

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav strojírenské technologie

VLIV TRYSKÁNÍ NA KOROZNÍ ODOLNOST OCELI

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor: Martin Rauch

Studijní obor: Technologie, materiály a ekonomika ve strojírenství

Vedoucí práce: doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.

Praha 2018



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Rauch** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **410720**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**
Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Vliv tryskání na korozní odolnost oceli

Název bakalářské práce anglicky:

Impact of blasting on corrosion resistance of steel

Pokyny pro vypracování:

1. Rozbor sledované problematiky
2. Návrh metodiky zkoušení vlivu tryskání na vlastnosti povrchu
3. Provedení experimentu
4. Vyhodnocení vlivu technologie na tryskání povrchu

Seznam doporučené literatury:

Dle pokynů vedoucího

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc., ústav strojírenské technologie FS

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

Ing. Jiří Kuchař, ústav strojírenské technologie FS

Datum zadání bakalářské práce: **27.10.2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **12.01.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: **12.01.2018**

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

6.12.2017
Datum převzetí zadání

D. Rauch
Podpis studenta

Prohlášení:

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne

.....

Martin Rauch

ANOTACE:

Jméno autora: Martin Rauch

Název práce: VLIV TRYSKÁNÍ NA KOROZNÍ ODOLNOST OCELI

Rozsah práce: 30 – 40 stran

Školní rok vyhotovení: 2017/2018

Ústav: Ústav strojírenské technologie 12133

Vedoucí BP: doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.

Konzultant: Ing. Jiří Kuchař

Klíčová slova: tryskání

koroze

zinek

ABSTRAKT:

Bakalářská práce je rozdělena na část teoretickou a část experimentální. Teoretická část práce pojednává o charakteristice technologie tryskání a jeho rozdělení. Dále se práce zabývá volbou a rozdělením tryskacích prostředků včetně přehledu nejběžnějších tryskacích prostředků. Teoretická část práce je zakončena kapitolou o metodice zkoušení vlivu tryskání na vlastnosti povrchu.

Experimentální část se zabývá návrhem metodiky zkoušení vlivu tryskacích prostředků na korozní odolnost oceli, provedením experimentu a jeho vyhodnocením.

ABSTRACT:

The bachelor thesis is divided into theoretical part and experimental part. The theoretical part is about characteristics of blasting technology and its distribution. Further the thesis deals with choice and distribution of blasting media, including an overview of the most common blasting media. Theoretical part is finished by a chapter about methodology for testing impact of blasting on surface properties.

Experimental part deals with the proposal of methodology for testing impact of blasting media on corrosion resistance of steel, by the experiment itself and its evaluation.

Děkuji mému vedoucímu bakalářské práce **doc. Ing. Viktoru Kreibichovi, CSc.** a konzultantovi **Ing. Jiřímu Kuchařovi**, kteří mne uvedli do problematiky, poskytli materiální zázemí a zároveň pomoc při řešení experimentální části této bakalářské práce.

OBSAH

1. ÚVOD.....	9
2. TECHNOLOGIE TRYSKÁNÍ.....	10
2.1 Historie technologie tryskání	10
2.2 Charakteristika tryskání	12
2.3 Rozdělení tryskání.....	14
2.4 Pneumatické tryskání	14
2.4.1 Injektorové tryskání.....	15
2.4.2 Tlakové tryskání	17
2.5 Mechanické tryskání	18
3. TRYSKACÍ PROSTŘEDKY	20
3.1 Volba.....	21
3.2 Rozdělení tryskacích prostředků	21
3.3 Charakteristiky nejběžnějších tryskacích prostředků.....	22
4. METODIKA ZKOUŠENÍ VLIVU TRYSKÁNÍ NA VLASTNOSTI POVRCHU	27
4.1 Drsnost povrchu	27
4.2 Almen test – měření intenzity tryskání	28
4.3 Stupeň čistoty	29
4.4 Korozní zkoušky	31
5. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	32
5.1 Návrh metodiky „Zkoušení vlivu tryskacích prostředků na korozní odolnost oceli“	32
5.2 Zkušební vzorky.....	33
5.3 Příprava povrchu	34
5.4 Zkouška korozní odolnosti.....	41
5.4.1 Korozní zkouška v kondenzační komoře	41
5.4.2 Zkušební podmínky	42

5.4.3	Průběh zkoušky korozní odolnosti	42
6.	VYHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI	47
6.1	Hodnocení a porovnání výsledků	47
6.2	Stručné doporučení pro další experimenty	50
6.3	Ekonomická úvaha aplikací výsledků	50
7.	ZÁVĚR	51
8.	POUŽITÁ LITERATURA	52
9.	Seznam obrázků	55
10.	Seznam tabulek	58
11.	Seznam grafů	59

1. ÚVOD

Vytvoření kvalitní předúpravy povrchu pro finální povrchovou úpravu výrobku závisí především na vhodné volbě technologického postupu, který zároveň ovlivňuje kvalitu povrchové úpravy. Povrchové úpravy jsou zpravidla procesy dvoustupňové, kdy prvním stupněm jsou předúpravy, např. tryskání, na které navazují finální úpravy povrchu (organické a anorganické povlaky).

Tryskání je technologický postup opracování povrchu materiálu proudem jemných částic. Tryskání povrchu se z hlediska technologie rozděluje na dva způsoby, pneumatický a mechanický. Pneumatické tryskání lze podle konstrukce a způsobu práce rozdělit na metodu injektorovou a tlakovou. Při mechanickém tryskání se používají metací kola. Účelem tryskání je dodání vhodné drsnosti povrchu upravovaného materiálu, dále pak čištění od korozních produktů, písku, grafitu a podobně.

Nevýhoda takto předupravených povrchů je velmi rychlá koroze (v rádech hodin) a s tím související nutnost rychlé aplikace finální povrchové úpravy. Koroze kovů je nežádoucí proces, a to je také obsaženo v její definici: „Koroze kovů je fyzikálně-chemická interakce kovů a prostředí, vedoucí ke změnám vlastností kovu, které mohou vyvolávat významné zhoršení funkce kovu, respektive povrchu“. Jinými slovy je koroze samovolně probíhající proces znehodnocování materiálu působením okolního prostředí, zejména pak prostředím s vyšší relativní vlhkostí a jeho znečištěním.

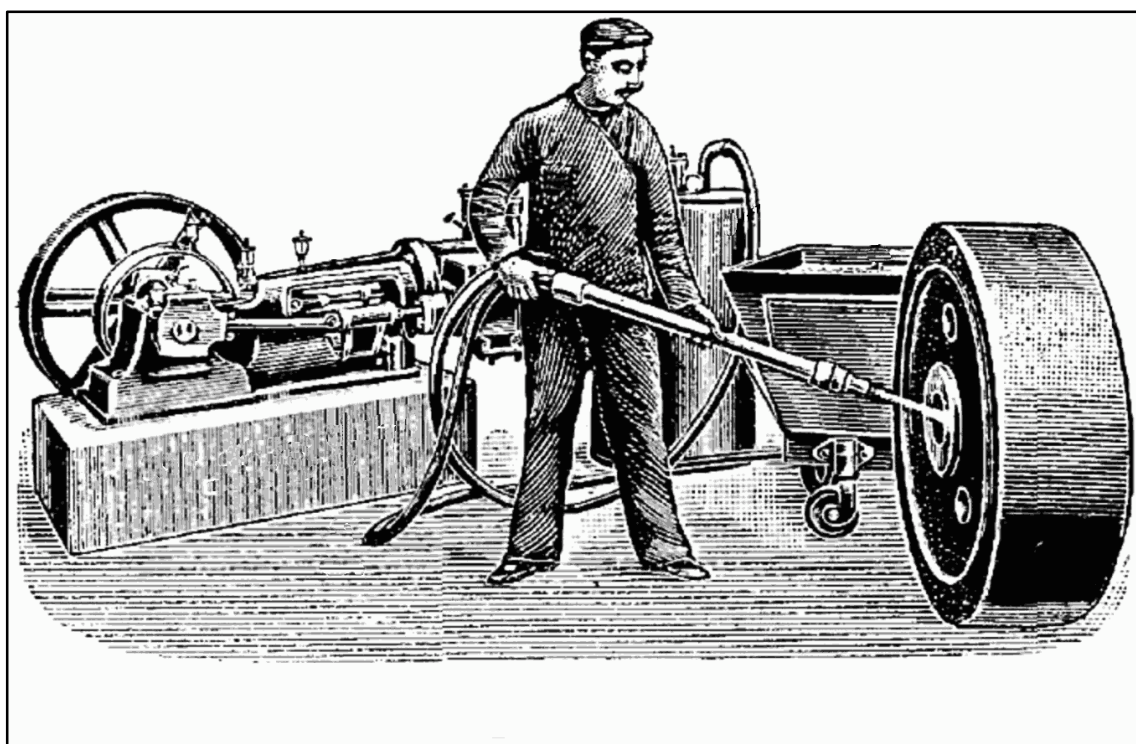
Korozi se snažíme zabránit, nebo ji alespoň zpomalit, různými metodami povrchových úprav, jako jsou organické povlaky, anorganické kovové povlaky a vrstvy nebo jejich kombinace.

Cílem této bakalářské práce je zkoumání vlivu tryskání na korozní odolnost oceli, zkoušení vlivu tryskání na vlastnosti otryskaného povrchu a potvrzení či vyvrácení hypotézy, že tryskání povrchu zinkem zpomalí korozi oceli.

2. TECHNOLOGIE TRYSKÁNÍ

2.1 Historie technologie tryskání

Již na konci 19. století je možno sledovat první známky využívání technologie tryskání pomocí zrnitého tryskacího prostředku, především při čištění povrchu odlitků. Metoda tryskání pískem pomocí stlačeného vzduchu nebo páry byla patentována roku 1871 vynálezcem Benjaminem Ch. Tilghmanem (US patent 104 408). B. Ch. Tilghman se současně zabýval způsobem urychlování abrazivních prostředků pomocí odstředivé síly metacího kola a aplikací strusky, skla a kovových částic jako tryskacího prostředku.



Obrázek 1. Tryskání odlitků v minulosti. [1]

K výraznému rozvoji tryskání dochází až v období mezi oběma světovými válkami. Nejčastěji používaným tryskacím prostředkem se stal křemenný písek. Jeho aplikace se ovšem ukázala jako značně nevhodná. Křemenný písek se rozpadal na jemný prach již po několika cyklech tryskacího procesu a navíc obsluze hrozilo poškození plic (dnes známé jako silikóza) vdechováním částic prachu. Tyto důvody vedly k hledání vhodnějšího abrazivního materiálu. [2]

Jako vhodné se ukázaly kovové tryskací prostředky vyrobené přímo pro tryskání. V roce 1938 několik amerických firem zkoušelo tryskat s abrazivem z temperované litiny. Ovšem ke skutečnému rozmachu kovových tryskacích částic došlo až v období po druhé světové válce, kdy se experimentovalo s tryskacími prostředky jako je tzv. “zrno z plechu“ nebo “ocelový písek“.

Do 70. let 20. století převládaly ostrohranné tryskací prostředky z litiny, oblé ocelový granulát a sekaný drát. V této době byly zaznamenány pokusy s tryskacími prostředky na bázi plastů či organických přírodních materiálů, od poloviny 80. let pak nastupují technologie „lehkého“ tryskání, tryskání suchým ledem či zvlhčeným abrazivem.[2,3]

2.2 Charakteristika tryskání

Přesná definice tryskání dle normy ČSN 8501-01 zní: „*Tryskání je úprava povrchu tryskacími prostředky, který je vrhán na upravenou plochu. Tryskací prostředek je nástroj, který má charakter pevné látky nebo kapaliny, případně jejich směsi. Při dopadu tryskacího prostředku na otryskávaný povrch dochází k odstranění nečistot základního materiálu a dále k plastické deformaci v povrchové vrstvě.*“ [3,7]

Technologie tryskání je jedna z nejpoužívanějších mechanických metod předúprav povrchu. Jedná se o technologický postup, kterým se opracovává povrch materiálu proudem jemných částic, které jsou urychlovány různými způsoby (stlačeným vzduchem, metacímí koly nebo kombinací tlaku vzduchu a vody). Takto urychlené tryskací prostředky dopadají na upravovaný povrch s danou mírou kinetické energie, s určitou vzdáleností a pod určitým úhlem, kde následně podle svého tvaru, tvrdosti a velikosti vykonávají potřebnou práci. Intenzita čištění povrchu součásti při otryskávání je závislá za tvaru zrn, druhu otryskávacího materiálu, jejich kinetické energii (hmotnosti a dopadové rychlosti), na úhlu dopadu a vzdálenosti od povrchu upravované součásti. [3,4]



Obrázek 2. Kulatý ocelový granulát. [5]

Mezi nejčastěji používané abrazivní částice patří ocelová drť, ocelový granulát (Obrázek 2) nebo sekaný drát. Při tryskání tvrdými a ostrohrannými abrazivními prostředky (ocelová drť nebo sekaný drát) dochází k výraznému zvýšení intenzity čištění povrchu, což je zapříčiněno vysekáváním částic materiálu. Při dopadu abraziva

je materiál zbavován okují, nečistot a korozních produktů, případně zbytků povlaků a vrstev. Po otryskání má povrch předmětu potřebnou drsnost a čistotu povrchu. Naopak při použití kulatých zrn je úběr kovu menší, ale povrch se očistí a zpevní. Povrch součástí je odolnější proti korozi, ovšem méně vhodný pro zakotvení povlaku.

