS CONTROL: A CRITICAL REVIEW. Online. *Proceedings on Engineering Sciences*. 2021, roč. 3, č. 1, s. 13-24. ISSN 26202832. Dostupné z: <https://doi.org/10.24874/PES03.01.002>. [cit. 2024-02-12].
- [15] NIAZI, Hamid; EADIE, Reg; CHEN, Weixing a ZHANG, Hao. High pH stress corrosion cracking initiation and crack evolution in buried steel pipelines: A review. Online. *Engineering Failure Analysis*. 2021, roč. 120. ISSN 13506307. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.105013>. [cit. 2024-02-12].
- [16] SONGBO, Ren; YING, Gu; CHAO, Kong; SONG, Gu; SHANHUA, Xu et al. Effects of the corrosion pitting parameters on the mechanical properties of corroded steel. Online. *Construction and Building Materials*. 2021, roč. 272. ISSN 09500618. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121941>. [cit. 2024-02-18].
- [17] LERVIK, A.; WENNER, S.; LUNDER, O.; MARIOARA, C.D. a HOLMESTAD, R. Grain boundary structures and their correlation with intergranular corrosion in an extruded Al-Mg-Si-Cu alloy. Online. *Materials Characterization*. 2020, roč. 170. ISSN 10445803. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2020.110695>. [cit. 2024-02-18].

- [18] GUO, Shuaicheng; SI, Ruizhe; DAI, Qingli; YOU, Zhanping; MA, Yunxiang et al. A critical review of corrosion development and rust removal techniques on the structural/environmental performance of corroded steel bridges. Online. *Journal of Cleaner Production*. 2019, roč. 233, s. 126-146. ISSN 09596526. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.023>. [cit. 2024-02-25]. [cit. 2024-02-18].
- [19] SELVARAJ, Tinesha; PERUMAL, Veeradasan a KHOR, Shing Phan. Non-metallic nanomaterial productions from natural resources. Online. In: *Nanoparticles in Analytical and Medical Devices*. Elsevier, 2021, s. 247-276. ISBN 9780128211632. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821163-2.00013-3>. [cit. 2024-02-18].
- [20] Structural formula of phosphoric acid, showing dimensions. Online. Dostupné z: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Phosphoric-acid-2D-dimensions.png>. [cit. 2024-02-18] (Obrázek 8).
- [21] MERLI, Giulia; BECCI, Alessandro; AMATO, Alessia a BEOLCHINI, Francesca. Acetic acid bioproduction: The technological innovation change. Online. *Science of The Total Environment*. 2021, roč. 798. ISSN 00489697. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149292>. [cit. 2024-02-18].
- [22] JIANG-XUE, Long; JIA-LI, Jiang; SHI-MING, Zhang; XIAO-FENG, Dai a XU-JIE, Dong. Study on production of organic acid rust remover from passion fruit fermented by *Aspergillus Niger*. Online. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019, roč. 369, č. 1. ISSN 1755-1307. Dostupné z: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/369/1/012007>. [cit. 2024-02-18].
- [23] Skeletal formula of acetic acid with all explicit hydrogens added. Online. Dostupné z: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Acetic-acid-2D-skeletal.svg>. [cit. 2024-02-18] (Obrázek 9).
- [24] Stereo skeletal formula of citric acid. Online. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Zitronens%C3%A4ure_-_Citric_acid.svg. [cit. 2024-02-18] (Obrázek 10).
- [25] HASAN, Mahmood Ul; SINGH, Zora; SHAH, Hafiz Muhammad Shoaib; KAUR, Jashanpreet; WOODWARD, Andrew et al. Oxalic acid: A blooming organic acid for postharvest quality preservation of fresh fruit and vegetables. Online. *Postharvest Biology and Technology*. 2023, roč. 206. ISSN 09255214. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112574>. [cit. 2024-02-18].

- [26] Structure of Oxalic acid. Online. Dostupné z: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Oxals%C3%A4ure2.svg>. [cit. 2024-02-18] (Obrázek 11).
- [27] ALZHRANI, Eman; ABO-DIEF, Hala M. a ALGETHAMI, Faouzia. Electrochemical investigations of hydrochloric acid corrosion for carbon steel and coating effect by Poly (butyl Methacrylate)-grafted alginate/Fe₃O₄. Online. Arabian Journal of Chemistry. 2021, roč. 14, č. 5. ISSN 18785352. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103100>. [cit. 2024-02-18].
- [28] MELOUN, Milan, Jiří MILITKÝ a Martin HILL. Statistická analýza vícerozměrných dat v příkladech. Praha: Academia, 2012. Gerstner. ISBN 978-80-200-2071-0. [cit. 2024-02-26].
- [29] PRĂVĂLIE, Remus; PATRICHE, Cristian Valeriu; SÎRODOEV, Igor; BANDOC, Georgeta; DUMITRAȘCU, Monica et al. Water deficit and corn productivity during the post-socialist period. Case study: Southern Oltenia drylands, Romania. Online. Arid Land Research and Management. 2016, roč. 30, č. 3, s. 239-257. ISSN 1532-4982. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/15324982.2015.1091399>. [cit. 2024-02-26].
- [30] ČSN EN ISO 21920-1: Geometrické specifikace produktu (GPS) - Textura povrchu: Profil – Část 1: Indikace textury povrchu. (2023) (01.06.2023). Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. [cit. 2024-02-26].
- [31] ČSN EN ISO 21920-2: Geometrické specifikace produktu (GPS) - Textura povrchu: Profil – Část 2: Termíny, definice a parametry textury povrchu. (2023) (01.06.2023). Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. [cit. 2024-02-26].
- [33] ČSN EN ISO 25178-2. Geometrické specifikace produktu (GPS) - Textura povrchu: Plocha – Část 2: Termíny, definice a parametry textury povrchu. Praha: Český normalizační institut, 2012. [cit. 2024-02-26].

