

ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Předúpravy povrchu úzkých štěrbin ocelových konstrukcí**

**Autor:** Bc. Eva Michelle Sedláčková

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

PRAHA 2020

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že diplomovou práci „Předúpravy povrchu úzkých štěrbin ocelových konstrukcí“ jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce s použitím podkladů a informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu citované literatury na konci práce.

Dále prohlašuji, že 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

.....  
EVA M. SEDLÁČKOVÁ

## Poděkování

Chtěla bych poděkovat svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Janu Kudláčkovi, Ph.D. za vedení, odbornou pomoc, ochotu, připomínky a směr, kterým by se má práce měla ubírat.



# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení:	<b>Sedláčková</b>	Jméno: <b>Eva Michelle</b>	Osobní číslo: <b>457523</b>
Fakulta/ústav:	<b>Fakulta strojní</b>		
Zadávající katedra/ústav:	<b>Ústav strojírenské technologie</b>		
Studijní program:	<b>Strojní inženýrství</b>		
Studijní obor:	<b>Výrobní a materiálové inženýrství</b>		

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Předúpravy povrchu úzkých štěrbin ocelových konstrukcí**

Název diplomové práce anglicky:

**Pretreatment of slots surface of steel structures**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí
- 2) Rozbor problematiky předúprav povrchu
- 3) Účinnost mechanických předúprav povrchu do úzkých štěrbin
- 4) Technicko - ekonomické zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

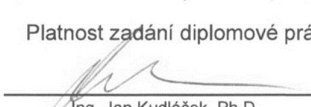
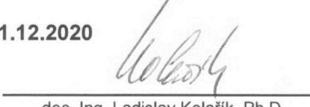
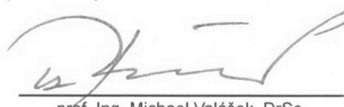
Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

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

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

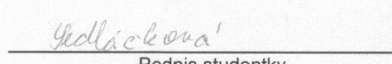
Datum zadání diplomové práce: **29.04.2020** Termín odevzdání diplomové práce: **31.07.2020**

Platnost zadání diplomové práce: **31.12.2020**

 Ing. Jan Kudláček, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce
  doc. Ing. Ladislav Kolářik, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry
  prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

10.6.2020 Datum převzetí zadání
  Podpis studentky

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  
**FAKULTA STROJNÍ**

<b>Název diplomové práce:</b>	Předúpravy povrchu úzkých štěrbin ocelových konstrukcí
<b>Autor diplomové práce:</b>	Bc. Eva Michelle Sedláčková
<b>Vedoucí diplomové práce:</b>	Ing. Jan Kudláček, Ph.D.
<b>Rozsah diplomové práce</b>	počet stran: 77 počet obrázků: 19 počet grafů: 7 počet tabulek: 27

**ANOTACE**

Tato diplomová práce se věnuje problematice ocelových konstrukcí, koroze, odstranění původní protikoroze ochrany z úzkých štěrbin a následnému hodnocení stavu povrchu. Experimentální část je zaměřena na testování vhodných způsobů mechanického čištění. Jedná se především o tryskání tlakovou vodou a abrazivní tryskání s využitím křemičitého písku a ocelového granulátu. V práci jsou jednotlivé technologie porovnány z 3 hledisek – hloubka tryskání, účinnost tryskání a drsnost povrchu (Ra, Rz).

Klíčová slova: protikoroze ochrana, tryskání, abrazivní tryskání, koroze, ocelové konstrukce, mechanické čištění.

**CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING**

**Title of the diploma thesis:** Pretreatment of slots surface of steel structures  
**Author:** Bc. Eva Michelle Sedláčková  
**Supervisor:** Ing. Jan Kudláček, Ph.D.  
**The extent of the thesis:** number of pages: 77  
number of pictures: 19  
number of graphs: 7  
number of tables: 27

**ANNOTATION**

This diploma thesis deals with the issue of steel structures, corrosion, removal of the original corrosion protection from narrow cracks and the subsequent evaluation of the surface condition. The experimental part is focused on testing suitable methods of mechanical cleaning. These are mainly blasting with pressurized water and abrasive blasting using silica sand and steel granulate. In this thesis are compared individual technologies from 3 points of view – blasting depth, blasting efficiency and surface roughness (Ra, Rz).

Keywords: corrosion protection, blasting, abrasive blasting, corrosion, steel structures, mechanical cleaning.

Obsah

<b>ÚVOD</b> .....	8
<b>1. Protikoroziční ochrana ocelových konstrukcí</b> .....	9
<b>1.1. Ocelové konstrukce</b> .....	9
<b>1.2. Koroze</b> .....	12
1.2.1. Činitelé a ochrana proti korozi .....	12
1.2.2. Koroziční zkoušky .....	14
1.2.3. Protikoroziční ochrana ocelových konstrukcí .....	14
<b>2. Způsoby čištění povrchu</b> .....	15
<b>2.1. Mechanické způsoby čištění povrchu</b> .....	15
2.1.1. Abrazivní tryskání .....	16
2.1.2. Tryskání tlakovou vodou.....	19
2.1.3. Broušení.....	21
2.1.4. Kartáčování.....	22
2.1.5. Ostatní .....	22
<b>2.2. Chemické způsoby čištění původní PKO</b> .....	23
<b>2.3. Ekologické zhodnocení odstranění PKO</b> .....	23
<b>3. Hodnocení stavu povrchu</b> .....	24
<b>3.1. Vady tryskání</b> .....	24
<b>3.2. Hodnocení stavu povrchu</b> .....	24
3.2.1. Vizuální kontrola .....	24
3.2.2. Kontrola drsnosti povrchu .....	25
3.2.3. Kontrola nečistot povrchu .....	26
<b>4. Experimentální část</b> .....	27
<b>4.1. Příprava experimentu</b> .....	27
4.1.1. Návrh zkušebního přípravku.....	27
4.1.2. Značení vzorků.....	27
4.1.3. Technologie .....	27
<b>4.2. Vyhodnocení experimentu</b> .....	28
4.2.1. Abrazivní tryskání pomocí ocelové drtě (hloubka tryskání, účinnost) .....	28
4.2.2. Abrazivní tryskání pomocí ocelové drtě (drsnost povrchu) .....	33
4.2.3. Abrazivní tryskání pomocí křemičitého písku (hloubka tryskání, účinnost).....	41
4.2.4. Abrazivní tryskání pomocí křemičitého písku (drsnost povrchu).....	46
4.2.5. Tryskání tlakovou vodou (hloubka tryskání, účinnost).....	53
4.2.6. Tryskání tlakovou vodou (drsnost povrchu).....	57

<b>4.3. Porovnání technologií</b> .....	64
<b>4.4. Technicko-ekonomické zhodnocení</b> .....	69
<b>5. Závěr</b> .....	70
<b>6. Použitá literatura</b> .....	71
<b>7. Seznam obrázků</b> .....	74
<b>8. Seznam tabulek</b> .....	75
<b>9. Seznam grafů</b> .....	76
<b>10. Použité zkratky</b> .....	77

## ÚVOD

Ocelové konstrukce lze nalézt všude kolem nás, jedná se například o mosty, stožáry vysokého napětí, zábradlí a podobně. Tyto stavby podléhají vlivům okolního prostředí – korozi. Z tohoto důvodu je nutná vhodná protikorozní ochrana (PKO), která při dlouhodobém vystavení dané konstrukce vlivům korozně agresivního prostředí je nutná obnovit. Odhadovaná životnost protikorozní ochrany je kolem 15-30 let. Doba životnosti je ovlivněna několika parametry, ať se už jedná o vliv klimatických podmínek, zvolenou technologii aplikace, vlastnosti zvoleného ochranného nátěrového systému, počet vrstev nebo správnost provedení předúpravy povrchu.

Po uplynutí doby životnosti je nezbytné obnovit protikorozní ochranu. Cílem diplomové práce je zajištění vhodné předúpravy obtížně dostupných míst (štěrbín) ocelové konstrukce. V této práci bylo porovnáno několik způsobů mechanického čištění (především tryskání tlakovou vodou a abrazivní tryskání).

Velmi důležitým aspektem je návrh konstrukce. Musí mít správnou stabilitu, pevnost, životnost, vzhled a obecně splňovat nízké náklady. Dále je nutné, aby konstrukce měla vhodný tvar, který bude lépe odolávat koroznímu prostředí. Konstrukce musí mít vhodnou přístupnost pro aplikaci protikorozní ochrany, její inspekci a údržbě. Při obnově původní protikorozní ochrany je potřebné dodržet jisté ekologické zásady. Zabránit prachu a chemikáliím dostat se do ovzduší, vody a půdy, zabránit velkému hluku a ohni.

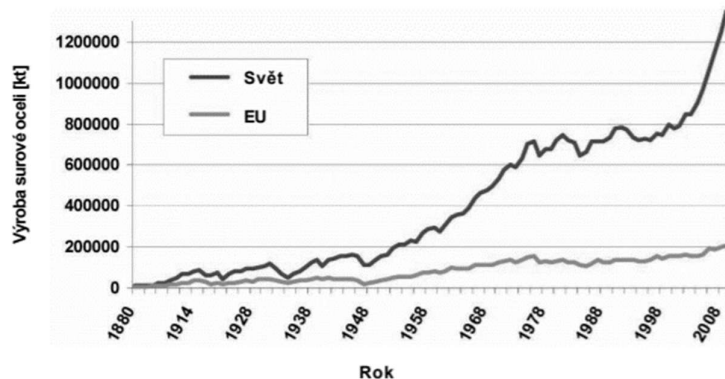


## 1. Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí

### 1.1. Ocelové konstrukce

Výroba oceli v ČR je velmi rozsáhlá. Statistiky hovoří zhruba o 6 mil. tun/rok, avšak pouze 15 % se uplatní ve stavebnictví (zhruba 10 % na výztuže do betonu a 5 % na ocelové konstrukce). Více jak polovina produkce se spotřebuje na rozvinuté strojírenství (stroje, automobily atd.) a zbylá část se vyváží do zahraničí. Údaje ECCS (Evropské sdružení výrobců ocelových konstrukcí) hovoří pak o jednotlivých druzích konstrukcí. Zhruba 40 % konstrukcí se v Evropě uplatní v průmyslových stavbách, 30 % v nebytových stavbách, 5 % v mostech a zbylých 25 % jsou nezařaditelné konstrukce. Tyto čísla jsou však v ČR jiná, spotřeba v průmyslu je mnohem větší, a naopak u nebytových objektů menší [1].

Na grafu 1 lze vidět výrobu surové oceli v Evropě a její porovnání se světem. Z grafu je patrný velký nárůst ve světové výrobě a snížení evropského podílu na celkové světové výrobě oceli [2].



Graf 1 - Výroba surové oceli v Evropě a ve světě [2]

Dále je v tabulce 1 porovnána výroba surového železa a oceli v ČR v letech 2007 až 2015. V tabulce 2 je popsán vývoj produkce surové oceli ve světě. Hodnoty jsou uvedeny v tisících tunách [3].

Tabulka 1 - Přehled vývoje objemů výroby sortimentů hutní produkce v období 2007 až 2015, hodnoty v [tis.t] [3]

	2007	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Surové železo	5 287,2	3 482,6	3 986,9	4 136,9	3 935,2	4 039,5	4 152,4	4 031,1
Surová ocel	7 058,9	4 593,6	5 179,6	5 586,3	5 088,1	5 171,3	5 360,0	5 261,6

Tabulka 2 - Vývoj produkce surové oceli ve světě, hodnoty v [tis.t] [3]

	2007	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Země EU	210260	139436	172911	177791	168589	166356	169301	166107
Čína	489712	577070	638743	701968	731040	822000	822750	803825
Severní Amerika	132618	83772	111562	118675	121586	118978	121093	110948

Ocelové konstrukce mají jisté výhody oproti masivním stavbám (stavby z betonu či zdiva). Ocel je nejkvalitnější stavební materiál a má vysokou pevnost. Pomocí oceli lze také překonat velká rozpětí a výšky – sportovní haly, mosty, stožáry atd. Výroba je již automatizována a je tedy zajištěna vysoká kvalita, produktivita a rychlá montáž konstrukcí. Naopak mezi nevýhody ocelových konstrukcí patří nutnost chránit prvky proti korozi nebo požáru (finanční náročnost) [1].

Hlediska výběru materiálu pro mostní konstrukce [4]:

- a. druh a účel mostu (u železničního mostu je nutná ocel s vyšší houževnatostí než u obyčejné lávky)
- b. velikost (rozpětí) mostu
- c. vlastnosti dané oceli vs. cena
- d. tloušťka materiálu
- e. prostředí a jeho vliv na materiál
- f. ekonomika

Mezi nejvyžívanější oceli patří oceli obvyklých pevností (S235 a S355). V dnešní době se spíše využívá ocel S355 oproti levnější S235 z důvodu snížení hmotnosti konstrukcí, a to vede k snížení nákladů na spodní stavbu. Dále se využívají oceli s vysokou pevností, které významně zmenšují dimenze konstrukčních prvků, což vede ke snížení hmotnosti konstrukce. Tyto materiály se převážně využívají tam, kde nezáleží na modulu pružnosti (u tažených prutů) [4,5].

Další z možností je kombinace materiálů na konstrukci. Existují dva základní způsoby. První způsob je využití různých materiálů na různé části dle velikosti a způsobu namáhání, druhý způsob kombinuje materiál dle průřezu [4].

Opět se také vrací využívání patinujících ocelí, jejichž hlavní využití je u aplikací vystavených atmosférické korozi bez protikorozi ochrany. Nejčastěji se jedná o venkovní konstrukce a zařízení – konstrukcí mostů (jedná se především o silniční a železniční mosty, první most z patinující oceli byl postaven v Oklahomě), stožárů (například pro vedení elektřiny, pro osvětlení nebo radiokomunikační vedení), průmyslových staveb a v architektuře [6].

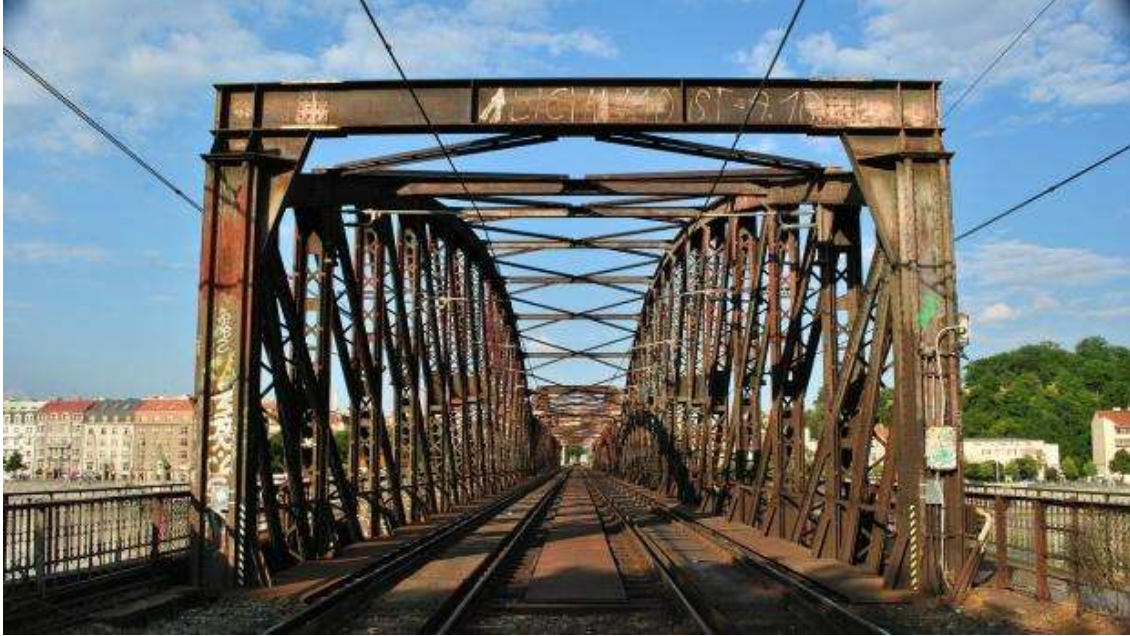
Existuje několik typů mostních ocelových konstrukcí, které se dají rozdělit několika způsoby. Jedno z dělení je dle hlavní nosné konstrukce [1]:

- a. trémové (příhradové nebo plnostěnné) mosty
- b. rámové (vzpěradlové) mosty
- c. obloukové mosty
- d. závěsné mosty
- e. visuté mosty

Trémové mosty jsou nejčastější, největšího rozpětí lze dosáhnout visutými mosty [1].

Další způsoby dělení jsou pak například dle doby trvání (trvalé, dočasné a rozebíratelné), dle funkce (pevné, pohyblivé a plovoucí), dle geometrie (kolmé nebo šikmé, přímé nebo v oblouku) atd [1].

Mezi největší trémové plnostěnné mosty patří například most Costa e Silva v Brazílii, Neckartalbrücke v Německu a most přes Sávu v Bělehradě. Příhradové trémové mosty se nejčastěji uplatňují na železniční mosty (od rozpětí 40 m a výše). K příhradovým konstrukcím patří například Vyšehradský železniční most, který byl postaven roku 1872. Tento most byl využit pro experimentální ověření různých metod odstranění původní PKO [1].



Obrázek 1 - Vyšehradský železniční most [7]



Obrázek 2 - Typický detail – neprůchozí štěrbina v diagonále s těžkým přístupem (Vyšehradský most) [8]

Koroze ocelových konstrukcí je problémem po celém světě. Spojené státy ohlašovaly v roce 1995, že až 47 % z jejich silničních mostů má nedostatečnou strukturu a je nutná jejich oprava. Oprava mezistátních dálničních mostů by mohla stát až 20 miliard dolarů. Tyto hodnoty se neustále mění v závislosti, jak se daný stát postaví k tomuto problému [9].

## 1.2. Koroze

### 1.2.1. Činitelé a ochrana proti korozi

Jedná se o dlouhodobý, samovolný proces narušení materiálu vlivem reakce (chemické nebo elektrochemické) s okolím. Existuje několik způsobů dělení koroze [10,11]:

dle vnitřního mechanismu - koroze chemická,  
- elektrochemická.

dle korozního prostředí - atmosférická,  
- v kapalinách,  
- v plynech,  
- v betonu,  
- půdní.

dle korozního napadení - rovnoměrná  
- nerovnoměrná - bodová, důlková, nitková, štěrbinová,  
- transkrystalická,  
- mezikrystalová.

Na mostních příhradách se nejčastěji vyskytuje koroze atmosférická rovnoměrná a nerovnoměrná (bodová, důlková a štěrbinová). Některé mostní konstrukce mohou být také ovlivněny korozi v kapalinách [10].

Korozní odolnost konstrukce je dána několika parametry. Materiálem, tepelným zpracováním (dále jen TZ) nebo například druhem namáhání konstrukce. Využití vhodného chemického složení materiálu a docílení rovnoměrného povrchu pomocí výroby a TZ je velmi důležité. Konstrukce musí být vhodně řešena, například není vhodné, aby nastávaly koncentrované shluky napětí v určitých místech. Správnost konstrukčního řešení – zaoblené rohy, jednoduchost. Korozní odolnost lze zvýšit dalšími způsoby – v průběhu výroby legováním, nebo různými povlaky, laky a jinými povrchovými úpravami. Pro vytvoření vhodné protikorozní ochrany je nutné dodržovat daný technologický postup. Velmi důležitou částí technologického postupu je předúprava povrchu – mechanická a chemická. Dále je možné aplikovat v některých případech předúpravu povrchu např. fosfátování pro zvýšení adheze následné nátěrové hmoty [10,12].

Pro lepší dodržení kvality protikorozní ochrany existuje několik norem, například norma ČSN EN ISO 12944 – *Nátěrové hmoty – Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy* a norma EN ISO 9223 – *Koroze kovů a slitin – Korozní agresivita atmosféry*, která rozděluje korozní agresivitu atmosféry na 6 stupňů. Existují také různé předpisy, které čerpají z těchto norem. Mezi tyto předpisy patří například SŽDC s5/4 – *Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí*, TKP 19 B, TKP 19 C – *Protikorozní ochrana ocelových mostů a konstrukcí, kapitola 19 část B a C* [13].

Tabulka 3 - Stupně korozní agresivity atmosféry [13]

Stupeň	Korozní agresivita
C1	Velmi nízká
C2	Nízká
C3	Střední
C4	Vysoká
C5	Velmi vysoká
CX	Extrémní

Velmi často se pro znázornění korozních úbytků a úrovně znečištění SO<sub>2</sub> využívají takzvané korozní mapy. Pokud porovnáme korozní mapu z roku 1990 a 2010, je viditelné, že se hodnoty zvyšují (například v Ústeckém kraji se hodnoty zvýšily z cca 30 μm na 32-46 μm) [13,14].

Korozní agresivita prostředí se stanovuje pomocí měření rychlosti koroze na standartních vzorcích nebo pomocí odhadu na základě informací o prostředí. Oba tyto typy hodnocení sebou nesou jisté nejistoty a omezení. Hodnoty rychlosti koroze pro standartní kovy (uhlíková ocel, zinek, měď a hliník) lze najít v normě ČSN EN ISO 9223 (tabulka 4). Roční expozice by měla začít na jaře nebo podzimu [13].

Tabulka 4 - Rychlosti koroze po prvním roce expozice pro jednotlivé stupně korozní agresivity [13]

Stupeň	Uhlíková ocel [μm/a]	Zinek [μm/a]
C1	$r_{corr} \leq 1,3$	$r_{corr} \leq 0,1$
C2	$1,3 \leq r_{corr} \leq 25$	$0,1 \leq r_{corr} \leq 0,7$
C3	$25 \leq r_{corr} \leq 50$	$0,7 \leq r_{corr} \leq 2,1$
C4	$50 \leq r_{corr} \leq 80$	$2,1 \leq r_{corr} \leq 4,2$
C5	$80 \leq r_{corr} \leq 200$	$4,2 \leq r_{corr} \leq 8,4$
CX	$200 \leq r_{corr} \leq 700$	$8,4 \leq r_{corr} \leq 25$

Normativní odhad korozní agresivity je na základě výpočtu korozních úbytků v prvním roce expozice. Jedná se o expozici na volné atmosféře jako funkci suché depozice SO<sub>2</sub>, chloridů, teploty a relativní vlhkosti. Rovnice jsou opět vypsány v normě ČSN EN ISO 9223 [13].

Úroveň nejistot je pro metodu stanovení zhruba ±2% pro uhlíkovou ocel a ±5% pro zinek. Pro metodu odhadu jsou tyto nejistoty mnohem větší. Pro oba materiály je tato nejistota –33% až + 50% [13].

