

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA STROJNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ  
PRÁCE**

**Krňávek  
Ondřej**

**2020**



# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Krňávek** Jméno: **Ondřej** Osobní číslo: **473596**  
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:

**Renovace povlaků technologií tampónování**

Název bakalářské práce anglicky:

**Renovation of coatings by brush plating**

Pokyny pro vypracování:

1. Vývoj, současnost a budoucnost technologie tampónování
2. Návrh a aplikace technologie
3. Technicko-ekonomické zhodnocení s konvenčními technologiemi pokovování

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Jiří Kuchař, Ph.D., ústav strojírenské technologie FS**

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

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

Datum zadání bakalářské práce: **29.04.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31.07.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2020**

Ing. Jiří Kuchař, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

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

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

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

## **Abstrakt**

Bakalářská práce je rozdělena na dvě části. Část teoretickou a část experimentální. V části teoretické je probána technologie galvanického pokovení, následně porovnána s technologií lokálního galvanického pokovení. Dále se práce zabývala, zda je technologie tamponování vhodná pro renovace povlaků a jaké jsou její alternativy pro tuto aplikaci.

Část experimentální se zabývá sestavením pracoviště tampónového pokovení a následně jeho použitím pro pokovení několika předem připravených vzorků při různých podmínkách. Vytvořeným vzorkům byly změřeny a následně porovnány některé charakteristiky povrchu, konkrétně hmotnost povlaku, drsnost povrchu a tloušťka povlaku.

**Klíčová slova:** galvanické pokovování, lokální galvanické pokovování, tampónování

## **Abstract**

Bachelor's thesis is divided into two parts, theoretical and experimental part. Theoretical part is covering a galvanic plating technology, followingly is compared to a brush plating method. Further the work investigates whether brush plating technology is convenient method for the renovation of surface coatings and searches for an alternative methods of coating renovation.

Experimental part is dedicated to a brush painting workplace assembly and to the use of brush plating technology to create few prepared samples at various conditions. Following characteristics of created samples have been measured and compared: weight of coating, surface roughness and thickness of coating.

**Keywords:** electroplating, brush plating, selective plating

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma **Renovace povlaků technologií tampónování** vypracoval samostatně a veškeré literární prameny a zdroje informací, které jsem použil, cituji a uvádím v seznamu použité literatury a zdrojů informací.

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

V Praze dne .....

.....

Jméno, Příjmení

## **Poděkování**

Tímto děkuji panu Ing. Jiřímu Kuchařovi, Ph.D., IWE za cenné rady a připomínky při tvorbě této bakalářské práce.

## Obsah

1	Úvod.....	7
2	Teoretická část.....	8
2.1	Předúpravy povrchu .....	8
2.1.1	Mechanické předúpravy povrchu.....	8
2.1.2	Chemické předúpravy povrchu .....	9
2.2	Technologie galvanického pokovení.....	12
2.2.1	Princip galvanického pokovení.....	12
2.2.2	Vzorový postup galvanického pokovování uvedený v bodech.....	13
2.2.3	Vybrané druhy galvanických povlaků.....	14
2.3	Tampónování (lokální galvanické pokovení) .....	16
2.3.1	Vývoj, současnost a budoucnost technologie .....	17
2.3.2	Princip tampónování.....	19
2.3.3	Druhy povlaků a elektrolytů pro tampónování .....	20
2.4	Další technologie vhodné pro renovace povlaků .....	21
2.4.1	Technologie HVOF – Vysokorychlostní nástřik plamenem .....	21
2.4.2	Technologie EAW – Nástřik elektrickým obloukem.....	23
2.4.3	Technologie PA – Nástřik plazmou .....	24
2.4.4	Technologie OFP, OFW – Nástřik plamenem.....	25
2.5	Technicko-ekonomické zhodnocení s klasickými konvenčními technologiemi .....	26
3	Experimentální část.....	28
3.1	Návrh pracoviště pro lokální galvanické pokovení.....	28
3.2	Složky pracoviště .....	29
3.2.1	Sestavení pracoviště pro lokální galvanické pokovení.....	31
3.3	Průběh experimentu.....	32
3.3.1	Vzorčky pro pokovení.....	33
3.3.2	Předúpravy povrchu .....	33
3.4	Vyhodnocení experimentu pokovení.....	34
3.5	Naměřené hodnoty .....	36
3.5.1	Naměřené hodnoty pro napětí 5 V .....	36
3.5.2	Naměřené hodnoty pro napětí 9 V .....	42
3.6	Zhodnocení experimentu .....	48
4	Závěr .....	49
	Bibliografie .....	50

# 1 Úvod

Tampónování (lokální galvanické pokovení, tampónová galvanizace) je proces galvanického pokovování, který se provádí na rozdíl od klasického pokovení v lázni pomocí přenosného nástroje pro pokovení. Ve své nejjednodušší podobě je tento proces podobný procesu malování na plátno [26].

V teoretické části bakalářské práce je probráno, jak technologie tampónování funguje a jaké aspekty jsou důležité pro nanesení kvalitního povlaku. Dále se teoretická část věnuje otázce, zda je tato technologie vhodná pro renovace povlaků, a po případě jaké jsou její vhodné alternativy pro tuto aplikaci. Experimentální část se věnuje návrhu a sestavení funkčního pracoviště lokálního galvanického pokovení a následně jeho použití pro vytvoření několika vzorků.

## **2 Teoretická část**

### **2.1 Předúpravy povrchu**

Předúpravy povrchu se řadí jako nejdůležitější operace v technologickém postupu. Kvalita předúpravy povrchu totiž ovlivňuje výsledný vzhled a životnost výrobku. Předúpravy povrchu se dělí na mechanické a chemické [1].

#### **2.1.1 Mechanické předúpravy povrchu**

Mechanické předúpravy povrchu se používají především pro odstranění velkých povrchových nečistot.

Jejich účelem je:

- Zajistit podmínky pro vyhovující přilnavost následujících vrstev
- Vytvořit podmínky pro zvýšení korozní odolnosti
- Vytvořit povrch odpovídající vzhledovým požadavkům
- Zlepšit mechanické vlastnosti povrchů

#### **Tryskání**

Proces tryskání spočívá ve vrhání abrazivních částic, kterým je dodána kinetická energie pomocí stlačeného vzduchu, tlakovou vodou nebo kombinací tlaku vzduchu a vody. Díky této kinetické energii se nečistoty na povrchu uvolňují. Dalším účelem tryskání je dosažení požadované drsnosti povrchu nebo očištění povrchu. Hodnota drsnosti závisí na zvoleném druhu a velikosti abraziva. Nejpoužívanějšími materiály pro otryskávání jsou ocelová drť, mletý korund nebo kuličky. Jedná se o nejúčinnější mechanický způsob odstraňování rzi a okují [1].

#### **Omílání**

Proces omílání spočívá ve vzájemném tření omílacích výrobků a omílacích prostředků. Při tomto procesu dochází k úběru materiálu, broušení, čištění, leštění, zaoblování a sražení hran. Používá se při hromadném způsobu úpravy povrchu jako předběžná úprava povrchu, ale též jako úprava finální [1].



Podle použitých strojů se omílání dělí na:

- rotační
- vibrační
- odstředivé

### **Broušení, kartáčování a leštění**

Tyto mechanické úpravy povrchu se řadí mezi nejrozšířenější. Broušení je třískové obrábění povrchu součásti. Povrch se obrušuje až na čistý kov tvrdým brusivem. Cílem je vytvoření povrchu o požadované drsnosti, odstranění nerovností (okuje, svary) a sjednocení kvality povrchu.

Kartáčování většinou následuje po broušení a používá se ke zjemnění a sjednocení broušeného povrchu a zbavení jej oxidické vrstvy, která se vytvoří při předchozím broušení. Je založeno na mechanickém účinku tření povrchu materiálu pomocí drátků, které jsou upevněny na pevný předmět např. ve formě kotouče.

Leštění je odstraňování nejjemnějších nečistot po předchozím broušení, popřípadě kartáčování. Dosahuje se vysokého stupně lesku a hodnoty drsnosti až 0,1 Ra. Při leštění se používají textilní kotouče, na kterých jsou nanесeny leštící tukové pasty. Tyto tukové pasty mají společně s velikostí obvodové rychlosti velký vliv na výši dosaženého lesku [1].

#### **2.1.2 Chemické předúpravy povrchu**

Elektrochemické úpravy povrchů jsou úpravy, při kterých chemické činidlo reaguje s nečistotami na povrchu materiálu. Mezi tyto úpravy patří odmašťování, moření, dekapování, odrezování. Nečistoty usazené na povrchu materiálu se rozdělují do dvou skupin.

První skupina jsou ulpělé (cizí) nečistoty, které pojí s povrchem pouze adhezní síly. Tyto síly jsou mnohem menší než u nečistot vázaných chemicky a lze je tedy odstranit snadněji. Jedná se především o kovové nečistoty, zbytky mastných látek, nerozpustné anorganické nečistoty.

Druhá skupina jsou vlastní nečistoty, které jsou s povrchem spojeny chemickou vazbou. Jedná se o okuje, rez apod [1].

## **Odmašťování**

Odmašťování je proces, při kterém jsou odstraněny všechny ulpělé nečistoty z povrchu materiálu. Jejich cílem je uvolnit tyto nečistoty z povrchu kovu a následně je převést do roztoku, nebo do emulze a zabránit jejich zpětnému vyloučení na povrchu kovu.

Odmašťovací proces se dělí do tří základních skupin:

- Odmašťování v organických rozpouštědlech
- Odmašťování ve vodných alkalických roztocích
- Odmašťování emulzí

### **Odmašťování v organických rozpouštědlech**

Jedná se o nejjednodušší způsob odmašťování, a to pouhým molekulárním pochodem. Ideální organické rozpouštědlo by mělo být nehořlavé, netoxické, za normální teploty kapalné, snadno regenerovatelné a stálé (za daných provozních podmínek se nesmí rozkládat). V praxi takové organické rozpouštědlo neexistuje a většina porušuje dvě hlavní podmínky, tj. nehořlavost a toxicitu [1].

Z hořlavých rozpouštědel jsou nejčastěji používány lakový benzín a petrolej, které jsou nejméně toxické. Ale pro svou hořlavost jsou i nebezpečné, a proto je lze použít jen v menších množstvích. Výhodou tohoto procesu je jednoduchost procesu a vysoká čistící schopnost. Nevýhodou je, že povrch musí být dokonale suchý. Nelze odstranit anorganické soli, pot, otisky prstů, heteropolární nečistoty a nutnost dodržování přísných bezpečnostních předpisů [1].

### **Odmašťování vodními alkalickými roztoky**

Jejich princip spočívá v tom, že po aplikaci rozpouštědla dojde k protržení mastného filmu, poté k jeho vypuzení odmašťovací lázní, a nakonec za principu koloidně chemických pochodů dojde k emulgaci a dispergaci mastnot a nečistot. Zároveň se zabrání jejich opětovnému usazení na povrchu materiálu [1].

## **Emulsní odmašťování**

Jeho princip spočívá v ponořování materiálu do organického rozpouštědla, které je obohacené o jisté množství organického emulgátoru. Tento emulgátor napomáhá k průniku rozpouštědla do vrstev mastnot. Rozpouštědlo rozpouští nečistoty a zároveň omezuje jejich viskozitu. Po uplynutí určité doby se materiál z rozpouštědla vyjme a provede se oplach vodou, který smyje z povrchu jak použité rozpouštědlo, tak i rozpuštěné nečistoty ve formě vodní emulze. Proces emulzního odmašťování vyniká především svou účinností a je vhodný i pro odstraňování velkých vrstev mastnot na povrchu. Rozšíření této technologie však brání nevýhoda vytvoření velmi stabilních emulzí, které mohou způsobit problémy při zneškodňování odpadních vod [1].

## **Moření**

Při procesu moření dochází k odstraňování korozních produktů rozpouštěním v kyselinách. Snadněji se odstraňují hydratované oxidy, které vznikají za působení atmosférické koroze (rez na oceli). Podstatně obtížněji se odstraňují kovové oxidy, které se vytvářejí při tepelném zpracování (okuje).

