



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

Hodnocení technologií tryskání pro praktické využití

DIPLOMOVÁ PRÁCE

AUTOR: Bc. Anna Hanušová

VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Jan Kudláček, Ph.D.

STUDIJNÍ PROGRAM: N 2301 Strojní inženýrství

STUDIJNÍ OBOR: 2301R000 Studijní program je bezoborový

Praha 2023

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Hanušová** Jméno: **Anna** Osobní číslo: **470010**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**
Studijní program: **Výrobní inženýrství**
Specializace: **Bez specializace**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Hodnocení technologií tryskání pro praktické využití

Název diplomové práce anglicky:

Evaluation of blasting technologies for practical use

Pokyny pro vypracování:

- 1) Rozbor problematiky tryskání strojírenských součástí
- 2) Porovnání technologických parametrů vybraných způsobů tryskání
- 3) Porovnání charakterů tryskaných povrchů
- 4) Technicko-ekonomické zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

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

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

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

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

Datum zadání diplomové práce: **26.04.2023** Termín odevzdání diplomové práce: **18.08.2023**

Platnost zadání diplomové práce: **31.12.2023**

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

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

doc. Ing. Miroslav Španíel, CSc.
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.

Datum převzetí zadání

Podpis studentky

Prohlášení

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

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

V Praze dne:

.....

Podpis autora

Poděkování

Tímto bych v první řadě ráda poděkovala panu Ing. Janu Kudláčkovi, Ph.D. za vedení diplomové práce a pomoc při realizaci experimentální části. Děkuji taky za cenné rady, které jsem dostávala při konzultacích jak u teoretické nebo experimentální části. Dále bych ráda poděkovala firmě S.A.F. Praha spol. s.r.o. za přípravu vzorků a provedení tryskání na vzorcích. Také bych ráda poděkovala firmě Bintana s.r.o. za provedení tryskání pískem na vzorcích a firmě CORROTECH TRADE s.r.o. za provedení tryskání novým tryskacím abrazivem Sponge-jet. V neposlední řadě bych velmi ráda poděkovala panu Ing. Petru Mikešovi, Ph.D. za obrovskou pomoc při měření rovinnosti na vzorcích v laboratoři FS ČVUT a také firmě FORVIA EXHAUST SYSTEMS s.r.o. oddělení Kvality, kde bych ráda poděkovala panu Zbyňkovi Štefanovi za ochotu a pomoc při měření vzorků na digitálním mikroskopu KEYENCE.

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá v praktické části hodnocením vhodnosti technologií tryskání pro praktické využití, kde pomocí přípravy vzorků za použití různých technologií tryskání a rozdílných abrazivních materiálů porovnává jejich vliv na stav povrchu a mechanické ovlivnění vzorků.

Název diplomové práce:	Hodnocení technologií tryskání pro praktické využití
Autor práce:	Bc. Anna Hanušová
Vedoucí práce:	Ing. Jan Kudláček, Ph.D.
Akademický rok:	2022/2023
Vysoká škola:	ČVUT v Praze, Fakulta strojní
Ústav:	12133 – Ústav strojírenské technologie
Vedoucí ústavu:	doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
Rozsah práce:	113 stránek, 46 tabulek, 161 obrázků, 10 grafů
Klíčová slova:	Tryskání, abrazivní materiál, sponge-jet media, deformace, tlakové tryskání, injektorové tryskání, kotvící profil, drsnost

Annotation

This thesis deals in the practical part with the evaluation of the suitability of blasting technologies for practical use, where by preparing samples using different blasting technologies and different abrasive materials it compares their influence on the surface condition and mechanical influence on the samples.

Title of the final thesis:	Evaluation of blasting technologies for practical use
Author:	Bc. Anna Hanušová
Supervisor:	Ing. Jan Kudláček, Ph.D.
Academic year:	2022/2023
University:	CTU in Prague, Faculty of Mechanical Engineering
Department:	12133 – Department of Manufacturing Technology
Head of department:	doc. Ing. Ladislav KOLAŘÍK, Ph.D., IWE
Extent:	113 pages, 46 tables, 161 pictures, 10 charts
Keywords:	Blasting, abrasive material, sponge-jet media, deformation, pressure blasting, injection blasting, anchor profile, roughness

Seznam zkratek

ČSN – Česká národní norma

EN – Evropská norma

ISO – International organisation for standardisation, mezinárodní organizace pro standardizaci

Ra – Aritmetický průměr absolutních hodnot skutečného profilu

Rz – Průměrná hodnota z absolutních hodnot 5 maxim a 5 minim profilu křivky

Rmax – Rozdíl mezi maximem a minimem profilu drsnost

Obsah

1	Úvod a cíl práce.....	12
2	Předúprava povrchu.....	13
3	Vliv nečistot na povrchu kovu	13
3.1	Ulpělé (cizí) nečistoty	14
3.2	Vlastní nečistoty	14
4	Chemické předúpravy povrchu	14
4.1	Odmašťování.....	14
4.1.1	Odmašťování v alkalických roztocích.....	14
4.1.2	Odmašťování v organických rozpouštědlech	15
4.1.3	Odmašťování párou	15
4.2	Moření.....	15
4.3	Odrezování.....	15
4.4	Elektrolytické leštění	16
5	Mechanické předúpravy povrchu	16
5.1	Broušení	16
5.2	Leštění.....	17
5.3	Kartáčování.....	17
5.4	Omílání	17
6	Tryskání.....	18
6.1	Historie tryskání.....	18
6.2	Technologie tryskání.....	19
6.3	Technologický postup tryskání.....	20
6.4	Příprava povrchu tryskáním.....	20
6.4.1	Stupně přípravy povrchu ČSN EN ISO 8501-1.....	21
6.4.2	Typy povrchů.....	22
7	Vliv faktorů na intenzitu tryskání.....	22
8	Metody tryskání.....	25
8.1	Tryskání pískem – sand blasting.....	25
8.2	Tryskání zvlhčeným abrazivem – wet blasting.....	26
8.3	Tryskání vodním paprskem – water jet blasting.....	27
8.4	Tryskání sodou – soda blasting.....	29
8.5	Tryskání suchým ledem – dry ice blasting	29
8.6	Oklepávání štětinami (Blist Blaster).....	30
8.7	Tryskání aquabrasive (Hydrofínišování)	31
9	Tryskací materiály (abraziva).....	31
9.1	Vlastnosti tryskacích prostředků.....	32
9.2	Rozdělení tryskacích materiálů a jejich použití	33
10	Charakteristika nepoužívanějších tryskacích materiálů	34
10.1	Ocelový granulát	34
10.2	Ocelová drť	35
10.3	Litinový granulát.....	35
10.4	Litinová drť	36
10.5	Hliníkový řezaný drát.....	36

10.6	Zinkový řezaný drát	37
10.7	Hnědý korund.....	37
10.8	Skleněné korálky	38
10.9	Jedlá soda	38
10.10	Duroplast EG.....	39
10.11	Balotina	39
10.12	Uhelná struska	40
10.13	Sekaný drát.....	40
10.14	Australský granát.....	41
10.15	Křemičitý písek	41
10.16	Sponge – jet media	42
10.16.1	Princip metody sponge – jet.....	43
10.16.2	Recyklace sponge – jet	43
10.16.3	Rozdělení	44
11	Tryskací zařízení	47
11.1	Pneumatické tryskání	48
11.2	Tryskání metacími koly.....	49
12	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	51
12.1	Zařízení použité pro experiment	51
12.2	Materiál použitý pro experiment.....	53
12.3	Označování vzorků.....	56
12.4	Výsledky měření tryskání metacími koly (S230).....	57
12.4.1	Parametry tryskání.....	57
12.4.2	Zvolený tryskací materiál – ocelový granulát	57
12.4.3	Zvolené zařízení	58
12.4.4	Výsledky měření vzorků A1, A2, A3 (tloušťka 5 mm).....	58
12.4.5	Výsledky měření vzorků B1, B2, B3 (tloušťka 1 mm)	60
12.4.6	Shnutí naměřených výsledků.....	62
12.5	Výsledky měření tlakovým tryskáním (G18).....	63
12.5.1	Zvolené parametry tryskání	63
12.5.2	Zvolený tryskací materiál – ocelová drť.....	63
12.5.3	Zvolené zařízení	64
12.5.4	Výsledky měření vzorků C1, C2, C3 (tloušťka 5 mm)	64
12.5.5	Výsledky vzorků D1, D2, D3 (tloušťka 1 mm).....	66
12.6	Výsledky měření injektorového tryskání (F46)	69
12.6.1	Zvolené parametry tryskání	69
12.6.2	Zvolený tryskací materiál – hnědý korund	69
12.6.3	Zvolené tryskací zařízení.....	70
12.6.4	Výsledky měření vzorků E1, E2, E3 (tloušťka 5 mm)	70
12.6.5	Výsledky měření vzorků F1, F2, F3 (tloušťka 1 mm).....	72
12.6.6	Shnutí naměřených výsledků	74
12.7	Výsledky měření injektorovým tryskáním (B134).....	75
12.7.1	Zvolené parametry tryskání	75
12.7.2	Zvolený tryskací materiál – balotina	75
12.7.3	Zvolené tryskací zařízení.....	76

12.7.4	Výsledky měření vzorků G1, G2, G3 (tloušťka 5 mm).....	76
12.7.5	Výsledky měření vzorků H1, H2, H3 (tloušťka 1 mm).....	78
12.7.6	Shrnutí naměřených výsledků	80
12.8	Výsledky měření tlakovým tryskáním (ST08).....	81
12.8.1	Parametry tryskání.....	81
12.8.2	Zvolený tryskací materiál – křemičitý písek	81
12.8.3	Zvolené tryskací zařízení.....	82
12.8.4	Výsledky měření vzorků CH1, CH2, CH3	82
12.8.5	Výsledky měření vzorků I1, I2, I3 (tloušťka 1 mm)	84
12.8.6	Shrnutí naměřených výsledků	86
12.9	Výsledky tryskání tlakovým tryskáním (S30).....	87
12.9.1	Parametry tryskání.....	87
12.9.2	Zvolený tryskací materiál – sponge – jet media S30.....	87
12.9.3	Zvolené tryskací zařízení.....	88
12.9.4	Výsledky měření vzorků J1, J2, J3 (tloušťka 5 mm).....	88
12.9.5	Výsledky měření vzorků K1, K2, K3	90
12.9.6	Shrnutí naměřených výsledků	92
13	TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	94
14	ZÁVĚR.....	102

1 Úvod a cíl práce

V dnešní době jsou kladeny stále vyšší nároky na kvalitu výrobků, a proto je potřeba začít u správně zvolené předúpravy povrchu. Správně zvolená metoda nám totiž může šetřit finance i čas, a při dodržení stanovených návazností technologického postupu ovlivňuje navíc životnost například ocelových konstrukcí. Předúprava povrchu se řadí mezi nejdůležitější operace v technologickém procesu, jejím cílem je dosáhnout určitého stavu či vlastností povrchu. Pro docílení kvalitní předúpravy povrchu je důležitá volba vhodného technologického postupu, který také ovlivňuje kvalitu povrchové úpravy.

Mezi klíčové předúpravy povrchu se řadí technologie tryskání, jde o opracování povrchu materiálu proudem jemných částic (abraziv). Tato technologie se dělí na dva způsoby – pneumatický a mechanický. Pneumatické tryskání se dělí na metodu injektorovou a tlakovou. Mechanické tryskání používá pro tryskání metací kola.

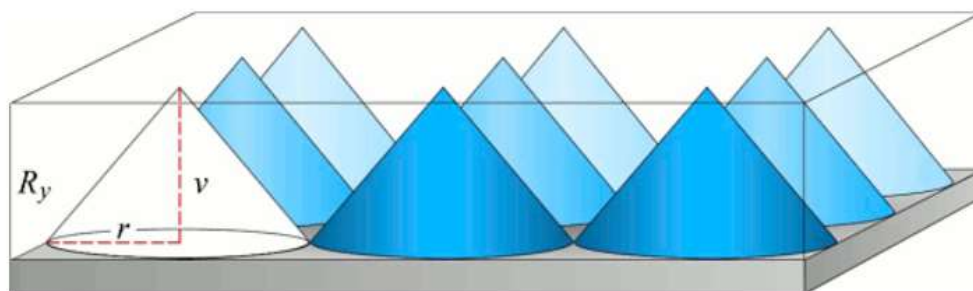
Jelikož je tryskání nejúčinnější mechanický způsob odstranění koroze a okují, používá se jako nejčastější způsob čištění a příprava povrchu pod nátěry, smalty a žárové nástříky kovů.

Cílem praktické části diplomové práce je hodnocení vhodnosti technologií tryskání pro praktické využití, kde pomocí přípravy vzorků za použití různých technologií tryskání a rozdílných abrazivních materiálů bude porovnán jejich vliv na stav povrchu a mechanické ovlivnění vzorků. Výsledky by měli vést k volbě dané technologie s ohledem na použitelnost v průmyslové praxi.

2 Předúprava povrchu

Korozní odolnost a stálost kovových materiálů i jejich ochranných, vzhledových a funkčních povlaků do značné míry podléhá čistotě a struktuře povrchů základního kovu. Z tohoto důvodu se povrch, ať už bude vystaven koroznímu prostředí přímo, nebo bude opatřen některým z povlaků, předem upravuje a čistí. Kvalitní příprava povrchu je nezbytným předpokladem celého technologického postupu úpravy povrchu a je jedním ze zásadních faktorů ovlivňující životnost povlaků [1].

Povrch základního materiálu musí být před aplikací nátěrového systému očištěn od všech nečistot a zplodin, jelikož zhoršují kvalitu celkové povrchové úpravy. Nedůslednost při předúpravách se nemusí projevit po dokončení nátěrového systému, ale až po čase, který potřebují nečistoty k porušení celistvosti a přilnavosti povrchu. Důležitým faktorem při hodnocení kvality povrchu z hlediska vhodnosti pro aplikaci nátěru je čistota a stupeň drsnosti. Pokud je povrch obzvláště drsný, vytváří „mrtvý objem“, kdy je spotřeba nátěrové hmoty větší. Praktické výsledky ukazují, že vysoce hlazené a leštěné povrchy nejsou vhodné pro kotvení nátěru. Mírným zdrsněním se povrch mnohonásobně zvětší a stává se tak vhodnějším pro kotvení a přilnavost nátěru [2; 3].



Obrázek 1 Matematický model mrtvého objemu [4]

3 Vliv nečistot na povrchu kovu

Kovový povrch není nikdy zcela čistý, jelikož při výrobě, manipulaci i skladování dochází ke styku s nečistotami a ty se na něm usazují. Tyto nečistoty mohou na povrchu ulpívat různou silou – od suchého prachu, který se dá lehce setřít nebo ofoukat stlačeným vzduchem, až po oxidické vrstvy, mastnoty, které se nedají snadno odstranit [5].

Čištění kovových povrchů není vzhledem k různorodosti nečistot jednoduchý proces, a provádí se zpravidla v několika stupních a různými operacemi. Jejich výběr a způsob provedení záleží nejen na druhu nečistot, ale na účinnosti čisticího procesu, na požadovaném stupni čistoty a na ekonomii procesu. Podstatné faktory, které mají vliv na technicko – ekonomickou stránku čištění jsou:

- a) Způsob a druh znečištění
- b) Požadovaný povrch
- c) Tvar předmětu
- d) Velikost předmětu
- e) Přístupnost prostředí
- f) Předměty ve výrobním/předvýrobním cyklu [1].

3.1 Ulpělé (cizí) nečistoty

Ulpělé nečistoty jsou k povrchu vázány pouze adhezními silami. Do této skupiny jsou zahrnuty především všechny zbytky mastných látek (konzervační prostředky, brusné pasty, vrtací emulze, kovový prach). Tyto nečistoty jsou odstraňovány především technologií odmašťování [1].

3.2 Vlastní nečistoty

Vlastní nečistoty jsou vázány k povrchu kovu chemisorpcí a tím pádem jsou spojeny s povrchem určitou chemickou vazbou. Jedná se většinou o korozní zplodiny, které vznikají na povrchu kovu chemickou přeměnou kovu při reakci s prostředím. Do této skupiny se řadí okuje, které se skládají z oxidů kovu a vznikají chemickou korozí při tepelném zpracování a také rez, která je složena z hydratovaných oxidů kovu a tvoří se pomalým působením atmosférické vlhkosti většinou za normální teploty převážně elektrochemickými ději [1].

Anorganické nečistoty (rozpuštěné soli) zůstávají na povrchu při nedostatečném opláchnutí po předchozím odmašťování či moření. Tyto nečistoty jsou nebezpečné především při aplikaci povlaků nátěrových hmot [1].

4 Chemické předúpravy povrchu

Chemické (elektrochemické) úpravy povrchu mají v oboru předběžných úprav povrchu kovů význam v odstraňování nečistot z povrchu kovů.

Do této skupiny patří:

- Odmašťování
- Moření
- Odrezování
- Elektrolytické leštění [1]

4.1 Odmašťování

Jelikož se na povrchu kromě okují a rzi vyskytují mastnoty (nezmýdelnitelné oleje ropné báze, soli rozpustné ve vodě), které brání dokonalému zakotvení nátěrů na kovovém povrchu a také mohou nepříznivě ovlivňovat průběh zasychání. Odmašťování je název pro odstranění všech druhů ulpělých nečistot z povrchu kovu, které jsou k povrchu kovu vázány buď fyzikální absorpcí nebo adhezními silami. Odmašťování se rozděluje na:

- a) Odmašťování v organických rozpouštědlech
- b) Odmašťování ve vodných alkalických roztocích
- c) Odmašťování emulzí

Tyto metody se od sebe odlišují stupněm dosažené čistoty [1; 6].

4.1.1 Odmašťování v alkalických roztocích

Odmašťování v alkalických roztocích musí mít schopnost smáčet povrch kovu, emulgovat mastné látky, odstranit anorganické nečistoty a zmýdelňovat některé druhy mastnot. Hlavní výhodou alkalických odmašťovacích prostředků proti organickým je nižší cena, bezpečnější práce a snadnější likvidace odpadních vod [2].

4.1.2 Odmašťování v organických rozpouštědlech

Tato metoda odmašťování je velmi rozšířená, jelikož většinou nezpůsobuje následnou korozi. K hrubému odstranění nečistot se používají petroleje nebo nafty, kde poté následuje odmaštění benzínem, který rozpouští většinu druhů mastnot [2].

4.1.3 Odmašťování párou

Odmašťování párou patří mezi velmi účinnou metodu odstraňování zaschlých, zapečených, připálených i jiných nečistot. Vhodné použití této metody je kombinací tepelného i tlakového účinku dávkováním odmašťovacího prostředku, a poté opláchnutí horkou vodou [2].

4.2 Moření

Mořením se čistí povrchy kovů od vrstev rzi a okují chemickým působením. Moření je chemický způsob odstraňování korozních zplodin a jedná se o přeměnu nerozpustných korozních zplodin na látky rozpustné. Tímto způsobem se odstraňují okuje, které vznikají při výrobě oceli za vysokých teplot i produkty atmosférické koroze. Při procesu moření se používají většinou roztoky kyselin, nejčastěji kyselina chlorovodíková a kyselina sírová s přidávkem látek, které zabrání rozpouštění oceli, ale nebrání odstranění okují a rzi. Výjimku tvoří moření hliníku a zinku, kde se používají alkalické roztoky, které jsou nejčastěji na bázi hydroxidu sodného. V menším množství se používá kyselina fosforečná. Mezi její přednosti se řadí, že se ocelový povrch po moření oplachuje a je méně náchylný k následné korozi. [5; 6; 2].



Obrázek 2 Moření ponorem [7]

4.3 Odrezování

Podstatou chemického odrezování je velmi podobná jako u moření. Principem je převádění rzi na fosforečnany. Rez reaguje na působení kyseliny rychleji než okuje, a proto se při odrezování používají nižší teploty a kratší časy. Při odrezování se z povrchu ocelových předmětů, které jsou pokryté pouze rzi (nejsou přítomny okuje) odstraňují korozní zplodiny. Odrezování je možné provádět ponorem do lázně nebo natíráním, kde se nejčastěji používá odrezovač na bázi kyseliny fosforečné [1; 2].

4.4 Elektrolytické leštění

Při elektrolytickém leštění je odleptáván kov současně z celého povrchu a na základě zvýšení koncentrace dochází k intenzivnějšímu odleptávání vrcholků. Je to určitý způsob anodického odleptávání v elektrolytu, kde se předměty zavěšují na anodu a jako katoda je využívána olověná deska [1].

5 Mechanické předúpravy povrchu

Do mechanických předúprav povrchu se řadí takové způsoby zpracování, které předmětu nedodávají přesně výkresem stanovený tvar a rozměry, jako je tomu u třískového obrábění, ale na povrchu vytváří určitou požadovanou jakost/ tvrdost. Účelem mechanických úprav je především:

- a) Očistit povrch od nečistot, rzi, okují, písku, grafitu
- b) Zajistit podmínky, které zajišťují zvýšenou odolnost proti korozi
- c) Zajistit podmínky pro vyhovující přilnavost následujících vrstev
- d) Vytvořit povrch odpovídající vzhledovým požadavkům
- e) Vytvořit povrch, který zlepší mechanické vlastnosti [1]

Tyto požadavky se dají splnit několika technologiemi mechanických úprav:

- Broušení, kartáčování, leštění
- Omílání a procesy příbuzné
- Tryskání, hydrofinašování
- Speciální procesy [1; 5]

5.1 Broušení

Broušení je povrchová úprava, kde jsou odstraňovány nečistoty a korozní zplodiny z povrchu kovu, a také jsou odstraňovány nerovnosti povrchu při dosažení optimální drsnosti povrchu. Broušení se provádí na suchý nebo mokvý povrch. Při této technologii je nástrojem brousící kotouč (brusná zrna jsou stmelena pojivem v pevný celek). Tato zrna mohou být přírodní (korund), ale především se používají umělá (oxid hlinitý). [1; 5; 8].



Obrázek 3 Ukázka broušení [9]

5.2 Leštění

Leštění je odstraňování nejjemnějších stop po předchozím jemném broušení, popřípadě kartáčování se záměrem dosažení požadovaného stupně lesku upravovaného povrchu. Při styku leštěného předmětu s kotoučem dochází k zahřívání povrchu kovu na poměrně vysokou teplotu, která způsobí místní tavení kovového materiálu na vrcholcích nerovností povrchu. Jako abraziva pro leštící pasty se používá oxid hlinitý, oxid železitý, oxid chromitý, vídeňské vápno a další [1; 5].

5.3 Kartáčování

Kartáčováním se odstraňuje z povrchu předmětu rez a další nečistoty, kde dráty kartáče pronikají do prohloubenin v povrchu a prakticky nedochází k úběru základního materiálu. Tímto způsobem povrchové úpravy však nejdou odstranit okuje [5].



Obrázek 4 Ukázka kartáčování [10]

5.4 Omílání

Tato technologie se uplatňuje při hromadném způsobu úpravy povrchu výrobků. Je především vhodná pro mechanickou úpravu povrchu menších dílů, o velkých sériích. Omílání se používá:

- 1) Pro vyhlazování povrchu (brusná i leštící operace) před různými povrchovými úpravami, a to hlavně před galvanickým pokovením
- 2) Vyhlazování třecích a smykových ploch
- 3) Odstraňování ostrin
- 4) Zaoblování hran u výrobku
- 5) Odstraňování okují a čištění tepelně zpracovaných součástek
- 6) Leštění drobných a tvarově komplikovaných dílců a drobných výrobků po pokovení
- 7) Povrchové zpevňování součástí [1; 11]



Obrázek 5 Omílání ozubených kol [11]

6 Tryskání

Principem tryskání je čištění povrchu kovu neboli vrhání vhodného tryskacího materiálu danou rychlostí na povrch otryskávaného předmětu. Tryskání umožňuje zabezpečit dokonalou přípravu např. pro nátěry, jelikož při dopadu tryskacích zrn na povrch předmětu se uvolňují ulpělé nečistoty i korozní zplodiny a docílí se vhodné struktury a drsnosti povrchu. Účelem tryskání je čištění od korozních produktů, písku, grafitu [5; 6; 1].

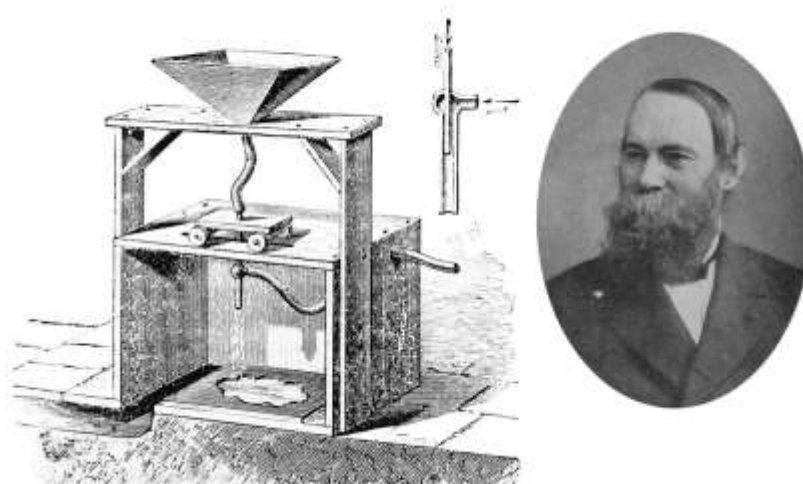
6.1 Historie tryskání

V minulosti bylo první použití technologie tryskání zaznamenáno na konci 19. století, zejména při čištění povrchu odlitků. První patent získal v roce 1870 na abrazivní tryskací zařízení Benjamin Tilghman z Pensylvánie. Benjamin vynalezl tryskací skříň, která využívala vysoký tlak v kombinaci s pískem a vodou. Tento vynález byl v té době revoluční, jelikož urychloval povrchovou úpravu a představoval skutečné řešení pro průmyslovou výrobu. [12]. K většímu rozvoji tryskání došlo mezi 1. a 2. světovou válkou, kdy byl nejpoužívanějším tryskacím materiálem křemičitý písek (pískování), jehož životnost byla velmi nízká. Písek se rozpadal na prach po několika obězích v tryskacím zařízení. Z těchto důvodů vznikla poptávka po vhodnějších materiálech a byly vyrobeny kovové tryskací materiály [13].

V roce 1938 začalo v Americe několik společností (Kemper a Richter) experimentovat s kujnou litinou, řezaným drátem a ocelovým brokem [13].

Od 60. let 20. století byly zaznamenány první pokusy o tryskání s tryskacím materiálem na bázi plastu, korundu, skla a další [13].

Tryskání je v současné době jednou z nejvýznamnějších technologií v praxi. Aby však tato metoda mohla být použita při ekonomicky přijatelných nákladech, nestačí pouze aplikovat tryskání, ale také je nutné neustále hledat nejvhodnější technické parametry této technologie [13].



Obrázek 6 Benjamin Tilghman a tryskácká skříň [14]

6.2 Technologie tryskání

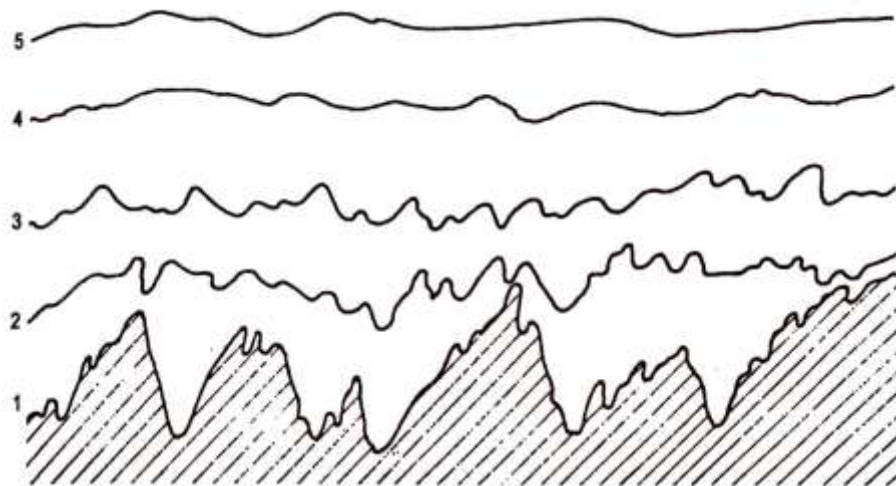
Tryskání je způsob mechanické úpravy kovové součásti, kde se tryskácký materiál (abrazivo) vrhá velkou rychlostí proti povrchu součásti. Aby tryskání mělo co nejlepší účinek, je potřeba zvážit několik proměnných [15]:

- Režim tryskání
- Rychlost letu zrna
- Úhel dopadu
- Jakost substrátu
- Tvrdost substrátu
- Tvar zrna [15]

Otryskaný povrch je značně náchylný ke korozi a je nezbytné na něj v co nejkratším čase nanést první vrstvu nátěrového systému. Z praxe bylo zjištěno, že nejúčinnějším mechanickým způsobem předúpravy kovů je tryskání. Životnost organických povlaků na povrchu závisí na způsobu předúpravy:

- Ruční kartáčování – životnost 2,9 let
- Chemické moření – životnost 10 let
- Otryskání – životnost 11 let a více [5]

Pro otryskávání se používají různé tryskácké prostředky (abraziva), jako je ocelová drť, struska, křemenný písek, korundový písek, sekaný drát, stříhaný plech apod. Křemičitý písek, který byl často používán v minulosti pro otryskávání za sucha se dnes tímto způsobem nepoužívá z důvodu vzniku silikózy u pracovníků. Tento písek lze použít pro otryskávání za mokra (ve směsi s vodou) nebo v otevřených prostorech za použití vhodných ochranných prostředků [5; 6].



