

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Lokální galvanické pokovení v extrémním prostředí
Plating and renovation in extreme conditions

AUTOR: Martin Lamač
STUDIJNÍ PROGRAM: Výroba a ekonomika ve strojírenství
VEDOUCÍ PRÁCE: doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.
KONZULTANT PRÁCE: Ing. Jiří Kuchař

PRAHA 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně, a to výhradně s použitím pramenů a literatury, uvedených v seznamu citovaných zdrojů.

V Praze dne:

.....
Martin Lamač

Abstrakt

Bakalářská práce je rozdělena na část teoretickou a praktickou. V teoretické části je popsána problematika galvanotechniky a konkrétně galvanického tampónového pokovení. Dále jsou rozebrány vlivy elektrických zdrojů na tvorbu povlaku. Práce se též věnuje návrhu použití tamponové technologie v extrémním prostředí s využitím solárních panelů, jakožto zdroje elektrické energie.

Praktická část práce se věnuje návrhu a sestavení tamponového pracoviště. Na tomto pracovišti je následně vytvořeno několik vzorků povlaků s vysokorychlostním elektrolytem, který je pro tuto technologii přímo určen a následně s klasickým Wattsovým elektrolytem. U těchto vytvořených vzorků se hodnotila jejich tloušťka a tím tak zjišťovala vylučovací rychlost obou elektrolytů.

Klíčová slova: Tampónové pokovení, lokální galvanické pokovení, galvanotechnika

Abstract

Bachelor thesis includes two parts, theoretical and practical. In the theoretical part, description of electroplating especially galvanic plating and brush plating. Furthermore, the influence of electric sources on the coating formation is discussed in the thesis. The conclusion of the thesis is mainly focused on draft of using a tampon technologie in extreme conditions, using a solar panels as a main source of energy.

Practical part of thesis is dedicated to building a tampon workplace. Several coating samples are then created at this workplace using a high-speed electrolyte, which is specially designed to be used for this type of technology. There are also samples with classic Watts electrolyte. The thickness of these samples was evaluated to determine the deposition rate of both electrolytes.

Keywords: Brush plating, pen plating, electroplating

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce **doc. Ing. Viktoru Kreibichovi, CSc.** a konzultantovi **Ing. Jiřímu Kuchařovi**, kteří mě uvedli do problematiky a byli mi nápomocni při řešení všech problémů, které při této práci vznikly. Dále **Ing. Petru Szelagovi** za poskytnutí elektrolytu a odborné konzultace. Nakonec mé rodině, která mě celou dobu podporovala.

Obsah

1	Úvod	8
2	Teoretická část	9
2.1	Rozbor galvanotechniky a její vývoj	9
2.2	Technologie galvanického pokovení	10
2.2.1	Princip technologie.....	10
2.2.2	Vlastnosti galvanických lázní a povlaků.....	13
2.2.3	Technologický postup galvanického pokovování.....	14
2.2.4	Vybrané druhy povlaků	15
2.2.5	Popis zařízení.....	18
2.2.6	Problematika galvanicky vytvářených povlaků	19
2.3	Galvanoplastika	20
2.4	Technologie tampónového pokovení	21
2.4.1	Princip technologie.....	22
2.4.2	Popis zařízení.....	24
2.4.3	Problematika tampónového pokovení.....	24
2.4.4	Odlišnost galvanické a tampónové technologie	25
2.5	Zdroje stejnosměrného proudu v galvanotechnice	25
2.5.1	Popis a parametry zdroje stejnosměrného proudu v galvanotechnice	25
2.5.2	Teoretický zdroj pro extrémní použití.....	26
3	Praktická část	28
3.1	Návrh pracoviště tampónového pokovení včetně zdroje stejnosměrného proudu.....	28
3.2	Sestavení pracoviště.....	29
3.2.1	Popis částí zařízení lokálního galvanického pokovení.....	29
3.2.2	Kompletace zařízení pro tampónovou technologii	31
3.3	Průběh zkoušky pokovení	32

3.3.1	Pokovované vzorky.....	32
3.3.2	Předúprava povrchu.....	32
3.3.3	Použité elektrolyty a jejich parametry.	33
3.4	Vyhodnocení zkoušky pokovení.....	34
3.5	Technicko-ekonomické zhodnocení.....	46
4	Závěr.....	47
5	Seznam použitých zdrojů	48
6	Seznam obrázků	51

1 Úvod

V době, plně stále se rozvíjejících technologií, je nutné dodržovat nespočet různých požadavků, aby výsledný produkt byl co nejvíce konkurenceschopný. Především se hledí na co nejširší funkčnost, dobrou kvalitu a v neposlední řadě také příznivou cenu. Stejně tomu tak je i v oblasti povrchových úprav.

Povrchová úprava galvanickým pokovením má v oblasti strojírenství pro svoji přesnost a universálnost široké zastoupení. Dokáže splnit požadavky, jak z hlediska opotřebení, tak i protikorozního nebo vzhledového. Ale i tato technologie potřebuje mimo jiné stálý přísun elektrické energie.

Teoretická část této práce se zabývá tím, jak by se technologie lokálního galvanického (tampónového) pokovení mohla stát mobilní a jak by se dala použít v extrémním prostředí.

Praktická část práce je zaměřena na návrh a realizaci pracoviště pro lokální galvanické pokovení a zjištění vylučovací rychlosti povlaku s použitím elektrolytu k této technologii přímo určeném v porovnání s klasickým elektrolytem určeným pro použití v galvanických lázních.

2 Teoretická část

2.1 Rozbor galvanotechniky a její vývoj

Galvanické pokovování je děj, při kterém dochází k tzv. elektrolýze. Ta vzniká za přítomnosti stejnosměrného proudu a dochází při ní k přenosu kationtů jednoho kovu na povrch kovu druhého. To vše probíhá v kapalném prostředí v elektrolytu. Galvanicky vyloučená vrstva může být i několikanásobná a tvořená více různými kovy. Tloušťka povlaku se pohybuje v řádu mikrometrů a to konkrétně v závislosti na čase. Jednou z možných nevýhod technologie může být nerovnoměrnost vyloučené vrstvy a tedy její různá tloušťka v jednotlivých místech. K většímu nárůstu vrstvy dochází často na hranách pokovených výrobků. Její nespornou výhodou naopak je její universálnost a přesnost [2, 3].

První myšlenky galvanického pokovení můžeme zaznamenat již v 18. století u italského chemika Luigiho Galvaniho, po kterém byla později tato technologie pojmenována. Byl to právě on, kdo si jako první uvědomil potenciál této technologie, při jeho studiu pohybu iontů v elektrickém poli. Později se zárodek této technologie dostává do Francie, kde se ho pokoušel chemik a profesor Luigi Brugnatelli prosadit tím, že jej používal k pozlacení stříbra. Ovšem z důvodu tehdejší historické situace se tento nápad nepodařilo prosadit. Až po dlouhých třiceti letech se tento objev dostává znovu na scénu, když jej současně ruští i britští inženýři používali k mědění desek používaných v tiskařských strojích. Větší průlom galvanického pokovení a jeho využívání v průmyslu nastal v roce 1840 díky britskému chirurgovi Johnu Wrightovi, který jej využíval opět ke zlacení nebo stříbření. Jeho kolegové si dále nechali technologii patentovat a rozšířili ji po Evropě a i Spojených státech. Přispěli tomu také známí fyzici Georg Ohm, který definoval Ohmův zákon nebo Michael Faraday, který ve svých zákonech řešil přesun elektricky nabitě hmoty a elektrického náboje. Zprvu má galvanické pokovení velkou oblibu ve Francii u bohatší vrstvy, která měla v oblibě dekorativní předměty vyrobené pomocí této technologie. Velký nástup technologie do průmyslové výroby byl na začátku 20. století, a to hlavně kvůli příchodu dvou světových válek [1, 7].

Vývoj tampónového pokovení je historicky podobný jako tomu bylo u galvanického pokovení. První období, které stojí za zmínku je za války roku 1938, kdy byla ve Francii tato technologie zvládnuta a odstartovala tak možnost komerčního využití v celé Evropě od roku 1947 a dále pak ve Spojených státech od roku 1959. Původně bylo tamponování omezeno pouze na malé lokální opravy ale později s novými znalostmi chemie, fyziky a elektrotechniky bylo možné vylučovat kovové povlaky i na větších plochách. Ve zdokonalování také výrazně pomohla výroba nových druhů elektrolytů a větší důraz na před přípravu pokovovaných ploch [4].

Vývoj pokračuje až dodnes a to hlavně v oblasti ekologické. Postupně je zde snaha ustupovat od toxických látek (kyanidů nebo šestimocného chromu) a nahrazovat je, životnímu prostředí, mnohem šetrnějšími lázněmi a aditivy [1].



Obrázek 1 Historická galvanovna [5].

Jednou ze samostatných částí elektrochemie je galvanotechnika, která se zabývá elektrolytickým pokovováním. Dělí se na galvanické pokovování a galvanoplastiku. Při galvanickém pokovování se na základní materiál vylučují tenké kovové povlaky v galvanických lázních. Jejich tloušťka se nejčastěji pohybuje od 0,1 μm do 100 μm . V galvanoplastice se nanášejí tlusté povlaky, jejichž tloušťky se pohybují až v řádech milimetrů [12].

2.2 Technologie galvanického pokovení

V technologii galvanického pokovování je cílem vylučování relativně tenkých kovových vrstev na výrobky z běžných kovů nebo i plastů. Nejčastěji se kovové povlaky vylučují za účelem ochrany proti korozi, ale protože se tato technologie často používá pro výrobky spotřebního zboží, tak je velice důležitý i vzhled povlaků. Obecně se tedy dá říci, že požadavek je, aby povlaky byly lesklé a aby měly dostatečné ochranné vlastnosti proti korozi.

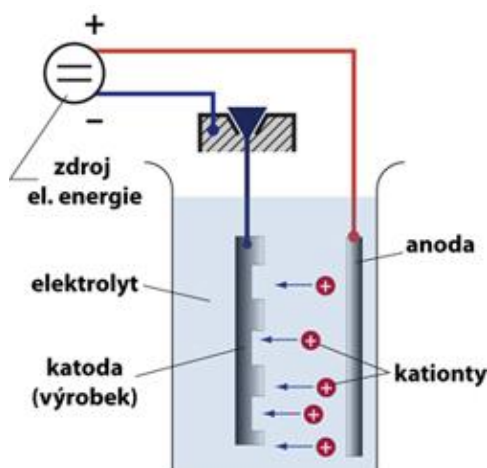
Dalším důvodem vytváření galvanicky vyloučených povlaků je dosažení různých povrchových vlastností, např. tvrdost, otěruvzdornost, kterých by se hutnickým způsobem výroby těžko dosahovalo, nebo by jejich výroba byla příliš nákladná [6, 8, 12].

2.2.1 Princip technologie

Princip galvanického pokovování spočívá v elektrolýze vodných roztoků kovových solí. Ta probíhá při působení stejnosměrného na napětí mezi dvěma elektrodami, katodou a anodou.

Na zápornou elektrodu, tedy katodu je připojen materiál, který je pokovovaný a na kterém při procesu dochází k redukci kationtů. Na kladnou elektrodu, tedy anodu je připojen materiál, který se rozpouští, doplňuje tím úbytek kovu z roztoku a dochází na něm k oxidaci atomů.

Důležitou vlastností elektrod k tvoření kovového povlaku jsou takzvané dislokace. Dislokace jsou poruchy krystalové mřížky, které mají v tomto případě velkou roli při vzniku krystalizačních center. Vznikající krystaly rozpouštěného kovu se na sebe nabalují, zpočátku kopírují základní materiál a později při větších tloušťkách povlaku přebírají mřížku kovu, jímž se povlak vytváří. Nanášený kov je tedy uchycen na základním materiálu pouze mechanicky.



Obrázek 2 Zjednodušené schéma principu galvanického pokovení [3].

Každá anorganická sůl má kladně i záporně nabitě částice tzv. ionty, které jsou v pevném stavu uspořádány. Rozpuštěním soli ve vodě se ionty uvolňují a mohou se tak volně v roztoku pohybovat. Např.:



Počet záporně a kladně nabitých částic je stejný a roztok se tím pádem jeví jako elektricky neutrální. Zavedením stejnosměrného proudu do roztoku se ale částice začnou pohybovat ve smyslu, že k záporně nabitě elektrodě (katodě) jsou přitahovány kladné ionty tzv. kationty a ke kladné elektrodě (anodě) jsou přitahovány ionty záporné tzv. anionty. Dotykem s elektrodou pak ionty ztrácí svůj náboj a dochází k tomu, že na katodě kationty krystalizují do formy povlaku a na anodě dochází k rozpouštění elektrody. Lázeň tedy v podstatě slouží k tomu, aby převedla kov z anody na katodu, kterou v reálu tvoří pokovovaný předmět.