Nejvíce se využívá moření v minerálních kyselinách, hlavně v kyselině sírové a v kyselině solné. V určitých situacích se dají použít i kyseliny fluorovodíková a dusičná, případně i směsi kyselin. Odstraňování okujů může být někdy tak obtížné, že je nutné použít moření v alkalických taveninách [1].

## **Dekapování**

Dekapování se definuje jako zvláštní druh moření. Využívá se především před galvanickým pokováním k odstranění nánosů tenkých oxidových vrstev, které vznikají po čistících pracích, hlavně po anodickém odmašťování. Pokud by se tato vrstva neodstranila z povrchu, nedosáhlo by se dobré přilnavosti povrchu při galvanickém pokovení [1].

Dekapování se realizuje nejčastěji ponořením materiálu do roztoků kyselin. Je to proces velmi rychlý, protože oxidová vrstva na povrchu je velmi tenká, proto se k dekapování používají zředěné roztoky kyselin. Vlastní operace je velmi krátká (5-30 sec.) za normální teploty.

Při dekapování se zároveň neutralizují přenesené zbytky alkalických odmašťovacích lázní. Složení dekapovacích lázní se liší od druhu čištěného kovu [1].

## **Odrezování**

Odrezování je technologie, při které jsou odstraňovány korozní zplodiny z povrchu ocelových součástí. K odstranění rzi z povrchu se dá použít většina kyselin, nejvíce se však používají přípravky na bázi kyseliny fosforečné. Vlastní odrezování se provádí buď ponořením do lázně nebo natřením. Výběr vhodného odrezovače závisí na velkém množství faktorů. Na úrovni a charakteru korozního napadení, na následné technologii, na technologických možnostech zařízení apod. [1].

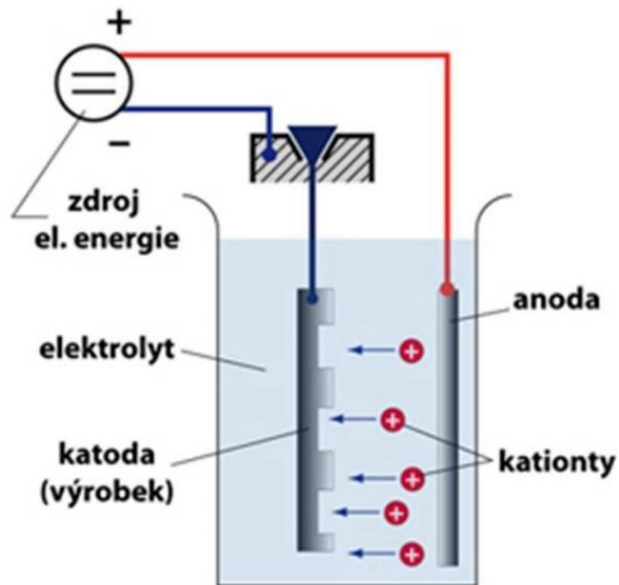
## **2.2 Technologie galvanického pokovení**

Cílem technologie galvanického pokovování je nanesení tenké vrstvy kovu nebo plastu na základní materiál. Nejčastěji se výrobky pokovují za účelem získání ochrany proti korozi nebo kvůli zlepšení jejich estetických vlastností.

Další důvod pro použití technologie galvanického pokovování je například zlepšení mechanických vlastností povrchu, např. tvrdost a otěruvzdornost [1,6].

### **2.2.1 Princip galvanického pokovení**

Princip galvanické spočívá v elektrolýze vodných roztoků kovových solí. Je to proces, při kterém se v elektrolytu na zápornou elektrodu (katodu) připojí materiál, který se bude pokovovat, a na kterém dochází k redukci kationtů. A na kladnou elektrodu (anodu) se připojí materiál, který se bude postupně rozpouštět, a na kterém bude probíhat oxidace atomů [1,6].



Obrázek 1 Zjednodušené schéma principu galvanického pokovení [7]

### 2.2.2 Vzorový postup galvanického pokovování uvedený v bodech

- Chemické odmaštění
- Oplach
- Moření
- Oplach
- Elektrolytické odmaštění
- Oplach
- Aktivace povrchu
- Oplach
- Pokovení
- Oplach
- Pasivace
- Oplach
- Sušení horkým vzduchem [1]

### 2.2.3 Vybrané druhy galvanických povlaků

#### Niklové povlaky

Galvanické niklování se řadí mezi nejpoužívanější procesy elektrolytického pokovování. Niklové povlaky se používají např. ve vícevrstevných systémech (Ni-Cr, Cu-Ni-Cr), které jsou určeny ke zvýšení odolnosti vůči opotřebení a korozi. Používají se také díky svému lesklému povrchu ke zlepšení estetických vlastností, především výrobků z mědi, slitin mědi, ale i železa [1,24].

#### Niklovací lázně

Síranové lázně – jedná se o slabě kyselé lázně mezi jejichž složky patří síran nikelnatý, který funguje jako nositel kovu a malé množství chloridu nikelnatého. Pracovní teplota lázní se pohybuje mezi 45–60 °C. Síranové lázně vylučují na povrchu jemnozrnné povlaky s poměrně nízkým vnitřním pnutím a tvrdostí v rozmezí 150–200 HV. Přidáním mechanických částic je možné nanášet speciální povlaky s obsahem abrasiv [1,29].

Chloridové lázně – hlavní složkou těchto lázní je chlorid nikelnatý. Vysoká vodivost těchto lázní jim umožňuje pracovat při vysoké proudové hustotě (až 20 A · dm<sup>-2</sup>). To má za následek poměrně vysokou vylučovací rychlost a změnu mechanických vlastností povlaku – zvýšená tvrdost, zvýšené vnitřní pnutí, zvýšená křehkost. Pracovní teplota těchto lázní se pohybuje v rozmezí 50-70 °C [1,29].

Sulfamátové lázně – tyto lázně jsou vhodné pro vylučování silných, celistvých povlaků bez vnitřního pnutí a s absencí póru nebo mikrotrhlin. Nevýhoda těchto lázní je, že jsou poměrně náročné na údržbu, jelikož jsou velice citlivé na znečištění. Aby nedocházelo ke znečištění lázní, je třeba používat pouze čisté chemikálie a lázeň za provozu kontinuálně čistit [28,29].

Fluoroboritanové lázně – hlavní složkou těchto lázní je fluoroboritan nikelnatý, který funguje jako nositel kovu. Je možné připravit lázně o vysoké koncentraci kovu, což má za následek vyšší pracovní proudovou hustotu než například u síranových lázní. Pracovní teplota lázní se pohybuje mezi 40-80 °C. Povlaky vyloučené ze fluoroboritanových lázní mají podobné vlastnosti s povlaky vyloučenými ze síranových lázní. Nevýhodou tohoto procesu jsou vysoké náklady na chemikálie [27].

## **Zinkové povlaky**

Při galvanickém zinkování je úkolem nanesení určitého množství zinku na základní materiál za účelem zlepšení mechanických, ochranných nebo dekorativních vlastností. Zinkové povlaky se především používají jako ochrana ocelových součástí proti atmosférické korozi nebo jsou často používány v korozních člancích jako tzv. obětovaná anoda, protože zinek je z elektrochemického hlediska neušlechtilý kov.

## **Zinkovací lázně**

Prvním druhem zinkovacích lázní jsou kyanidové lázně, které se skládají z alkalického hydroxidu, volného kyanidu, uhličitanu a kyanidu zinečnatého, který slouží jako nositel kovu. Za účelem zjemnění zrna nebo zvětšení výsledného lesku je možné do lázně přidat i sulfid sodný. Mezi výhody povlaků vyloučených v kyanidových lázní patří vysoká vylučovací rychlost, a malá náročnost na předúpravy povrchu. Vzhledové vlastnosti už ale nejsou tak dobré jako u jiných lázní.

Alkalické lázně na rozdíl od kyanidových lázní neobsahují žádné jedy, což má za následek levnější likvidaci odpadních vod. Další výhodou je rovnoměrnost naneseného povlaku. Mezi nevýhody patří nízká hloubková účinnost a nízká vylučovací rychlost.

Slabě kyselé lázně se v minulosti skládaly z chloridu amonného a chloridu zinečnatého. V současné době jsou však základními složkami chlorid zinečnatý a chlorid draselný, také je možné v některých případech místo chloridu draselného použít chlorid sodný. Další důležitou složkou v těchto moderních lázních je kyselina boritá, která se přidává za účelem tlumení pH a soli organických karboxylových kyselin.

Důležité je také přidání leskutvorné přísady, která má velký vliv na zabíhavost lázně a velmi ovlivňuje výsledný lesk a zobrazivost finálního povrchu. Mezi výhody těchto lázní patří vysoká hloubková účinnost, vynikající krycí schopnost. Nevýhoda je vysoká náročnost na předúpravy povrchu [1,11,12].

### 2.3 Tampónování (lokální galvanické pokovení)

Technologie lokálního galvanického pokovení je speciální technologie, která se často používá při pokovování tvarově složitých součástek, nebo pouze částí jejich povrchu. Tyto místa na povrchu mohou být těžko dostupná, a tudíž na ně nelze vyloučit kovovou vrstvu pouhým ponorem do galvanické lázně.

Výhody technologie lokálního galvanického pokovení oproti klasickému pokovení v lázni:

- Zařízení pro lokální pokovení je velice mobilní a vlastní pokovení může být provedeno téměř kdekoliv.
- Rychlejší proces pro malé oblasti povrchu.
- Je vhodné pro velké součástky, které nejsou vhodné pro pokovení v lázni.
- Snižuje spotřebu elektrolytu.
- Snižuje celkové náklady na energie a vyžaduje méně elektrické energie.

Lokální galvanické pokovení má velikou škálu využití. Využívá se například k obnovení rozměrových přesností a geometrických tvarů opotřebovaných nebo nesprávně obrobených dílů. Tento proces se používá v celé řadě průmyslových odvětví, včetně letectví, petrochemie, námořního průmyslu, ale i ve šperkařství pro vytváření povlaků z ušlechtilých kovů. Povlaky nanesené touto technologií mají velké množství výhod. Nanášejí se za účelem získání větší odolnosti proti korozi, vylepšení odolnosti vůči opotřebení, snížení elektrického odporu, vylepšení pájecích schopností, vylepšení estetických vlastností nebo i mohou sloužit jako nosné plochy [2,3,4].





Obrázek 3 Automatické provedení tampónování [9]



Obrázek 2 Použití lokálního pokovení pro opravu části součástky [8]

### 2.3.1 Vývoj, současnost a budoucnost technologie

#### Vývoj a současnost technologie

Technologie tampónování (lokální galvanické pokovování) je speciální technologie povrchových úprav, která byla vyvinuta z klasického galvanického pokovování v lázních. Některé vybavení nebo termíny používané v této technologii stále připomínají své protějšky z pokovování v lázních. Používané nástroje a vybavení však nejsou mezi oběma technologiemi zaměnitelné, protože při tampónování je složitější kontrolovat aktuální teplotu a hustotu elektrolytu. Proto byla potřeba pro komerční aplikace vyvinout integrované přenosné zařízení. Tato zařízení byla vyvinuta tak, aby je mohli používat i operátoři, kteří nejsou obeznámeni s galvanickým pokovováním v lázni. Dnes jsou k dispozici zařízení lokálního pokovení nejen pro galvanické pokovování, ale i pro eloxování nebo elektrolytické leštění. V současnosti existují sofistikovaná zařízení, která používají napájecí zdroje s výstupy až 500 A. Tato zařízení jsou schopná vylučovat povlaky vynikajících kvalit v širokém spektru tloušťek a jiných charakteristik na velkých plochách [2,30].

Původně se technologie používala k opravám drobných vad. Později s pokročilými znalostmi v oblasti fyziky, chemie a elektrotechniky bylo možné kovové povlaky vylučovat i na větších plochách. V dnešní době se používá jak pro renovace povrchových vrstev kovových materiálů, tak i pro nanesení zcela nových povlaků [2].