Obrázek 7 Znárodnění zakrytí nerovností otryskaného kovového povrchu 1 – otryskaný kovový povrch, 2 – první vrstva nátěru, 3 – druhá vrstva nátěru, 4 – třetí vrstva nátěru, 5 – čtvrtá vrstva nátěru [6]

6.3 Technologický postup tryskání

Před tryskáním se musí předměty připravit – odstranění hrubých zbytků písku u odlitků, opálení a odmaštění zamaštěných předmětů.

Zvolí se vzdálenost tryskače od předmětu 200 mm při ručním i strojním otryskávání

Po tryskání je potřeba povrch očistit kartáčem nebo stlačeným vzduchem

Následuje ochrana proti korozi (např. ochranným povlakem, pasivací – fosfátováním, chromátováním) [15].

6.4 Příprava povrchu tryskáním

Příprava ocelových povrchů lze klasifikovat mnoha způsoby na základě použité metody a použitého abraziva [3].

6.4.1 Stupně přípravy povrchu ČSN EN ISO 8501-1

Tabulka 1 Stupně přípravy povrchu dle normy ISO 8501-1 [3]

Standartní stupně základní přípravy povrchu pomocí abrazivního otryskání	
Sa 3	Otryskání až na vizuálně čistý povrch – Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch bez viditelných olejů, mastnoty a nečistot, okují, rzi, nátěrů a cizích látek. Povrch musí mít jednotný kovový vzhled.
Sa 2 ½	Velmi důkladné otryskání – Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch prostý viditelných olejů, mastnoty a nečistot, okují, rzi, nátěrů a cizích látek. Všechny zbývající stopy nečistot musí vykazovat pouze lehké zabarvení ve formě skvrn nebo pruhů.
Sa 2	Důkladné otryskání – Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch prostý viditelných olejů, mastnoty a nečistot a musí být odstraněna také většina okují, rzi, nátěrů a cizích látek. Všechny zbývající nečistoty musí být pevně přilnavé.
Sa 1	Lehké otryskání – Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch prostý viditelných olejů, mastnoty a nečistot, málo přilnavých okují, rzi, nátěrů a cizích látek.



Obrázek 8 Ukázka stupně přípravy povrchu dle ČSN EN ISO 8501-1 [3]

6.4.2 Typy povrchů

Pokud je nutné zajistit dlouhodobou ochranu konstrukce, musí být její povrch před aplikací nátěru řádně připraven, a proto je důležité nejprve posoudit výchozí stav povrchu oceli. Stav povrchu oceli lze rozdělit do tří kategorií:

- Nenatřený ocelový povrch (pokrytý rzi, okujemi, prachem, mastnotou)
- Ocelový povrch s mezioperačním dílenským nátěrem
- Ocelový povrch opatřený nátěrovým systémem, který je potřeba opravit [3].

Norma ISO 8501-1 rozlišuje čtyři druhy výchozího stavu oceli – A, B, C, D:

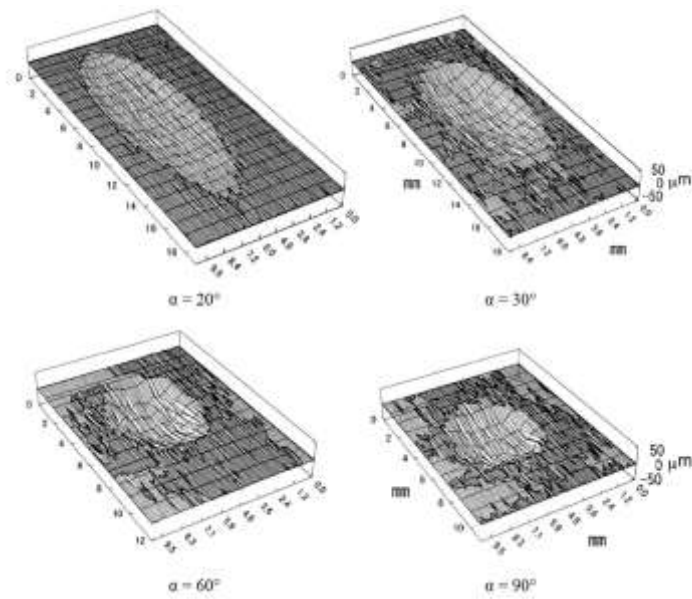
A	Povrch oceli, který je z velké části pokryt přilnavou vrstvou okují, ale téměř bez rzi.	
B	Na povrchu oceli se začala tvořit rez a z povrchu se začaly odlupovat okuje.	
C	Povrch oceli, ze kterého okuje odkorodovaly nebo je lze oškrábat a který vykazuje mírnou korozi viditelnou prostým okem.	
D	Povrch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

Obrázek 9 Ukázka výchozího stavu oceli [3]

7 Vliv faktorů na intenzitu tryskání

a) Úhel nárazu částic

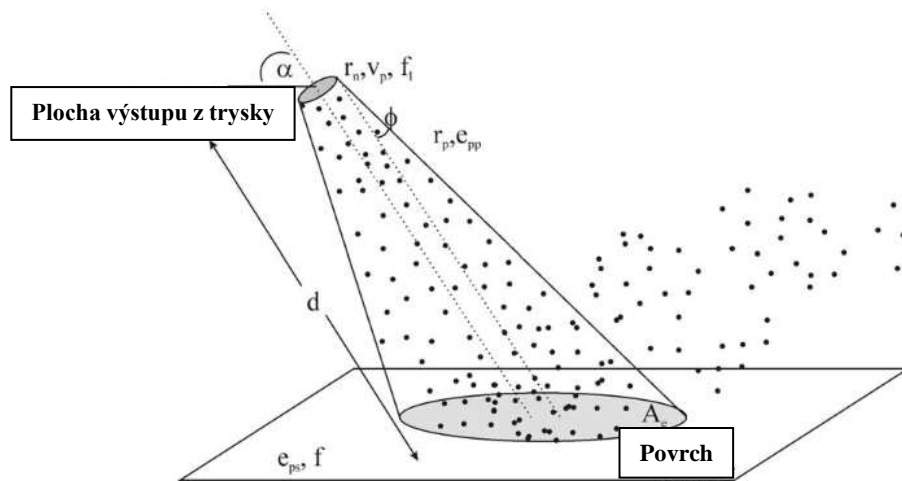
Úhel nárazu částic ukazuje značné rozdíly v závislosti na objemovém otěru W_o a úhlu nárazu α . Tyto skutečnosti byly zjištěny jak u houževnatých, tak křehkých materiálů. Průběh objemového otěru však závisí na několika dalších faktorech – dopadová rychlost částic tryskacího materiálu, jeho tvaru i velikosti a fyzikálně mechanických vlastnostech tryskaného materiálu. U houževnatých materiálů je maximální otěr při úhlu nárazu 20-40°. Při použití ostrohranných nebo velmi jemných částic je maximální otěr při menších úhlech nárazu. U tvrdých materiálů nastává maximální intenzita erozivního opotřebení při úhlu nárazu 60–80° [16; 17].



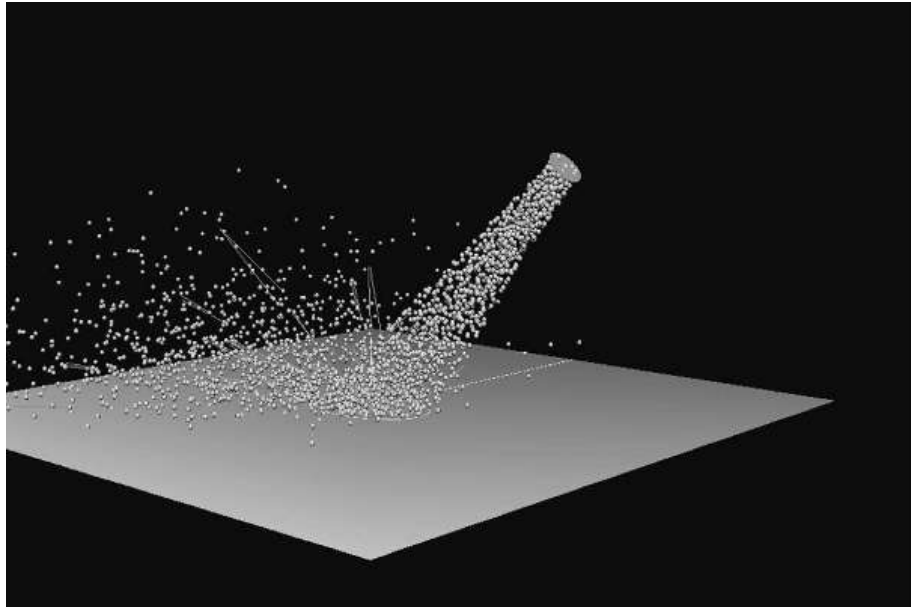
Obrázek 10 Ukázka vlivu úhlu nárazu částic na povrch [16]

b) Rozbíhavost proudu částic

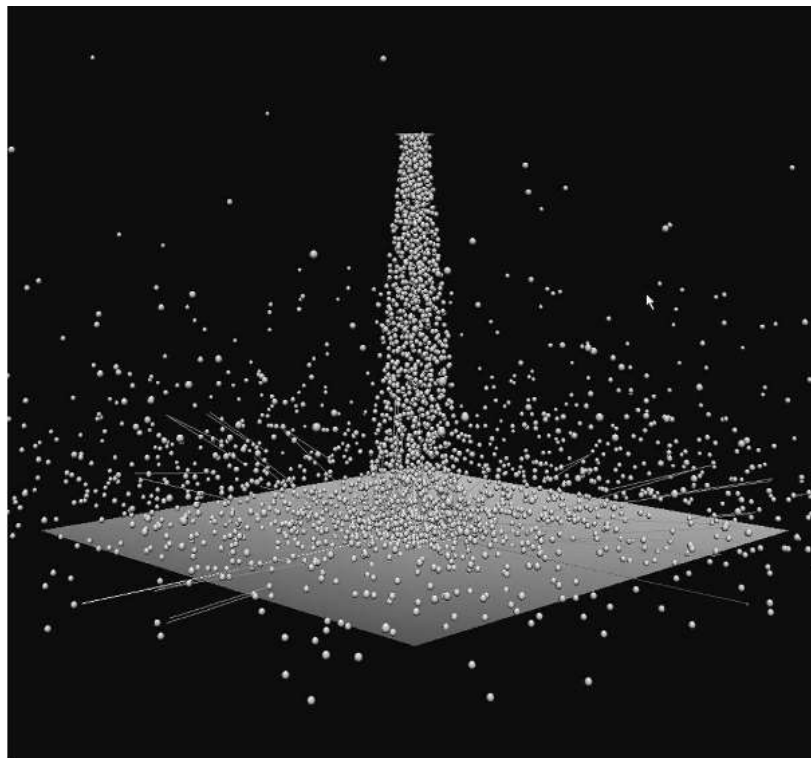
Rozbíhavost má za následek rozptýlení „svazku“ tryskacího materiálu proudícího tryskou směrem na tryskaný povrch. Čím větší je vzdálenost mezi tryskou a tryskaným povrchem tím klesá účinnost [16].



Obrázek 11 Ukázka vlivu rozbíhavosti proudu částic [17]



Obrázek 12 Simulace tryskání $\alpha=45^\circ$ [17]



Obrázek 13 Simulace tryskání $\alpha=90^\circ$ [17]

c) Velikost a tvar částic

Čím větší je velikost dopadajících částic, tím větší je zrnitost tryskacího materiálu a tím lineárně stoupá kinetická energie a zároveň roste intenzita úběru materiálu [17].

Ostrohranné částice potřebují menší kinetickou energii, aby bylo možné vyvolat plastickou deformaci povrchových vrstev tryskaného materiálu v porovnání s kulatými částicemi [17].

d) Tvrdość tryskacího prostředku

S rostoucí tvrdostí a pevností tryskacího materiálu roste intenzita porušování tryskaného povrchu. Významný vliv mají i mineralogické vlastnosti – štěpitelnost, houževnatost apod [17].

e) Množství dopadajících částic

Úbytek tryskaného materiálu stoupá s rostoucí koncentrací částic v proudícím médiu a s dobou jejich působení, pokud se nemění další podmínky tryskání [16].

f) Nosné médium

Nosné médium velmi ovlivňuje tryskací proces, jelikož chemicky reaguje s tryskaným povrchem materiálu a tvoří povlaky oxidů či jiné produkty chemické reakce (tryskání s kapalným médiem) [16].

8 Metody tryskání

Metody tryskání se rozlišují podle použitého abraziva i principu tryskání. Existují dva základní principy tryskání, které se liší podle toho, jakým způsobem je dodávána kinetická energie abrazivu [5].

- Pneumatické tryskání
 - Tryskání pískem – Sand blasting
 - Tryskání zvlhčeným abrazivem – Wet blasting
 - Tryskání vodním paprskem – Water jet blasting
 - Tryskání sodou – Soda blasting
 - Tryskání suchým ledem – Dry ice blasting
 - Oklepávání štětinami – Steel grit blasting
 - Aquabrasive – Hydrofinišování
- Tryskání metacímí koly [18]

Tabulka 2 Srovnání metod tryskání [19]

Metoda tryskání	Odpad k likvidaci	Abrazivní	Toxické	Elektricky vodivé	Srovnání výkonu
Suchý led	Ne	Ne	Ne	Ne	Výborné
Písek	Ano	Ano	Ne	Ne	OK
Skleněné kuličky	Ano	Ano	Ne	Ne	OK
Skořápky ořechů	Ano	Ano	Ne	Ne	Omezené
Pára	Ne	Ne	Ne	Ano	Špatné

8.1 Tryskání pískem – sand blasting

Pro tryskání pískem se využívá vystřelování vysokou rychlostí suché křemičité abrazivní částice na povrch dílu. Vysoký tlak, který je požadován zajišťuje kompresor. Tyto částice, díky vysoké rychlosti snadno odstraní veškeré nečistoty na povrchu dílu. Tato metoda se často využívá pro odstranění rzi z kovu. Používání křemičitého písku je však nebezpečné a může vést ke vzniku silikózy. Z tohoto důvodu se tato metoda nepoužívá tak často, ale existují

předpisy na ochranu životního prostředí, které určují, kde se tato metoda může provádět [18; 20]. Tímto způsobem se odstraňují povrchové nečistoty (koroze, barva), vyhlazení či zdrsnění povrchu [20].

Použití: Různé povrchy, které požadují všestrannost [18]



Obrázek 14 Ukázka tryskání pískem [20]

8.2 Tryskání zvlhčeným abrazivem – wet blasting

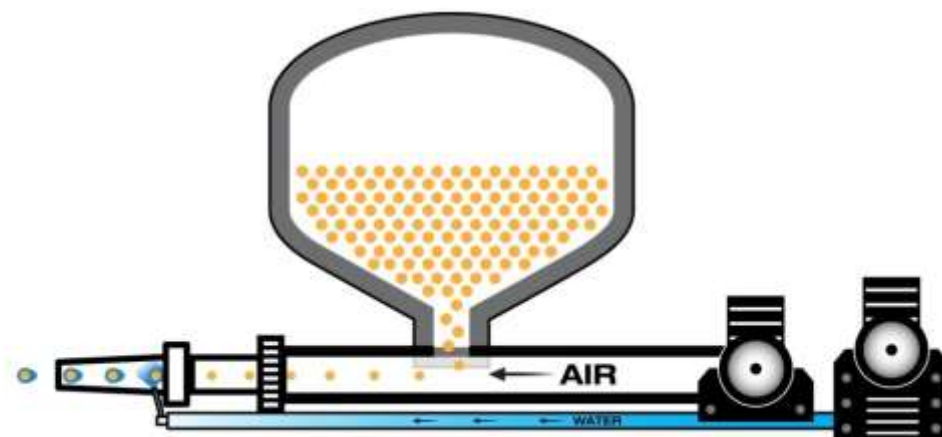
Tato metoda byla navržena tak, aby se vyřešil velký problém prašnosti, jelikož je současně s abrazivem přiváděna i tlaková voda, která způsobuje zvlhčení abraziva. Tento způsob tryskání je podobný tryskání pískem s tím rozdílem, že tryskací médium je před dopadem na povrch navlhčeno a tím také umožňuje rovnoměrnější proud abraziva než u klasického tryskání, kde je proud vytvářen pouze abrazivními částicemi, což má za následek rovnoměrnější otryskání povrchu součásti. Abrazivní materiál se pro tuto metodu volí takový, aby při nárazu zanechal zdrsňený profil. Výběr správného abraziva je klíčové k dosažení kvalitního povrchu připraveného k nanesení nátěru. Při této metodě se jako abrazivní materiál používá: křemičitý písek, granát, drcené sklo, minerální písky, uhelná struska, skleněné korálky, plast a skořápky ořechů [18; 21]



Obrázek 15 Ukázka používaného abrazivního materiálu [21]

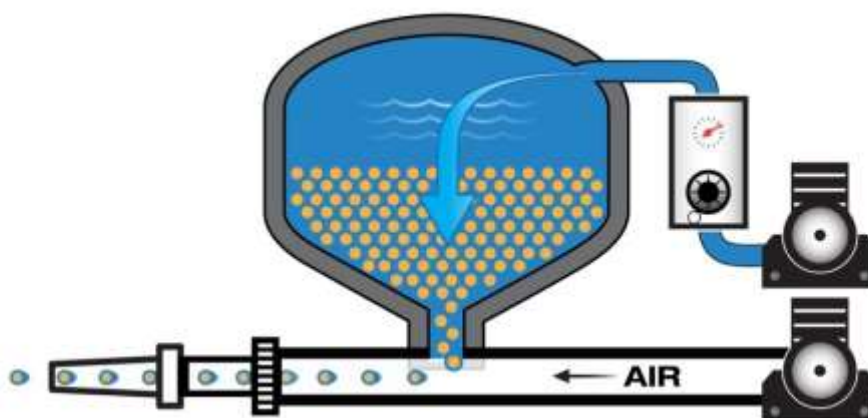
Zvlhčování abraziva se může realizovat rozdílnými způsoby:

- 1) Abrazivo zvlhčováno na vstupu u trysky



Obrázek 16 Ukázka zvlhčování abraziva na vstupu u trysky [21]

- 2) Abrazivo zvlhčováno přímo v zásobníku



Obrázek 17 Ukázka zvlhčování abraziva přímo v zásobníku [21]

Použití: Křehké starožitné povrchy, měkké povrchy, dřevo, venkovní a městské prostředí [21; 18]

8.3 Tryskání vodním paprskem – water jet blasting

Tryskání vodním paprskem patří k nejučinnějším metodám nejen oblasti čištění, ale i řezání. Zařízení využívá vysokotlakového vodního paprsku, které je schopné tryskat se silou přesahující 2.500 barů (250 MPa). Tato metoda se spoléhá pouze na energii a sílu vody dopadající na povrch, která čistí povrch součásti. V systémech tryskání vodou se zásadně nepoužívá abrazivo, a proto se zde nevyskytují problémy se znečištěním prachem a likvidace použitého abraziva. Při tryskání vodním paprskem se teplota oceli zvýší, což napomáhá rychlejšímu vysychání vodou otryskaných součástí, a tím se snižuje riziko bleskové koroze [22; 23].

Použití: Čištění povrchů, čištění silnic, čištění kontejnerů, renovace betonu, odstraňování nátěrů, čištění cisternových vozů, čištění kanalizace [22]



Obrázek 18 Odstranění barvy a korozních produktů vodním paprskem [23]

Tabulka 3 Stupně přípravy povrchu dle normy ISO 8501-4 tryskáním vodním paprskem o vysokém tlaku [24]

Wa1	Lehké otryskání paprskem o vysokém tlaku	Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch bez viditelných stop oleje a mastnoty, nepřilnavých nebo poškozených nátěrů, nepřilnavé rzi nebo ostatních cizích látek. Všechny zbytky znečištění musí být rozptýleny náhodně a musí být pevně přilnavé.
Wa2	Důkladné otryskání paprskem o vysokém tlaku	Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch bez viditelných stop oleje, mastnoty, nečistot a většiny rzi předchozích nátěrů a ostatních cizích látek. Všechny zbytky znečištění musí být rozptýleny náhodně a mohou obsahovat pevně přilnavé povlaky, pevně přilnavé cizí látky a stíny po dřívě se vyskytující rzi.
Wa 2^{1/2}	Velmi důkladné otryskání paprskem o vysokém tlaku	Při prohlídce bez zvětšení musí být povrch bez všech viditelných stop koroze, oleje, mastnoty, nečistot, předchozích nátěrů kromě lehkých stop, bez všech cizích látek. Pokud byl původní nátěr neporušen, může povrch vykazovat barevné změny. Šedé nebo hnědočerné zbarvení v místech důlkové koroze nebo zkorodované oceli nelze dalším otryskáním vodou odstranit.

Wa3	otryskání až na vizuálně čistý povrch paprskem o vysokém tlaku	Při prohlídce bez zvětšení musí být povrch bez všech viditelných stop koroze, oleje, mastnoty, nečistot, předchozích nátěrů, a kromě lehkých stop, bez všech cizích látek. Povrch musí mít jednotný kovový vzhled.
------------	--	--

8.4 Tryskání sodou – soda blasting

Tryskání sodou je druh tryskání, který využívá jako abrazivo hydrogenuhličitan sodný, který se na povrch tryská tlakem vzduchu. Ukázalo se, že při použití této metody je velice účinné odstranění nečistot z povrchu materiálu. Tato metoda využívá nízkého tlaku stlačeného vzduchu, kde se abrazivo při nárazu na povrch roztříští a působí silou na nečistoty, které se odstraní. Používá se zejména tam, kde není přípustné odstranění základního materiálu. Jedná se o šetrnější formu abrazivního tryskání, která je vhodná na měkčí materiály – chrom, plast, sklo. Mezi nevýhodu této metody patří, že se abrazivo nedá recyklovat a neodstraňuje rez [18; 25].

Použití: Měkčí materiály (chrom, plast, sklo) [25].

8.5 Tryskání suchým ledem – dry ice blasting

Tryskání suchým ledem patří mezi novější a inovativní formy abrazivního tryskání. Při této metodě se využívá vysokotlaký tlak vzduchu spolu s peletami oxidu uhličitého, které jsou vrhány na povrch. Tato forma abrazivního tryskání je výjimečná, jelikož oxid uhličitý je netoxický a nereaguje se znečišťujícími látkami na povrchu dílu. Pelety oxidu uhličitého se vyrábějí tak, že se kapalný oxid uhličitý zmrazí při extrémních teplotách, které pak vypadají jako sníh. Při nárazu na povrch vysokou rychlostí vytvoří nízká teplota pelet a rychlost nárazu tepelný šok, který pomáhá rozbít vazby mezi povrchem a nečistotou, a pomáhá jej odstranit [18; 26].

Při tryskání suchým ledem se objevují tři druhy energií (viz. Obrázek 19) [19]:

1. **Přenos kinetické energie** – pelety suchého ledu jsou stlačeným vzduchem urychlovány na vysokou rychlost (dochází k roztříštění vrchní vrstvy nečistot) [19].
2. **Mikro tepelný přenos energie** – různé materiály se nerovnoměrně smršťují a snižuje se přilnavost mezi nimi. Tento tepelný rozdíl pomáhá oddělit nečistoty od základního materiálu [19].
3. **Sublimační přenos energie** – Po prvním nárazu pelet na materiál se suchý led okamžitě změní z pevné látky na plyn, který způsobí mikro výbuch (sublimaci), a ten oddělí nečistoty/ zbytky nečistot od pokladu [19].



Obrázek 19 Ukázka tryskání suchým ledem [19]

Výhody tryskání suchým ledem:

Peletky suchého ledu po nárazu zmizí a nezmění geometrii čištěného povrchu

Minimalizace odpadu

Suchý proces

Nevýhody tryskání suchým ledem:

Proces tryskání je pomalejší u odolných nátěrových systémů

Nezdrsňuje materiál (pokud je potřeba na podklad nátěr, je potřeba použít jinou metodu, jelikož tryskání ledem nevytváří na podkladu zdrsňený povrch)

Hlučnost při vysokotlakém čištění [26]

Použití: Obnova po požáru, sanace plísní, odstraňování asfaltu [19]

8.6 Oklepávání štětinami (Blist Blaster)

Tryskání štětinami je jediné tryskání, při kterém se na povrch nevrhá abrazivo, ale štětiny z ocelového drátu, které se otáčejí přímo proti povrchu materiálu a odstraňují nečistoty. Tato metoda se využívá nejvíce na kovové povrchy s velkým množstvím koroze a povrch tak zůstává hladký a rovnoměrný a je srovnatelný s povrchem, kterého se dosáhne běžně používanými metodami tryskání. Používá se většinou pro lokální očištění při opravách [18; 27].

Použití: Rovnoměrný povrch [18]



Obrázek 20 Ukázka tryskání štětinami [27]

8.7 Tryskání aquabrasive (Hydrofinišování)

Tryskání metodou aquabrasive funguje na principu tryskání ve vodním prostředí. Jelikož se tlakový vzduch nahradil vysokotlakou vodou, získá tato metoda své výhody. Dříve tato metoda byla neekonomická, jelikož bylo potřeba používat tlak od 100 až 400 MPa. Poté se vyvinula metoda, která pracuje s tlakem od 25 až 33 MPa. Tato technika je vhodná mimo otryskávání ocelových výrobků také na otryskávání betonu i kamene. Otryskávací materiál se používá levný (písek, čedič). Mezi výhody této metody se řadí to, že při provozu nevzniká prašné prostředí a také tento způsob tryskání lze využít i v prostorách s nebezpečím výbuchu [5].

9 Tryskací materiály (abraziva)

Tryskací materiál plní roli nástroje při tryskání. Norma ČSN EN ISO 11124-1 definuje otryskávací prostředek jako pevný materiál určený k použití pro otryskávání [28]. Ekonomie a výkon tryskání nezávisí pouze na podmínkách tryskání, použitém zařízení, ale i na použitém abrazivu. Tryskací abrazivo se volí podle materiálu a tloušťky stěn otryskávané součásti, podle výchozího stavu povrchu součásti a podle požadovaného výsledku tryskání [1].

Vhodný výběr tryskacího prostředku má zásadní vliv na výsledné požadované vlastnosti tryskaného povrchu. Jeho správné určení ovlivňuje životnost tryskacích zařízení a také výši nákladů. Podle tvaru se používají částice ve formě [5; 16]:

- Granulátu (částice většinou kulovitého tvaru)
- Drtě (ostrohranné částice)
- Sekaného drátu (délka částic odpovídá průměru drátu)
- Stříhaného plechu (pravidelně nastříhaný plech)

Tryskací abrazivo se dělí podle skupenství, složení, tvaru, velikosti, tvrdosti zrna do několika hledisek:

Základní dělení podle typu materiálu – **kovové a nekovové**

Dělení dle původu – **přírodní a syntetické**

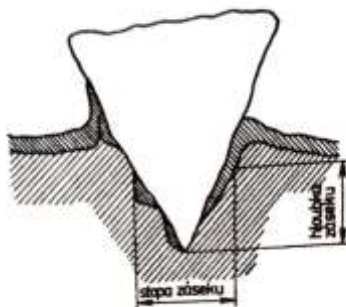
Dělení dle tvaru – **ostrohranné a oblé**

Dle tvrdosti [16; 1]

Tvrdá a ostrá brusiva čistí povrch a odstraňují z něj i částice kovu tím, že se do povrchu zasekávají. Výsledkem je drsný povrch, pokrytý malým množstvím kráterů [15].

Při použití suspenzí vody a brusiva, voda zmenšuje účinek tryskání, a to má za výsledek vyhlazovací účinek (hydrofinašování) [15].

Při použití kulatého zrna dochází k čištění a zpevňování povrchu, který je po otryskání pokryt mělkými důlky. Ačkoliv je úběr kovu nepatrný, je zde nebezpečí, že se zbytky kovů zatlačí do povrchu [15].



Obrázek 21 Tvar záseku ostrohranného tryskacího materiálu [5]

Požadované vlastnosti tryskacích prostředků [13]:

- 1) Základní
 - Typ materiálu a jeho stav
 - Tvar zrna
 - Velikost zrna
 - Odolnost zrna proti opotřebení
- 2) Mechanické
 - Tvrdost
 - Pevnost v tahu
- 3) Technologické
 - Schopnost odstraňování materiálu
 - Zdrsňující účinek

9.1 Vlastnosti tryskacích prostředků

a) Specifická hmotnost

Tato vlastnost je jednou z nejdůležitějších, protože má vliv na kinetickou energii a setrvačnost urychleného zrna abraziva. Pro standardní aplikace se vyžaduje, pokud možno největší hmotnost [16].

b) Objemová hmotnost

Objemová hmotnost slouží ke kontrole, zda abrazivo (ocelový granulát) neobsahuje nadměrný podíl dutých částic. Pomocí sypné objemové hmotnosti se určuje potřebný objem zásobníku abraziva u tryskacích zařízení [16].

c) Tvrдость

Tvrдость patří mezi velmi důležité vlastnosti tryskacího prostředku, jelikož částečně určuje míru razance úběru při tryskání, a má také vliv na životnost abraziva. Z těchto důvodů by měla být tvrdost abraziva minimálně stejná jako tvrdost tryskaného materiálu [16].

d) Tvar zrna

Tvar zrna se dělí dle tvaru na oblé a ostrohranný. Oblá zrna se používají tam, kde je potřeba dosáhnout jemnějšího povrchu s plastickou deformací. Ostrohranná zrna se používají tam, kde je potřeba razantní úběr povrchových vrstev [16].

e) Životnost

Životnost má podstatný význam z hlediska ekonomiky tryskání obzvláště v tryskacích zařízeních s uzavřeným oběhem abraziva [16].

