

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**Fakulta strojní**

**Ústav strojírenské technologie**



**Technologie hromadného kataforetického  
lakování**

**Bakalářská práce**

**Autor:** Petr ZBOŘIL

**Vedoucí práce:** Ing. Petr DRAŠNAR, Ph.D.

2018

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

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

V Praze dne .....

.....

podpis

## **Poděkování**

Poděkování patří všem zaměstnancům Ústavu strojírenské technologie, kteří věnovali svůj čas a pomohli s vypracováním této práce. Konkrétně Ing. Kamilu Hylákovi, který ochotně věnoval cenné rady, připomínky a spolupráci při řešení této práce, dále Ing. Petru Drašnarovi, Ph.D., za věcné připomínky, návrhy, také konzultace, a především jako vedoucímu práce. Ing. Janu Kudláčkovi, Ph.D., který mě svým nápadem motivoval a k tématu přivedl. Poděkování patří také firmě MEGA a.s., která materiálně podpořila realizaci projektu. Velké poděkování také patří mojí rodině, která mě podporuje ve studiu a motivuje k lepším výkonům. Tato studie vznikla v rámci projektu TAČR TH02020019 vývoj technologie pro hromadné kataforetické lakování.

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Zbořil** Jméno: **Petr** Osobní číslo: **424792**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**  
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Technologie hromadného kataforetického lakování**

Název bakalářské práce anglicky:

**Technology of mass cataphoretic coating**

Pokyny pro vypracování:

1. Problematika kataforézního lakování drobných dílů
2. Návrh katod pro zařízení kataforézního lakování drobných dílů bez závěsu
3. Ověření vlastností a funkčnosti katod v technologii kataforézního lakování

Seznam doporučené literatury:

dle pokynů vedoucího

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Petr Drašnar, Ph.D., ústav strojírenské technologie FS**

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

**Ing. Kamil Hylák, ústav strojírenské technologie FS**

Datum zadání bakalářské práce: **23.04.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **10.08.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: **10.08.2018**

Ing. Petr Drašnar, 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

Jméno autora:	Petr ZBOŘIL
Katedra:	12123 – Ústav strojírenské technologie
Zaměření:	Povrchové úpravy
Název bakalářské práce:	Zařízení pro hromadný způsob kataforetického lakování
Rozsah bakalářské práce:	Počet stran: 39
	Počet obrázků: 18
	Počet tabulek: 4
	Počet grafů: 6

## **Abstrakt**

Bakalářská práce je v rešeršní části zaměřena na princip technologie elektroforetického lakování. Dále se zabývá specifickou modifikací technologie kataforetického lakování. Cílem výzkumu je povlakovat drobné díly bez nutnosti užití závěsného systému, a to hromadným způsobem. Tato práce navazuje na výzkum, který byl orientován zejména na konstrukci povlakovacího zařízení, a rozšiřuje jej v dalších technických aspektech. Materiály a vlastnosti povrchu, respektive povlaku elektrod má v tomto případě významný vliv na samotnou funkci elektroforézního děje, který se stal předmětem experimentu a zkoumání. Hlavní zaměření výzkumu bylo směřováno na elektrody, konkrétně katody, včetně povrchových úprav (jejich smáčivost) s ohledem na průrazné napětí a schopnost přenést elektrický proud do povlakované součásti.

**Klíčová slova:** Kataforetické lakování, elektroda, katoda, smáčivost, elektrická průraznost

## **Abstract**

The research part of this bachelor thesis is focused on the principle of electrophoretic coating. It also deals with a specific modification of the cataphoretic coating technology. The aim of the research is to find how to cover small parts without the need to use a hanging system in a bulk way. This work is a follow-up to the research that was mainly focused on the construction of the coating system and extends it to other technical aspects. Materials and properties of the surface, respectively the electrodes coating have a significant effect on the very function of electrophoresis, which has become the subject of experiment. The focus was on the electrodes, exactly the cathodes and their wettability with respect to the electrical breakthrough and the ability to transfer the electric current to the coated part.

**Key words:** Cataphoretic coating, electrode, cathode, wettability, electrical breakthrough

## Použité zkratky

$\mu\text{m}$	$10^{-6}$ m (mikrometr, mikron)
$^{\circ}\text{C}$	Stupeň Celsia
A	Ampér
g	Gram
HV	Tvrdost dle Vickerse
l	Litr
mg	$10^{-3}$ g
sec	Sekunda
$\text{min} \cdot \mu\text{m}^{-1}$	Čas vztažený na jednotku tloušťky
PP	Polypropylen
PE	Polyetylen
PVC	Polyvinylchlorid
mm	$10^{-3}$ m
pH	Vodíkový exponent
V	Volt
KTL	Kataforéza
Zn	Zinek
Al	Hliník
Ni	Nikl
UED	Ultra Ever Dry (super hydrofobní povlak)
C	Uhlík
$\zeta$	Elektrokinetický potenciál (V)
v	Lineární rychlost pohybu částice
E	Intenzita elektrického pole
$\eta$	Viskozita prostředí
$\epsilon_r$	Relativní permitivita kapaliny
$\epsilon_0$	Permitivita vakua
C	Konstanta závislá na tvaru částic a na tloušťce elektrické dvojvrstvy (např. Pro kulovité částice o poloměru r a velkou efektivní tloušťku dvojvrstvy l, kde $r/l < 0,1$ , je $c = 2/3$ , pro tenkou dvojvrstvu ( $r/l > 100$ ) je $c = 1$ )