## **Budoucnost technologie**

Stejně jako většina ostatních technologií se i pokovování kovů neustále vyvíjí a zlepšuje. Díky novým inovacím v oblasti technologií galvanizace se dá v nadcházejících letech očekávat růst a zlepšování průmyslu [25].

Níže jsou uvedeny některé z hlavních inovací, u nichž se očekává, že budou dominovat budoucnosti galvanického pokovování:

**Nanotechnologie** – Jedná se o vědecké technologické procesy na úrovni nanorozměrů (přibližně 1 - 100 nm). Tato technologie bude mít velký dopad na povrchové úpravy kovů, především díky vlastnostem nanokrystalických kovů, které jsou oproti běžným kovovým materiálům mnohem tvrdší, odolnější vůči opotřebení nebo korozi [25].

**Vylepšená chemie** – Při elektrolytických procesech se v současnosti používá velké množství nebezpečných látek. V budoucnosti však bude díky poptávce spotřebitelů, nebo různým vládním předpisům, používání těchto nebezpečných látek limitováno, nebo dojde k nahrazení těchto nebezpečných látek. Výzkum v této oblasti postupuje vpřed se slibnými výsledky [25].

**Nekovové substráty** – Kovové materiály jsou v současné době hlavním galvanickým substrátem. Mezi cíle technologie galvanizace patří i vývoj nekovových substrátů. Předpokládá se, že budoucí kompozitní materiály budou nekovové s výztuží ve formě uhlíku, kevlaru nebo skla. Tyto materiály by měly být pevnější a odolnější vůči korozi než jejich kovový předchůdci [25].

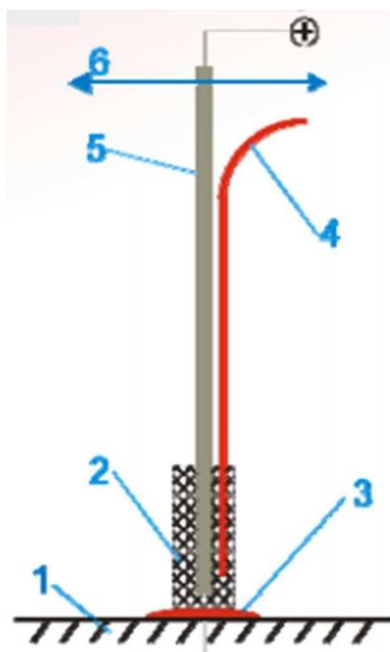
**Používání suchých procesů** – Proces galvanického pokovování byl odjakživa používán jako povrchová úprava za mokra. Trendy však poukazují na používání suchých procesů, které by vedly ke snížení nebezpečných chemických látek a průmyslového odpadu. Přijetí a optimalizace těchto suchých procesů při galvanickém pokovování bude hlavním krokem v ekologizaci průmyslu [25].

### 2.3.2 Princip tampónování

Lokální galvanické pokovování je speciální metoda galvanického pokovování. Pokovovaný předmět je též připojen jako katoda. Anoda je však na rozdíl od galvanického pokovení položena v držáku a je obalena savým materiálem, který se nazývá tampón.

Tampón se nasákne elektrolytem, který slouží jako vodič iontů kovu, kterým je pokovovaný předmět pokovován. Jakmile se anoda obalená tampónem dotkne pokovovaného předmětu, uzavře se elektrický okruh a na povrchu pokovovaného předmětu se začne vylučovat povlak kovu z elektrolytu.

Elektrolyt lze do tampónu dodávat buď ručně, nebo automaticky. Aby bylo zaručeno rovnoměrné nanesení povlaku je třeba anodou pohybovat [2,3].



Části zařízení pro lokální galvanické pokovení:

- 1) Pokovovaná součást (katoda)
- 2) Tampón
- 3) Elektrolyt
- 4) Přívod elektrolytu do tampónu
- 5) Odtavující se anoda
- 6) Pohyb anody k zajištění rovnoměrného povlaku

Obrázek 4 Schéma technologie tampónování [10]

Při této technologii pokovování je zapotřebí učinit nastavení a kontrolu několika parametrů, které mají vliv na výslednou kvalitu a rychlost procesu.

- Proudová hustota.
- Druh a složení elektrolytu.
- Doba vylučování kovu.
- Objem přiváděného elektrolytu.
- Rychlost pohybu anody vůči katodě.
- Vzdálenost mezi anodou a katodou (tloušťka tampónu).

### **Charakteristika vyloučených vrstev**

Tloušťka vytvořeného povlaku závisí na době pokovování, která může trvat 10 minut, ale i několik hodin, a na typu elektrolytu. Rychlost pokovení je oproti klasickému pokovení v lázni 30 až 60krát rychlejší. Vrstva naneseného kovu je kvalitnější a velmi dobře se mísí se základním materiálem. Pokud se kov vyloučí nerovnoměrně, a výsledná velikost rozměru je mimo předepsané tolerance, je možné povlak dodatečně obrobit [2].

### **2.3.3 Druhy povlaků a elektrolytů pro tampónování**

#### **Druhy povlaků**

Mezi další benefity technologie lokálního pokovení je možnost vytváření povlaků o různých vlastnostech. Lze vylučovat jak povlaky zvyšující odolnost proti korozi (Ni, Sn, Cr) tak i povlaky zvyšující odolnost proti opotřebení (Cr, Co-W, Ni-Co, Ni-W) nebo povlaky, které mají dobré estetické vlastnosti (Ag, Au, Pt, Pd) [2].

Například niklové povlaky nanesené pomocí tampónování jsou vynikající způsob opravy nadměrně opotřebovaných mechanických součástí, nebo se používají ke zlepšení elektrické vodivosti [5].

Tampónováním lze vylučovat i slitinové povlaky. Například povlak Ni-W, který má nanokrystalickou strukturu (velikost krystalů je přibližně 2 nm), vykazuje vynikající tvrdost a odolnost proti opotřebení. Povlak je složen z 60 % niklem a z 40 % wolframem. Vzhledem k vysokému obsahu wolframu ve slitině je povlak tepelně stabilní. Mírně zvýšené teploty do 500 °C nezpůsobují růst a měknutí zrn, jako je tomu u většiny tvrdých povlaků [31].

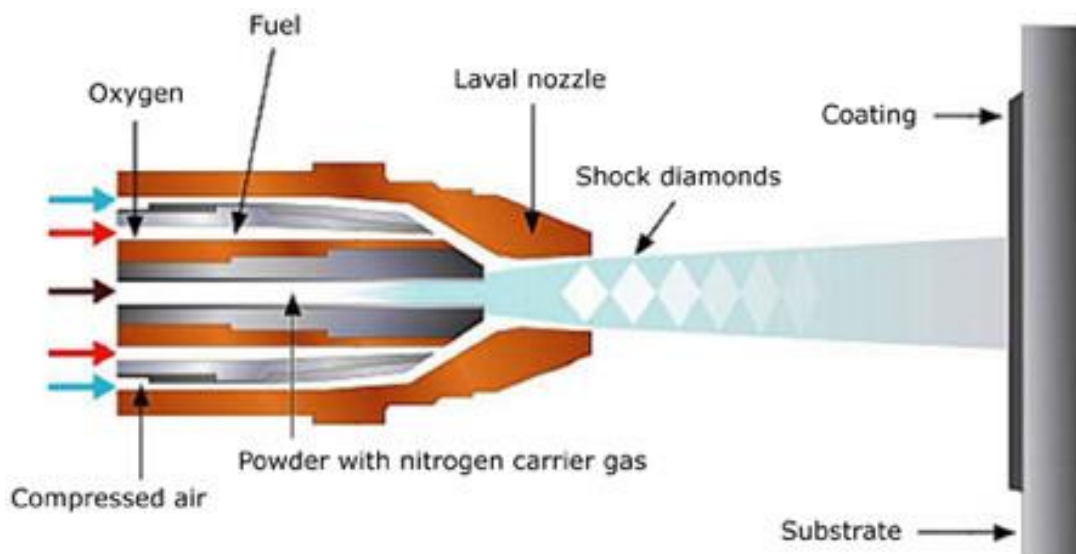
### **Druhy elektrolytů**

Výběr vhodného elektrolytu záleží na typu povlaku a na potřebných vlastnostech povrchu. Elektrolyty se dělí na roztoky a gely. Při aplikování elektrolytu ve formě gelu je nižší šance na znečištění okolního pracoviště. Výsledná kvalita je však po použití obou druhů elektrolytu stejná. Jelikož se pro lokální pokovení elektrolyt vyskytuje pouze v tampónu, a ne v celém objemu lázně, elektro spotřeba je tedy mnohonásobně nižší. Proto jsou i náklady na pokovení a na likvidaci odpadu mnohem nižší [2].

## **2.4 Další technologie vhodné pro renovace povlaků**

### **2.4.1 Technologie HVOF – Vysokorychlostní nástřik plamenem**

Technologie HVOF (high velocity oxyfuel spray) je jedna z nejmodernějších metod v oblasti žárových nástřiků. Používá se pro zlepšení nebo obnovení povrchových vlastností nebo rozměrů součástí. Princip technologie spočívá v přivedení směsi hořlavých plynů do spalovací komory. Nejčastěji se používá kyslík a kerosin, ale je možné použít i propylen, propan, vodík nebo acetylen. Ve spalovací komoře dochází k jejich vzplanutí jiskrou ze zapalovací svíčky. Spaliny jsou poté přivedeny do divergentní trysky, kde se urychlí až na rychlost 1 825 m.



Obrázek 5 Schéma technologie HVOF [13]

*Oxygen – kyslík, Fuel – palivo, Laval nozzle – tryska, Shock diamonds – expanzní diamanty, Coating – povlak, Compressed air – stlačený vzduch, Powder with nitrogen carrier gas – prášek s nosným plynem, Substrate – základní materiál*

V trysce se spaliny také setkají s nástřikovým materiálem, který je dodáván ve formě prášku pomocí nosného plynu. Materiál je přiveden do středu plamene, kde je nataven a poté skrze trysku vržen vysokou rychlostí směrem k povlakovanému materiálu. Ve spalínách, které proudí až nadzvukovou rychlostí, probíhají termodynamické děje, které mají na svědomí vznik kompresních vln tzv. expanzních diamantů. Tyto vlny je možné zahlédnout v plamenu vycházejícím z hořáku.

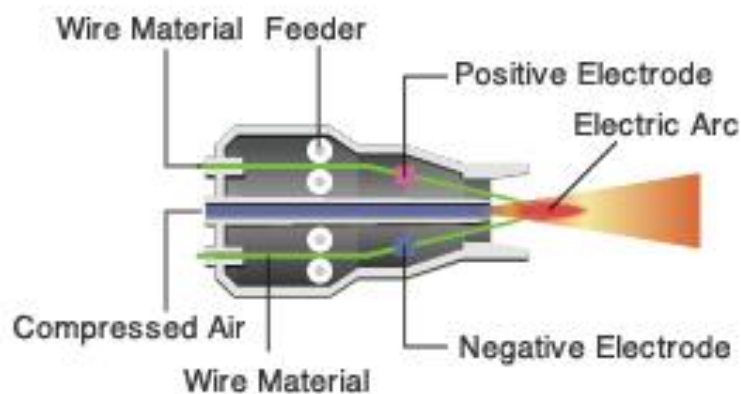
Díky vysoké rychlosti částic nástřikového materiálu se částice při dopadu na povrch povlakovaného předmětu zakotví a rovnoměrně rozprostřou. To má za následek vysokou hustotu a velmi dobrou přilnavost povlaku. Nevýhoda této technologie je teplota plamene, která je poměrně nízká (2 600°C). Díky této vlastnosti je omezeno použití této technologie. Nelze například využít k povlakování keramické povlaky. Technologie HVOF je předurčena spíše k nástřiku kovů a jejich slitin s nižší teplotou tání. Charakteristickými aplikacemi této technologie jsou povlaky proti opotřebení a korozi v různých prostředích [13,14,15].

Výhody technologie HVOF:

- Vysoká hustota povlaku.
- Nízký obsah oxidů v povlaku.
- Nízká pórovitost povlaku.
- Velmi dobrá soudržnost povlaku.