Tabulka 4 Životnost vybraných tryskacích materiálů [16]

Druh tryskacího prostředku	Životnost [h]
Ocelový granulát	1000 až 2000
Ocelová drť	1500 až 1800
Litinový granulát	400 až 500
Litinová drť	350 až 450

9.2 Rozdělení tryskacích materiálů a jejich použití

Materiály, které jsou využívány pro tryskání se rozdělují do tří skupin, které jsou zobrazené v Tabulce 5, a jejich využití na jednotlivé aplikace v praxi je uvedeno v Tabulce 6.

Tabulka 5 Rozdělení tryskacích materiálů [13]

TRYSKACÍ PROSTŘEDKY	KOVOVÉ	NEKOVOVÉ ANORGANICKÉ	NEKOVOVÉ ORGANICKÉ
	Ocelová drť	Křemičitý písek	Plast
	Vysoko-uhlíková litá ocel	Struska z rafinerie mědi	Pšeničný škrob
	Nízkouhlíková litá ocel	Struska z uhelných pecí	Kukuřičná drť
	Stříhaný ocelový drát	Niklová rafinérská struska	Mletý kukuřičný klas
	Stříhaný hliníkový drát	Železná struska	Drcené skořápky vlašských ořechů
	Stříhaný zinkový nebo pozinkovaný drát	Tavený oxid hlinitý	Dřevěné pelety
		Olivínový písek	Suchý led
		Staurolit	Jedlá soda
		Almandinový granát	
		Keramika	
		Skleněné korálky	

Tabulka 6 Přehled tryskacích prostředků používaných pro různé prostředky [13]

APLIKACE	MATERIÁLY PRO TRYSKÁNÍ						
	Ocelová drť	Korund	Ocelové broky	Skleněné korálky	Plast	Keramika	Organické
Odstranění lepidla					X		
Příprava před eloxováním		X		X		X	
Matný povrch				X		X	
Renovace artefaktů					X		X
Příprava před lepením	X	X					
Čištění odlitku	X		X				
Čištění kompozitů					X		
Čištění betonu	X						
Odstranění korozních produktů	X	X	X	X		X	
Estetická ošetření		X	X	X		X	
Odstranění lesku		X		X		X	
Odhrotování					X		X
Běžné čištění	X	X	X				
Dekorace skla		X				X	
Čištění forem pro tlakové lití				X	X	X	X
Odstranění starých nátěrů	X	X			X		X
Příprava před lakováním	X	X	X				
Rovnění a tvarování kuličkováním			X	X			
Údržba strojů	X	X	X	X		X	
Příprava před metalizací	X	X					
Příprava před zinkováním				X		X	
Čištění před a po svařování	X	X		X		X	
Čištění světel na vzletové a přistávací dráze							X
Odstraňování vodního kamene	X	X	X	X		X	
Tvarování povrchu	X	X	X	X		X	
Čištění turbín							X
Čištění povrchu dřeva		X					

10 Charakteristika nejpoužívanějších tryskacích materiálů

10.1 Ocelový granulát

Ocelový granulát typu S je vyroben z nadeutektoidní speciálně tepelně zpracované oceli. Tato ocel se vyznačuje jemnou homogenní strukturou temperovaného martenzitu, který vykazuje optimální odrazovou pružnost a odolnost proti únavě. Nejčastěji se tento typ abraziva používá v tryskacích zařízeních s metacími koly pro čištění hutních polotovarů [13; 29].

Tabulka 7 Chemické složení ocelového granulátu [13]



Obrázek 22 Ocelový granulát [13]

Chemické složení	%
C	0,75-1,20
Mn	0,60-1,10
Si	0,60-1,10
P	max. 0.04
S	max. 0.04

10.2 Ocelová drť

Ocelová drť se vyrábí drcením speciálně tepelně upravených granulí o větším průměru [13]. Jedná se o ostrohranný kovový tryskací prostředek, který se používá především v pneumatických tryskačích. Řadí se mezi velmi účinný prostředek pro čištění a úpravu povrchu. V tryskacích zařízeních s metacími koly se používá spíše výjimečně, kvůli značnému oběhovému výkonu abraziva dochází k nadměrnému abrazivnímu opotřebení metací jednotky a náklady na výměnu součástí dosahují značné výše [29].

Tabulka 8 Chemické složení ocelové drti [13]



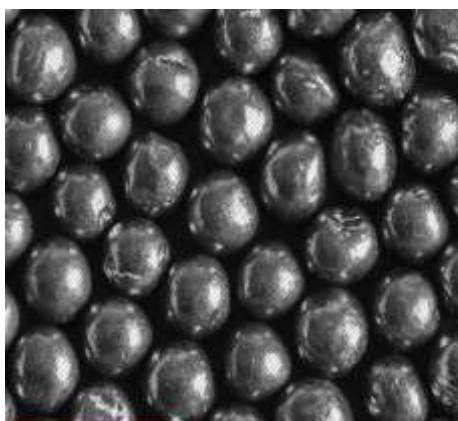
Obrázek 23 Ocelová drť [13]

Chemické složení	%
C	0,75-1,20
Mn	0,60-1,10
Si	0,60-1,10
P	max. 0.04
S	max. 0.04

10.3 Litinový granulát

Litinový granulát (litinové broky) se vyrábí rozstříkem tekutého kovu, převážně ze zrn kulovitěho tvaru. Jelikož obsahuje perlitický (martenzický) základ a masivní částičky karbidu železa, je vynikajícím nástrojem pro vysokotlaké otryskávání a čištění. Využívá se převážně pro čištění kotlů, vysokotlaké tryskání a zdrsňování povrchů [30; 31; 16].

Tabulka 9 Chemické složení litinového granulátu [16]



Obrázek 24 Litinový granulát [31]

Chemické složení	%
C	3 - 3,40
Mn	nepředepisuje se
Si	1 - 1,50
P	max.0,10
S	max.0,25

10.4 Litinová drť

Litinová drť se vyrábí drcením litinového granulátu většího průměru a řadí se tak mezi ostrohranné tryskační materiály. Používá se pro odstranění koroze, starého nátěru, čištění odlitků. Mezi výhody tryskání litinou patří nezvykle dlouhá životnost a vysoká účinnost. Navíc při tryskání nedochází k zaoblení, a tím se nesnižuje abrazivní účinnost [32; 16].

Tabulka 10 Chemické složení ocelové drtě [16]



Obrázek 25 Litinová drť [32]

Chemické složení	%
C	3-4
Mn	nepředepisuje se
Si	1 - 1,50
P	max.0,10
S	max.0,25

10.5 Hliníkový řezaný drát

Hliníkový řezaný drát je vhodný především na tryskání hliníkových odlitků. Pro čištění hliníkových povrchů nejsou tryskační materiály na bázi železa vhodné, jelikož po otryskání zůstávají na čištěném povrchu částice železa, a vzhledem k rozdílnému potenciálu Fe a Al by mohly vzniknout elektrické články, které by mohly vést ke korozním procesům [13].

Tabulka 11 Chemické složení hliníkového sekaného drátu [13]



Obrázek 26 Hliníkový řezaný drát [13]

Chemické složení	%
Fe	0,16-0,40
Al	99,7
Zn	0-0,1
Mg	0-5,6
Cu	0,01-0,1
Cr	0-0,2

10.6 Zinkový řezaný drát

Zinkový řezaný drát je vhodný pro tryskání zinkových odlitků. Může být však použit i pro tryskání ocelových povrchů, jelikož při tomto procesu dochází k usazování zinku na ocelový povrch, což má za následek dočasnou ochranu oceli proti korozi [13].

Tabulka 12 Chemické složení zinkového řezaného drátu [13]



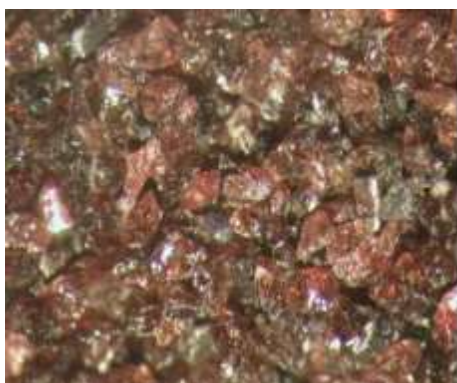
Obrázek 27 Zinkový řezaný drát [13]

Chemické složení	%
Fe	0,004
Zn	99,9
Al	0,003
Cu	0,001
Cd	0,002

10.7 Hnědý korund

Hnědý korund patří mezi tryskací materiály, které jsou velmi tvrdé a agresivní. Vyrábí se tavením bauxitu v indukční peci při teplotě 1600 °C. Používá se pro čištění oceli nebo šedé litiny, odstraňování otřepů z kalené oceli, zpracování dřeva a plastů, odstraňování korozních produktů a zdrsňování povrchu [13].

Tabulka 13 Chemické složení hnědého korundu [13]



Obrázek 28 Hnědý korund [13]

Chemické složení	%
AlO ₂₃	min.95,50
SiO ₂	max.1,40
FeO ₂₃	max.0,60
CaO	max.0,40
TiO ₂	1,80-2,80

10.8 Skleněné korálky

Skleněné korálky se používají především k jemnému tryskání, leštění, tryskání nerezových materiálů, konečné úpravě apod. Skleněné kuličky nereagují s otryskávaným povrchem, jelikož jsou inertní a také toxikologicky a ekologicky nezávadný [13].

Tabulka 14 Chemické složení skleněných korálek [13]



Obrázek 29 Skleněné korálky [13]

Chemické složení	%
SiO ₂	min. 65,0
Na ₂ O	min. 14,0
CaO	min. 8,0
MgO	min. 2,5
AlO ₂₃	min. 0,5-2,0
FeO ₂₃	max.0,15
Ostatní	max. 2,0

10.9 Jedlá soda

Jedlá soda se řadí mezi krystalický, ve vodě nerozpustný, nehořlavý, nevýbušný, netoxický materiál bez zápachu, který nepoškozuje čišťený povrch. Je bezpečný pro životní prostředí a používá se k čištění všech druhů materiálů (hliník, kovové slitiny, pokovené materiály, chromované materiály, sklo, guma, plast, keramika, beton, dlaždice). Snadno odstraňuje z povrchu mastnotu, olej, vodní kamen, rez, karbon, graffiti, staré nátěry a různé vrstvy [13].

Tabulka 15 Chemické složení jedlé sody [13]



Obrázek 30 Hydrogenuhlíčan sodný [13]

Chemické složení	%
NaHCO ₃	100

10.10 Duroplast EG

Plastový tryskáč materiál se používá k odstraňování vodního kamene z elektronických prvků, k odstranění syntetických zbytků z konektorů, aby nedošlo k poškození kovového povrchu apod. Duroplast EG má nízkou prašnost, neuvolňuje křemičitany a je netoxický [13].

Tabulka 16 Chemické složení Duroplastu EG [13]



Obrázek 31 Plastový tryskáč materiál (Duroplast EG) [33]

Chemické složení	%
Nenasycený polyester	100

10.11 Balotina

Balotinou jsou myšleny kuličky ze sodného skla, které je nejčastěji používáno k tryskání korozivzdorných ocelí, tryskání a leštění hliníkových slitin a jiných barevných kovů, leštění defektů po galvanickém zinkování a odstraňování otřepů.

Tabulka 17 Chemické složení balotiny [16]



Obrázek 32 Ukázka balotiny [16]

Chemické složení	%
SiO ₂	min. 65,0
Na ₂ O	min. 14,0
CaO	min. 8,0
MgO	min. 2,5
AlO ₂₃	min. 0,5-2,0
Fe ₂ O ₃	max.0,15
Ostatní	max. 2,0

10.12 Uhelňá struska

Struskové abrazivo má v současnosti rovnocenné a perspektivní vlastnosti jako křemičitý písek. Použití křemičitého písku je zejména ze zdravotních, hygienických a ekologických důvodů celosvětově omezováno, a mělo být v brzké době (EU) kompletně zakázáno. Pro výrobu abraziva je potřeba tavná struska, která se produkuje při spalování černouhelného prachu při teplotách kolem 1500°C. Po prudkém ochlazení vodou a tím dojde ke vzniku granulovité skloviny. [16].

Tabulka 18 Chemické složení uhelné strusky [16]



Obrázek 33 Ukázka uhelné strusky [32]

Chemické složení	%
SiO ₂	46,5
volný SiO ₂	<0,1
Al ₂ O ₃	22,5
Fe ₂ O ₃	19
CaO	5,5
MgO	1
TiO ₂	1
K ₂ O	1

10.13 Sekaný drát

Sekaný drát patří mezi kovové prostředky, které jsou přechodem mezi kovovými abrazivy typu drť a granulát. Nejčastější použití je v tryskacích zařízeních s metaacímí koly, neboť i když se jedná o ostrohranné abrazivo, je poměrně houževnatý. Při používání sekaného drátu se jeho hrany zaoblí a nedochází k přílišnému opotřebení tryskacího zařízení [29].



Obrázek 34 Ukázka sekaného drátu [33]

Chemické složení	%
C	0,07-0,09
Mn	1,40-1,55
Si	0,80-0,95
Cr	/
Ni	/
P	0,02
S	0,02

10.14 Australský granát

Australský granát je dle firmy Corrotech „všestranný“ otryskávací prostředek pro údržbu, který by mělo být nejúčinnější a nákladově nejefektivnější abrazivo, které by mělo být ideální pro odstraňování střední až silné rzi a středních až silných průmyslových nátěrů [32].



Obrázek 35 Ukázka australského granátu [32]

10.15 Křemičitý písek

Křemičitý písek je vhodný pro povrchovou úpravu a renovaci těžkých ocelových konstrukcí, kamenů a cihel. Křemičitý písek se doporučuje především do mobilních tlakových nádob [20].

Výhody:

- Abrazivní vlastnosti
- Efektivní při odstraňování rzi
- Nízké náklady

Nevýhody:

- Nevhodné pro měkčí materiály (sklo, dřevu, plast)
- Při tryskání vzniká větší teplo
- Při špatné aplikaci může poničit tryskaný materiál
- Může způsobit silikózu [34; 20]



Obrázek 36 Ukázka křemičitého písku [34]

Tabulka 20 Základní vlastnosti vybraných tryskacích materiálů [13]

Materiál	Velikost zrna (μm)	Tvar	Hustota ($\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$)	Tvrdoost (Mohs)	Křehkost	Počet cyklů – životnost	Náklady na používání	Původ
Křemičitý písek	6-270	☼	1,66	5-6	vysoká	1	střední	přírodní
Soda	8-80	☼	1,4-1,86	7-7,5	vysoká	1-2	střední	vedlejší produkt
Ocelová drť	10-235	☼	3,83	8	nízká	200+	střední	vyrobena
Ocelový granulát	8-200	●	4,6	8	nízká	200+	střední	vyrobena
Korund	12-325	☼	2,08	9	střední	6-8	střední	vyrobena
Karbid křemíku	12-325	☼	1,83	9,5	střední	5-6	střední	vyrobena
Skleněné korálky	10-400	●	1,4-15	5,5-6,0	střední	8-10	nízká	vyrobena
Plast	12-80	☼	0,75-1	3,0-4,0	nízká/střední	8-10	střední	vyrobena
Pšeničný škrob	12-80	☼	0,75	3	střední	12-15	vysoká	vyrobena
Polymer a kukuřičná drť	16-60	☼	0,75	3	nízká	14-17	střední	vyrobena
Mletý kukuřičný klas	8-40	☼	0,58-0,75	2,0-4,5	střední	4-5	nízká	vedlejší produkt

10.16 Sponge – jet media

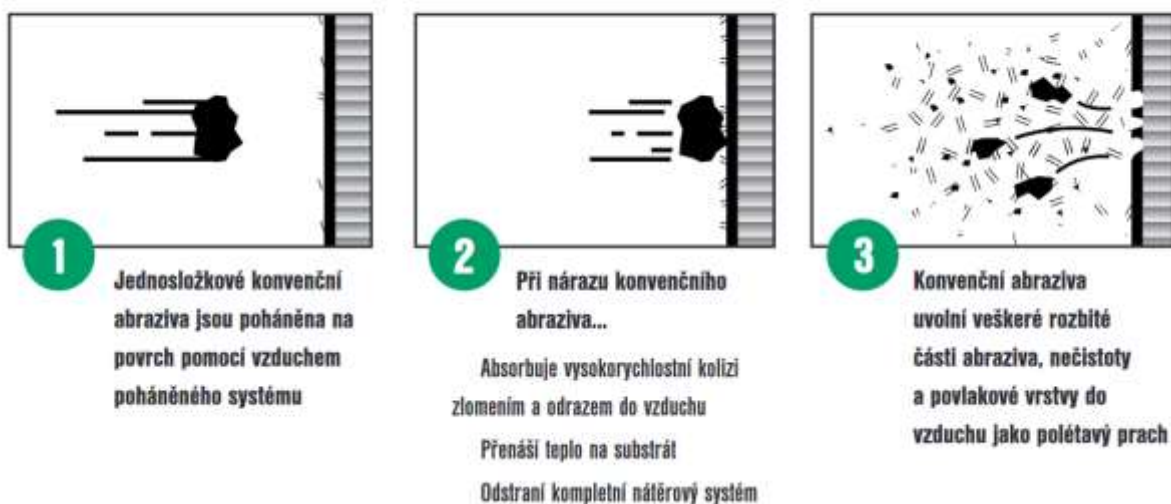
Sponge-jet media jsou novinkou mezi tryskacími materiály, a byla vyvinuta z řady kompozitních abrazivních materiálů, které by měly obsahovat nejlepší abraziva nebo mikroabrazivní částice ve vysoce výkonné syntetické houbě. Firma Sponge-jet uvádí, že tato metoda je schopna dosáhnout všech uznávaných standardů čistoty povrchu pro abrazivní tryskání. Tato řada recyklovatelných kompozitních materiálů by měla poskytovat vynikající výsledky, jelikož houba by měla zachycovat až 95 % nečistot, až o 96 % snížit množství odpadu a až o 98 % snížit nebezpečný prach. Díky funkci mikroobalu firma Sponge-jet uvádí, že tyto materiály snižují emise [35].

10.16.1 Princip metody sponge – jet

Princip této metody má tři části [35]:

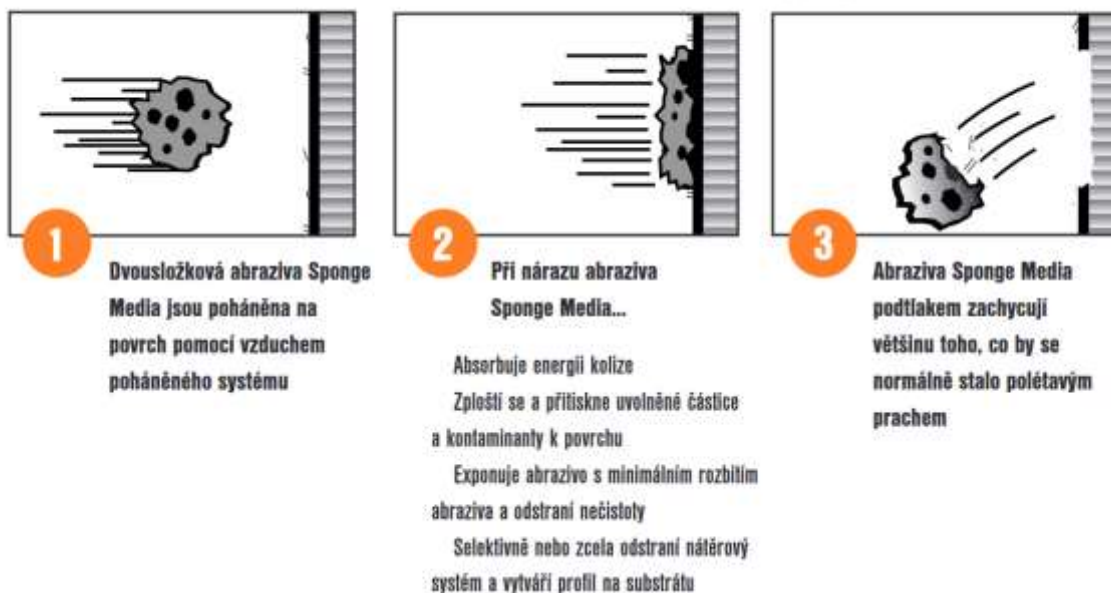
- 1) Náraz (abrasivní zdršňování) – houbové médium se při nárazu zploští, brusivo čistí, obrušuje a zdršňuje povrch
- 2) Expanze (sání) – houbová média se rozpínají a vytvářejí podtlak (vtahují nečistoty)
- 3) Zadržování (odraz) – médium zachycuje nebezpečné částice, což usnadňuje čištění a omezuje šíření nečistot

Konvenční abrazivní otryskávací média



Obrázek 37 Princip konvenčního abrazivního otryskávacího média [35]

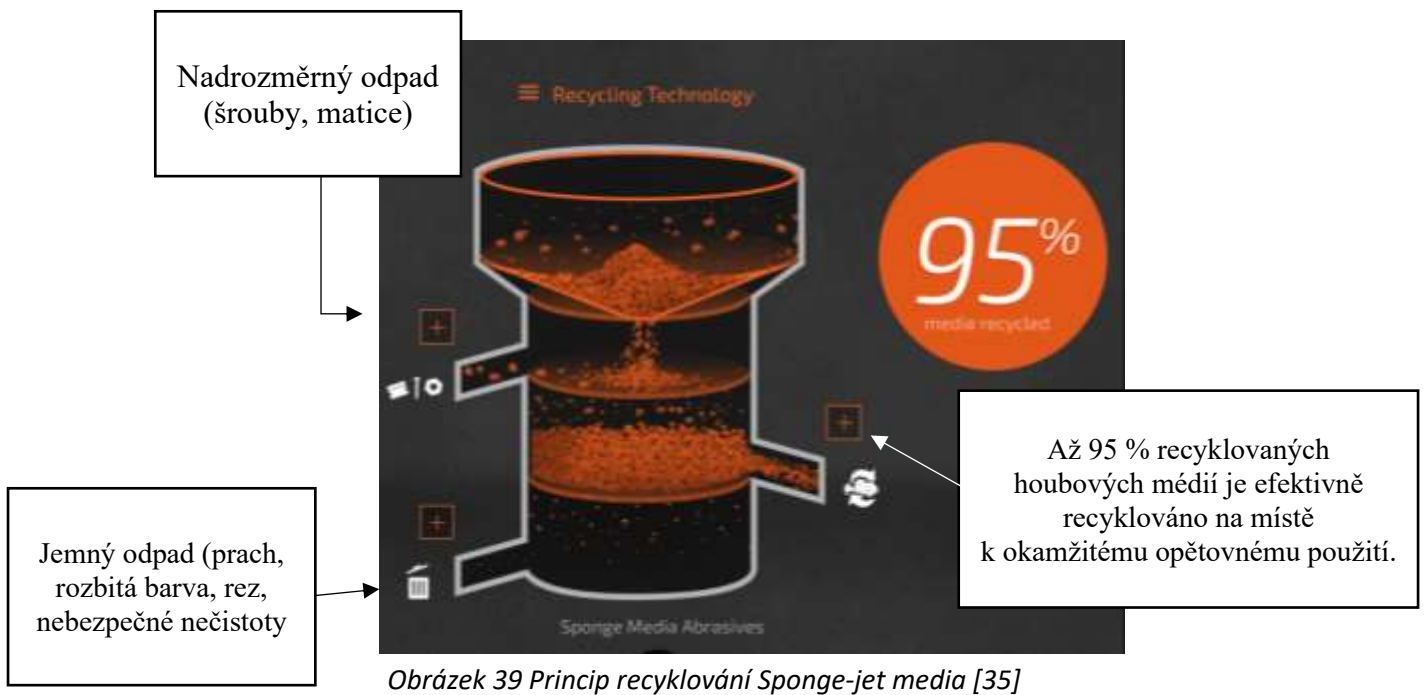
Konvenční abrazivo vázané na houbové médium Sponge Media



Obrázek 38 Princip konvenčního abraziva vázané na houbové médium [35]

10.16.2 Recyklace sponge – jet

Recyklátory čistí a třídí houbová média pro opětovné použití, oddělují média od nadměrných zbytků a jemného odpadu [35].



Obrázek 39 Princip recyklování Sponge-jet media [35]

10.16.3 Rozdělení

1) Silver sponge media

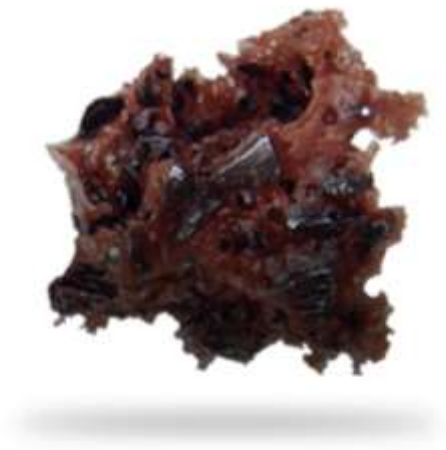
Kombinace jednoho z nejtvrďšího a nejučinnějšího brusiva (oxid hlinitý). Recyklovatelnost houbových médií a řada zrnitostí, které jsou vhodné prakticky pro každou aplikaci [35].



Obrázek 40 Sponge media ze stříbra [35]

2) Red sponge media

Tento typ se používá na silně zkorodované oceli nebo k odstraňování silných nebo křehkých nátěrů, kde je vyžadováno odstranění nárazem [35].



Obrázek 41 Red sponge media [35]

3) White sponge media

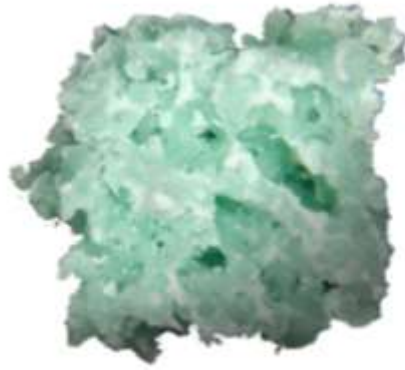
Používá se v široké škále historických a průmyslových aplikacích [35].



Obrázek 42 White sponge media [35]

4) Green sponge media

Tento typ se používá na odstraňování tuků a olejů z tvrdých podkladů nebo těžkých strojů bez poškození hadic nebo šroubení. Používá se na odstraňování kouře a sazí z většiny průmyslových povrchů (beton, ocel) [35].



Obrázek 43 Green sponge media [35]

5) Blue sponge media

Blue sponge media využívá čisticí sílu houby bez přidaného abraziva k odstranění a absorpci nečistot bez přítomnosti vlhkosti a bez poškození kolizní energie u citlivých substrátů. Používá se k jemnému odstranění nečistot [35].



Obrázek 44 Blue sponge media [35]

6) Super sponge media

Super media jsou navržena tak, aby agresivně odstraňovaly povlaky nebo kontaminanty a vytvářely vysoký profil jak na oceli, tak betonu. Používá se pro odstraňování polyuretanových a pogumovaných nátěrů a používá se také pro přípravu povrchu betonu před nátěrem [35].



Obrázek 45 Super sponge media [35]

7) White glass bead sponge media

White glass bead media jsou určena pro přípravu slitin. Houba je impregnovaná skleněnými kuličkami pro lehké otryskávání kovů nebo jiných materiálů [35].



Obrázek 46 White glass bead sponge media [35]

11 Tryskací zařízení

Tryskání probíhá při dvou způsobech urychlování tryskacího prostředku [15]:

- 1) Energií stlačeného vzduchu
- 2) Mechanickou energií rotujícího metacího kola

11.1 Pneumatické tryskání

Pneumatické tryskání pracuje na principu vysoké rychlosti vytékajícího stlačeného vzduchu z trysky. Do tohoto vzduchu je přiváděn tryskací materiál a tímto způsobem urychlován. Tato směs vzduchu a tryskacího materiálu dopadá na otryskávaný předmět v daném úhlu a vzdálenosti [5; 1].

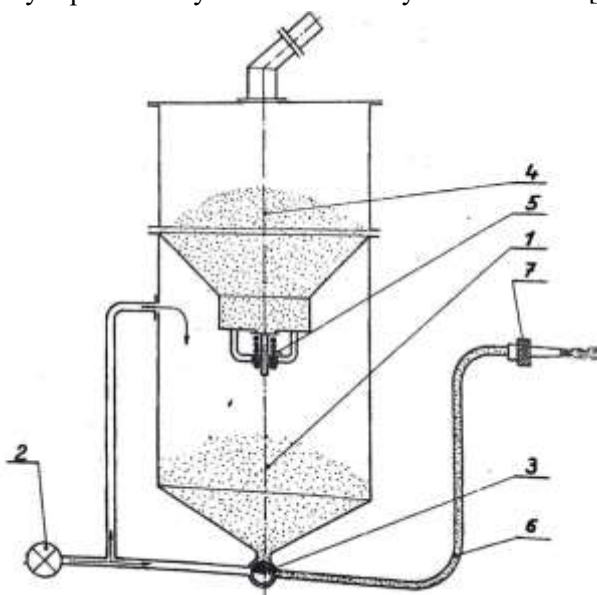
Pneumatické tryskání je velice variabilní způsob a umožňuje tryskání i velice členitých předmětů. Lze otryskávat i v terénu různé konstrukce, energetická a jiná zařízení. Pro pneumatické tryskání ve volném prostoru se používá především křemičitý písek, který není již zpětně zachycován a regenerován [5].