# Obsah

Ústav strojírenské technologie.....	1
1. Úvod .....	1
2. Princip elektroforetického lakování.....	2
3. Kataforéza.....	3
2.1 Princip .....	3
2.2 Využití.....	4
2.3 Výhody a nevýhody .....	5
2.4 Technologický postup .....	6
2.5 Nátěrové hmoty používané v KTL.....	6
4. Předúprava .....	7
3.1 Mechanické předúpravy .....	8
3.2 Chemické předúpravy .....	8
3.2.1 Odmaštění .....	9
3.2.2 Moření .....	9
3.2.3 Aktivace (dekapování) .....	10
3.2.4 Fosfátování .....	10
3.2.5 Pasivace.....	11
3.2.6 Oplachování .....	11
3.2.7 Kataforézní uzel .....	12
3.2.8 Polymerizace .....	13
5. Problematika KTL lakování drobných dílů. ....	13
4.1 Definice drobných dílů.....	14
4.2 Řešení problému pomocí rotačního bubnu.....	14
Experimentální část.....	15
6. Návrh katod pro zařízení kataforézního lakování drobných dílů bez závěsu. ....	17
5.1 Elektrody .....	17
5.2 Ošetření katod .....	19
5.3 Materiál katod .....	19
5.4 Ultra Ever Dry.....	20
7. Ověření vlastností a funkčnosti katod v technologii kataforézního lakování.....	21
6.1 Kontrola povrchu katody.....	21
6.2 Vyhodnocení .....	22



6.3 Pracovní postup.....	23
Dílčí závěr pro katodu ze slitiny hliníku 2024 – T3.....	24
Dílčí závěr pro katodu z korozivzdorné oceli AISI 304 - leštěné .....	30
Dílčí závěr pro katodu z grafitu R 8500.....	34
8. Diskuse .....	38
9. Technologicko-ekonomické zhodnocení .....	38
10. Závěr.....	39
11. Zdroje.....	40
Seznam obrázků .....	43
Seznam grafů.....	44
Seznam tabulek .....	45
Seznam příloh .....	46

# 1. Úvod

Bakalářská práce se zabývá technologií kataforetického lakování, která patří do kategorie elektroforetického nanášení nátěrových hmot. V dnešní době je tato technologie brána jako jedna z nejmodernějších technologií povrchových úprav kovových dílů. Tato technologie je v drtivé většině případů používána v automobilovém průmyslu k antikorozi ochraně karosérií. Každá karoserie se musí jednotlivě navěsit na elektrody, což se v jiných odvětvích při povrchových úpravách menších dílů stává ekonomicky nákladnější. Při jednotlivém navěšování drobných dílů, se z těchto důvodů kataforetické lakování nevyplatí. Rešeršní část se zabývá technologií kataforetického lakování, principem, využitím, výhodami a technologickým postupem, včetně předúpravy povrchu. Dále se rešeršní část věnuje problematice v této technologii a definicí drobných dílů. Experimentální část se zabývá výzkumem modifikace této technologie pro hromadný způsob. Je řešen jeden z dílčích technických aspektů procesu, konkrétně přenos náboje na povlakované předměty, aby bylo možné povlak vyloučit. Konstrukční prvek, který proud, respektive náboj přenáší na zboží je katoda. Problematika je řešena zavedením náhodného kontaktu mezi katodou a dílcem. Předmětem experimentu je testování možných materiálů či povrchových úprav katod z důvodů zajištění přenosu náboje na zboží i opakovanému použití bez nutnosti výměny nebo náročného čištění katod, které se procesem také povlakuje.

## 2. Princip elektroforetického lakování

Elektroforetický princip je dělení látek pomocí jejich odlišné pohyblivosti ve stejnosměrném elektrickém poli. Elektroforéza patří mezi separační metody izolující molekuly o rozdílné hmotnosti, popř. odlišném elektrickém náboji. Rychlost pohybu částic je závislá na velikosti celkového povrchového náboje, velikosti a tvaru molekuly a její koncentraci v roztoku.

Rychlost molekuly při elektroforetické separaci lze vyjádřit:

$$\frac{\nu}{E} = C \cdot \frac{\epsilon_r \cdot \epsilon_0}{\eta} \cdot \zeta$$

Při separaci látek v kapiláře se zde vedle elektroforetického principu (pohyb nabitých molekul v elektrickém poli) uplatňuje též elektroosmotický tok, což je spontánní tok kapaliny v kapiláře v důsledku náboje (obvykle záporného) na vnitřní stěně kapiláry. [1] [10]

Elektroforetické lakování se dále dělí podle prostředí, ve kterém k separaci dochází:

- kapilární zónová elektroforéza (CZE),
- kapilární gelová elektroforéza (CGE),
- elektroforéza v plynné fázi,
- iontová mobilní spektrometrie (IMS),
- kapilární izotachoforéza (CITP),
- kapilární izoelektrická fokusace (CIEF),
- micelární elektrokinetická kapilární elektrochromatografie (MEKC),
- kapilární elektrochromatografie (CEC). [10]