#### 2.4.2 Technologie EAW – Nástřik elektrickým obloukem

Technologie EAW (electric arc wire spray), neboli nástřik elektrickým obloukem, se od ostatních metod odlišuje přímým tavením nástřikového materiálu, který je do hořáku dodáván ve formě dvou drátů, které jsou zapojeny jako elektrody a vytváří mezi sebou elektrický oblouk. Složení těchto drátů může být identické i různého chemického složení. Roztavený přídavný materiál je poté pomocí proudu vzduchu urychlen a naprašován na povlakovaný předmět. Když částice roztaveného přídavného materiálu opustí oblast elektrického oblouku, jejich teplota začne rychle klesat. Důsledkem tohoto rychlého ochlazení je zvýšení oxidace, proto je doporučena kratší vzdálenost dopadu. Při dopadu na základní materiál se částice vlivem vysoké rychlosti deformují a vytvářejí finální nástřik.



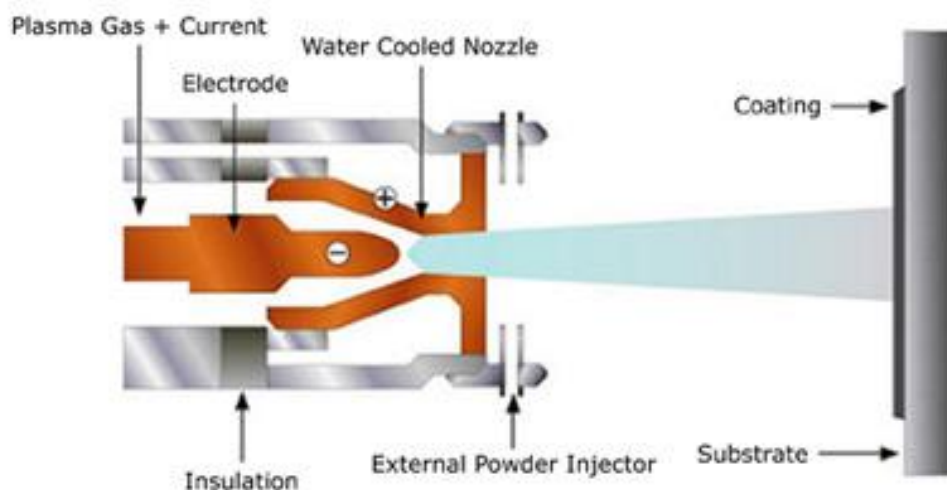
Obrázek 6 Schéma nástřiku elektrickým obloukem [18]

*Wire materiál feeder – podavač drátu, Positive electrode – anoda, Compressed air – stlačený vzduch, Wire materiál – přídavný materiál ve formě drátu, Negative electrode – katoda, Electric arc – elektrický oblouk*

Výhody této technologie jsou velká možnost výběru a nízká cena přídavných materiálů, výkonnost procesu, vhodnost pro nástřik velkých ploch. Mezi nevýhody patří vysoká pórovitost povlaku (až 20 %), nutnost elektrické vodivosti přídavného materiálu a nízká soudržnost povlaku se povlakovaným předmětem, která lze však zredukovat použitím mezivrstvy [16,17].

### 2.4.3 Technologie PA – Nástřik plazmou

Technologie PA (plasma arc spray) je technologie, při kterém se pro nástřik využívá plazmový oblouk. Ten vzniká ve stříkací pistoli mezi wolframovou katodou a měděnou anodou. Obě elektrody jsou chlazeny vodou a jako pracovní plyny se nejčastěji používají argon, dusík, vodík a helium. Plazmový oblouk vede k vytvoření proudu vysokoteplotního ionizovaného plynu, který slouží jako zdroj tepla. Přídavný materiál je v práškové formě veden v proudu inertního plynu do plazmového paprsku, kde je poté zahříván a poháněn směrem k povlakovanému materiálu. Natavený materiál poté dopadá na povrch povlakovaného materiálu, rychle se ochlazuje a vytváří povlak. Plazmový paprsek dosahuje teploty až 15 000°C, a tudíž je možné rozprašovat i materiály s vysokou teplotou tání.



Obrázek 7 Schéma stříkání plazmou [19]

*Plasma gas + current – plazmový plyn, Electrode – elektroda, Water cooled nozzle – tryska ochlazovaná vodou, Coating – povlak, Insulation – izolace, External powder injector – externí přívod přídavného materiálu, Substrate – základní materiál*



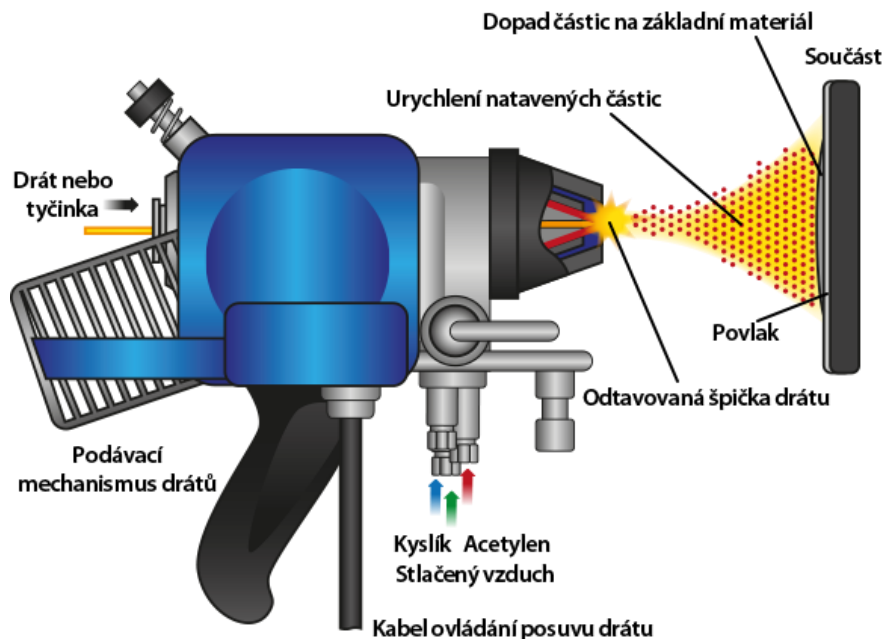
Plazmové stříkání se nejčastěji provádí za normálních atmosférických teplot a nese označení APS (Atmospheric Plasma Spraying). Proces APS je charakteristický svou vysokou škálou výběru materiálu a vysokou přilnavostí. Dále vynikající kontrolou tloušťky povlaků a povrchových charakteristik jako je pórovitost a tvrdost. Tento proces se nejčastěji používá pro výrobu spalovacích komor čepelí a lopatek. Některé plazmové nástřiky je nutné provádět v ochranném prostředí za nízkého tlaku ve vakuových komorách. Tento proces se nazývá VPS (Vacuum Plasma Spraying).

Nástřik plazmou kombinuje vysokoteplotní zdroj tepla s vysokou energií, inertní rozprašovací médium a poměrně vysokou rychlost částic (až  $300 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), což má za následek vytvoření vysoce kvalitních povlaků [15,19,20].

#### **2.4.4 Technologie OFP, OFW – Nástřik plamenem**

Z hlediska technologií žárovým nástřikem je technologie stříkání plamenem ta nejstarší. Principem této technologie je kyslík, který společně s palivem tvoří plamen. Jako palivo se při této technologii nejčastěji používá (acetylen, propan, propylen nebo vodík). Do plamene se poté přidává přídavný materiál ve formě prášku (Oxyfuel Powder Spray) nebo drátu (Oxyfuel Wire Spray). V oblasti plamene se přídavný materiál nataví a urychlí směrem k základnímu materiálu.

Teplota plamene se pohybuje mezi  $2\,700\text{--}3\,100 \text{ }^\circ\text{C}$ . Nevýhoda je poměrně nízká rychlost dopadu částic přídavného materiálu na základní materiál, což má za následek nízkou adhezní sílu povlaku k povlakované součásti. Touto technologií se obecně nanášejí povlaky nižších kvalit, které nejsou využívány pro náročnější aplikace. Velkou výhodou této technologie jsou nízké pořizovací i provozní náklady zařízení [22,23].



Obrázek 8 Schéma technologie nástřiku plamenem [21]

## 2.5 Technicko-ekonomické zhodnocení s klasickými konvenčními technologiemi

Z popisů jednotlivých technologií již částečně vyplynuly jejich rozdíly, přednosti a nedostatky. Vhodnost použití jednotlivých technologií závisí na požadavcích na výsledný povlak nebo na tvaru a velikosti součástí. Povlaky nanášené nástřikovou technologií (metalizací) jsou vhodné pro větší a tvarově jednodušší součástky. Galvanické povlaky jsou vhodné jak pro menší, tak i pro větší, tvarově složitější součástky. Technologie lokálního galvanického pokovení je vhodná pro pokovení určitých oblastí povrchu součástek nebo pro pokovení součástek, které se díky svým velkým rozměrům nevejdou do galvanických lázní.

Tabulka 1 Ekonomické zhodnocení jednotlivých technologií [32,33]

Technologie	Cena za povlak [Kč/dm <sup>2</sup> ]
Galvanické pokovování	6
Metalizace (nástřik elektrickým obloukem)	5,5
Tampónování	nezjištěna

Bohužel i přes velkou snahu nebylo možné zjistit cenu povlaku technologie tampónování v Kč/dm<sup>2</sup>. Byli poptáváni celosvětoví výrobci této technologie i firmy, které tuto technologii nabízejí jako službu. Bohužel od žádného z nich nepřišlo vyjádření ohledně průměrné ceny povlaku či odhadované rozmezí cen, za který by mohl být povlak zhotoven, i když byl poptáván konkrétní typ niklového elektrolytu.

Určení ceny za zhotovení povlaku tampónovou technologií je velmi těžké definovat a závisí nejen volbě elektrolytu (typu povlaku), ale i na ostatních faktorech, kterými jsou:

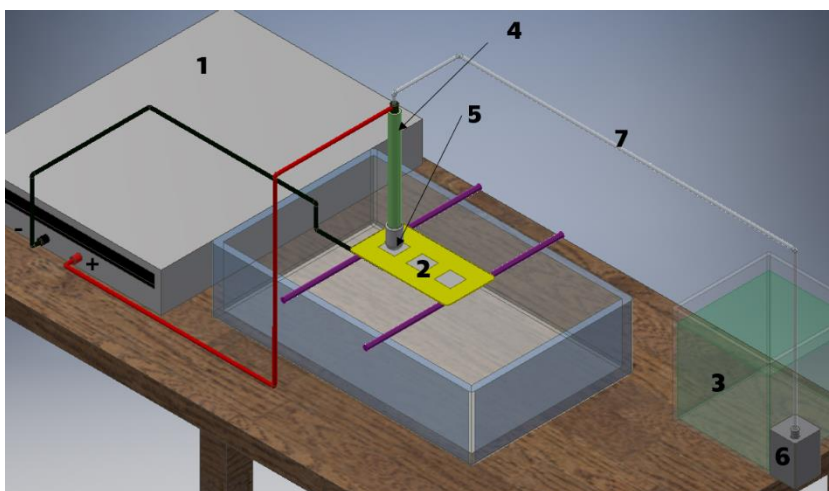
- základní materiál a plocha pokovované oblasti,
- tvarová složitost pokovované oblasti,
- tloušťka povlaku,
- sériovost,
- pracovní prostředí a jeho okolí, při kterém bude technologie aplikována,
- specifikace a konečné rozměry povlaku, respektive toleranční pole (toleranční rozměry) povlaku.

To jsou faktory, ze kterých se celková cena za technologii tampónování skládá. Elektrolyt použitý v experimentální část, v kapitole 3, byl od britského dodavatele. Cena samotného elektrolytu je 100 liber za litr a k tomu je zapotřebí speciální vybavení, aby technologie byla kompletní. Možná i toto jsou faktory, proč technologie tampónování není moc využívána pro oblast pokovování, respektive renovací.