Pneumatické tryskání lze rozdělit na [5]:

- Tlakový způsob (tryskací částice jsou vedeny z tlakové nádoby pod tlakem do trysky)
- Sací způsob (částice jsou nasávány injektorovým způsobem)
- Spádový způsob (částice vytékají ze zásobníku vlivem gravitace)

Tlakový způsob tryskání

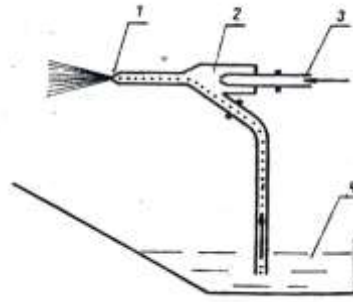
Při tlakovém způsobu pneumatického tryskání je otryskávací prostředek odebírán z tlakové nádoby, kde se ve spodní části nachází komora s regulačními orgány, do které padá otryskávací prostředek, a je částečně urychlován proudícím vzduchem. V praxi se používá čteněji než způsob pneumatický. Tryskací materiál se vzduchem přivádí jednou hadicí k trysce. To znamená, že tryskací materiál se pod tlakem vhájí ze zásobníku do hadice, v níž proudí vzduch. Výhodou této metody je snadnější manipulace s tryskou, nevýhodou je poměrně vysoké opotřebení přívodu, kterým prochází vysoce abrazivní tryskací materiál [5; 1].



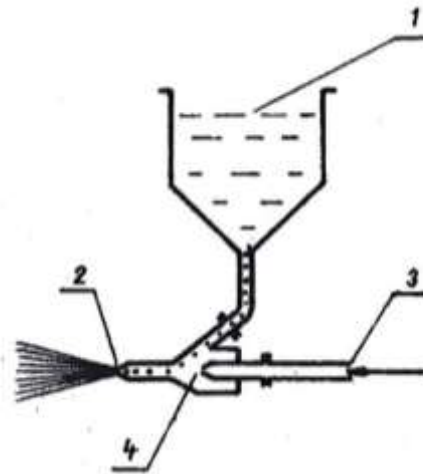
Obrázek 47 Princip tlakového způsobu tryskání (1 - zásobník, 2-ventil, 3-směšovací komora, 4-zásobník písku, 5- pískový ventil, 6-hadice, 7-tryska) [5]

Sací způsob tryskání

U této metody tryskání je prostředek nasáván injektorovým způsobem do pracovního prostoru tryskami pistole z beztlakové nádoby. Tryskací pistole se skládá z primární vzduchové trysky, kterou proudí stlačený vzduch do meziprostoru, kde vzniká podtlak. Sací způsob může být realizován buď přisáváním tryskacího materiálu nebo využitím gravitační energie [5; 1].



Obrázek 48 Princip sacího tryskacího způsobu (1-tryska,2-směšovací prostor, 3-přívod vzduchu,4-zásobník tryskacího materiálu) [5]



Obrázek 49 Princip spádového tryskacího způsobu (1-zásobník tryskacího materiálu, 2-tryska, 3-přívod vzduchu, 4-směšovací prostor) [5]

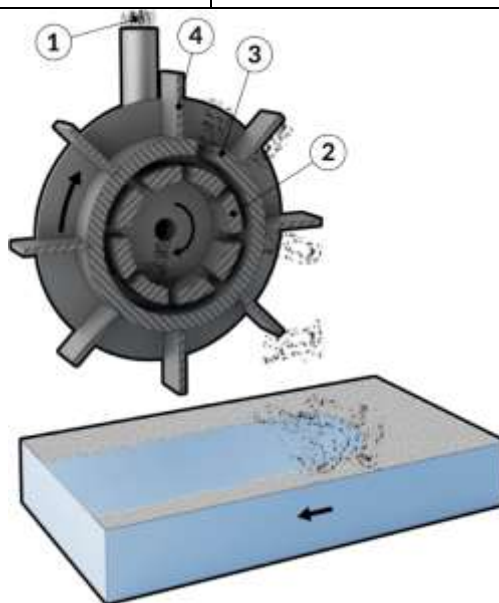
11.2 Tryskání metacími koly

Při tryskání metacími koly je tryskací materiál urychlován otáčejícími se lopatkami, které využívají odstředivou sílu. Při otáčení metacího zařízení je tryskací materiál za působením odstředivé síly hnán na okraj lopatek a vrhán proti otryskávanému předmětu. Tento způsob tryskání je vhodný pro otryskávání hutního materiálu (profilů různých tvarů a rozměrů), plechů a trubek. Otryskávání pomocí metacích jednotek je vhodnější a více využíváno než tryskání pneumatické, jelikož provozní náklady jsou několikrát nižší. Metací jednotky jsou zabudovány v zařízeních nejrůznějších typů a velikostí. Tryskání metacími jednotkami je velmi výkonné, je možné je mechanizovat a automatizovat. Při posouzení z energetického hlediska je tryskání s metacími jednotkami přibližně 5x levnější oproti pneumatickému [5; 1].

Výhodou této metody je dobrá rychlost čištění, efektivnost na velké součásti a nevyžaduje použití stlačeného vzduchu. Mezi nevýhody patří možné poškození výrobku kvůli vysoké rychlosti, lze použít pouze omezené množství brusiva. Zároveň je tato metoda nevhodná pro nestejněměrné a relativně tenké výrobky [36].

Tabulka 21 Porovnání vhodnosti metody tryskání metacími koly [36]

VÝHODY	NEVÝHODY
Nevyžaduje k provozu stlačený vzduch	Může dojít k poškození součásti vzhledem k vysoké rychlosti
Dobrá rychlost čištění	Nevhodné pro nestejnsměrné a relativně tenké součásti
Účinné pro velké součásti	Lze použít pouze omezené množství brusiva



Obrázek 50 Princip tryskání metacími koly (1-tryskáci materiál, 2-vnitřní rotující kolo, 3 – buben se štěrbinou, 4- rotující kolo s lopatkami) [36]

12 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Cílem diplomové práce je vyhodnocení technologií tryskání pro praktické využití. Vzorky o rozměrech 150x50x5 mm a 150x50x1 mm byly tryskané různými způsoby tryskání a odlišnými abrazivními materiály. Vybrané abrazivní materiály pro dosažení cíle diplomové práce byly:

- Ocelový granulát – S230
- Ocelová drť – GH18
- Hnědý korund – F46
- Balotina – B134
- Křemičitý písek – ST08
- Sponge jet media – S30

Vzorky byly vyrobeny ve firmě S.A.F. Praha spol. s.r.o., a otryskány byly ve firmách S.A.F. Praha spol. s.r.o. (S230, GH18, F46, B134), Bintana s. r. o. (ST08) a CORROTECH TRADE, s.r.o. (Sponge jet media-S30).

Pro vyhodnocení vhodnosti technologií tryskání byla na vzorkách měřena:

- Rovinnost (laboratoř FS ČVUT v Praze)
- Drsnost (laboratoř FS ČVUT v Praze)
- Morfologie povrchu (Faurecia Exhaust systems)
- Deformace

12.1 Zařízení použité pro experiment

- **Měření rovinnosti**
(CMM) Carl Zeiss UMC 1000 Carat
Software na vyhodnocení rovinnosti: Zeiss Calypso
Maximální chyba indikace měření: CMM je ve 3D 2,4 + L/300 μm



Obrázek 51 Carl Zeiss UMC 1000 Carat



Obrázek 52 Měřící sonda

- **Měření drsnosti:**

Přenosný drsnoměr, snímací hrot 5 μm MarSurf PS 10 Mahr

Nejistota měření Ra, Rz, Rmax: 5%



- **Zvětšení profilu vzorků:**

Digitální mikroskop KYENCE – VHX- 7000

Přesnost měření objektivu: 4 μm (zvětšení 20-30x)

2 μm (zvětšení 50-200x)



Obrázek 53 Digitální mikroskop KYENCE – VHX – 7000

12.2 Materiál použitý pro experiment

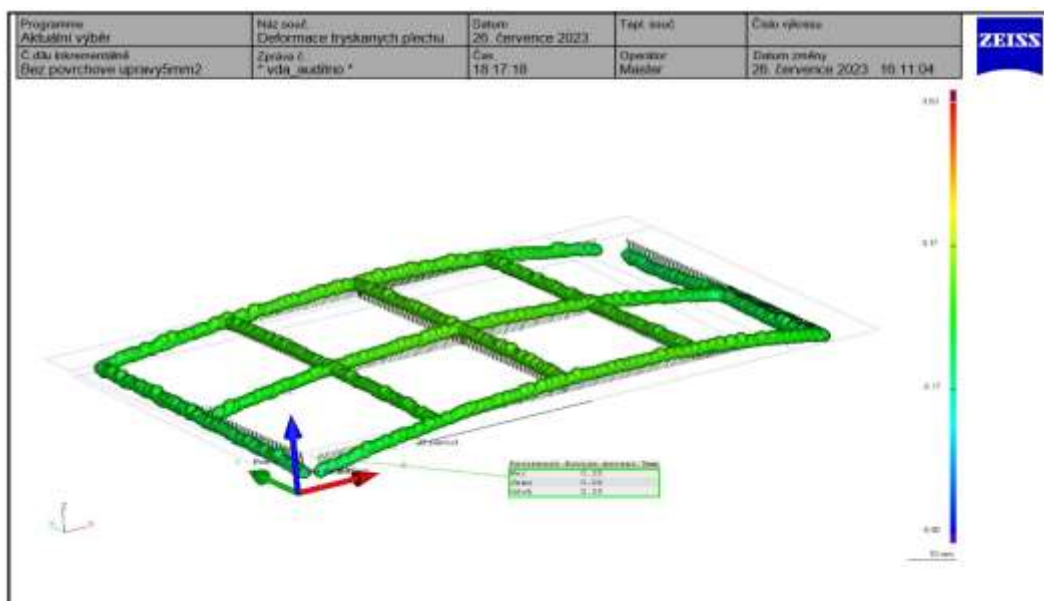
- Ocel S235 (ČSN 11375)
- Nelegovaná konstrukční ocel
- Dobrá plasticita, houževnatost, svařitelnost
- Tloušťka materiálu 5 mm válcovaná za tepla
- Tloušťka materiálu 1 mm válcovaná za studena

Tabulka 22 Chemické složení oceli S235

Prvek	C	Mn	Si	P	S	N	Al
Max. obsah [hm.%]	max. 0,170	/	/	max. 0,045	max.0,045	max.0,009	/



Obrázek 54 Vzorek před předúpravou povrchu S235JR tloušťka 5 mm



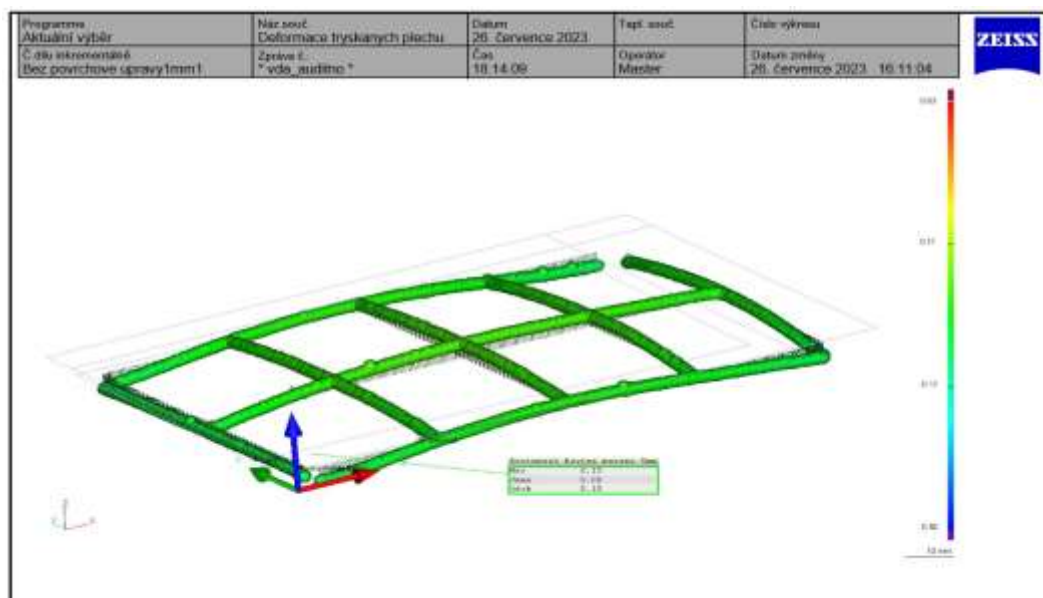
Obrázek 55 Měření rovinnosti vzorku před předúpravou povrchu tloušťka 5 mm (zvětšeno 50x)



Obrázek 56 Morfologie povrchu (zvětšení 100x)



Obrázek 57 Ukázka vzorku před předúpravou povrchu S235JR tloušťka 1 mm



Obrázek 58 Měření rovinnosti vzorku před povrchovou úpravou tloušťka 1 mm (50x zvětšeno)



Obrázek 59 Morfologie povrchu (zvětšení 100x)

12.3 Označování vzorků

Tabulka 23 Označování vzorků

Označení vzorku	Tloušťka	Způsob tryskání	Abrazivní materiál
A1	5	Tryskání metacími koly	S230
A2	5	Tryskání metacími koly	S230
A3	5	Tryskání metacími koly	S230
B1	1	Tryskání metacími koly	S230
B2	1	Tryskání metacími koly	S230
B3	1	Tryskání metacími koly	S230
C1	5	Tlakové tryskání	GH18
C2	5	Tlakové tryskání	GH18
C3	5	Tlakové tryskání	GH18
D1	1	Tlakové tryskání	GH18
D2	1	Tlakové tryskání	GH18
D3	1	Tlakové tryskání	GH18
E1	5	Injektorové tryskání	F46
E2	5	Injektorové tryskání	F46
E3	5	Injektorové tryskání	F46
F1	1	Injektorové tryskání	F46
F2	1	Injektorové tryskání	F46
F3	1	Injektorové tryskání	F46
G1	5	Injektorové tryskání	B134
G2	5	Injektorové tryskání	B134
G3	5	Injektorové tryskání	B134

H1	1	Injektorové tryskání	B134
H2	1	Injektorové tryskání	B134
H3	1	Injektorové tryskání	B134
CH1	5	Tlakové tryskání	ST08
CH2	5	Tlakové tryskání	ST08
CH3	5	Tlakové tryskání	ST08
I1	1	Tlakové tryskání	ST08
I2	1	Tlakové tryskání	ST08
I3	1	Tlakové tryskání	ST08
J1	5	Tlakové tryskání	S30
J2	5	Tlakové tryskání	S30
J3	5	Tlakové tryskání	S30
K1	1	Tlakové tryskání	S30
K2	1	Tlakové tryskání	S30
K3	1	Tlakové tryskání	S30

12.4 Výsledky měření tryskání metacími koly (S230)

12.4.1 Parametry tryskání

Tabulka 24 Zvolené parametry tryskání

Parametry tryskání metacími koly	
Čas	3 minuty
Zátěž motorů	11 A
Maximální zátěž motorů	13,7 A

12.4.2 Zvolený tryskací materiál – ocelový granulát S230



Obrázek 60 Zvolený tryskací materiál S230 ocelový granulát

12.4.3 Zvolené zařízení



Obrázek 61 Zařízení pro tryskání metacími koly RT 1D1000/OP2SF [37]

12.4.4 Výsledky měření vzorků A1, A2, A3 (tloušťka 5 mm)

- Výsledky vzorků po tryskání metacími koly

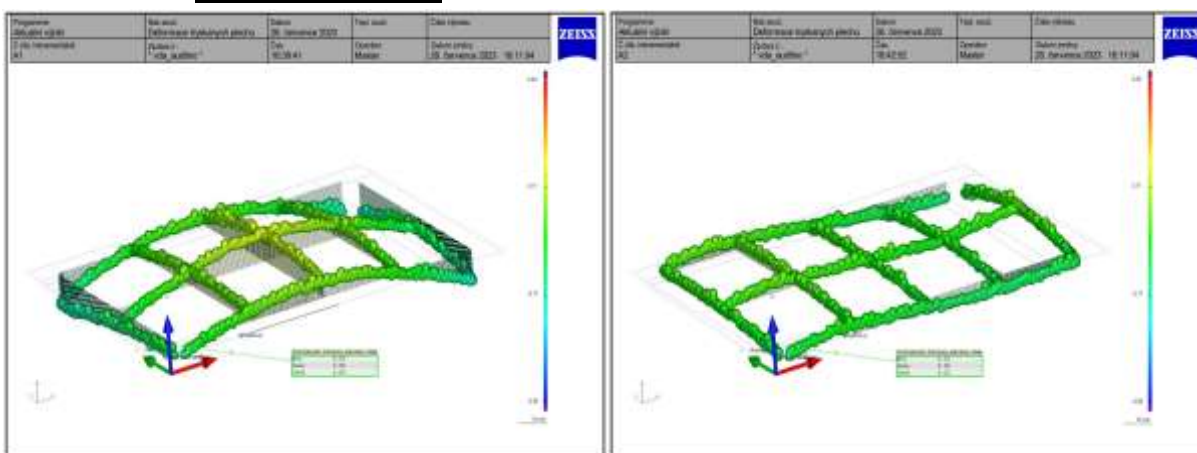


Obrázek 62 Vzorek A1 po tryskání Obrázek 63 Vzorek A2 po tryskání

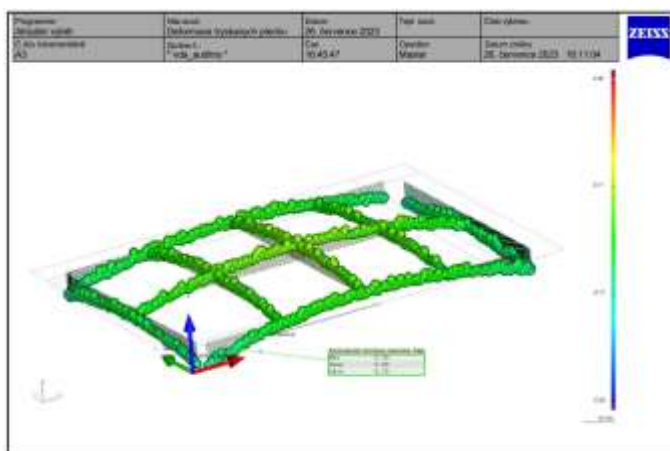


Obrázek 64 Vzorek A3 po tryskání

- **Měření rovinnosti**



Obrázek 65 Rovinnost vzorku A1 (zvětšeno 50x) Obrázek 66 Rovinnost vzorku A2 (zvětšeno 50x)



Obrázek 67 Rovinnost vzorku A3 (zvětšeno 50x)



Obrázek 68 Morfologie povrchu A1 (zvětšení 100x)

12.4.5 Výsledky měření vzorků B1, B2, B3 (tloušťka 1 mm)

- Výsledky vzorků po tryskání metacími koly

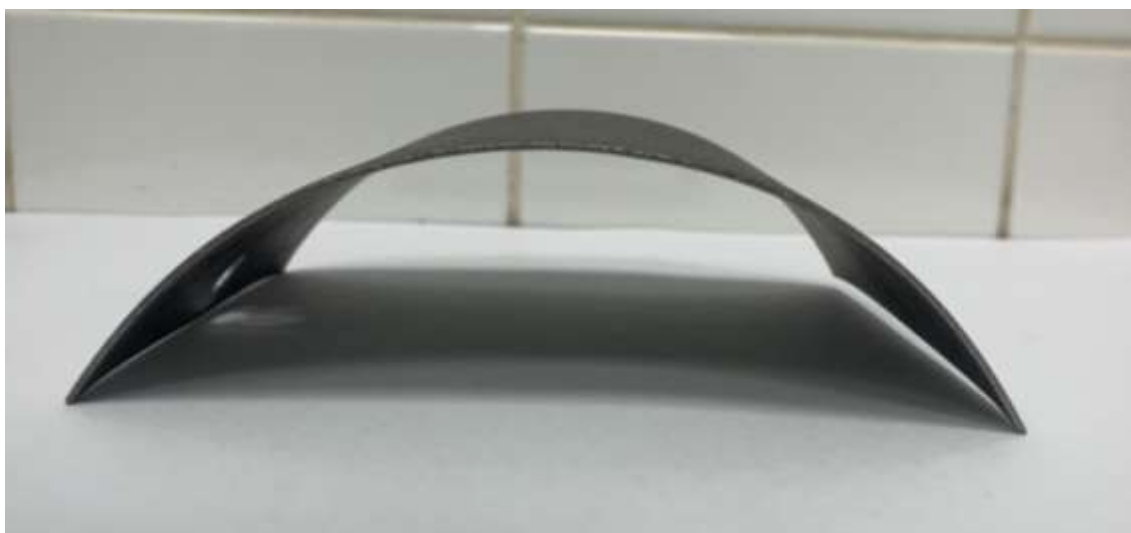


Obrázek 69 Vzorek B1 po tryskání

Obrázek 70 Vzorek B2 po tryskání

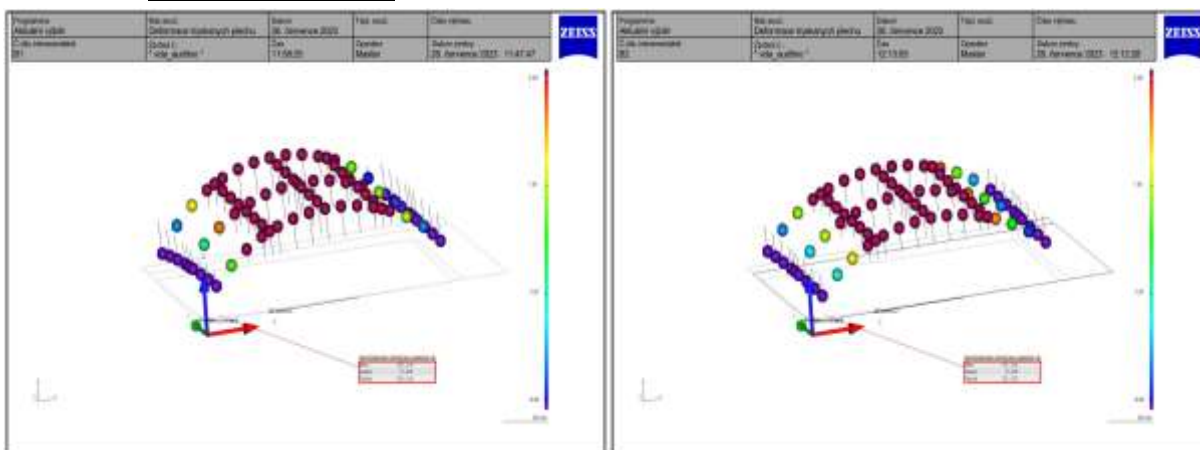


Obrázek 71 Vzorek B3 po tryskání



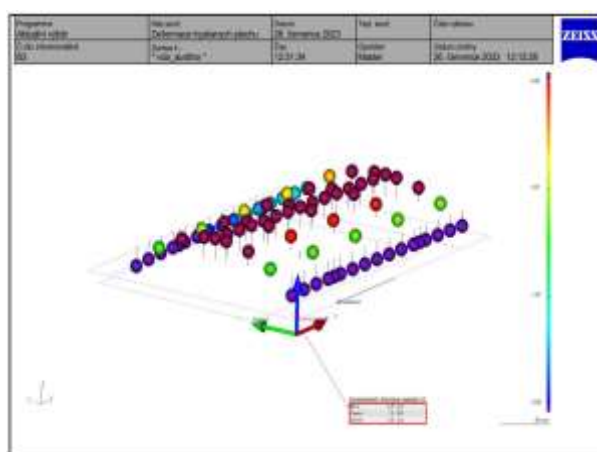
Obrázek 72 Deformace vzorku B2

- **Měření rovinnosti**



Obrázek 73 Rovinnost vzorku B1

Obrázek 74 Rovinnost vzorku B2



Obrázek 75 Rovinnost vzorku B3



Obrázek 76 Morfologie povrchu B2 (zvětšení 100x)

12.4.6 Shnutí naměřených výsledků

Tabulka 25 Výsledky vzorků tloušťky 5 mm po tryskání

Označení vzorku	Tloušťka [mm]	Metoda tryskání	Abrazivní materiál	Rovinnost [mm]	Rovinnost netryskaného vzorku [mm]	Rovinnost - % rozdíl	Max.výška [mm]	Max.výška netryskaného vzorku [mm]	Max.výška - % rozdíl	Vhodnost metody tryskání
A1	5	Tryskání metacími koly	S230	0,42	0,2	110 %	5,11	4,94	3 %	ANO
A2	5	Tryskání metacími koly	S230	0,22	0,2	10 %	4,88	4,94	-1 %	ANO
A3	5	Tryskání metacími koly	S230	0,3	0,2	50 %	5,03	4,94	2 %	ANO

Tabulka 26 Výsledky vzorků tloušťky 1 mm po tryskání

Označení dílu	Tloušťka [mm]	Metoda tryskání	Abrazivní materiál	Rovinnost [mm]	Rovinnost netryskaného vzorku [mm]	Rovinnost - % rozdíl	Max.výška [mm]	Max.výška a netryskaného vzorku [mm]	Max.výška - % rozdíl	Vhodnost použití metody
B1	1	Tryskání metacími koly	S230	26,16	0,15	17340 %	41,83	1,1	3703 %	NE
B2	1	Tryskání metacími koly	S230	21,01	0,15	13907 %	36,09	1,1	3181 %	NE
B3	1	Tryskání metacími koly	S30	15,16	0,15	10007 %	24,7	1,1	2145 %	NE

- **Dílčí zhodnocení:** Dle naměřených výsledků je zřejmé, že tryskání metacími koly není vhodné pro tenkostěnné materiály, jelikož deformace materiálu je příliš vysoká, vzhledem k vysoké kinetické energii tryskacího prostředku. Naopak u vzorků s tloušťkou 5 mm vykazuje měření velmi dobré výsledky, a proto je tato metoda pro tyto vzorky vhodná.