### 1.2.2. Korozní zkoušky

Korozní zkoušky lze dělit na laboratorní nebo provozní zkoušky. Zkoušky prováděné v laboratořích jsou využívány pro vědecko-výzkumné účely. Vzorky bývají malých objemů a je možnost celou zkoušku urychlit ve speciálních zařízeních (tzv. umělé atmosféry). Mezi tyto zařízení patří například ČSN EN ISO 9227 – *Korozní zkoušky v umělých atmosférách – Zkoušky solnou mlhou* nebo ČSN EN ISO 6270 – *Nátěrové hmoty – Stanovení odolnosti proti vlhkosti: Kondenzace (expozice v komoře se zásobníkem ohřáté vody)*.

„Norma ČSN EN ISO 9227 stanovuje zařízení, chemikálie a postup pro zkoušky neutrální solnou mlhou (NSS), okyselenou solnou mlhou (AASS) a okyselenou solnou mlhou s chloridem měďnatým (CASS), kterými se posuzuje korozní odolnost kovových materiálů jak s trvalou nebo dočasnou protikorozní ochranou, tak i bez ní. Norma také popisuje metodu používanou k hodnocení korozní agresivity prostředí ve zkušební komoře.“ [15]

„ČSN EN ISO 6270 popisuje obecné podmínky a postupy, které je potřeba zachovat pro zajištění reprodukovatelných výsledků zkoušek prováděných v různých laboratořích, jestliže se zkouší zkušební vzorky s povlakem při konstantní nebo střídavé kondenzaci vody.“ [16]

Provozní zkoušky jsou dlouhodobé a nedochází k urychlení. Lze je provádět na vzorcích, ale z velké části se provádí na samotném zařízení.

Tyto korozní zkoušky jsou využívány k vhodnému výběru materiálu a PKO, pro kontrolu korozní odolnosti, výzkumu a vývoje a pro stanovení teoretické doby do porušení PKO. Dochází při nich k hodnocení vzhledových, rozměrových, hmotnostních a mechanických změn.

### 1.2.3. Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí

Normy předepisují protikorozní ochranu ocelových konstrukcí a z těchto norem pak dále čerpají předpisy. Předpis SŽDC S5/4 se zabývá protikorozní ochranou ocelových konstrukcí na tratích železničních drah. Tento předpis se nezabývá protikorozní ochranou povrchů ponořených do vody a uložených v půdě [17].

Dle předpisu se pro protikorozní ochranu konstrukcí využívají nátěrové systémy, kovové povlaky a kombinované povlaky. Daný ochranný povlak se volí v závislosti na daných požadavcích konstrukce [17].

Rozlišujeme několik druhů protikorozní ochrany [17]:

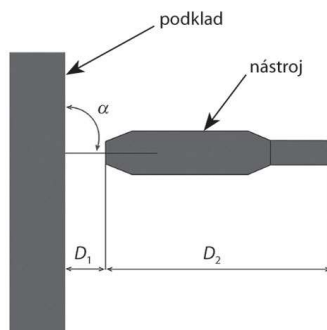
- novou protikorozní ochranu,
- údržbu protikorozní ochrany.
  - obnovu protikorozní ochrany,
  - celkovou opravu PKO,
  - místní opravu PKO,
  - provozní čištění.

Povrch určený k provedení protikorozního povlaku musí splňovat několik požadavků. Musí být zbaven okují, korozních zplodin, prachu nebo jiných nečistot. Nesmí být orosený nebo pokrytý námrazou, nesmí být zamaštěný a musí být zbaven výstupků a hrotů. Dále je nutné, aby vyhovoval předepsaný stupeň přípravy povrchu a stupeň drsnosti [17].

## 2. Způsoby čištění povrchu

Existuje několik způsobů, jak očistit povrch. Je však nutné vzít v potaz přístupnost k dané konstrukci, velikost konstrukce a ochranu životního prostředí. Čištění se provádí mechanickou cestou. Mezi mechanické způsoby očištění patří například abrazivní otryskání, broušení nebo kartáčování. Do chemického očištění lze pak zařadit například kyselé moření. Chemické očištění se na takovéto konstrukce nevyužívá, především z důvodu nepraktického využití těchto metod. Je však možné využít chemické odstraňovače barev, které mohou ulehčit technologii mechanického čištění [18].

Na obrázku 3 lze vidět schéma čištění povrchu dle normy ČSN EN ISO 12944-3. V následující tabulce 5 jsou zapsány zakótované rozměry pro jednotlivé technologie očištění. Vhodnost výběru technologie je závislá na těchto rozměrech z důvodu dostupnosti [18].



Obrázek 3 - Schéma čištění – norma ČSN EN ISO 12944-3 [18]

Tabulka 5 - Druhy čištění – norma ČSN EN ISO 12944-3 [18]

Název technologie	D <sub>1</sub> [mm]	D <sub>2</sub> [mm]	α [°]
abrazivní otryskání	200-400	800	60-90
broušení	0	100-150	-
kartáčování	0	100	0-30

### 2.1. Mechanické způsoby čištění povrchu

Mechanické způsoby čištění mají za cíl odstranit nečistoty na povrchu dané konstrukce. Lze sem tedy zařadit například tryskání, broušení a kartáčování.

Pro hodnocení povrchu existují stupně zarezavění, které jsou uvedeny v normě ČSN EN ISO 8501-1. V normě jsou specifikovány 4 stupně zarezavění a jsou definovány slovním popisem [19]:

- A** Povrch oceli je z velké části pokryt přilnavou vrstvou okují, ale téměř bez rzi.
- B** Na povrchu oceli se začala tvořit rez a z povrchu se začaly odlupovat okuje.
- C** Povrch oceli, ze kterého odkorodovaly okuje nebo ze kterého je lze oškrábat, a který vykazuje mírnou korozi viditelnou prostým okem.
- D** Povrch oceli, ze kterého odkorodovaly okuje, a který vykazuje celkovou rovnoměrnou důlkovou korozi (pitting) viditelnou prostým okem.

2.1.1. Abrazivní tryskání

Tryskání lze rozdělit na 2 základní způsoby – pneumatické, kde se využívá tryska a mechanické, kde se využívá metacího kola. Pneumatické tryskání má vysokou variabilitu, lze s ním tryskat obtížně dostupná místa, konstrukce v terénu nebo i konstrukce velkých rozměrů [18].

Tato metoda má různé provedení trysek a strojů. Hlavní dělení je dle konstrukce na tlakové a injektorové. V obou případech se využívá stlačeného vzduchu kolem 0,4 – 0,8 MPa a trysek. Pro každý průměr trysky a využitého tlaku lze předběžně určit, jaká je spotřeba tlakového vzduchu. Tuto spotřebu hodnotíme v  $m^3 \cdot min^{-1}$ . Největší spotřeba nastává s vysokým tlakem a velkým průměrem trysky. Jedná se řádově kolem  $4,6 m^3 \cdot min^{-1}$ . Tyto trysky jsou velmi náchylné na opotřebení a není vhodné je zatěžovat na 100 %. Jejich životnost se měří v řádech hodin a je závislá na materiálu trysky a použitého abraziva. Jejich průměr se pohybuje kolem 6,5 – 13 mm [18,20].

Tabulka 6 - Tlakové a injektorový způsob tryskání – schéma [21]

	<b>Tlakový</b>	<b>Injektorový</b>
<b>Schéma</b>		
<b>Princip</b>	Tryskací prostředek se smíchává se stlačeným vzduchem. Využívá se regulačního ventilu, přes který se směs dostane do hadice ukončené tryskou.	Prostředek je míchán v směšovací komoře. Směs se urychluje a vyvolává podtlak, který směs vede hadicí do trysky. Volbou trysky a hadice lze pozměnit parametry tryskání.

Dalším druhem tryskání je pak mikro abrazivní otryskávání (MAB). Jedná se o přesnou metodu, která využívá jemných a tvrdých brusiv. Tento způsob tryskání je založen na konstantním dávkování abraziva a maskování. Součástí je zcela vystavena erozivnímu působení částic. Z toho důvodu se využívá maskování, chránící místa, která otryskat nechceme. Tato metoda využívá stlačeného vzduchu o tlaku 0,2 až 0,9 MPa a keramických částic o průměru 10 až 100  $\mu m$  [22].

Existují různé druhy abraziv neboli tryskacích prostředků. Abrazivo je voleno dle jeho materiálového a chemického složení, tvrdosti, tvaru nebo velikosti. Proto je nutná vhodná volba ke konkrétní konstrukci (materiálu). Výběr abraziva výrazně ovlivňuje životnost tryskacího zařízení. V tabulce 7 jsou uvedené různé druhy abraziv a jejich využití [20].



Tabulka 7 - Přehled druhů abraziv a jejich využití [20]

<b>Abrazivo</b>	<b>Využití</b>
syntetická korund	ocel, barevné kovy, dřevo, matovací skla
ocelový granulát	mechanické zpevňování, odstranění okují
granát	barevné kovy, matovací skla, dřevo, kámen
ocelová drť	ocele, litiny, odstranění starých barev, rzi
keramické/skleněné kuličky	plastikářský průmysl, pro saténování
plastový granulát	pro čištění a odkarbonování





V normě ČSN EN ISO 8501-1 jsou také popsány použité metody čištění. Číslo, které následuje udává stupeň očištění od okují, rzi a předchozích nátěrů. Příprava povrchu otryskáním se označuje písmeny „Sa“, ruční a mechanizované čištění se označuje „St“ a čištění plamenem se označuje „FI“ [19].

Ruční a mechanizované čištění (St) se dělí do 2 kategorií – důkladné (St 2) a velmi důkladné ruční a mechanizované čištění (St 3). Jedná se o oškrábání, kartáčování drátěným kartáčem, obrušování nebo strojní kartáčování. Čištění plamenem (FI) má pouze 1 kategorii, značení je stále FI [19].

Příklad značení povrchu.: C Sa 3 (povrch na sobě měl mírnou viditelnou korozi, povrch byl očištěn tryskáním a nevykazuje žádné železné nebo neželezné nečistoty) [19].

Pro přípravu povrchu otryskáním (Sa) je povrch hodnocen vizuálně v porovnání se standardizovanou fotografií. Stupně se dělí do následujících 4 kategorií [19]:

Tabulka 8 - Příprava povrchu otryskáním (Sa) [19]

<p>Sa 1 (lehké otryskání)</p>	<p>Z povrchu byly odstraněny neželezné části (olej, mazivo, nečistoty a uvolněný lak). Odstraní se uvolněné železné vrstvy z výrobního procesu, např. okuje a rez. Zbylé okuje, rez a barva jsou přilnavé a povrch lze dostatečně zdrsnit k dosažení dobré přilnavosti následující vrstvy.</p>	
<p>Sa 2 (důkladné otryskání)</p>	<p>Proces Sa 1 a dodatečné procesy: Rez/okuje nebo přilnavé zbytky nátěrů jsou téměř odstraněny. 70 % povrchu by mělo být zbaveno viditelných nečistot, v drážkách mohou zůstat drobné nečistoty</p>	
<p>Sa 2 ½ (velmi důkladné otryskání)</p>	<p>Proces Sa 2 a dodatečné procesy: Nespecifikované vrstvy mohou obsahovat pouze mírné stopy a odstíny. 95 % povrchu by nemělo obsahovat viditelné nečistoty.</p>	
<p>Sa 3 (vizuálně čistý povrch)</p>	<p>Proces Sa 2½ a dodatečné procesy: Povrch musí vykazovat jednotný kovový vzhled. 100 % povrchu nesmí obsahovat žádné železné a neželezné nečistoty.</p>	

Zjištěný stupeň drsnosti je popisován slovně: jemnější než jemný, jemný, střední, hrubý, hrubší než hrubý a hodnotí se pomocí ISO komparátorů drsnosti. Není-li stanoveno jinak, pro danou PKO je vyhovující stupeň střední drsnost. Drsnost se doporučuje v rozmezí  $Ra = 6$  až  $8 \mu m$  ( $Rz = 24$  až  $48 \mu m$ ) pro tloušťky  $100 \mu m$  a  $Ra = 10$  až  $12$  ( $Rz = 60$  až  $72 \mu m$ ) pro tloušťky vyšší [6].

Pro hodnocení přípravy povrchu tryskání je nutné dosáhnout minimálně Sa 2 ½ (pro nátěrové povlaky) a Sa 3 (pro kovové povlaky). Se souhlasem lze využít ruční čištění, které povoluje stupeň přípravy St 3 (výjimečně St 2) [6].

Na obrázku 4 je ukázka tryskání pomocí křemičitého písku na Vyšehradském mostě. Pro tryskání bylo využito písku o velikosti zrn 0,8 až 1,2 mm, tento tryskáčský prostředek se používá do tlaku 0,3 MPa [8].



Obrázek 4 - Ukázka tryskání pomocí křemičitého písku (Vyšehradský most) [8]

### 2.1.2. Tryskání tlakovou vodou

Jedná se o mokré tryskání, kde se využívá stlačeného vzduchu a vody. V závislosti na daných vlastnostech pracovního povrchu může být využito abrazivních částic (nejčastější metodou je voda nebo voda s pískem) [23,24].

Jednou z mnoha výhod je, že zde nedochází k uvíznutí částic abraziva, a tedy k znečištění, protože voda povrch očistí. Další výhodou je snížení možného poškození podkladového kovu, které může nastat při běžném abrazivním tryskání. Z tohoto důvodu byly v praxi zkoušeny různé druhy abraziv – docházelo k poškození podkladového kovu nebo k zanechání olejových filmů, který zhoršoval adhezi povlaků. Stejně jako u abrazivního tryskání je nutné vybrat vhodné abrazivní materiály pro danou aplikaci. Při mokřém tryskání se využívá přibližně 10 až 35 MPa tlaku vody a 0,4 MPa tlaku vzduchu [23,24]

V uzavřeném prostředí je možné využít recyklaci celé metody. Proud vody je filtrován a vede k vyčištění vodního systému. Je zde používáno síly podtlaku, který táhne povrchové nečistoty, abrazivní částice a vodu do sběrné nádrže. Zde dochází k filtraci – abrazivo a povrchové nečistoty jsou pak zanechány v regenerační nádrži. Voda a vzduch se vrací zpět do nádrže [25].

Pro vysokotlaké tryskání vodou jsou bližší informace o povrchu popsány v normě ČSN EN ISO 8501 – 4. Jedná se o klasifikace pomocí 3 stupňů (Tabulka 9). Dosažení vyššího stupně čistoty by vyžadovalo neúměrné navýšení času. Dále jsou zde popsány stupně bleskové koroze (koroze, která vzniká po otryskání vodou), které jsou definovány 3 stupni (Tabulka 10) [26].

Tabulka 9 - Popis vzhledu povrchu po očištění [26]

<p>Wa 1 (lehké otryskání paprskem o vysokém tlaku)</p>	<p>Povrch bez viditelných stop oleje a mastnoty, nepřilnavých nebo poškozených nátěrů, nepřilnavé rzi a ostatních cizích látek. Všechny zbytky znečištění musí být rozptýleny náhodně a pevně přilnavé.</p>
<p>Wa 2 (důkladné otryskání paprskem o vysokém tlaku)</p>	<p>Wa 1 + mohou obsahovat pevně přilnavé povlaky, pevně přilnavé cizí látky a stíny po dřívě se vyskytující rzi</p>
<p>Wa 2½ (velmi důkladné otryskání paprskem o vysokém tlaku)</p>	<p>Povrch bez všech viditelných stop koroze, oleje, mastnot, nečistot, předchozích nátěrů, a kromě lehkých stop, bez všech cizích látek.</p>

Tabulka 10 - Popis vzhledu povrchu tří stupňů bleskové koroze [26]

<p>L (lehký stupeň bleskové koroze)</p>	<p>Malé množství žlutohnědé rzi, přes kterou je možné vidět podklad. Rozložena rovnoměrně nebo se může vyskytovat ve formě skvrn, ale bude přilnavá a těžko odstranitelná jemným otíráním tkaninou.</p>
<p>M (střední stupeň bleskové koroze)</p>	<p>Na povrchu se vyskytuje vrstva žlutohnědé rzi, která zakryje původní ocelový povrch. Rozložena rovnoměrně nebo se může vyskytovat ve formě skvrn, ale bude dobře přilnavá a bude lehce ulpívat na tkanině.</p>
<p>H (vysoký stupeň bleskové koroze)</p>	<p>Na povrchu se vyskytuje vrstva žlutohnědé rzi, která zakryje původní ocelový povrch a je nepřilnavá. Rozložena rovnoměrně nebo se může vyskytovat ve formě skvrn a bude snadno ulpívat na tkanině.</p>

Na obrázku 5 lze vidět ukázkou rotační trysky pro tryskání vodním paprskem (vlevo) a demoliční trysku s vodním paprskem o síle až 2500 bar (vpravo). Obě tyto trysky byly využity na experimentální ověření metod tryskání a odstranění koroze na Vyšehradském mostě [8].

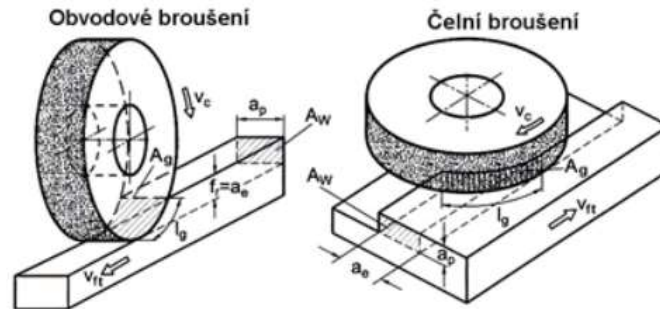


Obrázek 5 - Vlevo: Ukázkou rotační trysky pro tryskání vodním paprskem, vpravo: ukázkou demoliční trysky s vodním paprskem (Vyšehradský most) [8]

## 2.1.3. Broušení

Jedná se o třískové obrábění, kdy je nástroj vybaven brusivem. Cílem broušení je dosažení požadované drsnosti a odstranění nečistot na povrchu dané součásti. Broušení se skládá z několika kroků. První krok má největší úběr a dochází k odstranění základních nerovností a vad povrchu. Je nutná správná volba zrnitosti, s každým krokem se vybírá nástroj s nižší zrnitostí. V posledním kroku je nutná volba takového nástroje, který dosáhne předepsané drsnosti. Náklady na tuto metodu rostou s požadovanou drsností povrchu [27].

Při broušení se využívá dvou základních principů – rovinné broušení čelem nebo obvodem kotouče. Též lze brousit jak venkovní, tak vnitřní průměry a plochy [27,28].



Obrázek 6 - Obvodové a čelní broušení [28]

Broušení lze také rozdělit na ruční, poloautomatizované a automatizované. Mezi ruční broušení lze zařadit obyčejný brusný papír, poloautomatizované broušení jsou například přímé nebo úhlové brusky a jako poslední automatizované jsou stolní brusky. Přímé brusky mají různé vyměnitelné nástavce (různých tvarů, velikostí a drsností). Tyto nástavce lze zakoupit jednotlivě nebo v sadách různých počtů. Naopak úhlové brusky využívají různých druhů kotoučů, které byly popsány výše [27,29].

Dle dané součásti lze využít několika druhů brusných kotoučů. Kotouč se skládá ze zrn brusiva a pojiva, který spojuje těleso do vhodného tvaru, tvrdosti a struktury. V závislosti na těchto vlastnostech je nutný vhodný výběr kotouče. Jakožto brusivo se využívá umělého korundu (vhodný pro broušení ocelí), nebo karbidu křemíku (litiny, měď, hliník). Zrnitost brusiva je označována dle normy ČSN 22 4010 (ČSN 22 4015 se pak zaměřuje na diamantové prášky). Tvrdost kotouče se v základu rozděluje na měkký a tvrdý. Tvrdý kotouč se využívá na měkké materiály a měkký kotouč pak na tvrdé materiály. Existují různé kategorie, které se označují dle písmen abecedy [28].

#### 2.1.4. Kartáčování

Kartáčování se využívá pro odstranění hrubých nečistot, starých nátěrů a rzi. Pro tento mechanický způsob se využívá kartáčů různých velikostí a provedení drátů. Tyto dráty mohou být rovné nebo vlnité. Dráty jsou též vyráběny z různých materiálů – mosaz, bronz, umělá vlákna atd. Lze využít brusných pastí, které mohou zlepšit očištění původního povlaku a konečnou drsnost povrchu. Existují ruční (obrázek 7a) a elektrické kartáče (obrázek 7b) [27].



Obrázek 7 - Kartáčování a) ruční b) elektrické [30]

#### 2.1.5. Ostatní

Pro odstranění většího množství koroze lze využít i dalších mechanických metod. Tyto metody neodstraní nečistotu úplně, jedná se spíše o předúpravu před využitím konečné technologie, která vytvoří čistý povrch pro nanesení nové PKO [27].

Lze sem například zařadit pily, ať se jedná o obyčejné ruční pilky nebo elektrické (mečové neboli ocasky s různými pilovými listy). Výhodou těchto pil je možnost zvolit akumulátorovou verzi, kde není zapotřebí elektrického proudu. Další výhodou jsou pak vyměnitelné pilové listy, které dovolují širší využití v praxi [31].



Obrázek 8 - a) Elektronická pila ocaska b) ruční pila [31]

S nutností opravovat a zachraňovat staré ocelové konstrukce je možnost vytvoření nových technologií, které by byly uzpůsobeny danému problému. Ať se jedná o vylepšení již stávající technologie nebo vytvoření nové. Možnost vytvoření speciálních brusných kotoučů, nástavců, upravených vrtáků, které by fungovaly podobně jako brusná pila atd [31].

Jak lze vidět na obrázku 9 i tyto metody byly využity a vyzkoušeny na Vyšehradském mostě.



Obrázek 9 - Mechanická předúprava štěrbin pomocí pásové pily (vlevo) a vrtacího kladiva (vpravo) [8]

## 2.2. Chemické způsoby čištění původní PKO

Jak již bylo zmíněno, chemické způsoby čištění se nevyužívají na ocelové konstrukce, které jsou již v provozu. Lze však využít různých odstraňovačů starých nátěrů pro usnadnění technologie mechanického odstranění PKO. Jednou z možností jsou například prostředky SCALP. Odstraňují barvy a laky na vodní bázi nebo na bázi rozpouštědel (barvy akrylátové, silikonové, syntetické, a další) [32].

Jedná se o velmi jednoduchý postup – přípravek je nanesen na daný povrch a nechá se působit. Každý přípravek má jiný požadovaný čas působení, proto je nutné dodržovat informace dodané prodejcem. Poté využijeme zvolený mechanický způsob očištění, v případě nedostatečného odstranění barvy lze celý postup opakovat [32].

## 2.3. Ekologické zhodnocení odstranění PKO

Velmi důležitou součástí odstranění původní protikorozní ochrany je ekologické zhodnocení dané technologie. Ať se jedná o recyklovatelnost abraziva nebo dopad na životní prostředí, je nutné si určité věci ohlídat [33,34].

Při opravě ocelových konstrukcí, které nelze rozebrat, je nutné chránit okolní prostředí. Zde je možné zmínit například hluk, možnost úniku chemikálií nebo znečištění vzduchu a okolí prachem a abrazivem. Pro recyklovatelnost je nutné vybrat abrazivo, které lze opakovaně využívat a je snadno zlikvidovatelné v případě nutnosti [33,34].