Technologický postup tryskání:

- před tryskáním se předměty musí připravit, zamaštěné předměty se odmastí, z odlitků se odstraní hrubé zbytky písku
- připravené součásti se umístí na závěsy do tryskače
- následuje tryskání součásti vhodným vybraným tryskacím prostředkem
- po otryskání se povrch očistí kartáčem nebo stlačeným vzduchem
- následuje aplikace ochrany proti korozi buď ochranným povlakem, nebo dočasným způsobem ochrany

Druh abrazivních částic se volí podle druhu upravovaného povrchu, stupně znečištění, materiálu a podle tloušťky materiálu. Předměty z měkkých materiálů nebo tenkostěnné výrobky se tryskají nižším tlakem a jemnějšími zrny, respektive materiálem o nižší měrné hmotnosti. [6]

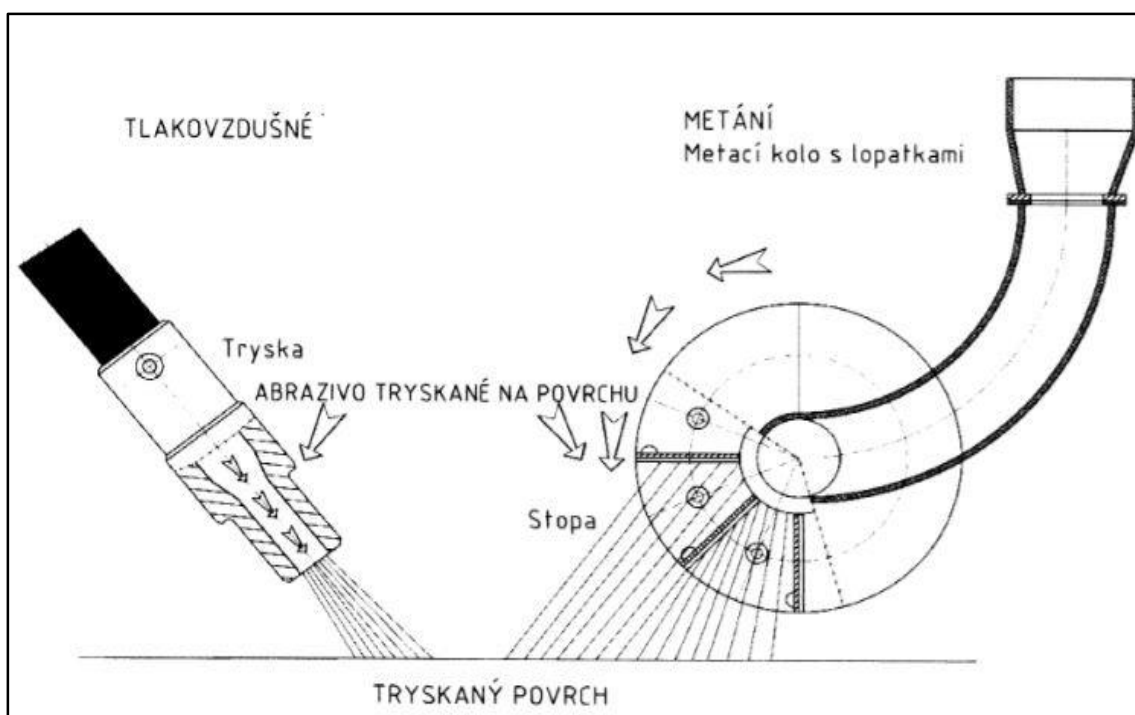
Výkon tryskání se reguluje:

- druhem tryskacího prostředku
- velikostí zrn
- tlakem vzduchu, resp. otáčkami metacích jednotek
- velikostí trysky
- úhlem dopadu abrazivních částic
- vzdáleností předmětu od trysky resp. od metacích kol [6]

2.3 Rozdělení tryskání

Tryskání lze podle principu dodané kinetické energie (Obrázek 3) abrazivním částicím a tím i podle konstrukčního zpracování rozdělit na dva způsoby:

- **pneumatické tryskání** – unášení tryskacích částic proudem stlačeného vzduchu
- **mechanické tryskání** – mechanické metání abraziva lopatkami metacích kol



Obrázek 3. Princip pneumatického a mechanického (metací kolo) tryskání. [7]

2.4 Pneumatické tryskání

Pneumatické tryskání se vyznačuje dopravováním a urychlováním tryskacích prostředků proudem stlačeného vzduchu a rozdíly tlaků vzduchu. Běžné používaný tlak vzduchu se při tlakovzdušném tryskání pohybuje v rozsahu 0,2 – 0,8 MPa. Vzniklá směs abrazivních částic a stlačeného vzduchu je vrhána na povrch otryskávaného předmětu pomocí trysky.

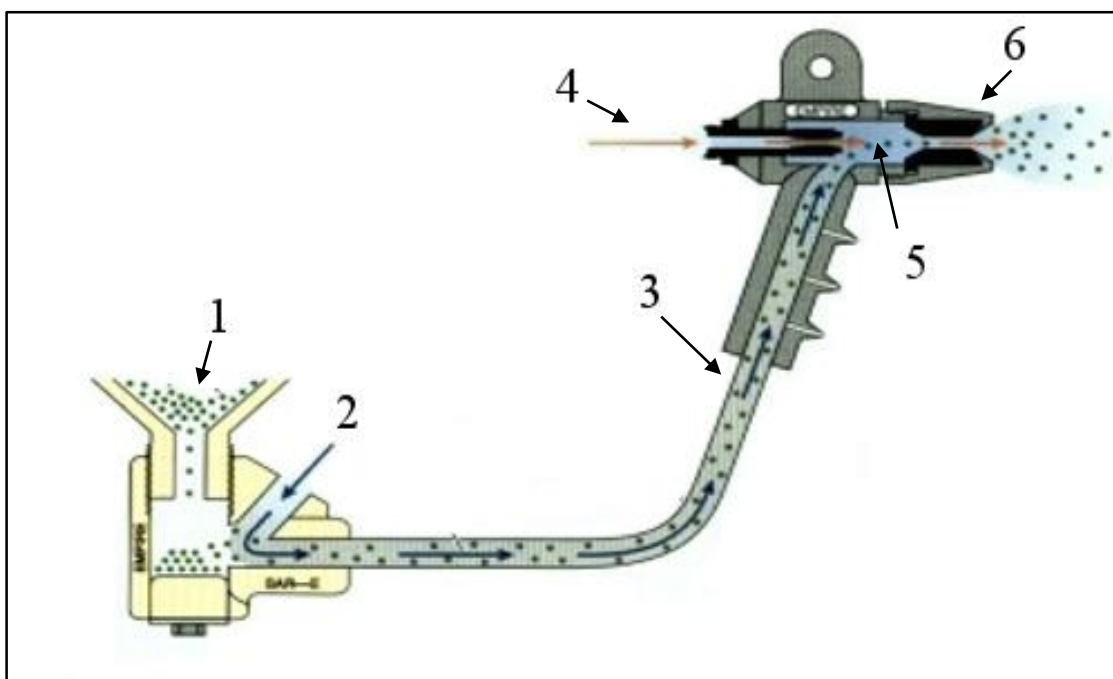
Pneumatické tryskací stroje jsou velmi variabilní, neboť je jimi možno tryskat velmi tvarově složité součásti, zároveň se také mohou přizpůsobit různorodým požadavkům při aplikacích. Jejich nespornou výhodou je schopnost tryskat nadrozměrné předměty, těžko dostupná místa nebo konstrukce umístěné v terénu. [2,3,4]

Pneumatické tryskání lze podle principu a konstrukčního řešení rozdělit na:

- injektorový (sací) způsob tryskání
- tlakový způsob tryskání

2.4.1 Injektorové tryskání

Injektorový způsob tryskání pracuje na základě vzniklého podtlaku ve směšovací komoře, který je způsoben prouděním stlačeného vzduchu. Injektorové zařízení se skládá ze zásobníku na tryskací prostředek, zdroje stlačeného vzduchu a tryskací pistole. Tryskací pistole, která se skládá ze směšovací komory, pracovní a vzduchové trysky, je spojena hadicí se zásobní nádobou. Tryskací pistol je připojena na zdroj stlačeného vzduchu (kompresor se zásobníkem).



Obrázek 4. Princip injektorového tryskání: 1 – zásobní nádoba, 2 – přisávání vzduchu s regulací, 3 – přívod tryskacího prostředku, 4 – přívod stlačeného vzduchu, 5 – směšovací komora, 6 – pracovní tryska. [8]

Do směšovací komory je přiveden stlačený vzduch. Pomocí vzduchové trysky je vyvolán podtlak ve směšovací komoře. Vzniklým podtlakem je do směšovací komory nasáván tryskací prostředek ze zásobníku. Směs tryskacího prostředku se vzduchem je následně urychlována a vrhána na opracováváný povrch materiálu. [3,4,7]

U injektorových pneumatických tryskačů nedosahuje výsledná rychlost abraziva příliš vysokých hodnot. Kvůli menším výstupním rychlostem je vhodné využívat především lehký jemnozrnný nekovový typ tryskacího prostředku, např.: balotina, korund, granát nebo přírodní organické materiály.

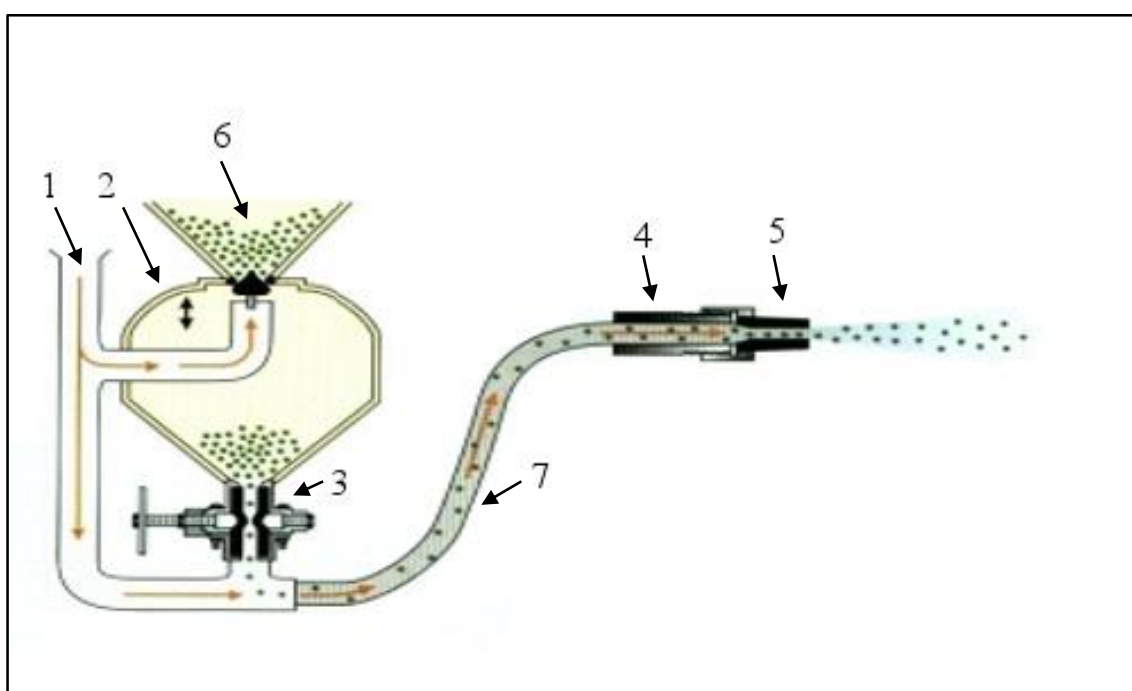
Nevýhodou této metody je nízký výkon, avšak pracovní cyklus je plynulý (na rozdíl od tlakového tryskání). Mezi výhody lze zařadit jednoduché konstrukční řešení i možnost regulace intenzity tryskání, a to velikostí trysky, průtokem a tlakem vzduchu. Injektorový způsob tryskání se využívá zejména při menších objemech práce v menších kabinách (pro povrchové čištění, tryskání skla či tryskání měkkých materiálů), případně u automatů s více tryskami. [3,4,7]

Tabulka 1. Přehled možných tryskacích prostředků pro injektorové tryskání a jejich použití. [9]

Přehled tryskacích prostředků a jejich použití	
Tryskací prostředek	Použití
syntetický korund	pro ocel, barevné kovy, matování skla, dřevo
granát	barevné kovy, matování skla, kámen, dřevo
balotina	pro saténování („leštění“) kovů – galvanika, kovolijectví, muzejnictví, plastikářský průmysl
keramický granulát	stejně jako balotina
plastový granulát	Pro čištění a odkarbonování – formy, hlavy motorů, muzejnictví

2.4.2 Tlakové tryskání

Konstrukce tlakového zařízení je založena na tlakové nádobě, do které je přiváděn tlakový vzduch a která slouží jako zásobník tryskacího prostředku se vzduchem. Ve spodní části tlakové nádoby se nachází směšovací komora, ve které je tryskací médium urychlováno se vzduchem stlačeným vzduchem. Po otevření ventilu je směs tryskacího prostředku ze směšovací komory odváděna hadicí do trysky. K finálnímu urychlení (až 60 m/s) tryskacího média dochází při expanzi vzduchu v trysce, kterou je abrazivo vrháno na tryskaný povrch.



