



**ČVUT**  
ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE

**FAKULTA  
STROJNÍ  
ČVUT V PRAZE**

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA STROJNÍ**

**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

**Vliv změny parametrů drsnosti a čistoty  
povrchu na přilnavost nátěrových hmot**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**AUTOR:** David Scholz

**VEDOUcí PRÁCE:** Ing. Jan Kudláček, Ph.D.

**STUDIJNÍ PROGRAM:** B 2342 Teoretický základ strojího inženýrství

**STUDIJNÍ OBOR:** 2301R000 Studijní program je bezoborový

**Praha 2023**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Scholz** Jméno: **David** Osobní číslo: **501471**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**  
Studijní program: **Teoretický základ strojírenského inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Vliv změny parametrů drsnosti a čistoty povrchu na přilnavost nátěrových hmot**

Název bakalářské práce anglicky:

**The effect of changes in surface roughness and cleanliness parameters on the adhesion of coatings**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Rozbor problematiky čistoty povrchu a jejich předúprav.
- 2) Experimentální porovnání a vyhodnocení drsnosti a čistoty povrchu na přilnavost nátěrových hmot.
- 3) Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené literatury:

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

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

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

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

Datum zadání bakalářské práce: **26.04.2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **11.08.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2023**

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

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

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## Prohlášení

Tímto prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jana Kudláčka, Ph.D., a to pouze pomocí podkladů uvedených v seznamu použité literatury v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

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

V Praze dne: .....

.....

Podpis autora

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Janu Kudláčkovi, Ph.D. za jeho odborné vedení, poskytnutí informací, ochotu a čas. Déle děkuji panu Ing. Jiřímu Kuchařovi, Ph.D. za seznámení s přístroji v laboratoři a za užitečné rady. Děkuji i firmě Proficolor za možnost využití jejich dílen a zařízení.

# Anotace

**Název bakalářské práce:** Vliv změny parametrů drsnosti a čistoty povrchu na přilnavost nátěrových hmot

**Autor práce:** David Scholz

**Vedoucí práce:** Ing. Jan Kudláček, Ph.D.

**Akademický rok:** 2022/2023

**Vysoká škola:** ČVUT v Praze, Fakulta strojní

**Ústav:** 12133 – Ústav strojírenské technologie

**Vedoucí ústavu:** doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE

**Rozsah práce:** 89 stránek, 7 tabulek, 59 obrázků, 5 příloh

**Klíčová slova:** čistota, drsnost povrchu, předúpravy povrchu, nátěrová hmota, přilnavost nátěru

**Abstrakt:** Teoretická část práce se zabývá vysvětlením pojmů jako čistota a drsnost povrchu. Dále jsou zde představeny různé typy předúprav povrchu. Také se zaměřuje na složení nátěrových hmot a jejich metody nanášení. V její poslední části jsou popsány zkoušky sloužící k hodnocení přilnavosti nátěrových hmot. Experimentální část hodnotí vliv čistoty a drsnosti povrchu na přilnavost nátěrové hmoty.

# Annotation

**Title of the final thesis:** The effect of changes in surface roughness and cleanliness parameters on the adhesion of coatings

**Author:** David Scholz

**Supervisor:** Ing. Jan Kudláček, Ph.D.

**Academic year:** 2022/2023

**University:** CTU in Prague, Faculty of Mechanical Engineering

**Department:** 12133 – Department of Manufacturing Technology

**Head of department:** doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE

**Extent:** 89 pages, 7 tables, 59 pictures, 5 attachments

**Keywords:** cleanliness, surface roughness, surface pre-treatment, coating, coating adhesion

**Abstract:** The theoretical part of the thesis deals with the explanation of concepts such as cleanliness and surface roughness. Furthermore, different types of surface pretreatments are introduced. It also focuses on the composition of coatings and their application methods. In its last part, tests used to evaluate the adhesion of coatings are described. The experimental part evaluates the effect of cleanliness parameters and surface roughness on the adhesion of the coating.

# Obsah

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Úvod .....                                   | 10 |
| 2     | Povrch .....                                 | 11 |
| 2.1   | Čistota povrchu .....                        | 11 |
| 2.2   | Druhy a vazby nečistot .....                 | 11 |
| 2.3   | Hodnocení čistoty povrchu .....              | 12 |
| 2.3.1 | Detekce nečistot přístrojem Recognoil® ..... | 13 |
| 2.3.2 | Detekce zamaštění pomocí inkoustů.....       | 13 |
| 2.4   | Drsnost povrchu .....                        | 14 |
| 2.5   | Hodnocení drsnosti povrchu .....             | 15 |
|       | Měření drsnosti dotykovým profilem .....     | 16 |
| 2.6   | Povrchové úpravy.....                        | 17 |
| 3     | Předběžné úpravy povrchu.....                | 18 |
| 3.1   | Mechanické úpravy povrchu .....              | 18 |
| 3.1.1 | Omílání.....                                 | 18 |
| 3.1.2 | Broušení.....                                | 19 |
| 3.1.3 | Tryskání.....                                | 20 |
| 3.1.4 | Leštění .....                                | 22 |
| 3.1.5 | Kartáčování.....                             | 22 |
| 3.2   | Chemické úpravy povrchu .....                | 23 |
| 3.2.1 | Odmašťování.....                             | 23 |
| 3.2.2 | Moření.....                                  | 26 |
| 3.2.3 | Odrezování.....                              | 27 |
| 3.2.4 | Elektrochemické a chemické leštění.....      | 27 |
| 4     | Nátěrové hmoty .....                         | 28 |
| 4.1   | Složky nátěrových hmot .....                 | 29 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 4.1.1 | Filmotvorné látky.....   | 29 |
| 4.1.2 | Pigmenty, barviva, plniva .....  | 29 |
| 4.1.3 | Těkavé složky (rozpouštědla, ředidla) .....                            | 30 |
| 4.1.4 | Ostatní přísady (aditiva) .....  | 31 |
| 4.2   | Způsoby nanášení nátěrových hmot .....                                 | 31 |
| 4.2.1 | Nanášení štětcem.....  | 32 |
| 4.2.2 | Nanášení válečkem.....   | 32 |
| 4.2.3 | Nanášení pneumatickým stříkáním.....                                   | 33 |
| 4.2.4 | Nanášením vysokotlakým stříkáním .....                                 | 33 |
| 5     | Způsoby zkoušení vlastností nátěrových hmot .....                      | 34 |
| 5.1   | Mřížková zkouška .....   | 34 |
| 5.2   | Odrhová zkouška přilnavosti .....                                      | 36 |
| 5.3   | Zkouška křížovým řezem .....   | 37 |
| 6     | Experimentální část .....  | 39 |
| 6.1   | Návrh experimentu.....   | 39 |
| 6.2   | Vzorky a způsob měření.....  | 40 |
| 6.3   | Mechanická úprava povrchu .....  | 41 |
| 6.3.1 | Mechanické tryskání .....  | 41 |
| 6.3.2 | Pneumatické tryskání.....  | 41 |
| 6.3.3 | Ruční leštění.....   | 41 |
| 6.4   | Chemická předúprava povrchu.....                                       | 42 |
| 6.4.1 | Odmaštění pomocí ultrazvuku – odmašťovací směs STAR 75 PN a voda ..... | 43 |
| 6.4.2 | Odmaštění pomocí ultrazvuku – odmašťovací směs technický benzín .....  | 43 |
| 6.4.3 | Zamaštění .....  | 44 |
| 6.5   | Označení vzorků .....  | 45 |



|        |  |    |
|--------|--|----|
| 6.6    | Naměřené hodnoty znečištění povrchu .....  | 45 |
| 6.6.1  | Vzorky bez mechanické předúpravy .....     | 46 |
| 6.6.2  | Vzorky otryskané ocelovými kuličkami ..... | 48 |
| 6.6.3  | Vzorky otryskané ocelovou drtí .....       | 50 |
| 6.6.4  | Vzorky otryskané křemičitým pískem.....    | 52 |
| 6.6.5  | Leštěné vzorky.....                        | 54 |
| 6.6.6  | Diskuse výsledků .....                     | 55 |
| 6.7    | Naměřené hodnoty drsnosti povrchu .....    | 56 |
| 6.8    | Nanesení nátěrové hmoty.....               | 58 |
| 6.8.1  | Měření tloušťky nátěrové hmoty.....        | 59 |
| 6.9    | Mřížková zkouška .....                     | 60 |
| 6.9.1  | Výsledky mřížkové zkoušky .....            | 61 |
| 6.10   | Odtrhová zkouška .....                     | 63 |
| 6.10.1 | Výsledky odtrhové zkoušky.....             | 68 |
| 7      | Závěr .....                                | 69 |
|        | Bibliografie .....                         | 70 |
|        | Seznam tabulek .....                       | 74 |
|        | Seznam obrázků .....                       | 75 |
|        | Seznam příloh.....                         | 78 |

# 1 Úvod

V dnešní době existuje nespočet druhů nátěrových hmot, avšak všechny spojuje jedno, a to nutnost kvalitní předúpravy povrchu. Jedná se o proces, při kterém dojde k přípravě povrchu před nanesením nátěrové hmoty. Cílem je zajistit takový povrch, který bude splňovat určité požadavky čistoty, charakteru a drsnosti, jelikož tato kritéria ovlivňují finální přilnavost nátěru, odolnost a následně i vzhled předmětu. Při přípravě povrchu je nutné dodržet správný technologický postup, který zajistí požadované parametry povrchu. Tento postup se obvykle skládá z mechanické a následně chemické předúpravy. Díky tomuto pořadí by mělo dojít ke zdrsňení povrchu a zároveň k odstranění nečistot. Pokud by postup nebyl dodržen došlo by k negativnímu ovlivnění finální přilnavosti nátěrové hmoty v důsledku zbylých nečistot uchycených na povrchu nebo z důvodu nevhodné drsnosti. Různými předúpravami lze dosáhnout odlišných parametrů čistoty a drsnosti povrchu. Tato bakalářská práce se věnuje problematice, jak tyto parametry ovlivňují přilnavost nátěrové hmoty.

Prvním cílem této bakalářské práce je nejprve vypracovat rešerši týkající se způsobů předúprav povrchu, nátěrových hmot a následně představit jednotlivé způsoby hodnocení přilnavosti nátěru. Druhým cílem je vyhodnocení vlivu nečistot a drsnosti povrchu v závislosti na přilnavosti nátěrové hmoty ze získaných výsledků z experimentální části práce.

## 2 Povrch

### 2.1 Čistota povrchu

Čistota povrchu se řadí mezi nejvýznamnější faktory ovlivňující kvalitu a životnost povrchové úpravy. Je určena přítomností nežádoucích látek, které jsou vázány na povrch a čím méně jich je na povrchu materiálu, tím je povrch čistší. Na začátku procesu výroby je nutné nadefinovat a následně dodržet určitou úroveň čistoty, které se chce během procesu výroby dosáhnout. Pokud by povrch nebyl dostatečně čistý, tudíž by nebyla dodržena stanovená hodnota čistoty, mohlo by to způsobit například špatnou přilnavost nátěrové hmoty. Také je nutné brát v potaz náklady spojené s procesem čištění povrchu a najít takové řešení, které bude přijatelné jak ze stránky nákladů, tak i z funkčního hlediska. [1; 2]

### 2.2 Druhy a vazby nečistot

Nečistoty jsou obecně dvojího typu. Nečistoty ulpělé (cizí) a nečistoty chemicky vázané (vlastní). [3]

Vazby, které jsou mezi kovovým povrchem a nečistotami je možné rozdělit do tří skupin. Vazby chemické, vazby adhezní, vazby adsorpční. [4]

Ulpělé nečistoty jsou na povrchu drženy pouze adhezními silami. Na povrch se nejčastěji dostanou během výrobního cyklu a mohou dosahovat různé tloušťky, takže nemusí být vůbec viditelné, nebo naopak mohou mít i několik milimetrů. Jsou to nejčastěji mastné látky a drobné nečistoty, které jsou v nich zachyceny. Příkladem může být prach, kovový prach, zbytky leštících a brusných past. Proces, kterým se odstraňuje tento typ nečistot, se nazývá odmašťování. [3; 4]

Chemicky vázané nečistoty jsou spojeny s povrchem kovu chemickou vazbou. Jedná se o různé korozní produkty jako například rez či okuje. Mohou dosahovat různé tloušťky. Odstranění těchto nečistot lze docílit mechanickým způsobem

(broušením, omíláním, tryskáním apod.), nebo chemickým způsobem, kde se využívá technologie moření a odrezování. [3; 4]

Jako poslední se uvádí vazba adsorpční. Tento typ vazby se vyskytuje především u rozpuštěných látek a kapalných nebo voskových substancí nerozpustných ve vodě. Do této kategorie se řadí zbytky mastných látek, jako jsou pasty a kapaliny využívané při leštění či broušení, maziva nebo oleje. Nečistoty jsou svázány s povrchem pomocí fyzikálních sil. Pro jejich odstranění se nejčastěji využívá technologie odmašťování, která spadá do kategorie chemických předúprav povrchu. [4]

## 2.3 Hodnocení čistoty povrchu

Finální povrchová úprava je nejvíce ovlivněna zbytkovým množstvím mastných látek. Pro stanovení stupně čistoty povrchu se využívá hned několik metod detekce nečistot. Obecně lze tyto metody rozdělit na metody přímé a metody nepřímé. [5]

Metody přímé jsou v praxi více využívány, jelikož dochází k detekci zamaštění přímo na povrchu určité součásti a ihned vyhodnotí výsledek zamaštění. [5]

Nepřímé metody jsou časově náročné a často pouze použitelné v laboratorních podmínkách. Nečistoty se například detekují pomocí kontrolního rozpouštědla. Vyhodnocení se provádí na základě analýzy vtažených kontaminací do rozpouštědla. [5]

V praxi se využívá nespočet metod, ale v této bakalářské práci bude použita přímá metoda hodnocení čistoty povrchu, která bude provedena pomocí přístroje Recognoil. Jakožto zástupce nepřímých metod lze uvést metodu detekce zamaštění pomocí inkoustu, která ovšem nebude provedena v praktické části z časových důvodů a pracnosti. Princip těchto dvou metod je vysvětlen níže.

### 2.3.1 Detekce nečistot přístrojem Recognoil

Pomocí přístroje Recognoil lze detekovat nečistoty na povrchu kovových předmětů nedestruktivním a bezkontaktním způsobem. Přístroj funguje na principu vyvolání fluorescence kontaminujících látek pomocí ultrafialového záření a jejich následným zachycením citlivým detektorem. Získané informace se převedou do obrazové formy, která se zobrazí na displeji přístroje nebo na tabletu. Takto lze detekovat nečistoty jako mastnota, oleje, chladicí kapaliny apod. Výhodou je velice rychlé vyhodnocení čistoty povrchu i na rozměrných plochách. Také je tato metoda, jako jedna z mála, vhodná i pro proces automatizace. [6]

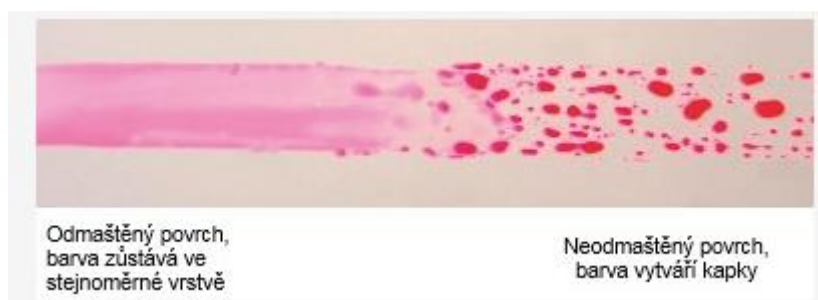


Obr. 1: Měřicí souprava od firmy Recognoil

### 2.3.2 Detekce zamaštění pomocí inkoustů

Jedná se o jednoduchou a velmi levnou metodu detekce znečištění, která funguje na principu kontroly povrchového napětí. Právě toto napětí je důležitým kritériem pro přilnavost nátěrů. Obecně platí, čím vyšší je povrchové napětí materiálu, tím lepší je přilnavost nátěru. Jako mezní hodnota se uvádí  $38 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$ . Pomocí této zkoušky se dají detekovat nečistoty na povrchu, jako jsou oleje, tuky, otisky prstů apod. Průběh zkoušky se provádí dle následujících kroků. Nejprve se nanese inkoust na zkoumaný povrch. Následně se zkoumá, jak se inkoust bude

chovat. Úkolem je zjistit, při jaké hodnotě povrchového napětí zůstane inkoust v původní stavu tak, jak jsme ho nanесли čili nedojde ke slití do malých oddělených kapiček. [7]



Obr. 2: Rozdíl mezi odmaštěným a zamaštěným povrchem [34]

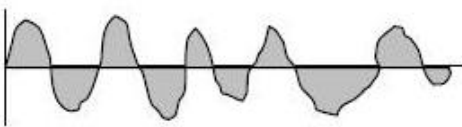
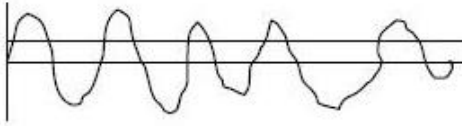
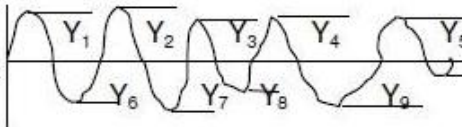
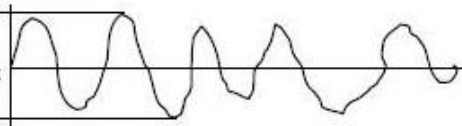
## 2.4 Drsnost povrchu

Drsnost povrchu je definována jako soubor drobných nerovností na povrchu materiálu, které jsou relativně blízko sebe. Tyto nerovnosti vznikají v důsledku zvolené metody výroby nebo jiných vlivů. Drsnost povrchu má velký vliv na funkční vlastnosti ploch. Z hlediska povrchových úprav ovlivňuje přilnavost povlaku a také finální vzhled výrobku. [1; 8]

Parametry popisující drsnost povrchu mohou být rozděleny do dvou hlavních skupin. Výškové parametry drsnosti povrchu a parametry drsnosti povrchu v podélném směru. V těchto skupinách se poté nacházejí různé charakteristiky povrchu, pomocí kterých se vyjadřují požadavky na drsnost povrchu. Mezi nejpoužívanější charakteristiky se řadí [8; 9]:

- 1)  $R_a$  – střední aritmetická odchylka profilu
- 2)  $R_z$  – výška nerovnosti profilu z deseti bodů
- 3)  $R_m$  – největší výška nerovností profilu
- 4)  $S_m$  – střední rozteč nerovností profilu

Nejvíce používanou charakteristikou je střední aritmetická odchylka profilu (viz obrázek 3). [9]

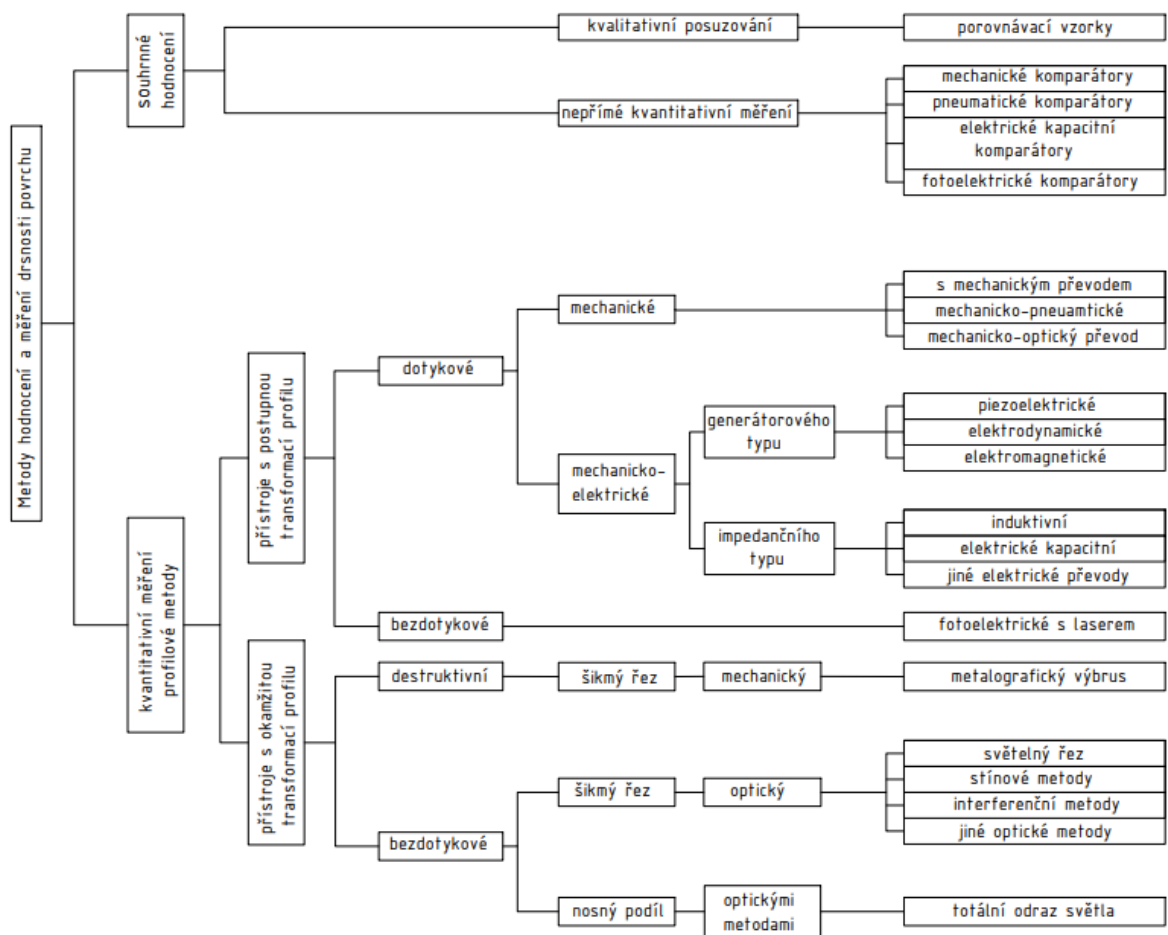
|  |  |  |
|--|--|--|
| Aritmetický průměr<br>$R_y$              | plocha nad aritmetickým průměrem se rovná ploše pod čarou aritmetického průměru  |  |
| Aritmetická odchylka od profilu<br>$R_a$ | Aritmetický průměr absolutních hodnot skutečného profilu (používá se na rugotestech)   |  |
| $R_z$<br>$R_z = (4-6)R_a$                | Průměrná hodnota z absolutních hodnot 5 maxim a 5 minim profilu křivky<br>$R_z = (Y_1 + Y_2 + \dots + Y_9 + Y_{10}) / 5$<br>( $R_z = \text{asi } 4-6x R_a$ ) |  |
| Maximální výška profilu<br>$R_{max}$     | rozdíl mezi maximem a minimem profilu drsnosti ( $R_{max}$ je asi 6x $R_a$ )   |  |

Obr. 3: Popis některých povrchových charakteristik [32]

## 2.5 Hodnocení drsnosti povrchu

Pro hodnocení drsnosti povrchu bylo vyvinuto nespočet kontrolních metod a přístrojů, které lze použít. Tyto metody a přístroje fungují na různých fyzikálních principech. Metody hodnocení a měření drsnosti povrchu se dají rozdělit do několika skupin (viz obrázek 4). [9]

Z obrázku 4 vyplývá, že se jedná o velice rozsáhlé téma, a proto bude popsána pouze metoda měření drsnosti povrchu, která byla využita v praktické části.



Obr. 4: Rozdělení metod hodnocení a měření drsnosti povrchu [9]

## Měření drsnosti dotykovým profilem

Jak je vidět na obrázku 4, tak dotykové profiloměry lze rozdělit na mechanické a mechanicko-elektrické. Nejvíce využívaným přístrojem pro měření drsnosti je profiloměr s mechanicko-elektrickým převodem. Princip měření spočívá v posunu měřicího hrotu s velmi malým zaoblením po povrchu součásti rovnoměrnou rychlostí. Změny polohy hrotu jsou zaznamenávány snímačem, který je poté převede na analogové změny napětí nebo indukčnosti, z nichž je možné následně vyhodnotit různé parametry drsnosti povrchu. Mezi přednosti těchto přístrojů patří přesnost, citlivost, jednoduchá obsluha a možnost získat grafický záznam měření. [8; 9]





Obr. 5: Drsnoměr Mitutoyo SJ-301

## 2.6 Povrchové úpravy

Povrchové úpravy jsou technologické procesy, které se provádí za účelem zlepšení funkčních vlastností výrobku. Lze pomocí nich ovlivnit například odolnost proti opotřebení nebo zlepšit třecí vlastnosti. Dalším důvodem, proč využíváme povrchové úpravy, je zvýšení odolnosti proti korozi. [10]

Povrchové úpravy se dají rozdělit hned podle několika aspektů [10]:

- 1) Podle účelu
  - a. Čištění a předběžné úpravy
  - b. Povrchové úpravy zvyšující odolnost proti korozi
  - c. Povrchové úpravy zajišťující požadovaný vzhled výrobku
  - d. Povrchové úpravy pro dosažení specifických funkčních vlastností povrchu
- 2) Podle charakteru vytvořené povrchové vrstvy
  - a. Anorganické
  - b. Organické

Následují i další typy rozdělení, ale pro účely této práce jsou dostačující výše zmíněné.