Mezi ekologicky nebezpečné látky patří například oxid olovnato-olovičitý ( $Pb_3O_4$ ) neboli suřík (červené olovo). Jedná se o amorfni látku, která je nerozpustná ve vodě. Suřík se dříve využíval jako pigment do základových nátěrů pro železné konstrukce. Jedná se však o toxickou látku pro člověka, a tak se již nevyužívá. Stále se však nachází na starých konstrukcích, kde dochází k potížím s jeho odstraňováním. Při odstraňování původní PKO může dojít k vdechnutí prachových částic suříku či jeho uvolnění do okolní přírody. Z tohoto důvodu je nutné využít ochranné pomůcky [35].

### 3. Hodnocení stavu povrchu

#### 3.1. Vady tryskání

Mezi základní vady, které mohou vzniknout při tryskání, patří [36]:

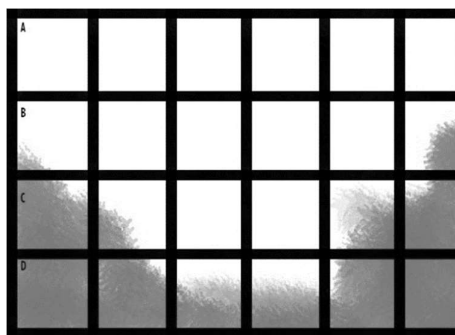
- Nedostatečně tryskaný povrch
  - Na povrchu jsou viditelné zbytky původního nátěru, koroze a nečistot. Příčinou této vady je nedostatečná doba tryskání, nízký tlak nebo nevhodně zvolený druh a zrnitost abraziva.
- Zbytky laku
  - Na povrchu se nacházejí zbytky původního laku na špatně přístupných místech. Příčinou této vady je krátká doba tryskání a nedůsledné tryskání špatně přístupného místa.
- Nezajištěné závitě
  - Při tryskání nezajištěných závitů může dojít k jejich poškození a znečištění (prach, nečistoty, abrazivo). Této vadě lze zabránit zasunutím vhodné zásepkky nebo šroubu.
- Zbytky neodstraněného abraziva
  - Při tryskání může dojít k uchycení abraziva na těžko dostupných místech a zákoutí, kdy tudíž nedojde k jeho správnému odstranění.

#### 3.2. Hodnocení stavu povrchu

Po dokončení očištění PKO je nutné zkontrolovat několik parametrů, než dojde k nanesení nové protikorozní ochrany, a to z důvodu správné přilnavosti povlaku a jeho životnosti [37,38].

##### 3.2.1. Vizuální kontrola

První způsob hodnocení povrchu může být vizuální kontrola. Kontrolovaný povrch si můžeme pomyslně rozdělit mřížkou a dané čtverce vyhodnocovat zvlášť. Na obrázku 10 můžeme vidět otryskaný povrch. Z obrázku je patrné, že čtverec A byl 100 % otryskán, na rozdíl od čtverce B, kde zůstalo odhadem 15 % původního nátěru nebo čtverce D, kde zůstal nátěr celý. Výsledkem této kontroly je zjištění účinnosti tryskání.



Obrázek 10 - Vizuální kontrola (mřížka)

Je nutné, aby celá původní PKO byla odstraněna z povrchu společně s rzí, která se mohla během let vytvořit na povrchu. Standardní příprava povrchu se považuje za Sa 2 ½. Během tryskání povrchu nesmí dojít k navlhčení povrchu [37,38].



### 3.2.2. Kontrola drsnosti povrchu

S velkou pravděpodobností se otryskaný povrch bude následně dále upravovat a nanášet na něj novou povrchovou úpravu. Z tohoto důvodu je nutné zjistit drsnost povrchu pro dobrou adhezi a životnost (funkčnost) následného nátěrového systému. Měřit drsnost povrchu můžeme několika způsoby – kvalitativní hodnocení (pomocí hmatu a zraku), nepřímé kvantitativní měření (porovnání s etalonem, výsledkem je rozdíl drsností), pomocí dotykových profiloměrů nebo pomocí bezdotykových profiloměrů [39].

Na obrázku 11 lze vidět vlevo digitální profiloměr a vpravo rugotest. Rugotest je metoda, kde pomocí hmatu či zraku odhadujeme přibližnou drsnost zkoumaného materiálu [39].



Obrázek 11 – Vlevo digitální profiloměr, vpravo rugotest [40,41]

Jednodušší a mnohem přesnější metodou je pak využití přenosných drsnoměrů. Zde je princip přiložení sondy na povrch zkoumaného materiálu. Přístroj sám vyhodnotí stav povrchu a na obrazovce vypíše hodnotu. Výhodou tohoto typu přístroje je jeho přenosnost a malé rozměry. Některé přístroje jsou také opatřeny vlastností opakovatelnosti zkoušky (zjištění průměrné hodnoty z několika měření) [39].

#### Parametry drsnosti:

*R<sub>a</sub> [μm] – průměrná aritmetická úchylka hodnoceného povrchu*

*R<sub>y</sub> [μm] – největší výška profilu*

*R<sub>z</sub> [μm] – výška nerovností profilu z deseti bodů*

*R<sub>q</sub> [μm] – průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu*

Pro správnou přilnavost povlaku, a tedy i zaručení životnosti povlaku, je nutné zaručit vhodnou drsnost povrchu. Pro kovové nátěrové hmoty a s obsahem zinku se udává drsnost kolem Ra 6,3 (pro tloušťky povlaku do 100 μm, pro větší tloušťky je drsnost kolem Ra 12,5) [37,38].

Existují různé experimenty, které sledují drsnost povrchu po tryskání. Jedním z experimentů bylo tryskání oceli AISI 4130 pomocí abraziva Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Výsledkem tohoto experimentu bylo změnění střední hodnoty drsnosti (Ra). Prokázalo se, že na výslednou drsnost má vliv pracovní vzdálenost, tlak vzduchu a doba tryskání. Proto je důležitá správná volba těchto parametrů a jejich kontrola [42].

### 3.2.3. Kontrola nečistot povrchu

Dále je pro vhodnou přilnavost nutné očistit povrch od prachu, mastnoty a solí. Toho docílíme omytím povrchu čistou vodou (nejlépe pod tlakem). Také je možné využít vhodné rozpouštědlo [37,38].

Pro detekci mastných nečistot lze využít:

- fixy a inkousty,
- fluorescenční metoda,
- infračervená metoda,
- hmotnostní metoda.

Mezi nejjednodušší metodu zjištění mastných nečistot jsou fixy a inkousty. Tato metoda využívá měření na principu povrchového napětí. Tato hodnota je udávána v  $\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$  (milinewton na metr). Výhoda této zkoušky je, že se prodávají fixy v sadách od 30 do 44  $\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$ . Dále pak její jednoduchost a rychlost provedení. Základním principem je vyzkoušení fixy střední hodnoty (38  $\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$ ) a po několika sekundách zkoumat povrch. Pokud se linka nezmění (neslíje) v kapky, je povrchové napětí stejné nebo vyšší než u použité fixy. Použijeme tedy fixu s vyšší hodnotou, dokud nedojde k slití kapek. V opačném případě (při využití fixy střední hodnoty dojde k slití) využijeme fixu s nižším napětím a povrchové napětí budeme mít stanovené mezi dvěma hodnotami [43].



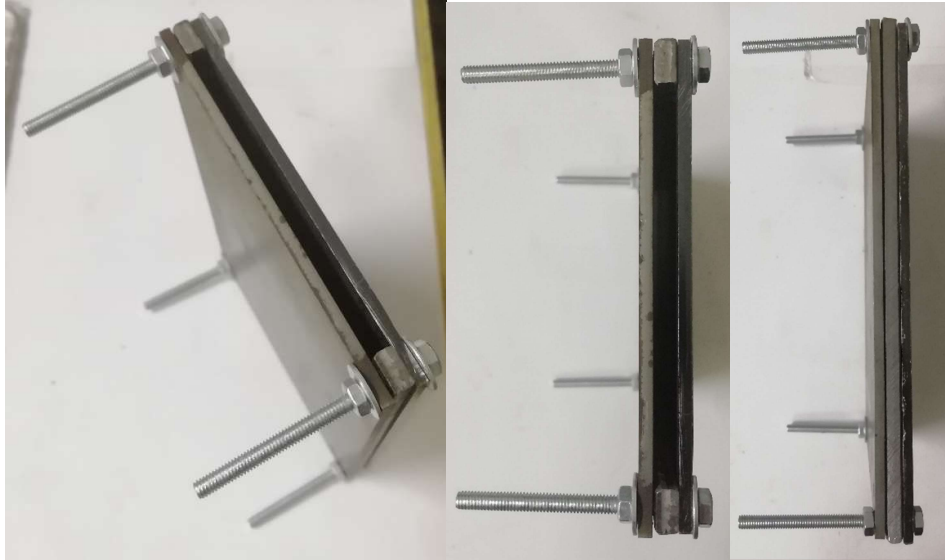
Obrázek 12 – Inkousty a fixy [43]

## 4. Experimentální část

### 4.1. Příprava experimentu

#### 4.1.1. Návrh zkušebního přípravku

Cílem experimentální části je stanovení vlivu tloušťky štěrbin (velikosti spáry) na účinnosti čištění. Pro usnadnění měření jednotlivých tlouštěk a možnosti opakovatelnosti byl navržen přípravek. Bylo navrženo několik druhů přípravků, ale nakonec byl využit přípravek se šrouby, který měl největší tuhost a životnost při procesu tryskání.



Obrázek 13 - Přípravek pro experimentální část

#### 4.1.2. Značení vzorků

Pro lepší přehlednost ve zkušebních vzorcích bylo zavedeno následující značení:

#### **X-Y-L/P**

X = číslo vzorku (1 až 7)

Y = číslo (druh) technologie (1 až 3)

L, P = levá nebo pravá strana zkušební vzorku

Příklad: 3–3–L (vzorek č. 3, technologie tlakovou vodou, levá strana)

#### 4.1.3. Technologie

Pro experimentální část byly zvoleny 3 technologie mechanického čištění PKO pro následující řadu štěrbin: 5, 10, 15, 20, 25, 30 a 40 mm. Mezi tyto technologie patří:

- TECHNOLOGIE 1: Abrazivní tryskání pomocí ocelové drtě
- TECHNOLOGIE 2: Abrazivní tryskání pomocí křemičitého písku
- TECHNOLOGIE 3: Tryskání tlakovou vodou

## 4.2. Vyhodnocení experimentu

### 4.2.1. Abrazivní tryskání pomocí ocelové drtě (hloubka tryskání, účinnost)

Jako první byla vybrána technologie tryskání ocelovou drtí GL 25. Parametry tryskání jsou zapsány v tabulce 11. Výsledné hodnoty měření – hloubka tryskání a účinnost tryskání – lze najít v jednotlivých tabulkách 12.

*Tabulka 11 - Parametry abrazivního tryskání pomocí ocelové drtě*

<b>Tlak</b>	7,5 bar
<b>Abrazivo</b>	Ocelová drť GL25 (GB10)
<b>Čas</b>	40 sekund

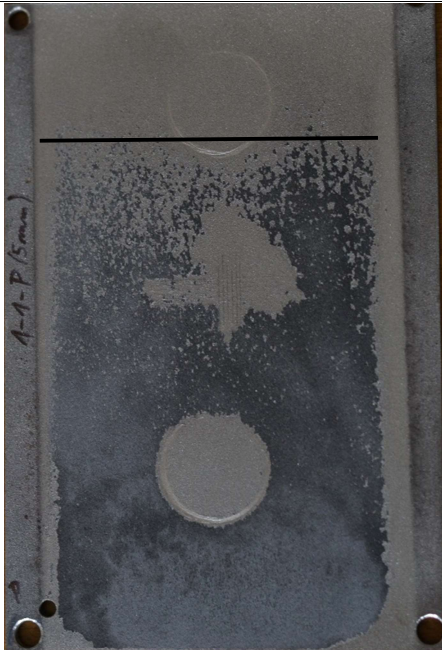

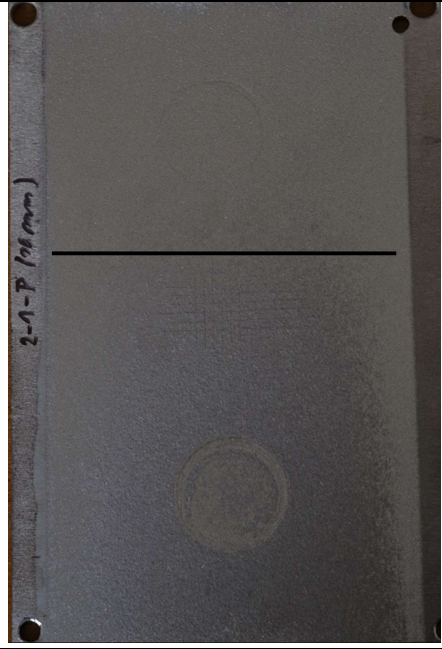
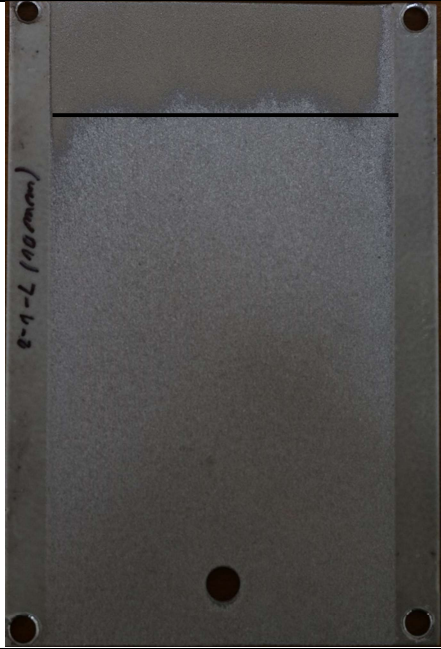


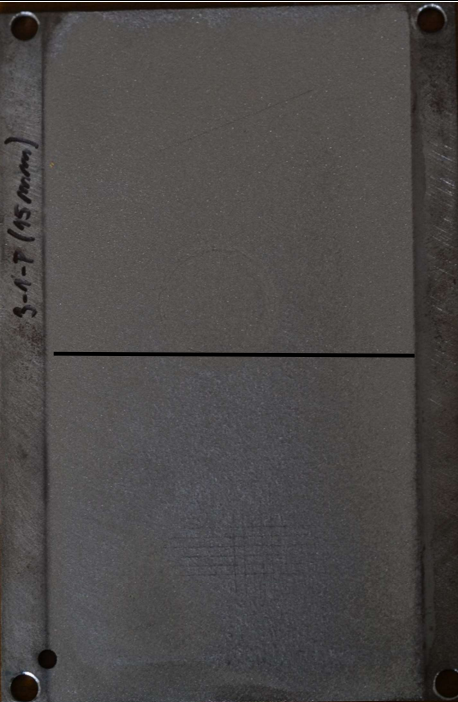
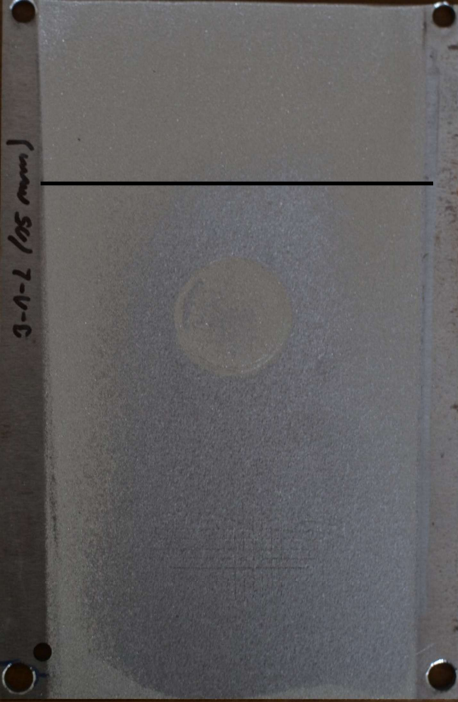
*Obrázek 14 - Abrazivní tryskání pomocí ocelové drtě GL25 (štěrbina 20 mm)*

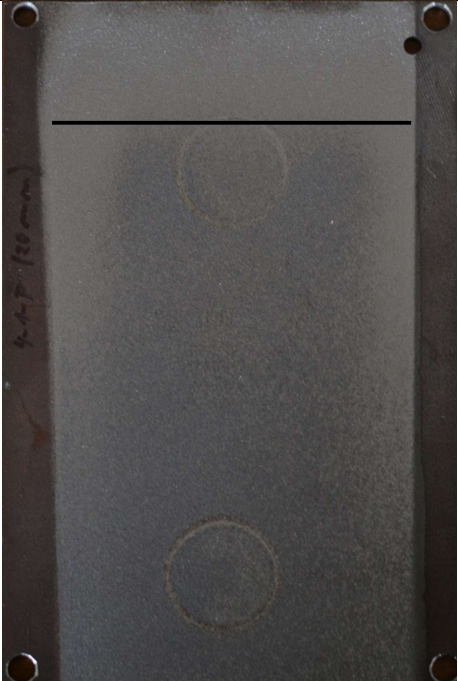
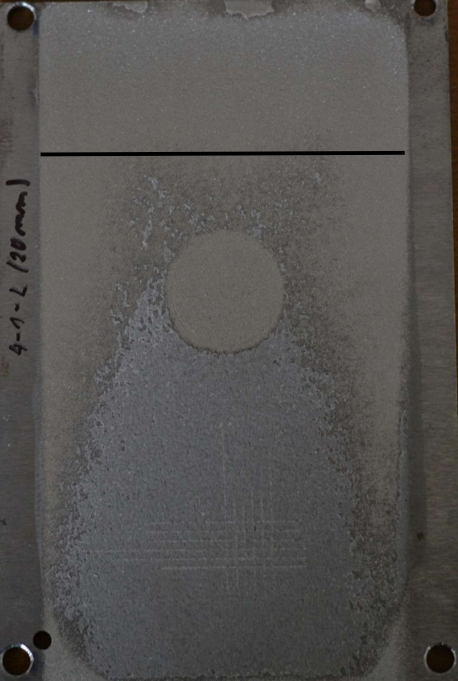


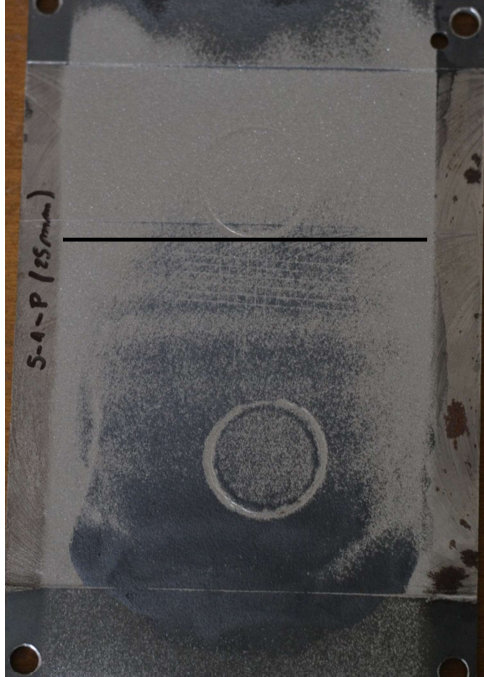
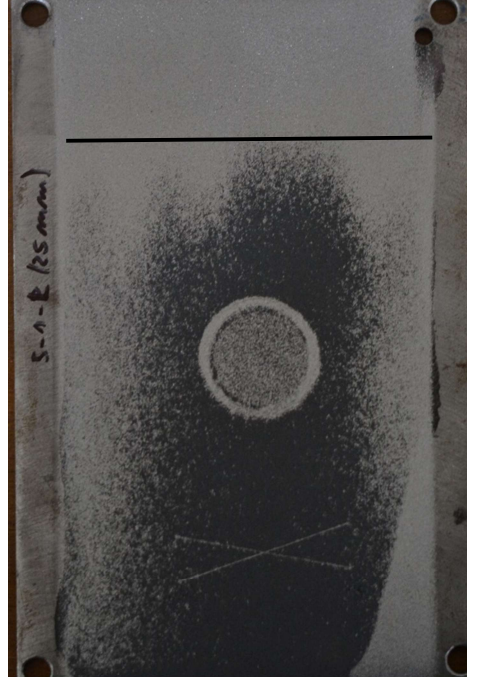
*Obrázek 15 - Ocelová drť GL25 (GB10)*

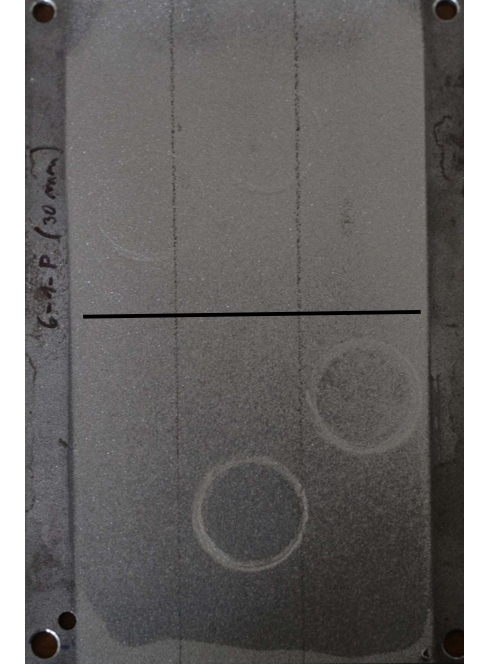
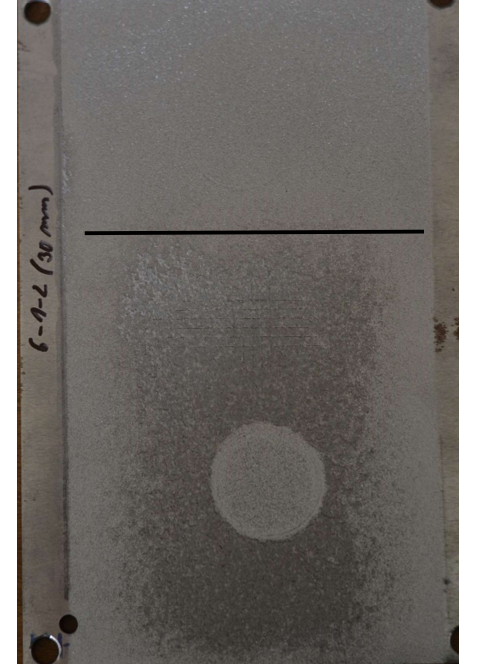
Tabulka 12 - Výsledky abrazivního tryskání pomocí ocelové drtě (hloubka tryskání a účinnost)