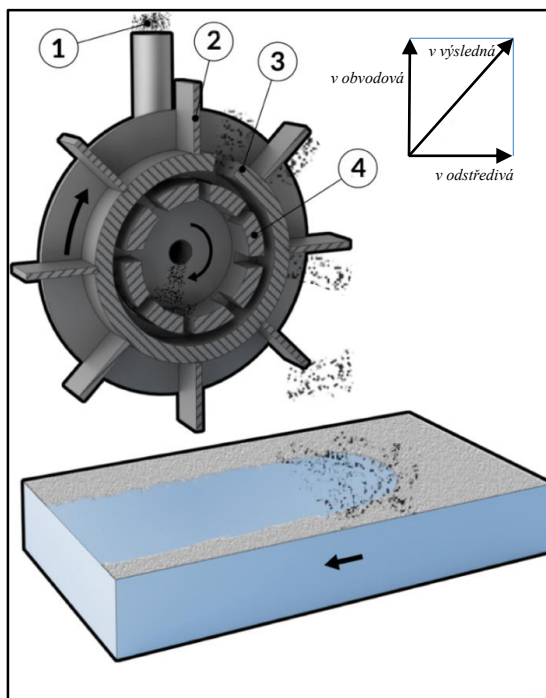
Obrázek 5. Princip tlakového tryskání: 1 – Přívod stlačeného vzduchu, 2 – tlaková nádoba, 3 – uzavírací ventil, 4 – držák trysky, 5 – tryska, 6 – tryskací prostředek, 7 – přívodní hadice tryskací směsi. [8]

Hlavní nevýhodou tlakového tryskání je nezbytné přerušování procesu tryskání, aby mohlo dojít k doplnění zásobníku tryskacím prostředkem. Po vyprázdnění zásobníku je nutné uzavřít přívod stlačeného vzduchu a horní násypkou doplnit tryskací prostředek do tlakové nádoby. Tlakový způsob tryskání dosahuje třikrát až čtyřikrát větší intenzity tryskání než injektorový způsob, proto se využívá především k čištění kovů od mechanických nečistot, odstraňování okují, korozních produktů, barev, tryskání členitých součástí a zpevňování povrchové vrstvy materiálu. [3,4,7]

U pneumatického tryskání je nezbytné uvažovat vysoké provozní náklady za stlačený vzduch dané nízkou účinností kompresorů (cca 10 %).

2.5 Mechanické tryskání

Mechanické tryskání, známé také jako tryskání metacím kolem, je nejvýkonnějším způsobem tryskání. Mechanické tryskače využívají energii rotujícího metacího kola s lopatkami, na jejichž vnitřní okraj je přiváděn tryskací prostředek, který je unášen vlivem odstředivé síly směrem k vnějšímu okraji lopatek, odkud jsou zrna abraziva vrhána vysokou rychlostí proti povrchu tryskaného předmětu. Výstupní rychlost je dána součtem obvodové rychlosti a odstředivé rychlosti tryskacího prostředku dosahuje rychlosti až 100 m/s.



Obrázek 6. Princip mechanického tryskání.
1 – plnicí potrubí, 2 – lopatka, 3 – přívod abraziva,
4 – dávkovací rotor. [10]

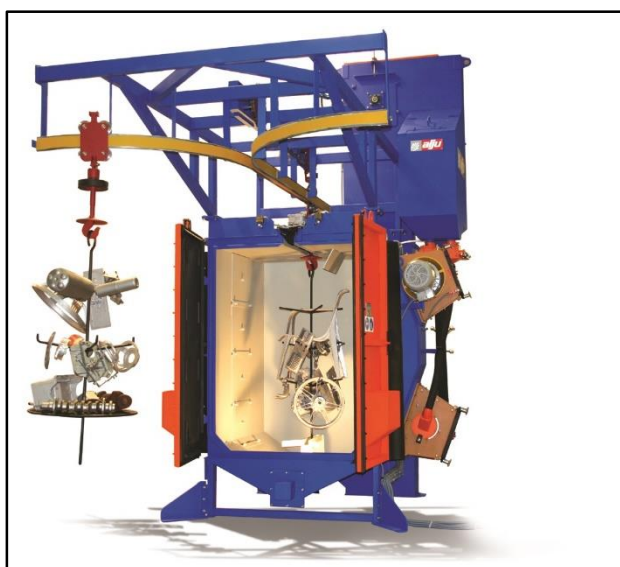
Svým výkonem mechanické tryskání mnohonásobně převyšuje tryskání pneumatické a zároveň je podstatně hospodárnější. Vyšší výkonnost mechanického tryskání oproti pneumatickému je zřejmá z porovnání množství urychleného abraziva za čas v tabulce 2. [3,4]

Tabulka 2. Porovnání množství urychleného abraziva za jednotku času. [3,7]

Typ tryskání	Hmotnost urychleného abraziva
Mechanické	40 kg.min ⁻¹ až 200 kg.min ⁻¹
Pneumatické	10 kg.min ⁻¹ až 25 kg.min ⁻¹

V důsledku vysokého výkonu nachází tryskání metacími koly využití především při tryskání velkoobjemových a rozměrných součástí jednoduchého tvaru v sériové a hromadné výrobě, jako je čištění odlitků, výkovků, svařenců a hutních polotovarů.

Příklady metacích zařízení:



Obrázek 7. Závěsné tryskací zařízení s metacími koly. [30]



Obrázek 8. Bubnové tryskací zařízení s metacími koly. [30]

3. TRYSKACÍ PROSTŘEDKY

Při tryskání plní abrazivní částice roli nástroje. Jedná se o sypký materiál o velikosti desetin až jednotek milimetru. Norma ČSN EN ISO 11124-1 definuje tryskací prostředek jako materiál složený z pevných částic. Vlastnosti tryskacích prostředků lze shrnout následovně:

➤ **základní:**

- typ materiálu
- tvar zrna
- velikost zrna
- odolnost zrna vůči opotřebení

➤ **mechanické:**

- tvrdost
- pevnost v tahu

➤ **technologické:**

- schopnost odstraňování materiálu
- zdrsnující efekt [2]

Některé vlastnosti vybraných typů tryskacích medií jsou uvedeny v tabulce 3.

Tabulka 3. Základní vlastnosti vybraných tryskacích prostředků.[2]

abrazivo	velikost zrna	hustota [kg.dm ⁻³]	tvrdost [Mohs]	křehkost	trvanlivost [počet cyklů]	původ
křemenný písek	6-270	1,66	5,0-6,0	vysoká	1	přírodní
struska	8-80	1,4-1,86	7,0-7,5	vysoká	1-2	vedlejší produkt
ocelová drť	10-325	3,83	8,0	nízká	200+	vyrobený
ocelové broky	8-200	4,6	8,0	nízká	200+	vyrobený
korund bílý	12-325	2,08	9,0	střední	6-8	vyrobený
korund hnědý	12-325	1,66	9	střední	6-8	vyrobený
skleněné kuličky	10-400	1,4-15	5,5-6,0	střední	8-10	vyrobený

3.1 Volba

Důležitými faktory, které je třeba vzít v úvahu při výběru tryskacího prostředku pro konkrétní aplikaci, jsou materiálové a chemické složení, jeho tvrdost, hustota, tvar, velikost a v neposlední řadě také tvrdost součásti, která má být otryskána. Tento výběr má významný vliv na konečné vlastnosti upravovaného povrchu a na efektivitu tryskání, a to i z hlediska hospodárnosti. Správná volba tryskacího prostředku zároveň výrazně ovlivňuje životnosti tryskacích zařízení (trysek, metacích lopatek apod.). [12]

3.2 Rozdělení tryskacích prostředků

Tryskací prostředky lze obecně rozdělit podle následujících hledisek [2,13]:

- dle materiálu, ze kterého je abrazivo vyrobeno na kovové a nekovové
- dle původu tryskacího prostředku na přírodní a syntetické
- dle tvaru zrna na ostrohranné (drtě) a oblé (granuláty)

Kovové tryskací prostředky:

- ocelový granulát
- ocelová drť
- sekaný drát
- litinové abrazivo – granulát, drť
- nerezové abrazivo – granulát, drť
- abrazivo z neželezných kovů (zinek, mosaz, hliník) – granulát, drť

Nekovové tryskací prostředky:

Syntetické:

- umělý korund
- skleněné kuličky (balotina)
- drcené sklo
- strusky
- abrazivo na bázi plastu
- keramický granulát
- suchý led

Přírodní:

- křemičitý písek
- granát
- přírodní korund
- zirkon
- drcený vápenec
- drcené pecky
- ořechové skořápky
- drcené ulity korýšů [13]

3.3 Charakteristiky nejběžnějších tryskacích prostředků

Ocelový granulát

Ocelový granulát, vyroben z naduetektoidní speciálně upravené oceli, je kulatý tepelně zušlechtný tryskací prostředek, který má jemnou homogenní strukturu martenzitu. Tím vykazuje optimální tvrdost, odrazovou pružnost a odolnost proti únavě materiálu. Výhoda ocelového granulátu díky těmto vlastnostem je jeho živostnost. Ocelový granulát je vhodný zejména pro tryskání metacími koly. [5,14]

Tabulka 4. Chemické složení ocelového granulátu. [2]

Chemické složení	Označení	Tvrdost
C – 0,75-1,2 %	S	460 HV
Mn – 0,5-1,1 %		-
Si – 0,5-1,1 %		560 HV
P – max 0,04 %		
S – max 0,04 %		



Obrázek 9. Ocelový granulát. [15]

Ocelová drť

Ocelová drť je ostrohranný tryskací prostředek, který se vyrábí drcením speciálně tepelně upravených zrn ocelového granulátu o větších průměrech. Používá se pro čištění a úpravu povrchu především při pneumatickém tryskání. Při tryskání metacími koly

se ocelová drť využívá jen jako určité omezené procento ocelového granulátu, a to kvůli vysokému opotřebení metacích lopatek. [5,14,15]

Tabulka 5. Chemické složení ocelové drti. [2]

Chemické složení	Označení	Tvrдост
C – 0,75-1,2 % Mn – 0,5-1,1 % Si – 0,5-1,1 % P – max 0,04 % S – max 0,04 %	GP GL GH	450-560 HV 600-700 HV 800-950 HV



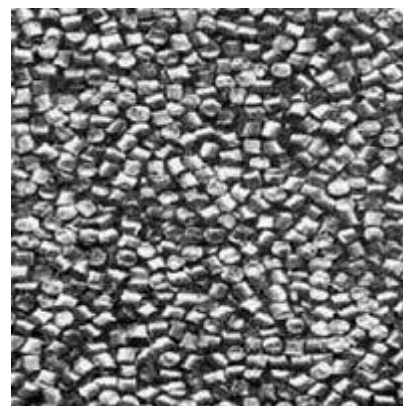
Obrázek 10. Ocelová drť. [15]

Hliníkový sekaný drát

Hliníkový sekaný drát je zvláště vhodný pro matování výrobků a čištění odlitků z hliníku, bez toho aby došlo k jejich poškození. Pro čištění hliníkových povrchů není vhodné používat kovové tryskací prostředky na bázi železa, protože stopy železa zůstávají na povrchu hliníku a jeho slitin po otryskání. Mezi výhody hliníkového abraziva patří především menší tvorba prachu při tryskání než při použití např. balotiny nebo minerálních abraziv a jeho delší životnost. [5,16]

Tabulka 6. Chemické složení Al sekaného drátu. [2]

Chemické složení	Tvrдост
Fe – 0,16-0,4 % Al – 99,7 % Zn – 0-0,1 % Cu – 0,01-0,1 % Cr – 0-0,2 %	100-150 HV



Obrázek 11. Hliníkový sekaný drát. [15]

Zinkový sekaný drát

Zinkový sekaný drát se využívá především pro čištění hliníkových a zinkových výrobků a forem, ale může být použit také pro tryskání ocelových povrchů. V tomto procesu dochází k vytváření zinkového povlaku na upravovaném povrchu, který zajišťuje dočasnou ochranu oceli proti korozi. Vzhledem k relativně nízké tvrdosti zinkového abraziva nedochází k úbytku materiálu na tryskaném povrchu, tryskání je výrazně méně prašné a tryskaný povrch je jednotné, rovnoměrné a lesklé struktury. Standardní tvary zinkového tryskacího prostředku jsou cylindrický (válcový) a zakulacený (označení G1 – G3). [2,17]

Tabulka 7. Chemické složení Zn abraziva. [18]

Chemické složení	Tvar	Tvrdost
Fe – 0,003 % Zn – 99,9 % Cd – 0,005 % Sn – 0,001 % Pb – 0,005 %	válcový G1-G3	40-50 HV 40-50 HV



Obrázek 12. Zinkový sekaný drát. [18]

Hnědý korund

Umělý hnědý korund je velice tvrdý ostrohranný tryskací prostředek využívaný hlavně při tryskání v tlakových a injektorových kabinách či kabinách vybavených recyklací abraziva. Hnědý korund je vyráběn tavením bauxitu v indukčním pecích o teplotě 1 600 °C – 1 800 °C a následně pomalým ochlazováním. Využívá se zejména k obrousování povrchů za účelem odstranění hloubkové rzi, barvy a jiných povlaků i různých nerovností (vyhlazení svárů, sjednocení povrchu) před finálním zpracováním, k tryskání a matování nerezové oceli a neželezných kovů. [2,19]

Tabulka 8. Chemické složení hnědého korundu. [20]

Chemické složení	Tvar	Tvrdost
Al ₂ O ₃ – 95,5 % TiO ₂ – 1,8-2,8 % SiO ₂ – max 1,4 % Fe ₂ O ₃ – max 0,6 % CaP – max 0,4 %	ostrá hrana	9 Mohs



Obrázek 13. Hnědý korund. [15]

Bílý korund

Umělý bílý korund se vyrábí tavbou bauxitu v obloukových pecích při teplotě 2 000 °C. Bílý korund má vyšší tvrdost než hnědý korund a o něco nižší houževnatost. Jedná se o tryskací prostředek vysoké kvality (bílý korund obsahuje až 99 % Al_2O_3) obsahující minimální množství volného železa. Je vhodný pro tryskání nerezových materiálů v tlakových i injektorových kabinách či komorách. [20]

Tabulka 9. Chemické složení bílého korundu. [20]

Chemické složení	Tvar	Tvrdost
Al_2O_3 – 99,5 % TiO_2 – max 0,01 % SiO_2 – max 0,03 % Fe_2O_3 – max 0,04 % Na_2O – max 0,2 %	ostrá hrana	9 Mohs



Obrázek 14. Bílý korund. [15]