## 3 Předběžné úpravy povrchu

Kvalitní příprava povrchu je jednou z nejdůležitějších částí celého technologického postupu, která ovlivňuje životnost povrchových úprav. Vhodným provedením se zajistí dostatečná přilnavost konečných povlaků, stejnoměrný vzhled výsledné úpravy a také dobrá odolnost proti korozi či opotřebení. Správný proces úpravy povrchu prochází dvěma fázemi, během kterých je využíváno mechanických a chemických operací. Tímto postupem je možné dosáhnout splnění základních požadavků pro prvotní úpravu povrchu kovu. Mezi tyto požadavky se řadí příprava určité požadované mikrostruktury, kvality povrchu a zajištění požadované čistoty povrchu. [1; 10]

### 3.1 Mechanické úpravy povrchu

Mechanické úpravy povrchu jsou prováděny za účelem dosažení určité jakosti a kvality povrchu, avšak nedojde při nich ke změně tvaru či rozměru upravovaného předmětu. Do této sekce úprav lze zařadit operace, jako je tryskání, omílání, broušení, kartáčování a leštění. [1; 10]

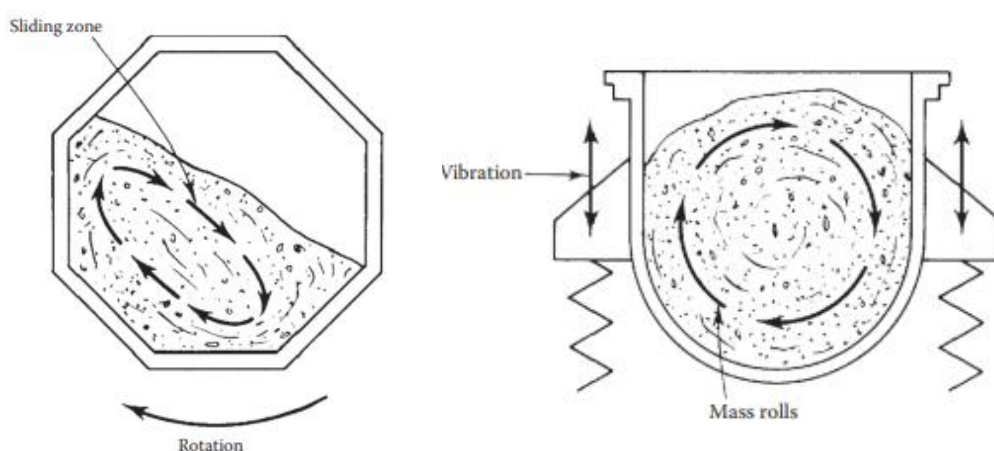
Jejich hlavním cílem je zbavit se nečistot z povrchu předmětu a zajistit takové podmínky, aby byla zaručena přilnavost následných vrstev, zlepšení korozní odolnosti a mechanických vlastností povrchu. Součástí je také vytvoření povrchu, který odpovídá požadovaným vzhledovým kritériím. [1; 10]

#### 3.1.1 Omílání

Prvním způsobem, jak lze mechanicky upravit povrch předmětu je omílání. Principem této operace je úbytek a vyhlazování materiálu při vzájemném odírání předmětů, omílajících těles, brusiva a kapaliny, pokud se nejedná o omílání za sucha. Uplatňuje se hlavně pro výrobky o menších rozměrech. Mezi hlavní výhody omílání lze řadit vysokou produktivitu, spojení ručního broušení a leštění do jedné operace. Ovšem musí se brát v potaz, že také dochází k nerovnoměrnému úběru materiálu (nejvíce v okolí hran) a v některých případech může dojít až k poškození výrobku, hlavně u členitých výrobků.

Drsnost povrchu po této operaci může dosahovat hodnoty až  $Ra\ 0,3\ \mu\text{m}$ . K omílání dochází v bubnech či zvonech. Podle typu jejich pohybu je můžeme rozdělit na rotační, vibrační a odstředivé (viz obrázek 6). Výsledný povrch je ovlivněn volbou omílačích a chemických prostředků. [1; 10; 11]

Jako omílací materiály se používají přírodní nebo umělé kameny (nejčastěji korund), kovové a organické materiály. Chemické prostředky mají za úkol čistit omílané součásti i omílací prostředky a zabraňovat koroznímu napadání. Obvyklou volbou poměru součástí a omílacích tělísek je 1:3. [1; 10]



Obr. 6: Schéma principu rotačního a vibračního omílání [11]

### 3.1.2 Broušení

Broušení je technologie, která se používá za účelem odstranění nerovností a sjednocení povrchu předmětu. Jako jediná z technologií mechanických předúprav je vhodná pro odstranění hlubokých škrábanců a různých vad povrchu. Při této operaci se principiálně začíná od hrubších brusiv a postupuje se k jemnějším. Broušení se dá provádět jak strojově, tak i ručně a lze jej rozdělit do několik stádií. První z nich je hrubé broušení, které je prováděno za sucha a je použito brusivo o zrnitosti v rozmezí od 24 do  $100\ \text{zrn}\cdot\text{cm}^{-2}$ . Druhým typem je jemné broušení, u kterého se používá brusivo o zrnitosti 120 až  $240\ \text{zrn}\cdot\text{cm}^{-2}$ . Jako poslední se uvádí předlešťování. V této operaci dochází k využití brusiva o zrnitosti 280 až  $500\ \text{zrn}\cdot\text{cm}^{-2}$ . [1; 10; 12]

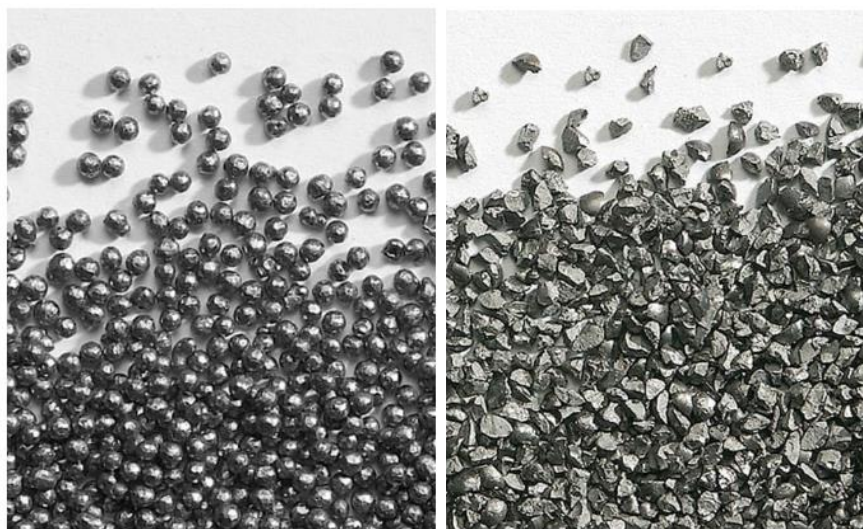
Jako nástroje se využívají brusné kotouče či pásy, které mají pevnou nebo volnou vazbu s abrazivem. Nejmenší možná drsnost, kterou lze dosáhnout broušením, se pohybuje v rozmezí od Ra 0,2  $\mu\text{m}$  do Ra 0,4  $\mu\text{m}$ . Obvodové rychlosti se při této technologii pohybují v intervalu od 20 do 45  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ . [1; 10]

### 3.1.3 Tryskání

Tryskání je jednou z nejrozšířenějších mechanických předúprav povrchu, při které dochází k vrhání drobných částic tryskacího materiálu za velké rychlosti proti povrchu součásti. Při dopadu se mění kinetická energie na práci, tudíž dojde k opracování nebo tváření povrchové vrstvy. Účelem je dokonale očistit materiál od korozních produktů, grafitu, písku apod., zpevnění a dosáhnouti vhodné drsnosti povrchu. [13]

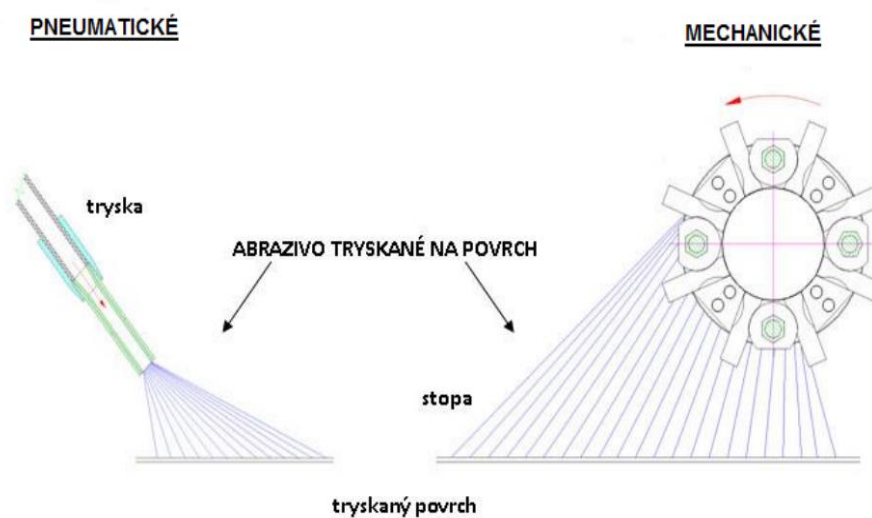
Je také nutné brát v potaz, jakým typem abraziva dochází k otryskávání. Při používání ostrých tvrdých zrn dochází k vysekávání částic z povrchu tryskaného předmětu. Díky tomu dojde k odstranění nečistot, rzi a okují. Také dojde ke zdrsňení povrchu v závislosti na druhu tryskacího materiálu. Při použití tupých tvrdých zrn, nedojde k úběru materiálu, ale k jeho zpevnění a očištění. Výsledný povrch je pokryt malými důlky. [10]

Tryskací prostředky (abraziva) lze klasifikovat podle několika různých hledisek. Lze je dělit podle materiálu, ze kterého je tryskací prostředek vyroben, na kovové a nekovové. Dále je také možné dělit abraziva podle původu prostředku, a to na přírodní a syntetické. Posledním způsobem je dělení podle tvaru zrna. To může být ostrohranné (drtě) nebo oblé (granuláty). [10; 13]



Obr. 7: Ukázka abraziva, ocelový granulát (vlevo) a ocelová drť (vpravo) [30]

Tato technologie je prováděna pomocí tryskacích zařízení. Ta lze podle typu konstrukce a principu tryskání rozdělit na pneumatické a mechanické.[10]



Obr. 8: Schéma pneumatického a mechanického tryskání [31]

### 3.1.4 Leštění

Leštění je operace, u které dochází k minimálnímu úbytku materiálu. Odstraňují se nejjemnější stopy po předešlé operaci. Dosažitelný stupeň drsnosti povrchu je Ra 0,1  $\mu\text{m}$  a méně. Opět se dá tato technologie provádět ručně či strojově. Leštění je také možné dělit do dvou skupin. [1; 10]

První skupinou je předleštování, u kterého se využívají tvrdší kotouče. Ty jsou vyrobeny z látky, plstě nebo kůže. Dále se uplatňují pasty, které jsou mastnější a ostřejší a obecně je dosaženo větších obvodových rychlostí. Druhou skupinou je doleštování. Je prováděno při nižších obvodových rychlostí za využití měkkých kotoučů, sušších a jemnějších past. [1; 10]

Obvodové rychlosti nástroje se pohybují v rozmezí od 26 do 36  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Jako abraziva pro leštění se například používají oxid hlinitý, jemný přírodní i umělý korund, oxid chromitý a železitý nebo vídeňské vápno. [1; 10]

### 3.1.5 Kartáčování

Kartáčování má hned dva způsoby využití. Zaprvé může být použito za účelem odstranění hrubých nečistot jako například rez nebo staré nátěry. Druhý způsob využití je po technologii broušení, kde má za úkol odstranit oxidickou vrstvu, zjemnit a sjednotit upravovaný povrch. Může se provádět ručně či strojně. Hlavní uplatnění se nalezne u členitých součástí, kde se naplno využije elasticita nástroje (kartáče). [1; 10]

Materiál kartáčů se mění se způsobem použití, kde pro čištění a matování se používají kartáče z ocelového drátu. Pro dokončovací práce se používají kartáče vyrobené z přírodních a umělých vláken (sisal, silon apod.), které jsou pružné, měkké a dobře na sebe vážou brusné pasty. Obvodové rychlosti nástroje jsou v rozmezí od 20 do 45  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ . [1; 10]

## 3.2 Chemické úpravy povrchu

Jedná se úpravy povrchu, kde dochází k reakci mezi chemickými činidly a nečistotami na povrchu materiálu. Do této sekce úprav povrchu patří: odmašťování, moření, odrezování a chemické nebo elektrochemické leštění. Provádí se před následujícími úpravami a mají za úkol odstranit nečistoty z povrchu. Požadovaná čistota povrchu se liší podle druhu povlaku. Galvanické povlaky jsou nejvíce citlivé, následují nátěrové hmoty a difuzní povlaky. [1; 14]

Pokud je v procesu výroby prováděno více chemických úprav, je nezbytné mezi jednotlivé operace vždy zařadit oplach, aby nedošlo k znehodnocení následných chemických lázní. [1; 14]

### 3.2.1 Odmašťování

Odmašťování je název pro odstranění všech druhů nečistot z povrchu, které jsou vázány fyzikální adsorpcí nebo adhezními silami. Tento proces se používá ve většině průmyslových odvětvích a je základem většiny technologií. Často se jedná o časově náročný proces. Používají se odmašťovací prostředky, které mají za úkol uvolnit nečistoty z povrchu do emulzí či roztoků a zabránit jejich zpětnému navázání na kovový povrch. [1; 15]

Procesy odmašťování se mohou rozdělit následovně [16]:

- 1) Odmašťování v organických rozpouštědlech
- 2) Odmašťování ve vodných alkalických roztocích
- 3) Emulzní odmašťování

Dále lze také dělit odmašťování podle způsobu aplikace na odmašťování [16]:

- 1) Ponorem
- 2) Postřikem
- 3) V parách (možné pouze u organických rozpouštědel)
- 4) Elektrolytické
- 5) Za použití ultrazvuku

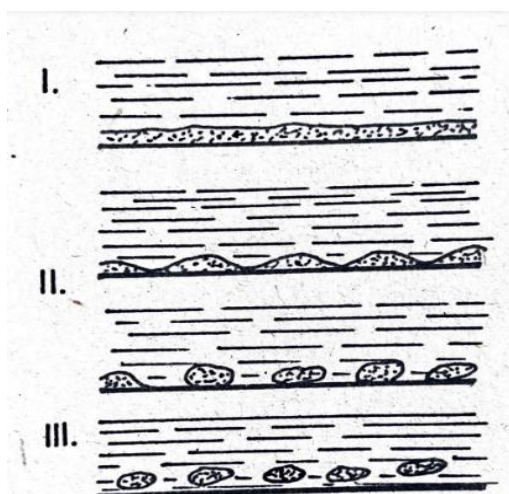
## Odmašťování v organických rozpouštědlech

Jedná se o nejjednodušší, rychlý a velmi rozšířený způsob odmašťování. Ovšem nevýhodou této metody je, že se nedá použít na vlhké povrchy a neodstraní některé druhy nečistot, jako jsou anorganické soli, otisky prstů, heteropolární nečistoty či pot. Mezi další nevýhody spadá obtížná likvidace rozpouštědel. V praxi se používá pouze několik organických rozpouštědel. Hlavními zástupci jsou benzín, líh a rozpouštědla z řady uhlovodíků. Je nutné brát v potaz, že při použití některých typů rozpouštědel nedojde k úplnému odstranění nečistot a musí následovat dočištění povrchu. Ostatní zástupci se nepoužívají z důvodu, že jsou hořlaví, jedovatí nebo velice nestálí. [10; 14; 15]

## Odmašťování ve vodných alkalických roztocích

Odmašťování v alkalických roztocích závisí na typu nečistot. Pokud se na povrchu vyskytnou nečistoty v podobě živočišných a rostlinných tuků, dochází k procesu, který se nazývá zmýdelňování. Jedná se o náročný proces, kde se mastné kyseliny neutralizují a přejdou do roztoku jako rozpustná mýdla. [14]

Jestliže jsou nečistoty v podobě minerální mastnoty (oleje, vazelíny, vosky) proces probíhá značně obtížněji, jelikož nedochází ke zmýdelňování. Proces odmašťování je nutné provádět za vyšších teplot a nečistoty se emulgují ve formě drobných kapiček do roztoku odmašťovadla. [14]



Obr. 9: Schéma emulgace mastnoty [14]



Alkalické prostředky v sobě obsahují louh (hydroxid) nebo zásadité soli (fosforečnany, uhličitany, křemičitany), které uvolňují alkálie. Je zapotřebí, aby roztok měl dostatečnou alkalitu, kde pH musí být větší než 10,2, jinak by nedošlo k hydrolýze mýdla. Odmaštění v alkalických rozpouštědlech probíhá nejčastěji formou ponoru při teplotách v rozmezí od 70 do 90°C. Doba ponoru se pohybuje od pěti do deseti minut podle stupně znečištění povrchu. Další možností je místo ponoru použít postřik, ale tato metoda se využívá pouze pro rozměrné nebo velice znečištěné předměty. V současné době se již upřednostňují povrchově aktivní látky, jako jsou tenzidy. Alkalické složky byly nahrazeny boritany a polyfosfáty. Díky těmto látkám je proces méně časově a energeticky náročný. Zavedení tenzidů také umožnilo snížit u roztoků vysokou hodnotu pH na roztoky slabě alkalické až neutrální. [1; 14; 15]

### **Odmašťování vodnými tenzidovými prostředky**

Tato technologie poskytuje hned několik výhod ve srovnání s výše zmíněnými způsoby odmašťování. Oproti alkalickému odmašťování není potřeba tak vysokých teplot, ty se zde pohybují v rozmezí od 50 do 60°C, a doba odmašťování je také nižší (od jedné minutu do deseti minut) a odvíjí se podle míry znečištění. Další výhodou je snazší likvidace oplachových vod a odmašťovacích lázní. [10]

### **Emulzní odmašťování**

Jedná se o spojení výše zmíněných způsobů odmašťování. Nejčastěji se provádí ponořením předmětu do organického rozpouštědla, které obsahuje emulgátory. Díky této kombinaci lze dosáhnout větší koncentrace povrchově aktivních látek a dochází k emulzifikaci mastnot, což je způsobeno organickým rozpouštědlem, které snižuje viskozitu mastnoty. Jak rozpouštědlo, tak i nečistoty se poté odstraní oplachem ve formě vodní emulze. Jedná se o velmi účinný proces, který lze provádět za normálních teplot. Využívá se hlavně k odstranění rozsáhlých mastných ploch. Ovšem nejedná se o příliš rozšířenou metodu v praxi, jelikož někdy dochází ke vzniku velmi stabilních emulzí, které způsobují potíže při čištění odpadních vod. Kromě ponoru lze provést tento proces i postřikem nebo nátěrem. [10; 14; 15]

## **Elektrolytické odmašťování**

Zařazuje se jako poslední operace čištění kovového povrchu bezprostředně před galvanickým pokovováním, proto musí být provedeno dokonale. Účelem je odstranit poslední zbylé vrstvy nečistot po předešlých operacích. Principem je elektrolýza, kde dochází k průchodu elektrického proudu vodivým roztokem mezi dvěma elektrodami, což následně vede k disociaci látek alkalického roztoku. Podle způsobu zapojení se elektrolytické odmašťování rozděluje na katodické, anodické a katodicko-anodické. [1; 14; 17]

## **Odmašťování pomocí ultrazvuku**

Jedná se o jeden z nejefektivnějších způsobů odmašťování, pomocí kterého je možné dosáhnout velice čistého povrchu v poměrně krátké časové době. Na druhou stranu jde o nejnákladnější způsob odmašťování. Své uplatnění najde u menších a tvarově náročných předmětů, ale lze odmašťovat i větší předměty, které se vejdu do odmašťovací vany. Jako odmašťovací prostředky lze použít organická rozpouštědla nebo speciálně formulované vodné alkalické přípravky. Princip odmašťování pomocí ultrazvuku spočívá v šíření ultrazvukového vlnění v kapalině. Jak se vlnění šíří, tak dochází ke zředování a zhušťování prostředí, a to má za důsledek vznik oblastí s rozdílnými tlaky. Tento jev vede ke vzniku kavitace, což je proces, při kterém částice narážejí na povrch součástí, a tím dochází k odstraňování nečistot. [10; 11; 15]

### **3.2.2 Moření**

Moření je proces, který se používá pro odstranění korozních produktů (oxidů), které vznikly při tepelném zpracování za vysokých teplot. Nejčastěji se jedná o okuje. Je důležité, aby povrch neobsahoval organické nečistoty jako tuky, oleje, otisky prstů apod., jelikož jejich přítomnost by zhoršila výsledky moření. Princip této technologie spočívá v tom, že kyselina nejdříve začne působit na okuje a postupně je rozpouští. Jelikož vrstva okují není nikdy dokonale souvislá, naopak bývá velmi porézní, tak se kyselina díky pórům jednoduše dostane až k základnímu ocelovému materiálu, který také rozpouští. Vznikající vodík

následně proniká pod okuje, kde začne tvořit shluky a zvětšovat svůj objem. Kvůli tomu začne vzrůstat tlak na vrstvu okují, což napomáhá k jejich odtržení. [12; 18; 19]

Nevýhodou tohoto procesu je, že dochází k difuzi vodíku do základního materiálu, a to způsobuje vodíkovou křehkost. Proto je nutné moření usměrnit tak, aby se ocel rozpouštěla pozvolněji, a naopak okuje rychleji. Toho lze dosáhnout vhodnou koncentrací mořící lázně. Dále je nutné brát v potaz úbytek kovu, který se odhaduje na 2 až 4 % váhy výrobku. Mezi nejvyužívanější kyseliny se řadí kyselina sírová, kyselina chlorovodíková a kyselina fosforečná. [18; 19]

### **3.2.3 Odrezování**

Úkolem této technologie je odstranění korozních produktů z povrchu ocelových předmětů. Tento proces se uskutečňuje ve dvou fázích. V první fázi dochází k odstranění rzi pomocí minerální kyseliny. Druhá fáze spočívá v převedení korozní vrstvy na komplexy s vysokou adhezí k povrchu kovu. [1; 10]

Hlavním úkolem je odstranit rez. Toho lze docílit většinou kyselin, nejvíce se ale využívají odrezovače na bázi kyseliny fosforečné. [1; 10]

### **3.2.4 Elektrochemické a chemické leštění**

Je to proces, který se velmi podobá moření kovů, ale využívají se pro něj speciální lešticí lázně. Jde o účinnější a kvalitnější úpravu povrchu ve srovnání s mechanickým leštěním. Užívá se hlavně pro menší a tvarově náročnější součásti, jejichž hlavním požadavkem je hladkost a odrazivost povrchu. [1; 10]

Chemické leštění spočívá v rozpouštění kovu agresivními roztoky. Proces se provádí způsobem, u něhož je hlavním cílem odleptávání vyvýšených míst nerovností. [1; 10]

U elektrolytického leštění dochází ke zvýšení proudokřivek na vrcholcích nerovností, což má za následek rychlejší odleptávání vrcholků oproti prohlubním. Tím nastane vyrovnání povrchu. [1; 10]

## 4 Nátěrové hmoty

Tímto názvem lze označit všechny hmoty, které se nanášejí na podklad. Mohou být v tekutém, práškovitém nebo těstovité stavu. Jejich úkolem je chránit povrch výrobků a dodat jim požadovaný vzhled. Také však jednotlivé nátěry mohou mít své specifické vlastnosti jako například elektrovodivost, baktericidnost, svítivost a jiné. [20; 21]

Za nátěr je možné označit takový povlak, který dosahuje požadovaných vlastností a tvoří souvislou vrstvu. Tento povlak vzniká nanesením a následným zaschnutím nátěru. Nátěry lze rozlišovat podle počtu nanesených vrstev na jednovrstvé nebo vícevrstvé. [20; 21]

Nátěrové hmoty se dají klasifikovat hned dle několika aspektů, ale jako hlavní se uvádí rozdělení podle charakteristických vlastností na nátěrové hmoty transparentní a pigmentové. [22]

Transparentní nátěrové hmoty (laky) vytvářejí na podkladu průhledný, někdy až průsvitný film. Spadají sem látky jako fermeže, syntetická napouštědla, laky a emulze. [22]

Pigmentované nátěrové hmoty vždy vytvářejí na podkladu po zaschnutí neprůhledný film. Do této kategorie spadají emaily, barvy, tmely a plniče. [22]

Nátěrové hmoty lze dělit i podle jiných aspektů. Jako další se uvádí dělení podle účelu použití (venkovní, vnitřní, speciální), podle způsobu tvorby chemického filmu (chemickými pochody, fyzikálními pochody), podle použití a pořadí v nátěrovém systému (napouštěcí, základní, vyrovnávací, podkladové, vrchní, maskovací) nebo podle způsobu sušení a vytvrzování materiálů (vypalovací, vytvrzované ultrafialovým zářením, vytvrzované elektrickými zářiči, zasychající na vzduchu při pokojové teplotě). [21; 22]

## 4.1 Složky nátěrových hmot

Pro výrobu nátěrových hmot se používá nespočet různých druhů surovin. Hlavním parametrem pro jejich výběr je šetrnost k životnímu prostředí, na které se v posledních letech začal klást větší důraz. Nátěrové hmoty nesmí být toxické, fyziologicky závadné a je snaha, aby měly co nejnížší obsah organických rozpouštědel. [21]

Suroviny, které se používají pro výrobu nátěrových hmot, lze rozdělit do čtyř základních skupin [21]:

- filmotvorné látky (pojiva, změkčovadla)
- pigmenty, plniva a barviva
- těkavé složky (rozpouštědla, ředidla)
- ostatní přísady (aditiva)

### 4.1.1 Filmotvorné látky

Do této skupiny se řadí netěkavé organické látky, jejichž úkolem je vytvořit souvislý nátěrový film o různé tloušťce. Mezi dva hlavní zástupce patří pojiva a změkčovadla. Jejich účelem je zajistit správnou přilnavost k pokladu a dostatečnou soudržnost nátěrové hmoty. Také mají vliv na vlastnosti, jako je odolnost, lesk, ohebnost či tvrdost nátěru. [21; 23]

Dříve mezi nejvyužívanější pojiva patřily přírodní pryskyřice a rostlinné oleje. Ovšem tyto suroviny již v současnosti nejsou příliš používány. Nahradily je syntetické pryskyřice (epoxidové, silikonové, akrylátové apod.), které se staly nezbytnou součástí moderních nátěrových hmot. [21]

### 4.1.2 Pigmenty, barviva, plniva

**Pigmenty** se vyskytují v podobě barevných prášků, díky kterým získá nátěrová hmota barevný odstín a krycí mohutnost. Jejich charakteristickou vlastností je nerozpustnost v pojivech, rozpouštědlech či jiných složkách nátěrové hmoty. Dalšími vlastnostmi, kterými pigmenty disponují, jsou světlostálost, odolnost vůči povětrnostním podmínkám, co nejmenší reaktivnost s okolím a také

antikorozní účinky. Jejich původ může být trojího typu: organický, anorganický nebo směsný. Lze je dělit i podle jejich ochrany proti korozi do tří hlavních skupin [20; 21; 23] :