## 3. Kataforéza

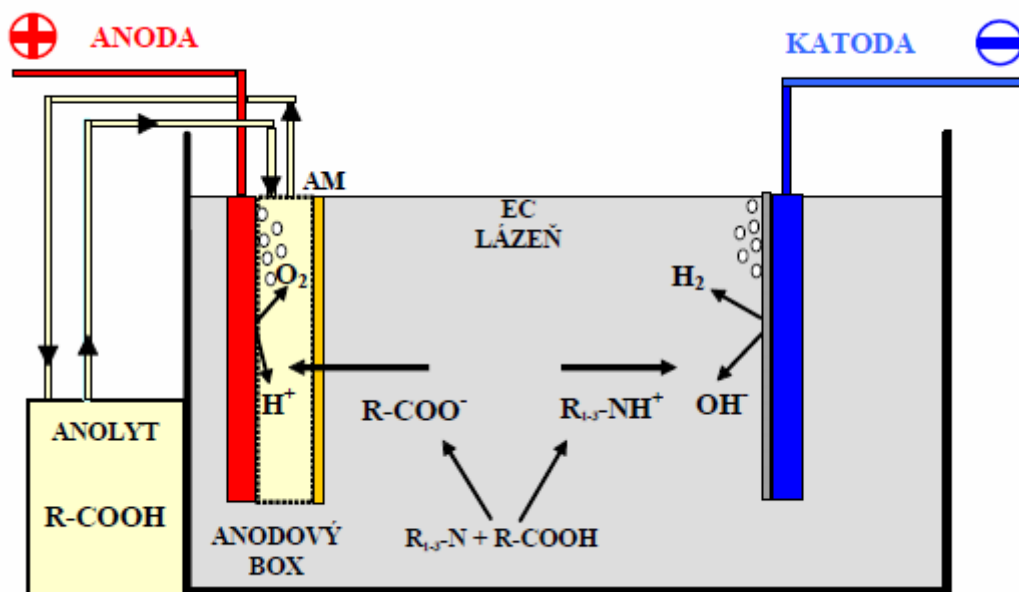
Kataforetické lakování, či kataforéza (KTL), je jeden ze dvou druhů elektroforetického povlakování (druhou metodou je anaforetické lakování ATL). V obou případech podmínkou dosažení vysoké kvality finální vrstvy je kvalita povrchové předúpravy. KTL je v dnešní době brána jako jedna z nejmodernějších technologií povrchových úprav kovových dílů, která se vyznačuje svým vysoce hospodárným a ekologickým způsobem lakování. Patří také mezi nejprogresivnější výrobní technologie nanášení základních barev s vysokým stupněm antikorozi ochrany kovů. Zároveň nemá v mnoha výrobních odvětvích téměř žádnou konkurenci, zejména při lakování velmi složitých tvarů, kdy je kladen důraz na dokonalý výsledek. Nejčastěji je využívána v automobilovém průmyslu, kde díky své vysoké protikorozi vlastnosti vzbuzuje velkou pozornost. Používá se především pro ochranu ocelových, pozinkovaných, hliníkových nebo i například nerezových dílů, zkrátka vše, co je elektricky vodivé, a proto může být kataforeticky povlakováno. Povrch musí být očištěn od mastnot, mechanických nečistot a korozi zplodin, také je třeba vytvořit konverzní fosfátovou vrstvu pro kvalitnější přilnavost. KTL může být použita jako finální, tzv. jednovrstvá povrchová úprava nebo jako vhodný základ pro další povrchové úpravy. [3] [4] [5] [6]

### 2.1 Princip

Kataforéza funguje na principu řízeného iontového rozpouštění organické pryskyřice v demineralizované vodě na povrchu povlakovaného materiálu. Jedná se o nanášení kationické nátěrové hmoty rozpuštěné ve vodě na bázi epoxidů, akrylátů či epoxy-polyuretanové pryskyřice elektroforézním způsobem, tedy kdy upravovaný (povlakovaný) díl je zapojen jako katoda v anolytické lázni (vodní roztok elektrolytické nátěrové hmoty) stejnosměrného pole. Vlivem tohoto pole putují od anody ke katodě polykationty, kde reagují s hydroxylovými ionty, které vznikly rozkladem vody, díky tomu ztrácejí rozpustnost a vylučují se na povrchu materiálu. S narůstající tloušťkou vyloučeného povlaku roste úměrně i odpor a klesá rychlost vylučování, až do doby, než se proces úplně zastaví. Tloušťka závisí na velikosti

napětí a běžně se pohybuje okolo  $15\div 30\mu\text{m}$ . Nepostradatelnými faktory pro úspěšné provádění kataforetického povlakování jsou:

- vodivost materiálu,
- organická pryskyřice v kationtové formě ve vodném roztoku,
- možnost ponoru předmětu do elektrolytické lázně,
- odolnost materiálu teplotám do  $200\text{ }^\circ\text{C}$ . [5] [6] [11]



Obrázek 1: Schéma kataforetického vylučování nátěrové hmoty [11]

## 2.2 Využití

Tato technologie nachází masivní využití především v automobilovém průmyslu. Ten je bezesporu také největším vývojářem této oblasti, neboť je z důvodu stále zvyšujících se požadavků, ať už ekonomických, kvalitativních či technologických, nucen posouvat tuto technologii na stále vyšší úroveň. Díky výše zmiňovaným vlastnostem však našla KTL uplatnění v jiných oblastech jako například:

- ve stavebnictví (stroje),
- ve strojírenství,

- v domácnosti (pračky, ledničky, radiátory, kovový nábytek)
- při výrobě motocyklů, jízdních kol. [3]

## 2.3 Výhody a nevýhody

Klady:

- regulovatelná rovnoměrná tloušťka povrchu s možností aplikace i na velmi složité tvary,
- aplikace na prakticky jakýkoliv vodivý předmět,
- velmi vysoká mechanická odolnost a přilnavost,
- vhodná antikorozi základní povrchová úprava pro práškové nanášení barev, lakování i konečná antikorozi povrchová úprava,
- velmi malý dopad na životní prostředí,
- vysoká korozní odolnost povlaku při relativně malé tloušťce,
- vysoká hospodárnost – bezmála 100 % výtěžnost nátěrové hmoty,
- snadná automatizace a kontrola procesu, nízká pracnost a nízké nároky na obslužný personál,
- téměř žádné nežádoucí účinky,
- nízké nároky na bezpečnost.