Soda

Soda je bílý krystalický, nehořlavý, nevýbušný, netoxický materiál bez zápachu, který zanechává tryskaný povrch nezměněn, i když je upravovaný povrch lesklý (na rozdíl od tradičního tryskání s použitím křemičitých materiálů). Soda je šetrná k životnímu prostředí a využívá se k čištění většiny druhů materiálů – hliníku, kovových slitin, pokovených materiálů, skla, pryže, plastu nebo betonu. Snadno odstraňuje mastnotu, olej, staré barvy a různé vrstvy z tryskaného povrchu. Protože má soda jemnou, moučnou konzistenci a vytváří značné množství prachu, je vhodné ji využívat s adaptérem pro tryskání pod vodou, který zcela zabraňuje rozptýlu prachu vytvořením clony z rozprašované vody. [2]

Tabulka 10. Chemické složení sody. [2]

Chemické složení	Tvrdost
NaHCO_3 – 99 %	cca 2,5 Mohs



Obrázek 15. Soda. [15]

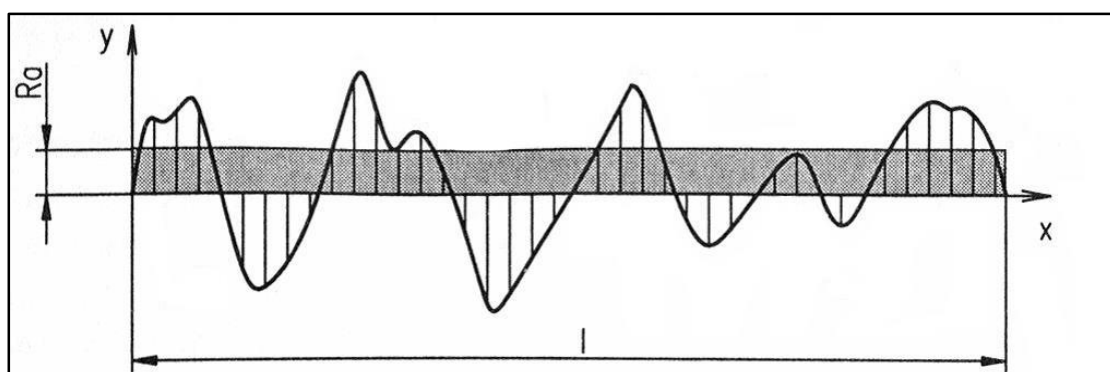
Suchý led

Suchý led je pevná forma oxidu uhličitého (CO_2) s teplotou $-79\text{ }^\circ\text{C}$. Kapalný oxid uhličitéj je produkován jako vedlejší produkt při výrobě amoniaku, jako odpad z ropných rafinerií nebo z výroby etanolu a alkoholu. Suchý led se vyrábí v zařízení s názvem peletizér z kapalného CO_2 . Plynná forma CO_2 je nejdříve upravena do kapalného skupenství. Kapalný CO_2 je skladováno v zásobníku pod tlakem okolo 20 bar. Ze zásobníku je kapalina vedena do peletizéru potrubím před dávkovací ventil kde dojde ke změně teploty a tlaku. Tento pokles způsobí změnu skupenství kapaliny na sněh. Sněh CO_2 je dávkován do válce peletizéru, kde píst posléze protlačuje sněh matricí. Výsledkem jsou válcové pelety suchého ledu s průměrem 1 - 6 mm, délkou 5 - 15 mm a tvrdostí odpovídající stupni 2 - 3 Mohsovy stupnice tvrdosti (odpovídá tvrdosti sádry, vápence). Po otryskání nezanechávají žádné sekundární znečištění, protože hned po nárazu na povrch sublimuje do plynné fáze. [2,32]

4. METODIKA ZKOUŠENÍ VLIVU TRYSKÁNÍ NA VLASTNOSTI POVRCHU

4.1 Drsnost povrchu

Mechanická předúprava povrchu tryskáním se provádí hlavně za účelem zdrsnění povrchu materiálu a s tím souvisejícím vytvořením vhodné mikrogeometrie na tryskaném povrchu. Vytvoření potřebné mikrogeometrie povrchu je velmi důležité pro následnou aplikaci povlaků. Zejména pak pro nanášení povlaků z nátěrových hmot.



Obrázek 16. Základní profil drsnosti povrchu Ra. [31]

Měření drsnosti povrchu

Drsnost povrchu je určena hodnotou Ra, která představuje největší hodnotu střední aritmetické výšky měřeného profilu. Měření struktury povrchu se řeší redukcí do roviny kolmé k povrchu. Redukcí je získán profil, ze kterého se získávají všechny základní parametry drsnosti. Pro měření drsnosti povrchu lze použít několik odlišných metod: [21]

- **kvalitativní hodnocení** - jedná se o porovnávání kontrolovaného povrchu se vzorovými plochami pomocí lidských smyslů, hmatem a zrakem, případně s pomocí jednoduchých optických pomůcek. Spolehlivost této metody je značně omezená kvůli rozlišovací schopnosti lidských smyslů.
- **nepřímé kvantitativní měření** – při této metodě měření se porovnává daný povrch se vzorovým pomocí komparačních měřidel. Do této skupiny měřidel patří mechanické komparátory, pneumatické a elektrické komparátory. Výsledkem měření je rozdíl drsností obou povrchů.

- **měření dotykovými drsnoměry** – patří mezi nejpoužívanější metody měření drsnosti povrchu, jejich použití je jednoduché a přesné. Princip fungování spočívá v posuvu jemného hrotu pomocí motorku po povrchu součásti, čím se sleduje nerovnost povrchu. Výchylku hrotu snímá elektronika například pomocí piezoelementu. Z takto nasnímaného profilu povrchu mikropočítač vypočte požadované parametry drsnosti, které zobrazí nebo rovnou vytiskne. [22]

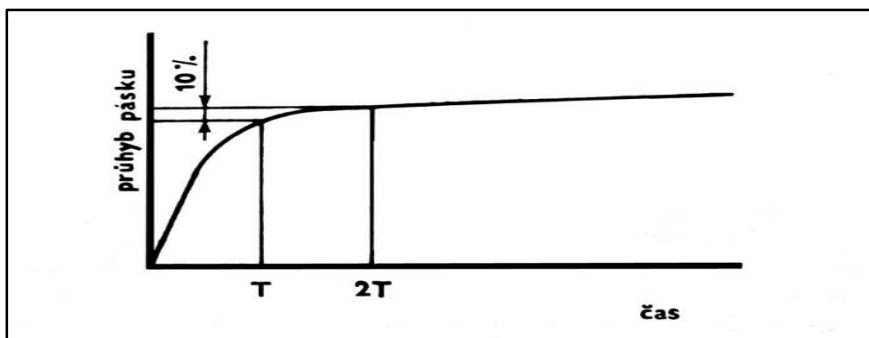
4.2 Almen test – měření intenzity tryskání

Jedním ze způsobů, jak lze měřit intenzitu tryskání, je nepřímá metoda měření podle J. O. Almena. Intenzita tryskání Almen-testem se měří pomocí Almen pásek, které jsou sekvenčně jednostranně otryskány. Tryskací prostředek zpevňuje povrch materiálu (Almen pásky), a tím způsobuje jeho deformaci ohybem. Výška ohybu pásky je úměrná intenzitě tryskacího paprsku. Tento průhyb pásky slouží jako měřítko intenzity tryskání a měří se pomocí speciálního zkušebního zařízení pro Almen-test (obrázek 12).



Obrázek 17. Zkušební zařízení pro Almen test. [23]

Při souvislém tryskání povrchu se intenzita nebo výška vzniklého oblouku zvětšuje do dosažení saturačního bodu (stabilizace). To je bod, ve kterém se výška oblouku nezvyšuje o více než 10 % po zdvojnásobení doby tryskání. V tomto bodě naměřená hodnota průhybu odpovídá stanovené intenzitě tryskání. [2]



Obrázek 18. Saturační křivka Almen testu. [24]

Almen pásy se vyrábí z válcované oceli za studena, která je kalena a popouštěna na tvrdost 44-50 HRC. Pro měření jsou používány tři normalizované tloušťky zkušebních pásků vhodné pro různé rozsahy intenzity tryskání (tabulka 9). Typ pásku N se využívá pro měření malých intenzit tryskání, např. při tryskání hliníkových slitin v leteckém průmyslu pomocí keramického nebo skleněného abraziva. Nejčastěji využívaný je pásek typu A o tloušťce 1,3 mm. [24]

Tabulka 11. Typy zkušebních pásků. [25]

Typ Almen pásku	Tloušťka [mm]
N	0,8
A	1,3
C	2,4

4.3 Stupeň čistoty

Stupeň čistoty (S_a) tryskaného povrchu se hodnotí vizuálně, a to porovnáním upravovaného povrchu se standardizovanou fotografií. Stupně čistoty se rozdělují do 4 stupňů. Hodnocení stupně čistoty tryskaného povrchu se řídí dle normy ČSN EN ISO 8501-1.

Klasifikace a definice stupňů čistoty [27]

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

Snímky jednotlivých stupňů čistoty Sa [27]



Obrázek 19. Stupeň čistoty Sa 1.



Obrázek 20. Stupeň čistoty Sa 2.



Obrázek 21. Stupeň čistoty Sa 2½.



Obrázek 22. Stupeň čistoty Sa 3.

4.4 Korozní zkoušky

Pojem korozní zkoušky lze shrnout jako experimentální činnost vedoucí k získávání informací o korozi a korozní odolnosti v laboratorních nebo provozních podmínkách. Neexistuje žádná univerzální korozní zkouška, a tak se druh korozní zkoušky volí podle důvodů, který vede k jejímu uskutečnění. Korozní zkoušky lze rozdělit do dvou základních skupin:

- laboratorní korozní zkoušky
- provozní korozní zkoušky

Při laboratorních zkouškách se experiment provádí v laboratořích, tudíž se používají většinou malé vzorky o malém objemu korozního prostředí. Při laboratorních zkouškách lze dosáhnout velmi přesných výsledků, z toho důvodu se využívají pro vědecko-výzkumné účely. V případech, kdy je potřeba znát informace o korozní odolnosti co nejdříve, je možné provést urychlené korozní zkoušky (např. korozní zkouška v solné mlze)

Provozní zkoušky probíhají v provozu dlouhodobě bez jakéhokoli urychlení. Lze je provádět i na vzorcích, ale většinou se provádí na samotném provozním zařízení.

Důvody provádění korozních zkoušek:

- volba materiálu a protikorozní ochrany
- kontrola korozní odolnosti
- výzkum
- vývoj protikorozní ochrany
- zjištění příčiny selhání materiálu

Principy korozních zkoušek jsou založeny na hodnocení vzhledových, rozměrových a hmotnostních změn nebo na změnách mechanických vlastností kovového materiálu. Při vzhledovém hodnocení se zkoumá povrch se vzniklými korozními produkty a poté po odstranění těchto produktů. Trhliny se dají odhalit za použití magnetického prášku nebo fluorescenční látky. Z hlediska rozměru se hodnotí tloušťky vzorku pomocí mechanických měřidel nebo defektoskopických nástrojů. Hodnocení hmotnostní změny spočívá v určení hmotnostního rozdílu vzorku před a po expozici. [28,29]

5. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část bakalářské práce je rozdělena do dvou částí. První část experimentu zahrnovala výběr a přípravu vzorků, volbu tryskacích prostředků a přípravu povrchu vzorků tryskáním. Ve druhé části experimentu byly provedeny korozní zkoušky otryskaných vzorků v kondenzační komoře a na atmosféře. Průběh zkoušky korozní odolnosti ocelových vzorků byl pečlivě sledován a zaznamenávám pomocí fotoaparátu a mikroskopu.

5.1 Návrh metodiky „Zkoušení vlivu tryskacích prostředků na korozní odolnost oceli“

Hlavní cíl experimentální části bylo potvrzení nebo vyvrácení hypotézy, že tryskání povrchu zinkovým tryskacím prostředkem zpomalí korozi oceli. Hypotéza tryskání oceli zinkem se zakládá na myšlence, že zinkový tryskací prostředek vytvoří na upravovaném povrchu součásti tenkou vrstvu (v řádech desetin mikronů) a poskytne tak otryskanému povrchu dočasnou korozní ochranu. Takto vytvořená dočasná korozní ochrana byla následně testována korozními zkouškami.

Pro experiment byly použity vzorky Q-PANEL a ocelové vzorky kruhového tvaru. Před úpravou povrchu tryskáním byly vzorky očištěny a odmaštěny. Následně byly vzorky otryskány tlakovým tryskacím zařízením od firmy SAF. Praha spol. s r.o. Pro zkoušení vlivu tryskacích prostředků na korozní odolnost oceli byly použity následující tryskací prostředky:

- **Umělý korund hnědý A96 F22** – označení dle FEPA F 42–D–1986
měrný rozměr zrna: 0,85 - 1 mm
- **Sekaný zinkový drát** – válcový (cylindrický), průměr drátu: 0,4 mm
- **Směs hnědý korund A96 + sekaný zinkový drát** – poměr 30 % hnědý korund a 70 % sekaný zinkový drát

5.2 Zkušební vzorky

Zkoušení vlivu tryskacích prostředků na korozní odolnost bylo prováděno na dvou sadách ocelových vzorků: Q-PANEL a ocelový plech kulatého tvaru.

Q-PANEL

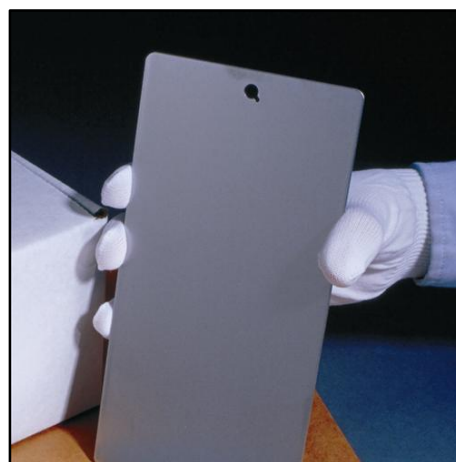
Standardní testovací panely – zkušební plechy se používají jako substráty pro testování barev, lepidel, nátěrů, antikoročních přísad a pro korozní zkoušky v solné či kondenzační komoře. Pro experiment byl použit Q-PANEL s označením R-46 (Obrázek 24), podrobná specifikace panelu je uvedena v tabulce 12.