- inhibiční pigmenty
- neutrální pigmenty
- stimulující pigmenty

**Barviva** jsou rozpustná v pojivech nebo se přímo nachází v kapalném stavu. To je hlavní rozdíl mezi barvivy a pigmenty. [23]

Pro **plniva** platí stejná kritéria jako pro pigmenty. Jejich odlišnost od pigmentů se projevuje ve výrazně nižším indexu lomu a v tom, že se nijak nepodílí na odstínu nátěrové hmoty. Jsou označovány jako základní stavební složka nátěrových filmů. Díky nim lze navyšovat tloušťku nátěru či dosáhnout zesílení struktury povlaku. [21]

#### 4.1.3 Těkavé složky (rozpouštědla, ředidla)

Hlavním úkolem rozpouštědel a ředidel je zajistit, aby nátěrová hmota byla dostatečně tekutá a dala se nanést na povrch, tudíž upravují viskozitu nátěrové hmoty. Po nanesení nátěru dojde k vytěkání těchto látek při procesu zasychání a sušení. Kdyby nedošlo k tomuto jevu, a těkavé složky by zůstaly v nátěrovém filmu i po vytvrzení, došlo by k poklesu odolnosti nátěru. [20; 23]

**Rozpouštědla** jsou kapalné organické sloučeniny, schopné rozpouštět filmotvorné látky. Mezi nejvyužívanější rozpouštědla patří toluen, etylalkohol, xylen či aceton. Jejich využití je hlavně u nanášení nátěrů, kde po nanesení dochází k odpařování. V závislosti na rychlosti odpařování bylo zavedeno dělení rozpouštědel na lehké, střední a těžké. [20; 24]

**Ředidla** slouží k upravení viskozity na požadovanou hodnotu a tím lze měnit konzistenci nátěrových hmot. Každá technologie nanášení vyžaduje jiné konzistence nátěrové hmoty (viz obrázek 10). Pokud by bylo dosaženo nevhodné konzistence (například použitím nevhodného ředidla), mělo by to za následek výrazné snížení kvality nátěru. [20; 21]

| Technologie nanášení   | Konzistence<br>Ø 4 mm 20° C |
|------------------------|-----------------------------|
| stětcem                | 50 - 80                     |
| válečkem               | 40 - 80                     |
| rukavicí               | 50 - 80                     |
| stříkáním pneumatickým | 20 - 35                     |
| stříkáním za horka     | 70 - 100                    |
| máčením                | 20 - 40                     |
| poléváním              | 20 - 30                     |
| clonováním             | 60 - 100                    |

Obr. 10: Konzistence v závislosti na technologii nanášení [20]

#### 4.1.4 Ostatní přísady (aditiva)

Aditiva jsou přídavné látky, které mají zlepšit vlastnosti nátěrových hmot. Bez nich by nebylo možné splnit požadavky, které jsou kladeny na nátěrové hmoty. Mezi jejich hlavní přednosti se řadí lepší a rychlejší dispergace pigmentů v barvě. K dalším výhodám patří zabraňování pěnění, želatinaci či usazování pigmentů. Dalším požadavkem je, aby aditiva neměla univerzální ale specifický účinek. Podle toho lze poznat, že se jedná o dobrá aditiva. V praxi se rozdělují do tří hlavních skupin [21]:

- pomocné látky
- zahušťovadla
- iniciátory, katalyzátory, urychlovače a inhibitory

#### 4.2 Způsoby nanášení nátěrových hmot

Technologie nanášení nátěrových hmot lze zařadit mezi jeden z faktorů, které ovlivňují celkovou životnost nátěrů. Existuje nespočet způsobů, kterými lze nanášet barvu na podklad a každý má svoje přednosti i nedostatky. Obecně nelze označit některou z metod za univerzální. Proto je hned několik aspektů, podle kterých je možné vybrat optimální nanášecí technologii [20]:

- 1) Velikost, tvar a množství upravovaných předmětů
- 2) Požadavky na konečnou kvalitu
  - a. vzhled nátěru
  - b. tloušťka nátěru
  - c. stupeň korozního namáhání
- 3) Kvalita povrchu materiálu, na který se nátěr nanáší (pórovitost, stupeň očištění apod.)
- 4) Vlastnosti použitých nátěrových hmot (těkavost rozpouštědel, rychlost zasychání, rozliv apod.)
- 5) Pracnost jednotlivých technologií

V praxi se využívá mnoha způsobů nanášení nátěrových hmot. V následujícím oddílu jsou popsány pouze technologie nanášení, které jsou použity v praktické části nebo které jsou nejvyužívanější.

#### **4.2.1 Nanášení štětcem**

Jedná se o velice jednoduchou, ale za to pomalou a pracnou metodu nanášení nátěrové hmoty. Uplatnění nachází při práci s malými výrobky, komplikovanými tvary (např. členité výrobky) a také se využívá tam, kde není možnost použití technologii stříkání. Výhodou je velice dobrá přilnavost nátěru k základnímu povrchu (způsobeno zatlačením nátěrové hmoty do pórů), minimální ztráty nátěrové hmoty a jednoduchá aplikace. Je nutno brát v potaz, že kvalita nátěru je závislá na zručnosti pracovníka. Pro nanášení se využívají štětce kulaté, ploché nebo takzvané zároháky. [20; 24]

#### **4.2.2 Nanášení válečkem**

Tato metoda se využívá na velké ploché oblasti, které nemají rovnoměrnou texturu a kde se nedá využít technologie stříkání. Principiálně je podobná technologii nanášení štětcem, ale má zhruba dvakrát vyšší účinnost. Mezi její výhody patří jednoduchost nanášení, malá ztrátovost a dobrá přilnavost nátěrové hmoty. [20; 25]



### **4.2.3 Nanášení pneumatickým stříkáním**

Jedná se o nejrozšířenější technologii nanášení nátěrových hmot, která je využívána v sériové i kusové výrobě. Mezi její přednosti se řadí vysoká produktivita a nízká fyzická námaha pracovníka. Nátěr, který vznikne touto technologií, je hladký, málo pórovitý, má dostatečnou krycí schopnost a rovnoměrnou tloušťku. Tato metoda není vhodná pro malé výrobky, jelikož dochází k velkému prostříku, a tím pádem vznikají ztráty. Není také vhodná pro členité výrobky, kde například v dutinách nedojde k souvislému pokrytí z důvodu tvorby vzduchového polštáře. K nanášení se využívají stříkací pistole. Volba správné pistole závisí na velikosti a tvaru stříkaných předmětů, složení nátěrové hmoty (obsah hrubých částic apod.) nebo sériovosti výroby. Princip spočívá v přívodu stlačeného vzduchu do trysky, kde dojde k roztříštění barvy na drobné kapičky, které jsou následně unášeny proudem vzduchu směrem k povrchu. [20; 24]

### **4.2.4 Nanášením vysokotlakým stříkáním**

Nanášením vysokotlakým stříkáním lze zařadit mezi nejproduktivnější metody nanášení. Nátěrová hmota se rozprašuje pomocí zařízení, do kterého je vháněna pod tlakem 8 až 15 MPa a ze kterého je následně rozprašována ven. Využívá se hlavně pro rozlehlé plochy (mohutné konstrukce, mosty apod.). Tuto technologii lze uplatnit i pro složitější tvary s dutinami, spárami a mezerami. Nevýhodou této metody je opět velká ztrátovost, která je v porovnání s nanášením štětcem vyšší zhruba o 30 až 40 %. [20; 24]

## 5 Způsoby zkoušení vlastností nátěrových hmot

Zkoušení vlastností nátěrových hmot je velice rozsáhlá kapitola. Obecně se dá toto téma rozdělit od tří hlavních odvětví. Zaprvé, vlastnosti nátěrových hmot před nanesením, kde se například hodnotí konzistence, ředitelnost nebo zpracovatelnost. Zadruhé, vlastnosti nátěrových hmot během nanášení. Zde se hodnotí roztíratelnost, slévatelnost, vydatnost a podobně. Jako poslední se hodnotí vlastnosti po nanesení. Do této skupiny vlastností patří tvrdost, vláčnost, tloušťka suchého nátěru a přilnavost nátěru k podkladu. Dále je možné zkoušet i vlastnosti vyvrálého zaschlého nátěru, nebo lze provádět zkoušky životnosti nátěru. [26]

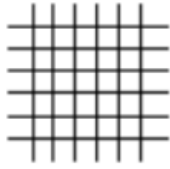
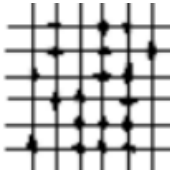
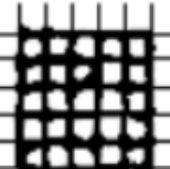
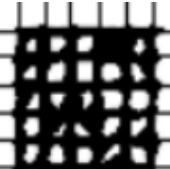
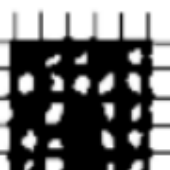
Práce je zaměřena pouze na zkoušky, které se zabývají přilnavostí nátěrové hmoty k základnímu materiálu, jako jsou mřížková zkouška, odtrhová zkouška přilnavosti a zkouška křížovým řezem. Jejich principem a způsobem vyhodnocování se zabývá následující část.

### 5.1 Mřížková zkouška

Mřížková zkouška je definována dle normy ČSN EN ISO 2409:2021. Provádí se za účelem zjištění odolnosti nátěru proti oddělení od podkladu. Zkouška se provádí za teploty  $23 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$  a vlhkosti  $50 \pm 5 \%$ . Průběh této zkoušky je následovný [27]:

- 1) Vytvoření šesti rovnoběžných řezů
- 2) Vytvoření šesti kolmých řezů na první šestici
- 3) Odstranění uvolněných částecí nátěru pomocí štětce nebo lepicí pásky
- 4) Vizuální porovnání s klasifikační tabulkou výsledků zkoušky (viz tabulka 1)

Tab. 1: Hodnocení výsledků mřížkové zkoušky [27]

| Klasifikace | Popis  | Vzhled povrchu plochy s mřížkou, na které se vyskytlo odlupování                      |
|-------------|--|---|
| 0           | Hrany řezů jsou zcela hladké; žádný čtverec mřížky není odloupen   |    |
| 1           | Odloupení malých šupinek povlaku v místě křížení řezů. Zasažená plocha není větší než 5 % plochy mřížky.   |    |
| 2           | Nátěr odloupen podél hran řezů a v místech jejich křížení. Zasažená plocha převyšuje 5 %, ale není větší než 15 % plochy mřížky.   |    |
| 3           | Nátěr částečně nebo zcela odloupen ve velkých pásmech podél hran řezu a/nebo částečně nebo zcela odloupen na různých částech čtverců. Zasažená plocha převyšuje 15 %, ale není větší než 35 % plochy mřížky. |  |
| 4           | Nátěr odloupen ve velkých pásmech podél hran řezu a/nebo se některé čtverce částečně nebo zcela odlouply. Zasažená plocha převyšuje 35 %, ale není větší než 65 % plochy mřížky.                             |  |
| 5           | Jakýkoli rozsah odloupení, který nelze klasifikovat ani stupněm 4.   |   |

Rozměry zkušebního vzorku musí být dostatečně velké. Na jednom vzorku se provádí až tři mřížkové zkoušky. Vzdálenost od hran a také mezi jednotlivými mřížkami musí být minimálně 5 mm. Tloušťka vzorku se určuje podle tvrdosti materiálu. Pro tvrdé materiály je minimální tloušťka 0,25 mm. Pro měkké materiály je minimální požadovaná tloušťka 10 mm. [27]

Vzdálenost mezi jednotlivými řezy se odvíjí podle typu podkladu a tloušťky nátěru. K určení této vzdálenosti lze použít tabulku (viz tabulka 2). Důležitým poznatkem je, že mřížková zkouška se dá použít pouze pro nátěry, které mají celkovou tloušťku nátěru maximálně do 250  $\mu\text{m}$ . [27]

Tab. 2: Vzdálenost mezi řezy v závislosti na typu podkladu a tloušťce nátěru [27]

| Vzdálenost mezi řezy [mm] | Typ podkladu                 | Tloušťka nátěru [ $\mu\text{m}$ ] |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1                         | Tvrký podklad (např. kov)    | do 60                             |
| 2                         | Měkké podklady (např. dřevo) | do 60                             |
| 2                         | Tvrde i měkké podklady       | 61 až 120                         |
| 3                         | Tvrde i měkké podklady       | 121 až 250                        |

## 5.2 Odtrhová zkouška přilnavosti

Odtrhová zkouška přilnavosti je definována dle normy ČSN EN ISO 4624:2016. Pomocí této zkoušky se stanovuje přilnavost nátěrů k základnímu materiálu a měla by se provádět za teploty  $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  a vlhkosti  $50 \pm 5 \%$ . Výstupem je zjištění hodnoty minimálního tahového napětí potřebného k porušení nátěru. Porušení může být dvojího typu. Adhezní porušení, kohézní porušení a může nastat i jejich kombinace. Důležité je použít vhodné lepidlo. To je zpravidla voleno tak, aby mělo lepší soudržnost a přilnavost než zkoušený nátěr. [28]

Zkouška probíhá dle následujícího postupu [28]:

- 1) Nanesení nátěrové hmoty na zkušební podklad o stejnoměrné struktuře povrchu
- 2) Zaschnutí a vytvrzení nátěrového systému
- 3) Připevnění zkušebního tělíska pomocí lepidla na povrch nátěrového systému
- 4) Po vytvrzení lepidla následuje zkouška tahem na vhodném zařízení, kde se měří potřebná síla k roztržení nátěru nebo k odtržení nátěru od podkladu

Výstupem této zkoušky je odtrhové napětí. Déle se do výstupu udává charakter lomové plochy. Jeho vyhodnocení je vizuální a hodnotí se dle tabulky (viz tabulka 3). Na jednom vzorku se může vyskytovat více druhů lomu. Pro každý z nich se procentuálně odhadne jejich plocha se zaokrouhlením na 10 %. [28]

Tab. 3: Typy porušení nátěrové hmoty při odtrhové zkoušce [28]






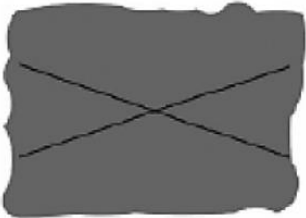
| Označení | Typ a místo lomu   |
|----------|--|
| A        | Kohezní lom v podkladu   |
| A/B      | Adhezní porušení mezi podkladem a první vrstvou                          |
| B        | Kohezní porušení v první vrstvě  |
| B/C      | Adhezní porušení mezi první a druhou vrstvou                             |
| n        | Kohezní porušení v n-té vrstvě vícevrstvého systému                      |
| n/m      | Adhezní porušení mezi n-tou vrstvou a m-tou vrstvou vícevrstvého systému |
| _/Y      | Adhezní porušení mezi poslední vrstvou a lepidlem                        |
| Y        | Kohezní porušení v lepidle   |
| Y/Z      | Adhezní porušení mezi lepidlem a tělískem                                |

### 5.3 Zkouška křížovým řezem

Zkouška křížovým řezem se řídí normou ČSN EN ISO 16276-2. Pomocí této zkoušky se zjišťuje odolnost nátěrových systémů vůči adheznímu a koheznímu poškození řezem. Využití najde u velice tvrdých povlaků a nátěrů, jejichž tloušťka přesahuje 250  $\mu\text{m}$ . Ovšem zkouška křížovým řezem není nijak omezena tloušťkou nátěru. Postup této zkoušky je následovný [29]:

- 1) Vytvoření křížového řezu ve tvaru „X“, kde každý řez musí dosahovat délky 40 mm a úhel mezi řezy musí být v rozmezí od 30° do 45°
- 2) Přilepení lepicí pásky na řezy a její následné strhnutí (to má za následek odstranění povlaku se špatnou přilnavostí)
- 3) Vizuální vyhodnocení zkoušky (viz tabulka 4)

Tab. 4: Hodnocení výsledků zkoušky křížovým řezem [29]

| Stupeň | Popis   | Vzhled  |
|--------|---|---|
| 0      | Žádné odlupování nebo odpadávající nátěr.   |    |
| 1      | Velmi malé odlupování podél řezů nebo v jejich průsečíku.                                   |    |
| 2      | Roztřepené odlupy podél řezů, v rozsahu maximálně 1,5 mm na každé straně.                   |    |
| 3      | Roztřepené odlupy podél téměř celé délky řezů, v rozsahu maximálně 3,0 mm na obou stranách. |   |
| 4      | Odpadávající nátěr z větší plochy křížového řezu pod lepicí páskou.                         |  |
| 5      | Odpadávající nátěr v ploše mimo křížový řez.  |  |

## 6 Experimentální část

Experimentální část této bakalářské práce se věnuje zjištění, jaký vliv mají drsnost povrchu a nečistoty na přílnavost nátěrové hmoty. V průběhu experimentu byly tyto hodnoty zaznamenávány po jednotlivých úpravách povrchu. Ovšem nejdůležitější hodnoty, které bylo nutné pro vyhodnocení experimentu sledovat, byly drsnost a nečistoty před nanesení nátěrové hmoty. Jako nátěrová hmota byla použita barva na kov 2v1 – 0110 od firmy DENAS. Po jejím nanesení následovaly zkoušky přílnavosti – odtrhová zkouška, mřížková zkouška. Na základě výsledků zkoušek došlo k vyhodnocení vlivu drsnosti a nečistot na přílnavost nátěrové hmoty. Experiment probíhal převážně v laboratořích FS ČVUT v Praze.

### 6.1 Návrh experimentu

Na experiment se použilo celkem 50 zkušebních vzorků, které se předupravily různými způsoby před nanesením nátěru, a to nejdříve mechanicky (viz kapitola 6.3) a následně chemicky (viz kapitola 6.4). Po těchto úpravách byly k dispozici vždy dva vzorky se stejnou mechanickou i chemickou předúpravou. Postup experimentu byl následovný:

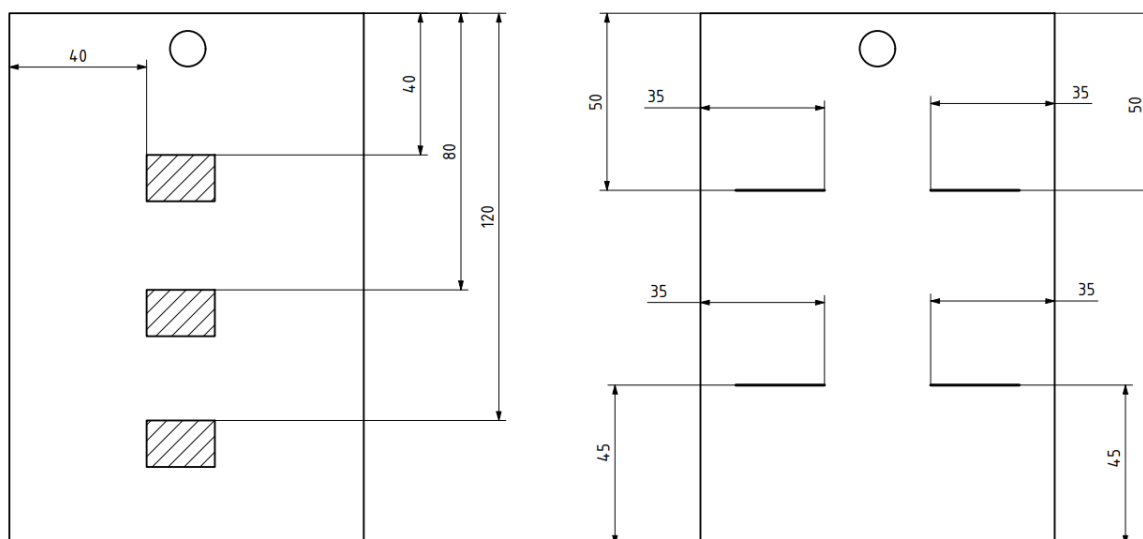
- 1) Mechanická předúprava povrchu
- 2) Změření drsnosti povrchu a znečištění
- 3) Chemická předúprava povrchu
- 4) Změření čistoty povrchu před nanesením nátěrové hmoty
- 5) Nanesení nátěrové hmoty na zkušební vzorky
- 6) Změření tloušťky nanesené nátěrové hmoty
- 7) Provedení odtrhové a mřížkové zkoušky
- 8) Vyhodnocení výsledků

## 6.2 Vzorky a způsob měření

Jako vzorky byly použity ocelové desky z oceli SJR235 o rozměrech 150 mm x 100 mm x 3 mm.

Měření drsnosti proběhlo pouze ve vodorovném směru na čtyřech místech (viz obrázek 11). Ve svislém směru nebylo třeba měření provádět, jelikož po několika měřeních se dospělo k závěru, že vzorky disponovaly stejnou hodnotou drsnosti ve svislém i vodorovném směru. K zajištění měření stejných míst se použila šablona. Jakožto měřicí přístroj byl použit drsnoměr Mitutoyo SJ - 301, ze kterého se následně využily naměřené hodnoty  $R_a$ ,  $R_z$  a  $R_q$ .

Znečištění se na každém vzorku měřilo na třech místech (viz obrázek 11). Pro měření čistoty byl použit přístroj Recognoil, u kterého se průměrné hodnoty znečištění zobrazovaly na tabletu, jenž byl propojen přístrojem. Výstupem měření byla průměrná hodnota znečištění, která je uváděna v jednotkách fluorescence (MEAN F.U.).



Obr. 11: Ukázka měřených míst znečištění (vlevo) a drsnosti povrchu (vpravo)



## 6.3 Mechanická úprava povrchu

Cílem mechanické předúpravy povrchu bylo docílit rozdílných charakterů a drsností povrchu, aby bylo možné následně porovnat, jak charakter a drsnost povrchu ovlivňují přilnavost nátěrové hmoty. Z toho důvodu se zvolilo celkem pět různých předúprav:

- 1) Bez mechanické předúpravy
- 2) Mechanické tryskání ocelovými kuličkami
- 3) Pneumatické tryskání ocelovou drtí
- 4) Pneumatické tryskání křemičitým pískem
- 5) Ruční leštění

### 6.3.1 Mechanické tryskání

Mechanické tryskání ocelovými kuličky bylo provedeno v dílnách FS ČVUT v Praze, za použití automatického tryskacího stroje kombinovaného s rotačním závěsným hákem 2D1500 RT /H/OP2SF. Jako abrazivní materiál se použily ocelové kuličky (granulát) S230.

### 6.3.2 Pneumatické tryskání

Pneumatické tryskání bylo provedeno v halách firmy Proficolor jedním z jejich pracovníků z důvodu bezpečnosti práce. Celkem se použila dvě abraziva. Jako první tryskací abrazivum se zvolila ocelová drť GH14 o velikosti 1 až 1,4 mm a tvrdosti 62 až 67 HRC. Druhým použitým abrazivem byl křemičitý písek se zrnitostí 0,3 až 1 mm.

### 6.3.3 Ruční leštění

Jako poslední předúprava byla provedena technologie ručního leštění. Nejdříve došlo k otryskání, abychom se zbavili struskovité vrstvy na povrchu vzorku. Následovala technologie broušení, kde se postupovalo od hrubších brusných kotoučů k jemnějším. Použité brusné kotouče měly zrnitost 40, 80, 120, 150, 240

a 500 zrn·cm<sup>-2</sup>. Na broušení navazovala technologie leštění pomocí plstěného kotouče a leštící pasty na kovy od firmy Metal Polish.



*Obr. 12: Vzorek před a po tryskání ocelovými kuličkami*



*Obr. 13: Vzorek před a po tryskání ocelovou drtí*



*Obr. 14: Vzorek před a po tryskání křemičitým pískem*



*Obr. 15: Vzorek před a po ručním leštění*

## 6.4 Chemická předúprava povrchu

Z důvodu zajištění rozdílných hodnot čistoty povrchu vzorků byla provedena chemická předúprava povrchu. Každá chemická předúprava byla zhotovena na dvou vzorcích u každé skupiny vzorků po mechanické předúpravě dle následného návrhu:

- 1) Bez chemické předúpravy
- 2) Odmaštěno pomocí ultrazvuku – odmašťovací směs STAR 75 PN + voda
- 3) Odmaštěno pomocí ultrazvuku a následně zamaštěno 5% směsí
- 4) Odmaštěno pomocí ultrazvuku a následně zamaštěno 10% směsí
- 5) Odmaštěno pomocí ultrazvuku – odmašťovací směs technický benzín

#### 6.4.1 Odmaštění pomocí ultrazvuku – odmašťovací směs STAR 75 PN a voda

Odmaštění ultrazvukem se realizovalo pomocí ultrazvukové čističky KRAINTEK K-IE. Lázeň byla tvořena z odmašťovacího roztoku STAR 75 PN a vody ve voleném poměru 1:10. Jako výchozí hodnoty byly na čističce nastaveny teplota 60°C a intenzita na hodnotu 9. U každého vzorku došlo k odmašťování po dobu osmi minut. Po jeho vyjmutí následoval oplach pod tekoucí vodou a vysušení fénem, aby nedošlo ke vzniku korozních zárodků.



Obr. 16: Ultrazvukové odmašťovací zařízení s nastavenými hodnotami

#### 6.4.2 Odmaštění pomocí ultrazvuku – odmašťovací směs technický benzín

Druhou chemickou předúpravou bylo zvoleno odmaštění pomocí technického benzínu. Původně mělo dojít k odmaštění pouze pomocí hadříku z mikrovláken

a technického benzínu, ale bylo zjištěno, že tento postup je nevhodný u povrchů, které dosahovaly vyšší drsnosti než  $Rz\ 30\ \mu\text{m}$ . Takto docházelo k nanesení nečistot na povrch, místo jejich odstranění. Proto se musel zvolit jiný technologický postup. Vybralo se tedy odmaštění pomocí ultrazvukové čističky, u které byl jako čisticí směs použit technický benzín. Odmašťování probíhalo za teploty  $50^\circ\text{C}$  a intenzitě o hodnotě 9 po dobu osmi minut. Po vyjmutí vzorku z čističky opět následoval oplach pod tekoucí vodou a vysušení.