Forma vyloučeného kovu je dána pracovními podmínkami a složením lázně. Používají se přísadové látky, které podporují tvorbu zárodků, což napomáhá vylučování hustých povlaků s malou pórovitostí. Vzniká tak lesklý povrch s malou drsností, což je dnes běžným požadavkem v galvanotechnice.

Dnešní galvanické lázně tedy obsahují převážně soli vylučovaného kovu a k nim se přidávají kyseliny nebo hydroxidy, pro úpravu pH lázně, jenž ovlivňuje rozpouštění a vodivost. V některých případech se ale není možné vylučovat kov v roztocích již zmíněných jednoduchých solí, a proto těchto případech se používají komplexní soli např. ve formě kyanidů.

Jedná-li se o výpočetní stránku elektrolýzy, tak ta je popsána Faradayovými zákony. Ty říkají, že množství vyloučené látky je přímo úměrné náboji Q , který projde elektrolytem, přičemž množství látek vyloučených určitým nábojem jsou v poměru elektrochemických ekvivalentů A_e .

$$m = A_e * Q \quad (2)$$

Na elektrodách ještě ale probíhají i další reakce, nejčastěji se jedná o vylučování vodíku a kyslíku, které způsobují, že dodaný elektrický proud není kompletně využit pro rozpouštění a vylučování kovu. Část proudu, která je využita, se nazývá proudový výtěžek η , který se určuje na katodě nebo anodě a platí pro něj vzorec:

$$\eta_{katoda/anoda} = \frac{m_{skutečné}}{m_{teoretické}} * 100 [\%] \quad (3)$$

$m_{skutečné}$ – skutečně vyloučené množství rozpuštěného kovu

$m_{teoretické}$ – vypočítané množství kovu z Faradayova zákona

Množství vyloučeného kovu je tedy dáno vztahem:

$$m = A_e * I * t * \eta \quad (4)$$

kde

m = hmotnost vyloučeného kovu [g]

A_e = elektrochemický ekvivalent [$g * A^{-1} * s^{-1}$]

I = celkový elektrický proud [A]

t = doba elektrolýzy [s]

η = proudový výtěžek [%]

Katodický proudový výtěžek se u jednotlivých typů lázní a kovů liší. Například u kyanidových jeho hodnoty dosahují 60 – 90 %, u kyselých 95 – 98% a u chromových s kyselinou sírovou jen 10 – 20 %.

Anodický výtěžek často bývá vyšší než 100 % a to z důvodu rozpouštění anod v lázni bez vlivu elektrického proudu.

Vezme-li se v potaz proudový výtěžek a hmotnost vyloučeného kovu, tak je možné dát tyto veličiny do rovnosti a získáme vztah pro rychlý přehled při praktickém pokovování.

$$h \cdot s \cdot o = A_e \cdot I \cdot t \cdot \eta \quad (5)$$

kde

h = tloušťka povlaku [mm]

s = měrná hmotnost kovu [$g \cdot mm^{-3}$]

o = plocha pokoveného předmětu [mm^2]

A_e = elektrochemický ekvivalent [$g \cdot A^{-1} \cdot s^{-1}$]

I = celkový proud [A]

t = čas pokovování [s]

η = proudový výtěžek [%]

[6,8]

2.2.2 Vlastnosti galvanických lázní a povlaků

Proudová hustota

Pro galvanické pokovování významná tzv. proudová hustota. Jde o podíl proudu a plochy pokovovaného materiálu s jednotkou [A/dm^2]. Je dobré pracovat při vyšších hodnotách proudové hustoty, protože díky tomu se zkracuje potřebný čas na pokovení. Galvanizace ale má své horní a dolní a hranice pro proudovou hustotu. Při horní hranici proudové hustoty dochází k rychlému vylučování vodíku a tím vznikají tzv. spálené povlaky, které mají houbovitý vzhled. Při dolní hranici proudové hustoty je vylučování příliš pomalé a povlaky nejsou kvalitní. Při poklesu pod spodní hranici ustává vylučování úplně. Proto je potřebné každé lázni zvolit její optimální parametry [6].

Vylučovací rychlost

V praxi se udává v [$\eta m/min$] a jedná se tedy o tloušťku kovu vyloučeného za jednotku času při dané proudové hustotě.

Hloubková účinnost lázně

Hloubková účinnost lázně je dána jako vztah mezi rozložením tloušťky povlaku a proudové hustoty. Při pokovování členitých výrobků je na různých místech různá proudová

hustota. Mluvíme-li tedy o dobré hloubkové účinnosti, je povlak rozložen rovnoměrněji, než jak by proudová hustota udávala.

Hloubkovou účinnost je možno měřit ve vaničce podle Haringa-Blooma, ale obecně velmi dobré hloubkové účinnosti se zpravidla dosahuje u kyanidových lázní.

Krycí schopnost lázně

Jde o schopnost lázně vylučovat souvislý povlak při nejmenší proudové hustotě. Měření je možné provádět při pokovování vnitřních trubek, kde se sleduje vzdálenost, do které se souvislý povlak ještě vyloučí.

Vyrovňovací schopnost lázně

O vyrovňovací schopnosti lázně se dá mluvit, když po pokovení je drsnost povlaku menší než drsnost základního materiálu. Lázeň s dobrou vyrovňovací schopností je schopna vyplnit prohlubně v mikroprofilu a způsobí tím tak, že tloušťka povlaku v prohlubních je větší než na jejich vrcholcích. Tento faktor výrazně ovlivňuje lesk výsledného povlaku [8].

2.2.3 Technologický postup galvanického pokovování

Předúpravy povrchu v galvanotechnice patří k nejsložitějším mezi povrchovými úpravami. Je to především z důvodu, že přestup kovového iontu na katodu a jeho následné začlenění do krystalové mřížky vyžaduje dokonalý styk fází. Volba postupu do jisté míry závisí na druhu a stavu povrchu pokovovaného materiálu, typu lázně nebo technice pokovení. V zásadě je ale většinou stanoven podobně.

Předúpravy povrchu:

- odmaštění v organických rozpouštědlech – vhodné pro silně zamaštěné a znečištěné povrchy
- odmaštění v alkalických přípravcích – provádí se ponorem nebo postřikem
- moření v kyselině chlorovodíkové – pro zrezivělé nebo zokujelé materiály
- elektrolytické odmaštění – principem je zapojení pokovovaného dílu jako katodu
- dekapování – slouží k odstranění pasivních vrstev a provádí se v kyselině sírové nebo chlorovodíkové

Samotné pokovení:

- pokovení

Následné operace:

- oplach - operace jsou proloženy oplachy, provádí se opět ponorem nebo postřikem
- sušení

[6]

2.2.4 Vybrané druhy povlaků

Galvanické zinkování

Zinkové povlaky se převážně používají jako ochrana před atmosférickou korozí. Protože tyto povlaky chrání základní materiál anodicky, tak jsou schopny svou funkci plnit i v místech jejich narušení. Zinkové povlaky tvoří více než polovinu z galvanicky upravovaných povrchů. Dobře odolávají např. při působení slané vody, v prostředí se sirným znečištěním nebo prostředí tvrdých vod.

Lázně elektrolytického zinkování

- Alkalické kyanidové
- Alkalické nekyanidové
- Slabě kyselé

Alkalické kyanidové lázně jsou silné alkalické roztoky, kde hlavní složku tvoří komplexní alkalické zinečnatany a kyanozinečnatany. Výhodou těchto lázní je jejich komplexnětvorná funkce a tím pádem schopnost obejít se bez přísad. Většinou tyto elektrolyty obsahují zhruba 50g/l zinku a 150g/l kyanidu sodného. Jsou schopny vylučovat kvalitní lesklé nebo pololesklé povlaky a dosahují vysokých vylučovacích rychlostí. Lázně mají výbornou hloubkovou účinnost, jsou provozně stabilní a pracují bez míchání elektrolytu. Jejich hlavní nevýhodou je velká ekologická zátěž a s tím spojené vysoké náklady na čištění odpadních vod. Z důvodu této nevýhody se existují i lázně s menším obsahem kyanidu, které jsou ovšem kompromisem na úkor technických vlastností a je u nich zapotřebí využívat přísady, např. pro tvorbu lesku.

Alkalické nekyanidové lázně nové generace jsou tvořeny 9-11g/l zinku, 120g/l hydroxidu sodného. Největší výhodou jsou jejich dobré ekologické vlastnosti, ale se zdokonalováním elektrolytů mají dobré i technické vlastnosti blízké kyanidovým lázním.

Slabě kyselé lázně vytváří z hlediska vzhledových vlastností nejkvalitnější zinkové povlaky, dále má lázeň dobrou hloubkovou účinnost, provozní spolehlivost a nízké náklady na provoz. K nevýhodám se ale řadí vysoké nároky na čistotu pokovovaného zboží a k chodu je potřeba zařízení, které je schopno vzdorovat kyselému prostředí. Lázně jsou složeny z chloridu zinečnatého a chloridu sodného, či draselného. Dále je nutné udržování pH kyselinou boritou.

Galvanické kadmiování

Kadmiové povlaky chrání základní materiál stejně jak zinkové povlaky anodicky. Na běžné atmosféře mají oproti zinku o něco horší vlastnosti, naopak jejich výhody jsou dobré vlastnosti při převodu elektrického proudu, lepší kluzné a tažné vlastnosti a jsou více

preferovány pro rozebíratelné spoje, a to z důvodu, že nenabývají na svém objemu. Kadmium je však toxické a oproti zinku dražší, proto je jeho použití omezoáno.

Galvanické kadmiování se provádí převážně v kyanidových lázních, kde je kadmium vázáno ve formě komplexních aniontů. Používá se z důvodu své stability a nenáročnosti na obsluhu. Z důvodu snahy odstranění kyanidů z provozů byli vyvinuty nekyanidové elektrolyty, které jsou na bázi síranu kademnatého, kyseliny sírové a leskutvorných přísad. Tyto lázně ale na začátku pokovení vyžadují dokonale čistý povrch.

Galvanické mědění

Galvanické měděné povlaky je možné rozdělit do tří skupin, kde slouží jako:

- Mezivrstvy – v systému Cu-Ni-Cr nebo při pokovování ocelí, hliníku, zinku
- Funkční povlaky – tištěné spoje, galvanoplastika
- Dekorativní povlaky – zde je nutnost další ochrany např. bezbarvým lakem

K vylučování mědi se ve většině případů používají kyanidové a kyselé mědicí lázně.

Kyanidové lázně se udržují v provozu díky jejich možnosti přímého pokovení oceli, hliníku, zinku a dalších termodynamicky méně stálých kovů. Mají dobrou hloubkovou účinnost a krycí schopnost. V tomto ohledu jsou i přes svojí jedovatost nenahraditelné.

Kyselé mědicí lázně jsou druhé nejrozšířenější lázně pro galvanické mědění. Lázně se skládají ze síranu měďnatého, kyseliny sírové a leskutvorných přísad. Z toho důvodu se z těchto lázní vylučují velmi lesklé povlaky s dobrou vyrovnávací schopností. Dalšími jejich výhodami jsou široké rozmezí použitelných proudových hustot, vysoká vylučovací rychlost a snadná likvidace. Lázeň je ale náročná na obsluhu a není zde ale možnost přímého pokovení oceli, zinku nebo hliníku, neboť dochází k odlupování mědi z povrchu.

Galvanické niklování

Galvanicky vyloučené povlaky lze opět rozdělit do tří skupin:

- Ozdobně ochranné povlaky
- Funkční povlaky
- Elektrolyticky vyloučený nikl, který neslouží jako povlak

Ozdobně ochranné povlaky niklu jsou nejrozšířenější. Většinou se užívají několikavrstvé povlaky, jako například Ni-Cr nebo Cu-Ni-Cr, ale i v tomto případě tvoří hlavní ochranu právě nikl.

U niklových funkčních povlaků se mnohdy nehledí tolik na vzhled, jako na jeho fyzikálně chemické vlastnosti. Například u ocelových konstrukcí nikl zabraňuje, aby látky, jež přijdou s konstrukcí do styku nebyly znečištěny železem. Mnohočetné přísady do galvanických lázní jsou

schopny měnit vlastnosti vyloučeného niklu, a to například tak, že jsou schopny mu dodat mazací, magnetické nebo brusné vlastnosti.