Tabulka 12. Popis Q-PANELu R-46.

Typ panelu/popis	Označení	Rozměr (mm) š x d	Tloušťka (mm)
<p>Typ R</p> <ul style="list-style-type: none"> • ocel • válcovaný povrch 	R - 46	102 x 152	0,81



Obrázek 23. Ocelový plech kulatý.



Obrázek 24. Q-PANEL R - 46. [33]

Ocelový plech - kulatý

Druhá sada vzorků byla z ocelového plechu třídy 11 kulatého tvaru (Obrázek 23). „Kolečka“ o průměru 105 mm a tloušťce 2 mm byly před úpravou povrchu náležitě očištěny a odmaštěny.

5.3 Příprava povrchu

Použité zařízení při přípravě povrchu

Tryskání obou sad vzorků proběhlo na pneumatickém tlakovém zařízení od firmy SAF. Praha spol. s r.o., typ PTZ 100 T (Obrázek 25) s tlakovzdušnou tryskací jednotkou TTJ 6 litrů (Tabulka 13) ve školní laboratoři ČVUT. Tlakové tryskací zařízení bylo připojeno na místní zdroj tlakového vzduchu (kompresoru). Tryskač byl zároveň připojen k odlučovači prachu, který je vyroben také firmou SAF. Praha spol. s r.o., typ OP-1V-SF (Obrázek 26), (Tabulka 14).



Obrázek 25. Pneumatické tlakové tryskací zařízení. [34]

Tabulka 13. Parametry tlakovzdušné tryskací jednotky. [34]

Tlakovzdušná tryskací jednotka		TTJ 6 litrů
Max. pracovní přetlak	MPa	0,8
Optimální pracovní přetlak	MPa	0,4 – 0,75
Spotřeba stlačeného vzduchu		
-tryska 5 mm, p = 0,5 MPa	m ³ .h ⁻¹	60
Doporučené množství vzduchu		
-tryska 5 mm, p = 0,5 MPa	m ³ .h ⁻¹	90
Max. náplň tlakové nádoby		
kovové abrazivo	kg	cca 20
nekovové abrazivo	kg	cca 13
Materiál trysky		wolfram karbid



Obrázek 26. Odlučovač prachu OP-1V-SF. [34]



Obrázek 27. Pohled na filtr odlučovače. [34]

Tabulka 14. Parametry odlučovače prachu. [34]

Odlučovač prachu		OP-1V-SF
Výkon odsávacího ventilátoru	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	cca 600
Instalovaný výkon elektromotoru	kW	0,55
System čistění filtračních patron		automatické čistění pomocí zpětných pulsů
Počet filtračních patron (primární filtrace)		1
Filtrační plocha primární filtrace	m^2	21
Typ sekundárního filtru		kompaktní, deskový, filtrační článek
Filtrační plocha sekundárního filtru	m^2	9
Spotřeba stlačeného vzduchu	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	2,5
Max. provozní přetlak stl. vzduchu pro čistění	MPa	0,7
Hlučnost	dB (A)	do 85 – 1 m od zdroje hluku

Nastavení parametrů pro přípravu povrchu

Pro přípravu povrchu otryskáním byly zvoleny provozní parametry, uvedené v Tabulce 15, tak, aby došlo k srovnatelnému otryskání povrchu všech vzorků všemi tryskacími prostředky. Současně byly provozní parametry zvoleny tak, aby se podobaly parametrům při běžném tryskání.

Tabulka 15. Parametry při tryskání.

Tryskací prostředek	Hnědý korund A96 F22	Sekaný zinkový drát 0,4mm	Směs korund/zinek 30/70
Provozní tlak	0,65 MPa	0,65 MPa	0,65 MPa
Čas tryskání	25 - 30 s	25 - 30 s	25 - 30 s
Vzdálenost trysky od vzorku	90-110 mm	90-110 mm	90-110 mm
Úhel tryskání	90°	90°	90°

Snímky otryskaných vzorků

Pro přehlednost a jednodušší orientaci v experimentální část byly vzorkům přiřazeny následující označení:

- Vzorek č. 1 – vzorek tryskaný hnědým korundem A96 F22



Obrázek 28. Vzorek č. 1 - tryskaný hnědým korundem

- Vzorek č. 2 – vzorek tryskaný směsí korund/zinek (poměr 30 % / 70 %)



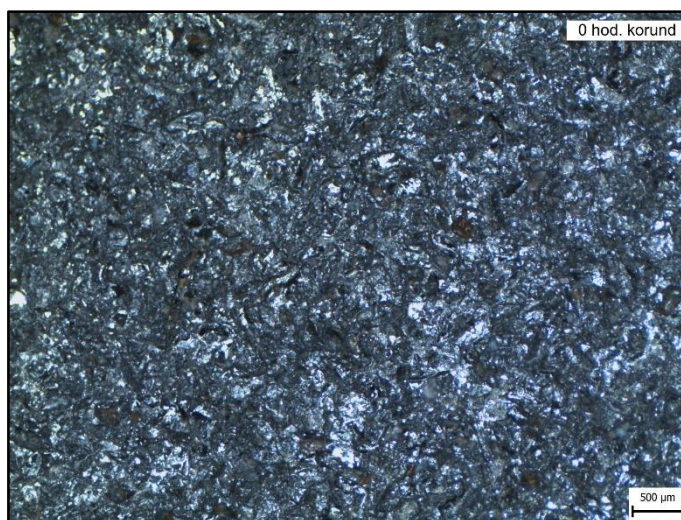
Obrázek 29. Vzorek č. 2 - tryskaný směsí korund/zinek

- Vzorek č. 3 – vzorek tryskaný sekaným zinkovým drátem – Ø 0,4 mm

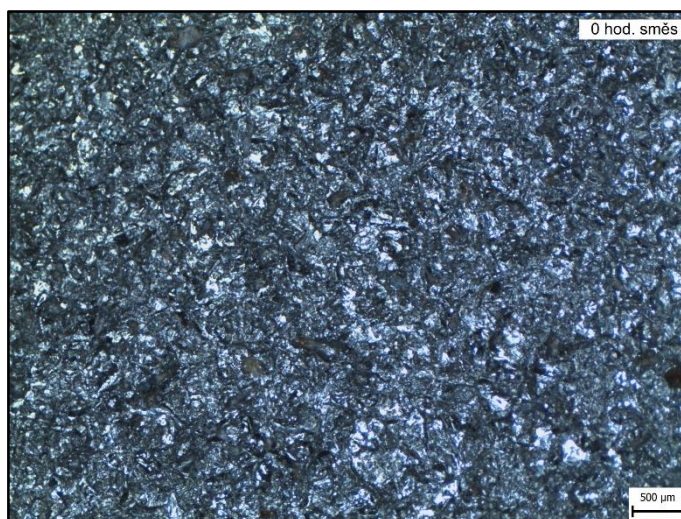


Obrázek 30. Vzorek č. 3 - tryskaný zinkovým drátem

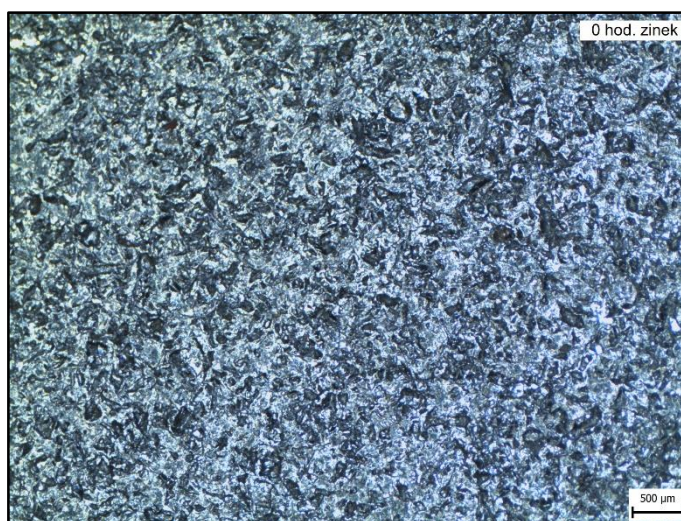
Mikroskopické snímky – přiblížení: 2x



Obrázek 31. Vzorek č. 1 - 2x přiblížení.

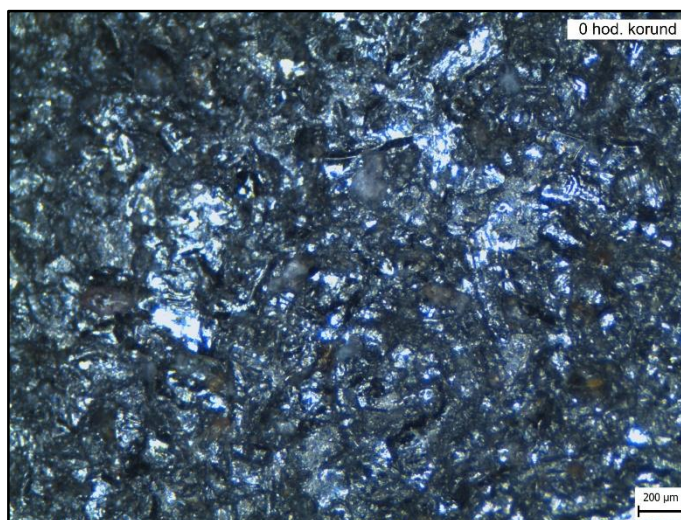


Obrázek 32. Vzorek č. 2 - 2x přiblížení.

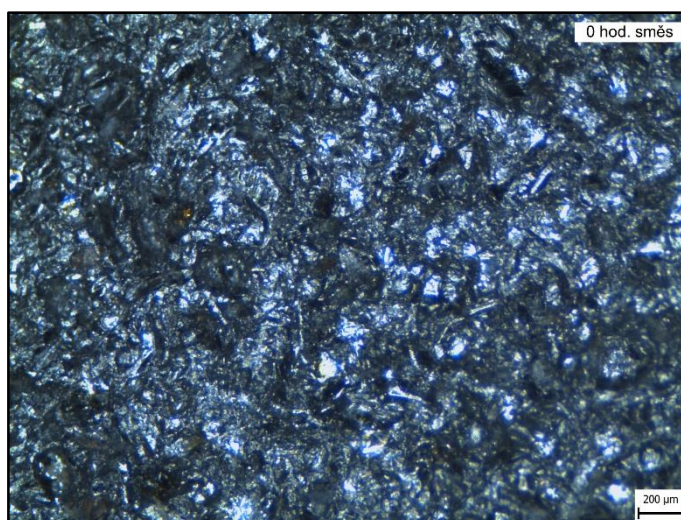


Obrázek 33. Vzorek č. 3 - 2x přiblížení.

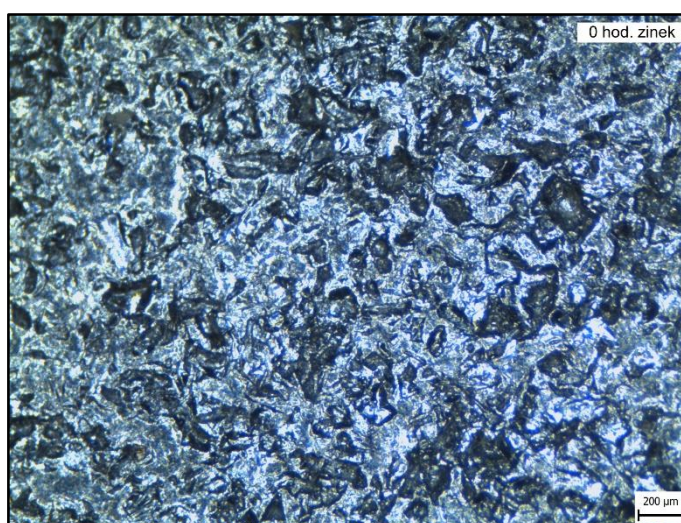
Mikroskopické snímky – přiblížení: 4,5x



Obrázek 34. Vzorek č. 1 – 4,5x přiblížení.



Obrázek 35. Vzorek č. 2 – 4,5x přiblížení.



Obrázek 36. Vzorek č. 3 – 4,5x přiblížení.

Drsnost povrchu tryskaných vzorků

V Tabulce 16. jsou uvedeny naměřené hodnoty drsností Ra a Rz otryskaných vzorků. Drsnosti byly měřeny přístrojem na měření drsnosti povrchu Surfatest SJ-301 Mitutoyo. Každý povrch vzorku byl opakovaně měřen a následně byly naměřené hodnoty zprůměrovány, výsledná průměrná drsnost je uvedena na konci tabulky.

Tabulka 16. Hodnoty naměřených drsností tryskaných vzorků.

Vzorek č. 1 (tryskáno korundem)		Vzorek č. 2 (tryskáno směsí)		Vzorek č. 1 (tryskáno zinkem)	
Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]
7,51	40,16	11,55	64,82	4,34	30,95
7,48	42,82	9,12	52,28	3,94	28,31
10,79	58,75	9,29	50,28	4,29	28,94
9,05	46,84	8,11	43,47	5,71	32,74
9,54	52,85	7,67	47,95	4,96	36,94
8,84	51,74	7,69	41,29	7,16	37,11
9,81	55,78	10,62	49,54	4,65	29,93
9,23	43,72	11,77	67,42	5,07	37,45
11,92	66,82	10,57	57,39	5,55	35,70
9,35	51,05	9,60	52,72	5,07	33,12

5.4 Zkouška korozní odolnosti

5.4.1 Korozní zkouška v kondenzační komoře

V kondenzační komoře se zjišťuje odolnost proti atmosférické korozi materiálů, výrobků a jejich součástí (vzorků) především kovových, nechráněných nebo s povrchovou úpravou a ochranná účinnost protikorozních ochran. Zkouška v kondenzační komoře je vhodná zejména k posuzování odolnosti kovových materiálů a ochranných povlaků ve vlhkých, čistých nebo průmyslově znečištěných atmosférách.