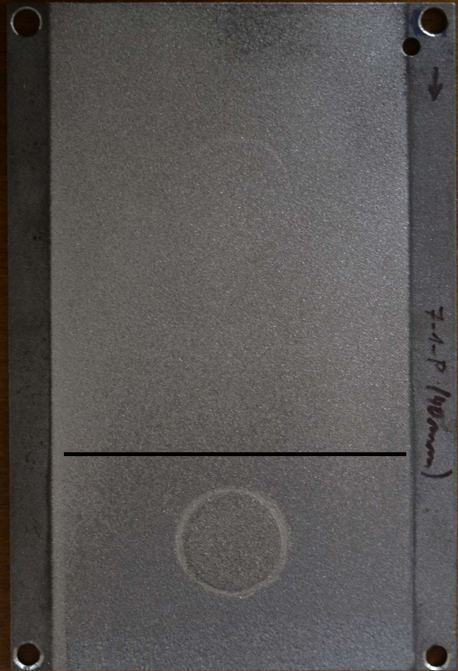
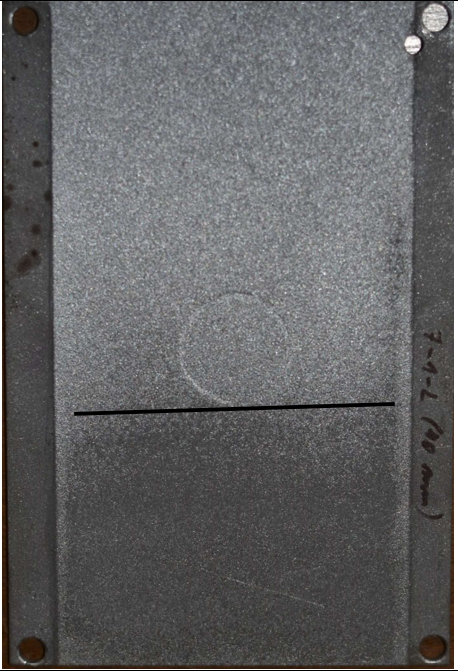
<b>Tryskání pomocí ocelové drtě – hloubka tryskání a účinnost</b>	
<b>1-1-P (5 mm)</b>	<b>1-1-L (5 mm)</b>
	
<p><b>Hloubka tryskání: 30 mm</b>  <b>Účinnost tryskání: 40 %</b></p>	<p><b>Hloubka tryskání: 35 mm</b>  <b>Účinnost tryskání: 33 %</b></p>
<b>2-1-P (10 mm)</b>	<b>2-1-L (10 mm)</b>
	
<p><b>Hloubka tryskání: 50 mm</b>  <b>Účinnost tryskání: 55 %</b></p>	<p><b>Hloubka tryskání: 25 mm</b>  <b>Účinnost tryskání: 17 %</b></p>

3-1-P (15 mm)	3-1-L (15 mm)
	
<p><b>Hloubka tryskání: 80 mm</b> <b>Účinnost tryskání: 88 %</b></p>	<p><b>Hloubka tryskání: 45 mm</b> <b>Účinnost tryskání: 45 %</b></p>

4-1-P (20 mm)	4-1-L (20 mm)
	
<p><b>Hloubka tryskání: 30 mm</b> <b>Účinnost tryskání: 60 %</b></p>	<p><b>Hloubka tryskání: 40 mm</b> <b>Účinnost tryskání: 55 %</b></p>

5-1-P (25 mm)	5-1-L (25 mm)
	
<p><b>Hloubka tryskání: 50 mm</b>  <b>Účinnost tryskání: 60 %</b></p>	<p><b>Hloubka tryskání: 30 mm</b>  <b>Účinnost tryskání: 45 %</b></p>

6-1-P (30 mm)	6-1-L (30 mm)
	
<p><b>Hloubka tryskání: 85 mm</b>  <b>Účinnost tryskání: 72 %</b></p>	<p><b>Hloubka tryskání: 65 mm</b>  <b>Účinnost tryskání: 66 %</b></p>

7-1-P (40 mm)	7-1-L (40 mm)
	
<p><b>Hloubka tryskání: 100 mm</b>  <b>Účinnost tryskání: 66 %</b></p>	<p><b>Hloubka tryskání: 85 mm</b>  <b>Účinnost tryskání: 58 %</b></p>

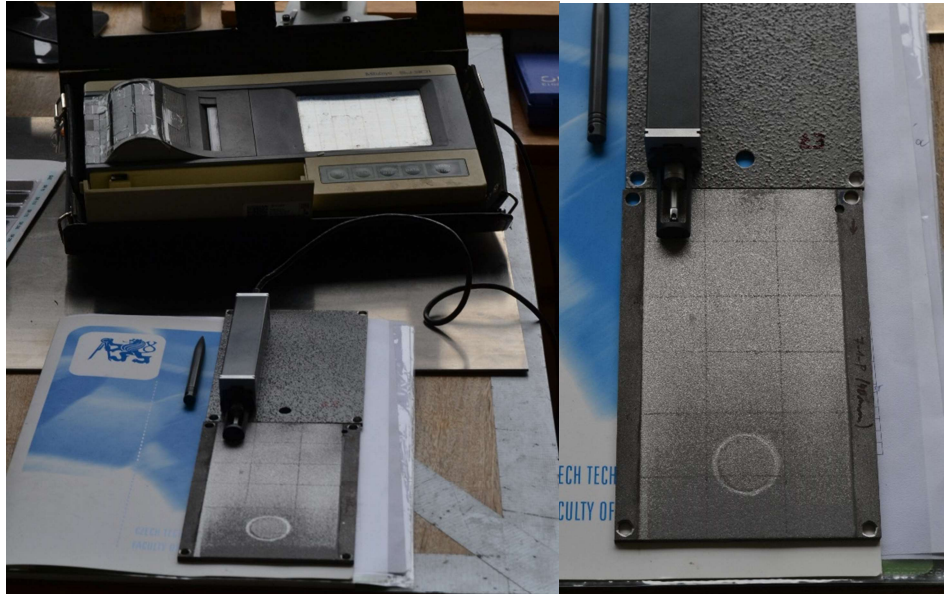
Hloubka tryskání roste se zvyšující se velikostí štěrbin do 15 mm. U štěrbin velikosti 20 mm dojde k poklesu hloubky a následnému opětovnému růstu hloubky tryskání. U štěrbin s velikostí 40 mm by bylo možné dosáhnout 100% otryskání zvýšením doby tryskání. V ostatních případech by bylo nutné tryskat z obou stran štěrbin. Další možností by bylo posunutí trysky do štěrbin (pokud to velikost štěrbin umožní). Tato metoda však způsobí rozdílné drsnosti v rámci celé plochy.

Účinnost je vždy vyšší pro pravou stranu, na níž byl soustředěn proud abraziva, zatímco levá strana byla otryskávaná odletujícími částicemi.



4.2.2. Abrazivní tryskání pomocí ocelové drtě (drsnost povrchu)

Pro měření drsnosti byl využit přístroj Mitutoyo SJ 301 a měření proběhlo dle normy ISO 1997. Byly měřeny hodnoty Ra a Rz ve směru tryskání a kolmo na směr tryskání. Pro přehlednost jednotlivých měření byla vytvořena mřížka, jako je vidět na obrázku 16. Jednotlivé naměřené hodnoty jsou zapsány v tabulkách, které odpovídají vytvořené mřížce.



Obrázek 16 - Mitutoyo SJ 301

Tabulka 13 - Naměřené hodnoty Ra a Rz pro abrazivní tryskání ocelovou drtí GL25 [ $\mu\text{m}$ ]

1-1-P (5 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]			
Ra	6,06	5,16	4,77	Ra	6,29	6,18	4,39
Rz	32,28	26,62	27,09	Rz	32,27	35,29	26,73
Ra	5,97	6,83	7,59	Ra	5,62	4,75	7,45
Rz	28,25	36,1	36,3	Rz	34,04	25,85	37,94
Ra	6,13	5,01	5,66	Ra	8,44	5,97	8,26
Rz	35,82	27,65	26,57	Rz	38,39	35,33	39,87
Ra	4,79	6,5	8,76	Ra	7,48	7,54	6,32
Rz	29,24	30,01	45,97	Rz	35,75	41,63	31,84
Ra	4,25	5,98	5,72	Ra	6,54	5,75	6,79
Rz	21,68	35,23	29,09	Rz	34,71	33,62	36,45
Ra	3,96	4,38	4,19	Ra	5,75	6,03	5,83
Rz	20,91	20,31	23,18	Rz	28,29	34,95	33,46
Průměrná hodnota Ra = 5,65 Průměrná hodnota Rz = 29,57				Průměrná hodnota Ra = 6,41 Průměrná hodnota Rz = 34,25			

1-1-L (5 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]			
Ra	4,91	3,08	4,55	Ra	4,41	3,64	5,93
Rz	26,59	20,62	24,85	Rz	23,85	27,01	33,21
Ra	3,11	2,7	2,5	Ra	3,6	2,96	3,43
Rz	16,74	15,64	16,7	Rz	23,36	20,34	20,74
Ra	5,29	4,9	5,19	Ra	5,71	5,19	6,42
Rz	29,03	23,51	23,82	Rz	29,83	26,8	33,74
Ra	3,2	5,02	5,31	Ra	5,2	6,14	7,59
Rz	16,65	24,74	26,94	Rz	31,56	29,87	36,87
Ra	5,05	4,66	3,24	Ra	6,03	5,94	5,7
Rz	25,93	22,63	16,96	Rz	30,46	30,53	28,73
Ra	3,61	4,58	3,62	Ra	6,9	2,27	6,73
Rz	19,22	21,16	17,78	Rz	32,39	17,44	36,34
Průměrná hodnota Ra = 4,14 Průměrná hodnota Rz = 21,64				Průměrná hodnota Ra = 5,21 Průměrná hodnota Rz = 39,50			

2-1-P (10 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]			
Ra	9,54	6,86	6,81	Ra	7,16	7,75	7,28
Rz	47,24	39,56	36,77	Rz	44,00	38,30	44,10
Ra	4,69	6,01	5,55	Ra	6,23	5,79	6,24
Rz	30,00	33,73	33,41	Rz	38,05	35,52	40,50
Ra	6,74	3,80	6,47	Ra	4,87	6,73	4,29
Rz	32,28	22,37	34,16	Rz	29,33	41,90	26,21
Ra	4,89	6,33	3,71	Ra	4,30	9,05	4,54
Rz	24,49	35,79	22,61	Rz	27,20	40,04	28,07
Ra	4,18	3,40	4,16	Ra	7,56	3,93	9,15
Rz	22,81	16,82	22,72	Rz	40,07	28,52	43,92
Ra	6,89	4,57	6,46	Ra	9,88	8,68	9,31
Rz	37,40	25,10	30,71	Rz	42,53	43,30	49,67
Průměrná hodnota Ra = 5,61 Průměrná hodnota Rz = 30,44				Průměrná hodnota Ra = 6,82 Průměrná hodnota Rz = 37,85			

2-1-L (10 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]			
Ra	6,62	5,43	8,15	Ra	6,67	5,89	5,22
Rz	38,36	27,61	47,19	Rz	35,52	32,37	29,75
Ra	6,33	5,84	7,77	Ra	7,78	9,74	9,08
Rz	33,74	35,15	38,84	Rz	43,44	54,47	44,75
Ra	5,34	7,79	5,16	Ra	8,54	8,44	8,72
Rz	29,47	43,64	28,58	Rz	47,86	49,41	49,02
Ra	6,55	5,66	6,68	Ra	7,66	7,61	7,81
Rz	35,75	29,78	34,07	Rz	41,22	39,84	40,15
Ra	6,35	6,16	4,55	Ra	9,70	8,00	8,29
Rz	27,83	30,63	24,55	Rz	43,61	47,37	46,54
Ra	5,00	5,63	6,81	Ra	6,53	7,65	6,60
Rz	21,31	27,76	33,92	Rz	35,84	37,18	35,52
Průměrná hodnota Ra = 6,21 Průměrná hodnota Rz = 32,68				Průměrná hodnota Ra = 7,77 Průměrná hodnota Rz = 41,88			

3-1-P (15 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]			
Ra	5,79	4,40	6,07	Ra	5,64	5,71	7,30
Rz	29,47	24,04	30,67	Rz	35,91	33,31	44,49
Ra	5,54	4,08	3,98	Ra	7,97	5,94	4,80
Rz	27,55	24,71	22,50	Rz	47,79	34,38	26,71
Ra	5,29	4,44	4,61	Ra	6,80	6,76	4,71
Rz	27,41	21,99	24,55	Rz	42,82	41,15	32,28
Ra	4,58	6,12	5,31	Ra	4,95	6,14	5,70
Rz	27,80	27,02	31,78	Rz	27,74	29,42	34,26
Ra	3,98	5,47	3,40	Ra	4,39	9,76	7,01
Rz	24,72	29,78	21,20	Rz	30,85	41,89	34,99
Ra	2,93	2,99	4,30	Ra	3,91	3,17	4,63
Rz	18,61	18,41	22,24	Rz	20,83	20,69	25,90
Průměrná hodnota Ra = 4,63 Průměrná hodnota Rz = 25,25				Průměrná hodnota Ra = 5,85 Průměrná hodnota Rz = 33,63			

3-1-L (15 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu m$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu m$ ]			
Ra	9,30	6,13	6,03	Ra	8,21	7,67	6,16
Rz	49,97	30,9	36,27	Rz	44,96	42,86	38,79
Ra	4,81	5,16	5,05	Ra	5,42	4,38	5,39
Rz	25,23	27,24	30,75	Rz	36,62	24,93	33,15
Ra	4,04	4,15	3,49	Ra	4,45	3,85	5,39
Rz	25,12	21,49	19,24	Rz	25,41	26,08	33,15
Ra	3,79	5,07	4,07	Ra	4,95	8,80	6,55
Rz	23,05	28,91	24,68	Rz	28,26	44,97	30,86
Ra	3,21	7,20	7,02	Ra	5,05	7,33	7,24
Rz	18,94	37,34	30,52	Rz	30,88	39,43	37,46
Ra	4,43	6,46	5,77	Ra	3,70	9,14	9,24
Rz	22,43	30,49	28,91	Rz	25,1	51,93	45,5
Průměrná hodnota Ra = 5,29 Průměrná hodnota Rz = 28,42				Průměrná hodnota Ra = 6,27 Průměrná hodnota Rz = 35,57			

4-1-P (20 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu m$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu m$ ]			
Ra	8,08	9,80	6,73	Ra	7,41	6,71	6,81
Rz	44,91	54,81	36,22	Rz	40,66	33,14	39,45
Ra	5,87	3,86	4,09	Ra	5,10	5,97	4,97
Rz	31,26	20,10	18,51	Rz	32,01	34,20	29,73
Ra	4,19	4,13	4,10	Ra	5,81	4,73	4,66
Rz	22,88	22,13	24,37	Rz	35,12	28,18	28,69
Ra	4,14	4,77	4,91	Ra	5,53	6,36	6,38
Rz	22,33	24,30	27,18	Rz	30,13	33,56	33,77
Ra	4,31	4,83	4,26	Ra	5,51	6,08	5,01
Rz	23,98	22,87	20,55	Rz	30,70	33,96	25,64
Ra	4,80	5,43	5,93	Ra	7,23	5,94	5,82
Rz	21,13	27,22	28,17	Rz	39,60	32,43	30,23
Průměrná hodnota Ra = 5,24 Průměrná hodnota Rz = 27,38				Průměrná hodnota Ra = 5,89 Průměrná hodnota Rz = 32,84			

4-1-L (20 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]			
Ra	7,59	8,53	9,70	Ra	8,19	8,31	7,56
Rz	44,97	45,83	55,60	Rz	45,78	46,62	43,28
Ra	4,70	4,85	6,35	Ra	4,52	4,53	4,88
Rz	29,05	29,13	36,77	Rz	26,88	28,29	30,76
Ra	3,58	4,56	4,26	Ra	3,64	4,80	3,23
Rz	22,05	28,89	23,17	Rz	23,97	29,16	20,90
Ra	6,40	5,40	5,56	Ra	7,24	6,65	5,40
Rz	37,96	24,68	29,89	Rz	44,30	35,99	29,54
Ra	6,08	6,93	3,03	Ra	6,27	7,26	9,60
Rz	28,56	33,86	16,42	Rz	32,89	37,59	45,33
Ra	4,74	4,99	3,24	Ra	8,90	7,12	7,18
Rz	24,65	25,44	19,96	Rz	44,39	34,32	38,43
Průměrná hodnota Ra = 5,58 Průměrná hodnota Rz = 30,94				Průměrná hodnota Ra = 6,40 Průměrná hodnota Rz = 35,47			

5-1-P (25 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]			
Ra	7,14	6,81	9,08	Ra	8,16	5,16	6,79
Rz	44,29	33,71	45,90	Rz	46,24	30,85	38,07
Ra	7,32	6,98	6,16	Ra	6,70	8,05	7,30
Rz	9,76	43,89	32,83	Rz	38,95	42,65	43,08
Ra	6,37	4,58	5,30	Ra	5,32	5,50	4,85
Rz	33,65	27,58	28,14	Rz	29,29	33,78	31,42
Ra	3,91	5,88	5,93	Ra	3,72	6,04	4,11
Rz	27,16	28,02	39,66	Rz	21,43	33,40	27,33
Ra	3,14	5,79	4,33	Ra	4,87	8,33	6,46
Rz	18,11	30,36	21,60	Rz	28,93	36,65	31,56
Ra	2,87	3,88	4,01	Ra	3,69	2,99	3,51
Rz	16,81	23,15	22,67	Rz	22,00	16,59	20,36
Průměrná hodnota Ra = 5,53 Průměrná hodnota Rz = 29,29				Průměrná hodnota Ra = 5,64 Průměrná hodnota Rz = 31,81			

5-1-L (2 5 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]			
Ra	7,20	7,19	7,90	Ra	6,58	8,43	8,89
Rz	40,59	38,21	48,44	Rz	38,30	44,73	46,81
Ra	6,86	4,91	6,25	Ra	5,79	6,40	8,12
Rz	38,02	28,02	35,30	Rz	36,42	36,74	47,97
Ra	4,40	7,08	5,05	Ra	3,65	6,68	4,08
Rz	23,84	36,61	23,91	Rz	25,03	36,82	23,22
Ra	5,25	4,33	4,99	Ra	4,64	5,58	4,94
Rz	29,51	21,44	25,80	Rz	24,10	29,10	26,99
Ra	3,28	5,30	3,88	Ra	4,45	8,91	4,90
Rz	20,56	25,14	19,37	Rz	26,04	38,69	28,30
Ra	3,42	6,30	3,82	Ra	4,32	6,84	4,18
Rz	18,20	29,40	23,43	Rz	26,09	36,30	26,69
Průměrná hodnota Ra = 5,41 Průměrná hodnota Rz = 29,21				Průměrná hodnota Ra = 5,97 Průměrná hodnota Rz = 33,24			

6-1-P (30 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]			
Ra	8,56	9,72	8,05	Ra	8,78	7,80	8,34
Rz	52,43	54,25	42,84	Rz	50,60	43,02	45,66
Ra	7,21	8,48	7,39	Ra	5,96	6,93	7,44
Rz	38,31	58,42	35,78	Rz	34,13	39,13	36,21
Ra	7,30	5,50	6,46	Ra	7,07	6,39	6,25
Rz	36,82	33,41	31,54	Rz	34,50	35,56	38,69
Ra	6,52	5,53	6,11	Ra	6,22	5,47	6,93
Rz	33,93	31,79	32,53	Rz	42,17	34,10	40,23
Ra	5,66	6,84	7,77	Ra	5,89	6,45	6,68
Rz	30,29	35,32	38,14	Rz	30,31	35,52	35,72
Ra	5,89	6,83	8,75	Ra	7,48	8,83	10,16
Rz	29,10	37,95	41,02	Rz	36,29	42,63	54,26
Průměrná hodnota Ra = 7,14 Průměrná hodnota Rz = 38,55				Průměrná hodnota Ra = 7,17 Průměrná hodnota Rz = 39,37			

6-1-L (30 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]			
Ra	7,16	10,08	10,00	Ra	9,63	7,34	7,97
Rz	42,97	49,40	59,62	Rz	50,13	40,97	39,30
Ra	7,25	9,62	7,55	Ra	7,88	9,17	7,55
Rz	36,14	49,43	39,89	Rz	47,91	56,34	39,99
Ra	6,30	8,81	4,58	Ra	7,70	6,54	4,61
Rz	32,57	50,14	28,40	Rz	45,10	40,06	30,97
Ra	3,66	9,81	3,39	Ra	5,15	8,21	3,95
Rz	23,61	52,68	19,39	Rz	27,18	45,50	27,81
Ra	4,41	4,50	4,06	Ra	5,07	4,88	4,08
Rz	28,92	24,40	23,56	Rz	36,92	32,74	27,46
Ra	3,75	8,22	4,11	Ra	5,23	8,31	5,07
Rz	22,33	41,04	22,86	Rz	31,54	42,10	33,08
Průměrná hodnota Ra = 6,51 Průměrná hodnota Rz = 35,96				Průměrná hodnota Ra = 6,57 Průměrná hodnota Rz = 38,62			

7-1-P (40 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]			
Ra	9,26	7,75	7,98	Ra	7,22	7,53	7,69
Rz	45,31	40,17	37,37	Rz	40,45	44,34	40,33
Ra	8,67	7,92	8,47	Ra	8,08	7,28	7,73
Rz	41,49	43,82	49,42	Rz	49,39	43,10	46,38
Ra	8,08	6,12	6,72	Ra	6,47	7,19	9,48
Rz	39,63	62,05	37,36	Rz	4,49	41,45	50,80
Ra	5,41	5,17	9,79	Ra	5,55	6,07	7,67
Rz	33,10	29,87	55,90	Rz	33,00	35,42	41,55
Ra	5,79	5,55	5,07	Ra	5,00	5,55	5,46
Rz	28,95	30,01	30,47	Rz	31,70	32,55	30,58
Ra	8,37	8,07	6,05	Ra	8,82	11,35	6,70
Rz	42,79	40,00	30,83	Rz	44,59	56,26	35,43
Průměrná hodnota Ra = 7,24 Průměrná hodnota Rz = 39,92				Průměrná hodnota Ra = 7,27 Průměrná hodnota Rz = 38,99			

7-1-L (40 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu m$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu m$ ]			
Ra	7,23	10,76	9,08	Ra	10,87	4,90	8,44
Rz	38,30	53,06	51,78	Rz	53,85	56,53	46,10
Ra	9,96	7,21	10,46	Ra	8,92	5,94	8,61
Rz	51,71	42,28	52,55	Rz	52,68	33,51	44,87
Ra	7,51	6,39	6,92	Ra	7,09	5,46	6,26
Rz	34,91	31,91	32,70	Rz	38,45	35,09	35,76
Ra	5,56	4,90	4,26	Ra	5,53	4,79	5,99
Rz	29,61	23,87	23,87	Rz	31,51	28,69	41,86
Ra	7,34	7,69	6,21	Ra	5,67	9,75	9,68
Rz	34,16	36,39	34,48	Rz	27,61	45,75	47,36
Ra	6,61	6,73	8,13	Ra	9,43	8,61	8,47
Rz	30,58	31,92	37,74	Rz	45,83	43,20	42,33
Průměrná hodnota Ra = 7,39 Průměrná hodnota Rz = 37,32				Průměrná hodnota Ra = 7,47 Průměrná hodnota Rz = 41,72			

Pro abrazivní tryskání ocelovou drtí byla průměrná hodnota drsnosti Ra = 5,83  $\mu m$  a hodnota Rz = 31,21  $\mu m$ . Obě tyto hodnoty byly zprůměrované z naměřených hodnot ve směru tryskání. Drsnosti kolmo na směr tryskání jsou větší v řádech desetin  $\mu m$  (Ra = 6,48  $\mu m$ , Rz = 36,77  $\mu m$ ).