### 6.4.3 Zamaštění

Pro zamaštění se použila směs tvářecího oleje SN 150 a isopropanolu, kde zvolený poměr byl 1:20 a 1:10. Nejprve se provedlo odmaštění ultrazvukem při teplotě  $60^\circ\text{C}$  a intenzitě o hodnotě 9, kde jako odmašťovací směs byl použit roztok STAR 75 PN a voda v poměru 1:10. Doba odmašťování byla osm minut. Po odmaštění následoval oplach, vysušení a poté se vzorek ponořil do zamašťovací směsi po dobu šedesáti sekund. Po zamaštění byl vzorek vyjmut a položen na plochou stranu, aby nedošlo ke stečení směsi z důsledku gravitační síly. Isopropanol následně vytékal a na povrchu zůstal pouze tvářecí olej, který byl rovnoměrně nanesen na celém povrchu.



Obr. 17: Zamašťovací sestava

## 6.5 Označení vzorků

Vzorky po mechanické předúpravě jsou označeny číselně dle následující tabulky:

*Tab. 5: Označení vzorků po mechanické předúpravě*

| Číselné označení | Typ mechanické předúpravy    |
|------------------|------------------------------|
| 1 až 10          | Bez mechanické předúpravy    |
| 11 až 20         | Tryskáno ocelovými kuličkami |
| 21 až 30         | Tryskáno křemičitým pískem   |
| 31 až 40         | Tryskáno ocelovou drtí       |
| 41 až 50         | Ručně leštěno                |

Za každým číslem následuje písmeno, které reprezentuje určitou chemickou předúpravu. Označení je uvedeno v tabulce níže:

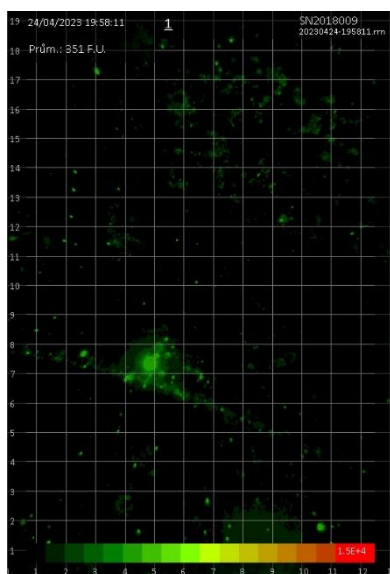
*Tab. 6: Označení vzorků po chemické předúpravě*

| označení | Typ chemické předúpravy                       |
|----------|---|
| A        | Bez chemické předúpravy                       |
| B        | Odmaštěno ultrazvukem – směs STAR 75 a voda   |
| C        | Odmaštěno ultrazvukem – směs technický benzín |
| D        | Zamaštěno 5% směsí                            |
| E        | Zamaštěno 10% směsí                           |

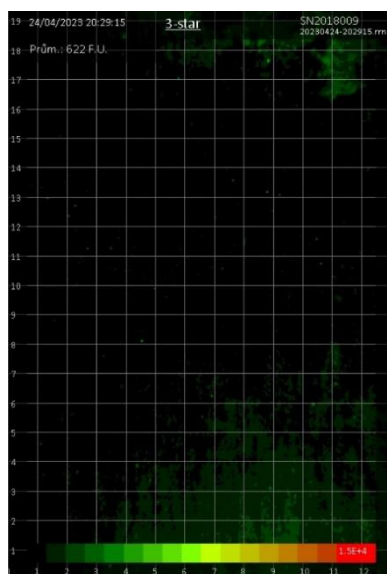
## 6.6 Naměřené hodnoty znečištění povrchu

Měření čistoty povrchu bylo provedeno celkem na třech místech u každého vzorku. Pro zajištění měření na stejných místech byla použita šablona (viz kapitola 6.2). Měření nejprve proběhlo po mechanické předúpravě a poté po chemické předúpravě (před nanesení nátěrové hmoty), což byla nejdůležitější hodnota, se kterou bylo dále pracováno. Díky ní bylo možné zjistit vliv nečistot na přilnavost nátěrové hmoty. Veškeré naměřené hodnoty jsou uvedeny v příloze 1.

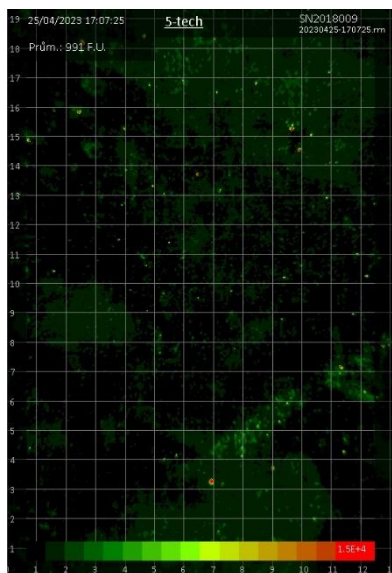
## 6.6.1 Vzorky bez mechanické předúpravy



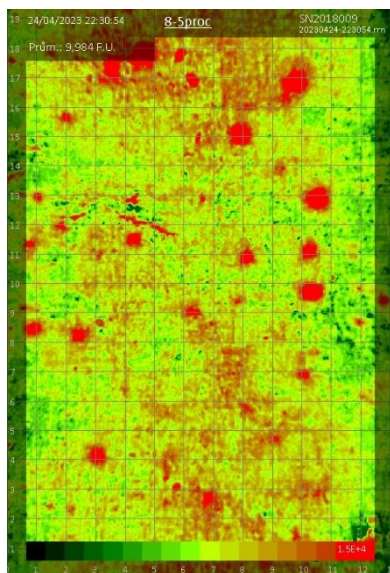
*Obr. 18: Znečištění bez mechanické předúpravy- 351 MEAN F.U.*



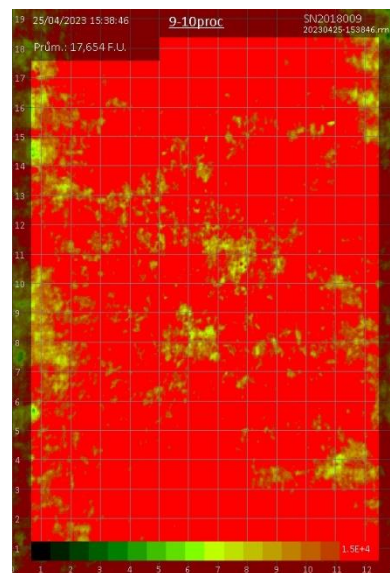
*Obr. 19: Znečištění po ultrazvukovém odmaštění STAR 75- 622 MEAN F.U.*



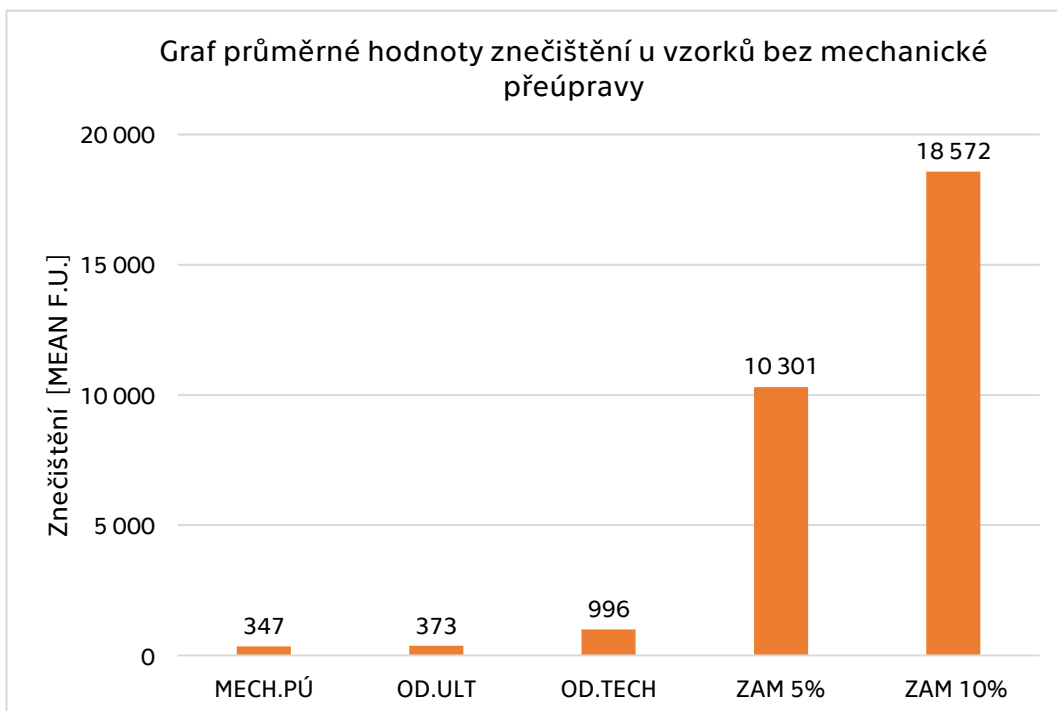
*Obr. 20: Znečištění po ultrazvukovém odmaštění tech. benzínem-991 MEAN F.U.*



*Obr. 21: Znečištění po zamaštění 5% směsí – 9 984 MEAN F.U.*



*Obr. 22: Znečištění po zamaštění 10% směsí- 17 654 MEAN F.U.*

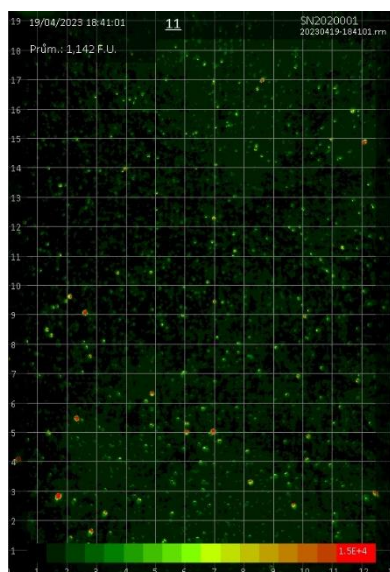


*Obr. 23: Graf průměrné hodnoty znečištění u vzorků bez mechanické předúpravy*

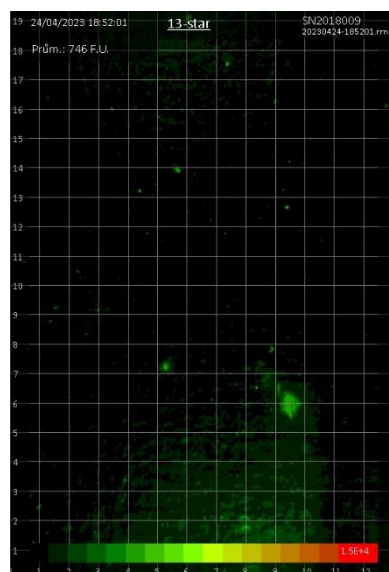
*Poznámka: V grafu jsou použity zkratky symbolizující jednotlivé chemické předúpravy. MECH.PÚ = vzorky bez chemické předúpravy. OD.ULT = vzorky odmaštěné pomocí ultrazvuku a odmašťovací směsi STAR 75 PN a vody. OD.TECH= vzorky odmaštěné pomocí ultrazvuku a odmašťovací směs technický benzín. ZAM 5%= zamaštění 5% směsí tvářecího oleje. ZAM 10%= zamaštění 10% směsí tvářecího oleje. Tyto vysvětlivky slouží i k následujícím grafům.*

U vzorků bez mechanické předúpravy se hodnoty čistoty povrchu pohybovaly ve velkém rozsahu od stovek až po tisíce MEAN F.U. Jakožto vzorky, na kterých se neprováděla mechanická předúprava, byly vybrány takové, které dosahovaly velice nízkého znečištění okolo hodnoty 350 MEAN F.U. Následně při ultrazvukovém odmaštění za použití odmašťovací směsi STAR 75 a vody nebo technického benzínu bylo dosaženo také velice nízkého znečištění. Při zamaštění 5% směsí bylo dosaženo znečištění zhruba 10 000 MEAN F.U. při použití 10% směsi se znečištění téměř dvakrát zvětšilo a blížilo se hodnotě 19 000 MEAN F.U.

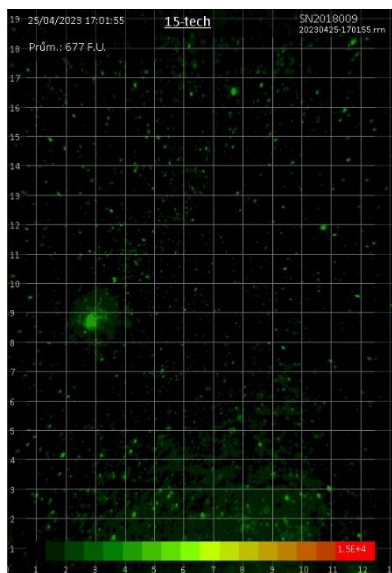
## 6.6.2 Vzorky otryskané ocelovými kuličkami



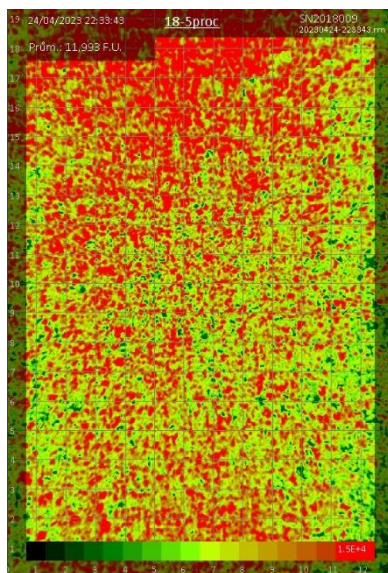
*Obr. 24: Znečištění po mechanické předúpravě - 1 142 MEAN F.U.*



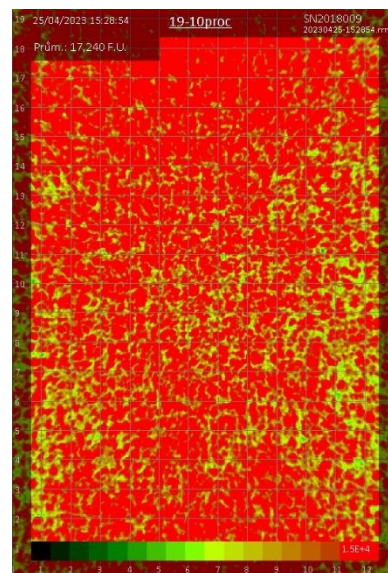
*Obr. 25: Znečištění po ultrazvukovém odmaštění STAR 75 - 746 MEAN F.U.*



*Obr. 26: Znečištění po ultrazvukovém odmaštění tech. benzínem- 677 MEAN F.U.*

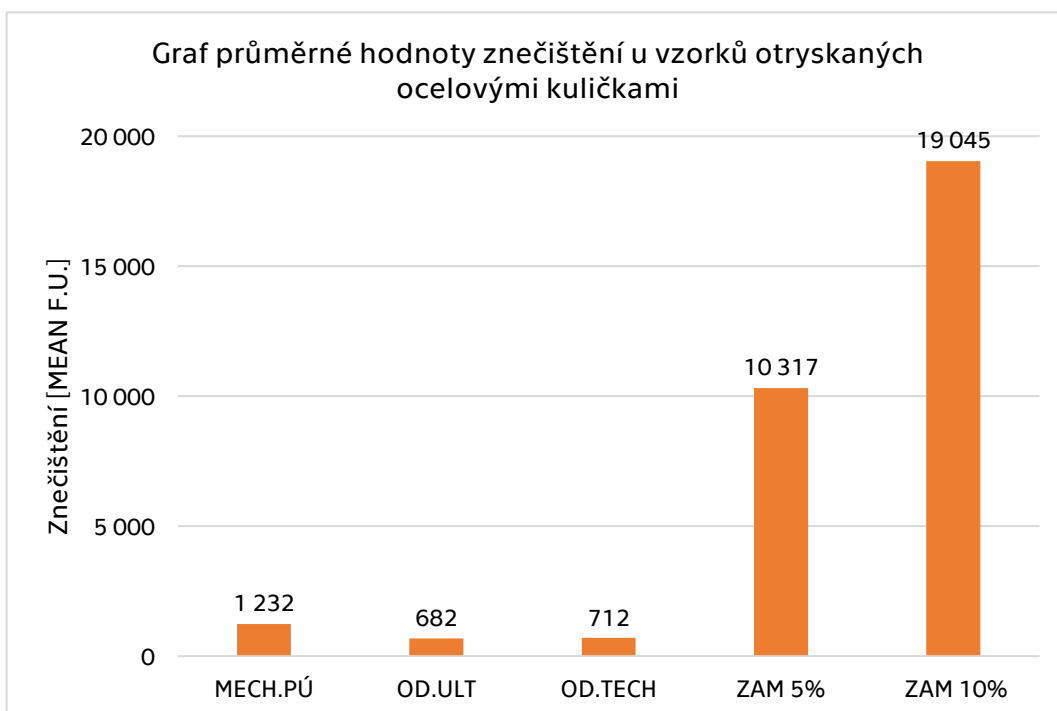


*Obr. 27: Znečištění po zamaštění 5% směsí - 11 993 MEAN F.U.*



*Obr. 28: Znečištění po zamaštění 10% směsí - 17 240 MEAN F.U.*

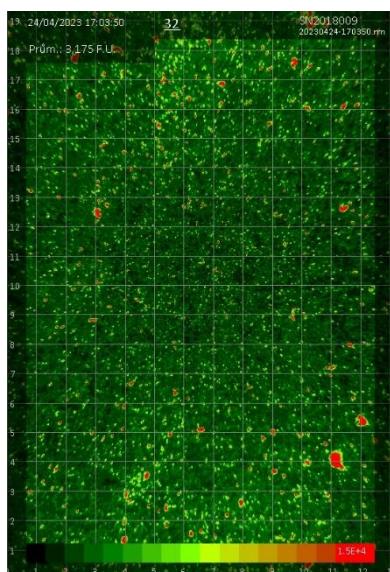




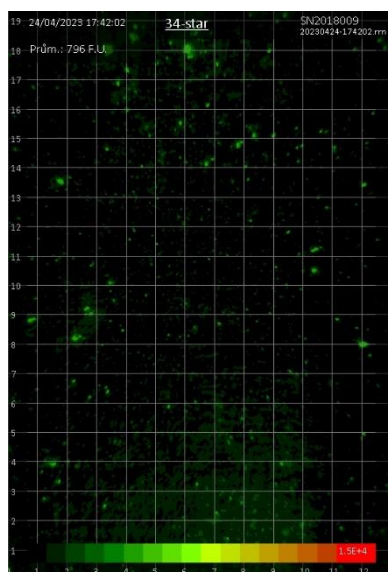
*Obr. 29: Graf průměrné hodnoty znečištění u vzorků otryskaných ocelovými kuličkami*

Vzorky otryskané ocelovými kuličkami dosahovaly velice čistého povrchu. To bylo pravděpodobně způsobeno tím, že k tryskání došlo v tryskacím stroji, kde vzorky byly zavěšeny na háku a nebyly příliš v kontaktu s nečistotami. Při ultrazvukovém odmaštění, bez ohledu na použitou odmašťovací směs, se znečištění zredukovalo zhruba o polovinu na hodnotu okolo 700 MEAN F.U. Po zamaštění 5% směsí rapidně vzrostlo znečištění a blížilo se k hodnotě 10 000 MEAN F.U. a při zamaštění 10% směsí přesahovalo průměrné znečištění povrchu hodnotu 19 000 MEAN F.U.

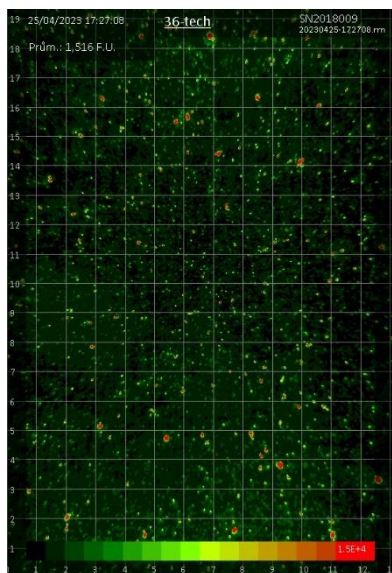
### 6.6.3 Vzorky otryskané ocelovou drtí



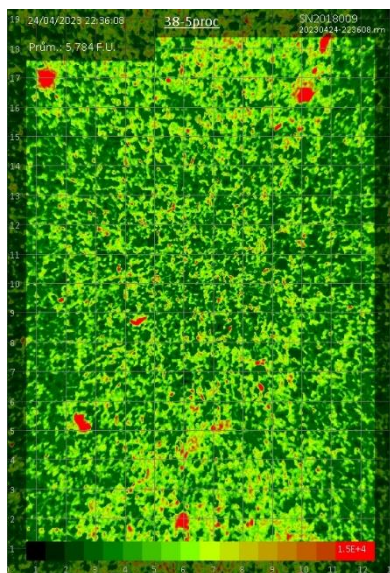
Obr. 30: Znečištění po mechanické předúpravě- 3 175 MEAN F.U.



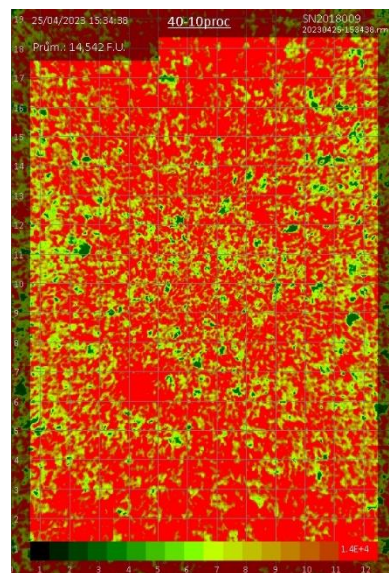
Obr. 31: Znečištění po ultrazvukovém odmaštění STAR 75 PN -769 MEAN F.U.



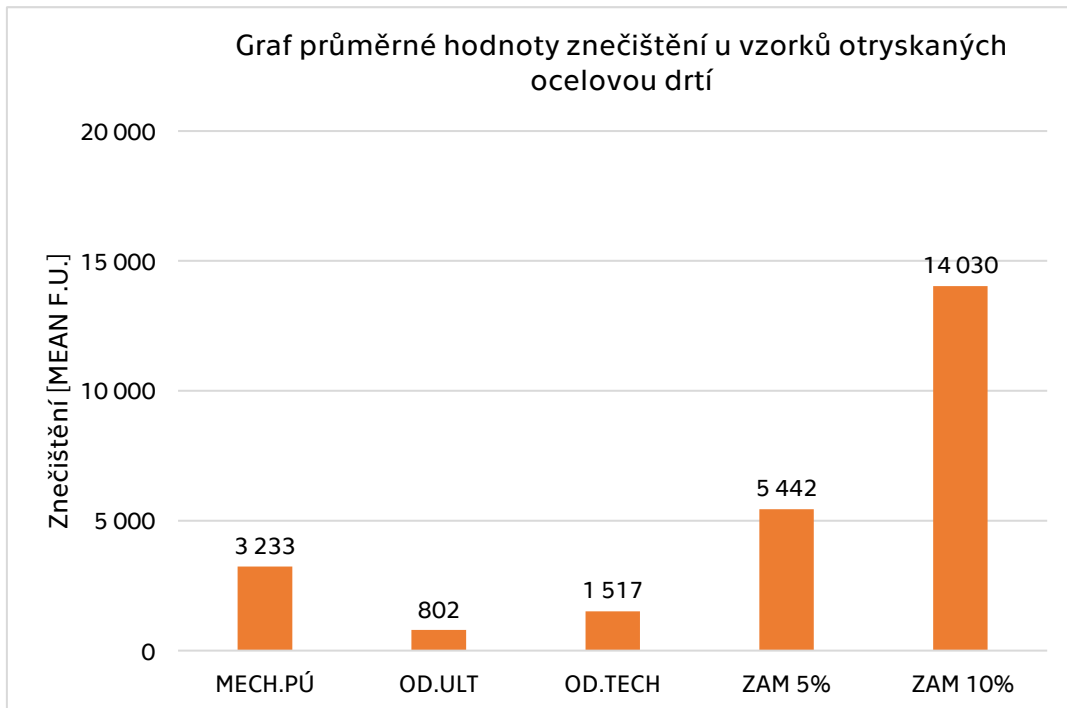
Obr. 32: Znečištění po ultrazvukovém odmaštění tech. benzínem-1 516 MEAN F.U.



Obr. 33: Znečištění po zamaštění 5% směsí – 5 784 MEAN F.U.



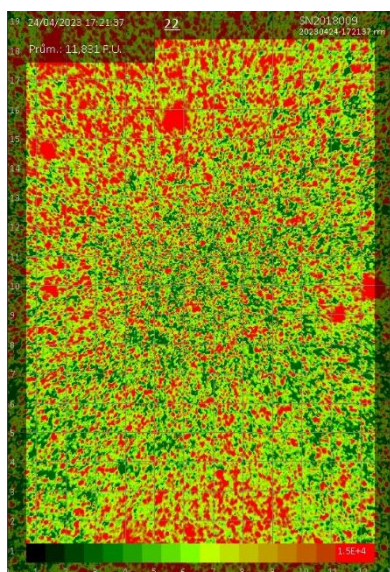
Obr. 34: Znečištění po zamaštění 10% směsí – 14 542 MEAN F.U.



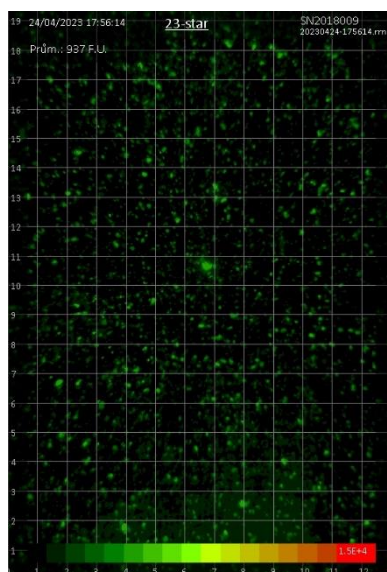
*Obr. 35: Graf průměrné hodnoty znečištění u vzorků otryskaných ocelovou drtí*

U vzorků otryskaných ocelovou drtí bylo po mechanické předúpravě poměrně velké znečištění povrchu. To bylo nejspíše způsobeno zbytky abraziva a prachu na povrchu, jelikož tryskání bylo prováděno v průmyslové hale. Nejčistšího povrchu bylo dosaženo na vzorcích odmaštěných pomocí ultrazvuku a odmašťovací směsi STAR 75 PN a vody. Vzorky odmaštěné pomocí ultrazvuku a odmašťovací směsi z technického benzínu také vykazovaly poměrně čistý povrch. U vzorků, které byly zamaštěny, je vidět stoupající tendence znečištění. Vzorky zamaštěné 10% směsí dosáhly výrazně větších hodnot znečištění než vzorky zamaštěné 5% směsí.