### 3 Experimentální část

Experimentální část bakalářské práce se zabývá sestavením funkčního pracoviště pro lokální galvanické pokovení a jeho využitím pro nanesení několika povlaků niklu a následném zkoumání jejich vybraných vlastností (hmotnost, drsnost a tloušťka). Experiment byl rozdělen na dvě části, kdy se pokovovalo za odlišných podmínek. A na závěr proběhlo jejich srovnání.

#### 3.1 Návrh pracoviště pro lokální galvanické pokovení



Obrázek 9 Pracoviště pro lokální galvanické pokovení vyhotovené v aplikaci Autodesk Inventor 2018

- 1) Elektrický zdroj
- 2) Pokovovaný předmět
- 3) Elektrolyt
- 4) Anoda v držáku
- 5) Tampón
- 6) Čerpadlo
- 7) Přívod elektrolytu

Použití čerpadla pro automatické dodávání elektrolytu je zde jako návrh, neboť z hlediska časové náročnosti by se nestihlo zrealizovat a ověřit tak jeho vlastnosti. Proto byl při tomto experimentu elektrolyt dodáván ručně pomocí infuzní soupravy IS-103.

### 3.2 Složky pracoviště

Pracoviště pro tampónové pokovení bylo složeno z následujících součástí.

- Stejnoseměrný laboratorní zdroj.
- Přívod elektrolytu.
- Podpěry pod pokovovaný předmět.
- Mísa na sběr přebytečného elektrolytu.
- Držák anody + nástroj pro pokovení

#### Stejnoseměrný laboratorní zdroj

Jako zdroj stejnosměrného napětí byl použit laboratorní zdroj SPS-9602 od firmy Manson. Tento zdroj je pro tuto technologii vhodný, protože disponuje plynulou nastavitelností hodnot napětí a proudu. Obsahuje také 2 LED displeje (ampérmetr a voltmetr), které zobrazují aktuální hodnoty na regulovatelném výstupu.



Obrázek 10 Laboratorní zdroj Manson SPS-9602

## Přívod elektrolytu

Jelikož je u této technologie důležitý konstantní přívod elektrolytu, bylo nutné sestrojít přívod elektrolytu který tuto podmínku splní. Ten byl sestrojen z infuzní soupravy IS-103.

Ampulka, která se nachází na konci transparentní hadičky byla zavěšena výše nad pracoviště, aby mohl elektrolyt samovolně stékat směrem dolů k pokovovacímu nástroji. Na druhém konci hadičky se nachází vývod, který byl připojen a utěsněn k pokovovacímu nástroji.

Jelikož je spotřeba elektrolytu při této technologii velice nízká, tak objem ampulky byl zcela dostačující pro pokovení hned několika vzorků a nebylo potřeba připojovat žádné rozšíření zásobníku elektrolytu. Infuzní souprava IS-103 rovněž obsahuje regulátor průtoku s kolečkem, díky němu bylo snadné nastavit konstantní dodávání elektrolytu.



Obrázek 11 Infuzní souprava IS-103

## Nástroj pro pokovení

K sestrojení nástroje pro pokovení byla jako základní část použita trubička z korozi-vzdorné oceli, která měla průměr 8 mm. Na konec trubičky se připevnil savý materiál. Aby bylo možné nástroj snadněji uchopit, byla na trubičku nasezena násada z obalu fixu. Přívod elektrolytu byl připevněn a utěsněn na druhém konci trubičky. Elektrolyt poté mohl samovolně protékat trubičkou a následně se vsakovat do savého materiálu.



Obrázek 12 Nástroj pro pokovení připojený na přívod elektrolytu

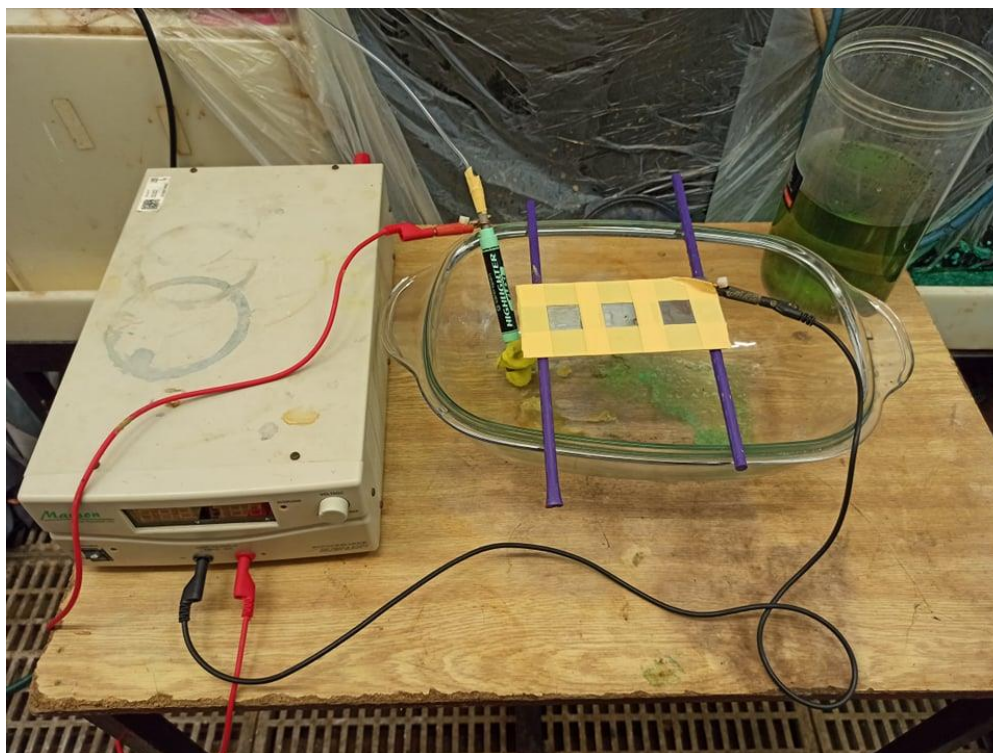
## Elektrolyt

Při experimentu byl použit elektrolyt Bright Nickel Plating solution, který je určený pro renovaci opotřebovaných niklových předmětů nebo pro vytvoření tenkého povlaku niklu ke zvýšení odolnosti proti korozi. Přesné složení elektrolytu výrobce tají.

Dle technické dokumentace tento elektrolyt nejlépe pracuje při napětí 4,5 až 9,5 V při pokojové teplotě.

### 3.2.1 Sestavení pracoviště pro lokální galvanické pokovení

Po sestavení všech jednotlivých složek pracoviště pro lokální galvanické pokovování následovalo sestavení vlastního pracoviště jako celku. Pokovovaný plech byl položen na dvě podpěry, které byly následně umístěny na skleněnou mísu, aby se zamezilo znečištění pracoviště přebytečným elektrolytem. Následně byla na pokovovaný předmět připojena záporná elektroda a na měděný drát kladná elektroda.



Obrázek 13 Sestavené pracoviště pro tampónové pokovení

### 3.3 Průběh experimentu

Experiment byl rozdělen na dvě části, kdy se pokovovalo za různých podmínek. V první části se pokovovalo při elektrickém napětí  $U = 5 \text{ V}$ . Ve druhé části při  $U = 9 \text{ V}$ . Tyto hodnoty napětí byly v doporučeném rozmezí elektrického napětí v technické dokumentaci použitého elektrolytu.

V obou částech bylo pokoveno pět vzorků, každý se pokovoval po jiný časový úsek:

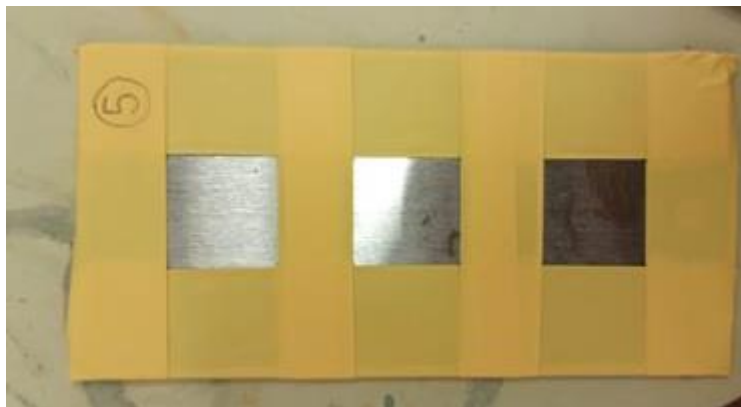
- 1. vzorek – 60 s
- 2. vzorek – 120 s
- 3. vzorek – 180 s
- 4. vzorek – 240 s
- 5. vzorek – 300 s

Celkový počet vzorků byl tedy deset.



### 3.3.1 Vzorky pro pokovení

Pokovované vzorky byly ocelové plechy tzv. Q panely o rozměrech 76 mm x 152 mm a tloušťce 0,89 mm. Tyto panely byly částečně přelepeny tak, aby na každém vznikly tři stejně velká okna o rozměrech 25 mm x 25 mm.



Obrázek 14 Q panel překrytý lepicí páskou

Následně byla jednotlivým plechům změřena jejich hmotnost a drsnost. Jelikož jsou tyto Q panely kartáčované, bylo nutné drsnost měřit ve dvou směrech, ve směru vodorovném a ve směru svislém. Kdyby byla drsnost měřena pouze v jednom z uvedených směrů, výsledky by byly značně zkreslené.

### 3.3.2 Předúpravy povrchu

Jelikož jsou úpravy povrchu bezpodmínečně nutné před i po galvanickém pokovení, jsou nutnou podmínkou i při technologii tampónového pokovení. Pro tento experiment nemusel být dodržen vzorový galvanický postup, neboť byla zkoumána jen vylučovací rychlost povlaku a další parametry, které nemají přímo vliv na korozní a mechanické vlastnosti povrchu. Z toho důvodu byl při experimentu proveden zkrácený technologický postup složený z těchto operací:

- Odmaštění povrchu isopropanolem
- Oplach v demineralizované vodě
- Aktivace povrchu v roztoku 10 % kyseliny chlorovodíkové
- Oplach v demineralizované vodě
- Pokovení plechu
- Oplach v demineralizované vodě
- Sušení horkovzdušnou pistolí

### 3.4 Vyhodnocení experimentu pokovení

Každému vzorku byla na laboratorní digitální váze před i po pokovení změřena hmotnost, a tudíž bylo možné určit hmotnost naneseného povlaku. Před měřením hmotnosti po pokovení bylo nutné vzorek důkladně vysušit, aby přebytečná voda nezkreslila naměřené hodnoty.



Obrázek 15 Laboratorní digitální váha Explorer Pro od firmy Ohaus

Každému vzorku byla rovněž změřena drsnost před i po pokovení. Drsnost byla měřena ve dvou hodnotách –  $R_a$  a  $R_z$ . Pro toto měření byl použit drsnoměr SJ-301 od firmy Mitutoyo. Aby byly výsledky co nejpřesnější, bylo měřeno ve svislém i vodorovném směru. V každém směru byla provedena tři měření, která se poté zprůměrovala.



Obrázek 16 Drsnoměr SJ-301 od firmy Mitutoyo

U všech vzorků byla nakonec po procesu pokovení naměřena desetkrát tloušťka naneseného povlaku digitálním tloušťkoměrem CM8825FM od firmy Microgauge. Naměřené hodnoty byly následně zprůměrovány.