Tabulka 14 - Průměrné hodnoty Ra a Rz pro abrazivní tryskání ocelovou drtí

		ve směru tryskání [ $\mu m$ ]	kolmo na směr tryskání [ $\mu m$ ]
P	Průměrná hodnota Ra	5,86	6,44
	Průměrná hodnota Rz	31,49	35,53
L	Průměrná hodnota Ra	5,79	6,52
	Průměrná hodnota Rz	30,92	38,00



4.2.3. Abrazivní tryskání pomocí křemičitého písku (hloubka tryskání, účinnost)

Druhou technologií bylo tryskání křemičitým pískem ST 06/12 PA50. Parametry tryskání jsou zapsány v tabulce 15. Výsledné hodnoty měření – hloubka tryskání a účinnost tryskání – lze najít v jednotlivých tabulkách 16.

Tabulka 15 - Parametry abrazivního tryskání pomocí křemičitého písku

<b>Tlak</b>	6 bar
<b>Abrazivo</b>	Písek ST 06/12 PA50
<b>Čas</b>	40 sekund

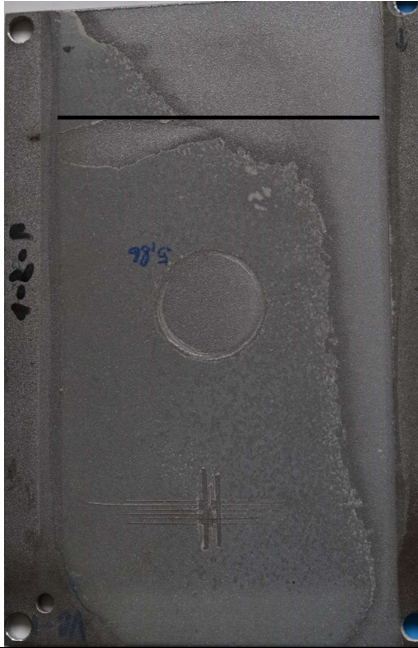
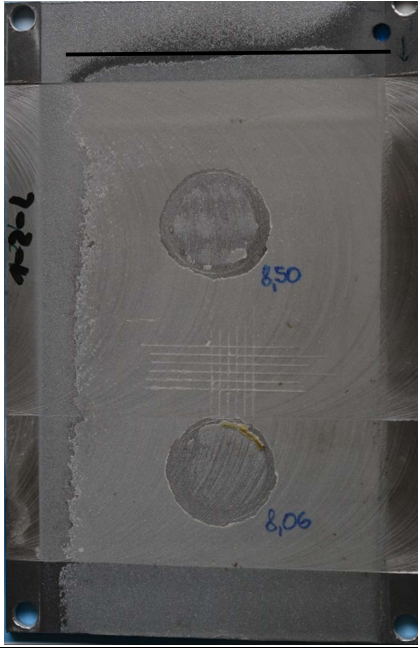
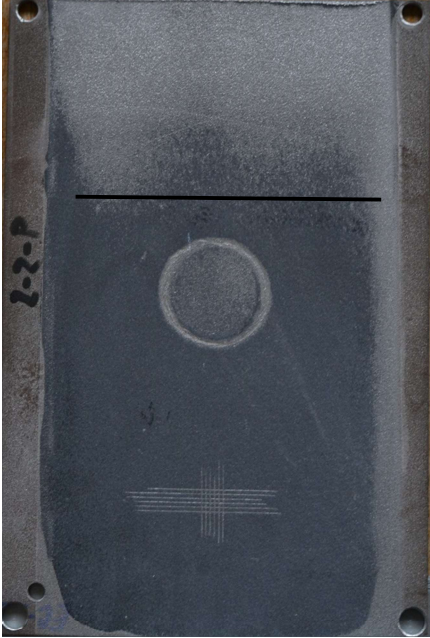




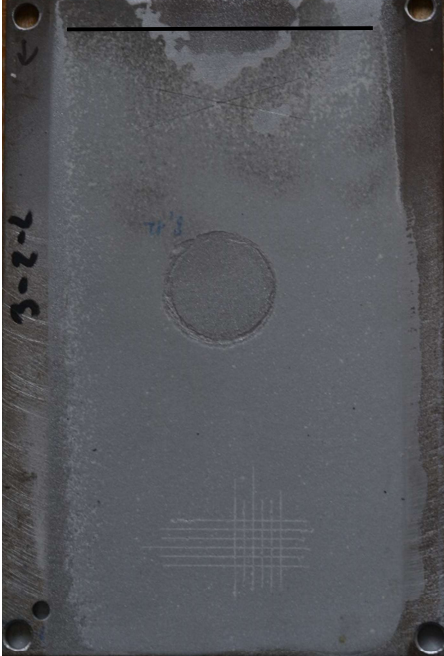
Obrázek 17 - Abrazivní tryskání pomocí křemičitého písku ST 06/12 PA50





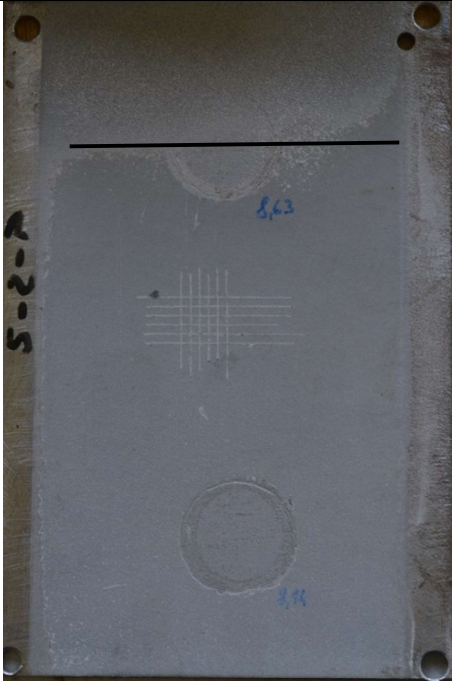
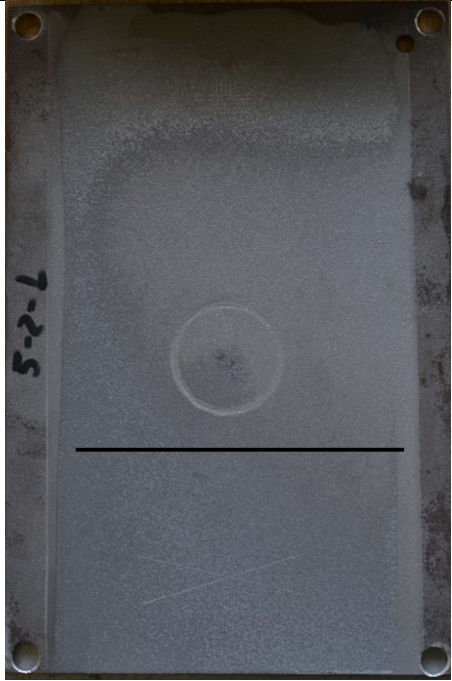
Obrázek 18 - Křemičitý písek ST 06/12 PA50 [44]


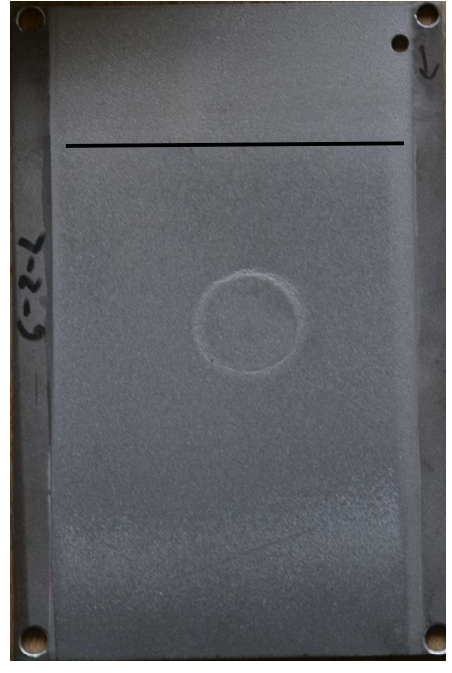
Tabulka 16 - Výsledky abrazivního tryskání pomocí křemičitého písku (hloubka tryskání a účinnost)

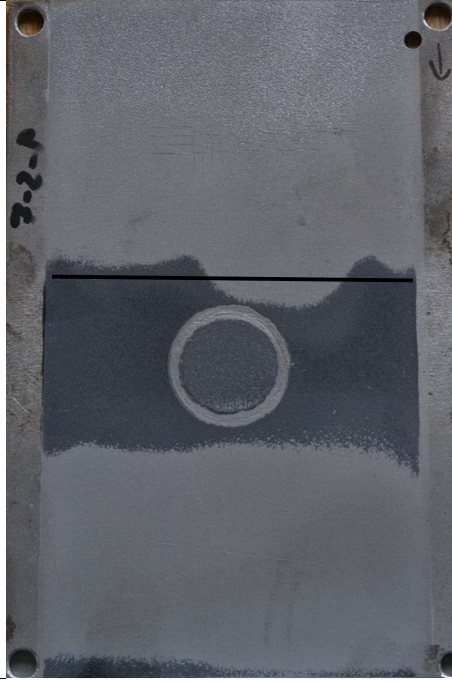
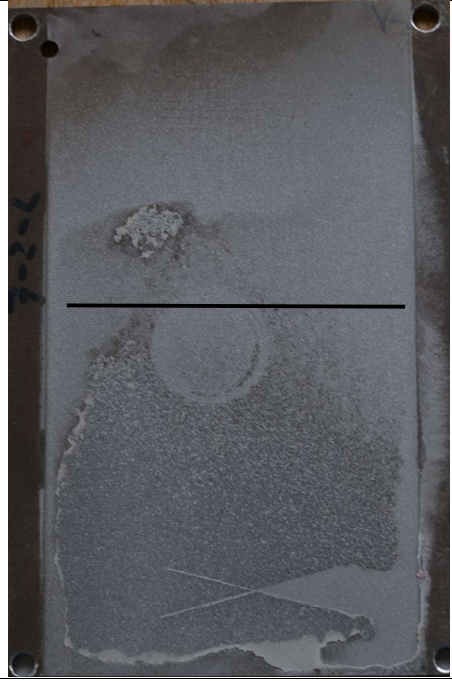
<b>Tryskání pomocí křemičitého písku – hloubka tryskání a účinnost</b>	
<b>1-2-P (5 mm)</b>	<b>1-2-L (5 mm)</b>
	
<p><b>Hloubka tryskání: 25 mm</b>  <b>Účinnost tryskání: 28 %</b></p>	<p><b>Hloubka tryskání: 10 mm</b>  <b>Účinnost tryskání: 20 %</b></p>
<b>2-2-P (10 mm)</b>	<b>2-2-L (10 mm)</b>
	
<p><b>Hloubka tryskání: 50 mm</b>  <b>Účinnost tryskání: 30 %</b></p>	<p><b>Hloubka tryskání: 5 mm</b>  <b>Účinnost tryskání: 1 %</b></p>

3-2-P (15 mm)	3-2-L (15 mm)
	
<p><b>Hloubka tryskání: 50 mm</b>  <b>Účinnost tryskání: 22 %</b></p>	<p><b>Hloubka tryskání: 5 mm</b>  <b>Účinnost tryskání: 1 %</b></p>

4-2-P (20 mm)	4-2-L (20 mm)
	
<p><b>Hloubka tryskání: 45 mm</b>  <b>Účinnost tryskání: 20 %</b></p>	<p><b>Hloubka tryskání: 115 mm</b>  <b>Účinnost tryskání: 33 %</b></p>

5-2-P (25 mm)	5-2-L (25 mm)
	
<p><b>Hloubka tryskání: 35 mm</b>  <b>Účinnost tryskání: 17 %</b></p>	<p><b>Hloubka tryskání: 110 mm</b>  <b>Účinnost tryskání: 28 %</b></p>

6-2-P (30 mm)	6-2-L (30 mm)
	
<p><b>Hloubka tryskání: 50 mm</b>  <b>Účinnost tryskání: 35 %</b></p>	<p><b>Hloubka tryskání: 40 mm</b>  <b>Účinnost tryskání: 25 %</b></p>

7-2-P (40 mm)	7-2-L (40 mm)
	
<p><b>Hloubka tryskání: 70 mm</b> <b>Účinnost tryskání: 75 %</b></p>	<p><b>Hloubka tryskání: 75 mm</b> <b>Účinnost tryskání: 55 %</b></p>

Hloubka tryskání roste se zvyšující se velikostí štěrbin do 15 mm. U štěrbin velikosti 20 a 25 mm dojde k poklesu hloubky a následně nastane opětovný růst hloubky otryskání podobně jako nastalo při tryskání ocelovou drtí. U štěrbin s velikostí 40 mm by bylo možné dosáhnout 100% otryskání zvýšením doby tryskání. Při velikosti štěrbin 20 mm a výš by s oboustranným tryskáním a delším časem nejspíše šlo dosáhnout úplného otryskání. Tato teorie by se však musela dále testovat.

Účinnost je vždy vyšší pro pravou stranu, na níž byl soustředěn proud abraziva, zatímco levá strana byla otryskávaná odletujícími částicemi. Při velikosti štěrbin 10 až 25 mm je účinnost tryskání na levé straně vzorku skoro nulová. Bylo by nutné při tryskání se tedy soustředit na obě strany štěrbin pro správné otryskání povrchu.

4.2.4. Abrazivní tryskání pomocí křemičitého písku (drsnost povrchu)

Tabulka 17 - Naměřené hodnoty Ra a Rz pro abrazivní tryskání křemičitým pískem ST 06/12 PA50 [ $\mu\text{m}$ ]

1-2-P (5 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]			
Ra	5,40	5,69	5,01	Ra	5,04	4,58	3,94
Rz	29,04	34,47	29,81	Rz	28,34	30,21	25,30
Ra	5,92	3,00	3,94	Ra	4,81	4,96	4,66
Rz	33,96	17,78	22,82	Rz	27,80	24,98	27,63
Ra	1,44	4,50	3,02	Ra	2,57	4,66	3,63
Rz	10,2	24,74	17,37	Rz	19,44	25,15	22,33
Ra	1,56	3,02	3,87	Ra	1,31	3,84	4,85
Rz	9,02	17,48	21,59	Rz	10,61	23,30	25,71
Ra	2,20	3,73	4,18	Ra	1,54	4,37	4,68
Rz	12,08	19,09	19,23	Rz	10,07	21,77	25,64
Ra	1,77	4,37	3,42	Ra	1,39	2,73	4,99
Rz	11,65	25,51	19,10	Rz	8,07	14,81	27,92
Průměrná hodnota Ra = 3,67 Průměrná hodnota Rz = 20,83				Průměrná hodnota Ra = 3,81 Průměrná hodnota Rz = 22,17			

1-2-L (5 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]			
Ra	2,99	3,35	4,12	Ra	5,75	1,09	1,66
Rz	17,55	21,52	22,03	Rz	31,21	8,36	10,30
Ra	4,68	4,02	1,15	Ra	4,35	4,01	1,74
Rz	24,46	23,09	7,90	Rz	23,05	22,30	12,38
Ra	1,88	6,89	0,60	Ra	5,17	5,22	1,04
Rz	11,68	29,33	5,18	Rz	26,80	30,58	8,11
Ra	3,89	3,88	1,70	Ra	5,82	5,20	0,72
Rz	20,08	26,35	10,59	Rz	28,35	36,37	7,30
Ra	3,66	4,82	1,87	Ra	3,68	4,16	1,52
Rz	19,65	23,53	12,79	Rz	22,58	22,63	10,5
Ra	3,35	2,46	1,46	Ra	4,05	3,09	1,20
Rz	17,76	13,13	5,22	Rz	22,23	17,65	11,43
Průměrná hodnota Ra = 3,15 Průměrná hodnota Rz = 17,32				Průměrná hodnota Ra = 3,30 Průměrná hodnota Rz = 19,56			

2-2-P (10 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu m$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu m$ ]			
Ra	4,65	4,34	4,13	Ra	3,70	4,25	4,12
Rz	28,34	23,18	22,63	Rz	22,04	24,87	23,44
Ra	3,13	4,03	3,01	Ra	4,02	4,50	4,91
Rz	16,68	22,52	15,21	Rz	21,66	24,41	25,92
Ra	3,72	3,17	2,94	Ra	5,34	3,89	4,61
Rz	19,31	16,5	15,56	Rz	26,07	24,52	26,61
Ra	3,92	3,02	4,30	Ra	6,82	5,39	4,42
Rz	18,76	16,98	25,05	Rz	34,77	27,31	23,31
Ra	2,91	7,55	4,15	Ra	4,56	9,48	4,07
Rz	15,76	50,29	23,5	Rz	22,59	67,44	20,96
Ra	2,32	3,71	3,70	Ra	3,99	4,45	5,65
Rz	14,49	19,19	22,04	Rz	22,57	24,15	27,38
Průměrná hodnota Ra = 3,82 Průměrná hodnota Rz = 21,44				Průměrná hodnota Ra = 4,90 Průměrná hodnota Rz = 27,22			

2-2-L (10 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu m$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu m$ ]			
Ra	4,05	5,95	5,26	Ra	7,32	6,24	5,06
Rz	24,00	33,84	27,41	Rz	47,37	37,36	27,22
Ra	6,06	4,83	6,34	Ra	6,11	6,25	8,44
Rz	35,04	24,39	33,46	Rz	33,34	27,93	45,42
Ra	4,89	5,21	7,68	Ra	9,84	6,14	6,23
Rz	29,44	27,60	44,32	Rz	45,93	33,11	32,41
Ra	4,81	3,51	5,25	Ra	5,90	5,64	6,04
Rz	23,86	18,25	26,53	Rz	32,73	31,59	32,44
Ra	2,85	3,36	2,77	Ra	4,60	3,99	6,38
Rz	14,86	15,74	14,10	Rz	25,09	21,29	34,61
Ra	3,70	2,97	2,84	Ra	6,36	3,99	3,84
Rz	18,76	16,35	13,23	Rz	38,70	22,52	19,55
Průměrná hodnota Ra = 4,57 Průměrná hodnota Rz = 24,51				Průměrná hodnota Ra = 6,02 Průměrná hodnota Rz = 32,70			

3-2-P (15 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]			
Ra	4,29	5,46	2,07	Ra	6,29	5,81	3,40
Rz	20,84	28,38	12,34	Rz	31,37	28,85	19,21
Ra	2,56	4,22	2,37	Ra	2,84	7,53	2,34
Rz	15,12	20,76	13,49	Rz	17,88	32,81	16,00
Ra	2,67	2,51	2,83	Ra	5,43	2,59	6,15
Rz	13,99	16,06	16,79	Rz	30,44	18,37	29,30
Ra	2,75	2,57	3,36	Ra	4,60	4,76	4,11
Rz	13,37	14,32	19,67	Rz	26,97	24,43	23,98
Ra	2,42	4,40	2,61	Ra	4,00	7,83	5,42
Rz	14,47	24,42	13,21	Rz	23,42	44,18	32,44
Ra	2,54	3,28	3,23	Ra	4,77	4,67	4,94
Rz	13,20	16,90	16,40	Rz	25,98	25,89	26,64
Průměrná hodnota Ra = 3,12 Průměrná hodnota Rz = 16,87				Průměrná hodnota Ra = 4,86 Průměrná hodnota Rz = 26,56			

3-2-L (15 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]			
Ra	4,33	2,34	7,37	Ra	5,63	2,89	2,26
Rz	24,10	13,99	34,58	Rz	31,90	19,85	15,81
Ra	4,03	2,85	3,08	Ra	4,87	4,96	4,45
Rz	22,47	17,54	14,46	Rz	27,10	26,47	22,25
Ra	3,80	1,61	2,87	Ra	5,86	1,87	5,20
Rz	22,77	9,50	14,76	Rz	42,20	11,99	32,92
Ra	4,86	3,53	5,34	Ra	5,86	5,88	5,58
Rz	20,67	24,30	28,44	Rz	31,74	29,91	27,38
Ra	4,57	3,66	3,67	Ra	5,05	4,81	4,32
Rz	25,88	20,56	20,17	Rz	25,34	26,73	20,73
Ra	4,16	3,55	3,31	Ra	4,79	5,53	4,46
Rz	20,02	18,43	19,38	Rz	25,46	25,91	26,68
Průměrná hodnota Ra = 3,82 Průměrná hodnota Rz = 20,67				Průměrná hodnota Ra = 4,68 Průměrná hodnota Rz = 26,13			



4-2-P (20 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]			
Ra	5,96	9,16	7,68	Ra	7,80	6,89	8,49
Rz	33,62	45,90	39,87	Rz	45,38	34,68	48,60
Ra	4,58	4,47	6,01	Ra	5,59	4,79	5,14
Rz	26,97	25,64	30,31	Rz	28,88	29,18	27,55
Ra	4,34	3,47	1,99	Ra	5,22	4,92	2,28
Rz	25,81	23,95	13,17	Rz	26,31	27,11	14,33
Ra	5,24	5,19	2,62	Ra	6,02	5,54	3,82
Rz	25,61	28,27	14,73	Rz	30,24	31,24	21,95
Ra	5,92	3,78	2,57	Ra	6,58	4,17	3,70
Rz	26,66	21,91	15,62	Rz	34,16	24,58	19,52
Ra	4,80	5,66	4,56	Ra	5,42	5,59	3,03
Rz	24,54	25,96	24,53	Rz	27,87	29,11	18,66
Průměrná hodnota Ra = 4,89 Průměrná hodnota Rz = 26,28				Průměrná hodnota Ra = 5,28 Průměrná hodnota Rz = 28,85			