Zápory:

- vysoká investice do zařízení prvotní linky,
- náročná změna odstínu nátěrové hmoty,
- možnost upravovat pouze elektricky vodivé materiály,
- připojení součásti do elektrického okruhu. [10] [3]

## 2.4 Technologický postup

Kataforéza, stejně jako spousta jiných technologií, se skládá ze tří hlavních technologických podsouborů, které se nebudou nijak výrazně lišit od podobných typů nanášení barev. Jednotlivé kroky mají logickou návaznost a vždy zahrnují předúpravu povrchu, pak samotné nanesení nátěru a finální krok, v našem případě polymerizace za zvýšených teplot v peci. Jednotlivé kroky:

### **Předúprava:**

1. Chemické odmaštění
2. Oplach
3. Moření
4. Oplach
5. Aktivace
6. Zn fosfátování
7. Oplach
8. Pasivace
9. Oplach

### **Povlakování:**

10. Kataforézní uzal

### **Dokončovací operace:**

11. Oplach ultrafiltrátem
12. Ofuk
13. Vypalovací pec
14. Chlazení [4] [11]

## 2.5 Nátěrové hmoty používané v KTL

Základní složky kataforetické lázně:

- a) Voda – používá se voda vyčištěná pomocí iontově výměnných stanic z důvodu obsahu minerálů ve vodě z „kohoutku“ které by mohly mít negativní účinky jak na vzhled, tak i třeba na vlastnosti.

- b) Pryskyřice – její hlavní funkce je pojivo, dále zajišťuje rovnoměrné rozložení, flexibilitu a stálost povlaku. Obsahuje kationtové polymery, které mimo elektroosmotických vlastností zajišťují vytvrzení během polymerizace. Složení pryskyřice je okolo 36 % sušiny, malé procento organických rozpouštědel a zbytek tvoří voda.
- c) Pigmentová pasta – je složka, která udává finální odstín nátěrové hmoty. Jde o velmi jemně rozemleté pigmenty a minerální plniče spojené rozmělnovacím pojivem. Ochrana proti sedimentaci při skladování je zajištěna správným nastavením viskozity pigmentové pasty. Složení – voda (rozpouštědlo), glykol-ether 10 %, sušina 45 - 60 % (30 - 50 % sušiny tvoří pigment a plnič).

V drtivé většině případů se používá lázeň epoxy-polyuretanové pryskyřice. Jen výjimečně se setkáváme s akrylátovou nátěrovou hmotou, která má přednost v odolnosti vůči ultrafialovému záření. Kataforetické nátěrové hmoty se vyrábí pouze ve třech odstínech barev (černá, šedá a bílá, viz obrázek 2). Je to zapříčiněno tím, že kataforetický povlak je stále brána jako základní vrstva, tedy předpříprava na další technologické operace. Odstín lázně se tvoří přidáváním pigmentové pasty do již zmiňované epoxy-polyuretanové lázně v poměru (podle typu nátěrové hmoty) 4 - 6:1. Nátěrové hmoty u KTL jsou velice ekologické, protože jejich výtěžnost je téměř 100 %. [11]



Obrázek 2: Odstíny KTL barev. [11]

## 4. Předúprava

Kvalitní předúprava povrchu je nezbytným krokem celého technologického postupu a závisí na ní například životnost finální vrstvy. Jde o technologický krok, kterým se povrch připraví na KTL. Úprava povrchu je obvykle dvoustupňová a rozděluje se na dvě základní skupiny pracovních operací kterými jsou:

- a) **mechanické úpravy,**
- b) **chemické úpravy,**



Pozn.: *Předúprava povrchu je nejdůležitější operace v technologickém procesu povrchových úprav!*

### **3.1 Mechanické předúpravy**

Mechanické předúpravy povrchu jsou úpravy povrchu, při kterých není dodáván výrobku požadovaný tvar či rozměry, ale je dbáno především na kvalitu povrchu. Jsou používány za účelem:

- očistit povrch od nečistot,
- zajistit podmínky pro vyhovující přilnavost následujících vrstev,
- vytvořit podmínky pro zvýšení korozní odolnosti,
- vytvořit povrch odpovídající vzhledovým požadavkům,
- zlepšit mechanické vlastnosti povrchu.

Do kategorie mechanických úprav povrchu spadají tyto technologie:

- omílání,
- broušení,
- tryskání,
- leštění,
- kartáčování,
- speciální způsoby.

### **3.2 Chemické předúpravy**

Chemická předúprava povrchu musí povrch odmastit, zbavit mechanických nečistot a korozních zplodin. V dalším kroku jde o vytvoření fosfátové vrstvy, která funguje jako antikorozní ochrana a zároveň zlepšuje přilnavost následujících vrstev. Dnes se již při chemické předúpravě používají jen přípravky na vodní bázi. Při vyšších nárocích na kvalitu může být kladen na fosfátování větší důraz, proto se používá trikationické (Zn, Ni, Mn) jemnozrnné fosfátování, s následnou bezchromovou pasivací. Při nižších nárocích na kvalitu, se naskytuje možnost aplikace amorfního železnatého fosfátování, většinou v kombinaci se současným odmaštěním, které je rovněž možno doplnit pasivací. Aby nedošlo ke kontaminaci KTL lázně, je potřeba výrobek pokaždé opláchnout za pomoci ultrafiltrátu (demineralizované vody).

- odmaštění,
- moření,
- dekapování,
- odrezování. [3] [5] [7]

### 3.2.1 Odmaštění

Jedná se o proces, kdy se z povrchu upravovaného materiálu odstraní ulpělé nežádoucí látky a nečistoty. Setkáváme se se dvěma druhy látek, látky typu: (tuky, oleje, vosky, mastné látky), které se ve vodě nerozpouštějí a jsou vázány k povrchu na základě fyzikální absorpce, nebo látky typu: (anorganické nečistoty, kovové třísky, prach, třísky), které jsou úpělé k povrchu na základě adhezních sil. Cílem odmašťování je uvolnit tyto nečistoty z povrchu materiálu za pomoci fyzikálních a fyzikálně - chemických reakcí. Při dělení dle probíhajících pochodů a druhu použitých prostředků rozlišujeme tři kategorie:

- odmašťování v organických rozpouštědlech,
- odmašťování ve vodných alkalických roztocích,
- odmašťování emulzí.