Podstata zkoušky

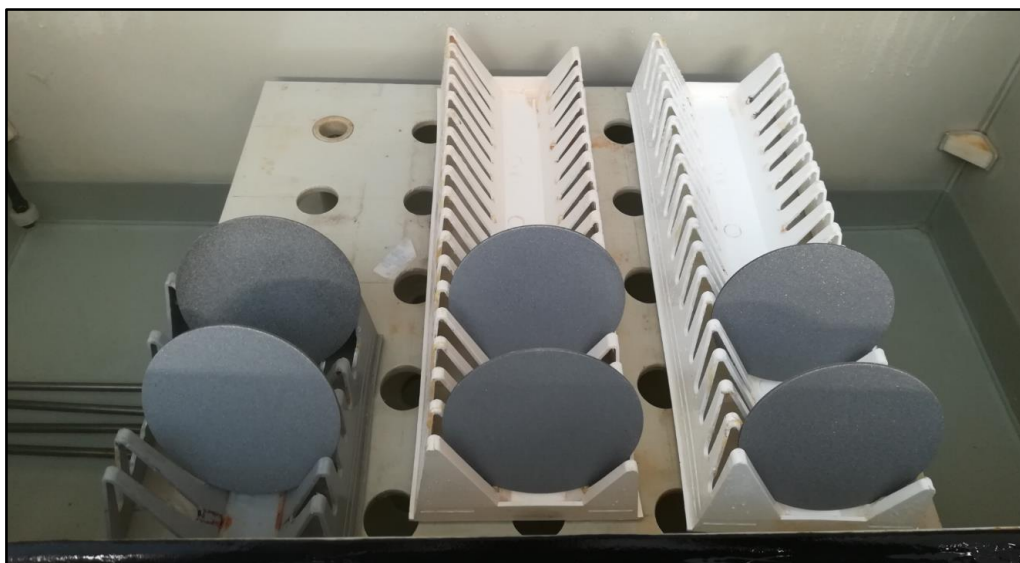
V kondenzační komoře je vzorek vystaven působení činitelů atmosférické koroze, tj. kondenzaci vodních par za zvýšené teploty.

Kondenzační komora

Zkušební kondenzační komora je vyrobena z nekorodujícího materiálu a tvar konstrukce komory zajišťoval, aby nedocházelo ke skapávání zkondenzované vody na vzorky. Komora je opatřena vytápěním a automatickou regulací teploty uvnitř komory. Zkušební prostor komory byl vyhříván pouze vodní lázní na dně komory, zdroj tepla přímo neovlivňoval teplotu vzorků umístěných ve zkušebním prostoru.

Uspořádání zkušebních vzorků

V kondenzační komoře byly vystaveny sady vzorků dle Obrázku 37.



Obrázek 37. Uspořádání zkušebních vzorků. Zprava: vzorek č. 1 – korund, vzorek č. 2 – směs korund/zinek, vzorek č. 3 – zinek.

5.4.2 Zkušební podmínky

Korozní zkouška v kondenzační komoře probíhala při teplotě vodní lázně $22\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$, která se nastavila na řídicím panelu zařízení (Obrázek 38.) a při 80 % relativní vlhkosti vzduchu. Vodní lázeň na dně kondenzační komory byla tvořena demineralizovanou vodou. Komora byla umístěna v místnosti, kde byla teplota okolí udržována v rozmezí $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$.



Obrázek 38. Řídicí panel kondenzační komory.

5.4.3 Průběh zkoušky korozní odolnosti

Průběh zkoušky vlivu tryskacích prostředků na korozní odolnost oceli byl sledován v pravidelných intervalech po dobu 24 hodin a zaznamenávám pomocí fotoaparátu. Po uplynutí stanovených intervalů byla provedena vizuální kontrola sledovaného povrchu všech vzorků.

Vzorky po 1,5 hodině v kondenzační komoře:



Obrázek 39. Vzorky po 1,5 hodině v kondenzační komoře.

Vzorky po 3 hodinách v kondenzační komoře:

Vzorek č. 1

Vzorek č. 2

Vzorek č. 3



Obrázek 40. Vzorky po 3 hodinách v kondenzační komoře.

Vzorky po 6 hodinách v kondenzační komoře:

Vzorek č. 1

Vzorek č. 2

Vzorek č. 3



Obrázek 41. Vzorky po 6 hodinách v kondenzační komoře.

Vzorky po 9 hodinách v kondenzační komoře:

Vzorek č. 1

Vzorek č. 2

Vzorek č. 3



Obrázek 42. Vzorky po 9 hodinách v kondenzační komoře.

Vzorky po 12 hodinách v kondenzační komoře:



Obrázek 43. Vzorky po 12 hodinách v kondenzační komoře.

Vzorky po 18 hodinách v kondenzační komoře:



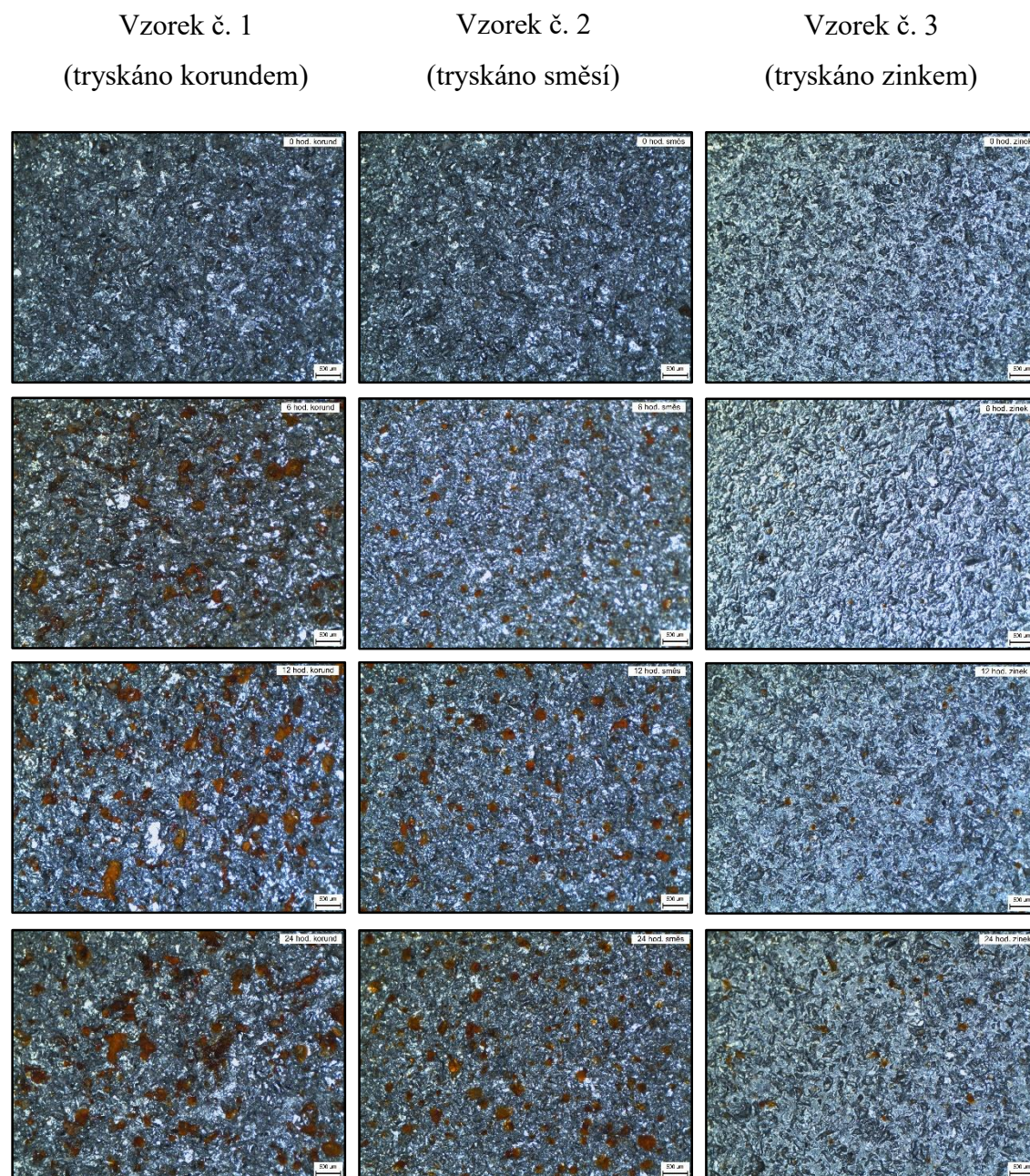
Obrázek 44. Vzorky po 18 hodinách v kondenzační komoře.

Vzorky po 24 hodinách v kondenzační komoře:



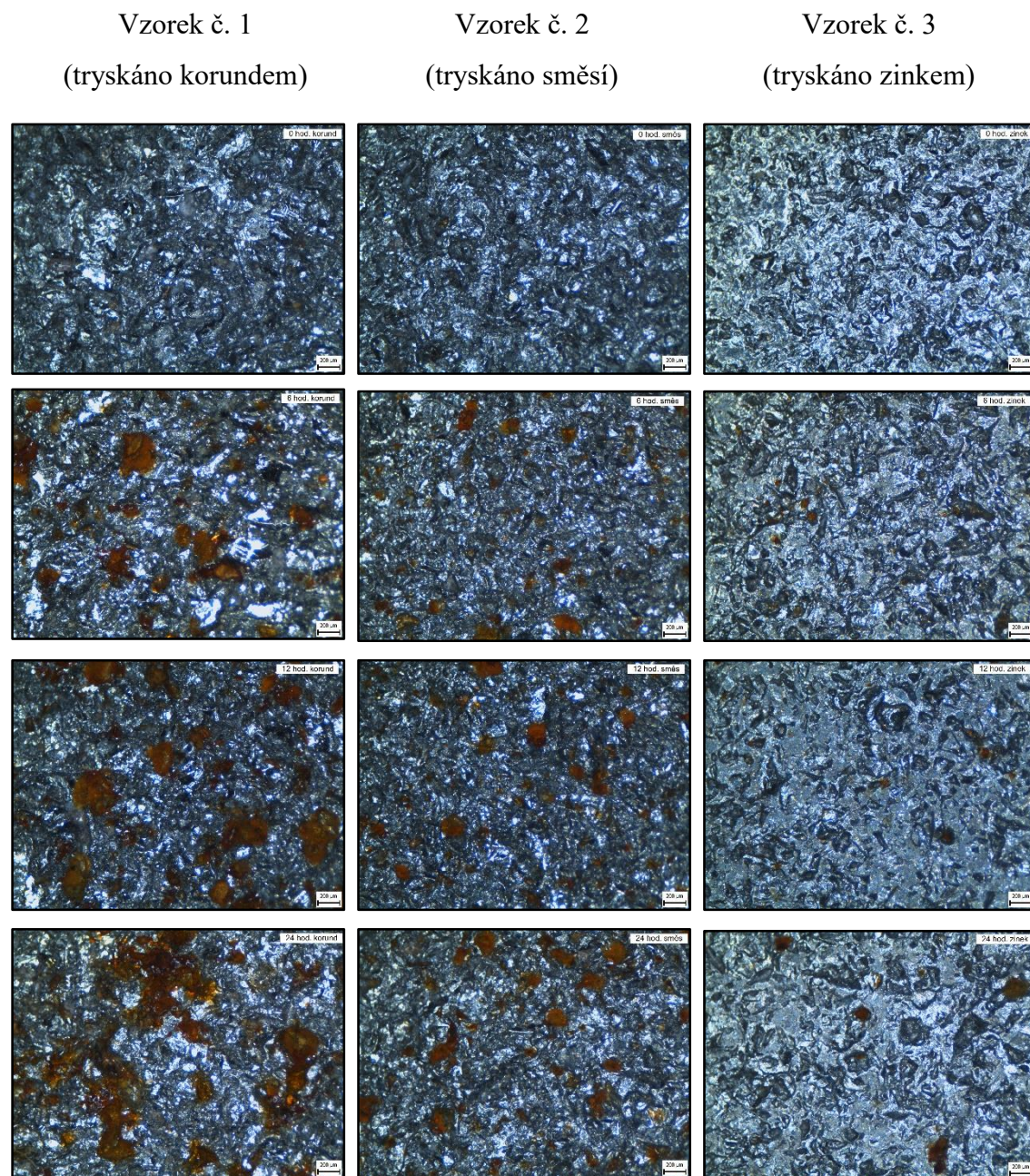
Obrázek 45. Vzorky po 24 hodinách v kondenzační komoře.

Mikroskopické snímky průběhu korozní zkoušky – 2x přiblížení:



Obrázek 46. Mikroskopické snímky vzorků - 2x přiblížení.

Mikroskopické snímky průběhu korozní zkoušky – 4,5x přiblížení:



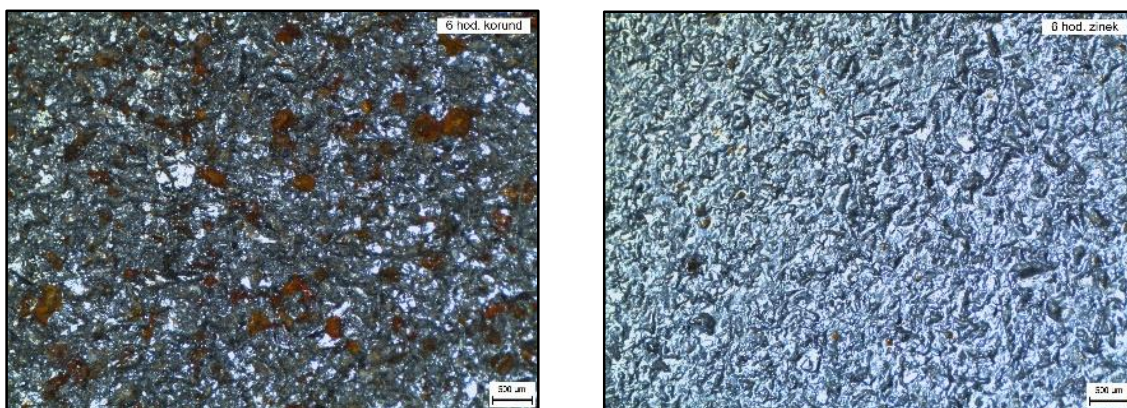
Obrázek 47. Mikroskopické snímky vzorků – 4,5x přiblížení.

6. VYHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI

6.1 Hodnocení a porovnání výsledků

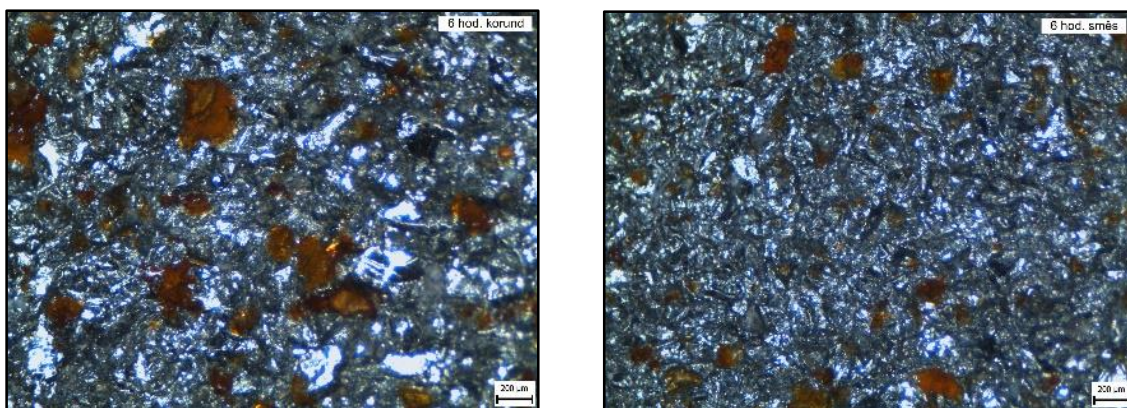
Cílem experimentální části bylo potvrdit nebo vyvrátit navrženou hypotézu, zda má tryskání zinkem vliv na korozní odolnost oceli. Ukazatelem, podle kterého se experiment hodnotil, byl výskyt koroze na jednotlivých vzorcích otryskaných korundem, směsí zinek/korund a sekaným zinkovým drátem. Jak je patrné z průběhu korozní zkoušky v kondenzační komoře, již vzorky, které byly exponovány 6 hodin, vykazují rozdílný výskyt koroze na svém povrchu.

Porovnání výskytu koroze na povrchu vzorku tryskaným korundem (vlevo) a vzorku tryskaným sekaným zinkovým drátem (vpravo). Zatímco na povrchu vzorku tryskaným korundem je jasně zřetelná koroze, povrchu tryskaný zinkem je takřka bez koroze (Obrázek 48. - 2x přiblížení).



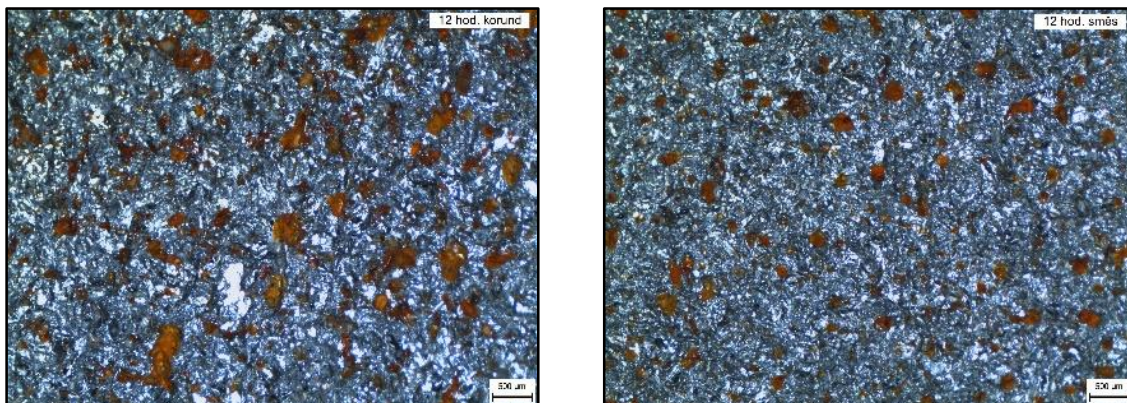
Obrázek 48. Exponované vzorky po 6 hodinách.

I z porovnání vzorku tryskaným korundem se vzorkem tryskaným směsí korundu se zinkovým drátem (přiblížení 4,5x) je patrné, že vzorek otryskán korundem (vlevo) vykazuje vyšší míru výskytu koroze než vzorek tryskaný směsí korund/zinek (vpravo).



Obrázek 49. Exponované vzorky po 6 hodinách.

Vzorek tryskaný korundem (vlevo) a směsí korund/zinek (vpravo) po 12 hodinách v kondenzační komoře (2x zblízka):



Obrázek 50. Porovnání vzorků po 12 hodinách v komoře.

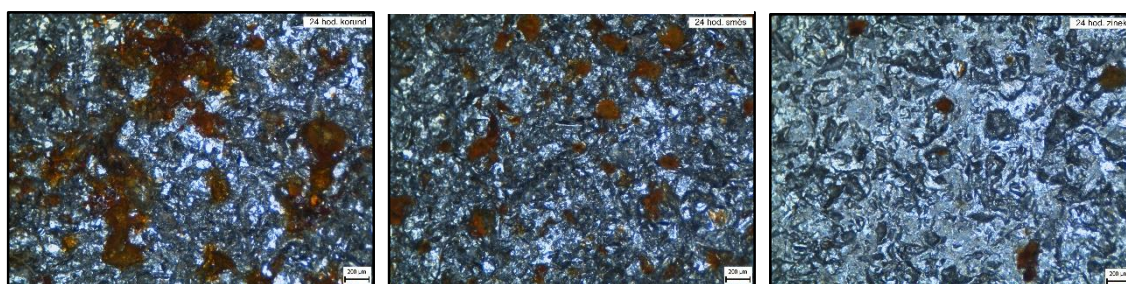
Porovnáním obou povrchů je možno pozorovat, jaký má vliv přítomnost zinkového drátu ve směsi na korozní odolnost oceli. Povrch vzorku tryskaný směsí korund/zinek koroduje viditelně pomaleji.

Na vzorcích po 24 hodinové expozici (Obrázek 51.) lze vidět naprosto odlišný výskyt koroze na jednotlivých vzorcích, jde tedy o potvrzení navržené hypotézy, že vhodná volba tryskacího prostředku při tryskání má vliv na korozní odolnost oceli.

Vzorek č. 1
(tryskáno korundem)

Vzorek č. 2
(tryskáno směsí)

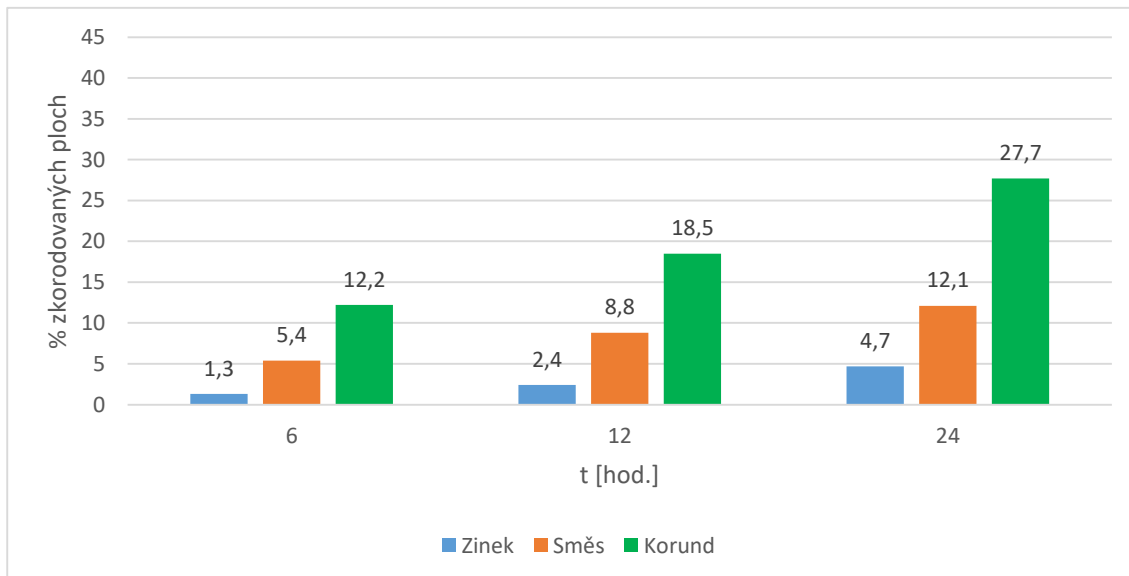
Vzorek č. 3
(tryskáno zinkem)



Obrázek 51. Vzorky po 24 hodinách v kondenzační komoře.

Z následujícího grafu je možné pozorovat průměrný procentuální výskyt zkorodované plochy na tryskaném povrchu v závislosti na čase expozice v kondenzační komoře.

Graf 1. Graf výskytu koroze na tryskaném povrchu (při relativní vlhkosti 80 %).

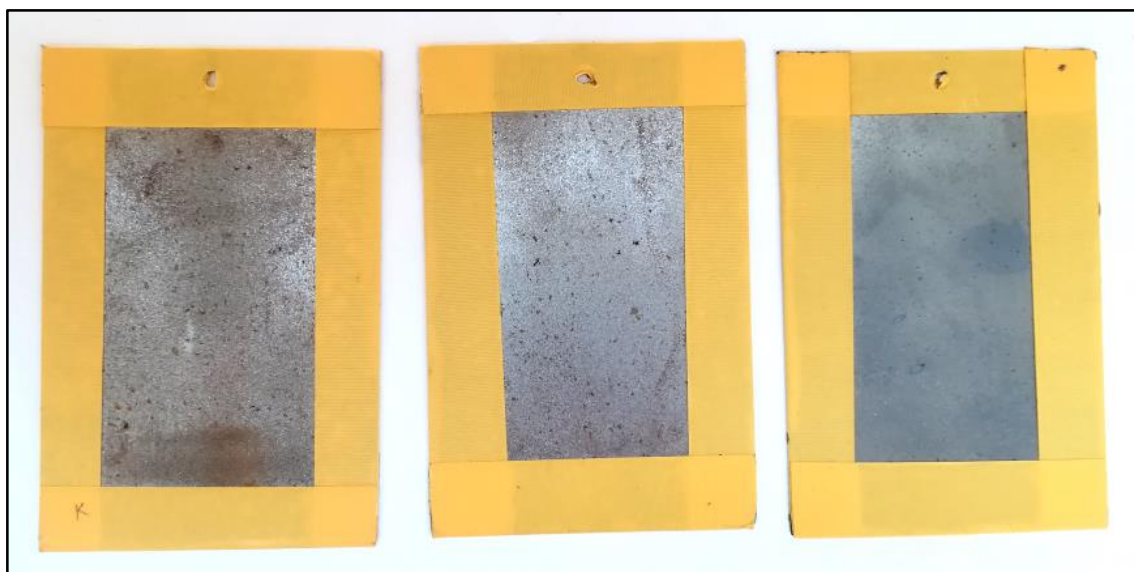


Výsledky korozní zkoušky v městské atmosféře, které je možno sledovat na Obrázku 52., odpovídají přibližně výsledkům získaných korozní zkouškou v kondenzační komoře.

Vzorek č. 1
(tryskáno korundem)

Vzorek č. 2
(tryskáno směsí)

Vzorek č. 3
(tryskáno zinkem)



Obrázek 52. Pohled na vzorky tryskaného povrchu po expozici v městské atmosféře po 336 hodinách.

6.2 Stručné doporučení pro další experimenty

Pro další experimenty v oblasti zkoumání vlivu tryskacích prostředků na korozní odolnost oceli by bylo vhodné navrhnout metodiku zkoušení s širším spektrem zkoumaných tryskacích prostředků. Při tomto experimentu byl použit sekaný zinkový drát o průměru 0,4 mm. Při tryskání tímto abrazivem nebyl úběr materiálů tak vysoký jako u tryskání hnědým korundem, a tak se muselo pracovat s vyšším pracovním tlakem tlakovzdušné tryskací jednotky, než byl původně navržen. Pro další experiment bude vhodnější použít sekaný zinkový drát většího průměru, konkrétně průměr zrna zinkové drátu 0,8 mm a více, popřípadě jinou geometrii abraziva.

V oblasti korozních zkoušek by bylo zajímavé provést i korozní zkoušku v agresivnějším korozním prostředí, a to konkrétněji korozní zkoušku v solné mlze.

6.3 Ekonomická úvaha aplikací výsledků

V tabulce níže (Tabulka 17.) je vidět ekonomické zhodnocení použitých abraziv při experimentu. Při experimentu bylo použito abrazivo od firmy Abranova s.r.o, uvedeno v tabulce tučně. Další tabulka (Tabulka 18.) ukazuje jejich průměrnou životnost v podobě počtu cyklů.

Tabulka 17. Cena tryskacích prostředků [Kč/kg].