12.5 Výsledky měření tlakovým tryskáním (GH18)

12.5.1 Zvolené parametry tryskání

Tabulka 27 Parametry tlakového tryskání

Zvolené parametry pro tlakové tryskání	
Tlak	5,5 bar
Průměr trysky	8 mm

12.5.2 Zvolený tryskací materiál – ocelová drť GH18



Obrázek 77 Zvolený tryskací materiál GH18 ocelová drť

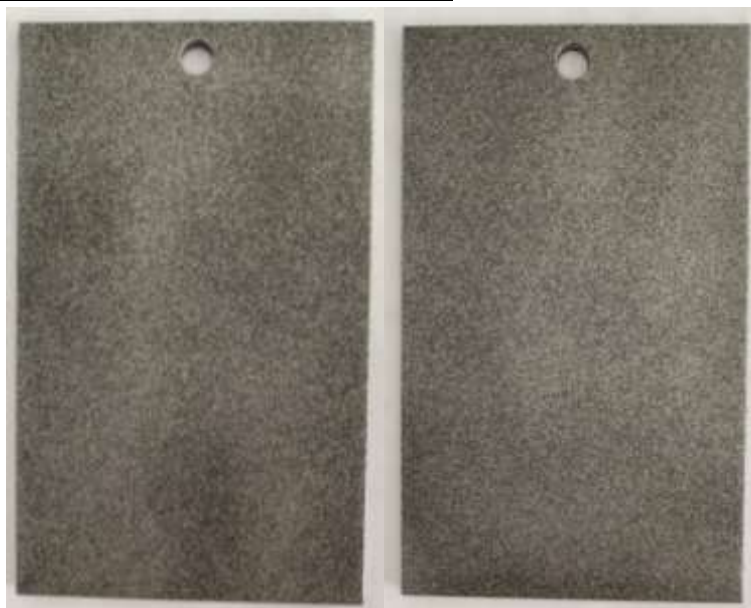
12.5.3 Zvolené zařízení



Obrázek 78 Zařízení pro tlakové tryskání PTZ 100 T [37]

12.5.4 Výsledky měření vzorků C1, C2, C3 (tloušťka 5 mm)

- Výsledky vzorků po tlakovém tryskání



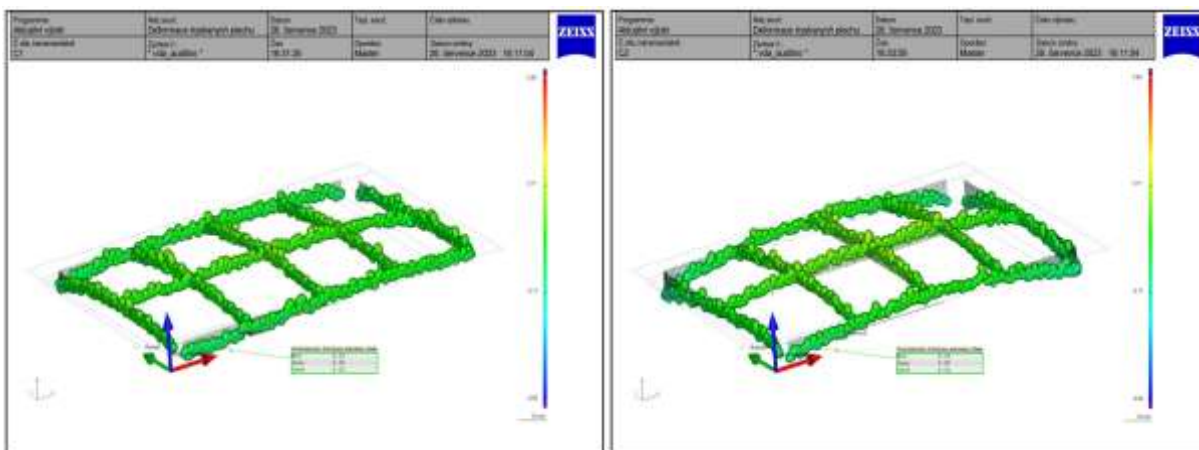
Obrázek 79 Vzorek C1 po tryskání

Obrázek 80 Vzorek C3 po tryskání

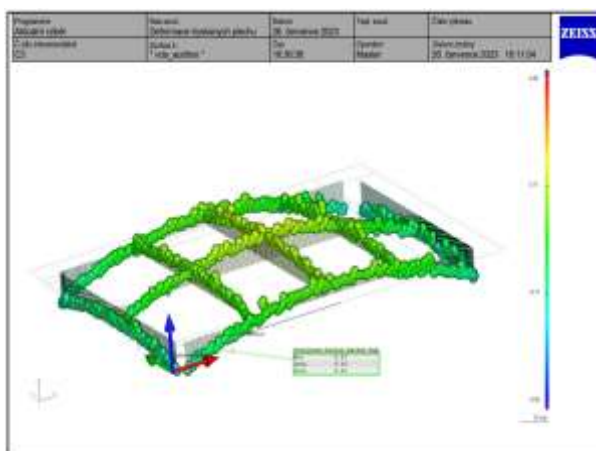


Obrázek 81 Vzorek C3 po tryskání

- Měření rovinnosti**



Obrázek 82 Rovinnost vzorku C1 (zvětšeno 50x) Obrázek 83 Rovinnost vzorku C2 (zvětšeno 50x)



Obrázek 84 Rovinnost vzorku C3 (zvětšeno 50x)



Obrázek 85 Morfologie povrchu C2 (zvětšení 100x)

12.5.5 Výsledky vzorků D1, D2, D3 (tloušťka 1 mm)

- Výsledky vzorků po tlakovém tryskání



Obrázek 86 Vzorek D1 po tryskání

Obrázek 87 Vzorek D2 po tryskání

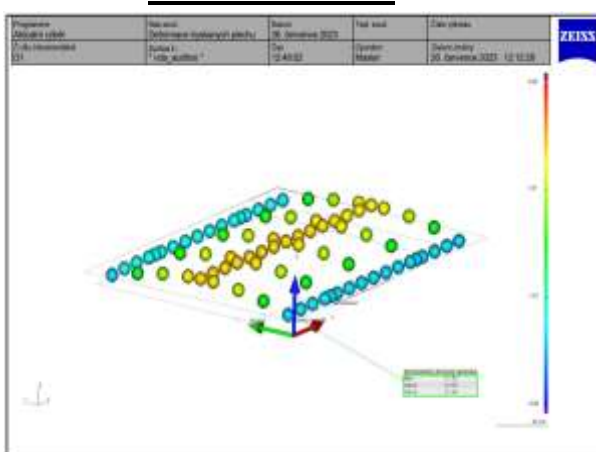


Obrázek 88 Vzorek D3 po tryskání

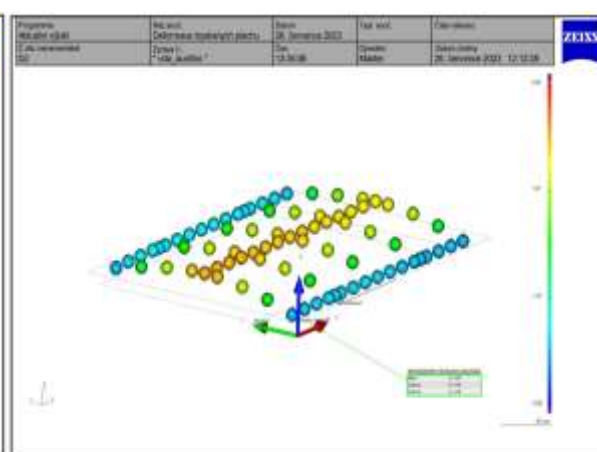


Obrázek 89 Deformace vzorku D2

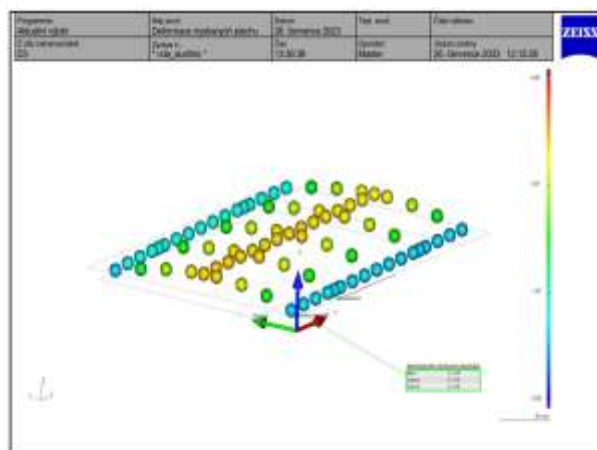
• **Měření rovinnosti**



Obrázek 90 Rovinnost vzorku D1



Obrázek 91 Rovinnost vzorku D2



Obrázek 92 Rovinnost vzorku D3



Obrázek 93 Morfologie povrchu D2 (zvětšení 100x)

Tabulka 28 Výsledky vzorků tloušťky 5 mm po tryskání

Označení dílu	Tloušťka [mm]	Metoda tryskání	Abrazivní materiál	Rovinnost t [mm]	Rovinnost netryskaného vzorku [mm]	Rovinnost - % rozdíl	Max.výška a [mm]	Max.výška netryskaného vzorku [mm]	Max.výška - % rozdíl	Vhodnost metody tryskání
C1	5	Tlakové tryskání	GH18	0,22	0,2	10 %	5,06	4,94	2 %	ANO
C2	5	Tlakové tryskání	GH18	0,32	0,2	60 %	5,06	4,94	2 %	ANO
C3	5	Tlakové tryskání	GH18	0,43	0,2	115 %	5,11	4,94	3 %	ANO

Tabulka 29 Výsledky vzorků tloušťky 1 mm po tryskání

Označení dílu	Tloušťka [mm]	Metoda tryskání	Abrazivní materiál	Rovinnost t [mm]	Rovinnost netryskaného vzorku [mm]	Rovinnost - % rozdíl	Max.výška a [mm]	Max.výška netryskaného vzorku [mm]	Max.výška - % rozdíl	Vhodnost použití metody
D1	1	Tlakové tryskání	GH18	5,93	0,15	3853 %	9,79	1,1	790 %	NE
D2	1	Tlakové tryskání	GH18	6,6	0,15	4300 %	11,78	1,1	971 %	NE
D3	1	Tlakové tryskání	GH18	6	0,15	3900 %	11,06	1,1	905 %	NE

- **Dílčí zhodnocení:** Dle naměřených hodnot je zřejmé, že tato metoda není vhodná pro tenkostěnné materiály, jelikož je velikost deformace příliš vysoká, vzhledem k tomu, že parametry tryskání byly zvoleny 5,5 bar. Deformaci materiálu způsobilo napětí vnesené do materiálu během procesu tryskání. Naopak oproti tomu vzorky s tloušťkou 5 mm vykazují velmi dobré výsledky, a proto je tato metoda pro tyto vzorky vhodná.

12.6 Výsledky měření injektorového tryskání (F46)

12.6.1 Zvolené parametry tryskání

Tabulka 30 Zvolené parametry tryskání

Zvolené parametry pro tlakové tryskání	
Tlak	8 bar
Průměr trysky	8 mm

12.6.2 Zvolený tryskací materiál – hnědý korund F46



Obrázek 94 Zvolený tryskací materiál F46 hnědý korund

12.6.3 Zvolené tryskací zařízení



Obrázek 95 Ukázka zvoleného tryskacího zařízení PTZ 100 I [37]

12.6.4 Výsledky měření vzorků E1, E2, E3 (tloušťka 5 mm)

- Výsledky vzorků po injektorovém tryskání



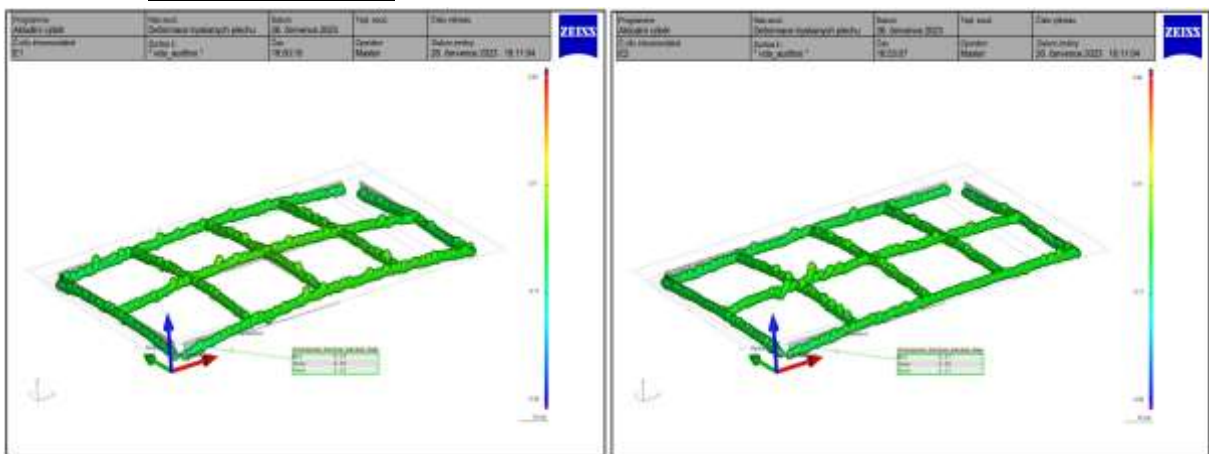
Obrázek 96 Vzorek E1 po tryskání

Obrázek 97 Vzorek E2 po tryskání



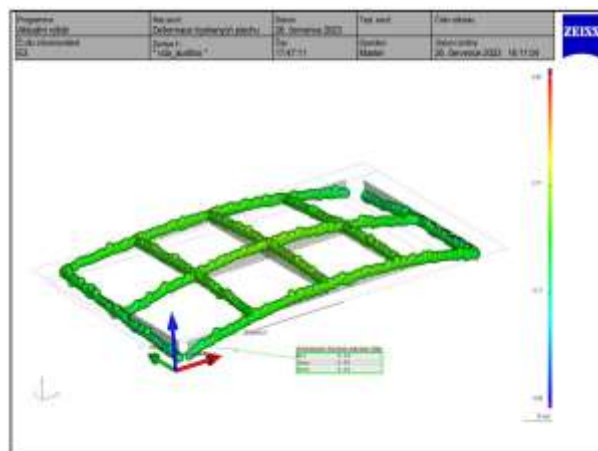
Obrázek 98 Vzorek E3 po tryskání

- **Měření rovinnosti**



Obrázek 99 Rovinnost vzorku E1 (50x zvětšeno)

Obrázek 100 Rovinnost vzorku E2 (50x zvětšeno)



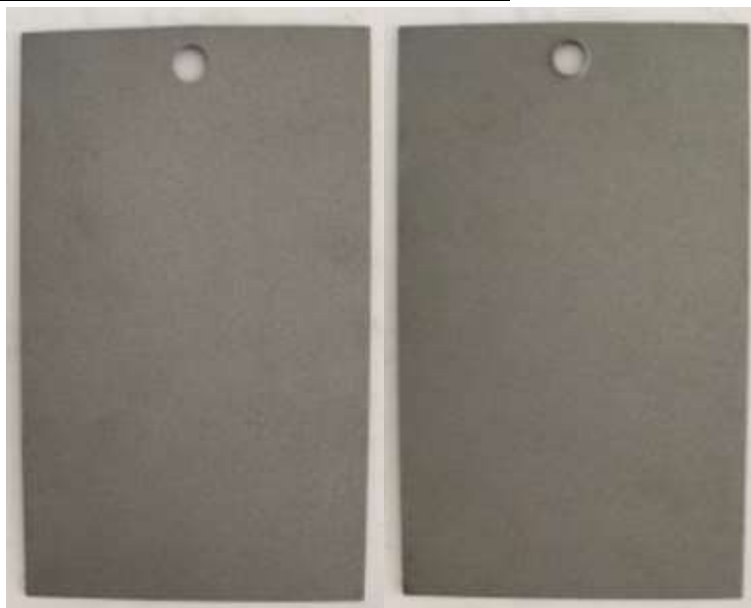
Obrázek 101 Rovinnost vzorku E3 (50x zvětšeno)



Obrázek 102 Morfologie povrchu E2 (zvětšení 100x)

12.6.5 Výsledky měření vzorků F1, F2, F3 (tloušťka 1 mm)

- Výsledky vzorků po injektorovém tryskání

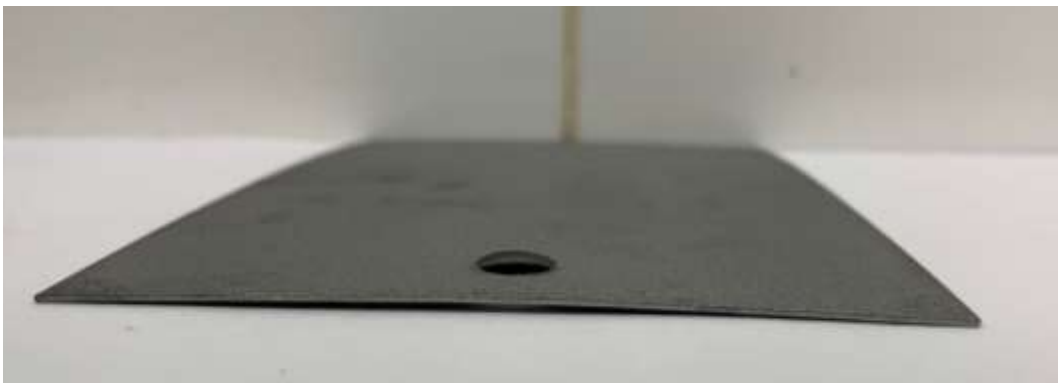


Obrázek 103 Vzorek E1 po tryskání

Obrázek 104 Vzorek E2 po tryskání

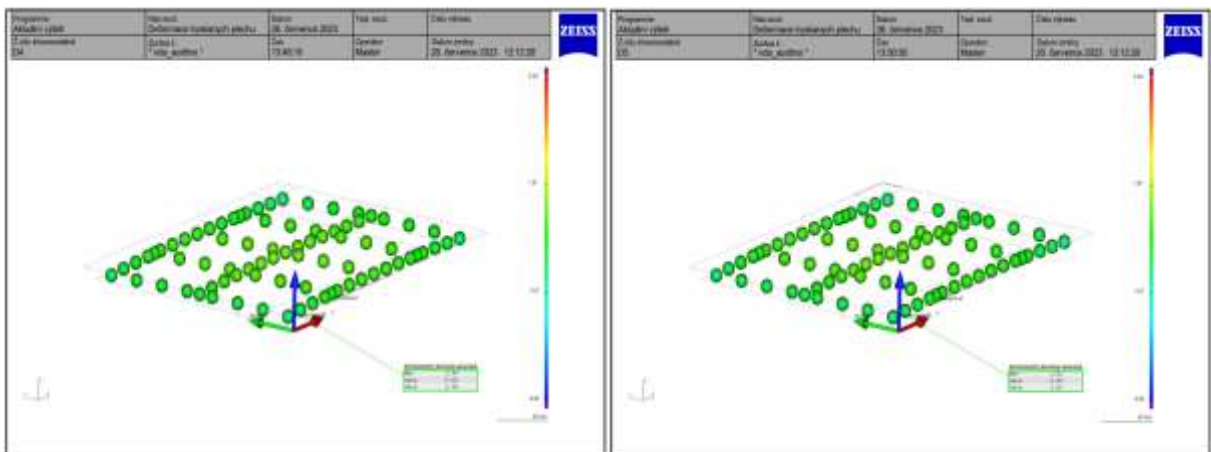


Obrázek 105 Vzorek E3 po tryskání



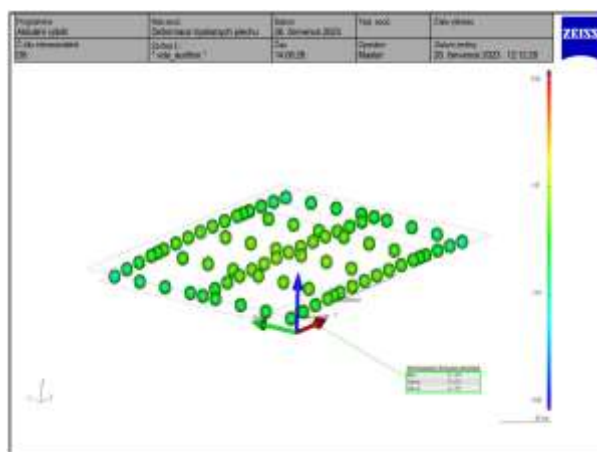
Obrázek 106 Deformace vzorku F2

- **Měření rovinnosti**



Obrázek 107 Rovinnost vzorku F1

Obrázek 108 Rovinnost vzorku F2



Obrázek 109 Rovinnost vzorku F3



Obrázek 110 Morfologie povrchu F3 (zvětšení 100x)

12.6.6 Shrnutí naměřených výsledků

Tabulka 31 Výsledky vzorků tloušťky 5 mm po tryskání

Označení vzorku	Tloušťka [mm]	Metoda tryskání	Abrazivní materiál	Rovinnost [mm]	Rovinnost netryskaného vzorku [mm]	Rovinnost - % rozdíl	Max.výška [mm]	Max.výška netryskaného vzorku [mm]	Max.výška- % rozdíl	Vhodnost metody tryskání
E1	5	Injektorové tryskání	F46	0,19	0,2	-5 %	4,95	4,94	0 %	ANO
E2	5	Injektorové tryskání	F46	0,17	0,2	-15 %	4,91	4,94	-1 %	ANO
E3	5	Injektorové tryskání	F46	0,24	0,2	20 %	5,14	4,94	4 %	ANO

Tabulka 32 Výsledky vzorků tloušťky 1 mm po tryskání

Označení dílu	Tloušťka [mm]	Metoda tryskání	Abrazivní materiál	Rovinnost [mm]	Rovinnost netryskaného vzorku [mm]	Rovinnost - % rozdíl	Max.výška [mm]	Max.výška netryskaného vzorku [mm]	Max.výška - % rozdíl	Vhodnost použití metody
F1	1	Injektorové tryskání	F46	1,99	0,15	1227 %	3,93	1,1	257 %	NE
F2	1	Injektorové tryskání	F46	1,81	0,15	1107 %	3,73	1,1	239 %	NE
F3	1	Injektorové tryskání	F46	2,39	0,15	1493 %	4,7	1,1	327 %	NE

- **Dílčí zhodnocení:** Dle naměřených výsledků jsou viditelné velmi malé rozdíly mezi maximální výškou vzorků a rovinností u tloušťky 5 mm. Jelikož tato metoda nezpůsobuje velkou deformaci a parametry tryskání byly zvoleny vhodně, je možné tuto metodu používat u vzorků s tloušťkou 5 mm. U vzorků s tloušťkou 1 mm se maximální výška změnila o 327%, rovinnost se změnila o 1493%, a proto není vhodné tuto metodu pro tyto vzorky doporučit, jelikož zvolený parametr 8 barů není vhodný. Při použití nižšího tlaku by tato technologie mohla být použitelná i na tenkostěnné vzorky.

12.7 Výsledky měření injektorovým tryskáním (B134)

12.7.1 Zvolené parametry tryskání

Tabulka 33 Zvolené parametry tryskání

Zvolené parametry pro injektorové tryskání	
Tlak	5 bar
Průměr trysky	8 mm

12.7.2 Zvolený tryskací materiál – balotina B134



Obrázek 111 Zvolený tryskací materiál B134 balotina

12.7.3 Zvolené tryskací zařízení



Obrázek 112 Ukázka zvoleného tryskacího zařízení [37]

12.7.4 Výsledky měření vzorků G1, G2, G3 (tloušťka 5 mm)

- Výsledky vzorků po injektorovém tryskání

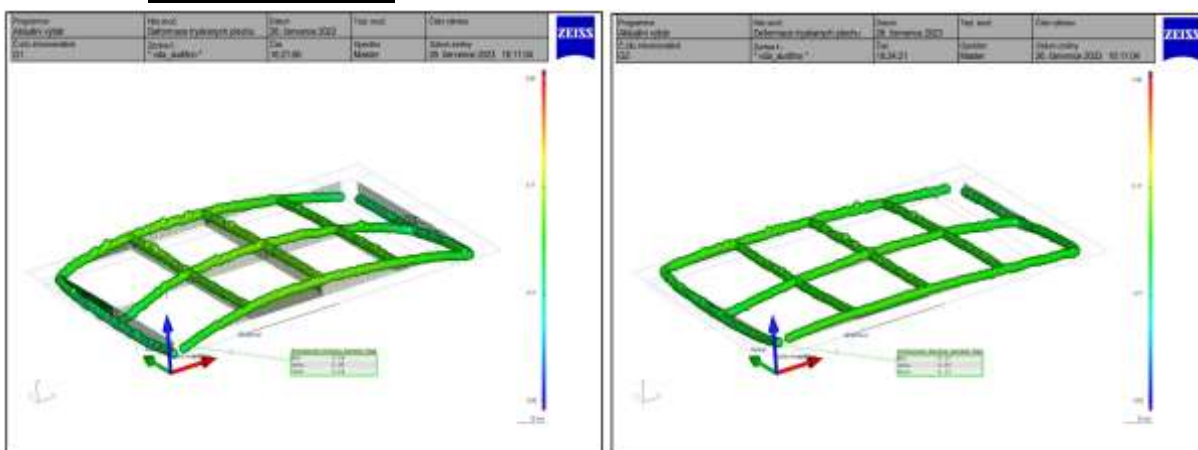


Obrázek 113 Vzorek G1 po tryskání Obrázek 114 Vzorek G2 po tryskání

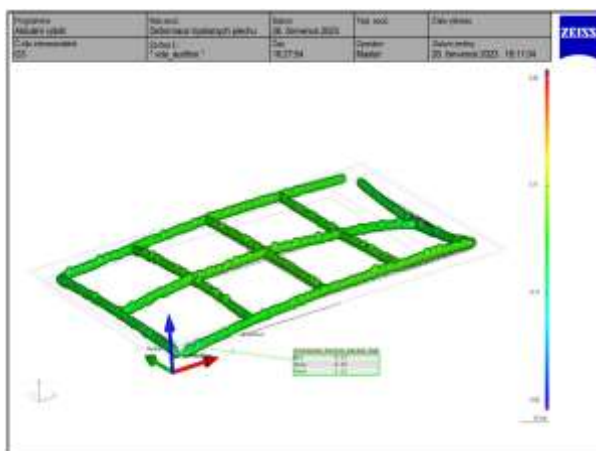


Obrázek 115 Vzorek G3 po tryskání

- **Měření rovinnosti**



Obrázek 116 Rovinnost vzorku G1 (50x zvětšeno) Obrázek 117 Rovinnost vzorku G2 (50x zvětšeno)



Obrázek 118 Rovinnost vzorku G3 (50x zvětšeno)



Obrázek 119 Morfologie povrchu G1 (zvětšení 100x)

12.7.5 Výsledky měření vzorků H1, H2, H3 (tloušťka 1 mm)

- Výsledky vzorků po injektorovém tryskání



Obrázek 120 Vzorek H1 po tryskání Obrázek 121 Vzorek H2 po tryskání

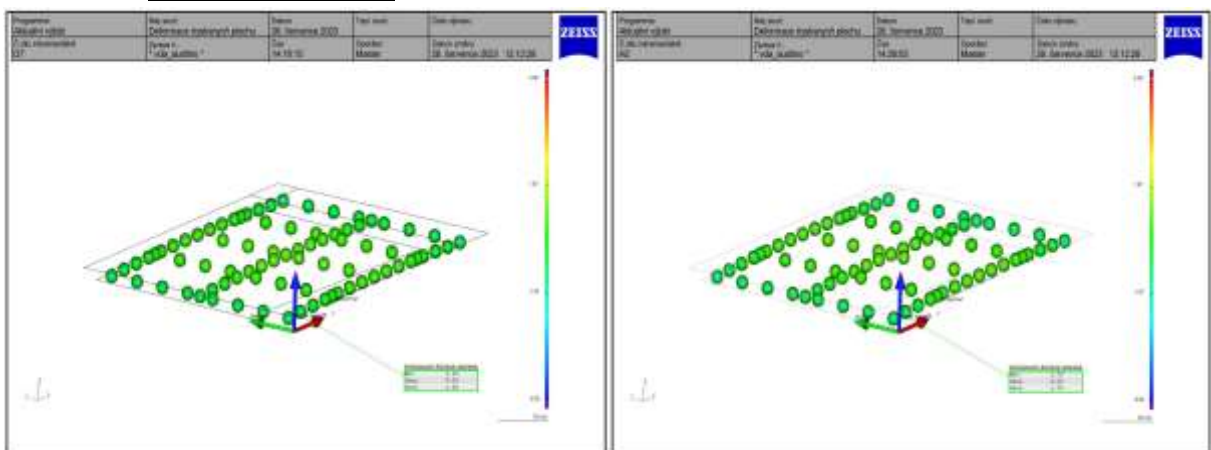


Obrázek 122 Vzorek H3 po tryskání



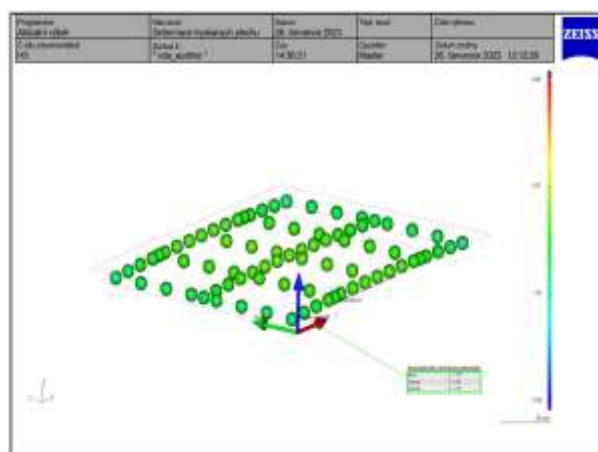
Obrázek 123 Deformace vzorku H2

- **Měření rovinnosti**



Obrázek 124 Rovinnost vzorku H1

Obrázek 125 Rovinnost vzorku H2



Obrázek 126 Rovinnost vzorku H3



Obrázek 127 Morfologie povrchu H2 (zvětšení 100x)

12.7.6 Shrnutí naměřených výsledků

Tabulka 34 Naměřené hodnoty vzorků tloušťky 5 mm

Označení vzorku	Tloušťka [mm]	Metoda tryskání	Abrazivní materiál	Rovinnost [mm]	Rovinnost netryskaného vzorku [mm]	Rovinnost - % rozdíl	Max.výška [mm]	Max.výška netryskaného vzorku [mm]	Max.výška- % rozdíl	Vhodnost metody tryskání
G1	5	Injektorové tryskání	B134	0,24	0,2	20 %	5,44	4,94	10 %	ANO
G2	5	Injektorové tryskání	B134	0,13	0,2	-35 %	5,44	4,94	10 %	ANO
G3	5	Injektorové tryskání	B134	0,15	0,2	-25 %	4,95	4,94	0 %	ANO

Tabulka 35 Naměřené hodnoty vzorků tloušťky 1 mm

Označení dílu	Tloušťka [mm]	Metoda tryskání	Abrazivní materiál	Rovinnost [mm]	Rovinnost netryskaného vzorku [mm]	Rovinnost - % rozdíl	Max.výška [mm]	Max.výška netryskaného vzorku [mm]	Max.výška - % rozdíl	Vhodnost použití metody
H1	1	Injektorové tryskání	B134	1,64	0,15	993 %	3,38	1,1	207 %	NE
H2	1	Injektorové tryskání	B134	1,78	0,15	1087 %	3,81	1,1	246 %	NE
H3	1	Injektorové tryskání	B134	1,79	0,15	1093 %	3,72	1,1	238 %	NE

- **Dílčí zhodnocení:** Z naměřených hodnot je viditelné, že tryskání tryskacím abrazivem B134 je vhodné pro tloušťky plechů 5 mm, ačkoliv se na materiálu nevytvořil téměř žádný kotvící profil. Tato metoda tryskání lze použít na jiné účely než pro nanášení nátěrové hmoty. Ačkoliv je deformace u plechu tloušťky 1 mm nejmenší není tato metoda tryskání vhodná, jelikož se rovinnost vzorků změnila o 1093% a maximální výška byla naměřena u vzorku H2 246%. Jelikož je deformace příliš velká vzhledem ke zvolenému tlaku 5 barů, je tato metoda nevhodná pro obě tloušťky plechů. Při použití nižšího tlaku by tato technologie mohla být použitelná i na tenkostěnné vzorky.