Za třetí je možné z galvanického niklu vylučovat velmi tlusté samostatné součásti. V tomto případě se jedná o tzv. galvanoplastiku, které se budu věnovat v dalších kapitolách.

Pro galvanické niklování se používá tzv. Wattsův elektrolyt, který se skládá ze síranu nikelnatého, chloridových iontů a kyseliny borité. Tento Wattsův elektrolyt je ale často modifikován pro vylepšení mechanických vlastnosti vyloučeného niklu, např. hladší povlak, větší hloubková účinnost, vyšší proudová hustota atd., avšak dochází při tom k většímu vnitřnímu pnutí povlaků. S vývojem lázní se změnily i používané anody, které plní větší požadavek čistoty, aby nedocházelo ke znečišťování lázní. I přes to ale k nějakému znečištění dochází, a proto jsou nutné filtrace lázně, které zbavují lázeň od mechanických nečistot.

Nejčastější druhy vyloučených niklových povlaků:

- **Lesklý niklový povlak** – dekorativní povlak vyloučený z lázní s leskutvornými přísadami, obsahuje síru
- **Pololesklý niklový povlak** – základní vrstva při dvojvrstevném a trojvrstevném niklování, neobsahuje síru
- **Velmi lesklý niklový povlak** – mezivrstva mezi lesklým a pololesklým niklem, až 0,5% síry
- **Směsný niklový povlak** – vylučuje se z lázní s nerozpustnými částicemi
- **Mikrotrhlinový niklový povlak** – má velké pnutí a vylučuje se z chloridových elektrolytů
- **Saténový niklový povlak** – dekorativní povlak saténového vzhledu

Dále byly vyvinuty ozdobně ochranné slitinové povlaky Ni-Fe jako náhrada lesklých niklových povlaků za účelem úspory niklu. Tyto povlaky jsou z hlediska korozní odolnosti srovnatelné s niklem, přičemž mají obsah železa do 30%.

Galvanické chromování

Galvanické povlaky chromu se dělí na dvě skupiny. Používají se jednak jako ozdobně ochranné pokovení, tak i jako funkční pokovení v oblasti tvrdých a otěruvzdorných povlaků.

Korozní odolnost vůči působení atmosféry je velmi dobrá, protože chrom vytváří na svém povrchu tenkou neviditelnou vrstvu oxidů, díky které se stává pasivním. Chrom má ale pórovitou strukturu, která při menších tloušťkách povlaku umožňuje prostup vlhkosti k základnímu materiálu. V tomto případě se pak chrom chová jako katoda a dochází

k rozpouštění základního materiálu. Z toho důvodu je nutné vylučovat tloušťky chromu větší než 50 μm .

U dekorativních povlaků chromu dosahuje tloušťka vrstvy pouhých 0,3 – 0,5 μm . Jsou tedy příliš tenké, proto nemohou přímo sloužit jako protikorozní ochrana. Používají se teda v kombinacích s jinými povlaky, kdy chrom slouží jako poslední vrstva.

U funkčních galvanicky vyloučených chromových povlaků je významná jejich otěruvzdornost a hlavně tvrdost, která je největší u galvanických povlaků. Dosahuje hodnot 700 – 1100 HV, přičemž oproti tomu chrom vyrobený hutnickým způsobem má tvrdost okolo 300 HV. Tomuto způsobu vylučování chromu se říká tvrdé chromování.

Povlaky drahých kovů

Povlaky drahých kovů jsou typické pro své výborné fyzikální a chemické vlastnosti. Jsou stálé proti korozi a chemikáliím a mají dobrou elektrickou vodivost. Jako nejrozšířenější povlaky drahých kovů můžeme zmínit stříbrné, zlaté a rhodiové.

Galvanicky vyloučené povlaky stříbra patří k nejpoužívanějším, mají velmi dobrou elektrickou vodivost a odolnost proti oxidaci. Z toho důvodu jsou hojně používány v elektroprůmyslu. Jejich hlavní nevýhodou je slučivost se sírou, která vytváří tmavé korozní zplodiny na povrchu a zhoršuje tak elektrickou vodivost.

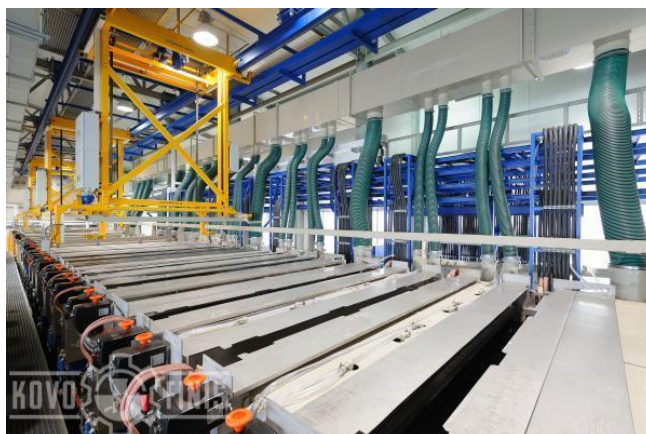
Zlaté povlaky mají stejně jako ty stříbrné dobré elektrické vlastnosti, kde zlato má o něco menší elektrickou vodivost, ale o to je více univerzální. Má výbornou pájitelnost a je velmi stálé.

Rhodiové povlaky vynikají velkou mikrotvrdostí a otěruvzdorností. Používá se na součástkách, u kterých je vyžadována dlouhá životnost a velká spolehlivost [6, 8].

2.2.5 Popis zařízení

Zařízení pro galvanické pokovení vypadá v praxi zjednodušeně jako vana nebo více van, do kterých se pokovovaný materiál buď zavěšuje, nebo vkládá v bubnech, či koších. Přenos materiálu mezi vanami může být realizován ručně nebo pomocí manipulátorů. Dále mohou být galvanické jednotky vybaveny např. filtry, ohřivači nebo míchadly elektrolytu.

Může se jednat o celé galvanické linky umístěné v halách, určené k pokovování velkých sérií, nebo jsou v dnešní době k dispozici i malé galvanické jednotky, které je možné umístit např. na obyčejný stůl. Takové zařízení se používá především ve šperkařství [10, 11, 23].



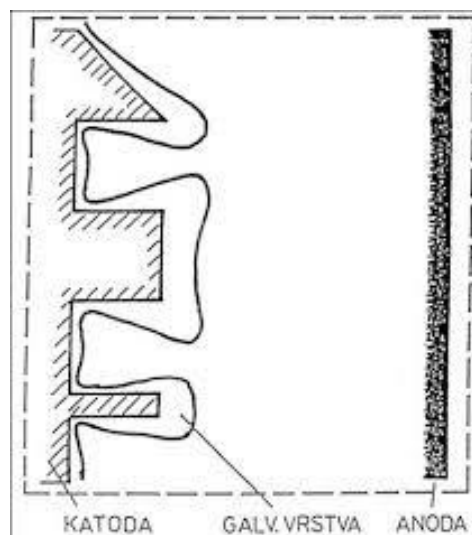
Obrázek 3 Závěšová linka pro galvanické pokovování [10].



Obrázek 4 Malá galvanická jednotka [11].

2.2.6 Problematika galvanicky vytvářených povlaků

Jednou z největších nevýhod galvanického pokovování je, že ne všechny tvary součástí jsou pro tuto technologii vhodné. Důvod spočívá ve fyzikálně chemické podstatě. Na katodě vzniká nehomogenní elektrostatické pole, které vytváří proudovou hustotu v jednotlivých místech. Rychlost vylučování kovu je závislá na proudové hustotě. Vysoká hustota je na hranách nebo výstupcích z důvodu hromadících se siločar a nízká naopak v dutinách nebo koutech s malými rádií. Tento problém lze částečně vyřešit použitím pomocných elektrod, které se dají k problematickému místu.



Obrázek 5 Schéma reálně galvanicky vyloučeného kovu [9].

Dalším problémem u galvanického vytváření povlaků je vysoké nebezpečí navodíkování základní pokovované oceli. Při vylučování kovového povlaku se zároveň vylučuje i vodík, který vzhledem k jeho malým rozměrům má možnost vnikat do povrchových vrstev oceli a negativně tak působit na její mechanické vlastnosti. Především způsobuje její křehkost. Míru navodíkování lze do značné míry omezit volbou technologických parametrů galvanizace (elektrolyty, aditiva) ale i opatřeními při průběhu operace (míchání, proudová hustota, teplota lázně).

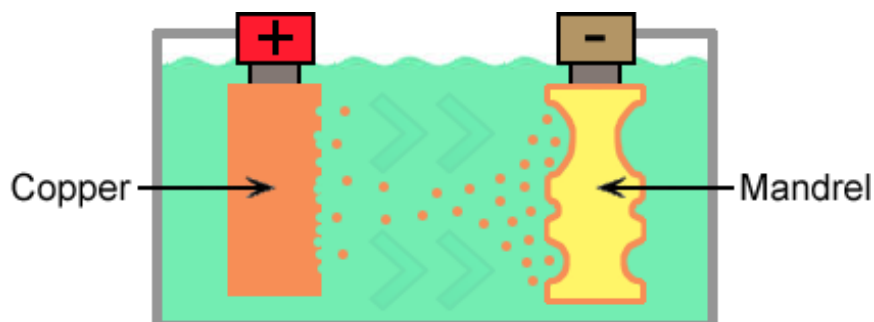
Dalším problémem této metody je problém ekologický z důvodů používání solí těžkých kovů, které musí být zabezpečeny proti případnému úniku a dále musí být vyřešen problém složitého čištění odpadních vod [9, 13].

2.3 Galvanoplastika

Galvanoplastika (anglicky: electroforming) je technologie, která se zabývá tvorbou tlustostěnných povlaků, které jsou vytvořené elektrolyticky. Tloušťka těchto povlaků bývá nejčastěji v rozmezí 1 – 8 mm. Vytvářené tlusté povlaky se nazývají skořepiny, nebo také galvana a vylučují se na model, který je zapojen jako katoda. Obecný požadavek na skořepiny je jejich snadné oddělení od modelu, na kterém byly vyloučené. Tato metoda se používá například k výrobě forem pro gramofonové desky, v tiskařském průmyslu, ale i při výrobě šperků nebo mincí.

Výhodou této technologie je možnost vytváření přesných kopií povrchů různých předmětů. K nevýhodám naopak patří velké vnitřní pnutí povlaků a s tím spojené možné praskání nebo odlupování povlaků, způsobené vytvářením velkých vrstev. Tuto nevýhodu je ale

možné ovlivnit technologickým postupem, např. volbou lázně, její teploty a pH nebo proudové hustoty [12].



Obrázek 6 Schéma pokovování v galvanoplastice (vpravo forma, na které se vylučuje skořepina) [15].



Obrázek 7 Matrice gramofonové desky vytvářena pomocí galvanoplastiky [14].

2.4 Technologie tampónového pokovení

Technologie lokálního galvanického pokovení, nebo také tamponového pokovení (anglicky: brush plating, pen plating, swab plating) je speciální technologie galvanického pokovování, která umožňuje lokální nanášení kovového povlaku na vybraná místa základního materiálu. Výhodami této technologie jsou mobilita, malé pořizovací i provozní náklady zařízení, z důvodu malé spotřeby elektrolytu oproti klasickému galvanickému pokovení, dále možnost pokovení malých i velkých součástí a v neposlední řadě možnost provádění renovací součástí bez nutnosti demontáže.

Technologie se tedy díky svému širokému spektru využití používá např. pro opravu nebo nanášení kovového povlaku u velkých hřídelů, čepů rotorů, lopatek turbín atd., ale velké uplatnění nachází také ve šperkařství pro vytváření povlaků z ušlechtilých kovů. Povlaky vytvořené touto metodou tedy nemusí být nanášeny pouze za účelem protikorozní ochrany, ale

také pro vylepšení vzhledových vlastností, vylepšení pájecích schopností, snížení elektrického odporu kontaktu nebo zvýšení odolnosti proti opotřebení [4, 12, 16].



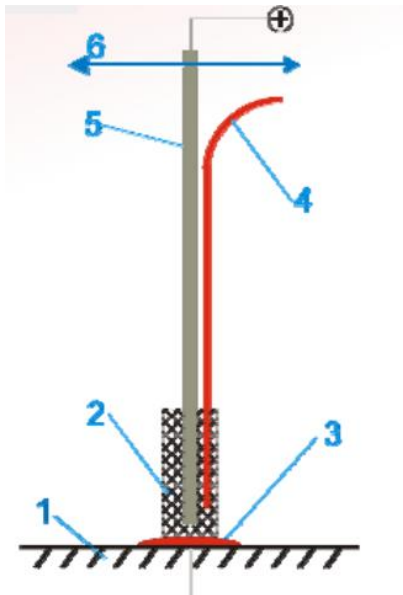
Obrázek 8 Použití technologie tampónování pro pokovení části hřídele [17].