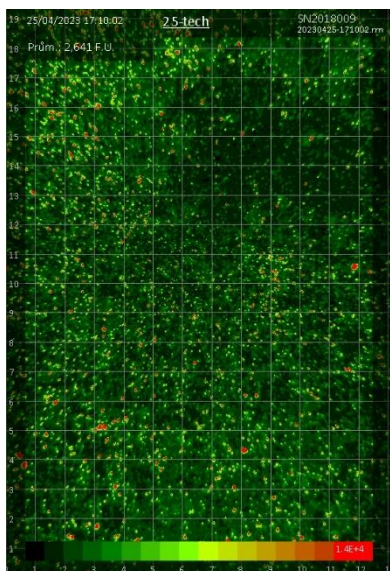
## 6.6.4 Vzorky otryskané křemičitým pískem



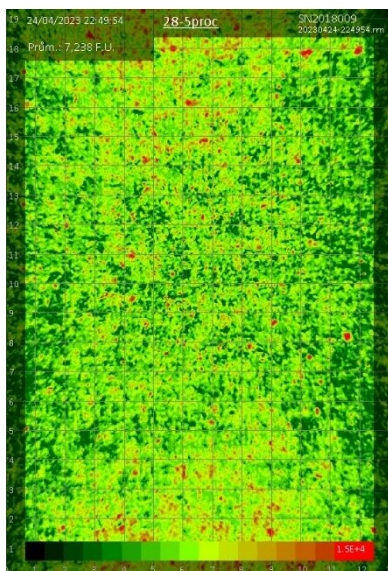
*Obr. 36: Znečištění po mechanické předúpravě - 11 881 MEAN F.U.*



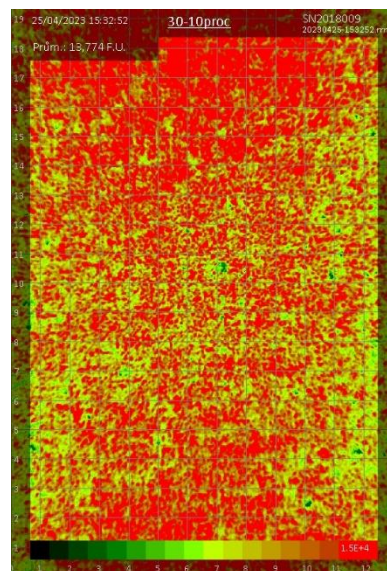
*Obr. 37: Znečištění po ultrazvukovém odmaštění STAR 75 - 937 MEAN F.U.*



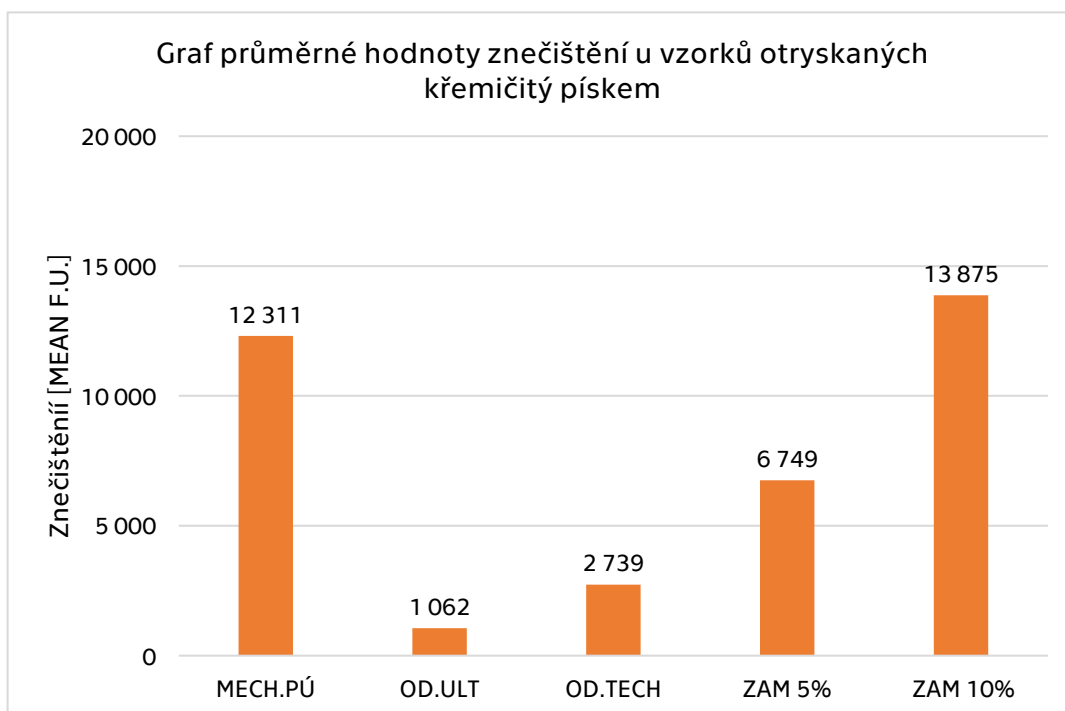
*Obr. 38: Znečištění po ultrazvukovém odmaštění tech. benzínem - 2 641 MEAN F.U.*



*Obr. 39: Znečištění po zamaštění 5% směsí - 7 238 MEAN F.U.*



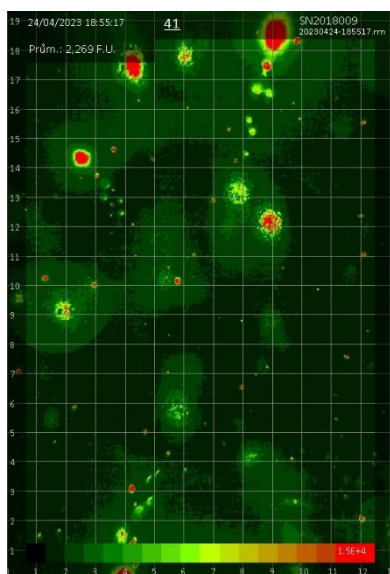
*Obr.40: Znečištění po zamaštění 10% směsí - 13 774 MEAN F.U.*



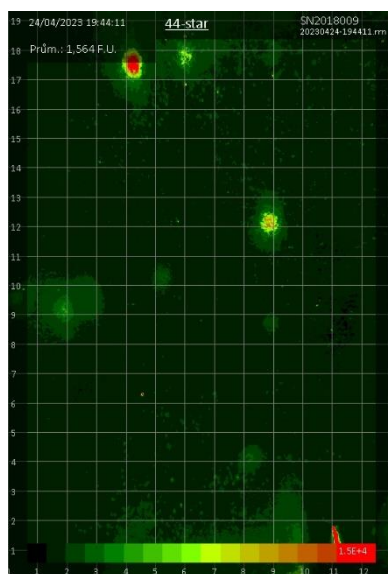
*Obr. 41: Graf průměrné hodnoty znečištění u vzorků otryskaných křemičitým pískem*

Vzorky otryskané křemičitým pískem vykazovaly vysoké znečištění povrchu po mechanické předúpravě. To bylo nejspíše způsobeno velkou prašností při procesu otryskávání. Tento prach a zbytky abraziva se uchytily v pórech povrchu. Opět lze z grafu vyčíst, že vzorky odmaštěné směsí STAR 75 PN a vody dosáhly nejčistšího povrchu (1 062 MEAN F.U.). Vzorky odmaštěné technickým benzínem nedosáhly takové čistoty povrchu. U vzorků, u kterých došlo k zamaštění, je opět vidět stoupající tendence znečištění povrchu s přibývajícím koncentrací oleje v zamašťovací směsi až k hodnotě 14 000 MEAN F.U.

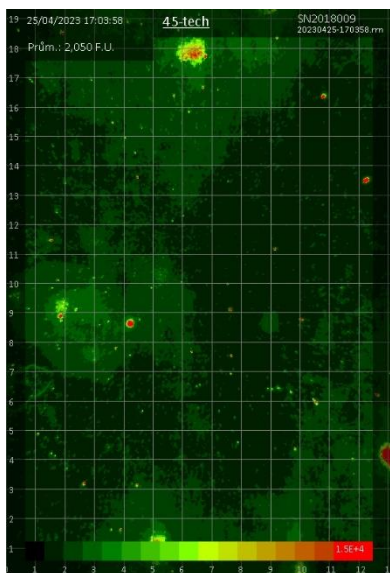
## 6.6.5 Leštěné vzorky



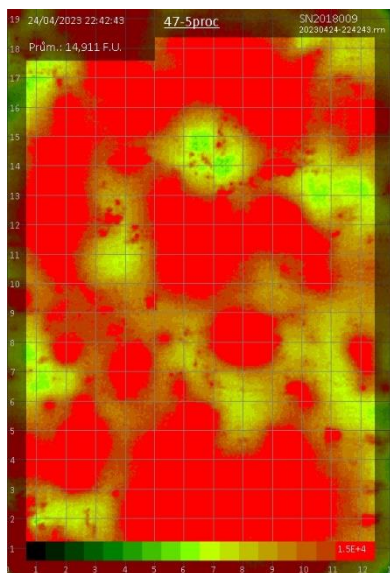
Obr. 42: Znečištění po mechanické předúpravě- 2 269 MEAN F.U.



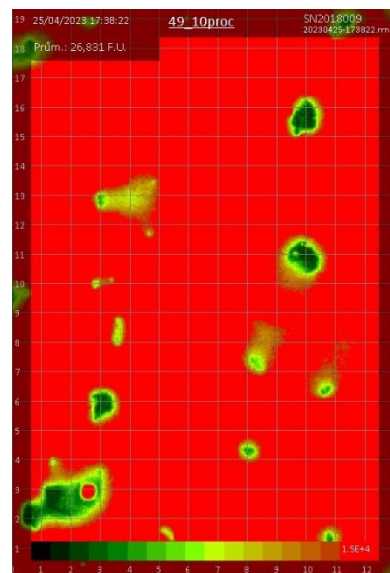
Obr. 43: Znečištění po ultrazvukovém odmaštění STAR 75-1 564 MEAN F.U.



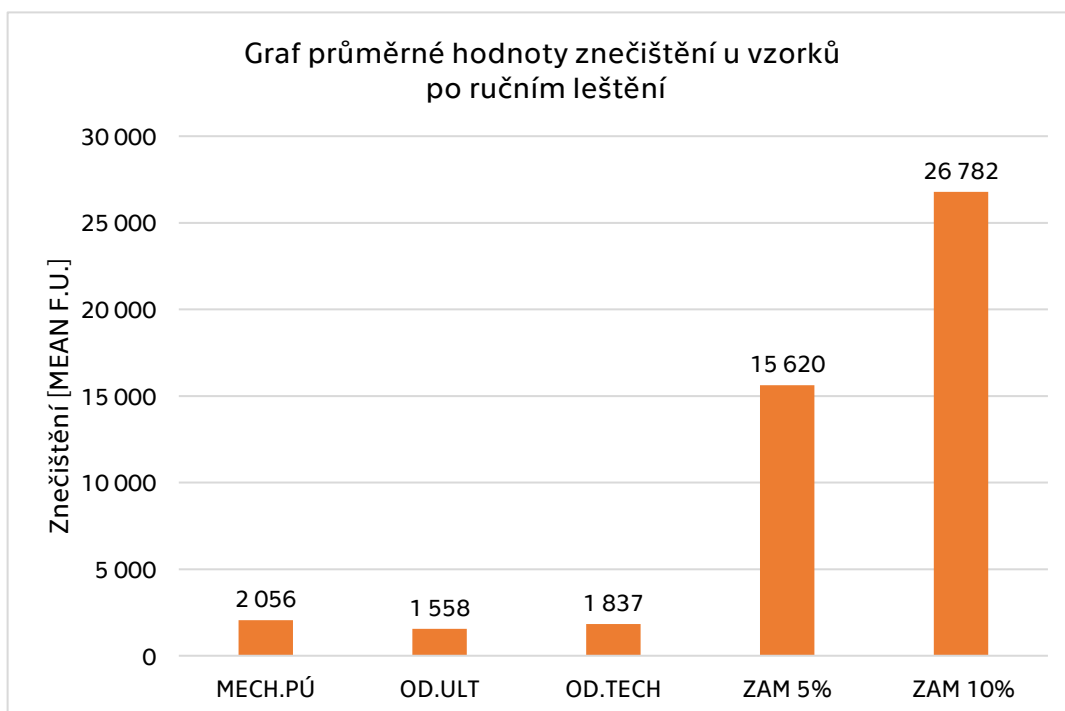
Obr. 44: Znečištění po ultrazvukovém odmaštění tech. benzínem-2 050 MEAN F.U.



Obr. 45: Znečištění po zamaštění 5% směsí- 14 911 MEAN F.U.



Obr. 46: Znečištění po zamaštění 10% směsí- 26 831 MEAN F.U.



Obr. 47: Graf průměrné hodnoty znečištění u vzorků po ručním leštění

Vzorky po ručním leštění na sobě měly nejspíše nečistoty v podobě zbytků lešticí pasty a prachu. Po procesu odmaštění pomocí ultrazvuku nebylo dosaženo takové čistoty povrchu jako u předchozích vzorků, na kterých byly provedeny jiné mechanické předúpravy povrchu. To bylo pravděpodobně způsobeno zapracováním nečistot do povrchu v průběhu technologie broušení. Také na leštěných vzorcích bylo zaznamenáno největší znečištění zamašťovací směsí, jak už při zamaštění 5% směsí (15 620 MEAN F.U.), tak u zamaštění 10% směsí (až 27 000 MEAN F.U.).

### 6.6.6 Diskuse výsledků

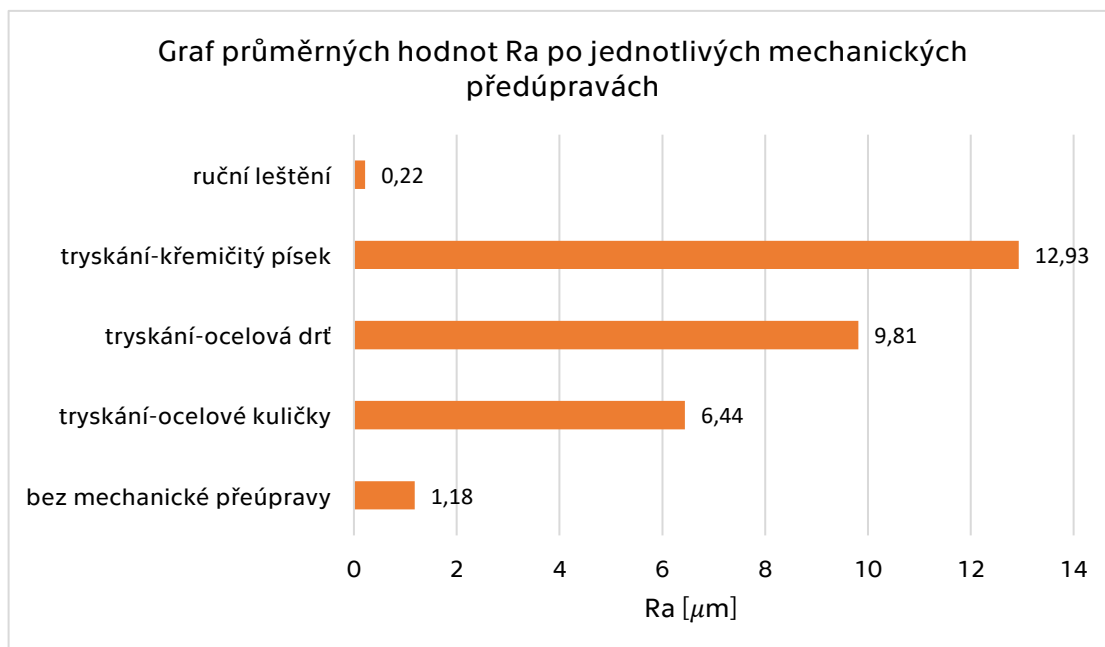
Ze získaných hodnot lze konstatovat, že drsnost hraje určitý vliv na znečištění povrchu. U vzorků, které přesáhly hodnotu  $Rz\ 50\ \mu\text{m}$ , bylo možné sledovat, že po zamaštění 5% směsí se hodnoty znečištění pohybovaly okolo průměrné hodnoty 6 000 MEAN F.U., kdežto u vzorků, které měly hodnotu  $Rz$  v rozmezí 5 až  $30\ \mu\text{m}$ , bylo průměrné znečištění zhruba 10 000 MEAN F.U. Nejvyšší průměrné hodnoty znečištění po zamaštění 5% směsí (15 620 MEAN F.U.) bylo dosaženo u vzorků po ručním leštění, kde  $Rz$  bylo menší než  $2\ \mu\text{m}$ . Stejně závislosti bylo možné

pozorovat i po zamaštění 10% směsí, kde bylo opět dosaženo největší průměrné míry znečištění u leštěných vzorků (26 782 MEAN F.U.).

Obecně je tedy možné konstatovat, že s rostoucí drsností povrchu klesala hodnota fluorescence povrchu po procesu zamaštění.

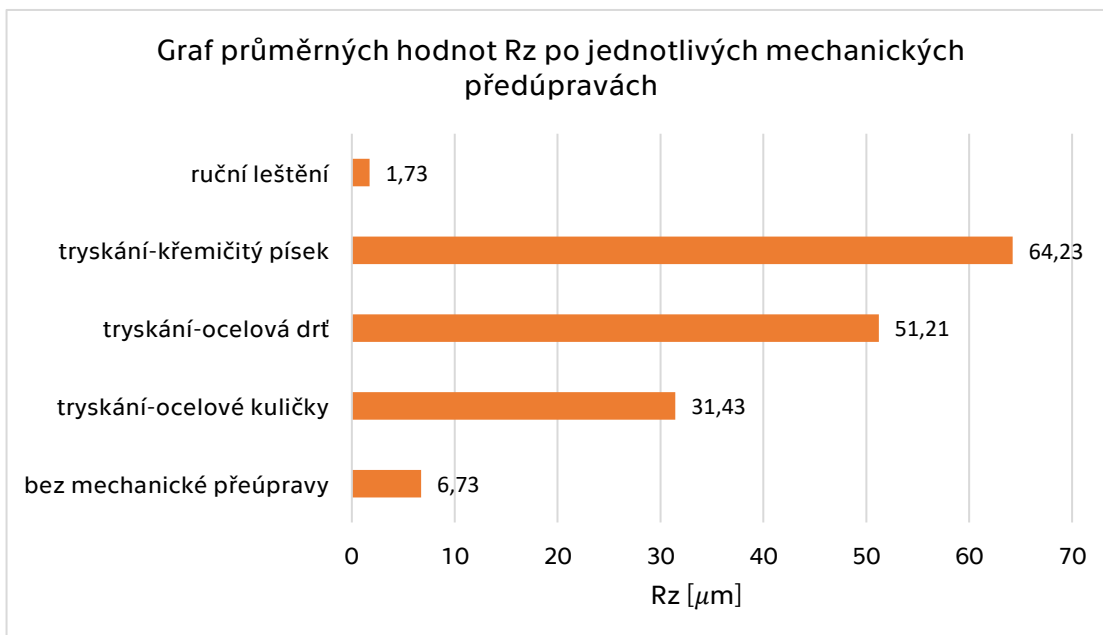
## 6.7 Naměřené hodnoty drsnosti povrchu

Měření hodnot drsnosti povrchu proběhlo vždy po mechanické předúpravě povrchu na místech, které jsou uvedeny v kapitole 6.2. Z naměřených hodnot lze vidět, že každou technologií bylo dosaženo rozdílných drsností povrchu, ze kterých bylo následně možné stanovit závislost přilnavosti na drsnosti povrchu. Povrch byl nejvíce zdrsněn po technologii pneumatického tryskání ocelovou drtí, a naopak nejmenší drsnost vykazoval povrch, který byl ručně leštěný. Veškeré naměřené hodnoty jsou uvedeny v příloze 2. Níže jsou pouze zobrazeny finální grafy z těchto hodnot.

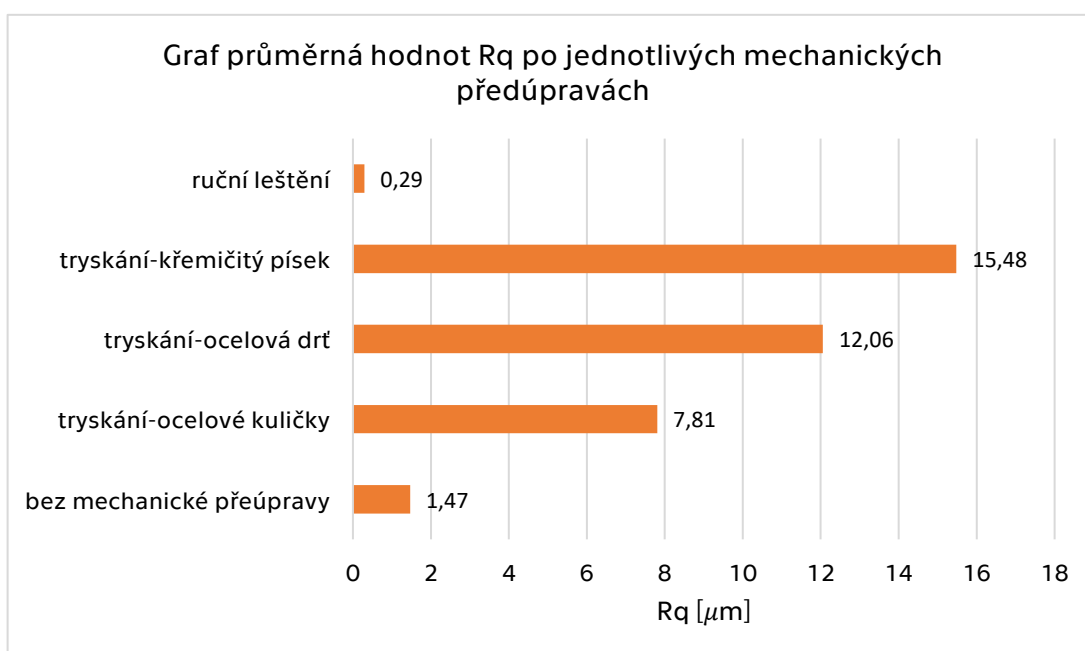


Obr. 48: Graf průměrných hodnot Ra po jednotlivých mechanických předúpravách





*Obr. 49: Graf průměrných hodnot Rz po jednotlivých mechanických předúpravách*



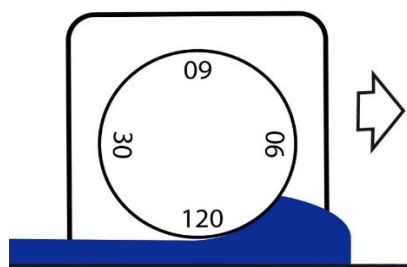
*Obr. 50: Graf průměrných hodnot Rq po jednotlivých mechanických předúpravách*

## 6.8 Nanesení nátěrové hmoty

Pro nanesení nátěrové hmoty bylo použito čtyřhranné natahovací pravítko Baker VF2146 (viz obrázek 51) a plochý štětec. Jako nátěrová hmota byla vybrána barva na kov 2v1 – 0110 od firmy DENAS. Postup nanesení barvy byl pro všechny vzorky proveden stejným způsobem a probíhal za teploty 22 °C . Na každý vzorek se nejprve nanasla a rozetřela barva do všech stran pomocí plochého štětce. Poté se použilo natahovacího pravítka, díky kterému bylo docíleno rovnoměrné tloušťky nátěru, která činila 240  $\mu\text{m}$ . Po nanesení barvy byly vzorky ponechány v laboratoři po dobu 168 hodin, kde došlo k vytvrzení nátěrové hmoty volně na vzduchu při teplotě 22 °C. Následovalo změření nanesené vrstvy barvy.



Obr. 51: Natahovací pravítko [33]



Obr. 52: Schéma natahování barvy pomocí pravítka [33]



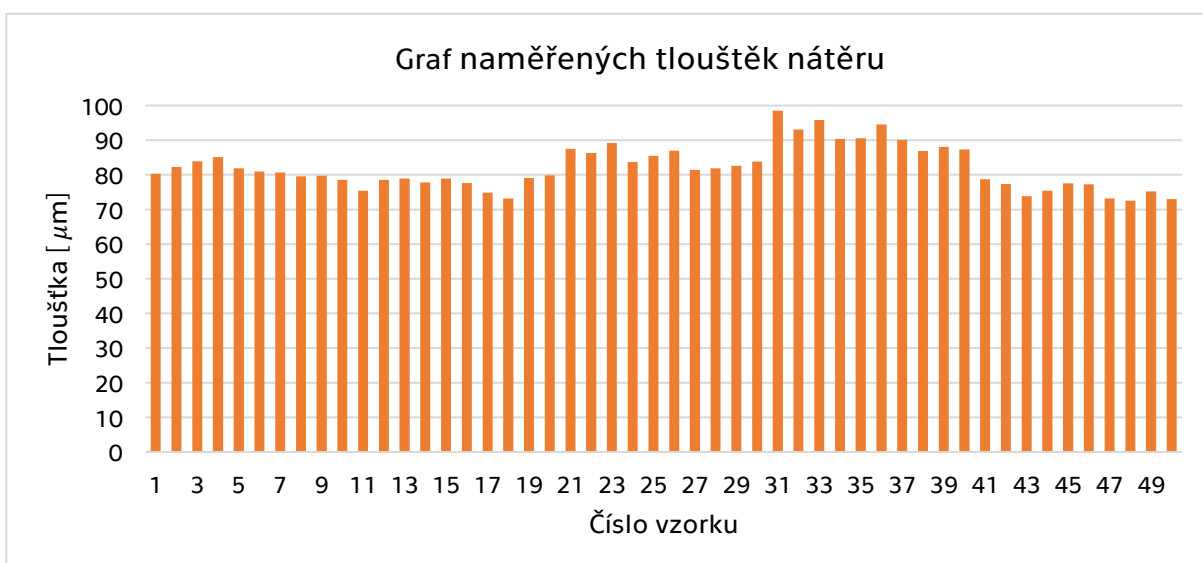
Obr.53: Natřený vzorek

### 6.8.1 Měření tloušťky nátěrové hmoty

Pro měření tloušťky nátěru se použil digitální tloušťkoměr Electromer 456 TOP. Dále byla použita měřicí šablona obsahující deset otvorů. V těchto otvorech došlo ke změření tloušťky nátěru u všech vzorků. Následně se na přístroji zobrazily hodnoty aritmetického průměru tloušťky nátěru, nejvyšší a nejnižší hodnoty, směrodatná odchylka a koeficient variace. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v příloze 3.