12.8 Výsledky měření tlakovým tryskáním (ST08)

12.8.1 Parametry tryskání

Tabulka 36 Zvolené parametry tryskání

Parametry tryskání pískem	
Tlak	9 bar
Průměr trysky	7 mm

12.8.2 Zvolený tryskací materiál – křemičitý písek ST08



Obrázek 128 Ukázka tryskacího materiálu ST08 křemičitý písek

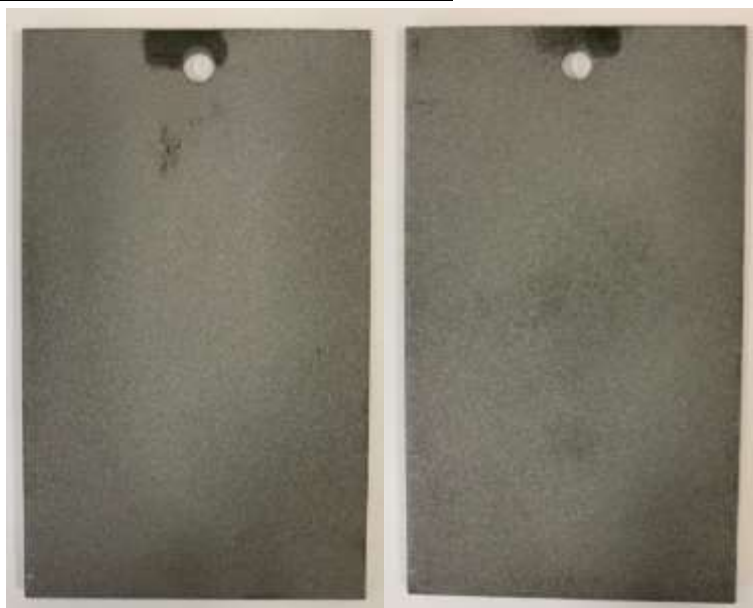
12.8.3 Zvolené tryskací zařízení



Obrázek 129 Tryskací tlakové nádoby AIRBLAST® ABSC 200 I [32]

12.8.4 Výsledky měření vzorků CH1, CH2, CH3

- Výsledky vzorků po tlakovém tryskání



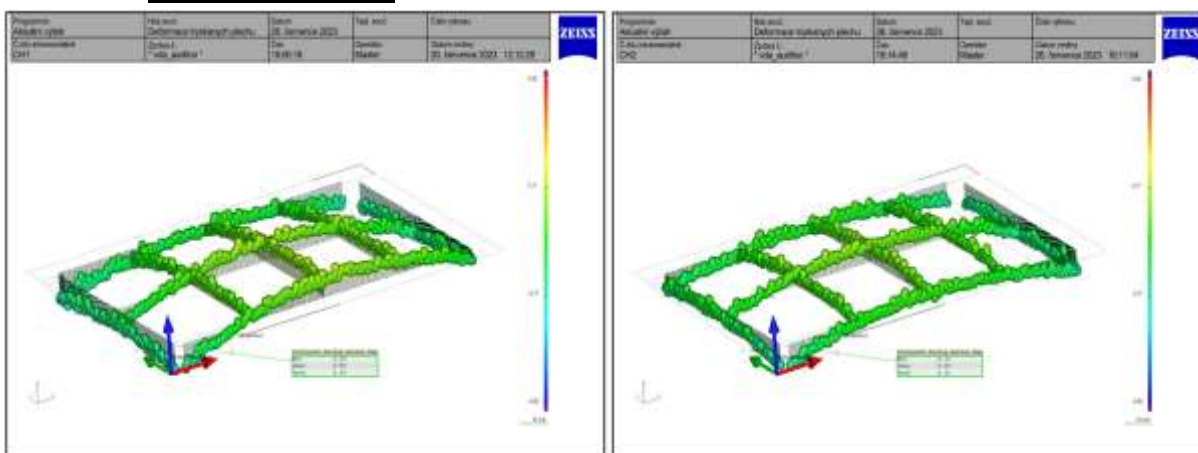
Obrázek 130 Vzorek CH1 po tryskání

Obrázek 131 Vzorek CH2 po tryskání

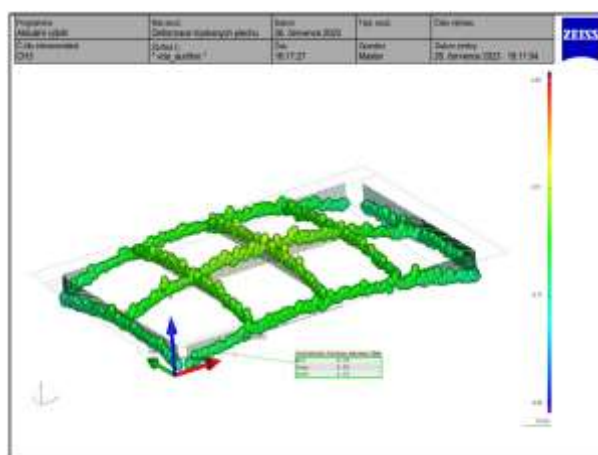


Obrázek 132 Vzorek CH3 po tryskání

• **Měření rovinnosti**



Obrázek 133 Rovinnost vzorku CH1 (50x zvětšeno) Obrázek 134 Rovinnost vzorku CH2 (zvětšení 50x)



Obrázek 135 Měření rovinnosti vzorku CH3 (zvětšení 50x)



Obrázek 136 Morfologie povrchu CH2 (zvětšení 100x)

12.8.5 Výsledky měření vzorků I1, I2, I3 (tloušťka 1 mm)

- Výsledky vzorku po tlakovém tryskání



Obrázek 137 Vzorek I1 po tryskání

Obrázek 138 Vzorek I2 po tryskání

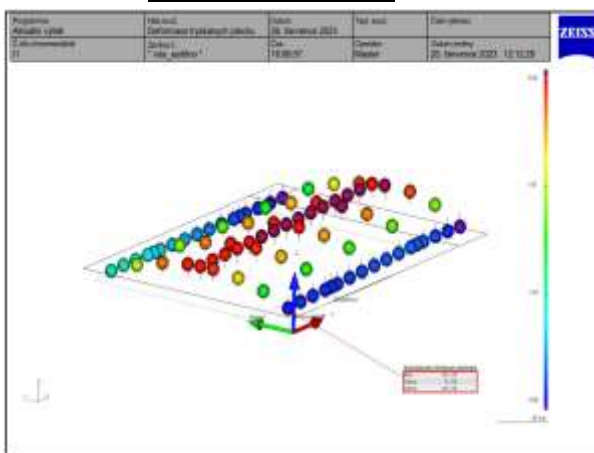


Obrázek 139 Vzorek I3 po tryskání

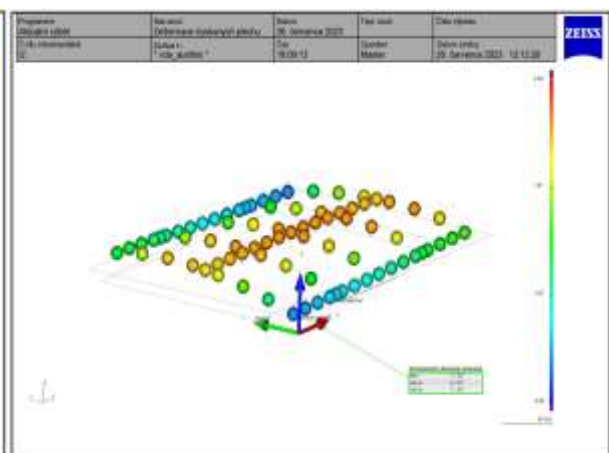


Obrázek 140 Deformace vzorku I1

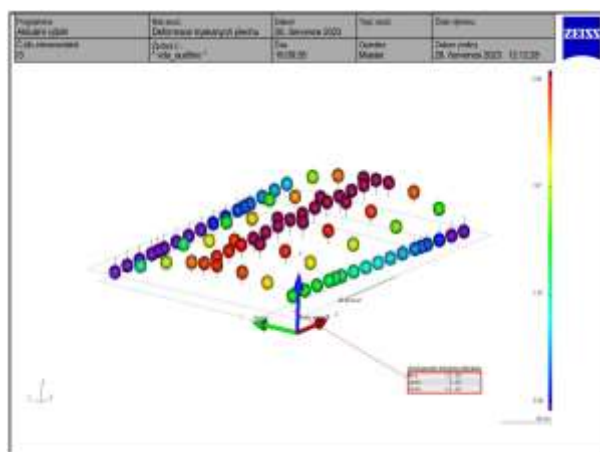
- **Měření rovinnosti**



Obrázek 141 Rovinnost vzorku I1



Obrázek 142 Rovinnost vzorku I2



Obrázek 143 Rovinnost vzorku I3



Obrázek 144 Morfologie povrchu I2 (zvětšení 100x)

12.8.6 Shrnutí naměřených výsledků

Tabulka 37 Výsledky naměřených hodnot vzorků tloušťky 5 mm

Označení vzorku	Tloušťka [mm]	Metoda tryskání	Abrazivní materiál	Rovinnost [mm]	Rovinnost netryskaného vzorku [mm]	Rovinnost - % rozdíl	Max.výška [mm]	Max.výška netryskaného vzorku [mm]	Max.výška- % rozdíl	Vhodnost metody tryskání
CH1	5	Tlakové tryskání	ST08	0,36	0,2	80 %	5,13	4,94	4 %	ANO
CH2	5	Tlakové tryskání	ST08	0,31	0,2	55 %	5,03	4,94	2 %	ANO
CH3	5	Tlakové tryskání	ST08	0,35	0,2	75 %	4,99	4,94	1 %	ANO

Tabulka 38 Výsledky naměřených hodnot vzorků tloušťky 1 mm

Označení dílu	Tloušťka [mm]	Metoda tryskání	Abrazivní materiál	Rovinnost [mm]	Rovinnost netryskaného vzorku [mm]	Rovinnost - % rozdíl	Max.výška [mm]	Max.výška netryskaného vzorku [mm]	Max.výška - % rozdíl	Vhodnost použití metody
I1	1	Tlakové tryskání	ST08	10,32	0,15	6780 %	16,2	1,1	1373 %	NE
I2	1	Tlakové tryskání	ST08	7,38	0,15	4820 %	12,07	1,1	997 %	NE
I3	1	Tlakové tryskání	ST08	11,62	0,15	7647 %	17,21	1,1	1465 %	NE

- **Dílčí zhodnocení:** Dle výsledků naměřených hodnot jsou viditelné rozdíly mezi tloušťkou plechu 5 mm a 1 mm. U tryskání křemičitým pískem tenkých vzorků byl zvolený tlak 9 bar, tyto zvolené parametry vytvořily příliš velkou deformaci, kde rozdíl v rovinnosti je nejvyšší 7647% a maximální výška byla zvětšena o 1465%, a proto není vhodné tuto metodu použít. U vzorků s tloušťkou 5 mm se neprojevila velká deformace, maximální výška se změnila pouze o 4%, a vytvořil se velmi dobrý kotvící profil, a proto je tato metoda pro tyto vzorky vhodná.

12.9 Výsledky tryskání tlakovým tryskáním (S30)

12.9.1 Parametry tryskání

Tabulka 39 Zvolené parametry tryskání

Zvolené parametry pro tlakové tryskání	
Tlak	7 bar
Průměr trysky	11 mm

12.9.2 Zvolený tryskací materiál – sponge – jet media S30



Obrázek 145 Zvolený tryskací materiál S30 sponge-jet media

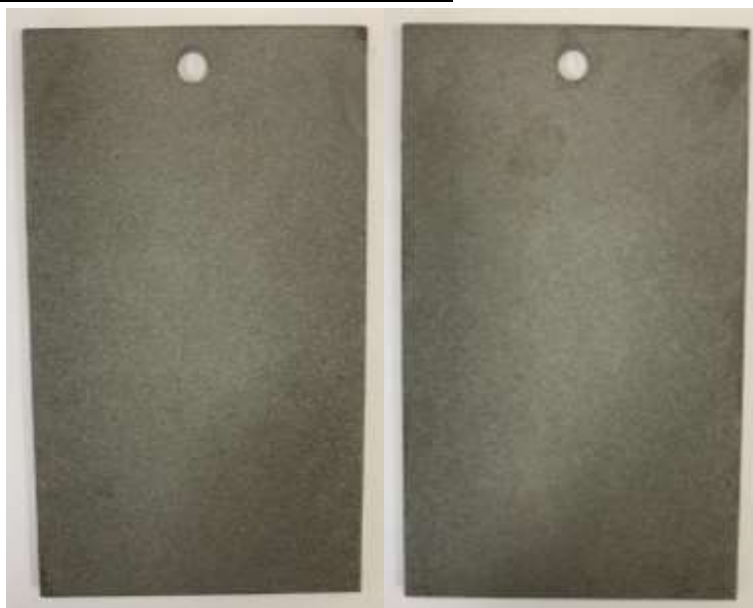
12.9.3 Zvolené tryskací zařízení



Obrázek 146 Zvolené tryskací zařízení SPONGE-JET RASP Xtreme™ [32]

12.9.4 Výsledky měření vzorků J1, J2, J3 (tloušťka 5 mm)

- Výsledky vzorků po tlakovém tryskání



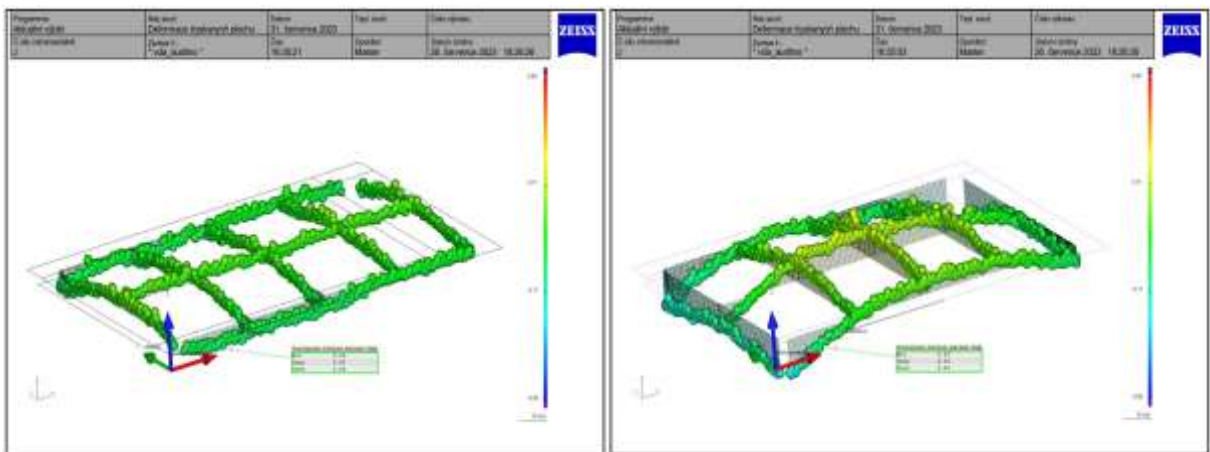
Obrázek 147 Vzorek J1 po tryskání

Obrázek 148 Vzorek J2 po tryskání



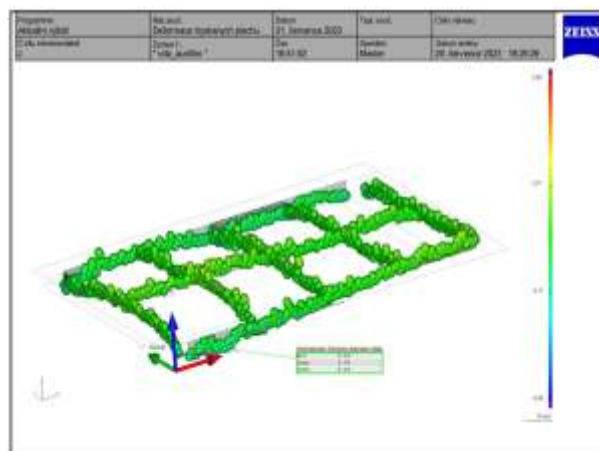
Obrázek 149 Vzorek J3 po tryskání

- **Měření rovinnosti**



Obrázek 150 Rovinnost vzorku J1 (50x zvětšeno)

Obrázek 151 Rovinnost vzorku J2 (50x zvětšeno)



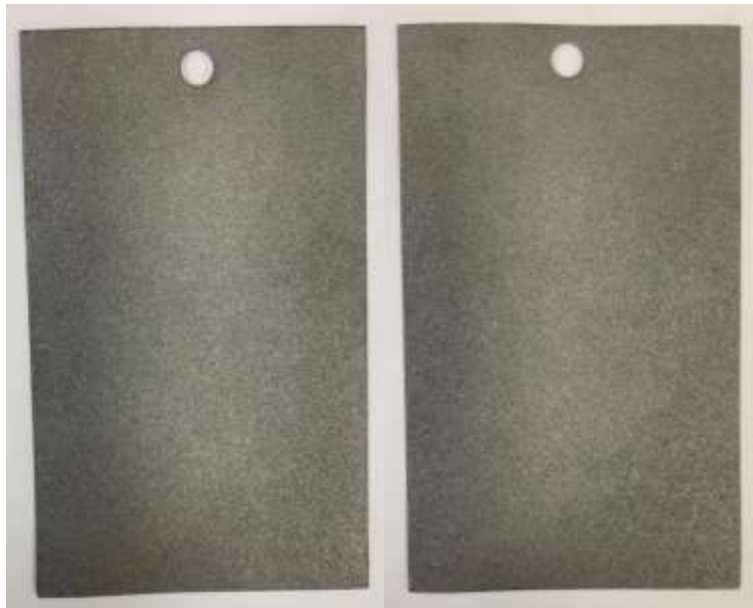
Obrázek 152 Rovinnost vzorku J3 (zvětšeno 50x)



Obrázek 153 Morfologie vzorku J3 (zvětšeno 100x)

12.9.5 Výsledky měření vzorků K1, K2, K3

- Výsledky vzorků po tlakovém tryskání



Obrázek 154 Vzorek K1 po tryskání

Obrázek 155 Vzorek K2 po tryskání

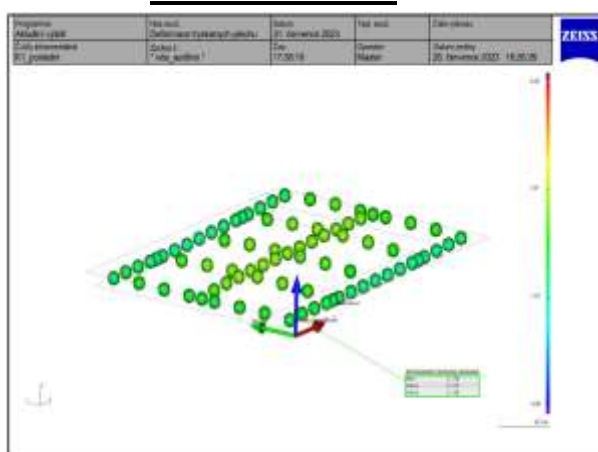


Obrázek 156 Vzorek K3 po tryskání

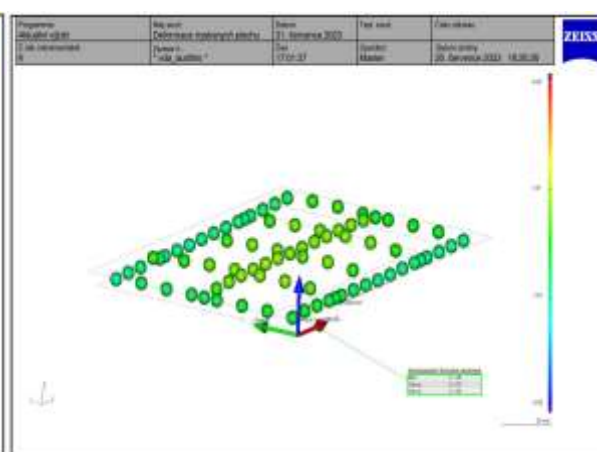


Obrázek 157 Deformace vzorku K3

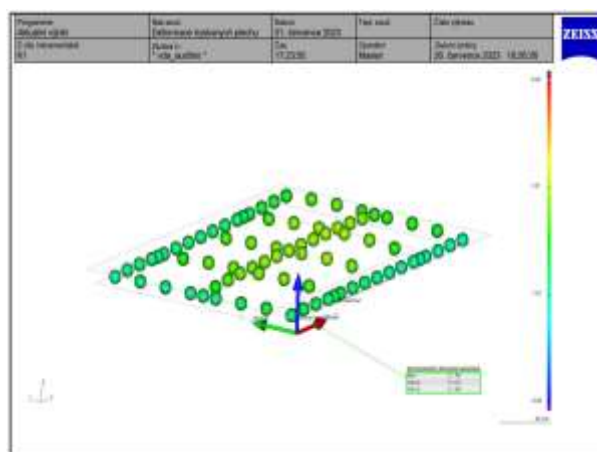
- **Měření rovinnosti**



Obrázek 158 Rovinnost vzorku K1



Obrázek 159 Rovinnost vzorku K2



Obrázek 160 Rovinnost vzorku K3



Obrázek 161 Morfologie povrchu K1 (zvětšení 100x)

12.9.6 Shrnutí naměřených výsledků

Tabulka 40 Výsledky naměřených hodnot vzorků tloušťky 5 mm

Označení vzorku	Tloušťka [mm]	Metoda tryskání	Abrazivní materiál	Rovinnost [mm]	Rovinnost netryskaného vzorku [mm]	Rovinnost - % rozdíl	Max.výška [mm]	Max.výška netryskaného vzorku [mm]	Max.výška- % rozdíl	Vhodnost metody tryskání
J1	5	Tlakové tryskání	S30	0,24	0,2	20 %	4,94	4,94	0 %	ANO
J2	5	Tlakové tryskání	S30	0,49	0,2	145 %	5,1	4,94	3 %	ANO
J3	5	Tlakové tryskání	S30	0,25	0,2	25 %	4,97	4,94	1 %	ANO

Tabulka 41 Výsledky naměřených hodnot vzorků tloušťky 1 mm

Označení dílu	Tloušťka [mm]	Metoda tryskání	Abrazivní materiál	Rovinnost [mm]	Rovinnost netryskaného vzorku [mm]	Rovinnost - % rozdíl	Max.výška [mm]	Max.výška netryskaného vzorku [mm]	Max.výška - % rozdíl	Vhodnost použití metody
K1	1	Tlakové tryskání	S30	2,48	0,15	1553 %	4,99	1,1	354 %	NE
K2	1	Tlakové tryskání	S30	2,64	0,15	1660 %	5,26	1,1	378 %	NE
K3	1	Tlakové tryskání	S30	2,98	0,15	1887 %	5,86	1,1	433 %	NE

- Dílčí zhodnocení:** Dle výsledků z tabulek je zřejmé, že metoda tryskání s tryskacím abrazivem Sponge – jet je vhodná pro vzorky s tloušťkou 5 mm, jelikož je deformace téměř zanedbatelná a na vzorcích se vytvořil touto metodou kotvící profil, který je při nanášení nátěrového systému velmi důležitý.

Pro vzorky s tloušťkou 1 mm tato metoda doporučit nelze, jelikož je velikost deformace příliš velká, vzhledem k zvolenému tlaku 7 barů se projevila změna rovinnosti 1887 % a nejvyšší bod byl naměřený u vzorku K3 – 5,86 cm, kde je změna 433 %. Pokud by byly zvolené jiné tryskací parametry (nižší tlak) tato metoda by mohla být pro vzorky s tloušťkou 1 mm vhodná.

13 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

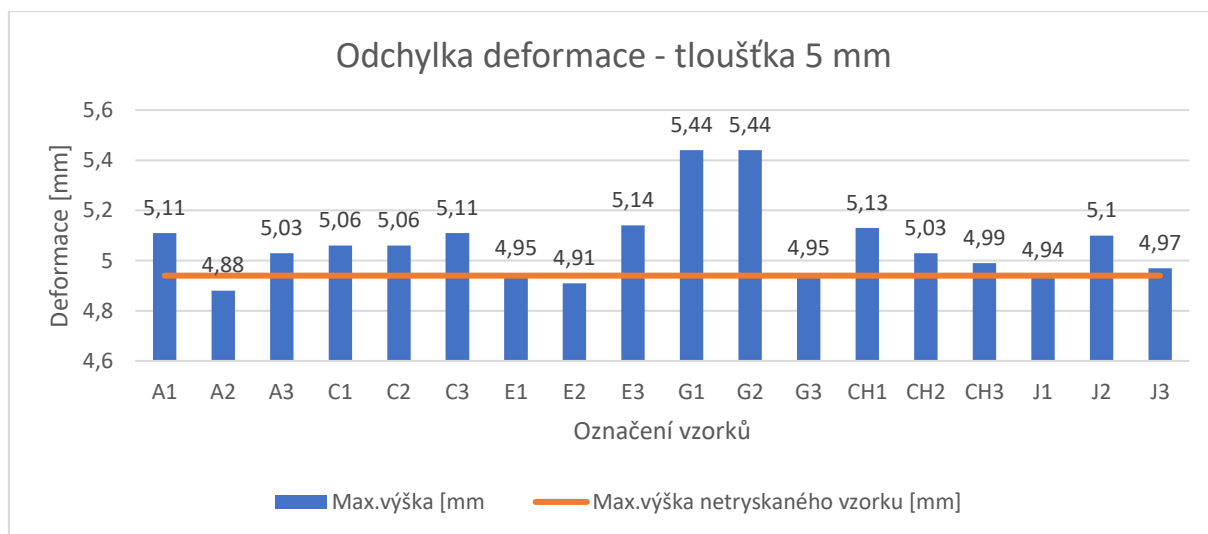
Dle výsledků experimentální části vyplývá, že je vhodné doporučit pro tryskání vzorků tloušťky 5 mm všechny metody tryskání i všechna tryskací abraziva.

Z tabulky 42 je vidět procentuální rozdíl rovinnosti, maximální výšky, Ra, Rz a Rmax u všech vzorků s tloušťkou 5 mm.

Tabulka 42 Procentuální výsledek experimentu – tloušťka 5 mm

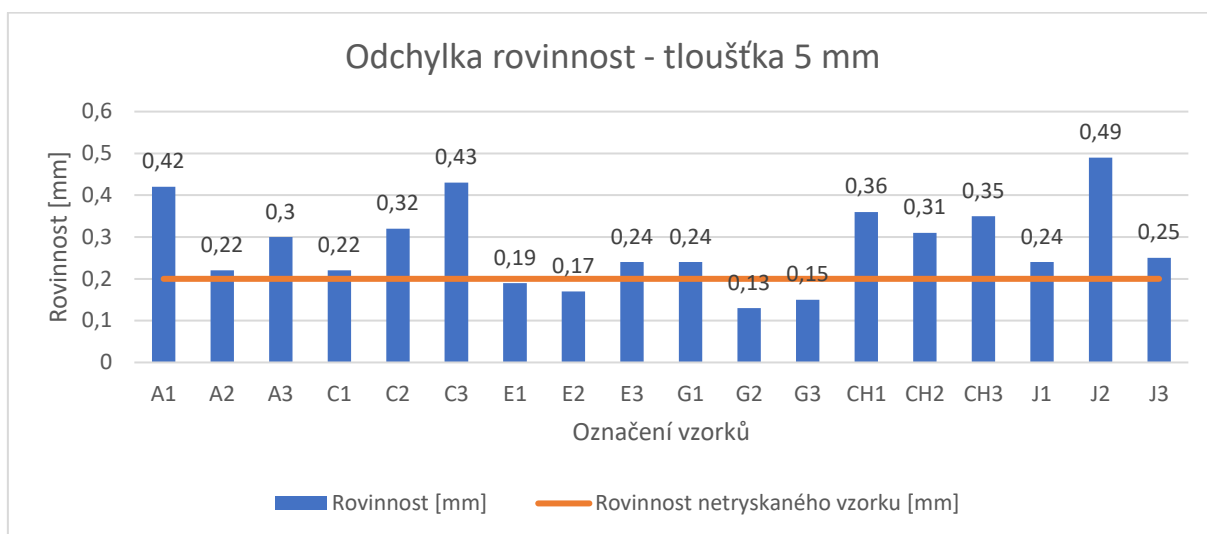
Označení vzorku	Rovinnost - % rozdíl	Max.výška- % rozdíl	Ra % rozdíl	Rz - % rozdíl	Rmax - % rozdíl
A1	110 %	3 %	278 %	265 %	315 %
A2	10%	-1%	303%	267%	267%
A3	50%	2%	298%	274%	330%
C1	10%	2%	532%	556%	582%
C2	60%	2%	497%	559%	690%
C3	115%	3%	477%	554%	563%
E1	-5%	0%	167%	247%	298%
E2	-15%	-1%	257%	299%	364%
E3	20%	4%	185%	246%	296%
G1	20%	10%	45%	52%	110%
G2	-35%	10%	78%	60%	88%
G3	-25%	0%	22%	17%	52%
CH1	80%	4%	533%	508%	484%
CH2	55%	2%	559%	534%	534%
CH3	75%	1%	477%	504%	521%
J1	20%	0%	779%	757%	848%
J2	145%	3%	728%	664%	680%
J3	25%	1%	811%	836%	860%

Největší procentuální rozdíl u rovinnosti je viditelný z Grafu 1 u vzorku C3, kde je rozdíl 115% oproti původnímu vzorku před tryskáním, kde bylo použito tlakové tryskání ocelovou drtí (GH18).



Graf 1 Odchylka deformace – tloušťka 5 mm

Z Grafu 2 je vidět rozdíl maximální výšky, kde se projevila největší změna u vzorku G1 a G2, kde se výška změnila o 10%. U těchto vzorků bylo použito injektorové tryskání balotinou. Tento výsledek byl pravděpodobně způsoben jinou deformací ještě před provedením tryskání. Jelikož každý vzorek nebyl změřen před a po tryskání, je toto měření ovlivněné touto chybovostí.