Obrázek 9 Použití technologie tampónování u malých dílů, pro nanesení povlaku z ušlechtilého kovu [18].

2.4.1 Princip technologie

Při technologii lokálního galvanického pokovení je pokovovaný předmět stejně jako u galvanického pokovování připojen jako katoda. Anoda je umístěna v držáku a obalena savým materiálem tzv. tampónem. V tampónu je nasátý elektrolyt, který je nositelem iontů. Při dotyku anody s pokovovaným předmětem se uzavře elektrický obvod a začne tak docházet k vylučování povlaku z kovu, který je nasán v tampónu, přímo v místě styku katody a anody. Tampón se do elektrolytu namáčí ručně (u pokovování malých předmětů), nebo může být dodáván automaticky pomocí čerpadla. Pro vylučování rovnoměrného povlaku je nutné s elektrodou pohybovat. Pohyb je podobný jako natírání štětcem. Z tohoto důvodu nemá vyloučený povlak ve všech místech stejnou tloušťku, a proto je možné v některých případech, kdy je vyžadována vysoká přesnost součásti, provést dodatečné obrobení.



Obrázek 10 Schéma technologie tampónování [19].

Části zařízení pro tampónovou technologii:

- 1) Pokovovaný předmět (katoda)
- 2) Savý materiál (tampón)
- 3) Elektrolyt
- 4) Přívod elektrolytu do tampónu (není bezpodmínečně nutný)
- 5) Pracovní nástroj (anoda)
- 6) Pohyb nástroje

Při technologii lokálního galvanického pokovení je nutné provést nastavení sledování několika základních parametrů, které výrazně ovlivňují kvalitu a také rychlost vylučování povlaku.

- Tloušťka tampónu tj. vzdálenost anody od katody
- Rychlost pohybování nástroje tj. anody vůči katodě
- Proudová hustota
- Množství přiváděného elektrolytu
- Typ a složení elektrolytu
- Doba pokovování

Vytvořené tloušťky povlaků se pohybují v rozmezí od 0,1 μm do 100 μm v závislosti na době pokovování a druhu elektrolytu. Velkou výhodou je, že rychlosti vylučování kovu jsou oproti běžnému galvanickému pokovení 30 krát až 60 krát větší a výsledné povlaky jsou velice kvalitní a dobře se prolínají s podkladovým materiálem.

Používané elektrolyty

Pro technologii lokálního galvanického pokovení se používají vysokorychlostní elektrolyty, které jsou schopné tvořit povlaky touto metodou. Vyskytují se ve formě roztoků, ale také i gelů. Použitím gelů je možno snížit riziko znečištění okolního prostředí, jinak se ale jejich použití neliší. Pro tuto technologii se nepoužívají kyanidové elektrolyty, což je výhoda z hlediska ekologie a s tím spojená složitá opatření.

Spotřeba elektrolytů oproti galvanickému pokovení je velmi malá, protože elektrolyt nemusí být ve vanách, nýbrž je jeho nezbytné množství nasáto v tampónu, čímž se snižují náklady na provoz.

Druhy povlaků

Tato technologie umožňuje nanášení mnoha druhů povlaků o různých vlastnostech. Například antikorozi povlaky (Ni, Cu, Cr,...), tvrdé a oteruvzdorné povlaky (Cr, Co-W, Ni-Co, Ni-W,...), nebo povlaky se speciálními vlastnostmi (Au, Ag, Pd, Pt,...)

Jak již bylo zmíněno, uplatnění této technologie se nenachází jen v nanášení povlaků, ale také při renovaci. Ta se touto technologií provádí zejména u součástí, které není možné demontovat, nebo není možné pro svou velikost vložit do galvanické lázně [4, 12, 20].

2.4.2 Popis zařízení

V praxi se jedná o relativně jednoduché zařízení lišící se ve velikosti podle použití. Princip je ovšem vždy stejný. V podstatě jde o regulovatelný usměrňovač elektrického napětí, ze kterého vedou dva kabely. Jeden tvoří anodu, na jejímž konci je tampón. Na konci druhého kabelu je pinzeta nebo kleště, které se připojí k pokovované součásti, pro uzavření elektrického obvodu. Dále je nutné mít misku, či menší vanu, do které stéká přebytečný elektrolyt, případně čerpadlo pro čerpání elektrolytu na tampón. Tampony a elektrolyty slouží u tohoto zařízení jako spotřební materiál [11].

2.4.3 Problematika tampónového pokovení

Stejně jako u galvanického pokovení zde dochází k vývoji vodíku na povrchu pokovované součásti. U technologie lokálního galvanického pokovování ale díky pohybování anody dochází k mechanickému odstraňování atomů vodíku. Velká část těchto atomů je tedy odstraněna dříve, než se dostanou do mikrotrhlin na povrchu součásti a nehrozí zde tedy tak velké riziko navodíkování.

Nevýhodou této technologie je, že díky nerovnoměrnému ručnímu pohybu anody nemá výsledný povlak ve všech místech pokovovaného předmětu stejnou tloušťku. To může být nevýhodou u tvarově přesných součástí. Automatizací technologie tato problematika odpadá.

Dále při tampónování v místě styku anody a katody vzniká teplo, což způsobuje vypařování elektrolytu. Tyto výpary jsou zdraví škodlivé, a proto je nutné pracovat v dobře větraných prostorách nebo výpary odsávat [4, 12, 20].

2.4.4 Odlišnost galvanické a tampónové technologie

Po zhodnocení těchto dvou technologií vychází, že technologie lokálního galvanického pokovení je na rozdíl od klasického galvanického pokovení mnohem více mobilní a vylučovací rychlost kovového povlaku má vyšší. Pořizovací a provozní náklady jsou u tampónové technologie nižší, z důvodu menší spotřeby elektrolytů a potřeby méně složitějšího zařízení.

U technologie tampónování odpadá problematika vylučování tlustších, nebo naopak tenčích povlaků na hranách a v rozích pokovovaných předmětů. Dále riziko navodíkování součástí je u tampónování menší, z důvodu mechanického odstraňování vodíku při pokovování.

Velkou nevýhodou lokálního galvanického pokovení je především nemožnost pokovování více součástí najednou, a proto se příliš nehodí pro velkosériovou výrobu.

2.5 Zdroje stejnosměrného proudu v galvanotechnice

Galvanické pokovování probíhá za přítomnosti stejnosměrného proudu, proto jsou elektrické procesy nenahraditelnou součástí této technologie. Zdroje potřebné pro elektrochemické aplikace je možno rozdělit do několika skupin, z hlediska potřebných výkonů. Nejmenší výkony do 1 kV·A jsou vhodné pro méně významné technologické procesy, jako např. odmašťování. Střední výkony, které dosahují výkonu asi do 40 kV·A jsou typické pro galvanické pokovování a malé rafinační linky. Poslední skupinou jsou výkony od 100 kV·A, u kterých se očekává využití u velkých rafinačních linek, výrobu chlóru a hliníku.

Před rokem 1989 se v České republice vyráběly všechny tyto zmíněné zdroje různých výkonů a byly určeny jak pro export, tak pro domácí potřebu. V současné době zde ale působí jen několik málo českých firem, které nabízejí zdroje malých a středních výkonů.

2.5.1 Popis a parametry zdroje stejnosměrného proudu v galvanotechnice

Díky charakteristickým vlastnostem galvanického pokovování jsou požadavky na napájecí zdroje pro tuto technologii odlišné od požadavků pro jiné průmyslové technologie. V první řadě je potřeba malé výstupní napětí v kombinaci s velkými proudy. Některé technologické procesy také mohou vyžadovat měnit polaritu výstupního napětí.

Velkou otázkou při galvanickém pokovování je míra „vyhlazenosti“ nebo naopak zvlnění stejnosměrného proudu. Vyhlazený proud s minimálním zvlněním většinou umožňuje dosáhnout kvalitního homogenního kovového povlaku. Nevýhodou hodně vyhlazeného proudu ale je, že není příliš schopen s pokovovaného materiálu odstraňovat nečistoty, a ty potom musí být odstraňovány intenzivnější předúpravou povrchu. O optimálním zvlnění proudu se řadu let vedou diskuze a jeho úroveň závisí na konkrétním druhu operace. V podstatě ale panuje

pravidlo, že nejuvhodnější úroveň zvlnění proudu z hlediska technologického a ekonomického je okolo 2 – 5% jeho střední hodnoty.

Dalšími v dnešní době běžnými požadavky na zdroje je vysoká účinnost s možností nastavování výstupních hodnot, zkratuvzdornost a co nejjednodušší ovládání přes PC ze vzdáleného místa [2, 21].

2.5.2 Teoretický zdroj pro extrémní použití

U technologie tampónového pokovení, jenž je technologie relativně mobilní se nabízí možnost tuto technologii zmobilnit více, a to tak, že ji připojit na alternativní zdroj energie a moct ji použít tam, kde se nenachází elektrická síť.

Pro tento účel se nejlépe hodí přenosné solární panely. Tyto by musely splňovat požadavek na velikost výstupního proudu, kterou technologie požaduje, dále musí být kompaktní a ne příliš těžké, aby bylo možné je na určené místo dostat, třeba i bez nutnosti motorizace.

Tyto podmínky splňuje například solární panel od značky GOAL ZERO, který je do extrémního prostředí přímo určen. Je konstruován z tvrzeného skla v hliníkovém rámu a je možné ho nést jako kufr. Jeho váha pak činí necelých 12 kg.



Obrázek 11 Příklad použitelného solárního panelu značky GOALZERO pro extrémní podmínky [22].



Obrázek 12 Vybraný solární panel ve složeném stavu [22].

Do tohoto solárního panelu je sice možné přímo zapojit spotřebič, to by ale rozhodně v našem případě nebylo vhodné z důvodu kolísání napětí. Proto by bylo nutné připojit solární panel na tzv. solární generátor, což je v podstatě velká lithiová baterie, která se v exteriéru chová jako přenosný 230V zdroj.



Obrázek 13 Solární generátor Yeti 400 Lithium [22].

U tohoto teoretického zdroje, který by sloužil pro tampónové pokovení by tedy bylo nutné se co nejvíce vyvarovat kolísání napětí, které je pro tuto technologii nežádoucí. Baterie nabíjená solárním panelem by měla tento aspekt do značné míry eliminovat.

Kolísání napětí by se při tampónování mohlo projevit snížením rychlosti vylučování kovu, změnou jeho odstínu, nebo zhoršením kvality povlaku [6, 11, 22, 23].

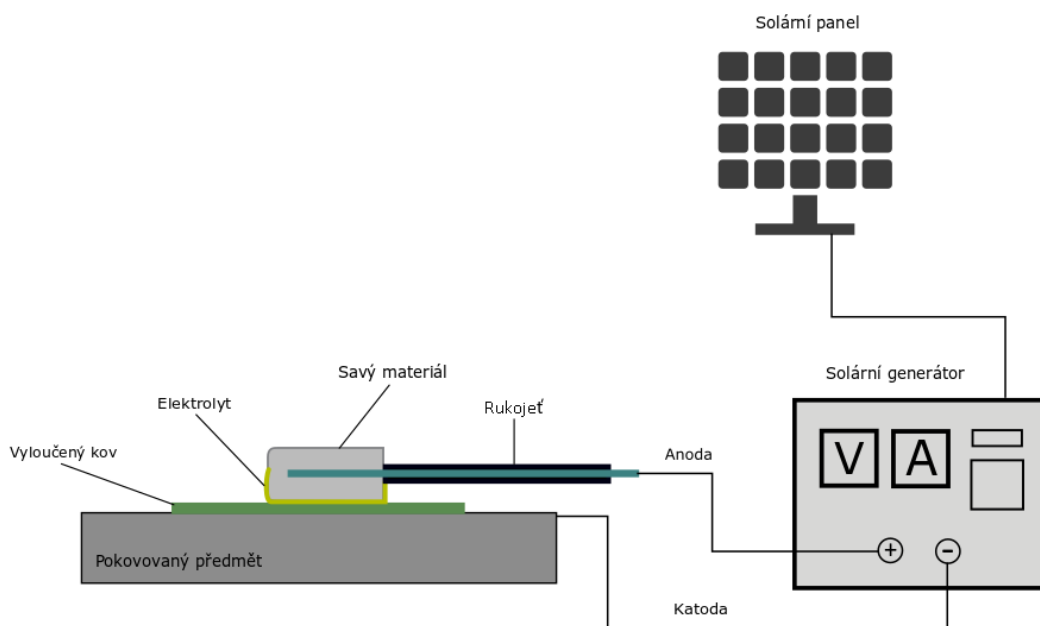
3 Praktická část

Jedním z cílů této bakalářské práce bylo sestavení pracoviště pro tampónování, které bylo následně využito pro vyloučení několika vzorových niklových povlaků, u kterých byla měřena jejich tloušťka.