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

R_a	Střední aritmetická hodnota drsnosti
SEM	Skenovací elektronický mikroskop
XPS	Rentgenová fotoelektronová spektroskopie
CMM	Souřadnicové měřicí stroje
LiDAR	Technologie dálkového průzkumu
CNC	Počítačově numerické řízení
3D	Zkratka výrazu „trojrozměrný“
2D	Zkratka výrazu „dvourozměrný“
%	Procento
R_{zi}	součet výšky největší špičky profilu a hloubky největší prohlubně profilu
R_z	Aritmetická střední hodnota součtu R_{zi}
R_p	Výška nejvyššího vrcholu v profilu
R_v	Hloubka nejnižšího bodu v profilu
R_{max}	Největší jednotlivá hloubka drsnosti uvnitř celkové měřicí dráhy
R_{mr}	Poměr délky nosné plochy v kterékoliv hloubce profilu k celkové délce profilu
R_t	Celková výška R-profilu
°C	Celsiův stupeň
g	Gram
cm ³	Centimetr krychlový
EDA	Explorační analýza dat
μm	Mikrometr
s	Sekunda
Q1	První kvartil
Q3	Třetí kvartil
Min	Minimum

Max Maximum

p Ukazatel vyhodnocování testů hypotéz

G Koeficient, odlehlá hodnota minus průměr a děleno směrodatnou odchylkou

Smoch Směrodatná odchylka

N Počet měření

mm Milimetr

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Abbott-Firestoneova křivka [9].....	16
Obrázek 2 Znázornění hodnoty R_z	17
Obrázek 3 Znázornění hodnoty R_{max}	18
Obrázek 4 Znázornění hodnoty R_t	19
Obrázek 5 Korozní praskání [15].....	22
Obrázek 6 Důlková koroze [16].....	23
Obrázek 7 Mezikrystalová koroze [17]	24
Obrázek 8 Chemický vzorec kyseliny fosforečné [20].....	28
<i>Obrázek 9 Chemický vzorec kyseliny octové [23]</i>	<i>29</i>
Obrázek 10 Chemický vzorec kyseliny citronové [24]	29
Obrázek 11 Chemický vzorec kyseliny šťavelové [26]	30
Obrázek 12 Histogram, Q-Q graf, bodový graf [29]	34
Obrázek 13 Testované vzorky kovových materiálů	41
Obrázek 14 Odrezovač Kittfort Forte	43
Obrázek 15 Odrezovač Kittfort Extra	44
Obrázek 16 Vzorky hliníku I po 2 týdnech působení v chemickém prostředí	46
Obrázek 17 Vzorky hliníku II po 2 týdnech působení v chemickém prostředí	46
Obrázek 18 Vzorky mosazného pásu po 2 týdnech působení v chemickém prostředí.....	46
Obrázek 19 Vzorky oceli I a III po 2 týdnech působení v chemickém prostředí	47
Obrázek 20 Vzorky oceli I a III po 2 týdnech působení v chemickém prostředí	47
Obrázek 21 Ocel, vzorek I a II.....	48
Obrázek 22 Ocel, vzorek III	48
Obrázek 23 Vzorek mosazi.....	49
Obrázek 24 Vzorek hliníku I	49
Obrázek 25 Vzorek hliníku II	50
Obrázek 26 Hliník I a II v neutrálním prostředí, konfokální mikroskop.....	50
Obrázek 27 Hliník I a II v Coca-Cole, konfokální mikroskop	51
Obrázek 28 Hliník I a II v odrezovači Forte, konfokální mikroskop	51
Obrázek 29 Hliník I a II v odrezovači Extra, konfokální mikroskop	52
Obrázek 30 Umístění testovaného vzorku hliníku na mikroskopu.....	52
Obrázek 31 3D model drsnosti povrchu pro vzorek Ocel I, po působení v odrezovači Extra	54
Obrázek 32 Abbottova–Firestoneova křivka pro poměr materiálu (Ocel I, odrezovač Extra)	54