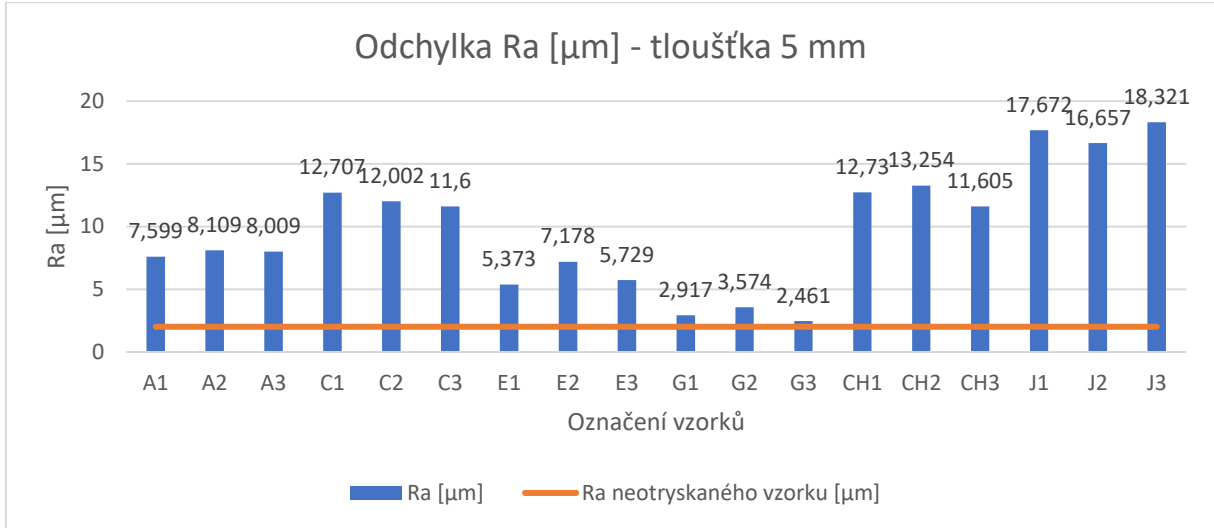
Graf 2 Odchylka rovinnost – tloušťka 5 mm

V Tabulce 44 jsou uvedené výsledky měření drsnosti vzorků tloušťky 5 mm. Z Grafu 3,4,5 je vidět rozdíl u měření drsnosti, kde byl největší výkyv Ra, Rz a Rmax zaznamenán u vzorků J1, J2, J3 po tryskání Sponge-jet. Tato tlaková metoda tryskání s novým typem abrazivního materiálu vytvořila největší drsnost, avšak to není nejvhodnější kotvící profil pro nanesení nátěrové hmoty. Nejvhodnější tryskání vytvořilo tryskání ocelovou drtí a tryskání křemičitým pískem. Tryskání balotinou vytvořilo na vzorcích povrch s nejnižší drsností, což se hodí pro jiné účely než zakotvení nátěrové hmoty.

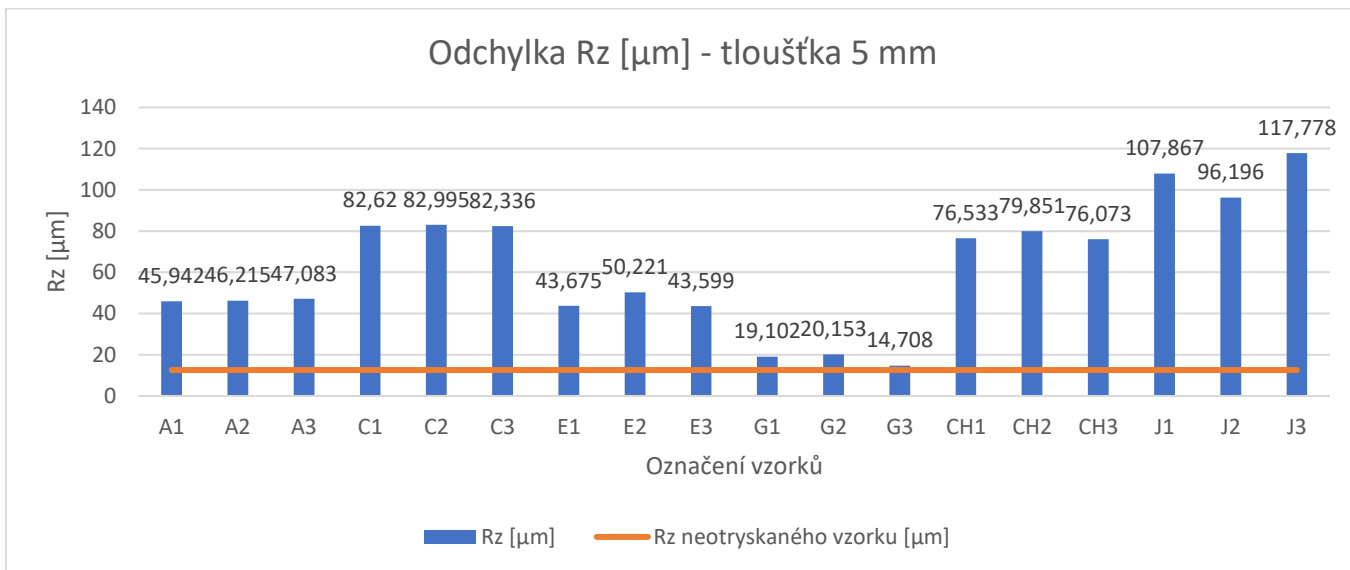
Tabulka 43 Výsledky měření drsnosti vzorků tloušťky 5 mm

Označení vzorku	Ra [μm]	Ra neotryskaného vzorku [μm]	Rz [μm]	Rz neotryskaného vzorku [μm]	Rmax [μm]	Rmax neotryskaného vzorku [μm]
A1	7,599	2,011	45,942	12,585	58,686	14,145
A2	8,109	2,011	46,215	12,585	51,895	14,145
A3	8,009	2,011	47,083	12,585	60,855	14,145
C1	12,707	2,011	82,62	12,585	96,471	14,145
C2	12,002	2,011	82,995	12,585	111,813	14,145
C3	11,6	2,011	82,336	12,585	93,852	14,145
E1	5,373	2,011	43,675	12,585	56,327	14,145
E2	7,178	2,011	50,221	12,585	65,631	14,145
E3	5,729	2,011	43,599	12,585	55,944	14,145
G1	2,917	2,011	19,102	12,585	29,708	14,145
G2	3,574	2,011	20,153	12,585	26,616	14,145
G3	2,461	2,011	14,708	12,585	21,518	14,145
CH1	12,73	2,011	76,533	12,585	82,61	14,145
CH2	13,254	2,011	79,851	12,585	89,659	14,145

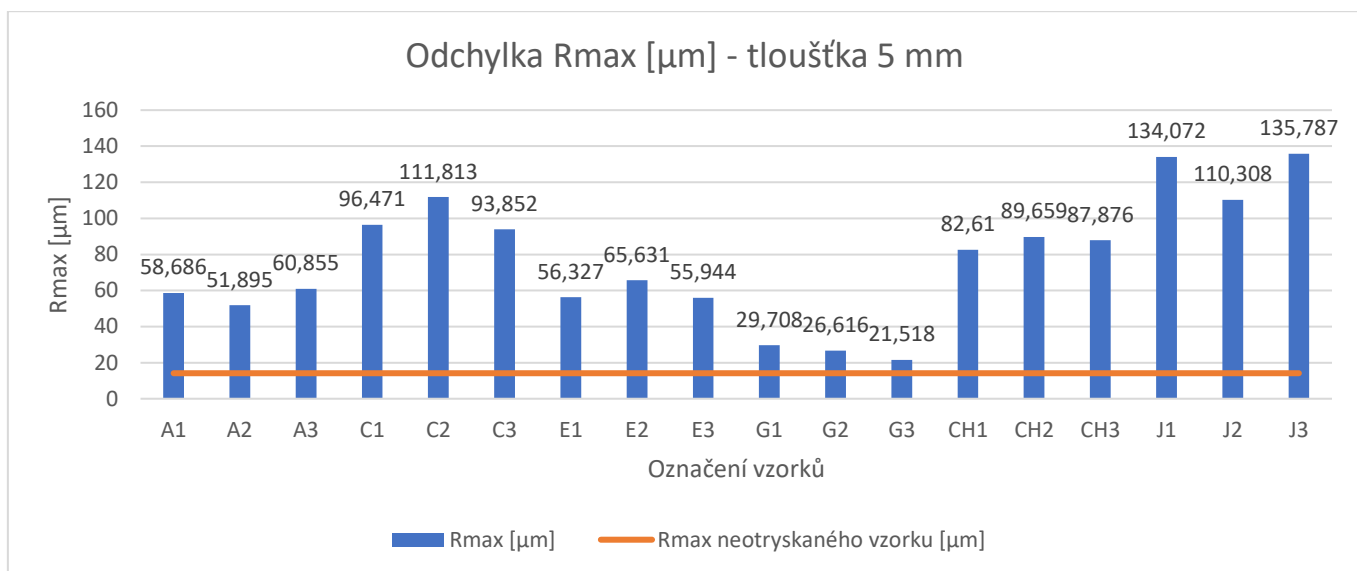
CH3	11,605	2,011	76,073	12,585	87,876	14,145
J1	17,672	2,011	107,867	12,585	134,072	14,145
J2	16,657	2,011	96,196	12,585	110,308	14,145
J3	18,321	2,011	117,778	12,585	135,787	14,145



Graf 3 Odchylka drsnost Ra – tloušťka 5 mm



Graf 4 Odchylka Rz – tloušťka 5 mm



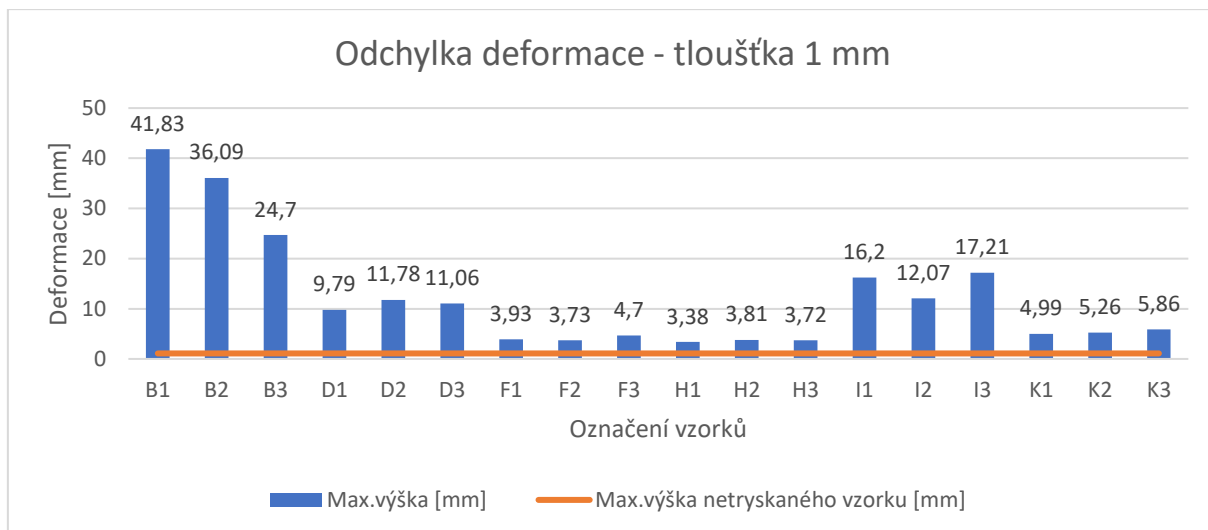
Graf 5 Odchylka Rmax – tloušťka 5 mm

U tryskání vzorků s tloušťkou 1 mm se prokázaly daleko větší rozdíly co se týče změny rovinnosti, největšího bodu deformace a měření drsnosti. Z výsledků experimentální části nelze pro tuto tloušťku vzorků doporučit ani jednu metodu, jelikož deformace i rovinnost se projevila u všech vzorků několikanásobně vyšší. Na deformaci má především vliv kinetická energie tryskacího media (tlak, při kterém se tryská). Procentuální rozdíly všech vzorků jsou znázorněny v Tabulce 45.

Tabulka 44 Procentuální výsledek experimentu – tloušťka 1 mm

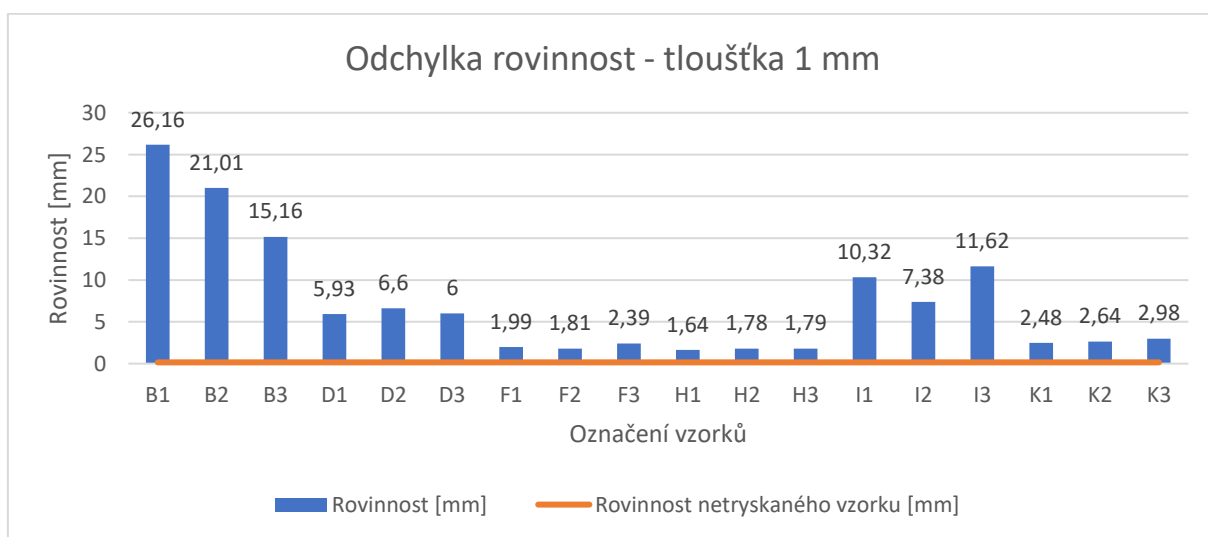
Označení dílu	Rovinnost - % rozdíl	Max.výška - % rozdíl	Ra % rozdíl	Rz - % rozdíl	Rmax - % rozdíl
B1	17340%	3703%	318%	367%	418%
B2	13907%	3181%	315%	358%	380%
B3	10007%	2145%	367%	376%	467%
D1	3853%	790%	716%	942%	1146%
D2	4300%	971%	892%	980%	1051%
D3	3900%	905%	711%	834%	912%
F1	1227%	257%	203%	279%	278%
F2	1107%	239%	291%	415%	718%
F3	1493%	327%	202%	276%	312%
H1	993%	207%	13%	55%	127%
H2	1087%	246%	6%	21%	28%
H3	1093%	238%	11%	34%	42%
I1	6780%	1373%	571%	575%	653%
I2	4820%	997%	690%	871%	960%
I3	7647%	1465%	549%	686%	716%
K1	1553%	354%	916%	977%	1119%
K2	1660%	378%	855%	869%	900%
K3	1887%	433%	883%	917%	988%

Z grafu 6 je viditelná největší deformace při tryskání metacími koly (S230-ocelový granulát), kde se maximální výška změnila nejvíce u vzorku B1 z maximální výšky 1,1 mm na 41,83 mm, což je o 3703% větší deformace než u vzorku před tryskáním. Naopak nejmenší deformace se projevila u vzorku H1 při použití injektorového tryskání s tryskacím abrazivem B134 (balotina), kde je změna maximální výšky 207 %.



Graf 6 Odchylka deformace – tloušťka 1 mm

Z grafu 7 vyplývají velmi podobné výsledky. Největší deformaci způsobilo tryskání metacími koly, kde bylo použito tryskání ocelovým granulátem (S230). Maximální výška se změnila nejvíce u vzorku B1 z maximální výšky 1,1 mm na 41,83 mm, což je o 17340% větší deformace než u vzorku před tryskáním. Naopak nejmenší deformace se projevila u vzorků při použití injektorového tryskání s tryskacím abrazivem B134 (balotina), kde je změna maximální výšky 993 %. U vzorků K1, K2, K3 mělo vliv na deformaci, že nejdříve na materiál dopadala houbička a až potom tryskací materiál. Proto není deformace tak velká, v porovnání s tím, že drsnost je u těchto vzorků vysoká.



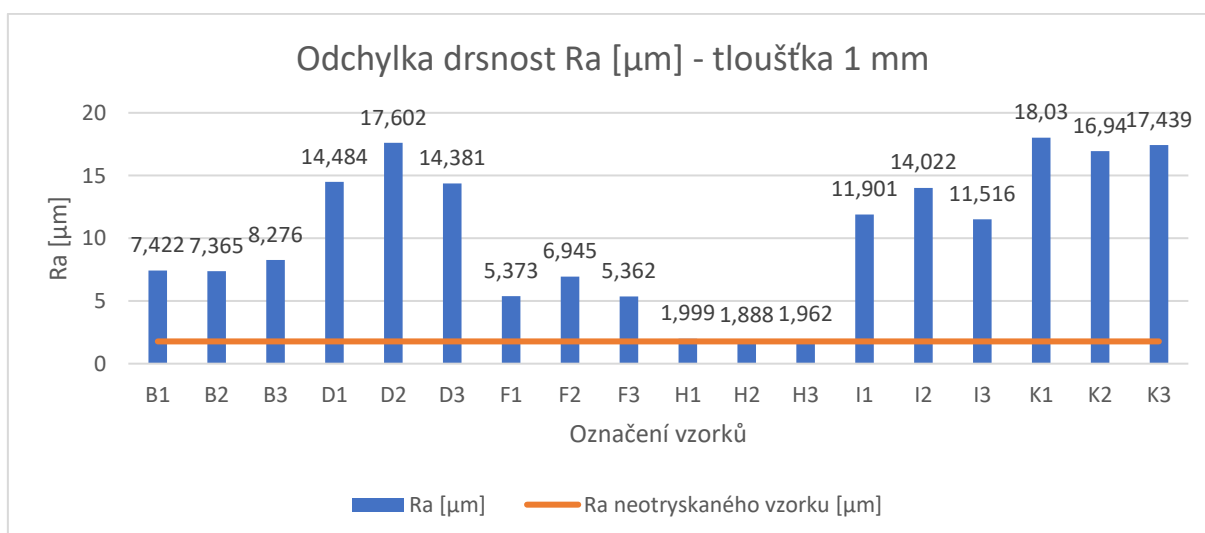
Graf 7 Odchylka rovinnost – tloušťka 1 mm

V Tabulce 44 jsou znázorněny výsledky měření drsnosti vzorků tloušťky 1 mm.

Tabulka 45 Výsledky měření drsnosti vzorků tloušťky 1 mm

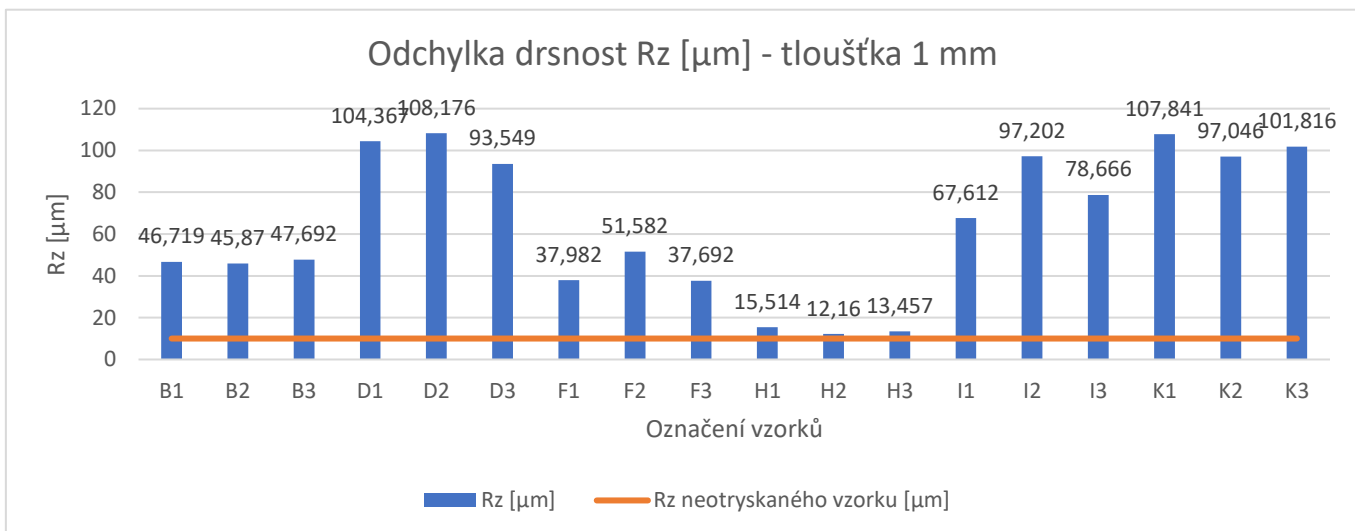
Označení vzorku	Ra [μm]	Ra neotryskaného vzorku [μm]	Rz [μm]	Rz neotryskaného vzorku [μm]	Rmax [μm]	Rmax neotryskaného vzorku [μm]
B1	7,422	1,774	46,719	10,012	54,748	10,565
B2	7,365	1,774	45,87	10,012	50,679	10,565
B3	8,276	1,774	47,692	10,012	59,943	10,565
D1	14,484	1,774	104,367	10,012	131,685	10,565
D2	17,602	1,774	108,176	10,012	121,561	10,565
D3	14,381	1,774	93,549	10,012	106,935	10,565
F1	5,373	1,774	37,982	10,012	39,961	10,565
F2	6,945	1,774	51,582	10,012	86,413	10,565
F3	5,362	1,774	37,692	10,012	43,539	10,565
H1	1,999	1,774	15,514	10,012	23,969	10,565
H2	1,888	1,774	12,16	10,012	13,557	10,565
H3	1,962	1,774	13,457	10,012	14,983	10,565
I1	11,901	1,774	67,612	10,012	79,508	10,565
I2	14,022	1,774	97,202	10,012	112,013	10,565
I3	11,516	1,774	78,666	10,012	86,259	10,565
K1	18,03	1,774	107,841	10,012	128,75	10,565
K2	16,94	1,774	97,046	10,012	105,689	10,565
K3	17,439	1,774	101,816	10,012	114,944	10,565

Z grafu 8,9,10 vyplývá největší odchylka při měření drsnosti Ra, Rz a Rmax. Největší odchylku u Ra (Graf 8) se ukázala při tlakovém tryskání tryskacím abrazivem Sponge-jet, kde se drsnost Ra zvětšila o 916% - vzorek K1.



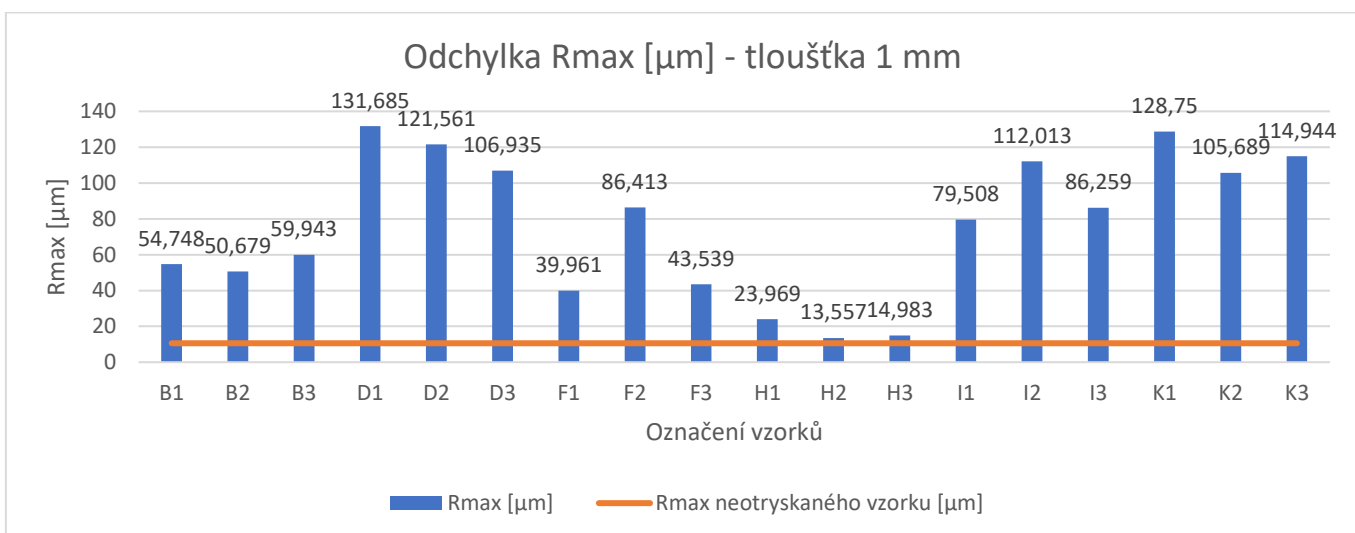
Graf 8 Odchylka drsnost – 1 mm

Z Grafu 9 je vidět největší rozdíl Rz, kde je největší u vzorku D2, kde bylo použito tlakové tryskání s abrazivem GH18 – ocelová drť, kde je změna oproti vzorku bez tryskání o 980%.



Graf 9 Odchylka drsnost Rz – tloušťka 1 mm

Z Grafu 10 jsou vidět výsledky měření R_{max} , kde je největší rozdíl oproti původnímu vzorku o 1146% - D1, kde bylo použito tlakové tryskání s abrazivem GH18 – ocelová drť.



Graf 10 Odchylka R_{max} – tloušťka 1 mm

Z Tabulky 46 je vidět cenové rozpětí abrazivních materiálů, které byly použity na vyhodnocení experimentální části. Cena je nejvyšší u tryskacího media Sponge-jet, která činí 5.225,- za 25 kg materiálu. Firma Corrotech uvádí, že recyklaci v recyklátoru je možné celé balení abrazivního materiálu použít 6x, pokud bychom to zvážili, cena by pak byla 871,-. Naopak nejnižší cena je u křemičitého písku, který však nelze recyklovat a jeho použití je jednorázové. Vzhledem k tomu, že při jeho používání hrozí riziko silikózy, je jeho použití nevhodné. Velmi dobré výsledky vykazují materiály ocelový granulát a ocelová drť, jejichž životnost je 200+ cyklů a cena je 1331,-. Dle výsledků experimentální části je nejvhodnější technicky i ekonomicky použití ocelové drtě nebo ocelového granulátu, který vykazuje nejlepší výsledky, vzhledem k tomu, že na materiálu vytvoří požadovaný kotvící profil.

Tabulka 46 Ekonomické porovnání tryskacích materiálů

Abrazivní materiál	Označení	Cena za 25kg materiálu (Kč)	Životnost (počet cyklů)	Cena na použití 1 cyklu (Kč)
Ocelový granulát	S230	1331	200	7
Ocelová drť	GH18	1331	200	7
Umělý hnědý korund	F46	1316	8	165
Skleněná balotina	B134	802	6	134
Křemičitý písek	ST08	140	1	140
Sponge – jet media	S30	5225	6	871

14 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo porovnání vhodnosti tryskání pro praktické využití, kde pomocí přípravy vzorků za použití různých technologií tryskání a rozdílných abrazivních materiálů porovnává jejich vliv na stav povrchu a mechanické ovlivnění vzorků.

V teoretické části byla rozebrána problematika nečistot, tryskání, abrazivních materiálů a důvod důležitosti předúpravy povrchu, kde mezi nejdůležitější a neúčinnější přípravu patří tryskání.

Úkolem experimentální části bylo provést tryskání různými metodami za použití různých tryskacích materiálů na vzorcích, které měly tloušťku 1 a 5 mm. Vybrané metody tryskání byly tlakové, injektorové a tryskání metacími koly.

Vybrané tryskací materiály byly S230 – ocelový granulát, GH18 – ocelová drť, F46 hnědý korund, B134 – balotina, které zhotovila firma S.A.F. spol. Praha s.r.o.

ST08 – křemičitý písek, které zhotovila firma Bintana s. r. o.

S30 – Sponge – jet media, které zhotovila firma CORROTECH TRADE.

Předpokladem experimentu bylo vyhodnocení deformace na těchto vzorcích pomocí měření rovinnosti, nejvyššího bodu a také měřením drsnosti.

Největší rozdíly u vzorků tloušťky 5 mm u měření rovinnosti vykazovalo tlakové tryskání abrazivem Sponge-jet. Při měření nejvyššího bodu (maximálního prohnutí – deformace) projevilo největší změnu injektorové tryskání balotinou. Při měření drsnosti, kde se měřily hodnoty Ra, Rz, Rmax se potom projeví největší změny ve všech případech tryskáním Sponge-jet media.

Největší rozdíly u vzorků tloušťky 1 mm u měření rovinnosti vykazovalo tryskání metacími koly, kde působí velká síla na vrhání abraziva. Měření nejvyššího bodu (maximálního prohnutí – deformace) se potom projeví stejné výsledky. Největší deformaci na vzorcích způsobilo tryskání metacími koly tryskacím abrazivem S230 (ocelový granulát), kde se maximální výška oproti původnímu vzorku změnila o 3703 %. Při měření drsnosti Ra se pak největší změna projevila u tlakového tryskání s abrazivem Sponge-jet, u Rz byla největší změna naměřena u tlakového tryskání s tryskacím abrazivem GH18 – ocelová drť a stejně tak u Rmax způsobilo největší změnu tryskání tlakové tryskání s abrazivem GH18.