Pokovování probíhalo při dvou hodnotách napětí a proudu, které vycházely z technické dokumentace s pracovními podmínkami elektrolytu. Měřilo se v několika časových úsecích. Nejdříve se měření provádělo s klasickým Wattsovým elektrolytem, a následně s vysokorychlostním elektrolytem přímo určeným pro tampónovou technologii.

Na závěr byla porovnána jejich vylučovací rychlost a byli zhodnoceny pořizovací náklady na oba elektrolyty.

3.1 Návrh pracoviště tampónového pokovení včetně zdroje stejnosměrného proudu



Obrázek 14 Schéma navrženého pracoviště pro tampónování.

Zapojení solárního panelu a generátoru je teoretické. Pro tuto práci byl použit standardní laboratorní zdroj stejnosměrného proudu, který tak v praxi nahradil solární generátor zobrazený ve schématu.

3.2 Sestavení pracoviště

3.2.1 Popis částí zařízení lokálního galvanického pokovení

- Laboratorní zdroj stejnosměrného napětí + vodiče
- Pokovovací nástroj
- Skleněná nádoba pro sběr přebytečného elektrolytu
- Dávkovač elektrolytu

Zdroj stejnosměrného napětí

Pro pracoviště tampónového pokovení byl použit laboratorní zdroj pracující při napětí 230V, 50Hz. Pro tuto technologii je důležitá plynulá nastavitelnost výstupních hodnot napětí a proudu, neboť rychlost vylučování povlaku závisí na proudové hustotě.



Obrázek 15 Zdroj stejnosměrného napětí.

Pokovovací nástroj

Pro zhotovení pokovovacího nástroje byla jako základ použita nerezová trubička o průměru 8 mm. Nerez byla použita z důvodu toho, aby se při práci co nejvíce zamezilo korodování pokovovacího nástroje, neboť je zapojen jako anoda a zároveň aby byla zajištěna dostatečná vodivost elektrického proudu. Nerezová trubička se pak na konci obalila savým materiálem. Rukojeť byla vytvořena z obalu fixu.

Elektrolyt byl přiváděn na druhý konec trubičky, kterou následně protékal a dostával se tak přímo na savý materiál (tampón).



Obrázek 16 Pokovovací nástroj pro tampónovou technologii.

Dávkovač elektrolytu

Aby bylo zajištěno stejné množství elektrolytu přiváděného na pokovovaný vzorek, bylo zapotřebí sestavit dávkovač elektrolytu. Ten byl vytvořen z infuzního setu, tzv. kapačky.

Hadička od infuzního setu byla připojena přímo na konec nerezové trubičky. Nádobka, která je umístěna na druhé straně infuzního setu byla následně zavěšena na výše položené místo, aby měl elektrolyt možnost stékat dolů až k tampónu.



Obrázek 17 Infuzní set.

Vzhledem k tomu, že tato technologie nevyžaduje velké množství elektrolytu, stačilo injekční stříkačkou naplnit malou nádobku infuzního setu a nebylo tak nutné připojovat další zásobník elektrolytu. Nádobka má objem asi 12 ml a vystačila na pokovení zhruba dvou vzorků.

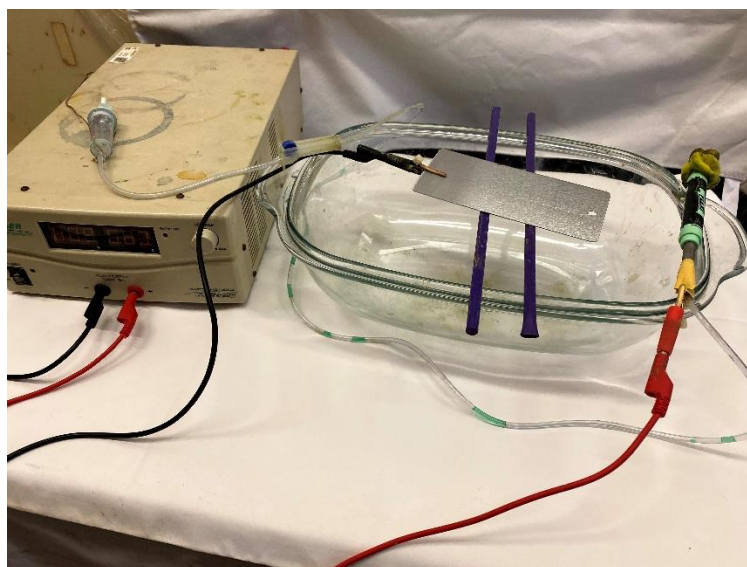
Průtok elektrolytu se následně mohl regulovat škrťacím ventilem, který infuzní set obsahuje. Zejména proto bylo použití tohoto lékařského setu ideální.



Obrázek 18 Pokovovací nástroj připojený na dávkovací zařízení.

3.2.2 Kompletace zařízení pro tampónovou technologii

Následně bylo celé zařízení zkompletováno. Pokovovaný vzorek se umístil na dvě nevodivé tyčky, které byly položeny na skleněné misce, do které mohl stékat přebytečný elektrolyt.



Obrázek 19 Zkompletované pracoviště pro tampónové pokovení.

3.3 Průběh zkoušky pokovení

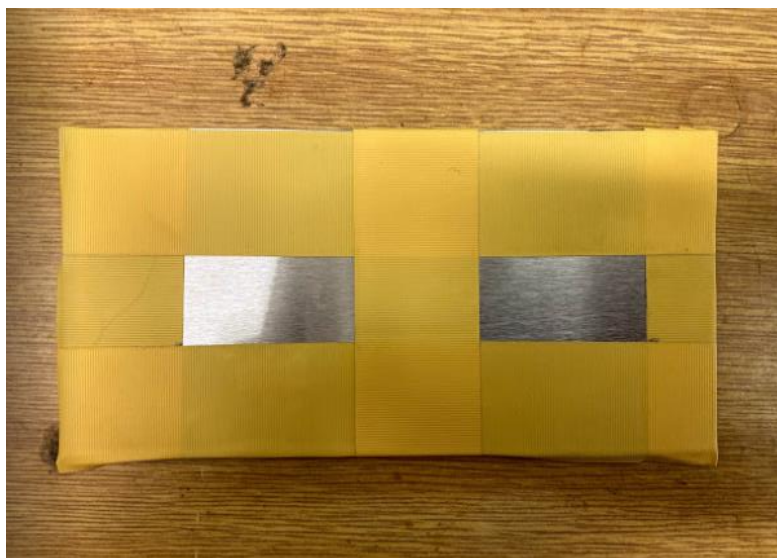
Zkouška pokovení se prováděla vždy při dvou hodnotách napětí, a to konkrétně 4,5V a 9,5V. Tyto hodnoty byly získány z listu, který byl přiložen u vysokorychlostního elektrolytu. Jednalo se o rozsah napětí, ve kterém tento elektrolyt pracuje. Bylo tedy rozhodnuto, že bude provedeno měření pro minimální a maximální pracovní hodnotu napětí.

V obou hodnotách napětí bylo pokoveno osm vzorků, každý po jinak dlouhý časový úsek. Časové úseky byly zvoleny na 30s, 90s, 120s, 180s, 240s, 300s, 420s a 600s. Celkem se tedy vzniklo 16 vzorků s použitím vysokorychlostního elektrolytu a následně se celé měření opakovalo s klasickým Wattsovým elektrolytem při stejných podmínkách. Celkem tedy 32 měření.

3.3.1 Pokovované vzorky

Pokovování se provádělo na tzv. Q panelech, které se páskou zamaskovali tak, aby vznikla jednotlivá, vždy stejně velká okénka. Na každém Q panelu byla vytvořena dvě okénka, z nichž každé sloužilo pro nanesení kovové vrstvy v daném časovém úseku. Každé okénko mělo rozměr 2x4cm.

Před pokovením byl na Q panelu jasně vidět kartáčovaný povrch.



Obrázek 20 Zamaskovaný Q panel před pokovením.

3.3.2 Předúprava povrchu

Před samotným pokovením bylo nutné provést předúpravu povrchu, která je bezpodmínečně nutná při galvanickém pokovování. V tomto případě probíhala následovně:

- Odmaštění povrchu chemickým přípravkem
- Oplach
- Aktivace v kyselině chlorovodíkové
- Oplach
- Pokovení tamponovou technologií
- Oplach
- Sušení

Oplach se prováděl v demilitarizované vodě.

3.3.3 Použité elektrolyty a jejich parametry.

V pokusu byl použit vysokorychlostní niklový elektrolyt určený přímo pro tampónovou technologii zakoupený ve Velké Británii s komerčním názvem Bright nickel solution.

Dle výrobce se v základu jedná o Wattsův elektrolyt, tedy elektrolyt, jehož hlavní složkou je síran nikelnatý, chlorid nikelnatý a kyselina boritá, doplněný o složku, která umožňuje rychlejší vylučování povlaků. Tuto složku, kterou si ovšem výrobce tají. Její komerční název je Nickel Maintenance a Nickel Brightener.

Tento elektrolyt pracuje dle listu pracovních podmínek v rozsahu napětí 4,5 až 9,5V při normální pokojové teplotě.

Jako srovnávací elektrolyt z řady klasických Wattsových elektrolytů byl použit elektrolyt namíchaný ve firmě Pragochema s.r.o., který je schopen taktéž pracovat v tomto rozsahu napětí při pokojové teplotě. Tento elektrolyt je původně určen pro pokovení v lázních.

U pokovování při nastavené hodnotě napětí 4,5V bylo dosaženo hodnoty proudu 0,2A a při 9,5V byl proud 0,8A.

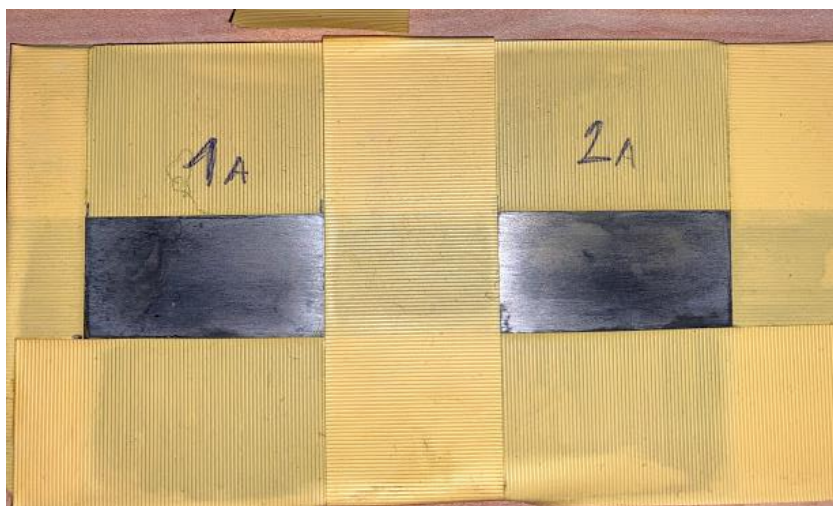
3.4 Vyhodnocení zkoušky pokovení

Po pokovení každého vzorku byla v různých bodech dvanáctkrát změřena tloušťka vytvořeného povlaku digitálním tloušťkoměrem. Z těchto dvanácti hodnot byla vyškrtnuta vždy jedna největší a jedna nejmenší hodnota a ze zbylých deseti byl vytvořen aritmetický průměr.

Jednotlivé hodnoty a průměry jsou zapsány v následujících tabulkách.



Obrázek 21 Digitální tloušťkoměr.



Obrázek 22 Q panel po pokovení.