Z naměřených výsledků je možné vyčíst, že nejvyšší tloušťky bylo dosaženo na vzorcích, které dosahovaly nejvyšší hodnoty drsnosti povrchu (vzorky tryskané ocelovou drtí). Zde se průměrná hodnota pohybovala okolo  $90\ \mu\text{m}$ . To bylo způsobeno akumulací barvy v prohlubních, které vznikly při tryskání. Postupně tloušťka nátěru klesala s klesající drsností. Nejnižší tloušťka byla naměřena u vzorků s ručně leštěným povrchem, kde se průměrná hodnota blížila k  $75\ \mu\text{m}$ .

Dosažené výsledky nanášení barvy lze označit za úspěšné. Podařilo se dosáhnout podobných hodnot tloušťky nátěru téměř u všech vzorků a koeficient variace nepřesáhl u žádného z nich hodnotu 10 %. Získané výsledky nám posloužily ke zvolení správného rozestupu mezi řezy u mřížkové zkoušky.



Obr. 54: Graf naměřených tlouštěk nátěru

## 6.9 Mřížková zkouška

Z naměřených hodnot tloušťky nátěru byla pro každý vzorek zvolena vzdálenost mezi jednotlivými řezy. U všech vzorků, se tloušťka nátěru pohybovala v rozmezí od 61 do 120  $\mu\text{m}$ , tudíž byly provedeny jednotlivé řezy s rozstupem 2 mm. Tyto hodnoty vycházejí z normy ČSN EN ISO 2409:2021 pro mřížkovou zkoušku (viz kapitola 5.1). Vytvoření mřížky bylo provedeno za pomoci nástroje se skládacími planžetami a nožem s odlamovací čepelí. Po zhotovení mřížek na všech vzorcíchch došlo k nalepení textilní lepicí pásky X-Way PRO od firmy SCHULLER. Tato páska vykazuje pevnost v tahu 95 N/25 mm. Po nalepení následovalo přitlačení a zahlazení pásky k povrchu a poté strhnutí pásky pod úhlem 60°. K vyhodnocení výsledků se využila tabulka 1 uvedená v kapitole 5.1.

Tab. 7: Výsledky mřížkové zkoušky

| Vzorek | Znečištění povrchu [MEAN F.U.] | Drsnost povrchu Rz [μm] | Stupeň | Vzorek | Znečištění povrchu [MEAN F.U.] | Drsnost povrchu Rz [μm] | Stupeň |
|--------|--------------------------------|-------------------------|--------|--------|--------------------------------|-------------------------|--------|
| 1A     | 384                            | 6,03                    | 1      | 26C    | 2 106                          | 50,61                   | 0      |
| 2A     | 311                            | 6,67                    | 1      | 27D    | 7 358                          | 52,11                   | 1      |
| 3B     | 438                            | 7,75                    | 0      | 28D    | 6 140                          | 51,85                   | 1      |
| 4B     | 307                            | 7,68                    | 0      | 29E    | 14 898                         | 49,58                   | 1      |
| 5C     | 780                            | 7,10                    | 0      | 30E    | 12 852                         | 48,84                   | 1      |
| 6C     | 1 212                          | 5,83                    | 0      | 31A    | 3 177                          | 62,19                   | 0      |
| 7D     | 11 267                         | 6,48                    | 2      | 32A    | 3 288                          | 64,91                   | 0      |
| 8D     | 9 334                          | 7,04                    | 2      | 33B    | 771                            | 67,78                   | 0      |
| 9E     | 17 807                         | 6,73                    | 2      | 34B    | 834                            | 66,60                   | 0      |
| 10E    | 19 338                         | 6,02                    | 2      | 35C    | 1 429                          | 60,83                   | 0      |
| 11A    | 1 239                          | 34,36                   | 0      | 36C    | 1 605                          | 59,60                   | 0      |
| 12A    | 1 224                          | 31,99                   | 0      | 37D    | 5 830                          | 67,49                   | 1      |
| 13B    | 680                            | 31,08                   | 0      | 38D    | 5 053                          | 63,24                   | 1      |
| 14B    | 684                            | 32,66                   | 0      | 39E    | 15 350                         | 67,50                   | 1      |
| 15C    | 741                            | 32,17                   | 0      | 40E    | 12 709                         | 62,16                   | 1      |
| 16C    | 682                            | 31,48                   | 0      | 41A    | 1 703                          | 1,51                    | 5      |
| 17D    | 9 416                          | 29,60                   | 1      | 42A    | 1 976                          | 2,32                    | 5      |
| 18D    | 11 217                         | 29,70                   | 1      | 43B    | 1 535                          | 2,20                    | 0      |
| 19E    | 18 330                         | 28,63                   | 1      | 44B    | 1 581                          | 1,38                    | 0      |
| 20E    | 19 759                         | 32,64                   | 1      | 45C    | 2 096                          | 1,58                    | 0      |
| 21A    | 12 816                         | 51,74                   | 0      | 46C    | 2 313                          | 1,99                    | 0      |
| 22A    | 11 807                         | 51,61                   | 0      | 47D    | 15 592                         | 1,87                    | 2      |
| 23B    | 1 014                          | 51,88                   | 0      | 48D    | 15 647                         | 1,83                    | 2      |
| 24B    | 1 109                          | 52,22                   | 0      | 49E    | 28 433                         | 1,30                    | 5      |
| 25C    | 2 373                          | 51,63                   | 0      | 50E    | 25 131                         | 1,34                    | 5      |

### 6.9.1 Výsledky mřížkové zkoušky

Z výsledků mřížkové zkoušky lze vypožorovat, že zvolená barva vykazuje dobrou přilnavost k povrchu. Také je možné vidět závislost mezi drsností povrchu, nečistotami a přilnavostí nátěrové hmoty.

Obecně lze konstatovat, že u vzorků, které byly odmaštěny pomocí ultrazvuku, bez ohledu na použitou odmašťovací směs, byla vždy dosažena vysoká čistota povrchu, která se pohybovala od zhruba 500 do 2 400 MEAN F.U. Tato čistota povrchu zaručila dobrou přilnavost barvy bez ohledu na drsnost povrchu.

Z tohoto důvodu byla u zmíněných vzorků mřížková zkouška klasifikována stupněm 0.

U leštěných vzorků je možné pozorovat zhoršení přilnavosti oproti ostatním vzorkům v zamaštěném stavu (vzorky 47D,48D,49E,50E). To je způsobeno příliš malou drsností povrchu a zároveň velkou mírou znečištění. Je také vidět, že vzorky 41A a 42A jsou klasifikovány stupněm 5, i když vykazují menší míru znečištění (přibližně 1 800 MEAN F.U.). Toto bylo nejspíše způsobeno přítomností jiných nečistot na povrchu jako například zbytky lešticí pasty, které negativně ovlivnily přilnavost nátěrové hmoty.

Když porovnáme vzorky 29E, 30E a vzorky 39E, 40E, je vidět, že měly podobné hodnoty znečištění, ale vzorky, které disponovaly méně drsným povrchem vykazovaly lepší přilnavost nátěrové hmoty. Z toho vyplývá, že pokud povrch přesáhl určitou míru drsnosti (přes  $Rz\ 60\ \mu m$ ) a zároveň dosahoval vyšší míry znečištění (v našem případě přes 10 000 MEAN F.U.), tak to mělo za následek snížení přilnavosti nátěrové hmoty.

Dále lze z výsledků vyčíst, že u vzorků bez mechanické předúpravy, u kterých povrch dosahoval nízké drsnosti okolo hodnoty  $Rz\ 7\ \mu m$ , také došlo ke zhoršení přilnavosti. Tento jev je možné pozorovat u vzorků 7D, 8D, 9E, 10E.

Z těchto výsledků lze konstatovat fakt, že s rostoucím znečištěním povrchu se zhoršovala přilnavost nátěrové hmoty. Také je vidět, že pokud povrch dosahoval malé drsnosti, došlo ke zhoršení přilnavosti a zároveň v případě přílišné drsnosti povrchu se taktéž přilnavost zhoršila. Z mřížkové zkoušky je možné označit jakožto nejlepší povrch takový, který byl otryskán křemičitým pískem nebo ocelovými kuličkami a zároveň byl odmaštěn pomocí ultrazvuku, kde odmašťovací směs byl technický benzín nebo STAR 75 PN a voda.

## 6.10 Odtrhová zkouška

Před samotnou realizací odtrhové zkoušky bylo nejprve nutné přilepit odtrhová tělíška. Na každém vzorku byla vybrána dvě místa určená k odrthu. Tato místa, a zároveň i samotná odrthová tělíška, se ručně obrousila brusným papírem o zrnitosti  $400 \text{ zrn}\cdot\text{cm}^{-2}$ . Následovalo očištění ploch isopropanolem, díky tomu bylo dosaženo kvalitního povrchu pro již zmíněnou odtrhovou zkoušku. Tělíska se přilepila k povrchu dvousložkovým lepidlem UHU PLUS endfest 300 EPOXY. Po nanesení lepidla na tělíška a přitlačení k povrchu vzorku došlo k fixaci za pomoci papírové pásky. Poté byly vzorky vloženy do pece, která dosahovala teploty  $100^{\circ}\text{C}$ , po dobu deseti minut. Tímto postupem by mělo být dosaženo pevnosti lepidla  $250 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$  (hodnota uváděná výrobcem).

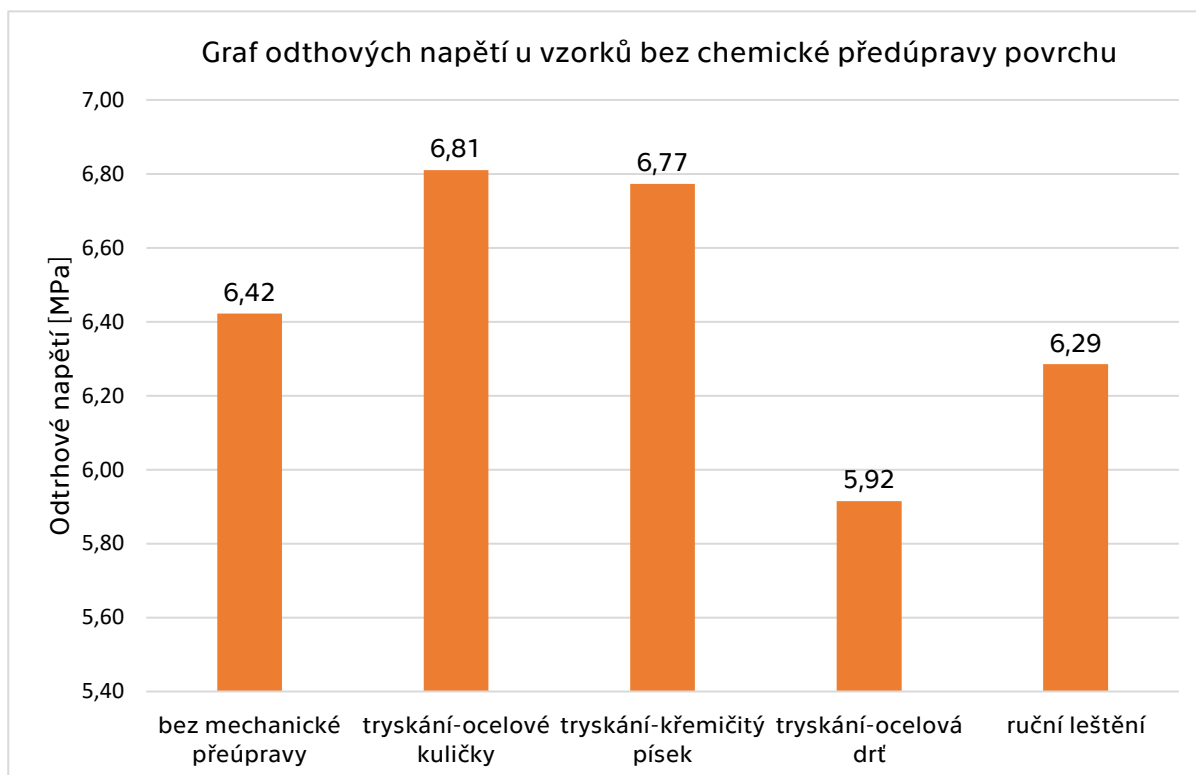
Po vychladnutí vzorků byla oříznuta oblast barvy okolo obvodu tělíška za pomoci ručního řezáku. Toto bylo nutné provést pro správné oddělení tělíška od vzorku. Pro odtrhnutí se použil automatický hydraulický odtrhoměr Electrometr 510, na kterém se zobrazovala jednotlivá odtrhová napětí. Tyto hodnoty a charaktery lomu se využily k vyhodnocení odtrhové zkoušky. Pro určení charakteru lomů byla využita tabulka 3 uvedená v kapitole 5.2.

V následující části jsou pouze vyhotovené grafy z naměřených hodnot, které jsou uvedeny v příloze 4.

### **Odtrhy u vzorků bez chemické předúpravy**

Z naměřených hodnot lze konstatovat, že nejmenšího odtrhového napětí bylo dosaženo u vzorků po ručním leštění a po tryskání ocelovou drtí. To vyplývá jak z odtrhového napětí, které dosahovalo menších hodnot (6,3 MPa a méně), tak i z charakteru lomu, který byl adhezního typu mezi podkladem a vrstvou barvy. U leštěných vzorků pravděpodobně došlo k tomuto odtrhnutí z důvodu zbytků lešticí pasty na povrchu a nízké drsnosti povrchu. U vzorků otryskaných ocelovou drtí mohlo výsledky ovlivnit hned několik faktorů. Jedním z nich mohlo být, že použité abrazivo bylo znečištěné z předchozího tryskání. Aby se tomuto přišť zamezilo, bylo by vhodné abrazivo vyměnit nebo vyčistit. Také na těchto

vzorcích bylo dosaženo největší vrstvy nátěru, což mohlo hrát určitou roli. U ostatních technologií bylo dosaženo větších hodnot odtrhového napětí a lom byl převážně kohezního typu ve vrstvě barvy. To znamená, že skutečné napětí



Obr. 55: Graf odtrhových napětí u vzorků bez chemické předúpravy povrchu

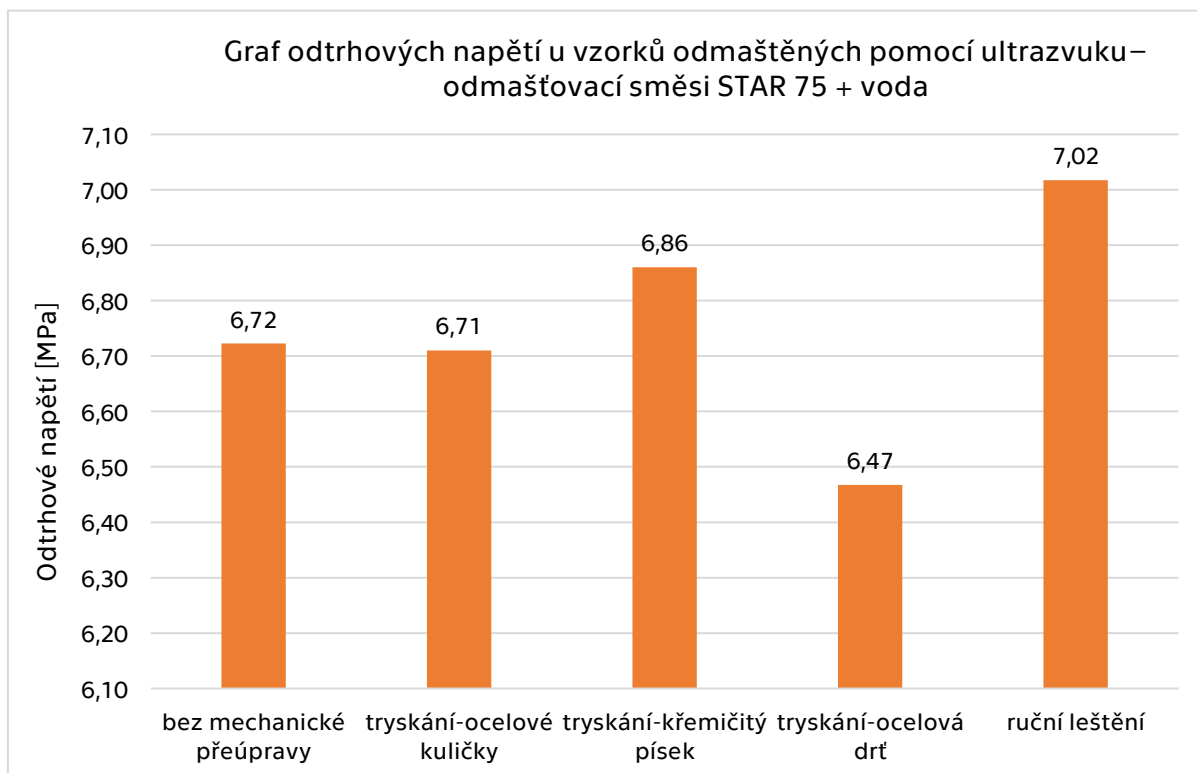
potřebné pro odtrhnutí od podkladu by dosáhlo větších hodnot.

### **Odtrhy u vzorků odmaštěných pomocí ultrazvuku – odmašťovací směs STAR75 + voda**

Po této chemické předúpravě pomocí ultrazvuku (odmašťovací směs-STAR 75 a voda) všechny vzorky vykazovaly dobrou přilnavost k materiálu. Pokud se opět zaměříme na vzorky otryskané ocelovou drtí nebo leštěné vzorky, je z grafu vidět, že došlo ke zvýšení odtrhového napětí až o 0,5 MPa oproti vzorkům bez chemické předúpravy. Z toho lze konstatovat, že se vždy vyplatí provést proces odmaštění, jelikož dojde ke zvýšení přilnavosti. Také se u těchto vzorků změnil charakter lomu na kohezní porušení ve vrstvě barvy. Tento typ porušení nátěru se vyskytoval i u zbylých vzorků. Odtrhové napětí se u zbylých vzorků nijak výrazně nezměnilo a dosahovalo podobných hodnot jako u vzorků bez chemické



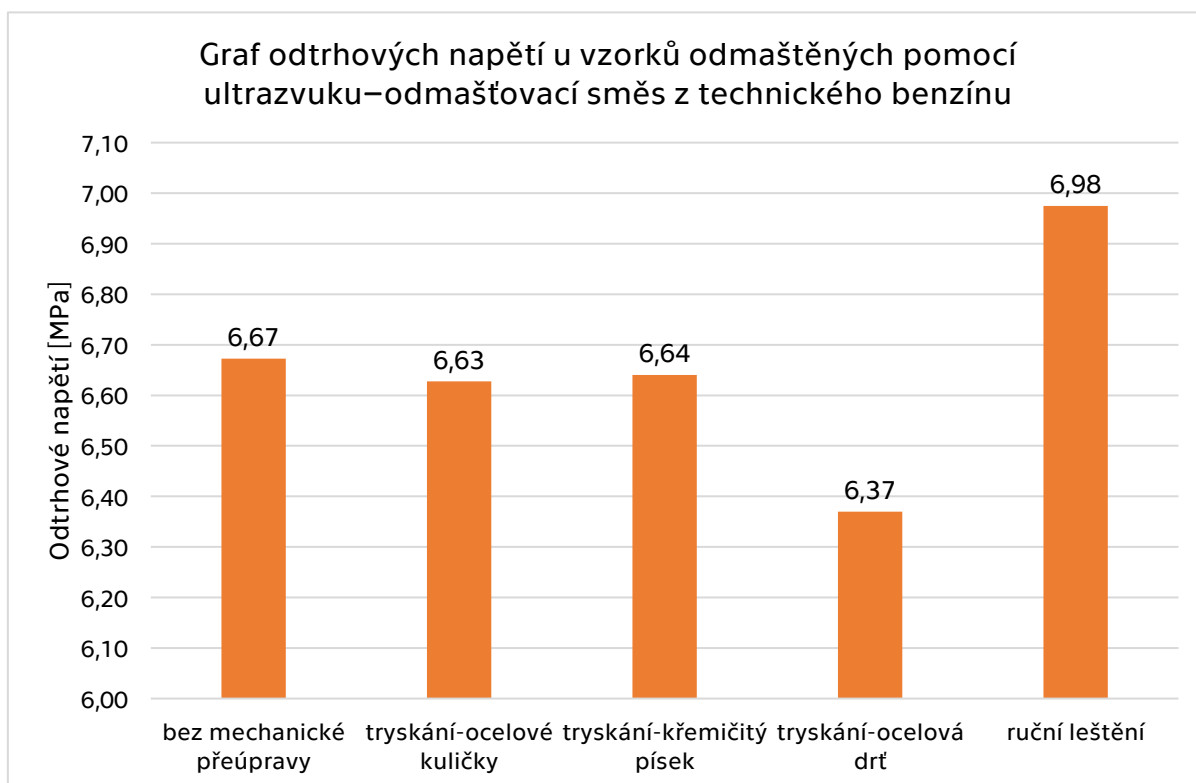
předúpravy. Z toho lze dojít k závěru, že zvolená barva nebyla optimální, jelikož dříve došlo k porušení její soudržnosti než k odtržení od podkladu. Je také vidět, že u leštěných vzorků je poměrně vysoké odtrhové napětí. To neodpovídá teorii, která předpokládá, že při velmi nízké drsnosti by měla být menší přilnavost barvy. To může být způsobeno tím, že tyto vzorky měly nejnižší vrstvu nátěru, tudíž barva měla vyšší soudržnost.



Obr. 56: Graf odtrhových napětí u vzorků odmaštěných pomocí ultrazvuku a odmašťovací směsi STAR 75 + voda

### **Odrhy u vzorků odmaštěných pomocí ultrazvuku – odmašťovací směsi z technického benzínu**

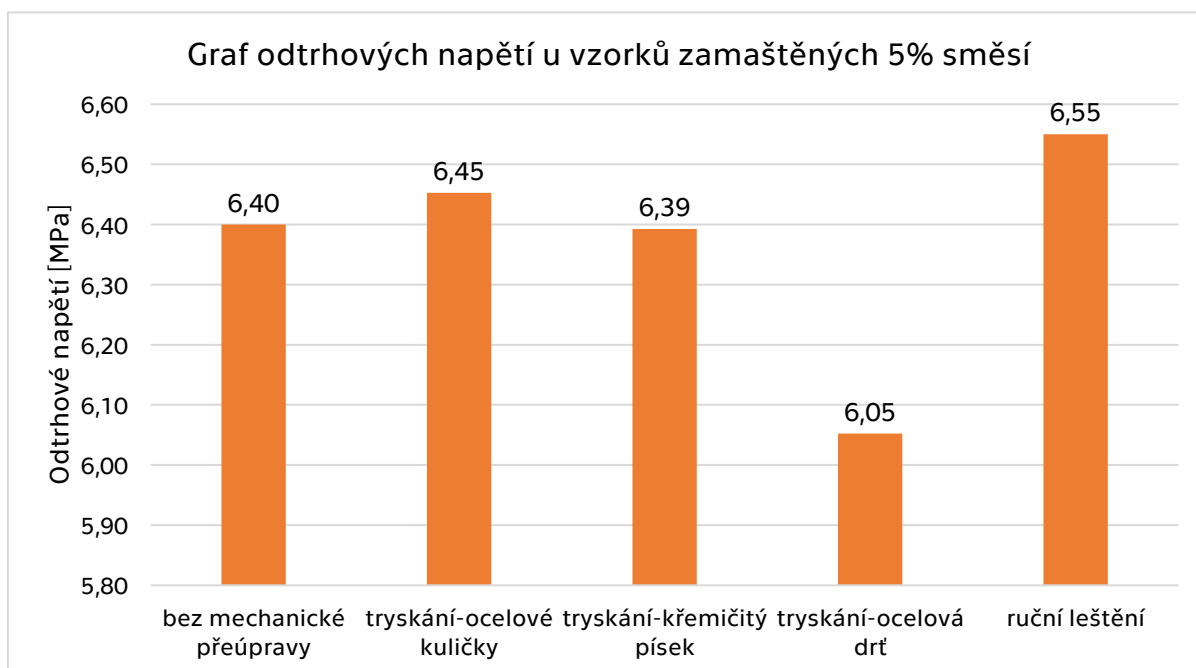
Odrhová napětí i charaktery lomu jsou velmi podobné výsledkům odtrhů u vzorků odmaštěných pomocí ultrazvuku a odmašťovací směsi STAR 75 PN s vodou. To je způsobeno tím, že povrchy vykazovali velmi podobnou čistotu povrchu.