4-2-L (20 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]			
Ra	2,61	6,39	1,83	Ra	2,60	1,05	2,14
Rz	17,85	28,66	14,56	Rz	15,82	9,33	16,38
Ra	5,58	5,03	4,21	Ra	3,80	4,17	3,54
Rz	30,21	29,56	26,13	Rz	21,75	23,46	23,91
Ra	6,77	3,98	4,44	Ra	6,77	4,23	4,34
Rz	34,44	24,25	23,66	Rz	35,68	25,46	25,73
Ra	4,90	4,87	3,51	Ra	4,92	5,65	3,51
Rz	23,05	23,91	22,38	Rz	28,49	31,25	24,46
Ra	3,82	4,70	3,86	Ra	3,57	3,01	5,89
Rz	19,22	25,17	19,99	Rz	19,40	17,34	31,33
Ra	3,12	4,00	5,28	Ra	3,94	4,44	5,30
Rz	13,42	19,04	27,33	Rz	25,22	22,44	27,83
Průměrná hodnota Ra = 4,38 Průměrná hodnota Rz = 23,49				Průměrná hodnota Ra = 4,05 Průměrná hodnota Rz = 23,63			

5-2-P (25 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]			
Ra	7,26	6,21	6,80	Ra	8,33	6,74	6,38
Rz	36,2	34,62	40,95	Rz	41,14	32,37	36,92
Ra	4,21	1,78	3,45	Ra	4,08	2,53	1,99
Rz	24,74	12,84	16,35	Rz	26,67	19,01	11,73
Ra	3,32	2,08	2,28	Ra	3,54	3,74	1,08
Rz	22,26	12,96	13,04	Rz	22,39	27,01	8,73
Ra	3,55	3,59	2,18	Ra	4,16	3,80	2,01
Rz	18,23	20,56	12,35	Rz	26,69	21,55	12,89
Ra	4,58	2,22	3,05	Ra	4,35	1,87	3,37
Rz	23,81	16,43	18,09	Rz	22,74	14,62	17,56
Ra	4,66	4,36	3,99	Ra	4,56	4,21	4,73
Rz	20,71	22,71	21,54	Rz	23,71	25,83	26,30
Průměrná hodnota Ra = 3,87 Průměrná hodnota Rz = 21,58				Průměrná hodnota Ra = 3,97 Průměrná hodnota Rz = 23,21			

5-2-L (25 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]			
Ra	1,90	2,11	2,38	Ra	2,61	2,76	2,28
Rz	14,23	19,44	16,00	Rz	15,54	17,87	17,05
Ra	4,80	4,47	5,82	Ra	5,47	4,41	4,76
Rz	28,41	29,72	31,68	Rz	29,68	28,51	29,08
Ra	4,21	3,70	4,50	Ra	5,03	4,62	4,23
Rz	23,42	22,07	25,18	Rz	26,46	24,99	22,94
Ra	7,58	3,99	4,06	Ra	9,91	7,49	3,51
Rz	34,91	22,62	21,42	Rz	48,36	38,29	20,84
Ra	4,95	4,21	3,53	Ra	6,62	6,12	4,42
Rz	23,99	19,49	22,42	Rz	33,3	31,98	23,27
Ra	3,49	5,10	5,38	Ra	4,27	5,88	7,47
Rz	19,93	24,46	25,20	Rz	23,78	33,84	33,42
Průměrná hodnota Ra = 4,23 Průměrná hodnota Rz = 23,59				Průměrná hodnota Ra = 5,10 Průměrná hodnota Rz = 27,73			

6-2-P (30 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]			
Ra	8,75	9,33	8,31	Ra	9,62	8,13	8,40
Rz	44,90	53,53	45,18	Rz	48,51	42,98	45,50
Ra	8,84	6,89	5,70	Ra	7,65	8,29	6,03
Rz	45,72	37,81	33,73	Rz	47,05	46,90	30,30
Ra	3,58	2,31	3,58	Ra	4,35	2,40	3,70
Rz	20,82	15,93	19,71	Rz	26,53	15,95	24,25
Ra	3,65	4,49	3,37	Ra	4,48	7,39	3,86
Rz	18,57	22,68	18,12	Rz	24,87	35,37	21,38
Ra	3,81	3,02	4,93	Ra	4,31	2,98	5,85
Rz	19,44	19,89	25,26	Rz	25,37	18,64	29,98
Ra	4,94	3,37	6,49	Ra	4,87	4,12	4,85
Rz	25,39	20,49	37,39	Rz	26,53	25,61	30,23
Průměrná hodnota Ra = 5,30 Průměrná hodnota Rz = 29,14				Průměrná hodnota Ra = 5,10 Průměrná hodnota Rz = 27,73			

6-2-L (30 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]			
Ra	6,68	6,13	6,64	Ra	5,27	5,35	5,40
Rz	37,47	37,30	40,64	Rz	29,02	32,05	29,83
Ra	4,25	3,21	3,54	Ra	3,88	4,66	3,84
Rz	24,26	19,11	20,73	Rz	21,17	24,31	20,36
Ra	3,37	4,92	3,77	Ra	3,83	3,61	4,57
Rz	20,96	24,34	21,87	Rz	28,99	19,64	28,06
Ra	4,34	5,14	4,15	Ra	4,49	5,02	4,53
Rz	25,51	30,24	24,26	Rz	26,32	28,94	24,96
Ra	4,49	4,93	4,78	Ra	4,56	5,26	8,13
Rz	25,60	28,46	29,15	Rz	23,29	31,22	38,27
Ra	3,33	4,35	4,42	Ra	7,00	4,96	4,39
Rz	16,71	23,79	22,93	Rz	36,08	26,17	22,08
Průměrná hodnota Ra = 4,58 Průměrná hodnota Rz = 26,60				Průměrná hodnota Ra = 4,93 Průměrná hodnota Rz = 27,26			

7-2-P (40 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]			
Ra	7,60	7,86	7,35	Ra	7,44	8,46	7,69
Rz	39,98	42,32	38,89	Rz	41,61	46,70	45,79
Ra	2,95	3,86	2,03	Ra	2,21	4,72	2,92
Rz	17,09	23,52	12,87	Rz	13,05	31,77	18,03
Ra	3,39	3,19	3,08	Ra	4,74	3,97	4,13
Rz	19,89	17,95	20,05	Rz	25,59	25,30	22,70
Ra	3,52	6,94	2,25	Ra	3,43	5,62	2,35
Rz	22,20	31,25	14,23	Rz	17,83	27,92	13,99
Ra	2,45	3,13	3,10	Ra	2,96	2,75	2,98
Rz	15,42	19,29	20,86	Rz	18,92	16,77	20,42
Ra	3,08	2,79	3,19	Ra	2,69	2,28	2,66
Rz	23,86	19,93	19,16	Rz	17,95	13,22	16,56
Průměrná hodnota Ra = 3,99 Průměrná hodnota Rz = 23,26				Průměrná hodnota Ra = 4,11 Průměrná hodnota Rz = 24,12			

7-2-L (40 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]			
Ra	1,50	1,77	2,12	Ra	1,62	1,62	1,70
Rz	10,65	13,35	16,31	Rz	10,69	10,30	13,78
Ra	3,56	3,32	4,29	Ra	4,08	4,45	3,73
Rz	23,62	20,39	28,63	Rz	24,32	24,47	23,17
Ra	3,90	3,74	4,49	Ra	3,01	3,83	4,10
Rz	24,14	23,81	31,80	Rz	19,70	24,55	28,09
Ra	8,17	5,31	3,88	Ra	9,44	4,79	3,13
Rz	41,03	27,37	24,33	Rz	46,68	30,14	19,53
Ra	5,10	6,95	8,14	Ra	5,82	6,47	9,42
Rz	26,58	35,40	39,64	Rz	28,56	36,22	46,38
Ra	4,80	4,93	3,32	Ra	4,31	7,31	2,97
Rz	25,14	27,20	19,00	Rz	23,51	36,35	22,19
Průměrná hodnota Ra = 4,41 Průměrná hodnota Rz = 25,47				Průměrná hodnota Ra = 4,54 Průměrná hodnota Rz = 26,04			

Pro abrazivní tryskání křem. pískem byla průměrná hodnota drsnosti (ve směru tryskání) Ra = 4,13  $\mu\text{m}$  a hodnota Rz = 22,93  $\mu\text{m}$ . Průměrné hodnoty jsou zapsány v tabulce 18.

Tabulka 18 - Průměrné hodnoty Ra a Rz pro abrazivní tryskání křemičitým pískem

		ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]	kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]
P	Průměrná hodnota Ra	4,09	4,58
	Průměrná hodnota Rz	22,77	25,69
L	Průměrná hodnota Ra	4,16	4,66
	Průměrná hodnota Rz	23,09	26,15

4.2.5. Tryskání tlakovou vodou (hloubka tryskání, účinnost)

Poslední technologií bylo tryskání vodním paprskem. Parametry tryskání jsou zapsány v tabulce 19. Výsledné hodnoty měření – hloubka tryskání a účinnost tryskání – lze najít v jednotlivých tabulkách 20.

Tabulka 19 - Parametry tryskání pomocí tlakové vody



<b>Tlak</b>	2000 bar
<b>Abrazivo</b>	voda
<b>Čas</b>	40 sekund







Obrázek 19 - Tryskání tlakovou vodou (2000 bar)



Tabulka 20 - Výsledky tryskání pomocí tlakové vody (hloubka tryskání a účinnost)



<b>Tryskání pomocí tlakové vody – hloubka tryskání a účinnost</b>	
<b>1-3-P (5 mm)</b>	<b>1-3-L (5 mm)</b>
	
<b>Hloubka tryskání: 150 mm (celé)</b> <b>Účinnost tryskání: 87 %</b>	<b>Hloubka tryskání: 150 mm (celé)</b> <b>Účinnost tryskání: 87 %</b>



2-3-P (10 mm)	2-3-L (10 mm)
	
<p><b>Hloubka tryskání: 40 mm</b>  <b>Účinnost tryskání: 20 %</b></p>	<p><b>Hloubka tryskání: 0 mm</b>  <b>Účinnost tryskání: 0 %</b></p>

3-3-P (15 mm)	3-3-L (15 mm)
	
<p><b>Hloubka tryskání: 25 mm</b>  <b>Účinnost tryskání: 17 %</b></p>	<p><b>Hloubka tryskání: 0 mm</b>  <b>Účinnost tryskání: 0 %</b></p>

4-3-P (20 mm)	4-3-L (20 mm)
	
<p><b>Hloubka tryskání: 50 mm</b>  <b>Účinnost tryskání: 28 %</b></p>	<p><b>Hloubka tryskání: 0 mm</b>  <b>Účinnost tryskání: 0 %</b></p>

5-3-P (25 mm)	5-3-L (25 mm)
	
<p><b>Hloubka tryskání: 105 mm</b>  <b>Účinnost tryskání: 58 %</b></p>	<p><b>Hloubka tryskání: 58 mm</b>  <b>Účinnost tryskání: 25 %</b></p>

6-3-P (30 mm)	6-3-L (30 mm)
	
<p><b>Hloubka tryskání: 150 mm (celé)</b>  <b>Účinnost tryskání: 72 %</b></p>	<p><b>Hloubka tryskání: 0 mm</b>  <b>Účinnost tryskání: 0 %</b></p>

7-3-P (40 mm)	7-3-L (40 mm)
	
<p><b>Hloubka tryskání: 150 mm (celé)</b>  <b>Účinnost tryskání: 100 %</b></p>	<p><b>Hloubka tryskání: 50 mm</b>  <b>Účinnost tryskání: 5 %</b></p>

Pomocí tryskání vodním paprskem došlo k otryskání celé délky u tří vzorků. Jednalo se o štěrbinu 5, 30 a 40 mm, avšak pouze u štěrbinu 5 mm došlo k otryskání obou stran vzorku. Účinnost a hloubka byla ve většině případů nulová u levých vzorků (proud vody byl mířen na pravý vzorek). Jediná odchylka byla u štěrbinu 25 mm, která mohla nastat vychýlením paprsku vody na krátký čas na levou stranu.



4.2.6. Tryskání tlakovou vodou (drsnost povrchu)

Tabulka 21 - Naměřené hodnoty Ra a Rz pro tryskání tlakovou vodou [ $\mu\text{m}$ ]

1-3-P (5 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]			
Ra	2,03	2,11	2,04	Ra	2,35	1,91	2,07
Rz	12,59	12,52	13,75	Rz	13,27	13,13	13,32
Ra	1,9	2,07	2,54	Ra	2,76	2,53	2,20
Rz	11,99	13,71	15,51	Rz	16,94	16,25	14,48
Ra	2,34	2,62	1,9	Ra	2,24	2,72	2,63
Rz	14,69	15,53	12,6	Rz	14,29	17,54	18,36
Ra	2,58	2,65	2,7	Ra	2,60	2,75	2,95
Rz	16,76	16,31	16,44	Rz	16,26	16,64	17,87
Ra	2,68	2,14	2,87	Ra	2,75	2,57	2,31
Rz	16,34	13,77	18,54	Rz	17,57	15,91	16,57
Ra	4,29	3,76	2,8	Ra	2,60	2,40	2,58
Rz	27,46	21,69	21,77	Rz	18,13	14,68	16,27
Průměrná hodnota Ra = 2,56 Průměrná hodnota Rz = 16,22				Průměrná hodnota Ra = 2,50 Průměrná hodnota Rz = 15,97			

1-3-L (5 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]			
Ra	6,52	8,22	7,01	Ra	8,35	8,25	7,27
Rz	36,12	45,07	41,31	Rz	45,83	48,82	36,94
Ra	6,30	6,59	6,67	Ra	7,10	6,83	8,31
Rz	34,87	36,84	37,34	Rz	37,86	43,16	45,69
Ra	5,96	8,01	7,54	Ra	7,20	7,80	8,74
Rz	33,65	44,52	44,12	Rz	40,49	39,77	46,76
Ra	5,92	7,18	7,01	Ra	7,32	8,83	6,86
Rz	36,19	41,30	38,45	Rz	38,33	42,24	35,88
Ra	8,98	7,45	6,26	Ra	6,46	5,85	6,40
Rz	48,17	39,51	38,85	Rz	35,59	37,69	36,15
Ra	7,06	5,67	7,29	Ra	6,79	8,37	6,93
Rz	39,49	27,75	41,34	Rz	33,14	46,64	40,55
Průměrná hodnota Ra = 6,98 Průměrná hodnota Rz = 39,16				Průměrná hodnota Ra = 7,43 Průměrná hodnota Rz = 40,64			

2-3-P (10 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]			
Ra	11,70	11,52	7,60	Ra	9,61	11,66	8,79
Rz	61,97	59,89	48,03	Rz	56,28	61,41	46,46
Ra	5,34	5,93	1,96	Ra	5,99	5,93	5,34
Rz	34,78	34,32	8,21	Rz	35,48	32,14	29,53
Ra	1,97	5,68	1,33	Ra	1,53	1,91	1,33
Rz	8,31	31,84	6,09	Rz	8,50	10,22	6,65
Ra	1,79	5,51	0,98	Ra	1,46	1,30	1,30
Rz	8,39	27,85	4,61	Rz	6,58	6,39	6,45
Ra	1,44	6,42	1,19	Ra	1,01	1,70	1,59
Rz	6,58	36,05	5,75	Rz	4,93	10,48	7,42
Ra	1,45	3,00	1,16	Ra	1,40	1,36	1,03
Rz	7,22	16,37	5,43	Rz	6,75	7,47	5,46
Průměrná hodnota Ra = 4,22 Průměrná hodnota Rz = 22,87				Průměrná hodnota Ra = 3,57 Průměrná hodnota Rz = 19,37			

2-3-L (10 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]			
Ra	0,88	1,04	0,66	Ra	0,68	0,90	0,80
Rz	4,50	5,39	3,27	Rz	3,62	4,42	3,90
Ra	0,75	2,60	0,79	Ra	0,74	1,04	1,35
Rz	4,17	14,43	4,14	Rz	4,71	5,19	6,83
Ra	1,20	0,87	0,64	Ra	0,55	0,89	0,77
Rz	5,84	6,01	4,20	Rz	2,87	5,23	4,02
Ra	0,52	0,76	1,26	Ra	0,44	0,69	0,91
Rz	3,43	4,19	6,58	Rz	3,00	5,88	4,36
Ra	0,49	5,86	0,62	Ra	0,66	1,16	0,61
Rz	2,83	34,48	3,15	Rz	3,58	8,02	3,48
Ra	0,76	0,78	0,53	Ra	0,53	0,72	0,57
Rz	6,68	3,63	3,08	Rz	3,27	3,85	3,59
Průměrná hodnota Ra = 1,17 Průměrná hodnota Rz = 6,67				Průměrná hodnota Ra = 0,78 Průměrná hodnota Rz = 4,43			

3-3-P (15 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]			
Ra	7,90	5,95	7,13	Ra	7,47	4,80	6,03
Rz	40,90	32,86	38,61	Rz	46,62	25,70	38,43
Ra	1,04	1,87	1,59	Ra	1,34	1,24	1,42
Rz	6,75	10,99	8,70	Rz	7,56	6,48	7,32
Ra	1,46	6,96	1,27	Ra	1,23	1,38	1,20
Rz	7,73	31,39	6,18	Rz	7,13	6,47	7,23
Ra	1,38	1,32	1,65	Ra	1,33	1,13	1,23
Rz	8,03	6,89	8,22	Rz	7,60	6,58	6,69
Ra	1,29	1,23	1,32	Ra	1,34	1,01	1,32
Rz	6,79	7,24	8,48	Rz	7,31	5,67	6,75
Ra	0,90	0,79	1,03	Ra	1,00	1,30	1,10
Rz	5,07	4,49	6,56	Rz	5,52	7,13	5,30
Průměrná hodnota Ra = 2,56 Průměrná hodnota Rz = 13,66				Průměrná hodnota Ra = 2,05 Průměrná hodnota Rz = 11,75			

3-3-L (15 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]			
Ra	0,58	1,48	0,52	Ra	0,60	1,38	0,54
Rz	3,27	9,94	3,31	Rz	4,27	8,59	2,75
Ra	0,69	4,56	0,43	Ra	0,38	4,94	0,26
Rz	4,62	24,01	2,32	Rz	2,79	26,39	1,63
Ra	0,31	0,53	0,41	Ra	0,47	0,37	0,45
Rz	2,07	3,16	2,53	Rz	2,87	2,51	2,99
Ra	0,47	0,33	0,36	Ra	0,36	0,38	0,53
Rz	2,64	2,24	2,59	Rz	2,53	2,49	3,48
Ra	0,56	0,96	0,34	Ra	0,96	0,67	0,46
Rz	3,88	8,14	2,30	Rz	6,08	4,95	4,50
Ra	0,61	0,54	0,41	Ra	0,58	0,44	0,46
Rz	4,39	5,30	2,53	Rz	4,54	3,40	2,68
Průměrná hodnota Ra = 0,78 Průměrná hodnota Rz = 4,96				Průměrná hodnota Ra = 0,79 Průměrná hodnota Rz = 4,97			

4-3-P (20 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]			
Ra	3,96	4,21	2,18	Ra	3,46	3,94	3,55
Rz	29,34	26,70	15,07	Rz	19,16	27,75	23,13
Ra	3,75	2,57	1,75	Ra	2,09	2,33	1,99
Rz	23,60	15,18	10,21	Rz	13,31	15,23	12,45
Ra	0,55	5,60	1,96	Ra	2,03	4,85	2,19
Rz	3,26	24,85	10,50	Rz	13,11	23,82	13,76
Ra	0,36	0,61	0,49	Ra	0,51	0,87	0,45
Rz	2,38	4,30	2,73	Rz	2,73	4,40	2,48
Ra	0,44	0,44	0,37	Ra	0,53	0,41	0,48
Rz	2,67	2,80	2,02	Rz	2,83	2,30	2,88
Ra	0,52	0,61	0,59	Ra	1,32	0,31	0,32
Rz	2,97	3,30	2,96	Rz	10,38	2,53	1,90
Průměrná hodnota Ra = 1,72 Průměrná hodnota Rz = 10,27				Průměrná hodnota Ra = 1,76 Průměrná hodnota Rz = 10,79			

4-3-L (20 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]			
Ra	0,53	0,88	1,00	Ra	0,69	1,17	0,78
Rz	3,49	5,77	6,54	Rz	4,05	8,44	4,60
Ra	0,87	1,07	0,62	Ra	1,13	0,83	0,69
Rz	4,69	5,63	3,90	Rz	5,46	5,75	4,05
Ra	0,46	0,59	0,70	Ra	0,71	1,29	1,06
Rz	2,86	4,21	4,50	Rz	3,80	8,17	5,61
Ra	0,70	6,37	0,84	Ra	0,92	6,96	0,87
Rz	4,27	31,46	4,75	Rz	4,73	36,22	5,47
Ra	0,69	0,67	0,59	Ra	0,85	1,24	0,83
Rz	4,43	3,72	3,74	Rz	4,51	6,60	5,21
Ra	0,66	0,53	0,48	Ra	1,30	0,49	0,59
Rz	4,38	3,09	2,85	Rz	6,52	2,82	3,55
Průměrná hodnota Ra = 1,01 Průměrná hodnota Rz = 5,79				Průměrná hodnota Ra = 1,24 Průměrná hodnota Rz = 6,98			

5-3-P (25 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]			
Ra	1,26	1,45	1,28	Ra	1,36	1,30	1,43
Rz	8,71	8,89	7,86	Rz	8,58	8,09	8,76
Ra	1,21	1,19	1,22	Ra	1,54	1,57	1,39
Rz	8,13	8,14	7,44	Rz	9,63	10,09	8,58
Ra	1,39	1,30	1,26	Ra	1,38	1,32	1,28
Rz	9,56	8,55	8,79	Rz	8,28	8,62	7,13
Ra	0,45	1,29	1,30	Ra	0,25	1,32	1,56
Rz	2,81	8,07	8,15	Rz	1,74	8,35	9,04
Ra	0,29	1,30	0,54	Ra	0,25	1,47	0,23
Rz	2,20	7,85	4,93	Rz	1,84	8,84	1,96
Ra	0,26	1,25	0,27	Ra	0,39	1,25	0,29
Rz	1,81	8,32	2,42	Rz	4,25	7,35	1,79
Průměrná hodnota Ra = 1,03 Průměrná hodnota Rz = 6,81				Průměrná hodnota Ra = 1,09 Průměrná hodnota Rz = 6,83			

5-3-L (25 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]			
Ra	2,51	2,65	2,64	Ra	3,46	1,57	0,92
Rz	16,15	13,81	15,17	Rz	24,57	14,81	5,43
Ra	2,91	2,14	2,97	Ra	0,89	0,71	1,15
Rz	18,55	12,13	19,84	Rz	9,23	4,50	8,75
Ra	0,65	2,76	2,51	Ra	0,70	3,40	2,56
Rz	4,63	15,92	14,52	Rz	3,48	19,13	13,57
Ra	0,81	0,67	0,71	Ra	0,54	0,52	0,48
Rz	5,27	4,61	3,70	Rz	3,78	3,33	3,03
Ra	0,77	0,78	0,69	Ra	0,51	0,66	0,49
Rz	3,98	4,41	3,45	Rz	2,89	4,76	3,10
Ra	0,81	0,85	0,82	Ra	0,56	0,58	0,64
Rz	4,02	6,44	4,23	Rz	3,17	3,60	5,04
Průměrná hodnota Ra = 1,59 Průměrná hodnota Rz = 9,49				Průměrná hodnota Ra = 1,13 Průměrná hodnota Rz = 7,57			