Vysokorychlostní elektrolyt při 4,5V a 0,2A

Tabulka 1 Tloušťky povlaku vyloučené vysokorychlostním elektrolytem při 4,5V a 0,2A za 30s

č. měření	Naměřená tloušťka povlaku 30s [μm]
1	0,5
2	0,4
3	0,7
4	0,6
5	1,1
6	1,1
7	1,5
8	1,4
9	2,8
10	0,4
11	0,8
12	1,4
0,95 μm	

Tabulka 2 Tloušťky povlaku vyloučené vysokorychlostním elektrolytem při 4,5V a 0,2A za 90s

č. měření	Naměřená tloušťka povlaku 90s [μm]
1	1,3
2	0,5
3	1,4
4	2,3
5	0,8
6	1,7
7	2,3
8	1,7
9	1,0
10	0,2
11	1,1
12	2,6
1,41 μm	

Tabulka 3 Tloušťky povlaku vyloučené vysokorychlostním elektrolytem při 4,5V a 0,2A za 120s

č. měření	Naměřená tloušťka povlaku 120s [μm]
1	2,0
2	2,1
3	2,6
4	0,9
5	2,3
6	2,6
7	1,9
8	3,4
9	2,3
10	1,8
11	3,0
12	3,2
2,38 μm	

Tabulka 4 Tloušťky povlaku vyloučené vysokorychlostním elektrolytem při 4,5V a 0,2A za 180s

č. měření	Naměřená tloušťka povlaku 180s [μm]
1	1,5
2	2,1
3	3,2
4	1,0
5	2,2
6	1,5
7	2,2
8	2,9
9	2,5
10	2,9
11	2,5
12	3,0
2,33 μm	

Tabulka 5 Tloušťky povlaku vyloučené vysokorychlostním elektrolytem při 4,5V a 0,2A za 240s

č. měření	Naměřená tloušťka povlaku 240s [μm]
1	2,2
2	2,7
3	2,3
4	2,5
5	1,2
6	2,3
7	1,7
8	3,5
9	3,1
10	3,2
11	1,5
12	2,6
2,41 μm	

Tabulka 6 Tloušťky povlaku vyloučené vysokorychlostním elektrolytem při 4,5V a 0,2A za 300s

č. měření	Naměřená tloušťka povlaku 300s [μm]
1	2,9
2	3,1
3	3,4
4	2,8
5	2,4
6	2,1
7	3,6
8	3,4
9	2,6
10	2,3
11	3,2
12	2,2
2,83 μm	

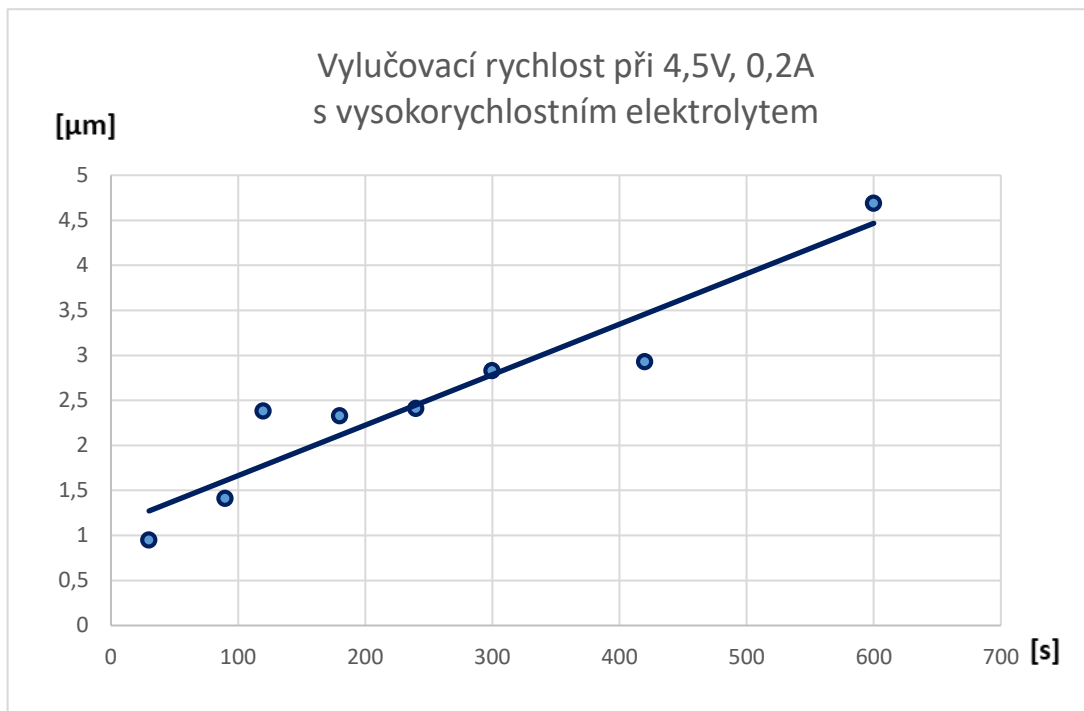
Tabulka 7 Tloušťky povlaku vyloučené vysokorychlostním elektrolytem při 4,5V a 0,2A za 420s

č. měření	Naměřená tloušťka povlaku 420s [μm]
1	2,9
2	2,0
3	2,9
4	2,7
5	1,9
6	3,3
7	2,9
8	3,2
9	2,7
10	3,7
11	3,2
12	3,5
2,93 μm	

Tabulka 8 Tloušťky povlaku vyloučené vysokorychlostním elektrolytem při 4,5V a 0,2A za 600s

č. měření	Naměřená tloušťka povlaku 600s [μm]
1	4,7
2	4,0
3	4,9
4	5,1
5	3,0
6	4,3
7	4,6
8	4,1
9	4,1
10	5,6
11	6,0
12	5,5
4,69 μm	

Graf 1 Vylučovací rychlost při 4,5V a 0,2A s vysokorychlostním elektrolytem.



Vysokorychlostní elektrolyt při 9,5V a 0,8A

Tabulka 9 Tloušťky povlaku vyloučené vysokorychlostním elektrolytem při 9,5V a 0,8A za 30s

č. měření	Naměřená tloušťka povlaku 30s [μm]
1	1,1
2	1,1
3	0,9
4	0,8
5	0,9
6	1,1
7	2,2
8	1,5
9	1,1
10	1,5
11	1,7
12	1,9
1,28 μm	

Tabulka 10 Tloušťky povlaku vyloučené vysokorychlostním elektrolytem při 9,5V a 0,8A za 90s

č. měření	Naměřená tloušťka povlaku 90s [μm]
1	3,4
2	1,9
3	1,8
4	5,3
5	3,6
6	2,6
7	0,9
8	1,3
9	5,8
10	0,5
11	1,8
12	1,2
2,38 μm	

Tabulka 11 Tloušťky povlaku vyloučené vysokorychlostním elektrolytem při 9,5V a 0,8A za 120s

č. měření	Naměřená tloušťka povlaku 120s [μm]
1	3,4
2	1,9
3	1,8
4	5,3
5	3,6
6	2,6
7	0,9
8	1,3
9	5,8
10	0,5
11	1,8
12	1,2
3,59 μm	

Tabulka 12 Tloušťky povlaku vyloučené vysokorychlostním elektrolytem při 9,5V a 0,8A za 180s

č. měření	Naměřená tloušťka povlaku 180s [μm]
1	5,6
2	4,6
3	5,3
4	4,4
5	5,0
6	5,8
7	4,6
8	4,2
9	4,9
10	4,6
11	5,0
12	5,3
4,93 μm	

Tabulka 13 Tloušťky povlaku vyloučené vysokorychlostním elektrolytem při 9,5V a 0,8A za 240s

č. měření	Naměřená tloušťka povlaku 240s [μm]
1	8,8
2	7,5
3	10,0
4	8,6
5	6,3
6	7,4
7	6,3
8	8,8
9	9,0
10	6,4
11	7,7
12	6,8
6,73 μm	

Tabulka 14 Tloušťky povlaku vyloučené vysokorychlostním elektrolytem při 9,5V a 0,8A za 300s

č. měření	Naměřená tloušťka povlaku 300s [μm]
1	7,7
2	9,1
3	7,8
4	6,6
5	7,2
6	9,4
7	8,8
8	7,2
9	9,8
10	8,0
11	6,1
12	11,4
8,16 μm	

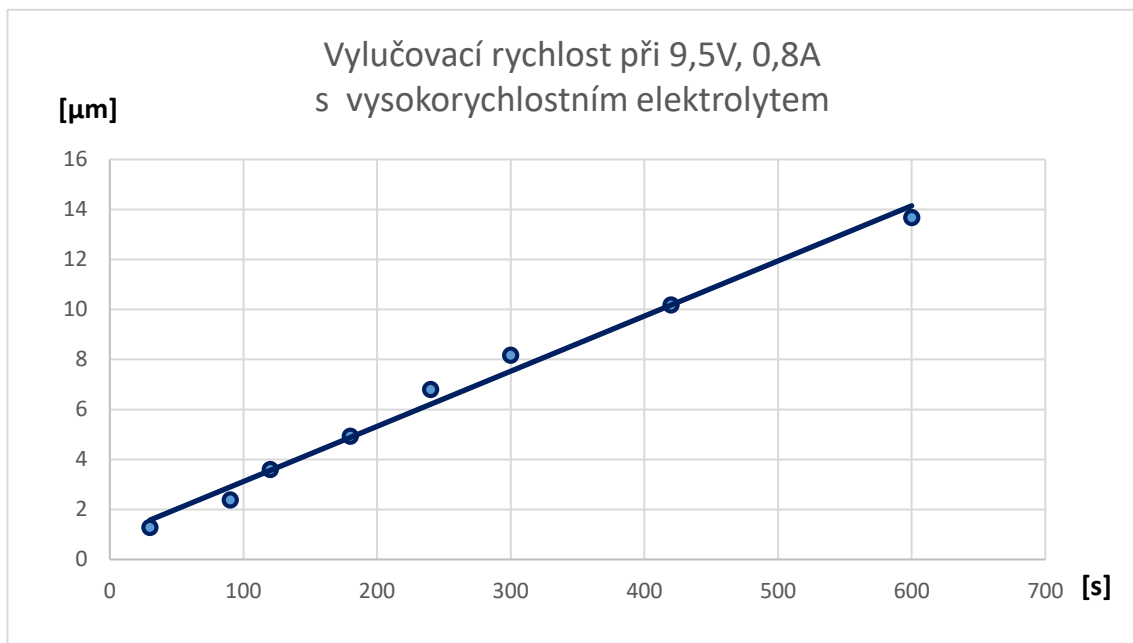
Tabulka 15 Tloušťky povlaku vyloučené vysokorychlostním elektrolytem při 9,5V a 0,8A za 420s

č. měření	Naměřená tloušťka povlaku 420s [μm]
1	11,8
2	9,8
3	11,5
4	9,0
5	11,2
6	9,8
7	7,8
8	9,1
9	9,1
10	12,5
11	10,6
12	9,9
10,18 μm	

Tabulka 16 Tloušťky povlaku vyloučené vysokorychlostním elektrolytem při 9,5V a 0,8A za 600s

č. měření	Naměřená tloušťka povlaku 600s [μm]
1	14,9
2	15,3
3	14,6
4	15,3
5	12,6
6	11,5
7	13,4
8	13,7
9	16,0
10	12,8
11	9,8
12	12,6
13,67 μm	

Graf 2 Vylučovací rychlost při 9,5V a 0,8A s vysokorychlostním elektrolytem.