*Obr. 57: Graf odtrhových napětí u vzorků odmaštěných pomocí ultrazvuku a odmašťovací směsi z technického benzínu*

### **Odrhy u vzorků zamaštěných 5% směsí**

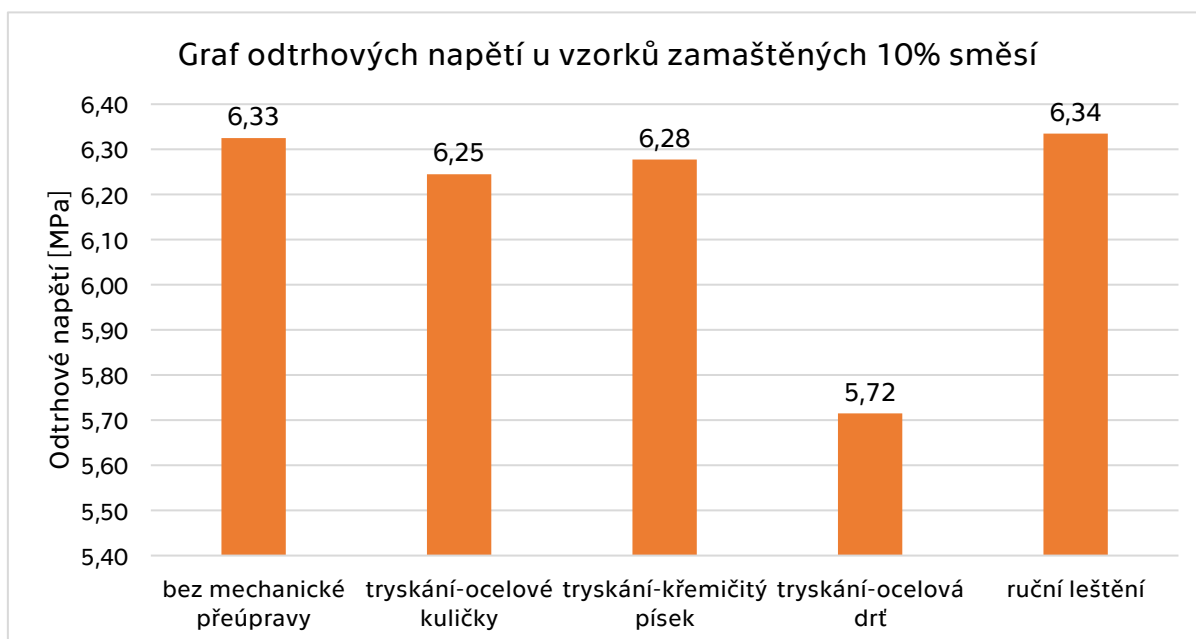
Po provedení těchto odtrhů bylo zjištěno, že u většiny vzorků došlo ke koheznímu porušení ve vrstvě barvy s kombinací adhezního porušení mezi lepidlem a tělískem. U všech vzorků je vidět lehké snížení odtrhového napětí v porovnání s technologií odmaštění pomocí ultrazvuku, bez ohledu na použitou odmašťovací směs. To nejspíše bylo způsobeno interakcí mezi barvou a mastnotou na povrchu, která měla ve výsledku vliv na soudržnost nátěrové hmoty.



*Obr. 58: Graf odtrhových napětí u vzorků zamaštěných 5% směsí*

### **Odrhly u vzorků zamaštěných 10% směsí**

Pokud porovnáme výsledky z tohoto měření s výsledky se zamaštěním 5% směsí, tak je možné pozorovat, že u všech vzorků došlo k poklesu potřebného odtrhového napětí. Naměřené výsledky u vzorků otryskaných křemičitým pískem nemůžeme brát v potaz, jelikož došlo ke 100% adheznímu porušení mezi lepidlem a tělískem, tudíž jsou výsledky znehodnocené. U všech ostatních vzorků po provedení zkoušky nastalo kohezní porušení ve vrstvě barvy s kombinací adhezního porušení mezi lepidlem a tělískem. Z tohoto měření také vychází fakt, že se zvyšujícím se zamaštěním klesá velikost potřebného napětí pro odtrh, jelikož mastnota povrchu negativně ovlivňovala soudržnost dané nátěrové hmoty.



*Obr. 59: Graf odtrhových napětí u vzorků zamaštěných 10% směsí*

### 6.10.1 Výsledky odtrhové zkoušky

Ze získaných výsledků se dospělo k následujícím faktům. Nejprve, byla-li na vzorcích provedena operace odmaštění povrchu, došlo ke zvětšení napětí potřebného pro odtržení. Toto lze především pozorovat u vzorků 41A, 42A (bez chemické předúpravy) v porovnání se vzorky 43B, 44B, 45C a 46C (odmaštěné), u kterých došlo ke zvýšení až o 1 MPa. Následně je možné vyzorovat, že s rostoucí tloušťkou nátěru klesá potřebné odtrhové napětí, a naopak s nižší tloušťkou napětí roste. Dále bylo zjištěno, že pokud znečištění povrchu dosahovalo vyšších hodnot (přes 10 000 MEAN F.U.), tak to vedlo ke snížení potřebného odtrhového napětí, jelikož došlo k interakci mezi barvou a zamaštěním, a to negativně ovlivnilo její soudržnost. Výsledné hodnoty nejsou takové, jaké se očekávaly, protože u většiny vzorků nedošlo k adheznímu porušení mezi podkladem a vrstvou barvy. Nejčastěji došlo ke koheznímu porušení ve vrstvě barvy, tudíž nebylo zjištěné přesné odtrhové napětí pro odtržení barvy od podkladu a z těchto výsledků nelze vyzorovat přesné chování přilnavosti v závislosti na drsnosti a znečištění. Ovšem lze dospět k některým závěrům popsaným výše. Při opakování experimentu by bylo vhodné zvolit jinou nátěrovou hmotu.

## 7 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo nejprve rozebrat problematiku čistoty a předúprav povrchu. Tomu se věnuje rešeršní část práce. Druhá část se věnovala experimentálnímu porovnání drsnosti a čistoty povrchu na přilnavost nátěrové hmoty. Aby mohl experiment proběhnout, bylo nejprve nutné dosáhnout rozdílné drsnosti povrchu, čehož bylo docíleno mechanickou předúpravou. Následovala chemická předúprava, díky které bylo dosaženo rozdílné čistoty povrchu.

Ze získaných výsledků bylo možné nalézt souvislosti, jak čistota a drsnost povrchu ovlivňují přilnavost nátěrové hmoty. Největší vliv na přilnavost měla čistota povrchu. Zde především záviselo na míře znečištění, ale také i na typu nečistot vyskytujících se na povrchu. Taktéž je možné pozorovat, že znečištění ve formě mastnoty negativně ovlivnilo i samotnou soudržnost nátěrové hmoty. Dále se našla souvislost mezi znečištěním a drsností povrchu, kde u vzorků s vyšší drsností došlo k zachycení menšího množství mastnoty. Bylo zjištěno, že drsnost povrchu také ovlivňuje přilnavost nátěrové hmoty, ale v menší míře než čistota povrchu. Pokud povrch vykazoval příliš malou drsnost nebo naopak příliš velkou drsnost, tak došlo ke zhoršení přilnavosti. Obecně lze tedy ze získaných výsledků konstatovat, že nejlepší přilnavosti vykazoval povrch, který dosahoval hodnoty drsnosti Rz 30 až 50  $\mu\text{m}$  a zároveň u něho byla provedena technologie odmaštění. Bohužel u některých vzorků nedošlo k přesnému změření potřebného odtrhového napětí, tudíž se nepodařilo získat potřebné hodnoty pro vyhodnocení. To bylo způsobeno špatným výběrem nátěrové hmoty, proto při zopakování experimentu by bylo vhodné použít jinou nátěrovou hmotu.

## Bibliografie

- [1] KRAUS, Václav. *Povrchy a jejich úpravy*. Plzeň: Západočeská univerzita, Strojní fakulta, 2009. ISBN 978-80-7082-668-3.
- [2] MITTAL, K. L. *Surface Contamination and Cleaning: Volume 1: Volume 1*. 1st ed. Leiden: CRC Press, 2003 . ISBN 90-6764-376-9. Dostupné z: <https://go.exlibris.link/DFnp4qLG>
- [3] TROJÁNEK, František. *Příručka pro povrchové úpravy: Chemické a elektrochemické povrchové úpravy materiálu*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1963.
- [4] KUDLÁČEK, Jan. Problematika předúprav povrchu: část 1.-nečistoty. *Povrchové úpravy*. 2007, 4(2), 5-7. ISSN 1801-707X.
- [5] Progresivní metody detekce mastných látek na površích strojírenských výrobků. In: *TechTest.eu* [online]. [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: <https://www.techtest.eu/clanek4.html>
- [6] TechTest s.r.o. Recognoil. In: *TechTest.cz* [online]. [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: <https://www.techtest.cz/>
- [7] Průvodce výběrem a návod k použití fixů a inkoustů. In: *GAMIN* [online]. [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: [https://www.gamin.cz/fileadmin/user\\_upload/Pruvodce\\_vyberem\\_a\\_navod\\_na\\_pouziti\\_fixu\\_a\\_inkoustu.pdf](https://www.gamin.cz/fileadmin/user_upload/Pruvodce_vyberem_a_navod_na_pouziti_fixu_a_inkoustu.pdf)
- [8] SLANEC, Karel. *Základy konstruování: Geometrická přesnost: Geometrická přesnost*. Praha: České vysoké učení technické, 1996, . ISBN 80-010-1494-0.
- [9] BUMBÁLEK, Bohumil, Vladimír ODVODY a Bohuslav OŠŤÁDAL. *Drsnost povrchu*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989 .
- [10] KREIBICH, Viktor. *Teorie a technologie povrchových úprav*. Dotisk 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999. ISBN 80-01-01472-X.

- [11] YOUSSEF, Helmi, Hassan EL-HOFY a Mahmoud AHMED. *Manufacturing Technology: Materials, Processes, and Equipment*. 1st ed. Boca Roca: Taylor & Francis Group, 2011. ISBN 978-1-4398-9708-9. Dostupné také z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/techlib-ebooks/detail.action?docID=1446302&pq-origsite=summon>
- [12] BORNMYR, Anders a Björn HOLMBERG. *AvestaPolarit Welding Pickling handbook*. 1995. Dostupné také z: [http://www-eng.lbl.gov/~shuman/NEXT/MATERIALS&COMPONENTS/Pressure\\_vessels/pickling-SS.pdf](http://www-eng.lbl.gov/~shuman/NEXT/MATERIALS&COMPONENTS/Pressure_vessels/pickling-SS.pdf)
- [13] MAREK, Vladimír. Technologie tryskání jako konečná úprava povrchu. *Povrchové úpravy*. 2007, 10(2), 49-52. ISSN 0551-7354
- [14] MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. 2. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2000. ISBN 80-7078-953-0.
- [15] SOUKUP, Miloslav a Vladimír RUML. *Odmašťování v průmyslu a zemědělství*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1978.
- [16] BENEDIKT, Vladimír. *Povrchové úpravy kovových materiálů: určeno pro posl. 3. roč. fak. strojní*. Plzeň: Vysoká škola strojní a elektrotechnická, 1985.
- [17] RUML, Vladimír a Miloslav SOUKUP. *Galvanické pokovování*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1981.
- [18] ŠTURC, Josef. *Moření oceli*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1985.
- [19] BAGIN, Kamil. *Technológia povrchových úprav*. Bratislava: Alfa, 1987.
- [20] KREIBICH, Viktor. *Povrchové úpravy*. Praha: Ediční středisko Českého vysokého učení technického, 1981.
- [21] KUBÁTOVÁ, Hana. *Nátěry kovů*. Praha: Grada, 2000, . ISBN 80-247-9035-1.
- [22] LUKAVSKÝ, Ladislav. *Nátěrové hmoty a přípravky pro povrchové úpravy*. 1. vyd. Praha: Merkur, 1985.
- [23] WEISMANTEL, Guy E. *Paint handbook*. 1. New York: MacGraw-Hill, 1981. ISBN 0-07-069061-8.
- [24] SCHWEITZER, Philip A. *Paint and coatings: applications and corrosion resistance*. Boca Raton: CRC/Taylor & Francis, 2006 . ISBN 9781574447026

- [25] GROSS, William F. *Applications manual for paint and protective coatings: A guide to types of coatings methods of surface preparation and hand application techniques*. New York: MacGraw-Hill, 1970.
- [26] HERRMANN, František a Marek SCHILLER. Zkoušení nátěrových hmot a ochranných povlaků. In: *Sdružení českých zkušeben a laboratoří* [online]. 2006 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: [https://www.sczl.cz/download/download/2006-vk-solan/04\\_synpo\\_herrmann.pdf](https://www.sczl.cz/download/download/2006-vk-solan/04_synpo_herrmann.pdf)
- [27] INSTITUT, Český normalizační. *ČSN EN ISO 2409 Nátěrové hmoty: mřížková zkouška = Paints and varnishes - Cross-cut test: mřížková zkouška = Paints and varnishes - Cross-cut test*.
- [28] INSTITUT, Český normalizační. *ČSN EN ISO 4624 Nátěrové hmoty: odtrhová zkouška přilnavosti = Paints and varnishes - Pull-off test for adhesion: odtrhová zkouška přilnavosti = Paints and varnishes - Pull-off test for adhesion*.
- [29] INSTITUT, Český normalizační. *ČSN EN ISO 16276-2 Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy: hodnocení a kritéria přijetí, adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku. Část 2: Mřížková zkouška a křížový řez*. 2008.
- [30] PÍSKOVACÍ MATERIÁLY. In: *Pkit.cz* [online]. [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: [https://www.pkit.cz/piskovaci-materialy/?gclid=Cj0KCQjwocShBhCOARIsAFVYq0hXfKYGAVkJ59vONZ\\_g25r\\_XsbZDd-eIZliEDPwRy\\_NnREscDTrMLkaAtRNEALw\\_wcB](https://www.pkit.cz/piskovaci-materialy/?gclid=Cj0KCQjwocShBhCOARIsAFVYq0hXfKYGAVkJ59vONZ_g25r_XsbZDd-eIZliEDPwRy_NnREscDTrMLkaAtRNEALw_wcB)
- [31] KEDRA, Alexandr. *Technologie tryskání metacími jednotkami*. Praha, 2015. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.
- [32] Měření drsnosti povrchu - Drsnoměry Profiloměry. In: *Proinex.cz* [online]. [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: <https://www.proinex.cz/a/mereni-drsnosti-povrchu-drsnomery-profilomery>
- [33] Natahovací pravítko BAKER VF2145. In: *Proinex.cz* [online]. [cit. 2023-07-11]. Dostupné z: <https://www.proinex.cz/p/natahovaci-pravitko-baker-vf2145>



[34] Testovací inkousty. *Ekomaziva.cz* [online]. [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: <https://www.ekomaziva.cz/katalog/produkt/testovaci-inkousty-63263>

## Seznam tabulek

|   |    |
|---|----|
| Tab. 1: Hodnocení výsledků mřížkové zkoušky [27] .....                                  | 35 |
| Tab. 2: Vzdálenost mezi řezy v závislosti na typu podkladu a tloušťce nátěru [27] ..... | 36 |
| Tab. 3: Typy porušení nátěrové hmoty při odtrhové zkoušce [28] .....                    | 37 |
| Tab. 4: Hodnocení výsledků zkoušky křížovým řezem [29] .....                            | 38 |
| Tab. 5: Označení vzorků po mechanické předúpravě .....                                  | 45 |
| Tab. 6: Označení vzorků po chemické předúpravě .....                                    | 45 |
| Tab. 7: Výsledky mřížkové zkoušky .....   | 61 |

## Seznam obrázků

|  |    |
|--|----|
| Obr.1: Měřicí souprava od firmy Recognoil .....  | 13 |
| Obr. 2: Rozdíl mezi odmaštěným a zamaštěným povrchem [34] .....                        | 14 |
| Obr. 3: Popis některých povrchových charakteristik [32] .....                          | 15 |
| Obr. 4: Rozdělení metod hodnocení a měření drsnosti povrchu [9] .....                  | 16 |
| Obr. 5: Drsnoměr Mitutoyo SJ-301 .....   | 17 |
| Obr. 6: Schéma principu rotačního a vibračního omílání [11] .....                      | 19 |
| Obr. 7: Ukázka abraziva, ocelový granulát a ocelová drť [30] .....                     | 21 |
| Obr. 8: Schéma pneumatického a mechanického tryskání [31] .....                        | 21 |
| Obr. 9: Schéma emulgace mastnoty [14] .....  | 24 |
| Obr. 10: Konzistence v závislosti na technologii nanášení [20] .....                   | 31 |
| Obr. 11: Ukázka měřených míst znečištění (vlevo) a drsnosti povrchu (vpravo)....       | 40 |
| Obr. 12: Vzorek před a po tryskání ocelovými kuličkami.....                            | 42 |
| Obr. 13: Vzorek před a po tryskáním ocelovou drtí.....                                 | 42 |
| Obr. 14: Vzorek před a po tryskání křemičitým pískem.....                              | 42 |
| Obr. 15: Vzorek před a po ručním leštění.....  | 42 |
| Obr. 16: Ultrazvukové odmašťovací zařízení s nastavenými hodnotami .....               | 43 |
| Obr. 17: Zamašťovací sestava.....  | 44 |
| Obr. 18: Znečištění bez mechanické předúpravy - 351 MEAN F.U. ....                     | 46 |
| Obr.19: Znečištění po ultrazvukovém odmaštění STAR 75 - 746 MEAN F.U. ....             | 46 |
| Obr. 20: Znečištění po ultrazvukovém odmaštění tech. benzínem - 991 MEAN F.U.<br>..... | 46 |
| Obr. 21: Znečištění po zamaštění 5% směsí - 9 984 MEAN F.U. ....                       | 46 |
| Obr. 22: Znečištění po zamaštění 10% směsí - 17 654 MEAN F.U. ....                     | 46 |
| Obr. 23: Graf průměrné hodnoty znečištění u vzorků bez mechanické<br>předúpravy.....   | 47 |

|   |    |
|---|----|
| Obr. 24: Znečištění po mechanické předúpravě - 1 142 MEAN F.U. ....                         | 48 |
| Obr. 25 Znečištění po ultrazvukovém odmaštění STAR 75 - 746 MEAN F.U. ....                  | 48 |
| Obr. 26: Znečištění po ultrazvukovém odmaštění tech. benzínem - 677 MEAN F.U.<br>.....      | 48 |
| Obr. 27: Znečištění po zamaštění 5% směsí - 11 993 MEAN F.U. ....                           | 48 |
| Obr. 28: Znečištění po zamaštění 10% směsí - 17 240 MEAN F.U. ....                          | 48 |
| Obr. 29: Graf průměrné hodnoty znečištění u vzorků otryskaných ocelovými<br>kuličkami ..... | 49 |
| Obr. 30: Znečištění po mechanické předúpravě - 3 175 MEAN F.U. ....                         | 50 |
| Obr. 31: Znečištění po ultrazvukovém odmaštění STAR 75 - 769 MEAN F.U. ....                 | 50 |
| Obr. 32: Znečištění po ultrazvukovém odmaštění tech. benzínem-1 516 MEAN F.U.<br>.....      | 50 |
| Obr. 33: Znečištění po zamaštění 5% směsí - 5 784 MEAN F.U. ....                            | 50 |
| Obr. 34: Znečištění po zamaštění 10% směsí - 14 542 MEAN F.U. ....                          | 50 |
| Obr. 35: Graf průměrné hodnoty znečištění u vzorků otryskaných ocelovou drtí<br>.....       | 51 |
| Obr. 36: Znečištění po mechanické předúpravě - 11 881 MEAN F.U.....                         | 52 |
| Obr. 37: Znečištění po ultrazvukovém odmaštění STAR 75 - 937 MEAN F.U. ....                 | 52 |
| Obr. 38: Znečištění po ultrazvukovém odmaštění tech. benzínem -2 641 MEAN F.U.<br>.....     | 52 |
| Obr. 39: Znečištění po zamaštění 5% směsí - 7 238 MEAN F.U. ....                            | 52 |
| Obr. 40: Znečištění po zamaštění 10% směsí - 13 774 MEAN F.U. ....                          | 52 |
| Obr. 41: Graf průměrné hodnoty znečištění u vzorků otryskaných křemičitý<br>pískem .....    | 53 |
| Obr. 42: Znečištění po mechanické předúpravě-2269 MEAN F.U. ....                            | 54 |
| Obr. 43: Znečištění po ultrazvukovém odmaštění STAR 75-1 564 MEAN F.U. ....                 | 54 |

|  |    |
|--|----|
| Obr. 44: Znečištění po ultrazvukovém odmaštění tech. benzínem-2 050 MEAN F.U.<br>.....                                 | 54 |
| Obr. 45: Znečištění po zamaštění 5% směsí - 14 911 MEAN F.U. ....  | 54 |
| Obr. 46: Znečištění po zamaštění 10% směsí - 26 831 MEAN F.U. ....   | 54 |
| Obr. 47: Graf průměrné hodnoty znečištění u vzorků po ručním leštění .....   | 55 |
| Obr. 48: Graf průměrných hodnot Ra po jednotlivých mechanických předúpravách<br>.....                                  | 56 |
| Obr. 49: Graf průměrných hodnot Rz po jednotlivých mechanických předúpravách<br>.....                                  | 57 |
| Obr. 50: Graf průměrných hodnot Rq po jednotlivých mechanických předúpravách .....                                     | 57 |
| Obr. 51: Natahovací pravítko [33] .....  | 58 |
| Obr. 52: Schéma natahování barvy pomocí pravítka [33] .....  | 58 |
| Obr. 53: Natřený vzorek .....  | 58 |
| Obr. 54: Graf naměřených tloušťek nátěru .....   | 59 |
| Obr. 55: Graf odtahových napětí u vzorků bez chemické předúpravy povrchu .....   | 64 |
| Obr. 56: Graf odtrhových napětí u vzorků odmaštěných pomocí ultrazvuku a odmašťovací směsi STAR 75 + voda .....        | 65 |
| Obr. 57: Graf odtrhových napětí u vzorků odmaštěných pomocí ultrazvuku a odmašťovací směsi z technického benzínu ..... | 66 |
| Obr. 58: Graf odtrhových napětí u vzorků zamaštěných 5% směsí .....  | 67 |
| Obr. 59: Graf odtrhových napětí u vzorků zamaštěných 10% směsí .....   | 68 |

## Seznam příloh

Příloha 1 – Čistota povrchu

Příloha 2 – Drsnost povrchu

Příloha 3 – Tloušťka nátěru

Příloha 4 – Výsledky odtrhové zkoušky

Příloha 5 – Fotodokumentace vzorků po zkouškách přilnavosti nátěru

## Příloha 1 – Čistota povrchu

### Naměřené hodnoty čistoty povrchu

| Vzorek | Znečištění před chemickou předúpravou [MEAN F.U.] |        |        | Znečištění po chemické předúpravě [MEAN F.U.] |        |        |
|--------|---|--------|--------|---|--------|--------|
|        | místo1  | místo2 | místo3 | místo1  | místo2 | místo3 |
| 1A     | 351   | 328    | 472    | 351   | 328    | 472    |
| 2A     | 322   | 252    | 358    | 322   | 252    | 358    |
| 3B     | 942   | 1 497  | 2 680  | 273   | 419    | 622    |
| 4B     | 878   | 1 536  | 1 938  | 407   | 302    | 213    |
| 5C     | 6 829   | 18 147 | 5 736  | 991   | 585    | 765    |
| 6C     | 297   | 234    | 791    | 1 166   | 1 575  | 896    |
| 7D     | 2 826   | 1 951  | 801    | 12 293  | 11 621 | 9 887  |
| 8D     | 773   | 716    | 1 529  | 7 744   | 10 275 | 9 984  |
| 9E     | 1 352   | 352    | 354    | 15 903  | 17 654 | 19 863 |
| 10E    | 4 221   | 5 147  | 4 340  | 17 258  | 19 460 | 21 295 |
| 11A    | 1 104   | 1 280  | 1 334  | 1 104   | 1 280  | 1 334  |
| 12A    | 1 190   | 1 142  | 1 339  | 1 190   | 1 142  | 1 339  |
| 13B    | 826   | 900    | 1 367  | 603   | 746    | 692    |
| 14B    | 989   | 1 054  | 1 604  | 669   | 633    | 750    |
| 15C    | 903   | 946    | 841    | 880   | 677    | 665    |
| 16C    | 921   | 886    | 891    | 613   | 768    | 666    |
| 17D    | 921   | 936    | 986    | 8 592   | 13 943 | 5 714  |
| 18D    | 1 376   | 1 547  | 1 360  | 6 625   | 11 993 | 15 032 |
| 19E    | 1 009   | 926    | 1 224  | 14 214  | 17 767 | 23 009 |
| 20E    | 1 193   | 1 047  | 1 255  | 19 334  | 17 240 | 22 704 |
| 21A    | 11 598  | 12 685 | 14 164 | 11 598  | 12 685 | 14 164 |
| 22A    | 14 432  | 11 831 | 9 158  | 14 432  | 11 831 | 9 158  |
| 23B    | 9 044   | 8 130  | 10 940 | 937   | 895    | 1 210  |
| 24B    | 14 187  | 17 049 | 20 262 | 1 010   | 1 141  | 1 177  |
| 25C    | 12 033  | 13 755 | 16 672 | 2 150   | 2 730  | 2 239  |
| 26C    | 18 927  | 15 059 | 10 701 | 3 097   | 3 124  | 3 096  |
| 27D    | 7 034   | 8 150  | 10 793 | 6 326   | 7 961  | 7 787  |
| 28D    | 15 156  | 19 334 | 17 295 | 4 454   | 6 728  | 7 238  |
| 29E    | 17 227  | 17 833 | 23 684 | 15 181  | 17 158 | 12 356 |
| 30E    | 11 004  | 11 224 | 9 436  | 12 356  | 13 774 | 12 427 |
| 31A    | 2 767   | 3 032  | 3 733  | 2 767   | 3 032  | 3 733  |
| 32A    | 3 605   | 3 175  | 3 085  | 3 605   | 3 175  | 3 085  |
| 33B    | 5 200   | 4 747  | 5 824  | 734   | 821    | 757    |

|            |       |       |       |        |        |        |
|------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| <b>34B</b> | 3 232 | 3 818 | 4 154 | 891    | 796    | 815    |
| <b>35C</b> | 3 280 | 2 878 | 2 872 | 1 574  | 1 328  | 1 384  |
| <b>36C</b> | 3 565 | 3 034 | 3 618 | 1 658  | 1 516  | 1 640  |
| <b>37D</b> | 3 121 | 2 758 | 2 924 | 4 133  | 5 245  | 8 111  |
| <b>38D</b> | 4 087 | 3 995 | 3 225 | 3 788  | 5 784  | 5 588  |
| <b>39E</b> | 3 698 | 4 062 | 4 278 | 14 720 | 15 827 | 15 504 |
| <b>40E</b> | 2 658 | 2 485 | 2 756 | 14 452 | 12 853 | 10 823 |
| <b>41A</b> | 1 707 | 1 661 | 1 741 | 2 148  | 1 971  | 2 269  |
| <b>42A</b> | 2 019 | 2 013 | 1 915 | 2 019  | 2 013  | 1 915  |
| <b>43B</b> | 1 747 | 1 913 | 2 269 | 1 519  | 1 558  | 1 529  |
| <b>44B</b> | 1 771 | 1 752 | 1 712 | 1 623  | 1 564  | 1 555  |
| <b>45C</b> | 1 974 | 1 752 | 1 972 | 1 720  | 1 843  | 1 924  |
| <b>46C</b> | 2 146 | 1 871 | 1 669 | 1 833  | 1 954  | 1 745  |
| <b>47D</b> | 1 499 | 1 588 | 1 669 | 14 522 | 14 911 | 17 342 |
| <b>48D</b> | 1 797 | 1 588 | 1 765 | 18 232 | 17 342 | 11 368 |
| <b>49E</b> | 1 673 | 1 744 | 1 664 | 32 978 | 26 831 | 25 489 |
| <b>50E</b> | 1 507 | 1 571 | 1 513 | 24 548 | 23 864 | 26 980 |