6-3-P (30 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]			
Ra	1,87	1,60	1,93	Ra	1,53	1,96	2,60
Rz	12,24	10,32	11,65	Rz	9,69	11,36	16,19
Ra	1,42	1,95	1,66	Ra	1,83	3,04	1,76
Rz	9,09	12,83	10,31	Rz	11,85	20,88	11,20
Ra	1,84	1,51	1,64	Ra	0,89	1,30	1,21
Rz	11,63	9,69	9,17	Rz	5,20	8,25	7,39
Ra	1,72	1,76	1,55	Ra	0,92	1,42	1,73
Rz	12,18	11,30	9,35	Rz	5,10	8,85	10,35
Ra	0,68	1,69	1,59	Ra	0,85	1,36	4,14
Rz	3,63	11,78	10,41	Rz	6,25	8,09	26,40
Ra	0,90	1,64	2,12	Ra	0,91	1,47	1,98
Rz	5,16	10,08	11,97	Rz	5,10	8,89	13,44
Průměrná hodnota Ra = 1,62 Průměrná hodnota Rz = 10,16				Průměrná hodnota Ra = 1,72 Průměrná hodnota Rz = 10,80			

6-3-L (30 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]			
Ra	0,21	0,51	0,50	Ra	0,32	0,55	0,45
Rz	1,21	3,93	2,67	Rz	2,34	5,30	2,61
Ra	0,58	5,32	0,55	Ra	0,47	4,86	0,61
Rz	6,27	26,97	3,06	Rz	3,16	27,06	3,50
Ra	0,44	0,47	0,72	Ra	0,48	0,30	0,63
Rz	3,37	3,57	4,97	Rz	3,23	1,80	3,19
Ra	2,17	1,95	2,07	Ra	1,76	1,94	2,56
Rz	12,51	11,71	12,21	Rz	10,53	11,86	16,56
Ra	1,52	4,32	3,19	Ra	1,31	2,16	2,17
Rz	10,40	23,77	19,96	Rz	8,87	15,45	12,80
Ra	2,60	3,29	5,80	Ra	1,99	3,76	8,11
Rz	15,07	20,29	32,37	Rz	9,97	20,84	37,63
Průměrná hodnota Ra = 2,01 Průměrná hodnota Rz = 11,91				Průměrná hodnota Ra = 1,91 Průměrná hodnota Rz = 10,93			

7-3-P (40 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]			
Ra	8,02	9,33	8,33	Ra	7,86	8,83	7,98
Rz	42,76	58,42	42,95	Rz	48,94	53,17	46,95
Ra	7,72	10,63	7,71	Ra	7,91	7,88	8,10
Rz	40,83	56,48	44,68	Rz	46,33	43,68	46,29
Ra	6,51	6,42	6,91	Ra	5,83	7,00	8,61
Rz	36,49	36,33	42,24	Rz	35,19	43,86	45,87
Ra	7,98	7,02	6,54	Ra	6,00	6,58	7,65
Rz	44,77	35,16	38,83	Rz	35,95	40,94	44,87
Ra	5,79	8,90	7,52	Ra	6,96	7,23	9,41
Rz	32,24	49,49	45,05	Rz	34,90	39,08	52,50
Ra	7,82	5,94	6,06	Ra	7,13	7,77	6,36
Rz	39,37	33,58	35,15	Rz	38,56	45,90	36,87
Průměrná hodnota Ra = 7,51 Průměrná hodnota Rz = 41,93				Průměrná hodnota Ra = 1,91 Průměrná hodnota Rz = 10,93			

7-3-L (40 mm)							
Měření ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]				Měření kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]			
Ra	1,10	0,42	0,48	Ra	0,92	0,33	0,32
Rz	12,26	3,53	2,73	Rz	9,38	2,79	2,27
Ra	1,71	0,82	0,32	Ra	2,99	2,64	0,49
Rz	11,12	4,35	2,33	Rz	15,33	22,06	3,10
Ra	0,30	0,94	0,31	Ra	0,52	0,91	0,53
Rz	2,45	7,54	2,02	Rz	2,72	6,47	3,21
Ra	0,39	6,53	0,33	Ra	0,59	4,58	0,51
Rz	3,02	29,04	2,97	Rz	5,18	21,31	3,86
Ra	0,35	0,38	0,35	Ra	0,59	0,67	0,34
Rz	2,21	2,48	2,48	Rz	3,72	3,60	2,28
Ra	1,37	0,52	0,62	Ra	0,33	0,42	0,64
Rz	8,52	3,19	3,67	Rz	2,45	2,77	4,32
Průměrná hodnota Ra = 0,96 Průměrná hodnota Rz = 5,88				Průměrná hodnota Ra = 1,02 Průměrná hodnota Rz = 6,49			

Pro abrazivní tryskání vodním paprskem byla průměrná hodnota drsnosti (ve směru tryskání) Ra = 2,54  $\mu\text{m}$  a Rz = 14,7  $\mu\text{m}$ . Průměrné hodnoty jsou zapsány v tabulce 22.

Tabulka 22 - Průměrné hodnoty Ra a Rz pro abrazivní tryskání tlakovou vodou

		ve směru tryskání [ $\mu\text{m}$ ]	kolmo na směr tryskání [ $\mu\text{m}$ ]
P	Průměrná hodnota Ra	3,03	2,89
	Průměrná hodnota Rz	17,42	16,98
L	Průměrná hodnota Ra	2,07	2,04
	Průměrná hodnota Rz	11,98	11,72

### 4.3. Porovnání technologií

V této kapitole budou porovnány jednotlivé technologie z hlediska následujících 3 parametrů:

- hloubka tryskání,
- účinnost tryskání,
- výsledná drsnost Ra a Rz (a splnění podmínek pro vhodné nanesení nátěrového systému).

Hodnoty hloubky tryskání a účinnosti jsou zapsány v tabulce 23 pro pravý vzorek a v tabulce 24 pro levý vzorek. Hodnoty jsou rozděleny dle jednotlivých technologií a velikosti štěrbin. Bližší porovnání bude pomocí grafů a jeho popisu.

Tabulka 23 - Porovnání hodnot hloubky a účinnosti tryskání (pravý vzorek)

Velikost štěrbin	Pravý vzorek					
	Ocelová drť		Křemičitý písek		Vodní paprsek	
	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]
5	30	33	25	28	150	87
10	50	55	50	30	40	20
15	80	88	50	22	25	17
20	30	60	45	20	50	28
25	50	60	35	17	105	58
30	85	72	50	35	150	72
40	100	66	70	75	150	100

Tabulka 24 - Porovnání hodnot hloubky a účinnosti tryskání (levý vzorek)

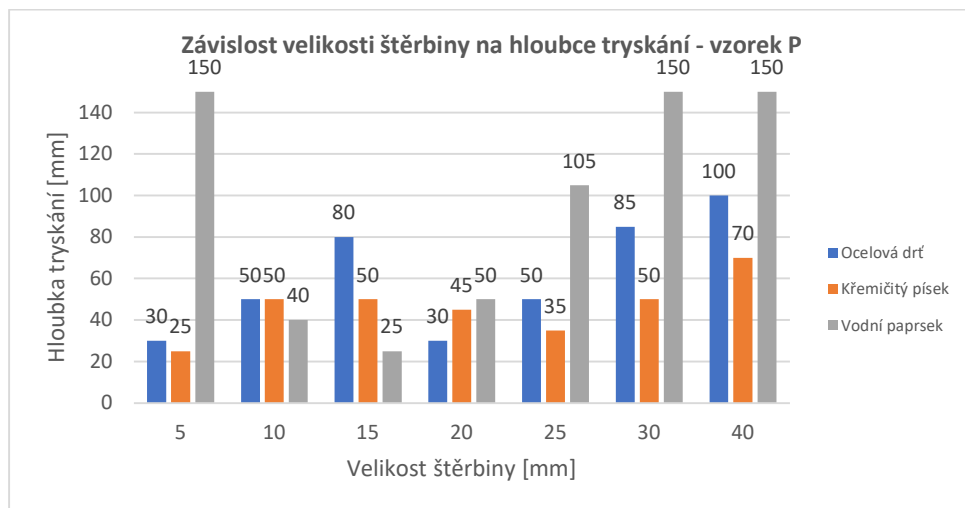
Velikost štěrbin	Levý vzorek					
	Ocelová drť		Křemičitý písek		Vodní paprsek	
	[mm]	[%]	[mm]	[mm]	[%]	[mm]
5	35	33	10	20	150	87
10	25	17	5	1	0	0
15	45	45	5	1	0	0
20	40	55	115	33	0	0
25	30	45	110	28	58	25
30	65	66	40	25	0	0
40	85	58	75	55	50	5



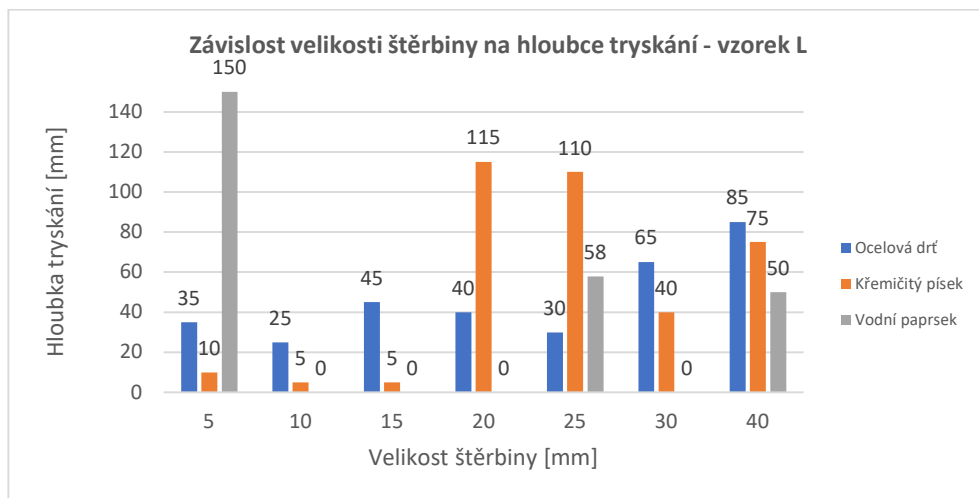
Porovnání hodnot drsností je mnohem složitější. Je nutné porovnat zvlášť Ra, Rz, pravý, levý vzorek a měření drsnosti ve směru a kolmo na směr tryskání. Z tohoto důvodu máme k dispozici porovnání vždy 8 hodnot pro danou technologii. Jednotlivé hodnoty jsou zapsány v tabulce 25.

Tabulka 25 - Porovnání hodnot Ra a Rz pro jednotlivé technologie

<b>Abrazivní tryskání ocelovou drtí</b>			
		ve směru tryskání [ $\mu m$ ]	kolmo na směr tryskání [ $\mu m$ ]
P	Průměrná hodnota Ra	5,86	6,44
	Průměrná hodnota Rz	31,49	35,53
L	Průměrná hodnota Ra	5,79	6,52
	Průměrná hodnota Rz	30,92	38,00
<b>Abrazivní tryskání křemičitým pískem</b>			
		ve směru tryskání [ $\mu m$ ]	kolmo na směr tryskání [ $\mu m$ ]
P	Průměrná hodnota Ra	4,09	4,58
	Průměrná hodnota Rz	22,77	25,69
L	Průměrná hodnota Ra	4,16	4,66
	Průměrná hodnota Rz	23,09	26,15
<b>Tryskání tlakovou vodou</b>			
		ve směru tryskání [ $\mu m$ ]	kolmo na směr tryskání [ $\mu m$ ]
P	Průměrná hodnota Ra	3,03	2,89
	Průměrná hodnota Rz	17,42	16,98
L	Průměrná hodnota Ra	2,07	2,04
	Průměrná hodnota Rz	11,98	11,72



Graf 2 - Závislost velikosti štěrbin na hloubce tryskání – vzorek P

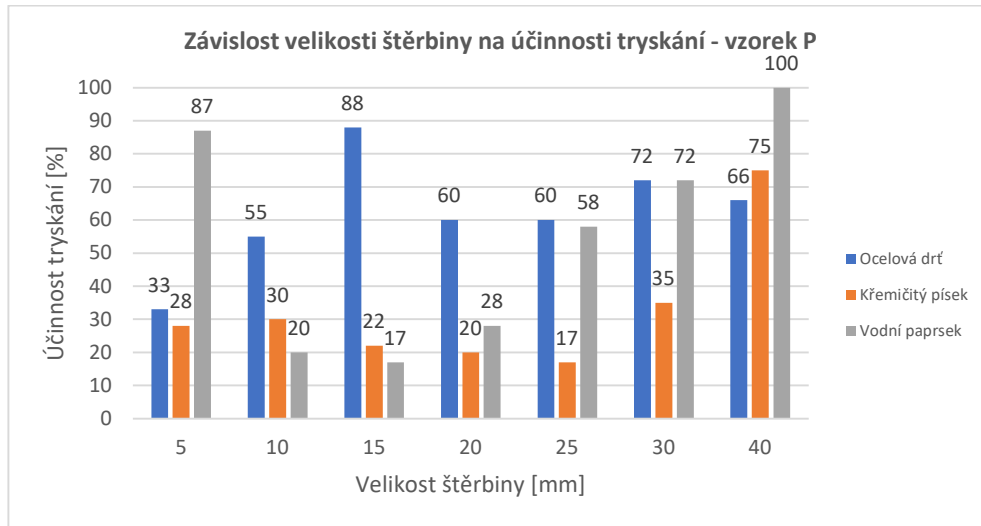


Graf 3 - Závislost velikosti štěrbin na hloubce tryskání – vzorek L

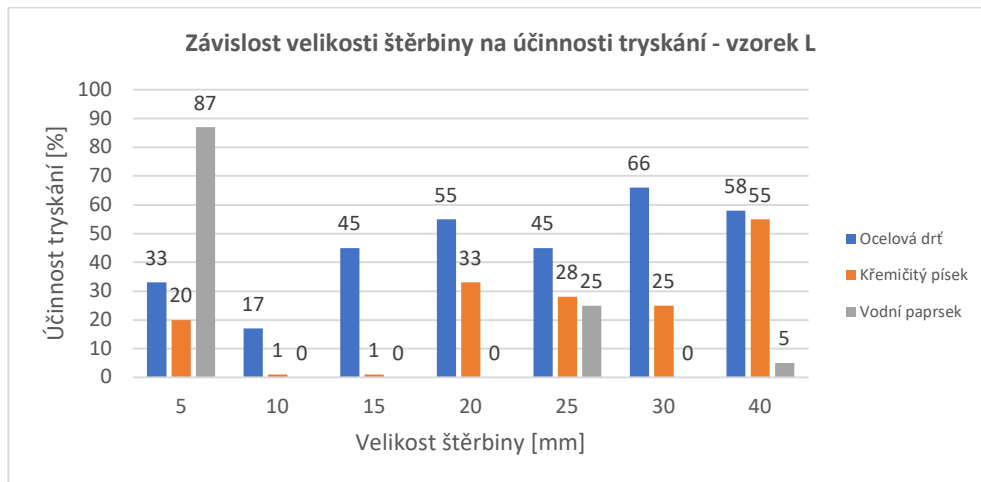
Grafy 2 a 3 popisují závislost velikosti štěrbin na hloubce tryskání pro pravý a levý vzorek. Z grafů je patrné, že větší hloubka tryskání byla dosahována na vzorku P, na který byl cílen proud abraziva (popřípadě paprsek vody). Dále je možné si všimnout, že nejvyšších hloubek bylo dosaženo pomocí tryskání vodním paprskem, který jako jediný umožnil otryskat štěrbinu 5 mm. Poté, co se součást otryská touto metodou, je nutné si dát pozor na bleskovou korozi. Tato koroze je patrná na několika vzorcích, které nebyly dostatečně osušeny. Dále je nutné vyvinout proud na obě strany vzorku, jelikož jak je patrné na grafu 3 z velké části nedocházelo k otryskání levé strany. Jediná výjimka nastala u štěrbin velikosti 25 mm, což mohlo být způsobeno vychýlením (posunutím) paprsku více doleva. Předpokladem tryskání tlakovou vodou z grafu 2 je, že by se dalo dosáhnout plného otryskání štěrbin již od velikosti 5 mm a vyš. K nepřesnostem v grafu mohlo dojít z důvodu krátkého času tryskání, nedostatečného tlaku nebo z důvodu nižších praktických zkušeností obsluhy. Druhé nejvyšší hloubky vykazovala technologie tryskání pomocí ocelové drtě a nejnižší hloubky dosahovala technologie tryskání křemičitým pískem.

Vyšších hloubek by bylo například možné dosáhnout prodloužením času tryskání, využitím oboustranného tryskání u průchozích štěrbin, nebo posunutím trysky hlouběji do štěrbin za předpokladu, že to její velikost dovolí.

A jako poslední je nutné brát v potaz zkušenost obsluhy. Zkušenější obsluha zajistí lepší stabilitu a opakovatelnost dobrého výkonu tryskání.



Graf 4 - Závislost velikosti štěrbiny na účinnosti tryskání – vzorek P

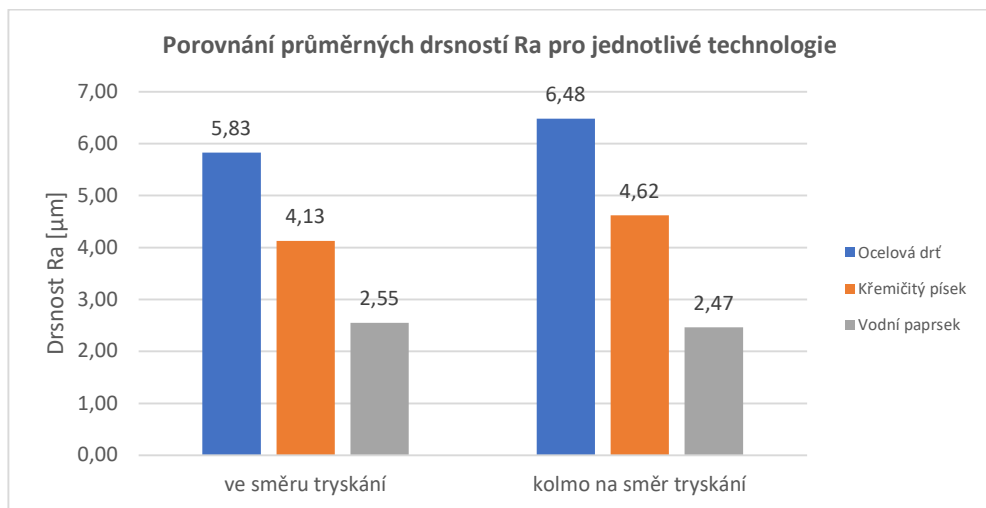


Graf 5 - Závislost velikosti štěrbiny na účinnosti tryskání – vzorek L

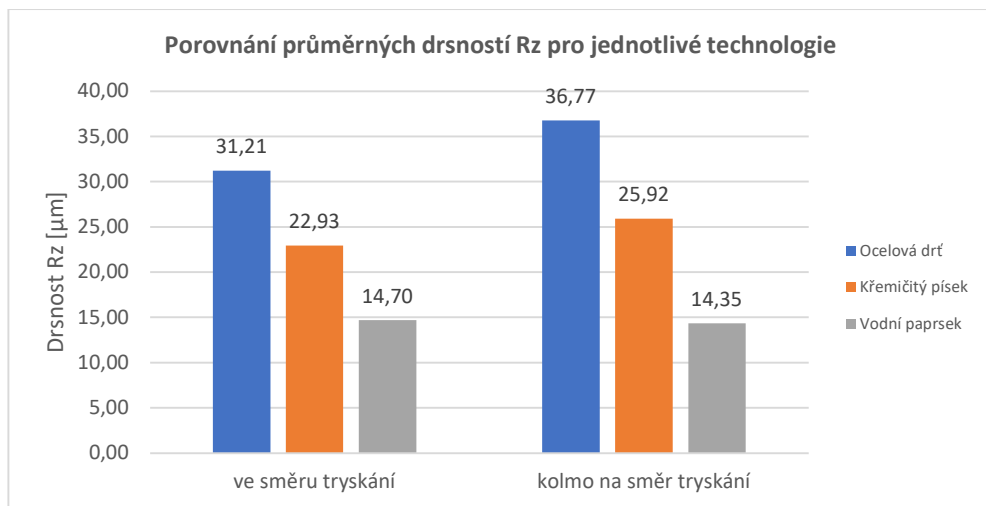
Grafy 4 a 5 popisují závislost velikosti štěrbiny na účinnosti tryskání pro pravý a levý vzorek. Vyšší účinnost byla vždy dosahována opět na vzorku P. Zde podobně jako u hloubky tryskání by bylo nutné využít delšího času tryskání, tryskat obě strany štěrbiny a použití oboustranného tryskání pro dosažení 100% účinnosti v celé ploše.

Nejvyšší účinnost byla pozorována u technologie tryskání ocelovou drtí a vodním paprskem. Avšak tyto hodnoty jsou vždy závislé na dané velikosti štěrbiny.

Pokud budeme pozorovat na grafu 5 účinnost tryskání pro levou stranu vzorku, je patrné, že tryskání ocelovou drtí mělo mnohem vyšší účinnosti oproti ostatním technologiím. Docházelo zde k většímu rozptylu odletujících částic po odrazu od pravé strany štěrbiny.



Graf 6 - Porovnání průměrných drsností Ra pro jednotlivé technologie



Graf 7 - Porovnání průměrných drsností Rz pro jednotlivé technologie

Grafy 6 a 7 porovnávají průměrné drsnosti Ra a Rz pro jednotlivé technologie a směr měření. Nejvyšší naměřené hodnoty Ra a Rz byly pozorovány u technologie tryskání pomocí ocelové drtě, dále pak pomocí křemičitého písku a nejmenší drsnost byla u tryskání tlakovou vodou.

Drsnost povrchu je jedním z nejdůležitějších faktorů pro následné nanášení nové protikorozní ochrany (PKO). Pro správnou adhezi povrchu se uvádí hodnoty Ra = 6–8  $\mu\text{m}$  a hodnoty Rz = 24–48  $\mu\text{m}$ . Z tohoto hlediska se dá říct, že technologie tryskání pomocí ocelové drtě splňuje požadavky na drsnost povrchu pro následné nanášení nové PKO. Technologie tryskání pomocí křemičitého písku a tlakovou vodou tyto požadavky nespĺňují.

#### 4.4. Technicko-ekonomické zhodnocení

V následující kapitole bude porovnáno technicko-ekonomické hodnocení daných technologií. Nejdůležitějším parametrem tohoto hodnocení jsou pořizovací náklady daných abrazivních prostředků. V následující tabulce 26 jsou přibližné ceny od prodejců, kde se tato abraziva využít v experimentu dají koupit. V experimentu bylo využito dvou abrazivních prostředků a vody, které jsou zde cenově srovnány. Ceny se mohou lišit v závislosti na daném dodavateli.