Dále je můžeme rozdělit dle způsobu aplikace, respektive styku s rozpouštědly:

- odmašťování ponorem,
- odmašťování postřikem,
- odmašťování v parách,
- odmašťování elektrolytické,
- odmašťování ultrazvukem,
- odmašťování mechanické a tepelné. [7] [8]

### 3.2.2 Moření

Jedná se o proces, při kterém se odstraňují chemicky vázané nečistoty z povrchu, jako je například rez nebo okuje, za pomoci chemického naleptávání kyselinou. Používají se silné kyseliny, které vyvolávají reakce, během nichž vznikají rozpustné soli. Nejčastěji využívané kyseliny při moření jsou kyselina chlorovodíková (HCl), kyselina sírová

( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) a kyselina fosforečná ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ). Je to operace, které se z ekologických důvodů snažíme vyhnout nebo ji navrhovat co nejméně. [8] [9]

### 3.2.3 Aktivace (dekapování)

Aktivace, dezoxidace neboli dekapování, je v principu modifikované moření, při němž se z povrchu materiálu odstraňuje tenká neviditelná oxidická vrstva, která vznikla předešlými operacemi, např. působením kyslíku při anodickém odmašťování. Jde o velmi důležitý krok pro finální kvalitu povrchu. Používá se lázeň kyseliny chlorovodíkové ( $\text{HCl}$ ) o koncentraci 5 - 10 %. [8]

### 3.2.4 Fosfátování

Fosfátování, či fosfatizace, je jedním z nejrozšířenějších způsobů chemické úpravy povrchu oceli a zároveň nevyšším kvalitativním parametrem kataforézního laku. Při fosfátování se na povrchu kovu vytvářejí nerozpustné krystalické terciální fosforečnany Zn, Fe a Mn. V největší míře se setkáváme s přípravkami na bázi zinku, nicméně se objevují, ač ne tak často, i přípravky na bázi manganu a vápníku. Zinečnaté fosfátové vrstvy můžeme rozdělit podle toho, jaký mají plnit účel:

- Ochranu proti korozi – manganový fosfát s hmotností vrstvy  $150\div 300$  mg/dm<sup>2</sup>,
- Pro úpravu povrchu před nanášením nátěrových hmot – zinečnato - vápenatý fosfát s hmotností  $30\div 60$  mg/dm<sup>2</sup>. Tloušťka vrstvy se pohybuje okolo 0,1 - 10 μm. [7] [12]

### 3.2.5 Pasivace

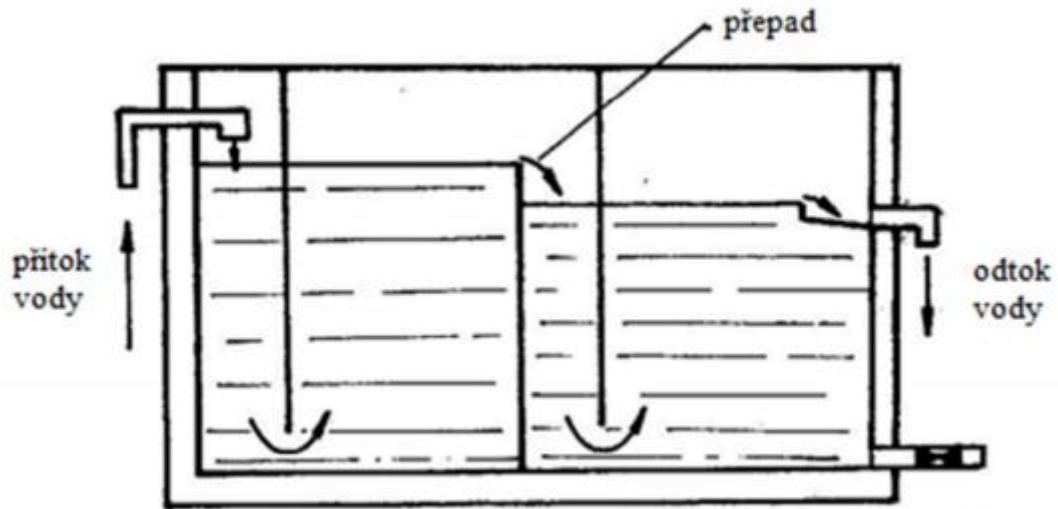
Nejrozšířenější zástupce pasivace je jednoznačně chromátování. Největší využití nachází jako zvýšení korozní odolnosti u neželezných kovů, nejčastěji u hliníku a zinku nebo zinkových a kadmiových povlaků. Dále plní funkci jako zvýšení přilnavosti dalších vrstev. Chromátování vytváří na povrchu materiálu povlak způsobující interferenci světla, která za přítomnosti chromu a při silnější vrstvě, tvoří syté odstíny barev (jasně modrá, žlutá iridující, až po olivové, hnědé či černé). V chromátovacích lázních probíhá sloučení třímocného nebo šestimocného chromu za přítomnosti aktivátoru (anionty napomáhající vzniku vrstvy). V dnešní době se od šestimocného chromu odstupuje z důvodu velké toxicity a nahrazuje se např. titanováním. Kvalita povrchu je ovlivňována nejen složením chromátovací lázně, ale i dodržením správných pracovních podmínek (především teploty lázně). [5] [7] [12]

### 3.2.6 Oplachování

Oplachování je důležitou a nedílnou součástí technologického postupu a provádí se po každém výše uvedeném kroku. Pokud nedojde k dokonalému oplachu, může to znamenat zrychlené kontaminování jednotlivých lázní a snížení jakosti již vytvořených povlaků. Oplach slouží k odstranění přebytečných solí a organických látek z předcházející lázně, tedy k eliminování kontaminace mezi jednotlivými lázněmi. Oplach může být proveden více způsoby např.:

- Postříkem - nevhodná metoda z důvodu velké spotřeby vody, užívá se u rozměrných výrobků, lze dosáhnout kvalitního oplachu.
- Ponorem ve vaně s občasnou výměnou vody - nevhodná metoda z důvodu rychlého znehodnocování lázně, oplach není dokonalý.
- Ponorem ve vaně s jednoduchou výměnou vody - výměna vody je zajištěna čerpadlem, setkáváme se s častějším použitím.
- Dvoustupňovým oplachem s protiproudovou výměnou vody – nejvhodnější, nejčastěji používáno. Oplachovaná součást se nejdříve ponoří do místa s nižší hladinou, kde je vyšší kontaminace

z předcházejícího oplachu, následně do místa s vyšší hladinou, kde je voda méně kontaminovaná. [8] [9]



Obrázek 3: Schéma dvoustupňového oplachu s protiproudem [8]

### 3.2.7 Kataforézní uzel

Kataforézní uzel je soubor technologických operací, které zajišťují správný průběh samotného kataforézního lakování. Skládá se z těchto hlavních částí:

- kataforézní vana,
- cirkulace, míchání a filtrace nátěrové hmoty,
- anolytový okruh,
- chlazení nátěrové hmoty,
- zdroj a přívod stejnosměrného proudu,
- dávkování komponent nátěrové hmoty,
- rezervní nádrž na nátěrovou hmotu;
- ultrafiltrace,
- oplachový systém,
- okruh ucpávkové kapaliny. [3]

### 3.2.8 Polymerizace

Po úspěšném dodržení výše zmiňovaných kroků nastává proces polymerizace laku. Tento proces zajišťuje, aby se spojily (homogenizovaly) polymery laku pomocí vytvrzení (vypálení) v peci. K tomuto účelu se používají komorové nebo průjezdní pece navržené tak, aby odpovídaly velikosti a charakteru upravovaných dílů při teplotě 160÷180 °C po dobu 20 min. Vypalováním dochází k úbytku (ztrátám) nátěrové hmoty - dříve se jednalo o úbytek až 20 % laku, ale v dnešní době se pohybujeme okolo 8 - 12 %.

## 5. Problematika KTL lakování drobných dílů.

U kataforetického lakování je v drtivé většině případů propojen materiál s elektrickou smyčkou individuálním závěsným způsobem. Při představě jednotlivého navěšování drobných dílců typu spojovací materiál, bižuterie, strojírenské součástky, se tato metoda sériové výroby jeví nejen technologicky nerealizovatelná, ale také velice náročná na pracovní sílu, což by se dále promítalo do finální ceny produktu. Při využití jiné technologie na drobné díly, než je KTL, se setkáváme s více problémy, jako například nerovnoměrná tloušťka povlaku, neschopnost dosáhnout dostatečně tenkého povlaku (vyžadováno u závitů spojovacího materiálu) nebo povlakování dutých, či složitých tvarů.

Jeden z hlavních problémů bez závěsné metody KTL je povlakování upravovaného dílu po celém jeho povrchu, neboť stykové plochy mezi katodou a upravovaným dílcem zůstávají nepovlakované. Tento problém je řešen zavedením rotačního pohybu. Dále při představě hromadné sériové výroby může dojít ke kontaktu dvou či více drobných dílců, a tudíž by zde vznikl, společný povlak dílců v kontaktu mezi sebou, nebo by nevznikl žádný, kvůli nepřítomnosti lázně na stykových plochách. Tento problém je řešen obdobně jako u styku katoda – dílec.

## 4.1 Definice drobných dílů

Za drobné díly jsou brány součástky malých a středních velikostí, počínaje kancelářskými sponkami, až po větší strojírenské součástky. Za drobné díly můžeme dále považovat takové, u kterých není možné jednotlivé navěšování, ať již z technologických, či ekonomických důvodů.



Obrázek 4: Příklad drobného materiálu [15]

## 4.2 Řešení problému pomocí rotačního bubnu

Řešení problému povlakování drobných dílců jeden k druhému navzájem, nebo dílce s katodou, je jedna z důležitých částí celého výzkumu modifikovaného kataforetického lakování a zabývá se jím ve své práci Bc. Lukáš Marusič a Ing. Jakub Kafka. Jedná se o rotační buben z termoplastického materiálu (např. PVC, PE, PP), kde jsou po vnitřní straně obvodu umístěny katody a na ose umístěna anoda. Celý buben je perforovaný a umístěný v epoxy - polyuretanové lázni. Otáčivými pohyby, ať už kývajícími, či celou rotací, se zajistí nahodilý kontakt mezi dílci a katodami. Při tom dochází k povlakování ze všech stran dílce a zároveň se eliminuje plošný kontakt dílců mezi sebou nebo dílce s katodou.

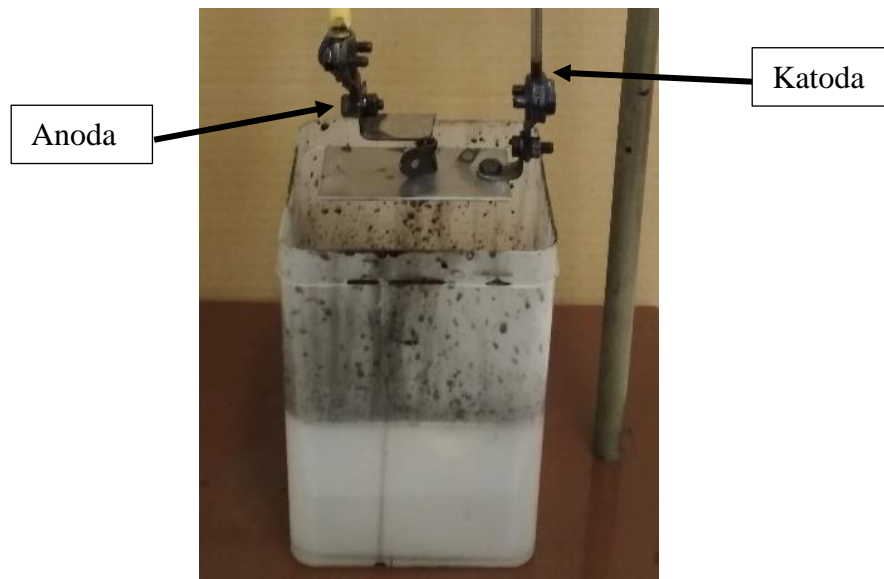
## Experimentální část

Experiment byl založen na ověření funkčnosti elektrod se sledováním KTL povlaku, který se v průběhu lakování tvořil, jak na upravovaném materiálu (drobný dílec), tak i na katodě. Vyloučené KTL povlaky na katodě i materiálu byly sledovány opticky, zdali je povlak kontinuální, dostatečně velká, či nikoli. Experimentální část této bakalářské práce se zaměřuje na ošetření elektrod, konkrétně katod, při použití modifikované technologie kataforetického lakování s návazností na KTL buben.