*Obrázek 17 Digitální tloušťkoměr CM8825FM od firmy Microgauge*

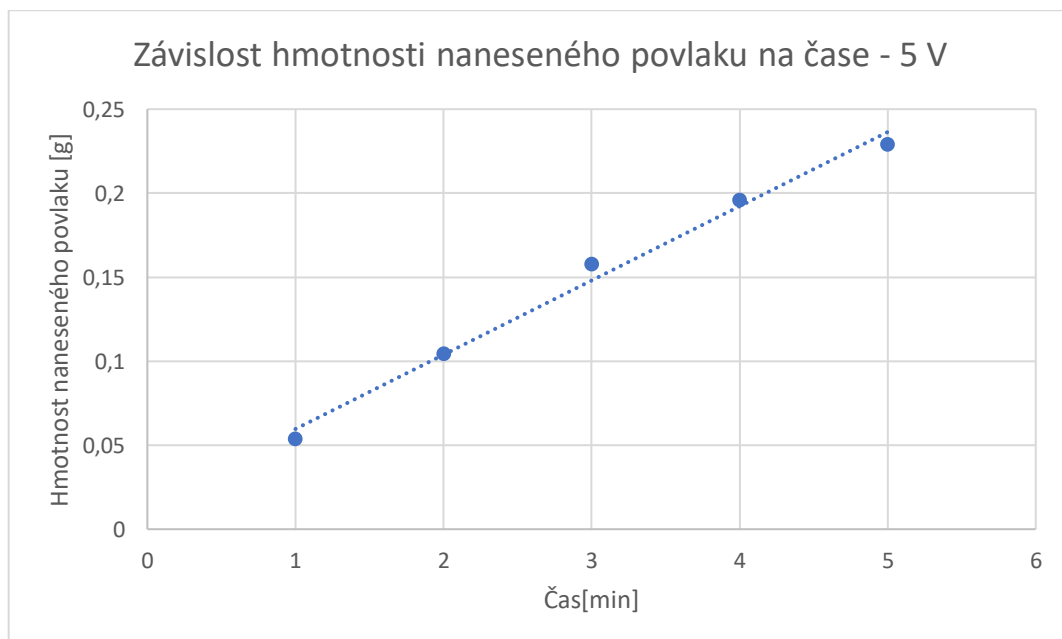
### 3.5 Naměřené hodnoty

#### 3.5.1 Naměřené hodnoty pro napětí 5 V

#### Naměřené hodnoty hmotnosti – 5 V

Tabulka 2 Hodnoty hmotnosti povlaku vyloučeném při 5 V

Č. měření	1	2	3	4	5
U[V]	5	5	5	5	5
I[A]	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Čas [s]	60	120	180	240	300
Hmotnost před pokovením [g]	76,6683	75,1902	75,2945	76,0688	76,2644
Hmotnost po pokovení [g]	76,722	75,2945	75,452	76,2644	76,4934
<b>Výsledná hmotnost naneseného povlaku [g]</b>	<b>0,0537</b>	<b>0,1043</b>	<b>0,1575</b>	<b>0,1956</b>	<b>0,2290</b>



Graf 1 Naměřená závislost hmotnosti naneseného povlaku na čase – 5 V

## Naměřené hodnoty drsnosti – 5 V

Tabulka 3 Drsnosti povrchu naměřené v oblasti pro 1 minutu pokovení – před pokovením, 5 V

Vodorovné měření	Oblast pro 1 minutu pokovení	
	Drsnost [Ra]	Drsnost [Rz]
1	0,66	4,73
2	0,64	4,16
3	0,75	4,99
<b>Svislé měření</b>		
1	0,14	0,91
2	0,17	0,96
3	0,17	0,95
<b>Průměrná drsnost</b>	<b>0,42</b>	<b>2,78</b>

Tabulka 4 Drsnosti povrchu naměřené v oblasti pro 2 minuty pokovení – před pokovením, 5 V

Vodorovné měření	Oblast pro 2 minuty pokovení	
	Drsnost [Ra]	Drsnost [Rz]
1	0,59	4,84
2	0,54	4,04
3	0,67	5,40
<b>Svislé měření</b>		
1	0,14	0,84
2	0,19	1,12
3	0,15	1,04
<b>Průměrná drsnost</b>	<b>0,38</b>	<b>2,88</b>

Tabulka 5 Drsnosti povrchu naměřené v oblasti pro 3 minuty pokovení – před pokovením, 5 V

Vodorovné měření	Oblast pro 3 minuty pokovení	
	Drsnost [Ra]	Drsnost [Rz]
1	0,63	5,45
2	0,64	5,18
3	0,61	4,85
<b>Svislé měření</b>		
1	0,22	1,43
2	0,21	1,36
3	0,20	1,23
<b>Průměrná drsnost</b>	<b>0,42</b>	<b>3,25</b>

Tabulka 6 Drsnosti povrchu naměřené v oblasti pro 4 minuty pokovení – před pokovením, 5 V

Vodorovné měření	Oblast pro 4 minuty pokovení	
	Drsnost [Ra]	Drsnost [Rz]
1	0,59	4,81
2	0,54	4,04
3	0,67	5,40
<b>Svislé měření</b>		
1	0,14	0,84
2	0,19	1,12
3	0,13	0,85
<b>Průměrná drsnost</b>	<b>0,43</b>	<b>3,42</b>

Tabulka 7 Drsnosti povrchu naměřené v oblasti pro 5 minut

pokovení – před pokovením, 5 V

Vodorovné měření	Oblast pro 5 minut pokovení	
	Drsnost [Ra]	Drsnost [Rz]
1	0,62	4,68
2	0,68	5,41
3	0,63	5,06
<b>Svislé měření</b>		
1	0,10	0,74
2	0,14	0,81
3	0,23	1,22
<b>Průměrná drsnost</b>	<b>0,40</b>	<b>2,99</b>

Tabulka 8 Drsnosti povrchu naměřené v oblasti pro 1 minutu

pokovení – po pokovení, 5 V

Vodorovné měření	Oblast po 1 minutě pokovení	
	Drsnost [Ra]	Drsnost [Rz]
1	0,65	4,99
2	0,75	4,98
3	0,67	4,82
<b>Svislé měření</b>		
1	0,34	2,29
2	0,25	1,82
3	0,28	2,09
<b>Průměrná drsnost</b>	<b>0,49</b>	<b>3,5</b>

Tabulka 9 Drsnosti povrchu naměřené v oblasti pro

2 minuty pokovení – po pokovení, 5 V

Vodorovné měření	Oblast po 2 minutách pokovení	
	Drsnost [Ra]	Drsnost [Rz]
1	0,59	4,81
2	0,54	4,04
3	0,67	5,40
<b>Svislé měření</b>		
1	0,14	0,84
2	0,19	1,12
3	0,13	0,85
<b>Průměrná drsnost</b>	<b>0,43</b>	<b>3,42</b>

Tabulka 10 Drsnosti povrchu naměřené v oblasti pro 3 minuty pokovení – po pokovení, 5 V

Vodorovné měření	Oblast po 3 minutách pokovení	
	Drsnost [Ra]	Drsnost [Rz]
1	0,83	6,07
2	0,77	5,20
3	0,73	4,84
<b>Svislé měření</b>		
1	0,56	3,36
2	0,48	3,34
3	0,48	3,29
<b>Průměrná drsnost</b>	<b>0,64</b>	<b>4,35</b>

Tabulka 11 Drsnosti povrchu naměřené v oblasti pro 4 minuty pokovení – po pokovení, 5 V

Vodorovné měření	Oblast pro 4 minutách pokovení	
	Drsnost [Ra]	Drsnost [Rz]
1	0,60	3,57
2	0,66	4,14
3	0,74	4,88
<b>Svislé měření</b>		
1	0,20	1,39
2	0,39	2,75
3	0,22	1,76
<b>Průměrná drsnost</b>	<b>0,47</b>	<b>3,08</b>

Tabulka 12 Drsnosti povrchu naměřené v oblasti pro 5 minut pokovení – po pokovení, 5 V

Vodorovné měření	Oblast po 5 minutách pokovení	
	Drsnost [Ra]	Drsnost [Rz]
1	0,69	4,82
2	0,72	5,47
3	0,62	4,65
<b>Svislé měření</b>		
1	0,26	2,18
2	0,27	3,05
3	0,40	2,95
<b>Průměrná drsnost</b>	<b>0,49</b>	<b>3,85</b>

## Naměřené hodnoty tloušťky povlaku – 5 V

Tabulka 13 Tloušťka povlaku při 5 V, 1 minuta

Číslo měření	Tloušťka[ $\mu\text{m}$ ]
1	0,9
2	1,1
3	1,4
4	1,0
5	0,9
6	1,3
7	1,2
8	1,2
9	1,9
10	0,8
<b>Průměrná hodnota</b>	<b>1,17</b>

Tabulka 14 Tloušťka povlaku při 5 V, 2 minuty

Číslo měření	Tloušťka[ $\mu\text{m}$ ]
1	2,2
2	2,3
3	2,7
4	1,9
5	2,3
6	2,6
7	2,5
8	1,9
9	2,4
10	2,5
<b>Průměrná hodnota</b>	<b>2,33</b>

Tabulka 15 Tloušťka povlaku při 5 V, 3 minuty

Číslo měření	Tloušťka[ $\mu\text{m}$ ]
1	4,2
2	3,7
3	2,9
4	2,5
5	3,6
6	4,0
7	3,8
8	3,3
9	4,1
10	3,1
<b>Průměrná hodnota</b>	<b>3,52</b>

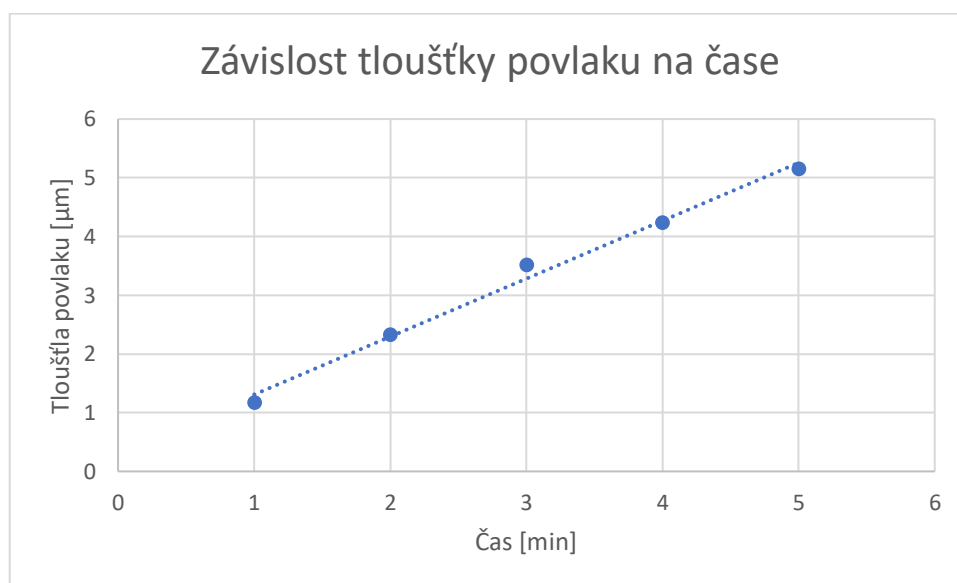
Tabulka 16 Tloušťka povlaku při 5 V, 4 minuty

Číslo měření	Tloušťka[ $\mu\text{m}$ ]
1	4,4
2	3,8
3	4,1
4	2,9
5	4,5
6	4,1
7	5,1
8	5,0
9	4,8
10	3,7
<b>Průměrná hodnota</b>	<b>4,24</b>



Tabulka 17 Tloušťka povlaku při 5 V, 5 minut

Číslo měření	Tloušťka[ $\mu\text{m}$ ]
1	4,9
2	5,5
3	4,2
4	4,7
5	5,9
6	5,7
7	6,0
8	5,3
9	4,9
10	4,4
<b>Průměrná hodnota</b>	<b>5,15</b>