Klasický Wattsův elektrolyt při 4,5V a 0,2A

Tabulka 17 Tloušťky povlaku vyloučené Wattsovým elektrolytem při 4,5V a 0,2A za 30s

č. měření	Naměřená tloušťka povlaku 30s [μm]
1	0,2
2	0,2
3	0,1
4	0,1
5	0,9
6	0,2
7	0,2
8	0,3
9	0,3
10	0,4
11	1,1
12	1,0
0,29 μm	

Tabulka 18 Tloušťky povlaku vyloučené Wattsovým elektrolytem při 4,5V a 0,2A za 90s

č. měření	Naměřená tloušťka povlaku 90s [μm]
1	1,2
2	0,5
3	0,3
4	0,2
5	0,7
6	0,7
7	0,5
8	1,0
9	0,4
10	0,7
11	1,3
12	1,0
0,7 μm	

Tabulka 19 Tloušťky povlaku vyloučené Wattsovým elektrolytem při 4,5V a 0,2A za 120s

č. měření	Naměřená tloušťka povlaku 120s [μm]
1	0,4
2	0,9
3	0,6
4	0,5
5	2,4
6	0,5
7	1,6
8	0,5
9	0,7
10	0,9
11	1,2
12	0,7
0,81 μm	

Tabulka 20 Tloušťky povlaku vyloučené Wattsovým elektrolytem při 4,5V a 0,2A za 180s

č. měření	Naměřená tloušťka povlaku 180s [μm]
1	1,2
2	1,2
3	1,7
4	1,8
5	1,7
6	2,0
7	1,8
8	1,4
9	2,6
10	2,4
11	0,8
12	1,4
1,66 μm	

Tabulka 21 Tloušťky povlaku vyloučené Wattsovým elektrolytem při 4,5V a 0,2A za 240s

č. měření	Naměřená tloušťka povlaku 240s [μm]
1	1,3
2	1,8
3	2,2
4	2,2
5	1,7
6	2,0
7	1,9
8	2,0
9	2,0
10	2,1
11	2,4
12	2,3
1,85 μm	

Tabulka 22 Tloušťky povlaku vyloučené Wattsovým elektrolytem při 4,5V a 0,2A za 300s

č. měření	Naměřená tloušťka povlaku 300s [μm]
1	1,8
2	1,8
3	1,8
4	1,1
5	2,3
6	2,2
7	1,9
8	1,3
9	1,2
10	1,9
11	3,1
12	2,3
2,39 μm	

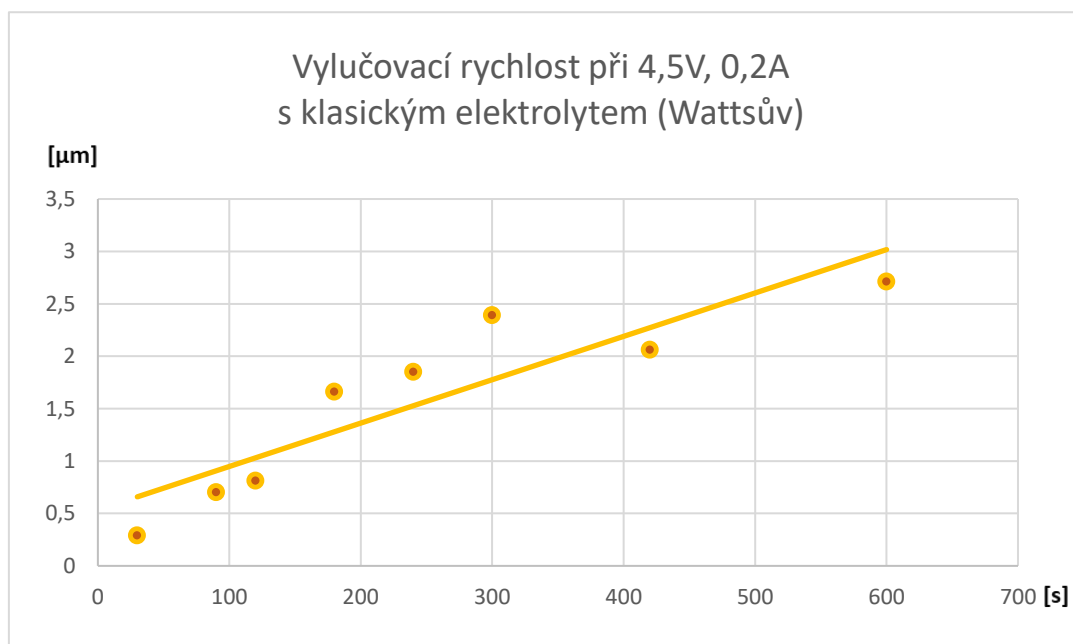
Tabulka 23 Tloušťky povlaku vyloučené Wattsovým elektrolytem při 4,5V a 0,2A za 420s

č. měření	Naměřená tloušťka povlaku 420s [μm]
1	2,2
2	2,2
3	2,9
4	1,6
5	2,0
6	1,9
7	2,2
8	2,1
9	2,2
10	1,9
11	1,7
12	2,2
2,06 μm	

Tabulka 24 Tloušťky povlaku vyloučené Wattsovým elektrolytem při 4,5V a 0,2A za 600s

č. měření	Naměřená tloušťka povlaku 600s [μm]
1	2,7
2	1,9
3	2,2
4	1,8
5	2,2
6	2,2
7	1,9
8	3,6
9	2,2
10	4,2
11	4,1
12	4,1
2,71 μm	

Graf 3 Vylučovací rychlost při 4,5V a 0,2A s Wattsovým elektrolytem.



Klasický Wattsův elektrolyt při 9,5V a 0,8A

Tabulka 25 Tloušťky povlaku vyloučené Wattsovým elektrolytem při 9,5V a 0,8A za 30s

č. měření	Naměřená tloušťka povlaku 30s [μm]
1	0,5
2	0,7
3	0,3
4	0,3
5	1,0
6	0,2
7	0,2
8	0,4
9	0,5
10	0,8
11	0,6
12	0,5
0,48 μm	

Tabulka 26 Tloušťky povlaku vyloučené Wattsovým elektrolytem při 9,5V a 0,8A za 90s

č. měření	Naměřená tloušťka povlaku 90s [μm]
1	1,0
2	3,1
3	3,2
4	0,6
5	2,4
6	0,8
7	1,0
8	0,7
9	0,9
10	0,6
11	2,2
12	1,5
1,42 μm	

Tabulka 27 Tloušťky povlaku vyloučené Wattsovým elektrolytem při 9,5V a 0,8A za 120s

č. měření	Naměřená tloušťka povlaku 120s [μm]
1	0,7
2	2,8
3	2,9
4	1,8
5	0,7
6	2,4
7	2,3
8	1,3
9	3,5
10	0,5
11	2,5
12	0,6
1,8 μm	

Tabulka 28 Tloušťky povlaku vyloučené Wattsovým elektrolytem při 9,5V a 0,8A za 180s

č. měření	Naměřená tloušťka povlaku 180s [μm]
1	2,2
2	2,2
3	2,0
4	2,2
5	1,7
6	1,5
7	1,3
8	4,3
9	1,9
10	2,2
11	3,0
12	4,3
2,32 μm	

Tabulka 29 Tloušťky povlaku vyloučené Wattsovým elektrolytem při 9,5V a 0,8A za 240s

č. měření	Naměřená tloušťka povlaku 240s [μm]
1	2,4
2	4,3
3	2,8
4	2,6
5	2,2
6	2,9
7	3,4
8	1,9
9	2,5
10	2,9
11	3,4
12	2,7
2,78 μm	

Tabulka 30 Tloušťky povlaku vyloučené Wattsovým elektrolytem při 9,5V a 0,8A za 300s

č. měření	Naměřená tloušťka povlaku 300s [μm]
1	5,3
2	3,3
3	2,8
4	3,2
5	6,2
6	3,9
7	4,0
8	4,1
9	5,0
10	4,5
11	4,5
12	5,2
4,3 μm	

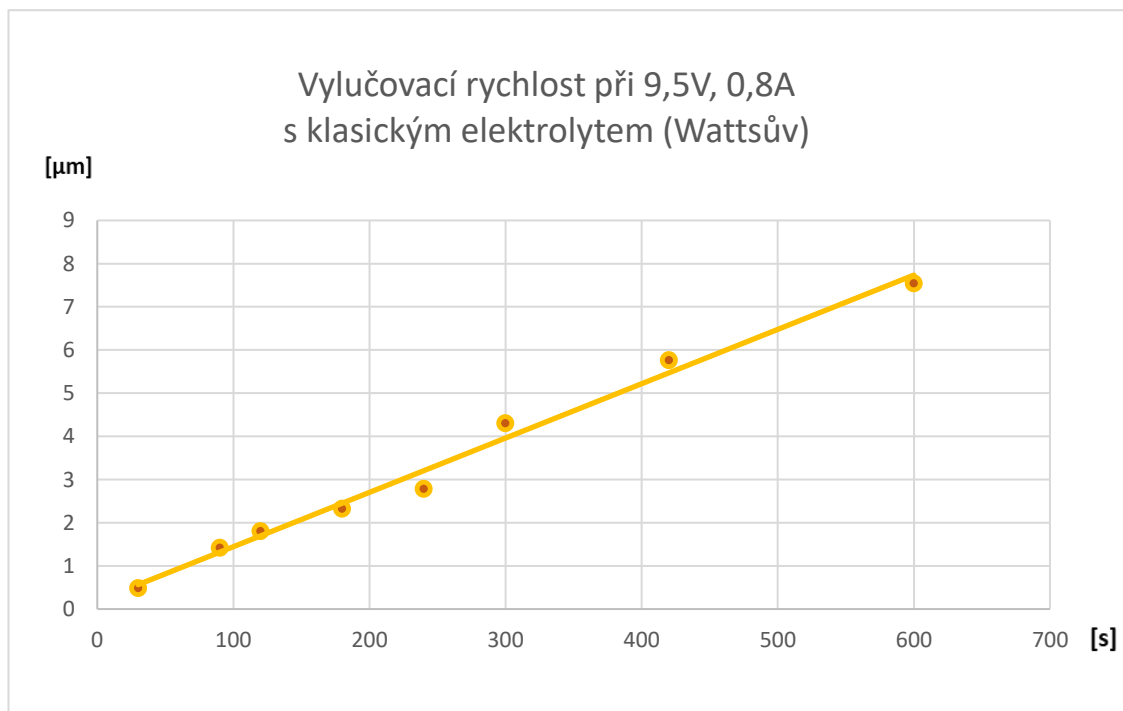
Tabulka 31 Tloušťky povlaku vyloučené Wattsovým elektrolytem při 9,5V a 0,8A za 420s

č. měření	Naměřená tloušťka povlaku 420s [μm]
1	4,9
2	4,4
3	7,2
4	7,0
5	6,7
6	6,2
7	4,4
8	4,9
9	6,8
10	6,7
11	4,7
12	5,3
5,76 μm	

Tabulka 32 Tloušťky povlaku vyloučené Wattsovým elektrolytem při 9,5V a 0,8A za 600s

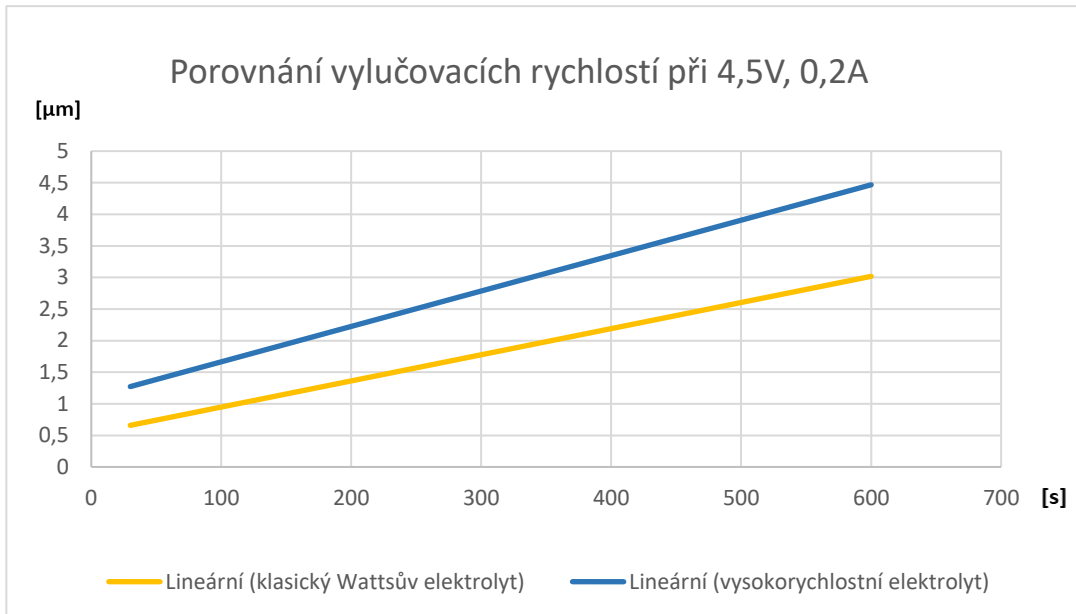
č. měření	Naměřená tloušťka povlaku 600s [μm]
1	7,7
2	8,9
3	7,1
4	7,5
5	9,7
6	4,7
7	7,3
8	7,1
9	7,9
10	8,8
11	5,0
12	5,1
7,54 μm	

Graf 4 Vylučovací rychlost při 9,5V a 0,8A s Wattsovým elektrolytem.