Běžně technologie kataforetického lakování spočívá v navěšování upravovaných dílců jednotlivě na katodu a v zápotí ponoření do lázně, kde se povlakuje. Naše modifikace je založená na (bez závěsném) systému bez nutnosti zavěšování. Každý jednotlivý upravovaný dílec se tedy nemusí ručně navěsit, ale stačí, když bude s katodou v tzv. náhodném kontaktu, kdy se dílce dotýkají katod bodovým, čarovým nebo plošným stykem. Dále budou výsledky uplatněny pro využití povlakování drobných dílů hromadným způsobem.

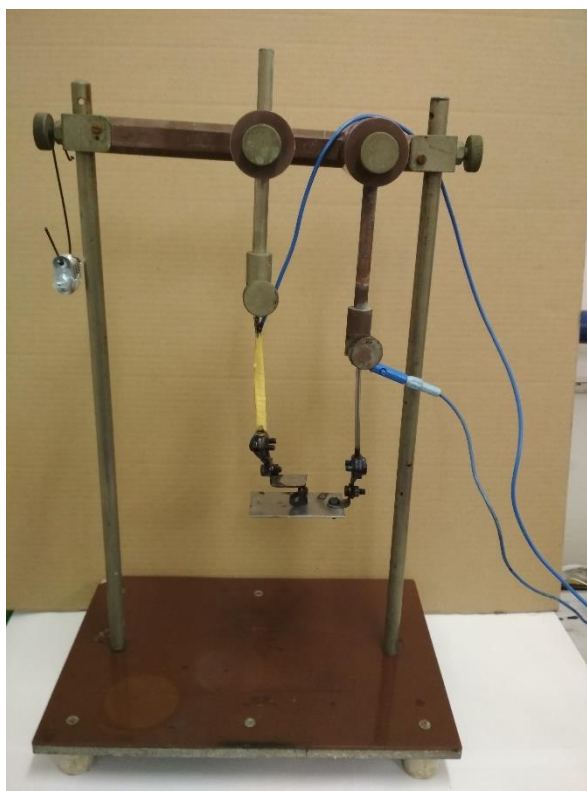
Problematika celého výzkumu spočívá v izolování katody po zapojení do sítě, kde se katoda povlakuje (izolačním nevodivým epoxi - polyuretanovým povlakem). Jinými slovy se povlak stane dielektrikem. Hlavní důraz byl kladen na užití vyhovujícího materiálu a takové povrchové úpravy katody, která zajistí elektrickou průraznost a nesmáčivost. V rámci výzkumu byl zhotoven laboratorní demonstrátor, viz obrázek 6, na němž byly všechny pokusy s hledáním ideální katody a její povrchové úpravy testovány.





*Obrázek 5: Ukázka zkušebního demonstrátoru elektrod pro kataforetické lakování*

Výsledný experiment probíhal v laboratorním zařízení, které tvořil polohovatelný stojan s elektrodami včetně KTL lázně, el. kabely a zdroj stejnosměrného proudu.



Obrázek 6: Laboratorní demonstrátor s anodou (vlevo) a katodou (vpravo)

## 6. Návrh katod pro zařízení kataforézního lakování drobných dílů bez závěsu.

### 5.1 Elektrody

Nejdůležitějším faktorem je vodivost elektrod (nesmí být izolovány) a zároveň umístění ve stejnosměrném elektrolytovém poli (katoda i anoda v nátěrové hmotě). Po zapojení do sítě se při KTL vylučuje nátěrová hmota na katodě, která vytvoří nevodivý povlak nejen na katodě ale i na všech elektricky vodivých prvcích či materiálu s ní v kontaktu. Materiál bývá v drtivé většině případů navěšován jednotlivě na katodu nebo může být (v našem případě a zároveň předmět výzkumu) spojen s katodou tzv. náhodným kontaktem (jednobodový, vícebodový či plošný kontakt). Při spuštění samotného povlakování by měl být dodržen plošný poměr mezi anodou a katodou + materiál s ní v kontaktu v poměru 1:4. Jeden z nejdůležitějších předpokladů opětovného užití katod je:

- a) **Povrchová úprava katody s ideálním poměrem nesmáčivosti a elektrické průraznosti (schopnost průchodu elektrického proudu skrz vrstvu)** – po zapojení elektrického pole, ve kterém se nachází elektrody, se začne vylučovat povlak samotné epoxy - polyuretanové lázně na katodě. Zároveň roste vzájemně i elektrický odpor povlaku, a proto se postupem času stává dielektrikem (izolant). Povrch více než 15  $\mu\text{m}$  se stává téměř elektricky nepropustným, přičemž se dá regulovat nastavením napěťových hodnot.
- b) **Mechanické odstranění** – pomocí vhodně navrženého stíracího kartáče přímo v lázni nebo mimo lázeň. Další, velice málo užívané čištění, je pohybem materiálu po katodě, který s sebou přináší nespolehlivě vodivý povrch katody. Z důvodu abrazivního namáhání katod je potřeba zvolit materiál s větší abrazivní odolností. V našem výzkumu nejlepší vlastnosti vykazuje korozivzdorná ocel.
- c) **Chemické odstranění** – nejrozšířenější rozpouštědlo, pomocí kterého se dá jednoduše rozpustit nepolymerizovaný KTL povlak, je butyl glykol (2 - butoxyethanol).