## Příloha 2 – Drsnost povrchu

### Naměřené hodnoty drsnosti povrchu

| Vzorek | Drsnost Ra [ $\mu\text{m}$ ] |        |        |        | Drsnost Rz [ $\mu\text{m}$ ] |        |        |        | Drsnost Rq [ $\mu\text{m}$ ] |        |        |        |
|--------|------------------------------|--------|--------|--------|------------------------------|--------|--------|--------|------------------------------|--------|--------|--------|
|        | Místo1                       | Místo2 | Místo3 | Místo4 | Místo1                       | Místo2 | Místo3 | Místo4 | Místo1                       | Místo2 | Místo3 | Místo4 |
| 1A     | 0,92                         | 1,01   | 1,28   | 1,31   | 5,02                         | 5,69   | 7,42   | 5,97   | 0,99                         | 1,25   | 1,58   | 1,56   |
| 2A     | 1,21                         | 1,19   | 1,33   | 1,26   | 6,53                         | 6,52   | 7,20   | 6,42   | 1,50                         | 1,44   | 1,64   | 1,51   |
| 3B     | 1,30                         | 1,36   | 1,33   | 1,61   | 7,26                         | 7,98   | 8,15   | 7,61   | 1,58                         | 1,72   | 1,66   | 1,84   |
| 4B     | 1,20                         | 1,37   | 1,51   | 1,24   | 7,74                         | 7,86   | 7,07   | 8,03   | 1,62                         | 1,8    | 1,69   | 1,61   |
| 5C     | 1,12                         | 1,32   | 1,21   | 1,11   | 6,12                         | 7,15   | 7,36   | 7,77   | 1,36                         | 1,65   | 1,58   | 1,49   |
| 6C     | 1,07                         | 0,97   | 0,99   | 0,89   | 6,24                         | 6,33   | 5,97   | 4,77   | 1,33                         | 1,26   | 1,24   | 1,08   |
| 7D     | 1,39                         | 1,24   | 0,95   | 1,00   | 7,72                         | 6,94   | 5,59   | 5,68   | 1,73                         | 1,55   | 1,14   | 1,25   |
| 8D     | 1,07                         | 1,26   | 1,31   | 1,21   | 6,29                         | 7,84   | 6,29   | 7,73   | 1,37                         | 1,59   | 1,57   | 1,53   |
| 9E     | 1,19                         | 1,19   | 0,93   | 1,24   | 6,94                         | 6,68   | 5,58   | 7,73   | 1,51                         | 1,49   | 1,16   | 1,62   |
| 10E    | 1,16                         | 1,08   | 0,89   | 0,99   | 6,80                         | 6,54   | 5,39   | 5,34   | 1,47                         | 1,36   | 1,10   | 1,23   |
| 11A    | 7,59                         | 7,63   | 6,57   | 5,59   | 35,70                        | 36,51  | 32,13  | 33,08  | 9,09                         | 9,29   | 7,97   | 7,21   |
| 12A    | 7,17                         | 6,47   | 6,34   | 7,20   | 30,26                        | 34,20  | 31,84  | 31,64  | 8,50                         | 7,96   | 7,62   | 8,44   |
| 13B    | 6,74                         | 6,37   | 6,84   | 5,77   | 30,99                        | 32,01  | 31,89  | 29,43  | 8,20                         | 7,76   | 8,28   | 7,18   |
| 14B    | 6,56                         | 5,93   | 7,46   | 7,88   | 34,59                        | 27,45  | 32,98  | 35,6   | 8,05                         | 7,16   | 8,91   | 9,19   |
| 15C    | 7,07                         | 6,57   | 5,68   | 7,09   | 35,10                        | 30,97  | 29,10  | 33,50  | 8,54                         | 8,00   | 6,88   | 8,47   |
| 16C    | 7,94                         | 6,45   | 5,58   | 6,42   | 36,14                        | 31,51  | 26,20  | 32,08  | 9,30                         | 7,80   | 6,71   | 7,81   |
| 17D    | 5,48                         | 7,56   | 5,89   | 5,23   | 29,13                        | 35,23  | 27,84  | 26,18  | 6,77                         | 9,58   | 6,85   | 6,25   |
| 18D    | 5,41                         | 6,85   | 5,15   | 6,60   | 30,30                        | 30,52  | 26,53  | 31,43  | 6,88                         | 8,02   | 6,44   | 8,00   |
| 19E    | 5,73                         | 5,96   | 5,70   | 5,21   | 28,32                        | 29,86  | 29,88  | 26,47  | 6,90                         | 7,44   | 7,03   | 6,24   |
| 20E    | 6,55                         | 7,16   | 5,86   | 6,34   | 35,13                        | 34,21  | 30,69  | 30,53  | 8,14                         | 8,54   | 7,24   | 7,57   |
| 21A    | 9,23                         | 9,30   | 10,56  | 9,85   | 48,63                        | 51,16  | 52,06  | 55,10  | 12,08                        | 11,67  | 12,55  | 12,56  |
| 22A    | 9,73                         | 10,74  | 10,59  | 9,42   | 50,71                        | 51,74  | 54,83  | 49,15  | 11,87                        | 13,24  | 13,13  | 11,76  |
| 23B    | 9,54                         | 10,32  | 9,90   | 10,13  | 50,72                        | 49,91  | 54,08  | 52,82  | 11,75                        | 12,45  | 12,38  | 12,39  |
| 24B    | 8,28                         | 10,42  | 10,04  | 10,17  | 51,14                        | 54,86  | 50,24  | 52,65  | 10,65                        | 12,79  | 12,24  | 12,55  |

|            |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>25C</b> | 10,92 | 10,02 | 10,44 | 9,82  | 51,84 | 50,24 | 55,33 | 49,12 | 13,04 | 12,19 | 12,97 | 12,00 |
| <b>26C</b> | 11,18 | 9,17  | 9,38  | 8,73  | 58,13 | 46,34 | 50,80 | 47,15 | 13,91 | 10,93 | 11,60 | 10,85 |
| <b>27D</b> | 10,78 | 10,45 | 10,20 | 9,01  | 54,74 | 52,13 | 51,43 | 50,14 | 13,43 | 12,41 | 12,33 | 11,16 |
| <b>28D</b> | 9,47  | 11,70 | 10,21 | 8,39  | 51,54 | 54,51 | 55,07 | 46,26 | 11,63 | 14,03 | 13,04 | 10,37 |
| <b>29E</b> | 9,13  | 8,58  | 9,00  | 10,38 | 50,32 | 45,07 | 50,01 | 52,93 | 11,43 | 9,48  | 11,02 | 12,71 |
| <b>30E</b> | 8,55  | 8,25  | 10,68 | 9,88  | 45,87 | 45,23 | 54,91 | 49,33 | 10,37 | 10,22 | 13,05 | 12,07 |
| <b>31A</b> | 12,26 | 13,86 | 13,45 | 13,71 | 62,10 | 58,87 | 64,44 | 63,35 | 15,16 | 14,58 | 16,57 | 15,43 |
| <b>32A</b> | 14,56 | 12,14 | 12,91 | 12,83 | 65,84 | 64,03 | 63,29 | 66,49 | 17,23 | 14,47 | 15,68 | 15,62 |
| <b>33B</b> | 13,91 | 12,44 | 13,83 | 12,50 | 73,66 | 62,29 | 72,15 | 63,01 | 17,25 | 15,19 | 17,07 | 13,60 |
| <b>34B</b> | 12,61 | 12,14 | 17,03 | 13,34 | 66,12 | 63,17 | 72,44 | 64,68 | 15,49 | 14,73 | 18,32 | 16,51 |
| <b>35C</b> | 11,38 | 12,77 | 10,39 | 11,89 | 58,13 | 68,11 | 56,59 | 60,50 | 13,74 | 16,22 | 13,15 | 14,38 |
| <b>36C</b> | 12,16 | 13,49 | 11,26 | 11,78 | 55,89 | 67,28 | 55,44 | 59,79 | 14,26 | 16,30 | 13,59 | 14,17 |
| <b>37D</b> | 12,59 | 14,33 | 16,26 | 12,75 | 66,36 | 67,67 | 72,69 | 63,22 | 15,92 | 17,22 | 18,31 | 15,61 |
| <b>38D</b> | 11,34 | 14,84 | 14,27 | 11,58 | 61,00 | 72,02 | 64,87 | 55,08 | 14,40 | 17,02 | 15,69 | 13,12 |
| <b>39E</b> | 12,43 | 13,3  | 12,46 | 14,47 | 64,40 | 72,54 | 62,77 | 70,28 | 15,07 | 16,43 | 15,16 | 16,88 |
| <b>40E</b> | 11,18 | 11,99 | 12,81 | 11,98 | 58,67 | 63,73 | 65,51 | 60,71 | 14,25 | 15,26 | 15,95 | 14,18 |
| <b>41A</b> | 0,20  | 0,17  | 0,26  | 0,14  | 1,75  | 1,30  | 2,05  | 0,94  | 0,28  | 0,23  | 0,35  | 0,17  |
| <b>42A</b> | 0,38  | 0,23  | 0,25  | 0,29  | 3,06  | 2,06  | 2,10  | 2,06  | 0,55  | 0,33  | 0,35  | 0,40  |
| <b>43B</b> | 0,33  | 0,35  | 0,20  | 0,18  | 3,09  | 2,60  | 1,54  | 1,57  | 0,50  | 0,47  | 0,25  | 0,24  |
| <b>44B</b> | 0,26  | 0,16  | 0,15  | 0,16  | 1,90  | 1,35  | 1,14  | 1,12  | 0,20  | 0,19  | 0,20  | 0,35  |
| <b>45C</b> | 0,39  | 0,15  | 0,13  | 0,12  | 2,71  | 1,24  | 1,33  | 1,03  | 0,19  | 0,17  | 0,16  | 0,51  |
| <b>46C</b> | 0,18  | 0,13  | 0,40  | 0,32  | 2,27  | 3,24  | 1,08  | 1,37  | 0,45  | 0,62  | 0,17  | 0,27  |
| <b>47D</b> | 0,41  | 0,19  | 0,20  | 0,21  | 2,88  | 1,58  | 1,57  | 1,44  | 0,24  | 0,56  | 0,26  | 0,27  |
| <b>48D</b> | 0,22  | 0,19  | 0,44  | 0,16  | 1,85  | 1,44  | 2,78  | 1,24  | 0,20  | 0,54  | 0,24  | 0,30  |
| <b>49E</b> | 0,18  | 0,15  | 0,12  | 0,16  | 1,55  | 1,26  | 1,12  | 1,25  | 0,24  | 0,20  | 0,16  | 0,21  |
| <b>50E</b> | 0,12  | 0,15  | 0,16  | 0,16  | 1,28  | 1,36  | 1,39  | 1,32  | 0,20  | 0,21  | 0,19  | 0,16  |

### Příloha 3 – Tloušťka nátěru

#### Naměřené hodnoty tloušťky nátěru

| Vzorek | Aritmetický průměr [ $\mu\text{m}$ ] | Nejnižší hodnota [ $\mu\text{m}$ ] | Nejvyšší hodnota [ $\mu\text{m}$ ] | Směrodatná odchylka [ $\mu\text{m}$ ] | Koeficient variace [%] |
|--------|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|
| 1A     | 80,33                                | 72,4                               | 91,1                               | 5,27                                  | 6,6                    |
| 2A     | 82,24                                | 76,9                               | 92,0                               | 6,16                                  | 5,3                    |
| 3B     | 83,86                                | 91,5                               | 79,4                               | 4,23                                  | 5,0                    |
| 4B     | 85,11                                | 81,1                               | 88,7                               | 2,25                                  | 2,6                    |
| 5C     | 81,88                                | 77,5                               | 89,2                               | 3,40                                  | 4,2                    |
| 6C     | 80,93                                | 75,3                               | 87,3                               | 4,21                                  | 4,8                    |
| 7D     | 80,71                                | 72,6                               | 87,0                               | 4,52                                  | 5,6                    |
| 8D     | 79,54                                | 72,3                               | 85,5                               | 4,08                                  | 5,2                    |
| 9E     | 79,77                                | 68,9                               | 84,6                               | 5,46                                  | 6,9                    |
| 10E    | 78,58                                | 70,8                               | 80,7                               | 2,85                                  | 4,4                    |
| 11A    | 75,41                                | 68,9                               | 80,5                               | 3,52                                  | 4,7                    |
| 12A    | 78,52                                | 73,9                               | 82,2                               | 2,91                                  | 3,7                    |
| 13B    | 78,92                                | 69,4                               | 85,4                               | 4,90                                  | 6,3                    |
| 14B    | 77,79                                | 66,8                               | 87,1                               | 6,47                                  | 8,3                    |
| 15C    | 78,95                                | 73,0                               | 89,2                               | 4,67                                  | 5,2                    |
| 16C    | 77,64                                | 71,9                               | 83,1                               | 4,63                                  | 5,3                    |
| 17D    | 74,87                                | 68,7                               | 80,5                               | 4,01                                  | 5,4                    |
| 18D    | 73,22                                | 68,6                               | 77,8                               | 3,39                                  | 4,6                    |
| 19E    | 79,11                                | 76,6                               | 84,6                               | 3,05                                  | 3,7                    |
| 20E    | 79,80                                | 76,1                               | 87,7                               | 3,82                                  | 4,8                    |
| 21A    | 87,53                                | 72,2                               | 91,0                               | 8,58                                  | 8,8                    |
| 22A    | 86,29                                | 77,7                               | 91,9                               | 3,56                                  | 4,1                    |
| 23B    | 89,20                                | 80,1                               | 94,0                               | 4,02                                  | 4,5                    |
| 24B    | 83,76                                | 77,0                               | 93,3                               | 5,21                                  | 6,2                    |
| 25C    | 85,51                                | 69,9                               | 96,0                               | 7,99                                  | 8,7                    |
| 26C    | 86,96                                | 77,5                               | 94,6                               | 5,83                                  | 6,7                    |
| 27D    | 81,41                                | 76,2                               | 85,7                               | 3,10                                  | 3,8                    |
| 28D    | 81,88                                | 73,8                               | 86,7                               | 3,89                                  | 4,7                    |
| 29E    | 82,63                                | 89,0                               | 78,4                               | 3,58                                  | 4,3                    |
| 30E    | 83,85                                | 81,2                               | 90,8                               | 2,86                                  | 3,4                    |
| 31A    | 98,52                                | 87,5                               | 99,9                               | 4,53                                  | 4,6                    |
| 32A    | 93,04                                | 87,3                               | 99,5                               | 4,58                                  | 4,9                    |
| 33B    | 95,85                                | 92,2                               | 98,9                               | 2,21                                  | 2,3                    |
| 34B    | 90,39                                | 80,0                               | 99,8                               | 6,57                                  | 7,4                    |
| 35C    | 90,60                                | 85,2                               | 99,3                               | 4,58                                  | 5,1                    |
| 36C    | 94,56                                | 89,3                               | 99,7                               | 3,17                                  | 3,4                    |
| 37D    | 90,09                                | 86,4                               | 92,0                               | 1,63                                  | 2,0                    |
| 38D    | 86,89                                | 77,1                               | 97,3                               | 6,16                                  | 7,1                    |
| 39E    | 88,10                                | 78,8                               | 90,0                               | 3,63                                  | 4,4                    |
| 40E    | 87,37                                | 79,8                               | 92,1                               | 3,98                                  | 4,6                    |

|            |       |      |      |      |     |
|------------|-------|------|------|------|-----|
| <b>41A</b> | 78,77 | 73,0 | 87,8 | 5,09 | 6,5 |
| <b>42A</b> | 77,30 | 71,5 | 81,3 | 3,34 | 4,3 |
| <b>43B</b> | 73,87 | 67,9 | 85,8 | 6,08 | 8,2 |
| <b>44B</b> | 75,39 | 68,8 | 82,2 | 4,69 | 6,2 |
| <b>45C</b> | 77,53 | 70,9 | 86,0 | 4,20 | 5,3 |
| <b>46C</b> | 77,23 | 71,5 | 84,3 | 4,27 | 5,5 |
| <b>47D</b> | 73,21 | 65,1 | 76,6 | 3,65 | 5,0 |
| <b>48D</b> | 72,58 | 64,9 | 79,7 | 4,83 | 6,7 |
| <b>49E</b> | 75,26 | 65,9 | 80,9 | 4,49 | 5,9 |
| <b>50E</b> | 73,04 | 67,4 | 77,5 | 3,65 | 5,1 |

## Příloha 4 – Výsledky odtrhové zkoušky

### Výsledky odtrhové zkoušky

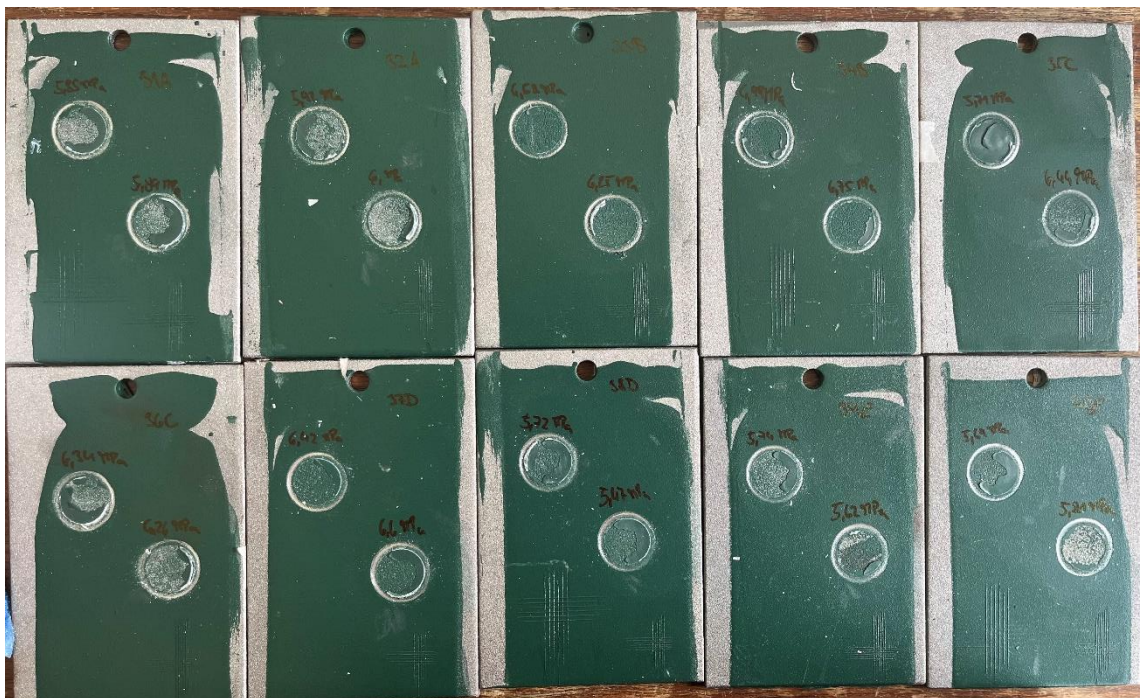
| Vzorek | Odtrhové napětí místo1 [MPa] | Typ lomu        | Odtrhové napětí místo2 [MPa] | Typ lomu        |
|--------|------------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------|
| 1A     | 6,42                         | B 90% Y/Z 10%   | 6,02                         | B 90% Y/Z 10%   |
| 2A     | 6,40                         | B 90% Y/Z 10%   | 6,45                         | B 100%          |
| 3B     | 7,05                         | B 80% Y/Z 20%   | 6,30                         | B 60% Y/Z 40%   |
| 4B     | 6,86                         | B 90% Y/Z 10%   | 6,68                         | B 60% Y/Z 40%   |
| 5C     | 6,44                         | B 80% Y/Z 20%   | 7,01                         | B 70% Y/Z 30%   |
| 6C     | 6,68                         | B 80% Y/Z 20%   | 6,26                         | B 80% Y/Z 20%   |
| 7D     | 6,31                         | B 60% Y/Z 40%   | 6,76                         | B 70% Y/Z 30%   |
| 8D     | 6,64                         | B 50% Y/Z 50%   | 6,89                         | B 60% Y/Z 40%   |
| 9E     | 6,49                         | B 70% Y/Z 30%   | 6,58                         | B 60% Y/Z 40%   |
| 10E    | 6,50                         | B 70% Y/Z 30%   | 6,43                         | B 70% Y/Z 30%   |
| 11A    | 6,78                         | B 90% Y/Z 10%   | 6,52                         | B 70% Y/Z 30%   |
| 12A    | 7,51                         | B 70% Y/Z 30%   | 6,17                         | B 60% Y/Z 40%   |
| 13B    | 6,79                         | B 80% Y/Z 20%   | 7,46                         | B 80% Y/Z 20%   |
| 14B    | 6,34                         | B 100%          | 6,25                         | B 70% Y/Z 30%   |
| 15C    | 5,86                         | B 60% Y/Z 40%   | 6,39                         | B 100%          |
| 16C    | 6,29                         | B 80% Y/Z 20%   | 7,03                         | B 100%          |
| 17D    | 6,62                         | B 90% Y/Z 10%   | 6,76                         | B 100%          |
| 18D    | 7,12                         | B 100%          | 7,11                         | B 100%          |
| 19E    | 5,76                         | B 100%          | 6,46                         | B 90% Y/Z 10%   |
| 20E    | 6,54                         | B 100%          | 6,22                         | B 100%          |
| 21A    | 6,73                         | B 50% Y/Z 50%   | 6,82                         | B 60% Y/Z 40%   |
| 22A    | 6,73                         | B 60% Y/Z 40%   | 6,90                         | B 60% Y/Z 40%   |
| 23B    | 7,99                         | B 100%          | 7,59                         | B 90% Y/Z 10%   |
| 24B    | 7,48                         | B 80% Y/Z 20%   | 7,58                         | B 90% Y/Z 10%   |
| 25C    | 7,04                         | B 50% Y/Z 50%   | 6,75                         | B 40% Y/Z 60%   |
| 26C    | 6,44                         | Y/Z 100%        | 6,33                         | B 80% Y/Z 20%   |
| 27D    | 6,26                         | B 20% Y/Z 80%   | 6,52                         | B 20% Y/Z 80%   |
| 28D    | 5,81                         | B 20% Y/Z 80%   | 6,98                         | B 20% Y/Z 80%   |
| 29E    | 6,80                         | Y/Z 100%        | 4,99                         | Y/Z 100%        |
| 30E    | 6,56                         | Y/Z 100%        | 6,76                         | Y/Z 100%        |
| 31A    | 5,85                         | A/B 80% Y/Z 20% | 5,89                         | A/B 80% Y/Z 20% |
| 32A    | 5,92                         | A/B 90% Y/Z 10% | 6,00                         | A/B 90% Y/Z 10% |
| 33B    | 6,58                         | B 100%          | 6,25                         | B 100%          |
| 34B    | 6,99                         | B 90% Y/Z 10%   | 6,75                         | B 100%          |
| 35C    | 5,71                         | Y/Z 100%        | 5,84                         | B 90% Y/Z 10%   |
| 36C    | 5,34                         | B 70% Y/Z 30%   | 5,04                         | B 90% Y/Z 10%   |
| 37D    | 6,42                         | B 80% Y/Z 20%   | 6,60                         | B 70% Y/Z 30%   |
| 38D    | 5,72                         | B 40% Y/Z 60%   | 5,47                         | B 50% Y/Z 50%   |
| 39E    | 5,74                         | B 80% Y/Z 20%   | 5,62                         | B 80% Y/Z 20%   |
| 40E    | 5,69                         | B 70% Y/Z 30%   | 5,81                         | B 80% Y/Z 20%   |

|            |      |               |      |               |
|------------|------|---------------|------|---------------|
| <b>41A</b> | 6,01 | A/B 90% B 10% | 6,60 | A/B 80% B 20% |
| <b>42A</b> | 6,03 | A/B 20% B 80% | 6,50 | A/B 60% B 40% |
| <b>43B</b> | 7,05 | B 90% Y/Z 10% | 7,96 | B 100%        |
| <b>44B</b> | 7,03 | B 90% Y/Z 10% | 6,59 | Y/Z 100%      |
| <b>45C</b> | 7,00 | B 60% Y/Z 40% | 6,89 | B 70% Y/Z 30% |
| <b>46C</b> | 6,64 | B 40% Y/Z 60% | 7,76 | B 70% Y/Z 30% |
| <b>47D</b> | 6,93 | B 60% Y/Z 40% | 6,82 | B 90% Y/Z 10% |
| <b>48D</b> | 6,91 | B 60% Y/Z 40% | 7,10 | B 100%        |
| <b>49E</b> | 6,26 | B 70% Y/Z 30% | 6,25 | B 30% Y/Z 70% |
| <b>50E</b> | 6,45 | B 70% Y/Z 30% | 6,38 | B 70% Y/Z 30% |





*Vzorky otryskané křemičitým pískem po zkouškách přilnavosti nátěru*



*Vzorky otryskané ocelovou drtí po zkouškách přilnavosti nátěru*





*Ručně leštěné vzorky po zkouškách přilnavosti nátěru*