	Korund hnědý	Směs korund/zinek (30%/70%)	Sekaný zinkový drát
Abranova.cz	30,85 Kč	153,23 Kč	205,68 Kč
Pískovačka.cz	71,60 Kč	309,60 Kč	411,60 Kč
WISTA	42,68 Kč	x	x
ABRASIV	35,49 Kč	168,15 Kč	225,00 Kč
Průměrná cena [Kč/kg]	45,16 Kč	210,33 Kč	280,76 Kč

Tabulka 18. Životnost tryskacích prostředků.

	Korund hnědý	Směs korund/zinek (30%/70%)	Sekaný zinkový drát
Počet cyklů	8	6	4

7. ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo popsat problematiku technologie tryskání, jeho charakteristiku a rozdělení. Dále navrhnout metodiku zkoušení vlivu tryskacích prostředků při tryskání na vlastnosti povrchu včetně potvrzení nebo vyvrácení hypotézy, zda má volba zinkového tryskacího prostředku vliv na korozní odolnost oceli.

Dosažené výsledky provedených korozních zkoušek (zkoušení korozní odolnosti v kondenzační komoře a na atmosféře) potvrzují stanovenou hypotézu. Tryskání povrchu oceli zinkovým tryskacím prostředkem má významný vliv na korozní odolnost. Tryskaný vzorek hnědým korundem měl průměrně 12,2 % zkorodované plochy již po 6 hodinách v kondenzační komoře, vzorek tryskaný směsí 70 % zinek / 30 % korund měl průměrně 5,4 % zkorodované plochy, zatímco vzorek tryskaný sekaným zinkovým drátem měl průměrně 1,3 % zkorodované plochy. Po 24 hodinové expozici v kondenzační komoře byl vzorek tryskaný korundem zkorodován na 27,7 % své plochy, vzorek tryskaný směsí na 12,1 % a vzorek tryskaný zinkovým drátem jen na 4,7 %. Obdobné výsledky lze pozorovat i při korozní zkoušce na městské atmosféře.

8. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] **Media Blast & Abrasive, Inc.;** *Web Mediablast*. [online]. [cit. 2017-10-21].
Dostupné z: <https://mediablast.com/abrasive-blasting/>
- [2] **Brezinová, J.;Guzanová,A.;Draganovská, D.;** *Abrasive blast cleaning and its application*. Switzerland: TTP, 2015. ISBN 978-3-03835-995-1
- [3] **Sedláček, A.;** *Optimalizace parametrů pneumatického tryskání-tryskací prostředky*. Praha: ČVUT, 2008
- [4] **Kreibich, V.;** *Teorie a technologie povrchových úprav*. Praha: ČVUT, 1999
- [5] **H-Glost;** *Tryskací prostředky*. [online]. [cit. 2017-11-5].
Dostupné z: http://www.h-glost.cz/images/catalog/image_id1/411
- [6] **Mohyla, M.;** *Technologie povrchových úprav kovů*. s. 22-25. Ostrava. 1995. ISBN 80-7078-953-0
- [7] **Rykr, J.;** *Materiály pro tryskací zařízení*. Praha, 2011. Diplomová práce
- [8] **Minczér, V.;** *Web tryskání pískování*. [online]. [cit. 2017-11-8].
Dostupné z: http://www.tryskani-piskovani.com/zpusob_piskovani.html
- [9] **Toušenská I.;** *Tryskací zařízení*. [online]. [cit. 2017-11-9].
Dostupné z: <https://www.tousenska.cz/vyroba.php?sub=1&podr=1>
- [10] **Nayo AB;** *Web Manufacturing Guide*. [online]. [cit. 2017-11-9].
Dostupné z: <https://www.manufacturingguide.com/en/wheel-blasting>
- [11] **Rösler GMBH;** *Finishing processes and shot blasting*. [online]. [cit. 2017-11-12]. Dostupné z: <https://uk.rosler.com/uk-en/finishing-processes/>
- [12] **Kitchen, H.;** *Blast medias: choice and use*. [online]. [cit. 2017-11-15].
Dostupné z: <https://roslerblog.com/blast-medias/>
- [13] **Sedláček, A** – časopis Povrcháři, *Online časopis Povrcháři*, 8. číslo, Říjen 2010. [online]. [cit. 2017-11-15]. Dostupné z: http://www.povrchari.cz/kestazeni/201008_povrchari.pdf

- [14] **Kramer Industr. Inc.;** *Abrasive media – steel shot.* [online]. [cit. 2017-11-20].
Dostupné z: <http://www.kramerindustriesonline.com/ABM.html>
- [15] **Comprex CZ s.r.o.;** *Tryskací materiály a zařízení.* [online]. [cit. 2017-11-26].
Dostupné z: <http://www.comprexcz.cz/tryskaci-materialy/>
- [16] **Abranova s.r.o.;** *Kovové a nerezové tryskací materiály.* [online]. [cit. 2017-11-28]. Dostupné z: <http://abranova.cz/hlinikovy-sekany-drat>
- [17] **Abranova s.r.o.;** *Sekáný zinkový drát.* [online]. [cit. 2017-11-29].
Dostupné z: <http://abranova.cz/sekany-zinkovy-drat>
- [18] **KRAMPE HAREX;** *Krampeharex – Zinc cut wire.* [online]. [cit. 2017-11-29].
Dostupné z: <https://www.krampeharex.com/en/abrasive-media/products/zinc-cut-wire/>
- [19] **Abraziva.cz;** *Minerální abraziva.* [online]. [cit. 2017-11-30].
Dostupné z: <http://www.abraziva.cz/korund/>
- [20] **Abranova s.r.o.;** *Umělý korund.* [online]. [cit. 2017-11-30].
Dostupné z: <http://abranova.cz/korund>
- [21] **Bumbálek, B.; Odvody, V.; Ošťádal, B.;** *Drsnost povrchu.* Praha ; SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1989
- [22] **Martinák, M.;** *Kontrola a měření.* Praha: STNL, 1989. ISBN 80-03-00103-X
- [23] **Clemtex;** *Control Equipment and Supplies.* [online]. [cit. 2017-12-2].
Dostupné z: <http://clemtex.com/test-equipment/peening-intensity>
- [24] **Marek, V.;** *Technologie tryskání jako konečná úprava povrchu.* TechPark, 2014
- [25] **OSK-Kiefer GmbH;** *Intensity of shot peening.* [online]. [cit. 2017-12-2].
Dostupné z: http://osk-kiefer.de/-definition_of_shot_peening.pdf
- [26] **ÚNMZ;** *ČSN normy online.* [online]. [cit. 2017-12-3].
Dostupné z: <http://csnonline.unmz.cz/Detailnormy.aspx?k=51358>

- [27] **Nevěčný, P.;** *Stupně přípravy ocelového podkladu.* [online]. [cit. 2017-12-3].
Dostupné z: http://www.povrchoveupravy.cz/PDF/Nevecny_PU2.pdf
- [28] **Novák, P.;** *Koroze kovů.* VŠCHT v Praze – ústav kovových materiálů a korozního inženýrství.
- [29] **Gajdošík, M.;** *Laboratorní korozní zkoušky kovových materiálů.* Brno, 2015.
Bakalářská práce
- [30] **Wheelabrator;** *Tryskací zařízení s metacími koly.* [online]. [cit. 2017-12-26].
Dostupné z: <https://www.wheelabratorgroup.com/cs-cz/equipment/>
- [31] **ATRYX s.r.o.;** *Praktická příručka – drsnost povrchu.* [online]. [cit. 2017-12-26]. Dostupné z: <https://www.atryx.cz/prakticka-prirucka/drsnost-povrchu/>
- [32] **EcoStations s.r.o.;** *Technologie čištění suchým ledem.* [online]. [cit. 2017-12-27]. Dostupné z: <http://www.eco-stations.eu/princip-a-aplikace-cisteni-suchym-ledem.php>
- [33] **Labimex CZ;** *Zkušební plechy Q-LAB.* [online]. [cit. 2017-12-28].
Dostupné z: <http://www.labimex.cz/laboratore/pristrojeprodukty/standardni-testovaci-panely-zkusebni-plechy>
- [34] **S.A.F.;** *Pneumatická tryskací zařízení.* [online]. [cit. 2017-12-28].
Dostupné z: <http://www.saf.cz/cs/sortiment/>

9. Seznam obrázků

- Obr. 1 - Tryskání odlitků v minulosti. [1]
- Obr. 2 - Kulatý ocelový granulát. [5]
- Obr. 3 - Princip pneumatického a mechanického (metací kolo) tryskání. [7]
- Obr. 4 - Princip injektorového tryskání: 1 – zásobní nádoba, 2 – přísávání vzduchu s regulací, 3 – přívod tryskacího prostředku, 4 – přívod stlačeného vzduchu, 5 – směšovací komora, 6 – pracovní tryska. [8]
- Obr. 5 - Princip tlakového tryskání: 1 – Přívod stlačeného vzduchu, 2 – tlaková nádoba, 3 – uzavírací ventil, 4 – držák trysky, 5 – tryska, 6 – tryskací prostředek, 7 – přívodní hadice tryskací směsi. [8]
- Obr. 6 - Princip mechanického tryskání. 1 – plnicí potrubí, 2 – lopatka, 3 – přívod abraziva, 4 – dávkovací rotor. [10]
- Obr. 7 - Závěsné tryskací zařízení s metacími koly. [30]
- Obr. 8 - Bubnové tryskací zařízení s metacími koly. [30]
- Obr. 9 - Ocelový granulát. [15]
- Obr. 10 - Ocelová drť. [15]
- Obr. 11 - Hliníkový sekaný drát. [15]
- Obr. 12 - Zinkový sekaný drát. [18]
- Obr. 13 - Hnědý korund. [15]
- Obr. 14 - Bílý korund. [15]
- Obr. 15 - Soda. [15]
- Obr. 16 - Základní profil drsnosti povrchu Ra. [31]
- Obr. 17 - Zkušební zařízení pro Almen test. [23]
- Obr. 18 - Saturační křivka Almen testu. [24]
- Obr. 19 - Stupeň čistoty Sa 1. [27]
- Obr. 20 - Stupeň čistoty Sa 2. [27]

- Obr. 21 - Stupeň čistoty Sa 2½. [27]
- Obr. 22 - Stupeň čistoty Sa 3. [27]
- Obr. 23 - Ocelový plech kulatý.
- Obr. 24 - Q-PANEL R - 46. [33]
- Obr. 25 - Pneumatické tlakové tryskací zařízení. [34]
- Obr. 26 - Odlučovač prachu OP-1V-SF. [34]
- Obr. 27 - Pohled na filtr odlučovače. [34]
- Obr. 28 - Vzorek č. 1 - tryskaný hnědým korundem.
- Obr. 29 - Vzorek č. 2 - tryskaný směsí korund/zinek.
- Obr. 30 - Vzorek č. 3 - tryskaný zinkovým drátem.
- Obr. 31 - Vzorek č. 1 - 2x přiblížení.
- Obr. 32 - Vzorek č. 2 - 2x přiblížení.
- Obr. 33 - Vzorek č. 3 - 2x přiblížení.
- Obr. 34 - Vzorek č. 1 – 4,5x přiblížení.
- Obr. 35 - Vzorek č. 2 – 4,5x přiblížení.
- Obr. 36 - Vzorek č. 3 – 4,5x přiblížení.
- Obr. 37 - Uspořádání zkušebních vzorků. Zprava: vzorek č. 1 – korund, vzorek č. 2 – směs korund/zinek, vzorek č. 3 – zinek.
- Obr. 38 - Řídicí panel kondenzační komory.
- Obr. 39 - Vzorky po 1,5 hodině v kondenzační komoře.
- Obr. 40 - Vzorky po 3 hodinách v kondenzační komoře.
- Obr. 41 - Vzorky po 6 hodinách v kondenzační komoře.
- Obr. 42 - Vzorky po 9 hodinách v kondenzační komoře.
- Obr. 43 - Vzorky po 12 hodinách v kondenzační komoře.
- Obr. 44 - Vzorky po 18 hodinách v kondenzační komoře.

Obr. 45 - Vzorky po 24 hodinách v kondenzační komoře.

Obr. 46 - Mikroskopické snímky vzorků - 2x přiblížení.

Obr. 47 - Mikroskopické snímky vzorků – 4,5x přiblížení.

Obr. 48 - Exponované vzorky po 6 hodinách.

Obr. 49 - Exponované vzorky po 6 hodinách.

Obr. 50 - Porovnání vzorků po 12 hodinách v komoře.

Obr. 51 - Vzorky po 24 hodinách v kondenzační komoře.

Obr. 52 - Pohled na vzorky tryskaného povrchu po expozici v městské atmosféře po 336 hodinách.

10. Seznam tabulek

Tabulka 1 - Přehled možných tryskacích prostředků pro injektorové tryskání a jejich použití. [9]

Tabulka 2 - Porovnání množství urychleného abraziva za jednotku času. [3,7]

Tabulka 3 - Základní vlastnosti vybraných tryskacích prostředků.[2]

Tabulka 4 - Chemické složení ocelového granulátu. [2]

Tabulka 5 - Chemické složení ocelové drti. [2]

Tabulka 6 - Chemické složení Al sekaného drátu. [2]

Tabulka 7 - Chemické složení Zn abraziva. [18]

Tabulka 8 - Chemické složení hnědého korundu. [20]

Tabulka 9 - Chemické složení bílého korundu. [20]

Tabulka 10 - Chemické složení sody. [2]

Tabulka 11 - Typy zkušebních pásků. [25]

Tabulka 12 - Popis Q-PANELu R-46.

Tabulka 13 - Parametry tlakovzdušné tryskací jednotky. [34]

Tabulka 14 - Parametry odlučovače prachu. [34]

Tabulka 15 - Parametry při tryskání.

Tabulka 16 - Hodnoty naměřených drsností tryskaných vzorků.

Tabulka 17 - Cena tryskacích prostředků [Kč/kg].

Tabulka 18 - Životnost tryskacích prostředků.

11. Seznam grafů

Graf 1 - Graf výskytu koroze na tryskaném povrchu (při relativní vlhkosti 80 %).