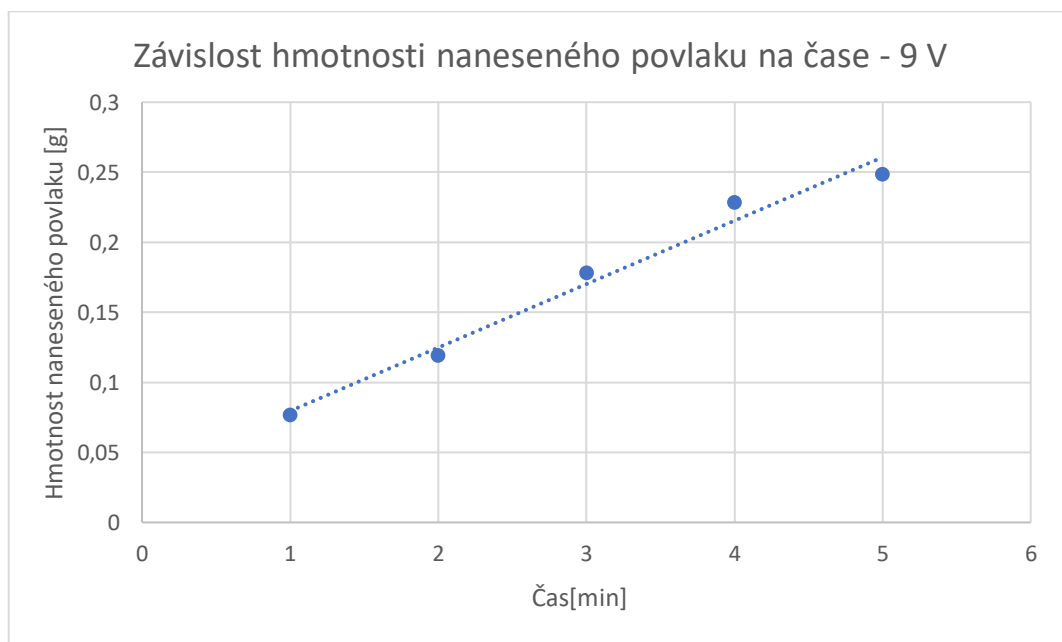
Graf 2 Závislost naměřené tloušťky povlaku na čase – 5 V

### 3.5.2 Naměřené hodnoty pro napětí 9 V

#### Naměřené hodnoty hmotnosti – 9 V

Tabulka 18 Hodnoty hmotnosti povlaku vyloučeném při 9 V

Č. měření	1	2	3	4	5
U[V]	9	9	9	9	9
I[A]	0,9	1,1	1,0	0,9	1,0
Čas [s]	60	120	180	240	300
Hmotnost před pokovením [g]	75,2664	75,3431	75,4622	75,5340	75,7624
Hmotnost po pokovení [g]	75,3431	75,4622	75,6402	75,7624	76,0109
<b>Výsledná hmotnost naneseného povlaku [g]</b>	<b>0,0767</b>	<b>0,1191</b>	<b>0,1780</b>	<b>0,2284</b>	<b>0,2485</b>



Graf 3 Naměřená závislost hmotnosti naneseného povlaku na čase – 9 V

## Naměřené hodnoty drsnosti – 9 V

Tabulka 19 Drsnosti povrchu naměřené v oblasti pro 1 minutu pokovení – před pokovením, 9 V

Vodorovné měření	Oblast pro 1 minutu pokovení	
	Drsnost [Ra]	Drsnost [Rz]
1	0,61	4,54
2	0,57	5,21
3	0,87	4,995,44
<b>Svislé měření</b>		
1	0,07	0,51
2	0,15	0,94
3	0,15	0,98
<b>Průměrná drsnost</b>	<b>0,40</b>	<b>2,94</b>

Tabulka 20 Drsnosti povrchu naměřené v oblasti pro 2 minuty pokovení – před pokovením, 9 V

Vodorovné měření	Oblast pro 2 minuty pokovení	
	Drsnost [Ra]	Drsnost [Rz]
1	0,54	5,34
2	0,54	4,72
3	0,58	4,50
<b>Svislé měření</b>		
1	0,17	1,11
2	0,26	1,56
3	0,25	1,35
<b>Průměrná drsnost</b>	<b>0,39</b>	<b>3,10</b>

Tabulka 21 Drsnosti povrchu naměřené v oblasti pro 3 minuty pokovení – před pokovením, 9 V

Vodorovné měření	Oblast pro 3 minuty pokovení	
	Drsnost [Ra]	Drsnost [Rz]
1	0,59	4,88
2	0,50	3,8
3	0,64	6,10
<b>Svislé měření</b>		
1	0,13	0,79
2	0,14	0,85
3	0,18	1,17
<b>Průměrná drsnost</b>	<b>0,36</b>	<b>2,94</b>

Tabulka 22 Drsnosti povrchu naměřené v oblasti pro 4 minuty pokovení – před pokovením, 9 V

Vodorovné měření	Oblast pro 4 minuty pokovení	
	Drsnost [Ra]	Drsnost [Rz]
1	0,64	4,66
2	0,53	4,10
3	0,61	4,77
<b>Svislé měření</b>		
1	0,09	0,59
2	0,19	1,41
3	0,26	1,55
<b>Průměrná drsnost</b>	<b>0,39</b>	<b>2,85</b>

Tabulka 23 Drsnosti povrchu naměřené v oblasti pro 5 minut  
pokovení – před pokovením, 9 V

Vodorovné měření	Oblast pro 5 minut pokovení	
	Drsnost [Ra]	Drsnost [Rz]
1	0,60	5,09
2	0,55	5,08
3	0,64	4,69
<b>Svislé měření</b>		
1	0,13	0,95
2	0,17	1,19
3	0,13	0,99
<b>Průměrná drsnost</b>	<b>0,37</b>	<b>3,00</b>

Tabulka 24 Drsnosti povrchu naměřené v oblasti pro 1 minutu  
pokovení – po pokovení, 9 V

Vodorovné měření	Oblast po 1 minutě pokovení	
	Drsnost [Ra]	Drsnost [Rz]
1	0,70	4,38
2	0,62	4,47
3	0,58	4,26
<b>Svislé měření</b>		
1	0,46	2,98
2	0,50	3,30
3	0,46	3,46
<b>Průměrná drsnost</b>	<b>0,55</b>	<b>3,81</b>

Tabulka 25 Drsnosti povrchu naměřené v oblasti  
pro 2 minuty pokovení – po pokovení, 9 V

Vodorovné měření	Oblast po 2 minutách pokovení	
	Drsnost [Ra]	Drsnost [Rz]
1	1,02	5,65
2	0,81	5,14
3	1,10	5,95
<b>Svislé měření</b>		
1	0,58	4,85
2	0,83	5,63
3	0,88	5,13
<b>Průměrná drsnost</b>	<b>0,87</b>	<b>5,39</b>

Tabulka 26 Drsnosti povrchu naměřené v oblasti pro 3 minuty pokovení – po pokovení, 9 V

Vodorovné měření	Oblast po 3 minutách pokovení	
	Drsnost [Ra]	Drsnost [Rz]
1	0,69	5,29
2	0,62	3,87
3	0,72	5,58
<b>Svislé měření</b>		
1	0,39	3,34
2	0,53	3,97
3	0,39	3,50
<b>Průměrná drsnost</b>	<b>0,56</b>	<b>4,26</b>

Tabulka 27 Drsnosti povrchu naměřené v oblasti pro 4 minuty pokovení – po pokovení, 9 V

Vodorovné měření	Oblast pro 4 minutách pokovení	
	Drsnost [Ra]	Drsnost [Rz]
1	0,74	5,71
2	0,74	5,18
3	0,67	5,29
<b>Svislé měření</b>		
1	0,23	1,46
2	0,29	1,89
3	0,22	1,86
<b>Průměrná drsnost</b>	<b>0,48</b>	<b>3,57</b>

Tabulka 28 Drsnosti povrchu naměřené v oblasti pro 5 minut pokovení – po pokovení, 9 V

Vodorovné měření	Oblast po 5 minutách pokovení	
	Drsnost [Ra]	Drsnost [Rz]
1	0,73	5,07
2	0,78	5,96
3	0,76	6,01
<b>Svislé měření</b>		
1	0,26	1,72
2	0,29	2,47
3	0,30	2,22
<b>Průměrná drsnost</b>	<b>0,52</b>	<b>3,91</b>

## Naměřené hodnoty tloušťky povlaku – 9 V

Tabulka 29 Tloušťka povlaku při 9 V, 1 minuta

Číslo měření	Tloušťka[ $\mu\text{m}$ ]
1	2,1
2	1,9
3	2,3
4	1,5
5	0,9
6	1,9
7	2,0
8	2,1
9	2,6
10	1,4
<b>Průměrná hodnota</b>	<b>1,87</b>

Tabulka 30 Tloušťka povlaku při 9 V, 2 minuty

Číslo měření	Tloušťka[ $\mu\text{m}$ ]
1	3,7
2	2,8
3	2,1
4	4,2
5	2,9
6	3,7
7	3,9
8	3,3
9	3,6
10	3,1
<b>Průměrná hodnota</b>	<b>3,33</b>

Tabulka 31 Tloušťka povlaku při 9 V, 3 minuty

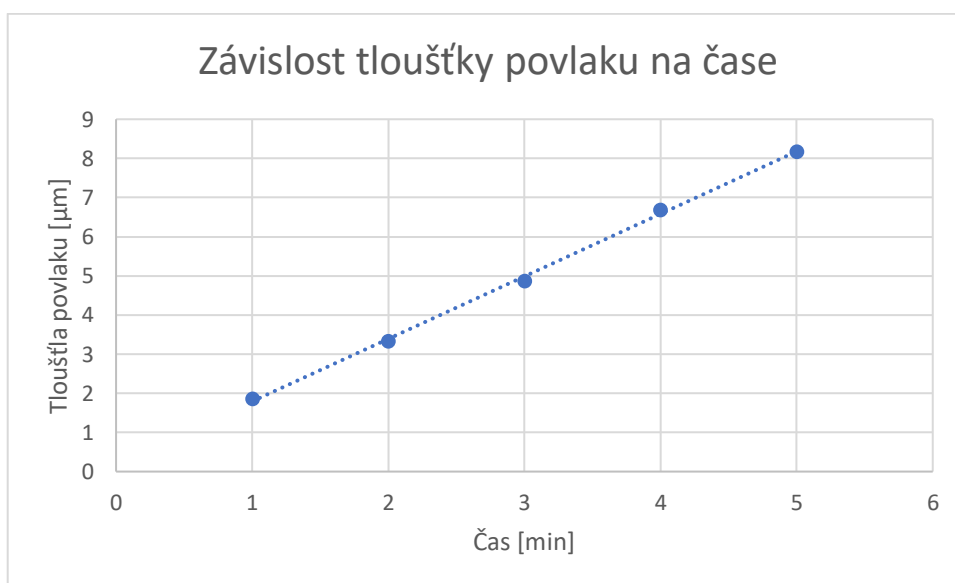
Číslo měření	Tloušťka[ $\mu\text{m}$ ]
1	5,9
2	3,8
3	4,5
4	4,8
5	3,9
6	5,4
7	5,0
8	4,7
9	5,3
10	5,4
<b>Průměrná hodnota</b>	<b>4,87</b>

Tabulka 32 Tloušťka povlaku při 9 V, 4 minuty

Číslo měření	Tloušťka[ $\mu\text{m}$ ]
1	7,1
2	6,8
3	6,7
4	7,0
5	6,3
6	5,9
7	7,1
8	7,7
9	6,3
10	6,0
<b>Průměrná hodnota</b>	<b>6,69</b>

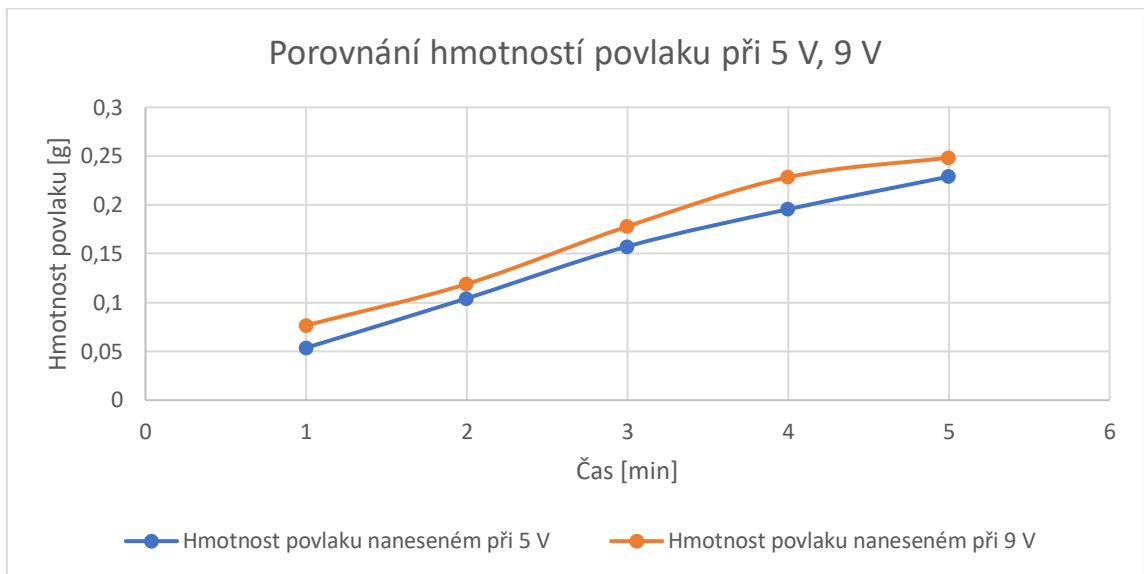
Tabulka 33 Tloušťka povlaku při 9 V, 5 minut