Obrázek 33 Graf odlehlých hodnot pro odrezovač Extra na x ose	55
Obrázek 34 Graf skládané oblasti mezi vzorky x_{Ra_Extra} a $x_{Ra_Neutral}$	56
Obrázek 35 Graf časové řady pro Ocel I, parametr R_t	57
Obrázek 36 Graf skládané oblasti pro Ocel I, parametr R_p	58
Obrázek 37 Graf skládané oblasti pro Ocel I, parametr R_v	58
Obrázek 38 3D model drsnosti povrchu pro vzorek Ocel II, po působení v odrezovači Extra	59
Obrázek 39 Abbottova–Firestoneova křivka pro poměr materiálu (Ocel I, odrezovač Extra)	59
Obrázek 40 Graf časové řady pro Ocel II, parametr R_a	60
Obrázek 41 Graf skládané oblasti pro Ocel II, parametr R_t – Coca-Cola x Neutral.....	61
Obrázek 42 Konfidenční intervaly, porovnání pro Neutral a Coca-Cola	62
Obrázek 43 3D model drsnosti povrchu pro vzorek Ocel III, po působení v odrezovači Extra	63
Obrázek 44 Obrázek 45 Abbottova–Firestoneova křivka pro poměr materiálu (Ocel III, odrezovač Extra).....	63
Obrázek 46 Graf časové osy pro Ocel III, porovnání parametru R_a u Coca-Coly a kontrolního vzorku	64
Obrázek 47 3D model drsnosti povrchu pro vzorek Mosaz, po působení v odrezovači Extra	65
Obrázek 48 Abbottova–Firestoneova křivka pro poměr materiálu (Mosaz, odrezovač Extra)	65
Obrázek 49 Porovnání drsnosti mosazného vzorku – kontrolní vzorek (nalevo) a prostředí odrezovače Extra (napravo).....	66
Obrázek 50 Pravděpodobnostní graf mosazného vzorku pro parametry R_a – kontrolní vzorek (modrý) a vzorek v odrezovači Extra (červený)	66
Obrázek 51 Graf časové osy pro parametr R_t – porovnání hodnot pro vzorek v Coca-Cole, v odrezovači Extra a pro kontrolní vzorek.....	67
Obrázek 52 Skládání graf pro parametr R_p – vzorek Extra a kontrolní	67
Obrázek 53 Skládání graf pro parametr R_v – vzorek Extra a kontrolní	68
Obrázek 54 3D model drsnosti povrchu pro vzorek Hliník I, po působení v odrezovači Extra	69
Obrázek 55 Abbottova–Firestoneova křivka pro poměr materiálu (Hliník I, odrezovač Extra)	69
Obrázek 56 Porovnání drsnosti vzorku Hliník I – kontrolní vzorek (nalevo) a prostředí odrezovače Extra (napravo).....	70
Obrázek 57 Pravděpodobnostní graf vzorku Hliník I pro parametry R_a – kontrolní vzorek (modrý), vzorek v odrezovači Forte (červený) a vzorek v odrezovači Extra (zelený)	70
Obrázek 58 Graf časové osy pro parametr R_t – porovnání hodnot pro vzorek Hliník I v odrezovači Extra a v odrezovači Forte	71

Obrázek 59 3D model drsnosti povrchu pro vzorek Hliník II, po působení v odrezovači Forte	71
Obrázek 60 Abbottova–Firestoneova křivka pro poměr materiálu (Hliník II, odrezovač Forte).....	72
Obrázek 61 Porovnání drsnosti vzorku Hliník II – kontrolní vzorek (nalevo) a prostředí odrezovače Forte (napravo)	72
Obrázek 62 Pravděpodobnostní graf vzorku Hliník II pro parametry R_a – vzorek v odrezovači Forte (modrý) a vzorek v odrezovači Extra (červený)	73
Obrázek 63 Graf časové osy pro parametr R_t – porovnání hodnot pro vzorek Hliník II v odrezovači Extra a v odrezovači Forte	74

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Natavení konfokálního mikroskopu	53
Tabulka 2 Hodnoty R_a pro vzorek 1	55
Tabulka 3 Hodnoty R_t pro vzorek 1	56
Tabulka 4 Hodnoty x-ové osy pro R_p a R_v ze vzorku Ocel I	57
Tabulka 5 Hodnoty R_a pro vzorek 1	60
Tabulka 6 Hodnoty R_t pro vzorek 1	61
Tabulka 7 Hodnoty x-ové osy pro R_p a R_v ze vzorku Ocel II.....	62
Tabulka 8 Porovnání hodnot x-ové osy pro Ocel III – Coca-Cola a kontrolní vzorek.....	64
Tabulka 9 Hodnoty Extra a Forte pro parametr R_a ke vzorku Hliník II.....	73