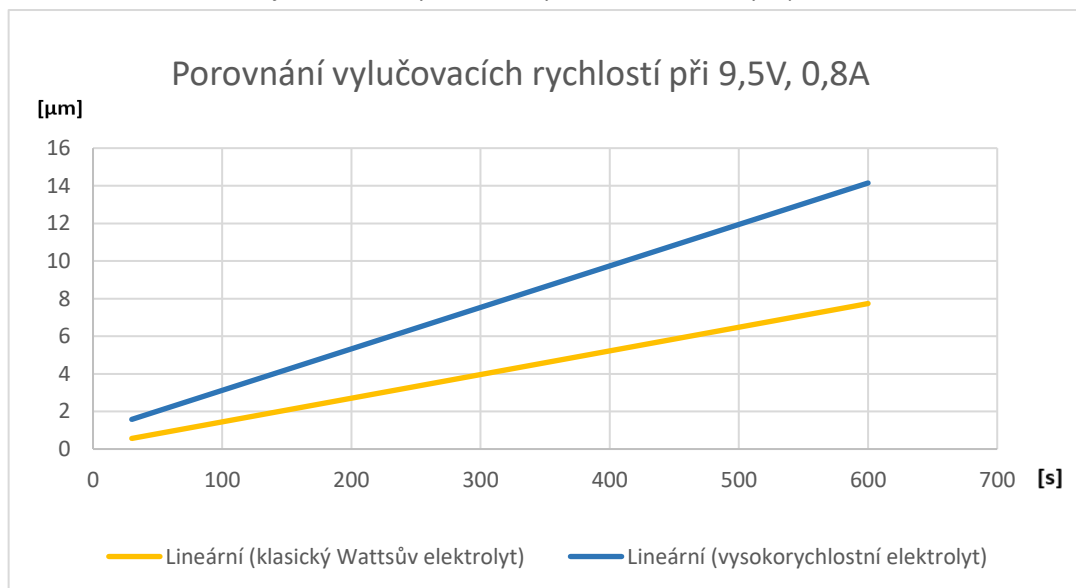


Porovnání vylučovacích rychlostí obou elektrolytů

Graf 5 Porovnání vylučovacích rychlostí obou elektrolytů při 4,5V a 0,2A



Graf 6 Porovnání vylučovacích rychlostí obou elektrolytů při 9,5V a 0,8A



Z těchto dvou grafů je patrná rozdílná vylučovací rychlost zkoušených elektrolytů. Při nejdelším čase pokovení (600s) a nižší hodnotě napětí (4,5V) vychází tloušťky zhruba o 50% větší s použitím vysokorychlostního elektrolytu. Při nastavení vyššího napětí (9,5V) se pak tloušťka lišila o 75%.

3.5 Technicko-ekonomické zhodnocení

Z provedených měření vyplývá, že vyloučené tloušťky povlaků se s použitím vysokorychlostního a klasického Wattsova elektrolytu liší. S vysokorychlostním elektrolytem lze dosáhnout až o 75% rychlejšího vylučování povlaku, avšak za mnohem vyšší náklady na elektrolyt.

Vzhledem k tomu, že po vysokorychlostních elektrolytech není v České republice zatím dostatečná poptávka, neexistuje ani nabídka pro zakoupení těchto elektrolytů. Proto byl vysokorychlostní elektrolyt zakoupen ve Velké Británii. Jeho cena činí £100 za 1 litr, což při současném kurzu odpovídá 3000,- Kč. K této ceně je ještě nutné připočíst náklady na dopravu do ČR.

Pro porovnání Wattsův elektrolyt byl použit od společnosti Pragochema s.r.o. a jeho cena by se pohybovala okolo 100Kč za 1 litr.

Tabulka 32 ceny 1l elektrolytu

Elektrolyt	cena za litr
vysokorychlostní	3 000 Kč (plus náklady na dopravu)
klasický (Wattsův)	100 Kč

Náklady na vysokorychlostní elektrolyt jsou tedy více než třicetinasobné, což může být aspekt, který omezuje použití této progresivní technologie.

4 Závěr

Cílem této práce bylo probrat problematiku galvanického pokovení, speciálně tamponového pokovení. Jak tato technologie funguje, kde se užívá a jak by se dala obohatit v oblasti nezávislých elektrických zdrojů, což by jí umožňovalo použití i v extrémním prostředí. Došlo se k závěru, že dnes již jsou na trhu běžně dostupné technologie, které umožňují využití tampónového pokovení v extrémním prostředí.

Dalším cílem bylo srovnání vysokorychlostních elektrolytů, určených pro tampónovou technologii s klasickým Wattsovým elektrolytem z hlediska jejich vylučovací rychlosti.

Výsledky ukázali, že rozdíl vylučovacích rychlostí se liší až o 75% ve prospěch vysokorychlostního elektrolytu. Tato hodnota rozhodně není zanedbatelná, vezmeme-li však v potaz mnohonásobně vyšší pořizovací cenu za vysokorychlostní elektrolyt, ztrácí jeho použití smysl. Navíc, zahřátím klasického Wattsova elektrolytu na teplotu cca 40°C, se může rozdíl vylučovacích rychlostí snížit.

Závěrem se dá říci, že pokud je vyvíjen velký tlak na rychlou tvorbu povlaku, je dobré použít vysokorychlostní elektrolyt. Pokud je ale na vytvoření galvanického povlaku dostatek času, postačí použití klasického elektrolytu užívaného především v galvanických lázních. Výsledný povlak je totiž stejný, ovšem s mnohem menšími náklady na elektrolyt.

5 Seznam použitých zdrojů

- [1] BEDNÁRIK, Lukáš. *Vliv organických přísad na vylučování dekorativních povlaků niklu* [online]. Ostrava, 2017 [cit. 2019-10-08]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/119346/BED0065_FMMI_N3923_3911T036_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=n. Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.
- [2] JANKŮ, Roman. *Spínaný zdroj pro galvanické pokovování* [online]. Brno, 2011 [cit. 2019-10-08]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=38790. Bakalářská práce. VUT v Brně.
- [3] Galvanovna Omega. *Galvanovna Omega* [online]. Praha, 2018 [cit. 2019-09-29]. Dostupné z: <http://www.galvanovnaomega.cz/>
- [4] ŽÁK, Vratislav a Jan KUDLÁČEK. *Technologie lokálního galvanického pokovování (tampónování)*. *Povrcháři* [online]. Praha, 2008, 2008, **2008**(3), 1-4 [cit. 2019-10-08]. Dostupné z: http://povrchari.cz/kestazeni/200803_povrchari.pdf
- [5] Storia ecomet. In: *Ecomet.it* [online]. Turín Itálie, 2018 [cit. 2019-09-30]. Dostupné z: <https://www.ecomet.it/storia/#1452716396342-152c3c37-ef75>
- [6] KREIBICH, Viktor a Karel HOCH. *Koroze a technologie povrchových úprav*. 2. vydání. Praha: ČVUT v Praze, 1991.
- [7] ASHBY, Mike a Kara JOHNSON. *Materials and Design* [online]. 2nd Edition. Oxford: Elsevier, 2010 [cit. 2019-10-08]. ISBN 978-1-85617-497-8. Dostupné z: http://app.knovel.com/web/view/pdf/show.v/rcid:kpMDTASMS2/cid:kt007DQTV2/viewerType:pdf//root_slug:materials-design-art/url_slug:electroplating?cid=kt007DQTV2&q=Galvanic%20plating&b-q=Galvanic%20plating&sort_on=default&b-subscription=true&b-group-by=true&page=11&b-sort-on=default&b-content-type=all_references&include_synonyms=no

- [8] SZELAG, Petr, Závěš CYRUS, Pavel HRDLIČKA a Vladimír KLAPKA. Kovové povlaky, oplachová technika a ekologie: Galvanické pokovování. In: *PMS - korozní technika III*. Praha: Dům techniky ČSVTS Praha, 1987, 96 - 140.
- [9] PAKOSTA, Michal a Jan KUDLÁČEK. Povlaky pro galvanoplastiku. *Povrcháři* [online]. 2010, **2010**(6.), 7-8 [cit. 2019-10-14]. Dostupné z: http://www.povrchari.cz/kestazeni/201006_povrchari.pdf
- [10] Galvanické linky. *Kovofiniš* [online]. Ledec nad Sázavou, 2019 [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://kovofinis.cz/galvanika>
- [11] Galvanické pokovení. *Advantage-fl* [online]. Praha, 2015 [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://advantage-fl.cz/eshop/galvanicke-pokoveni>
- [12] KUCHAR, Jiří. *Netradiční technologie v galvanotechnice*. Praha, 2014. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Ing. Dana Benešová.
- [13] KREIBICH, Viktor. *POVRCHOVÉ ÚPRAVY A VODÍK V OCELI* [online]. Praha [cit. 2019-10-27]. Dostupné z: http://www.kreibichpovrchy.cz/?page_id=218
- [14] Galvanoplastika u lakové technologie. In: *GZ Vinyl* [online]. 2017 [cit. 2019-10-27]. Dostupné z: <http://www.gzvinyl.com/>
- [15] What is Electroforming? In: *GAR electroforming* [online]. Danbury USA, 2019 [cit. 2019-10-28]. Dostupné z: https://www.garelectroforming.com/index.php?route=information/information&information_id=11
- [16] VANEK, Derek. What is Brush Plating? *SIFCO ASC* [online]. Cincinnati Ohio USA, 2016, 31st August 2016, 1 [cit. 2019-10-29]. Dostupné z: <https://www.sifcoasc.com/what-is-brush-plating/>
- [17] Brush Plating. In: *PF products finishing* [online]. Cincinnati Ohio USA, 2011, 22.2.2011 [cit. 2019-10-29]. Dostupné z: <https://www.pfonline.com/articles/brush-plating>

- [18] How-to-gold-plate. In: *Spa plating* [online]. Bath England, 2017, October 11, 2017 [cit. 2019-10-29]. Dostupné z: <https://www.goldn.co.uk/how-to-gold-plate/>
- [19] URBANEC, Filip Urbanec. *Návrh zkušebního zařízení pro automatické galvanické tamponování* [online]. Liberec, 2011 [cit. 2019-10-30]. Dostupné z: https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/10008/mgr_21481.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci.
- [20] CERMAN, Jiří a Petr ŠPATENKA. Lokální galvanické pokovení - tamponování. *Povrcháři* [online]. Liberec, 2010, srpen 2010, **2010**(6.), 1-2 [cit. 2019-10-30]. Dostupné z: http://www.povrchari.cz/kestazeni/201006_povrchari.pdf
- [21] CETL, Tomáš. Napájecí zdroje pro elektrochemické výrobní procesy. *Elektro* [online]. Praha: Elektrotechnická fakulta ČVUT, 2004, říjen 2004, **2004**(10/2004) [cit. 2019-11-04]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/napajeci-zdroje-pro-elektrochemicke-vyrobní-procesy--13936>
- [22] GOALZERO [online]. Praha, 2019 [cit. 2019-11-05]. Dostupné z: <https://www.goalzero.cz/>
- [23] Jentner [online]. Pforzheim, 2019 [cit. 2019-11-05]. Dostupné z: <https://jentner.de/>
- [24] GATEROS PLATING [online]. Bassingham: Gateros plating, 2019 [cit. 2019-12-16]. Dostupné z: <https://www.gaterosplating.co.uk/index.php?route=common/home>

6 Seznam obrázků

Obrázek 1 - Historická galvanovna [5].	10
Obrázek 2 - Zjednodušené schéma principu galvanického pokovení [3].	11
Obrázek 3 - Závěsová linka pro galvanické pokovování [10].	19
Obrázek 4 - Malá galvanická jednotka [11].	19
Obrázek 5 - Schéma reálně galvanicky vyloučeného kovu [9].	20
Obrázek 6 - Schéma pokovování v galvanoplastice (vpravo forma, na které se vylučuje skořepina) [15].	21
Obrázek 7 - Matrice gramofonové desky vytvářená pomocí galvanoplastiky [14].	21
Obrázek 8 - Použití technologie tampónování pro pokovení části hřídele [17].	32
Obrázek 9 - Použití technologie tampónování u malých dílů, pro nanesení povlaku z ušlechtilého kovu [18].	22
Obrázek 10 - Schéma technologie tampónování [19].	23
Obrázek 11 - Příklad použitelného solárního panelu značky GOALZERO pro extrémní podmínky [22].	26
Obrázek 12 - Vybraný solární panel ve složeném stavu [22].	26
Obrázek 13 - Solární generátor Yeti 400 Lithium [22].	27
Obrázek 14 - Schéma navrženého pracoviště pro tampónování.	28
Obrázek 15 - Zdroj stejnosměrného napětí.	29
Obrázek 16 - Pokovovací nástroj pro tampónovou technologii.	30
Obrázek 17 - Infuzní set	30
Obrázek 18 - Pokovovací nástroj připojený na dávkovací zařízení.	31
Obrázek 19 - Zkompletované pracoviště pro tampónové pokovení.	31
Obrázek 20 - Zamaskovaný Q panel před pokovením.	32
Obrázek 21 - Digitální tloušťkoměr.	34
Obrázek 22 - Q panel po pokovení	34