Číslo měření	Tloušťka[ $\mu\text{m}$ ]
1	9,4
2	7,5
3	8,6
4	8,6
5	6,9
6	8,4
7	8,8
8	9,4
9	6,8
10	7,3
<b>Průměrná hodnota</b>	<b>8,17</b>

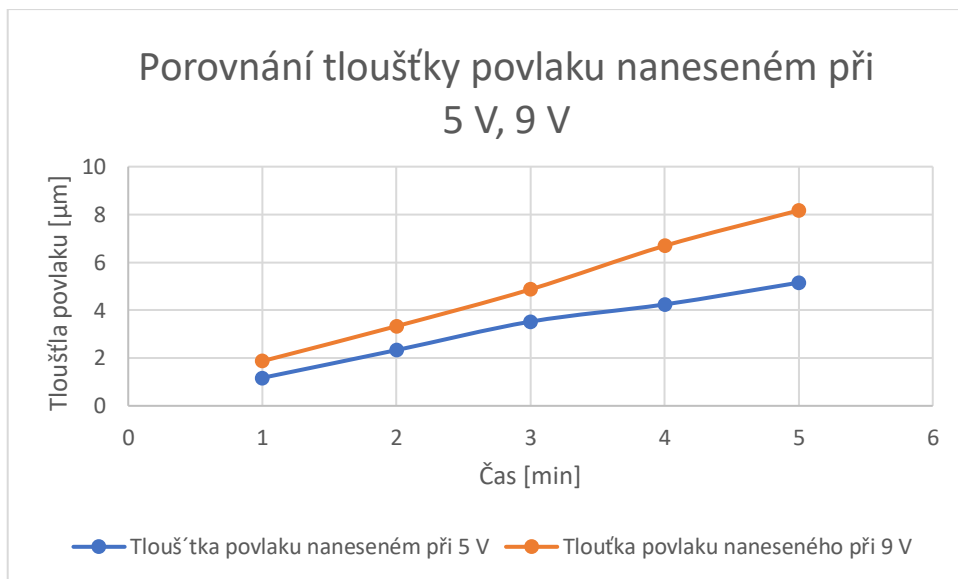


Graf 4 Závislost naměřené tloušťky povlaku na čase – 9 V

### 3.6 Zhodnocení experimentu



Graf 5 Porovnání hmotností povlaku při 5 V, 9 V



Graf 6 Porovnání tloušťky povlaku při 5 V, 9 V



## 4 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo seznámit se s problematikou lokálního galvanického pokovení. Úkolem bylo zjistit, zda je tato technologie vhodná pro renovaci povlaků a popřípadě jaké jsou její alternativy pro tuto aplikaci.

Experimentální část se zabývala sestavením pracoviště tampónového pokovení, které bylo následně použito na nanesení několika niklových povlaků, kterým byly následně zkoumány jejich vlastnosti. Jmenovitě hmotnost naneseného povlaku, drsnost povrchu povlaku a tloušťka naneseného povlaku. Po přezkoumání výsledků se potvrdilo, že při vyšším elektrickém napětí byla hmotnost i tloušťka naneseného povlaku vyšší než při napětí nižším. Hodnota drsnosti povrchu se rovněž zvýšila. Nanesený povlak také téměř odstranil stopy po kartáčování, neboť rozdíl hodnot drsnosti mezi měřením ve svislém směru a měřením ve vodorovném směru nebyl tak výrazný, jako u měření před pokovením.

Závěrem se dá říci, že technologii tampónování lze využít jak k renovaci povlaků, tak ke zhotovení zcela nových povlaků. Při této technologii lze vylučovat povlaky jak jednovrstvé, tak povlaky slitinové nebo i povlaky kompozitní. Bylo zjištěno, že změna elektrického napětí při tampónovém pokovení v tomto případě neměla nijak zásadní vliv na kvalitu výsledného povlaku a předpoklad, že při zvýšeném elektrickém napětí se přenesou na povrch větší množství povlaku se potvrdil.

## Bibliografie

- [1] KREIBICH, V., HOCH, K.: *Koroze a technologie povrchových úprav*. 2. vydání. Praha: ČVUT v Praze, 1991
- [2] ŽÁK, V., KUDLÁČEK J.: Technologie lokálního galvanického pokovování (tampónování). *Povrcháři* [online]. Praha, 2008, 2008, 2008(3), 1-4 [cit. 2020-04-12]. Dostupné z: [http://povrchari.cz/kestazeni/200803\\_povrchari.pdf](http://povrchari.cz/kestazeni/200803_povrchari.pdf)
- [3] VANEK, D.: What is Brush Plating? SIFCO ASC [online]. Cincinnati Ohio USA, 2016, 31st August 2016, 1 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <https://www.sifcoasc.com/what-is-brush-plating/>
- [4] WHAT IS SELECTIVE PLATING? THE ADVANTAGES OF BRUSH PLATING: THE ADVANTAGES OF BRUSH PLATING VS. IMMERSION WASHING. *SPC* [online]. 2017 [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://www.sharrettsplating.com/blog/selective-brush-plating/>
- [5] ROWBOTHAM, J.: *Brush plating for the 21st century* [online]. [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <https://www.pexa.com/wp-content/uploads/brush-plating.pdf>
- [6] WOODFORD, Ch.: Electroplating: What is electroplating. *Explainthatstuff* [online]. 20 May 2019 [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <https://www.explainthatstuff.com/electroplating.html>
- [7] Galvanovna omega: Galvanické pokovení [online]. 2009 [cit. 2020-06-14]. Dostupné z: <http://www.galvanovnaomega.cz/pokov/pokoveni.html>
- [8] Titan sisak: Brush plating [online]. 2012 [cit. 2020-06-14]. Dostupné z: [http://www.titansisak.com/En\\_BrushPlating.html](http://www.titansisak.com/En_BrushPlating.html)
- [9] New materials international: Selective brush plating for industrial applications [online]. 2012 [cit. 2020-06-14]. Dostupné z: [https://www.newmaterials.com/News\\_Detail\\_Selective\\_brush\\_plating\\_for\\_industrial\\_applications\\_13438.asp](https://www.newmaterials.com/News_Detail_Selective_brush_plating_for_industrial_applications_13438.asp)

- [10] URBANEC, F.: Návrh zkušebního zařízení pro automatické galvanické tamponování [online]. Liberec, 2011 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: [https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/10008/mgr\\_21481.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/10008/mgr_21481.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci.
- [11] ZANGARI, G. Fundamentals of Electrodeposition. *Encyclopedia of Interfacial Chemistry* [online]. 2018, , 141-160 [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/nickel-plating>
- [12] OBR, L.: *TRIBOLÓGIA: Porovnaní technologií alkalického bezkyanidového a slabě kyselého zinkování* [online]. [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-12015/porovnan-technologie-alkalickeho-bezkyanidoveho-a-slabe-kyseleho-zinkovan.html>
- [13 ] Advanced Coating: HVOF Spray Process [online]. [cit. 2020-07-08]. Dostupné z: <http://www.advanced-coating.com/english/spraying-hvof.htm>
- [14] Servis Armatur: VYSOKORYCHLOSTNÍ NÁSTŘÍK HVOF (High Velocity Oxy-Fuel) [online]. [cit. 2020-07-08]. Dostupné z: <http://www.servisarmatur.cz/index.php?page=high-velocity-spray>
- [15] J.R. Davis & Associates. a ASM International. Thermal Spray Society Training Committee. *Handbook of thermal spray technology*. Materials Park, OH : ASM International. 2004. ISBN 0871707950.
- [16]Oerlicon: Electric Arc Wire Spray [online]. [cit. 2020-07-13]. Dostupné z: <https://www.oerlikon.com/metco/en/products-services/coating-equipment/thermal-spray/processes/electric-arc-wire/>
- [17] *Servis Armatur: NÁSTŘÍK ELEKTRICKÝM OBLOUKEM - ELECTRIC ARC* [online]. [cit. 2020-07-13]. Dostupné z: <http://www.servisarmatur.cz/index.php?page=electric-arc-spray>
- [18] *Tocalo: Electric Arc Spraying Process (Arc Process)* [online]. [cit. 2020-07-13]. Dostupné z: <https://www.tocalo.co.jp/english/technical/arc.html>
- [19] *Advanced Coating: Plasma Spray Process* [online]. [cit. 2020-07-13]. Dostupné z: <http://www.advanced-coating.com/english/spraying-plasma.htm>

- [20] *Oerlikon: Atmospheric Plasma Spray* [online]. [cit. 2020-07-13]. Dostupné z: <https://www.oerlikon.com/metco/en/products-services/coating-equipment/thermal-spray/processes/atmospheric-plasma/>
- [21] *Plasmametal: Žárové Stříkání* [online]. [cit. 2020-07-13]. Dostupné z: <http://plasmametal.mrazon.cz/pouzite-technologie>
- [22] *Tribo Engineering: Nástrík Plamenem* [online]. [cit. 2020-07-13]. Dostupné z: <https://www.triboing.cz/nastrik-plamenem.html>
- [23] *Engineering.sk: Technologie žárových nástřiků* [online]. [cit. 2020-07-13]. Dostupné z: <https://www.engineering.sk/clanky2/stroje-a-technologie/3864-technologie-zarovych-nastriku>
- [24] *Science Direct: Nickel Plating* [online]. [cit. 2020-07-13]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/nickel-plating>
- [25] The Future of Electroplating Technology. *Goldplating* [online]. [cit. 2020-07-26]. Dostupné z: <https://www.goldplating.com/blogs/news/the-future-of-electroplating-technology>
- [26] NORRIS, J.C. Brush Plating. *Sciencedirect* [online]. [cit. 2020-07-26]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S002605769593384E?via%3Dihub>
- [27] KUDLÁČEK, J., ŽÁK, V., PAKOSTA, M.: Výroba Ni forem elektroformováním. *Povrcháři* [online]. 2009, (3) [cit. 2020-07-26]. Dostupné z: [http://www.povrchari.cz/kestazeni/200903\\_povrchari.pdf](http://www.povrchari.cz/kestazeni/200903_povrchari.pdf)
- [28] Sulfamátový Nikl. *Speciální Povrchové Úpravy* [online]. [cit. 2020-07-27]. Dostupné z: <https://spu-ostrava.cz/cs/technologie/sulfamatovy-nikl/>
- [29] RUML, V., SOUKUP, M.: *Galvanické pokovování*. Vyd. 1. Praha: SNTLNakladatelství technické literatury, 1981, 321 s.
- [30] VANEK, D.: *An In-Depth Look at Selective Plating Processes: Brush, Anodizing, and Electropolishing* [online]. [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/sdfe/pdf/download/eid/S0026057610801850/first-page-pdf>

- [31] ZHONG, Z., J. CLOUSER, S.: *Nickel–tungsten alloy brush plating for engineering applications* [online]. [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0257897213012140?via%3Dihub>
- [32] *Elektro Bečov* [online]. [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <http://www.elektrobecov.cz/ceniky.html>
- [33] *Auto Český Ráj* [online]. [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <http://autoceskyraj.cz/cenik/>