Ze zjištěných skutečností z experimentální části v tomto případě pro tloušťky 5 mm lze doporučit všechny metody tryskání a všechna tryskací abraziva, dokonce tryskání balotinou, která na vzorcích nevytvořila požadovaný kotvící profil, ale tato metoda je vhodná k použití jiným účelům.

Pro tloušťky 1 mm nelze doporučit žádná metoda tryskání a žádná tryskací abraziva, jelikož při zvolených parametrech se vytvořila na všech vzorcích příliš velká deformace. Nejmenší deformaci na těchto vzorcích způsobilo injektorové tryskání balotinou, ale i tak není její použití vhodné, jelikož je deformace příliš velká. Tryskání v experimentální části by nemuselo tolik deformovat vzorky, kdyby byly použity vhodnější parametry tryskání (nižší tlak). Některé zvolené metody (balotina B134, korund F46, Sponge-jet S30) by při použití menšího tlaku mohly být vhodné pro tenké plechy.

Nejvhodnější tryskání pro praktické využití před aplikací nátěrových hmot dle experimentální části pro tloušťku 5 mm je tlakové tryskání tryskacím abrazivem GH18 (ocelová drť) a tlakové tryskání křemičitým pískem ST08 (ocelový granulát), vzhledem k malé deformaci materiálu a zajištění vhodného kotvícího profilu. Při tlakovém tryskání abrazivem Sponge-jet S30, též nedošlo k deformaci materiálu u vzorků 5 mm, avšak drsnost materiálu byla vyšší oproti tryskání abrazivem GH18 a ST08. Tato vyšší drsnost není vhodná pro nanášení nátěrových hmot s nižší tloušťkou. Pomoci by mohlo snížení tlaku nebo volba jiného typu abraziva Sponge-jet. Výhodou tryskání pomocí abraziva Sponge-Jet bylo snížení prašnosti při procesu tryskání a tím nižší ovlivnění okolního prostředí. Z pohledu prašnosti procesu, nejvyšší prašnost vykazovalo tryskání křemičitým pískem, balotinou a korundem.

Tryskání pomocí metalických kol s tryskacím materiálem S230 a injektorového tryskání s tryskacím materiálem F46, došlo též k vhodnému očištění povrchu a malé deformaci u vzorků s tloušťkou 5 mm, avšak drsnost byla nižší v porovnání s tlakovými způsoby tryskání. Tato technologie je vhodná pro aplikaci nátěrových hmot s nižší tloušťkou nebo jako předtryskání před aplikací tlakového tryskání z důvodu zajištění efektivity tryskacího procesu.

Pro volbu vhodného způsobu tryskání a tryskacího média z praktického pohledu je nutné vždy znát upravovaný materiál, jeho konstrukci, požadované parametry výsledného povrchu (drsnost, čistota, zpevnění materiálu apod.) a následná aplikace po tryskání (nátěrová hmota, žárové nástřiky apod.) Není snadné určit vhodnou metodu tryskání. Vždy je vyžadována znalost celého procesu výroby s ohledem na ekonomické i ekologické aspekty.

Použitá literatura

- [1] KREIBICH CSC., Ing. a RNDr. HOCH. *Koroze a technologie povrchových úprav. 2.* Praha: České vyučení technické v Praze, 1991. ISBN 80-01-00476-7.
- [2] LUKAVSKÝ, Ladislav, *Stanislav BOUŠKA a Václav FIALA. Nátěrové hmoty: 1.díl. 3.,* upravené vyd. Praha: Merkur, 1993. ISBN 80-703-2301-9.
- [3] *Jak vybrat nátěrový systém: Příručka pro ochranu konstrukcí pomocí nátěru podle normy ISO 12944* [online]. Brno: Copyright © November 2019, Hempel A/S, 2019 [cit. 2023-03-12]. Dostupné z: www.hempel.com
- [4] *Drsnost povrchu: Drsnost povrchu – základní pojmy a vysvětlení veličin m, Ra, Rz, Ry* [online]. Praha 6: Copyright © 2018 ATRYX, s.r.o., 2018 [cit. 2023-07-28]. Dostupné z: <https://atryx.cz/prakticka-prirucka/2-drsnost-povrchu>
- [5] KALEDOVÁ, Andrea. *Technologie nátěrových hmot II.: povrchové úpravy a způsoby předúpravy materiálů. 1.* Pardubice: Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická, Ústav polymerních materiálů, 2003. ISBN 80-719-4555-2.
- [6] KUBÁTOVÁ, Hana. *Nátěry kovů. 1.* Praha: Grada, 2000. ISBN 80-247-9035-1.
- [7] *Ing. Zdeněk Jeroušek: Prodej, poradenství a služby pro POVRCHOVÉ ÚPRAVY NEREZ OCELÍ* [online]. Kladno: eBRÁNA, 2023 [cit. 2023-02-26]. Dostupné z: <https://www.firma-jerousek.cz/uprava-ponorem>
- [8] HLUCHÝ, Miroslav a Jan KOLOUCH. *Strojírenská technologie 1. 4., rev. vyd.* Praha: Scientia, 2007. ISBN 978-80-86960-26-5.
- [9] *Siweco, s.r.o.: vše pro svařování, dílnu a zahradu.* In: *Siweco, vše pro svařování, dílnu a zahradu* [online]. Rychnov nad kněžnou [cit. 2023-02-26]. Dostupné z: <https://www.siweco.cz/elektronaradi/profi-brouseni-145>
- [10] *KLINGSPOR Brusivo, spol. s r.o.* [online]. Brno [cit. 2023-02-26]. Dostupné z: <https://www.klingspor.cz/sortiment/drtn-karte/bt-600-w>
- [11] *How To Machine Pure Abrasion* [online]. Ohio: Modern Machine shop, 2005 [cit. 2023-02-26]. Dostupné z: <https://www.mmsonline.com/articles/how-to-machine-39pure-abrasion39>
- [12] *The history of abrasive blast cleaning: We've Been Around for Years, and So Has Abrasive Blast Cleaning* [online]. Piscataway: Kramer Industries, Inc., 2018 [cit. 2023-03-12]. Dostupné z: https://www.kramerindustriesonline.com/the-history-of-abrasive-blast-cleaning/?mwig_rnd=8241974
- [13] BREZINOVÁ, Janette, Anna GUZANOVÁ a Dagmar DRAGANOVSKÁ. *Abrasive Blast Cleaning and Its Application* [online]. 83. TRANS TECH PUBLICATION, 2015 [cit. 2023-04-16]. ISBN 978-3-03826-775-1. Dostupné z: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSFo.83>
- [14] *Sandblasting proces: IFEXPORT.* In: *Twitter* [online]. Twitter, 2020 [cit. 2023-03-12]. Dostupné z: <https://twitter.com/ifexport/status/1215728800685854722>

- [15] *MOHYLA, DRSC., prof. Ing. Miroslav. Technologie povrchových úprav kovů. In: Technologie povrchových úprav kovů. 2. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2000, s. 22-39. ISBN 8070789530.*
- [16] *SEDLÁČEK, Alexander. Optimalizace parametrů tryskání: Optimization of Parameters of the Blasting Process [online]. Praha, 2011 [cit. 2023-06-09]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/9480?show=full>. Disertační práce. ČVUT v Praze Fakulta strojní. Vedoucí práce Suchánek Jan.*
- [17] *CIAMPINI, D., J.K. SPELT a M. PAPINI. Simulation of interference effects in particle streams following impact with a flat surface Part I. Theory and analysis. Wear: Simulation of interference effects in particle streams following impact with a flat surface Part I. Theory and analysis [online]. © 2023 Elsevier B.V. All, 2003, 2003(254), 237-249 [cit. 2023-07-22]. ISSN 0043-1648. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(03\)00017-6](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(03)00017-6)*
- [18] *ABITL - Powder Coating Redefined: 10 Types of Abrasive Blasting: What's the Difference? [online]. Tulsa: Copyright © 2023 ABITL Finishing, Inc, 2019 [cit. 2023-03-12]. Dostupné z: <https://www.abitl.com/10-types-of-abrasive-blasting-whats-the-difference/>*
- [19] *Wickens Dry Ice Blasting: How Dry Ice Blasting Works [online]. Ontario: © 2021. Wickens Dry Ice Blasting [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://www.wickensdryiceblasting.com/solution/techniques/dry-ice-blasting/>*
- [20] *Pískovačka.cz vše o pískování: Pískování neboli tryskání [online]. Praha 10: 2018 © Pískovačka.cz, 2018 [cit. 2023-07-23]. Dostupné z: <https://www.piskovacka.cz/piskovani-tryskani/>*
- [21] *Graco: What is Wet / Vapor Abrasive Blasting [online]. North America: © Graco Inc. [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://www.graco.com/us/en/contractor/solutions/articles/what-is-wet-vapor-abrasive-blasting.html>*
- [22] *URACA GmbH & Co. KG: Efficient cleaning by high pressure water jets [online]. Bad Urach: URACA GmbH & Co. KG [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: https://www.uraca.com/en/applications/cleaning/high-pressure-water-jets/?mwig_rnd=6441205*
- [23] *Pressurejet - explore the water power: Hydro blasting machine [online]. India: Pressurejet [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: https://pressurejet.com/pages/70/Hydro_blasting_Machine.aspx*
- [24] *ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - vizuální vyhodnocení čistoty povrchu - Část 4: Výchozí stav povrchu, stupně přípravy a bleskové koroze pro tryskání vodou [online]. Květen 2021. ÚNMZ, 2021 [cit. 6.8.2023].*

- [25] *FerroEcoBlast EUROPE: Soda Blasting Technology* [online]. Slovenia: FerroČrtalič d.o.o. [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://ferroecoblast.com/technology/air-blasting/soda-blasting>
- [26] *STRATFORD, Scott. DRY ICE BLASTING FOR PAINT STRIPPING AND SURFACE PREPARATION: Metal Finishing. Metal Finishing: DRY ICE BLASTING FOR PAINT STRIPPING AND SURFACE PREPARATION* [online]. Tarrytown: Copyright © 2023 Elsevier Inc., 2000, 98(3), 493-499 [cit. 2023-07-30]. ISSN ISSN 0026-0576. Dostupné z: doi:[https://doi.org/10.1016/S0026-0576\(00\)80450-X](https://doi.org/10.1016/S0026-0576(00)80450-X)
- [27] *MONTIPOWER Surface preparation technologies: Bristle blaster electric* [online]. Germany: MontiPower® [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://montipower.com/products/powertools/bristle-blaster-electric/>
- [28] *ČSN EN ISO 11124-1. Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - specifikace kovových otryskávacích prostředků: Část 1: Obecný úvod a klasifikace. 2. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2019.*
- [29] *SEDLÁČEK, S.A.F.PRAHA, SPOL. S R.O, Ing.Alexander. Povrcháři: Kovové tryskací prostředky. Povrcháři: Kovové tryskací prostředky* [online]. Praha: Redakce online časopisu POVRCHÁŘI, 2010, 2010(8), 4-6 [cit. 2023-07-23]. ISSN ISSN 1802-9833. Dostupné z: doi:http://povrchari.cz/kestazeni/201008_povrchari.pdf
- [30] *I.D.D. abrasive s.r.o.: Litinové granuláty* [online]. Písečná u Jeseníka: www.idda.cz, 2016 [cit. 2023-06-09]. Dostupné z: <https://idda.cz/produktove-rady/litinove-granulaty/>
- [31] *KrampeHarex CZ s.r.o.: O tryskacích materiálech* [online]. Ostrovačice: KrampeHarex CZ s.r.o. [cit. 2023-06-09]. Dostupné z: <https://www.krampeharex.cz/tryskaci-materialy>
- [32] *CORROTECH OSTRAVA s.r.o.: Litinová drť* [online]. Ostrava Kunčice: CORROTECH OSTRAVA s.r.o., 2023 [cit. 2023-06-09]. Dostupné z: <https://www.corrotech.com/product/litinova-drt/>
- [33] *I. Toušeňská s.r.o.: Tryskací materiály* [online]. Česká republika: © 2016 Tryskací zařízení | Designed by: Šalom, 2016 [cit. 2023-07-23]. Dostupné z: <https://www.tryskaci-zarizeni.cz/>
- [34] *Křemičitý sklářský písek* [online]. Corrotech: © 2023 Corrotech, 2023 [cit. 2023-08-06]. Dostupné z: <https://www.corrotech.com/product/kremicity-pisek/>
- [35] *Sponge-Jet, Inc.: How It Works* [online]. 14 Patterson Lane, Newington, NH 03801 USA: © 2019 Sponge-Jet, Inc., 2019 [cit. 2023-06-10]. Dostupné z: <https://www.spongejet.com/how-it-works-2/>
- [36] *Wheel blasting: Blasting process where an abrasive agent which often consists of metal balls is supplied to a rotating wheel which then throws the balls onto the contact surface of the workpiece.* [online]. Stockholm: Manufacturing Guide Sweden AB / Qimtek AB [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: <https://www.manufacturingguide.com/en/wheel-blasting>
- [37] *SAF - Dodáváme technologie pro úpravy povrchu* [online]. Český Brod: © 2019 SAF Praha spol. s r.o., 2019 [cit. 2023-08-12]. Dostupné z: <https://saf.cz/katalog/>

Použité tabulky

Tabulka 1	Stupně přípravy povrchu dle normy ISO 8501-1 [3].....	21
Tabulka 2	Srovnání metod tryskání [19]	25
Tabulka 3	Stupně přípravy povrchu dle normy ISO 8501-4 tryskáním vodním paprskem o vysokém tlaku [24]	28
Tabulka 4	Životnost vybraných tryskacích materiálů [16].....	33
Tabulka 5	Rozdělení tryskacích materiálů [13].....	33
Tabulka 6	Přehled tryskacích prostředků používaných pro různé prostředky [13].....	34
Tabulka 7	Chemické složení ocelového granulátu [13]	35
Tabulka 8	Chemické složení ocelové drti [13].....	35
Tabulka 9	Chemické složení litinového granulátu [16].....	36
Tabulka 10	Chemické složení ocelové drtě [16]	36
Tabulka 11	Chemické složení hliníkového sekaného drátu [13].....	37
Tabulka 12	Chemické složení zinkového řezaného drátu [13].....	37
Tabulka 13	Chemické složení hnědého korundu [13]	38
Tabulka 14	Chemické složení skleněných korálek [13].....	38
Tabulka 15	Chemické složení jedlé sody [13].....	39
Tabulka 16	Chemické složení Duroplastu EG [13].....	39
Tabulka 17	Chemické složení balotiny [16].....	40
Tabulka 18	Chemické složení uhelné strusky [16].....	40
Tabulka 19	Chemické složení sekaného drátu [29].....	41
Tabulka 20	Základní vlastnosti vybraných tryskacích materiálů [13]	42
Tabulka 21	Porovnání vhodnosti metody tryskání metacími koly [36]	50
Tabulka 22	Chemické složení oceli S235	53
Tabulka 23	Označování vzorků	56
Tabulka 24	Zvolené parametry tryskání	57
Tabulka 25	Výsledky vzorků tloušťky 5 mm po tryskání	62
Tabulka 26	Výsledky vzorků tloušťky 1 mm po tryskání	63
Tabulka 27	Parametry tlakového tryskání	63
Tabulka 28	Výsledky vzorků tloušťky 5 mm po tryskání	68
Tabulka 29	Výsledky vzorků tloušťky 1 mm po tryskání	69
Tabulka 30	Zvolené parametry tryskání	69
Tabulka 31	Výsledky vzorků tloušťky 5 mm po tryskání	74
Tabulka 32	Výsledky vzorků tloušťky 1 mm po tryskání	75
Tabulka 33	Zvolené parametry tryskání	75
Tabulka 34	Naměřené hodnoty vzorků tloušťky 5 mm.....	80
Tabulka 35	Naměřené hodnoty vzorků tloušťky 1 mm.....	81
Tabulka 36	Zvolené parametry tryskání	81
Tabulka 37	Výsledky naměřených hodnot vzorků tloušťky 5 mm	86
Tabulka 38	Výsledky naměřených hodnot vzorků tloušťky 1 mm	87
Tabulka 39	Zvolené parametry tryskání	87
Tabulka 40	Výsledky naměřených hodnot vzorků tloušťky 5 mm	92
Tabulka 41	Výsledky naměřených hodnot vzorků tloušťky 1 mm	93

Tabulka 42 Procentuální výsledek experimentu – tloušťka 5 mm	94
Tabulka 44 Výsledky měření drsnosti vzorků tloušťky 5 mm	95
Tabulka 45 Procentuální výsledek experimentu – tloušťka 1 mm	97
Tabulka 44 Výsledky měření drsnosti vzorků tloušťky 1 mm	99
Tabulka 46 Ekonomické porovnání tryskacích materiálů	101

Použité obrázky

Obrázek 1 Matematický model mrtvého objemu [4].....	13
Obrázek 2 Moření ponorem [7]	15
Obrázek 3 Ukázka broušení [9]	16
Obrázek 4 Ukázka kartáčování [10]	17
Obrázek 5 Omílání ozubených kol [11]	18
Obrázek 6 Benjamin Tilghman a tryskací skříň [14]	19
Obrázek 7 Znázornění zakrytí nerovností otryskaného kovového povrchu nátěry 1 – otryskaný kovový povrch, 2 – první vrstva nátěru, 3 – druhá vrstva nátěru, 4 – třetí vrstva nátěru, 5 – čtvrtá vrstva nátěru [6].....	20
Obrázek 8 Ukázka stupně přípravy povrchu dle ČSN EN ISO 8501-1 [3].....	21
Obrázek 9 Ukázka výchozího stavu oceli [3].....	22
Obrázek 10 Ukázka vlivu úhlu nárazu částic na povrch [16].....	23
Obrázek 11 Ukázka vlivu rozbíhavosti proudu částic [17]	23
Obrázek 12 Simulace tryskání $\alpha=45^\circ$ [17]	24
Obrázek 13 Simulace tryskání $\alpha=90^\circ$ [17]	24
Obrázek 14 Ukázka tryskání pískem [20]	26
Obrázek 15 Ukázka používaného abrazivního materiálu [21]	26
Obrázek 16 Ukázka zvlhčování abraziva na vstupu u trysky [21]	27
Obrázek 17 Ukázka zvlhčování abraziva přímo v zásobníku [21].....	27
Obrázek 18 Odstranění barvy a korozních produktů vodním paprskem [23]	28
Obrázek 19 Ukázka tryskání suchým ledem [19].....	30
Obrázek 20 Ukázka tryskání štětinami [27]	31
Obrázek 21 Tvar záseku ostrohranného tryskacího materiálu [5].....	32
Obrázek 22 Ocelový granulát [13]	35
Obrázek 23 Ocelová drť [13].....	35
Obrázek 24 Litinový granulát [31]	36
Obrázek 25 Litinová drť [32]	36
Obrázek 26 Hliníkový řezaný drát [13].....	37
Obrázek 27 Zinkový řezaný drát [13].....	37
Obrázek 28 Hnědý korund [13]	38
Obrázek 29 Skleněné korálky [13]	38
Obrázek 30 Hydrogenuhličitan sodný [13]	39
Obrázek 31 Plastový tryskací materiál (Duroplast EG) [33].....	39
Obrázek 32 Ukázka balotiny [16].....	40
Obrázek 33 Ukázka uhelné strusky [32].....	40
Obrázek 34 Ukázka sekaného drátu [33].....	41
Obrázek 35 Ukázka australského granátu [32].....	41
Obrázek 36 Ukázka křemičitého písku [34].....	42
Obrázek 37 Princip konvenčního abrazivního otryskávacího média [35].....	43
Obrázek 38 Princip konvenčního abraziva vázané na houbové médium [35]	43
Obrázek 39 Princip recyklování Sponge-jet media [35]	44
Obrázek 40 Sponge media ze stříbra [35]	44

Obrázek 41 Red sponge media [35]	45
Obrázek 42 White sponge media [35]	45
Obrázek 43 Green sponge media [35]	46
Obrázek 44 Blue sponge media [35]	46
Obrázek 45 Super sponge media [35].....	47
Obrázek 46 White glass bead sponge media [35].....	47
Obrázek 47 Princip tlakového způsobu tryskání (1 - zásobník, 2-ventil, 3-směšovací komora, 4-zásobník písku, 5- pískový ventil, 6-hadice, 7-tryska) [5]	48
Obrázek 48 Princip sacího tryskacího způsobu (1-tryska,2-směšovací prostor, 3-přívod vzduchu,4-zásobník tryskacího materiálu) [5]	49
Obrázek 49 Princip spádového tryskacího způsobu (1-zásobník tryskacího materiálu, 2-tryska, 3-přívod vzduchu, 4-směšovací prostor) [5]	49
Obrázek 50 Princip tryskání metacími koly (1-tryskací materiál, 2-vnitřní rotující kolo, 3 – buben se šterbinou, 4- rotující kolo s lopatkami) [36].....	50
Obrázek 51 Carl Zeiss UMC 1000 Carat	
Obrázek 52 Měřicí sonda.....	51
Obrázek 53 Digitální mikroskop KYENCE – VHX – 7000	52
Obrázek 54 Vzorek před předúpravou povrchu S235JR tloušťka 5 mm	53
Obrázek 55 Měření rovinnosti vzorku před předúpravou povrchu tloušťka 5 mm (zvětšeno 50x).....	54
Obrázek 56 Morfologie povrchu (zvětšení 100x).....	54
Obrázek 57 Ukázka vzorku před předúpravou povrchu S235JR tloušťka 1 mm.....	55
Obrázek 58 Měření rovinnosti vzorku před povrchovou úpravou tloušťka 1 mm (50x zvětšeno).....	55
Obrázek 59 Morfologie povrchu (zvětšení 100x).....	56
Obrázek 60 Zvolený tryskací materiál S230 ocelový granulát.....	57
Obrázek 61 Zařízení pro tryskání metacími koly RT 1D1000/OP2SF [37].....	58
Obrázek 62 Vzorek A1 po tryskání	
Obrázek 63 Vzorek A2 po tryskání	58
Obrázek 64 Vzorek A3 po tryskání	59
Obrázek 65 Rovinnost vzorku A1 (zvětšeno 50x)	
Obrázek 66 Rovinnost vzorku A2 (zvětšeno 50x).....	59
Obrázek 67 Rovinnost vzorku A3 (zvětšeno 50x).....	59
Obrázek 68 Morfologie povrchu A1 (zvětšení 100x).....	60
Obrázek 69 Vzorek B1 po tryskání	
Obrázek 70 Vzorek B2 po tryskání	60
Obrázek 71 Vzorek B3 po tryskání	60
Obrázek 72 Deformace vzorku B2	61
Obrázek 73 Rovinnost vzorku B1	
Obrázek 74 Rovinnost vzorku B2	61
Obrázek 75 Rovinnost vzorku B3	61
Obrázek 76 Morfologie povrchu B2 (zvětšení 100x).....	62
Obrázek 77 Zvolený tryskací materiál GH18 ocelová drť	63

Obrázek 78 Zařízení pro tlakové tryskání PTZ 100 T [37]	64
Obrázek 79 Vzorek C1 po tryskání	
Obrázek 80 Vzorek C3 po tryskání	64
Obrázek 81 Vzorek C3 po tryskání	65
Obrázek 82 Rovinnost vzorku C1 (zvětšeno 50x)	
Obrázek 83 Rovinnost vzorku C2 (zvětšeno 50x).....	65
Obrázek 84 Rovinnost vzorku C3 (zvětšeno 50x).....	65
Obrázek 85 Morfologie povrchu C2 (zvětšení 100x).....	66
Obrázek 86 Vzorek D1 po tryskání	
Obrázek 87 Vzorek D2 po tryskání	66
Obrázek 88 Vzorek D3 po tryskání	67
Obrázek 89 Deformace vzorku D2	67
Obrázek 90 Rovinnost vzorku D1	
Obrázek 91 Rovinnost vzorku D2	67
Obrázek 92 Rovinnost vzorku D3	68
Obrázek 93 Morfologie povrchu D2 (zvětšení 100x).....	68
Obrázek 94 Zvolený tryskací materiál F46 hnědý korund	69
Obrázek 95 Ukázka zvoleného tryskacího zařízení PTZ 100 I [37].....	70
Obrázek 96 Vzorek E1 po tryskání	
Obrázek 97 Vzorek E2 po tryskání.....	70
Obrázek 98 Vzorek E3 po tryskání.....	71
Obrázek 99 Rovinnost vzorku E1 (50x zvětšeno)	
Obrázek 100 Rovinnost vzorku E2 (50x zvětšeno).....	71
Obrázek 101 Rovinnost vzorku E3 (50x zvětšeno).....	71
Obrázek 102 Morfologie povrchu E2 (zvětšení 100x)	72
Obrázek 103 Vzorek E1 po tryskání	
Obrázek 104 Vzorek E2 po tryskání.....	72
Obrázek 105 Vzorek E3 po tryskání.....	73
Obrázek 106 Deformace vzorku F2.....	73
Obrázek 107 Rovinnost vzorku F1	
Obrázek 108 Rovinnost vzorku F2	73
Obrázek 109 Rovinnost vzorku F3	74
Obrázek 110 Morfologie povrchu F3 (zvětšení 100x)	74
Obrázek 111 Zvolený tryskací materiál B134 balotina	75
Obrázek 112 Ukázka zvoleného tryskacího zařízení [37].....	76
Obrázek 113 Vzorek G1 po tryskání	
Obrázek 114 Vzorek G2 po tryskání	76
Obrázek 115 Vzorek G3 po tryskání	77
Obrázek 116 Rovinnost vzorku G1 (50x zvětšeno)	
Obrázek 117 Rovinnost vzorku G2 (50x zvětšeno).....	77
Obrázek 118 Rovinnost vzorku G3 (50x zvětšeno).....	77
Obrázek 119 Morfologie povrchu G1 (zvětšení 100x).....	78

Obrázek 120 Vzorek H1 po tryskání	
Obrázek 121 Vzorek H2 po tryskání	78
Obrázek 122 Vzorek H3 po tryskání	79
Obrázek 123 Deformace vzorku H2	79
Obrázek 124 Rovinnost vzorku H1	
Obrázek 125 Rovinnost vzorku H2	79
Obrázek 126 Rovinnost vzorku H3	80
Obrázek 127 Morfologie povrchu H2 (zvětšení 100x).....	80
Obrázek 128 Ukázka tryskacího materiálu ST08 křemičitý písek	81
Obrázek 129 Tryskací tlakové nádoby AIRBLAST® ABSC 200 1 [32]	82
Obrázek 130 Vzorek CH1 po tryskání	
Obrázek 131 Vzorek CH2 po tryskání	82
Obrázek 132 Vzorek CH3 po tryskání	83
Obrázek 133 Rovinnost vzorku CH1 (50x zvětšeno)	
Obrázek 134 Rovinnost vzorku CH2 (zvětšení 50x).....	83
Obrázek 135 Měření rovinnosti vzorku CH3 (zvětšení 50x)	83
Obrázek 136 Morfologie povrchu CH2 (zvětšení 100x).....	84
Obrázek 137 Vzorek I1 po tryskání	
Obrázek 138 Vzorek I2 po tryskání.....	84
Obrázek 139 Vzorek I3 po tryskání.....	85
Obrázek 140 Deformace vzorku I1	85
Obrázek 141 Rovinnost vzorku I1	
Obrázek 142 Rovinnost vzorku I2.....	85
Obrázek 143 Rovinnost vzorku I3	86
Obrázek 144 Morfologie povrchu I2 (zvětšení 100x)	86
Obrázek 145 Zvolený tryskací materiál S30 sponge-jet media.....	87
Obrázek 146 Zvolené tryskací zařízení SPONGE-JET RASP Xtreme™ [32]	88
Obrázek 147 Vzorek J1 po tryskání	
Obrázek 148 Vzorek J2 po tryskání	88
Obrázek 149 Vzorek J3 po tryskání	89
Obrázek 150 Rovinnost vzorku J1 (50x zvětšeno)	
Obrázek 151 Rovinnost vzorku J2 (50x zvětšeno).....	89
Obrázek 152 Rovinnost vzorku J3 (zvětšeno 50x).....	89
Obrázek 153 Morfologie vzorku J3 (zvětšeno 100x)	90
Obrázek 154 Vzorek K1 po tryskání	
Obrázek 155 Vzorek K2 po tryskání	90
Obrázek 156 Vzorek K3 po tryskání	91
Obrázek 157 Deformace vzorku K3	91
Obrázek 158 Rovinnost vzorku K1	
Obrázek 159 Rovinnost vzorku K2	91
Obrázek 160 Rovinnost vzorku K3	92
Obrázek 161 Morfologie povrchu K1 (zvětšení 100x).....	92

Použité grafy

Graf 1 Odchylka deformace – tloušťka 5 mm.....	94
Graf 2 Odchylka rovinnost – tloušťka 5 mm.....	95
Graf 3 Odchylka drsnost Ra – tloušťka 5 mm.....	96
Graf 4 Odchylka Rz – tloušťka 5 mm	96
Graf 5 Odchylka Rmax – tloušťka 5 mm	97
Graf 6 Odchylka deformace – tloušťka 1 mm.....	98
Graf 7 Odchylka rovinnost – tloušťka 1 mm.....	98
Graf 8 Odchylka drsnost – 1 mm	99
Graf 9 Odchylka drsnost Rz – tloušťka 1 mm.....	100
Graf 10 Odchylka Rmax – tloušťka 1 mm	100