Tabulka 26 - Technicko-ekonomické zhodnocení abraziv

Abrazivo	Cena [Kč/25 kg]	Tvrдость	Velikost zrna [mm]
Ocelová drť GL 25	666,-	570-650 HV	0,43-0,71
Křemičitý písek ST 06/12 PA50	166,-	7	0,63-1,25

poznámka.: tvrdost křemičitého písku je uváděna v Mohsově stupnici tvrdosti

Dále bylo nutné zjistit cenu vody, která se liší pro jednotlivé kraje a města. Experiment byl prováděn v Praze, a tudíž byly použity ceny z této oblasti (51,- Kč . m<sup>-3</sup>).

V tabulce 27 se nachází ceny jednotlivých technologií. Jedná se o ceny experimentu, tudíž o cenu tryskání 7 vzorků po dobu 40 sekund. Cena je pouze orientační.

Tabulka 27 - Porovnání cen jednotlivých technologií pro experiment

Technologie	Výsledná cena otryskání experimentu
Tryskání ocelovou drťí GL 25	58,50 Kč
Tryskání křemičitým pískem ST 06/12 PA50	14,61 Kč
Tryskání tlakovou vodou	4,65 Kč

Jak je viditelné z tabulky 27, nejlevnější technologií je tryskání tlakovou vodou, dále pak tryskání křemičitým pískem a nejdražší technologií je tryskání ocelovou drťí. Je nutné však brát v potaz, že ačkoliv je tryskání ocelovou drťí 4x dražší technologií než například tryskání křemičitým pískem (12,5x dražší než tryskání tlakovou vodou), tak má své jisté výhody. V tabulce 27 je totiž porovnávaná pouze vstupní cena pro otryskání 7 vzorků, nikoliv další parametry dané technologie, které cenu ovlivňují. Jednou z hlavních výhod tryskání ocelovou drťí je její recyklovatelnost. Toto abrazivo lze zbavit nečistot a využít opakovaně, na rozdíl od zbylých dvou technologií, kde je jednorázové využití. Tato skutečnost pak může hrát velkou roli z ekonomického pohledu v praxi na velké konstrukce. Dále není třeba dalšího ošetření povrchu jako by bylo nutné při tryskání tlakovou vodou (sušení z důvodu bleskové koroze) nebo dalšího tryskání pro zvýšení drsnosti pro dodržení parametrů nanášení nové protikorozi ochrany. Dále pak bude ušetřen materiál vzhledem k nutnému času tryskání.

## 5. Závěr

Jedním z hlavních problémů ocelových konstrukcí postavených před dvaceti a více lety je uplynutí doby životnosti protikorozní ochrany. Ve většině případů jsou tyto konstrukce vystavovány koroznímu prostředí, které narušuje ochranu. Může dojít až k úplnému porušení protikorozní ochrany a zkorodování celé konstrukce. Z tohoto důvodu je nutná obnova PKO. U příhradových konstrukcí se nachází velmi úzké mezery (štěrbiny), u kterých dochází k velmi obtížnému odstranění PKO.

Hlavním cílem této diplomové práce bylo nalezení vhodné předúpravy těchto obtížně dostupných míst (štěrbin). V práci byly porovnány 3 technologie tryskání. Tryskání ocelovou drtí GL25, tryskání křemičitým pískem ST 06/12 PA 50 a tryskání tlakovou vodou. Hlavními parametry byly určeny hloubka tryskání, účinnost tryskání a výsledná drsnost povrchu. Porovnání jednotlivých technologií proběhlo v kapitole 4.3.

Výsledkem měření bylo, že nejvýhodnější technologií z hlediska hloubky tryskání je technologie tryskání tlakovou vodou. Z hlediska účinnosti byla nejvýhodnější technologie tryskání ocelovou drtí a tlakovou vodou. Posledním hlediskem byla drsnost povrchu, která je nejdůležitějším faktorem pro následné nanášení nové protikorozní ochrany. Pro správnou adhezi povrchu se uvádí hodnoty  $R_a = 6\text{--}8 \mu\text{m}$  a hodnoty  $R_z = 24\text{--}48 \mu\text{m}$ . Tento parametr splňovala pouze technologie tryskání pomocí ocelové drtě. Průměrná hodnota drsnosti  $R_a$  pro technologii tryskání ocelovou drtí byla  $5,83 \mu\text{m}$ ,  $R_z = 31,21 \mu\text{m}$  (měřeno ve směru tryskání) a pro měření kolmo na směr tryskání bylo  $R_a = 6,48 \mu\text{m}$  a  $R_z = 36,77 \mu\text{m}$ .

V kapitole 4.4. byly technologie porovnány z hlediska technicko-ekonomického hlediska. Pokud budeme brát v potaz pouze cenu experimentu, bylo nejvýhodnější metodou tryskání tlakovou vodou. A však v předchozí kapitole byly popsány důvody, proč cena abraziva není jediný parametr pro ekonomické hodnocení.

Závěrem lze říci, že nejvýhodnější technologií je abrazivní tryskání pomocí ocelové drtě. Je však nutná další modifikace z hlediska volby trysek, různých abraziv, tlaků, časů tryskání nebo kombinace několika technologií (například tryskání tlakovou vodou pro očištění původní protikorozní ochrany a následné abrazivní tryskání pro získání vhodné drsnosti povrchu).

## 6. Použitá literatura

- [1] STUDNIČKA, Jiří. *Ocelové konstrukce*. Vyd. 2. přepr. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004.
- [2] *Výroba železa a oceli: Referenční dokument nejlepších dostupných technik (BAT)* [online]. 2010 [cit. 2020-06-12]. Dostupné z: [https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/prumysl-a-zivotni-prostredi/ippc-integrovana-prevence-a-omezovani-znecistení/referencni-dokumenty-bref/2017/1/BREF\\_Zelezo\\_final\\_v2.pdf](https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/prumysl-a-zivotni-prostredi/ippc-integrovana-prevence-a-omezovani-znecistení/referencni-dokumenty-bref/2017/1/BREF_Zelezo_final_v2.pdf)
- [3] *Konkurenceschopnost českého ocelářského průmyslu: Odvětvový svaz hutnictví železa* [online]. 2016 [cit. 2020-06-12]. Dostupné z: [https://www.spcr.cz/images/mat\\_Konkurenceschopnost.pdf](https://www.spcr.cz/images/mat_Konkurenceschopnost.pdf)
- [4] KARMAZÍNOVÁ, Marcela. *KOVOVÉ MOSTY I: MATERIÁL KOVOVÝCH MOSTŮ, STABILITA POLOHY, MOSTNÍ SVRŠEK A MOSTOVKA ŽELEZNIČNÍCH MOSTŮ, PLNOSTĚNNÉ TRÁMOVÉ MOSTY* [online]. Brno, 2006 [cit. 2020-04-02]. Dostupné z: [http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BO09-Kovove%20mosty%20I-Opory/BO09\\_M02.pdf](http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BO09-Kovove%20mosty%20I-Opory/BO09_M02.pdf)
- [5] Hansas, Katrin. *Basics Steel Construction*, Walter de Gruyter GmbH, 2015. ProQuest Ebook Central, <https://ebookcentral.proquest.com/lib/cvut/detail.action?docID=5158779>.
- [6] KOHUT, Jiří. *ZKUŠENOSTI S POUŽITÍM PATINUJÍCÍCH OCELÍ JAKO KONSTRUKČNÍHO A FUNKČNÍHO MATERIÁLU* [online]. Ostrava [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: [https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/99341/KOH0027\\_FMMI\\_B3923\\_3911R030\\_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/99341/KOH0027_FMMI_B3923_3911R030_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Bakalářská práce. Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Doc. Ing. Jaroslav BYSTRANSKÝ, CSc.
- [7] *Železniční most spojující pražský Smíchov a Výtoň* [online]. In: , CC0 Creative Commons. [cit. 2020-04-02]. Dostupné z: [https://www.irozhlas.cz/zpravy-domov/most-vysehrad-smichov-vyton-demolice\\_1805241740\\_pla](https://www.irozhlas.cz/zpravy-domov/most-vysehrad-smichov-vyton-demolice_1805241740_pla)
- [8] KUDLÁČEK, Jan, Petr POKORNÝ a Radek POKORNÝ. *Experimentální ověření metod tryskání a odstranění koroze na mostě pod Vyšehradem*. ČVUT v Praze, 2019. Závěrečná zpráva. ČVUT, Fakulta stavební. Vedoucí práce Doc. Ing. Pavel Ryjáček, Ph.D.
- [9] *Early Detection of Steel Rebar Corrosion by Acoustic Emission Monitoring* [online]. [cit. 2020-04-02]. Dostupné z: <https://rosap.nsl.bts.gov/view/dot/12999>
- [10] ŠULC, RADEK. DĚLENÍ KOROZE PODLE DRUHU NAPADENÍ. IN: FS.CVUT.CZ [ONLINE]. PRAHA: FS ČVUT, 2008 [CIT. 2018-03-30]. DOSTUPNÉ Z: [http://www1.fs.cvut.cz/cz/U218/pedagog/predmety/1rocnik/chemie1r/prednes/Ch\\_predn13-Ko.pdf](http://www1.fs.cvut.cz/cz/U218/pedagog/predmety/1rocnik/chemie1r/prednes/Ch_predn13-Ko.pdf)
- [11] DAVIS, J.R. *Corrosion: Understanding the basics* [online]. USA [cit. 2020-06-14]. ISBN 0-87170-641-5. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/cvut/reader.action?docID=3002408&query=types+of+corrosion>
- [12] CICEK, Volkan. *Corrosion Engineering: Understanding the basics* [online]. USA [cit. 2020-06-14]. ISBN 978-1-118-72089-9. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/cvut/reader.action?docID=1666481&query=types+of+corrosion>
- [13] ČSN EN ISO 9223. *Koroze kovů a slitin – Korozní agresivita atmosféry: Klasifikace, stanovení a odhad*. 2012.

- [14] *Mapy korozních úbytků* [online]. In: . [cit. 2020-04-02]. Dostupné z: [http://www.atmofix.cz/modely\\_cz.php](http://www.atmofix.cz/modely_cz.php)
- [15] ČSN EN ISO 9227. *Korozní zkoušky v umělých atmosférách - Zkoušky solnou mlhou*. 2017.
- [16] ČSN EN ISO 6270. *Nátěrové hmoty - Stanovení odolnosti proti vlhkosti - Část 2: Kondenzace (expozice v komoře se zásobníkem ohřáté vody)*. 2018.
- [17] *Předpis SŽDC S5/4: Ochranné nátěrové systémy*. In: . Dostupné také z: <https://www.szdc.cz/dodavatele-odberatele/technicke-pozadavky-na-vyrobky-zarizeni-a-technologie-pro-zdc/zeleznicni-mosty-a-tunely/3.2.ochr.nater.systemy>
- [18] ČSN EN ISO 12944. *Nátěrové hmoty - Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy*. 2018.
- [19] ČSN EN ISO 8501 -1. *Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků: Stupně zarezavění a stupně přípravy ocelového podkladu bez povlaku a ocelového podkladu po úplném odstranění předchozích povlaků*. 2007.
- [20] *Technologie tryskání metacími jednotkami* [online]. Praha, 2015 [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/63437/F2-BP-2015-Kedra-Alexandr-bakalarka.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Bakalářská práce. ČVUT v Praze. Vedoucí práce Doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.
- [21] *Tlakový a injektorový způsob tryskání* [online]. In: . [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <http://tryskani-piskovani.gds.cz/tryskaci-systemy>
- [22] ACHTSNICK, M. a P.F. GEELHOED. *Modelling and evaluation of the micro abrasive blasting process* [online]. 2005 [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043164805000918>
- [23] WOODSON, Jerry P. *Wet abrasive blasting method and apparatus*. United States. US5412910A. Dostupné z: <https://patents.google.com/patent/US5412910A/en>.
- [24] EASTON, Niel. *Wet abrasive blasting*. United States. US4125969A. Dostupné z: <https://patents.google.com/patent/US4125969A/en>.
- [25] JACOBS, Patrick T. *Abrasive blasting system with waste water recycling*. United States. US5545074A. Dostupné z: <https://patents.google.com/patent/US5545074A/en>.
- [26] ČSN EN ISO 8501-4. *Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků: Výchozí stav povrchu, stupně přípravy a bleskové koroze po vysokotlakém tryskání vodou*. 2007.
- [27] KREIBICH, Viktor a Karel HOCH. *Koroze a technologie povrchových úprav*. 2. Praha: ČVUT, 1991
- [28] Výkon při broušení. *Elektronická učebnice* [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1278>
- [29] Extol 404116 přímá bruska s nastavcem. In: *MaxTechnika* [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.maxtechnika.cz/p/extol-404116-prima-bruska-s-nastavcem>
- [30] Kartáčování kovových povrchů. In: *Chatař Chalupář* [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.chatar-chalupar.cz/kartacovani-kovovych-povrchu/>
- [31] RUČNÍ NÁŘADÍ, ELEKTRICKÉ NÁŘADÍ. In: *Nako* [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.nako.cz/>
- [32] Odstranění starých nátěrů. In: *BioTec* [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://biotec.cz/myti-cisteni-povrchu-budov/odstraneni-starych-nateru-a-pryskyricnych-nastriku>



- [33] SPUR, G., UHLMANN, E.; ELBING, F.: Dry-ice blasting for cleaning: process, optimization and application. In *Wear*, Vol. 233-235, pp 402-411, 1999. ISSN 0043-1648.
- [34] KONEČNÁ, Eva. *Tryskání suchým ledem v průmyslové praxi* [online]. Brno, 2015 [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/40099>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav procesního inženýrství. Vedoucí práce Pavel Kuba.
- [35] VOHLÍDAL, Jiří; ŠTULÍK, Karel; JULÁK, Alois. *Chemické a analytické tabulky*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 1999. ISBN 80-7169-855-5.
- [36] TUREK, Pavel. *Zvýšení produktivity tryskací kabiny* [online]. Ostrava, 2015 [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: [https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/109782/TUR0072\\_FS\\_B2341\\_2303R002\\_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/109782/TUR0072_FS_B2341_2303R002_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Bakalářská práce. VŠB. Vedoucí práce Doc. Ing. Josef Novák, CSc.
- [37] Povrchová ochrana kovových konstrukcí a zařízení. *Unipetrol RPA* [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: [https://www.unipetrolrpa.cz/CS/sluzby-areal/chempark-zaluzi/N\\_normy/N%2010/N10051.pdf](https://www.unipetrolrpa.cz/CS/sluzby-areal/chempark-zaluzi/N_normy/N%2010/N10051.pdf)
- [38] *PROTIKOROZNÍ OCHRANA OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ* [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://adoc.tips/4-pedpis-protikorozni-ochrana-ocelovych-konstrukci.html>
- [39] BUMBÁLEK, Bohumil; ODVODY, Vladimír; OŠŤÁDAL, Bohuslav. *Drsnost povrchu*. Praha : SNTL -Nakladatelství technické literatury, 1989. 338 s.
- [40] Digitální profiloměr. In: *Gamin* [online]. [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.gamin.cz/elcometer-224/>
- [41] Rugotest. In: *Proinex* [online]. [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.proinex.cz/cs/75-rugotest-n3.html>
- [42] ASL, Khameneh a Heydarzadeh SOHI. *Effect of grit-blasting parameters on the surface roughness and adhesion strength of sprayed coating* [online]. 2010 [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sia.3184>
- [43] Fixy a inkousty. *Proinex* [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.proinex.cz/cs/61-arcotest-fixy-a-inkousty.html>
- [44] Křemičitý písek ST 06/12. In: *Glassand: Sklopísek Střeleč* [online]. [cit. 2020-07-18]. Dostupné z: <https://glassand.eu/nase-pisky/podle-druhu/technicke-pisky> Křemičitý písek ST 06/12. In: *Glassand: Sklopísek Střeleč* [online]. [cit. 2020-07-18]. Dostupné z: <https://glassand.eu/nase-pisky/podle-druhu/technicke-pisky>

## 7. Seznam obrázků

Obrázek 1 - Vyšehradský železniční most [7] .....	11
Obrázek 2 - Typický detail – neprůchozí štěrbina v diagonále s těžkým přístupem (Vyšehradský most) [8] .....	11
Obrázek 3 - Schéma čištění – norma ČSN EN ISO 12944-3 [18] .....	15
Obrázek 4 - Ukázka tryskání pomocí křemičitého písku (Vyšehradský most) [8] .....	19
Obrázek 5 - Vlevo: Ukázka rotační trysky pro tryskání vodním paprskem, vpravo: ukázka demoliční trysky s vodním paprskem (Vyšehradský most) [8] .....	20
Obrázek 6 - Obvodové a čelní broušení [28] .....	21
Obrázek 7 - Kartáčování a) ruční b) elektrické [30] .....	22
Obrázek 8 - a) Elektronická pila ocaska b) ruční pila [31] .....	22
Obrázek 9 - Mechanická předúprava štěrbinu pomocí pásové pily (vlevo) a vrtacího kladiva (vpravo) [8] .....	23
Obrázek 10 - Vizuelní kontrola (mřížka) .....	24
Obrázek 11 – Vlevo digitální profiloměr, vpravo rugotest [40,41] .....	25
Obrázek 12 – Inkousty a fixy [43] .....	26
Obrázek 13 - Přípravek pro experimentální část .....	27
Obrázek 14 - Abrazivní tryskání pomocí ocelové drtě GL25 (štěrbina 20 mm) .....	28
Obrázek 15 - Ocelová drť GL25 (GB10) .....	28
Obrázek 16 - Mytutoyo SJ 301 .....	33
Obrázek 17 - Abrazivní tryskání pomocí křemičitého písku ST 06/12 PA50 .....	41
Obrázek 18 - Křemičitý písek ST 06/12 PA50 [44] .....	41
Obrázek 19 - Tryskání tlakovou vodou (2000 bar) .....	53

## 8. Seznam tabulek

Tabulka 1 - Přehled vývoje objemů výroby sortimentů hutní produkce v období 2007 až 2015, hodnoty v [tis.t] [3].....	9
Tabulka 2 - Vývoj produkce surové oceli ve světě, hodnoty v [tis.t] [3] .....	9
Tabulka 3 - Stupně korozní agresivity atmosféry [13].....	13
Tabulka 4 - Rychlosti koroze po prvním roce expozice pro jednotlivé stupně korozní agresivity [13].....	13
Tabulka 5 - Druhy čištění – norma ČSN EN ISO 12944-3 [18].....	15
Tabulka 6 - Tlakové a injektorový způsob tryskání – schéma [21] .....	16
Tabulka 7 - Přehled druhů abraziv a jejich využití [20].....	17
Tabulka 8 - Příprava povrchu otryskáním (Sa) [19] .....	18
Tabulka 9 - Popis vzhledu povrchu po očištění [26] .....	20
Tabulka 10 - Popis vzhledu povrchu tří stupňů bleskové koroze [26].....	20
Tabulka 11 - Parametry abrazivního tryskání pomocí ocelové drtě.....	28
Tabulka 12 - Výsledky abrazivního tryskání pomocí ocelové drtě (hloubka tryskání a účinnost) .....	29
Tabulka 13 - Naměřené hodnoty Ra a Rz pro abrazivní tryskání ocelovou drtí GL25 [ $\mu m$ ] .....	33
Tabulka 14 - Průměrné hodnoty Ra a Rz pro abrazivní tryskání ocelovou drtí .....	40
Tabulka 15 - Parametry abrazivního tryskání pomocí křemičitého písku .....	41
Tabulka 16 - Výsledky abrazivního tryskání pomocí křemičitého písku (hloubka tryskání a účinnost) .....	42
Tabulka 17 - Naměřené hodnoty Ra a Rz pro abrazivní tryskání křemičitým pískem ST 06/12 PA50 [ $\mu m$ ] .....	46
Tabulka 18 - Průměrné hodnoty Ra a Rz pro abrazivní tryskání křemičitým pískem.....	52
Tabulka 19 - Parametry tryskání pomocí tlakové vody .....	53
Tabulka 20 - Výsledky tryskání pomocí tlakové vody (hloubka tryskání a účinnost) .....	53
Tabulka 21 - Naměřené hodnoty Ra a Rz pro tryskání tlakovou vodou [ $\mu m$ ] .....	57
Tabulka 22 - Průměrné hodnoty Ra a Rz pro abrazivní tryskání tlakovou vodou .....	63
Tabulka 23 - Porovnání hodnot hloubky a účinnosti tryskání (pravý vzorek) .....	64
Tabulka 24 - Porovnání hodnot hloubky a účinnosti tryskání (levý vzorek) .....	64
Tabulka 25 - Porovnání hodnot Ra a Rz pro jednotlivé technologie .....	65
Tabulka 26 - Technicko-ekonomické zhodnocení abraziv .....	69
Tabulka 27 - Porovnání cen jednotlivých technologií pro experiment .....	69

## 9. Seznam grafů

Graf 1 - Výroba surové oceli v Evropě a ve světě [2].....	9
Graf 2 - Závislost velikosti štěrbin na hloubce tryskání – vzorek P.....	66
Graf 3 - Závislost velikosti štěrbin na hloubce tryskání – vzorek L.....	66
Graf 4 - Závislost velikosti štěrbin na účinnosti tryskání – vzorek P.....	67
Graf 5 - Závislost velikosti štěrbin na účinnosti tryskání – vzorek L.....	67
Graf 6 - Porovnání průměrných drsností Ra pro jednotlivé technologie .....	68
Graf 7 - Porovnání průměrných drsností Rz pro jednotlivé technologie .....	68

## 10. Použité zkratky

Ra	Střední aritmetická úchylka profilu	[ $\mu\text{m}$ ]
Ry	Největší výška profilu	[ $\mu\text{m}$ ]
Rz	Výška nerovností profilu z deseti bodů	[ $\mu\text{m}$ ]
Rq	Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu	[ $\mu\text{m}$ ]
T	Tloušťka vrstvy	[ $\mu\text{m}$ ]
D <sub>1</sub>	Vzdálenost nástroje od podkladu	[mm]
D <sub>2</sub>	Velikost nástroje	[mm]
$\alpha$	Úhel mezi osou nástroje a podkladem	[°]
p	Tlak stlačeného vzduchu	[MPa, bar]
$\sigma$	Povrchové napětí	[mN.m <sup>-1</sup> ]
Sa	Stupně očištění povrchu pomocí tryskání	[-]
St	Stupně ručního a mechanizovaného čištění	[-]
Wa	Stupně očištění povrchu pomocí tryskání vodou	[-]
Fl	Stupně očištění plamenem	[-]
h	Hloubka tryskání	[mm]
$\eta$	Účinnost	[%]
t	Čas tryskání	[s]
d	Průměr trysky	[mm]
$p_s$	Spotřeba vzduchu	[m <sup>3</sup> .min <sup>-1</sup> ]