*Obrázek 7a,b: Ukázka depozice (položení) vzorku na katodu opatřenou hydrofobním postříkem před ponořením do KTL lázně vlevo, vpravo vyjmutí elektrod z KTL lázně a oplach ultrafiltrátem, drobný díl vykazuje 100 % povlakování.*



Obrázek 8: Zdroj stejnosměrného elektrického proudu THAOXIN KXN-5005D (5 A, 500 V).

## 5.2 Ošetření katod

V experimentu bylo užito několik druhů materiálů v kombinaci s povrchovými úpravami, (viz. kap. 5.3 Materiál katod). Cílem nadále zůstává nalezení ideálního poměru mezi smáčivostí a vodivostí povrchu katody, který se musí projevit na upravovaném dílci, ať už celistvostí povrchu, nebo kvalitou.

## 5.3 Materiál katod

Materiály katod byly testovány bez povrchové úpravy a po prvním zapojení elektrického pole se bez výjimky na všech vyloučil KTL povlak. Dále byly testovány tytéž vzorky s KTL povlakem, do doby, dokud byl elektrický náboj stále přenášen na drobný díl, a tudíž se povlakoval – nevypálený KTL povlak dokázal přenést elektrický proud. Následně byly všechny materiály ošetřeny povrchovou úpravou:

Tabulka 1 - materiály katod včetně povrchové úpravy

Materiál katody	Povrchová úprava	Rozměry [mm]
Q-panel Al-slitina 2024 - T3	Bez Pú	50x90x0,5
	Elox 5 [ $\mu\text{m}$ ]	50x90x0,5
	Elox 15 [ $\mu\text{m}$ ]	60x80x0,5
	KTL povlak – nevypálený	50x90x0,5
	Hydrofobní postřik	50x90x0,5
Grafit R 8500	Bez Pú	50x90x5
	KTL povlak – nevypálený	50x90x5
	Hydrofobní postřik	50x90x5
Korozivzdorná ocel AISI 304 leštěná	Bez Pú	50x90x1
	KTL povlak – nevypálený	50x90x1
	Hydrofobní postřik	50x90x1

Jako elektricky vysoce vodivý materiál katod v kataforetické lázni se jeví všechny testované subjekty. Rozdíly byly patrné až při více opakováních, kdy některé subjekty vykazovaly schopnost povlakovat více dílců v sérii bez oplachu. Dále hrála velkou roli povrchová úprava a její tloušťka. Ta byla klíčová, protože některé povrchové úpravy byly natolik dielektrika (izolanty), že elektrický náboj nebyl vůbec přenesen. Jedno z důležitých kritérií, s nímž se musí počítat do navazujících výzkumů, jsou vlastnosti užitých materiálů. Jde hlavně o odolnost vůči abrazi, (viz kap. 5.1 Elektrody). Z tohoto důvodu byl zvolen jako nejlépe vyhovující materiál korozivzdorná ocel AISI 304 leštěná s povrchovou úpravou hydrofobního postřiku (UED), u které na rozdíl od slitiny hliníku, nehrozí samorozpuštění v lázni.

## 5.4 Ultra Ever Dry

Ultra Ever Dry neboli UED je dvousložková „speciální průmyslová superhydrofobní a oleofobní nanoochrana, která odpuzuje téměř jakoukoliv tekutinu, využívající nanotechnologii k pokrytí materiálu a vytvoření vzduchové bariéry na jeho povrchu“. [13] Spodní nátěr splňuje funkci základní vrstvy a zároveň funguje jako antikoroziční membrána. Vrchní vrstva pak následně vytvoří nanotexturovaný povrch,

jehož struktura připomíná nesčetné množství mnohoúhelníků a mezer mezi nimi. Mají schopnost zachytit molekuly vzduchu a vytvořit tak „vzduchový deštník“. Vzduchový deštník funguje na principu, že při kontaktu s vodou, či jinou kapalinou, se díky mezerám mezi jednotlivými mnohoúhelníky, voda nedostane do velkého kontaktu s povrchem. Jedná se přibližně o 2 - 3 % kontaktní plochy, voda se tedy z důvodu malého kontaktu a nízkého odporu sveze po povlaku pryč. Ve srovnání s ostatními povrchovými úpravami vycházela tato možnost jako nejideálnější kompromis mezi smáčivostí a elektrickou průrazností (průrazovým napětím).

#### **Vlastnosti:**

- Doporučené teplotní rozmezí UED je mezi -35 °C a 150 °C (nicméně vykazuje funkčnost i při teplotách +250 °C).
- Je aplikovatelná téměř na jakýkoliv materiál (ocel, sklo, plast, dřevo, textil atd.).
- Je odolná vůči většině kyselin, žiravin, zásad.

#### **Fyzikální a chemické vlastnosti:**

- bezbarvý,
- pH – 7,
- hustota – 0,748,5 kg/m<sup>3</sup>,
- viskozita – 14 - 20 mm<sup>2</sup>/s. [13]

## **7. Ověření vlastností a funkčnosti katod v technologii kataforézního lakování.**

### **6.1 Kontrola povrchu katody**

Při výzkumu byla sledována kvalita naneseného ochranného povlaku před proběhnutím kataforézy i po ní. Dále byla katoda umístěna i s upravovaným dílcem do lázně, připojena na zdroj a testována, zdali se povlakuje, či nikoli. Po vytažení z lázně katoda prošla oplachem v demineralizované vodě a bylo opticky hodnoceno, jestli je

povlak epoxy - polyuretanové pryskyřice na katodě vyloučen, či nikoli. Velice důležitý faktorem byl i povlak vyloučený na upravovaném dílci, kde bylo taktéž opticky prováděno hodnocení kvality a celistvosti povrchu.

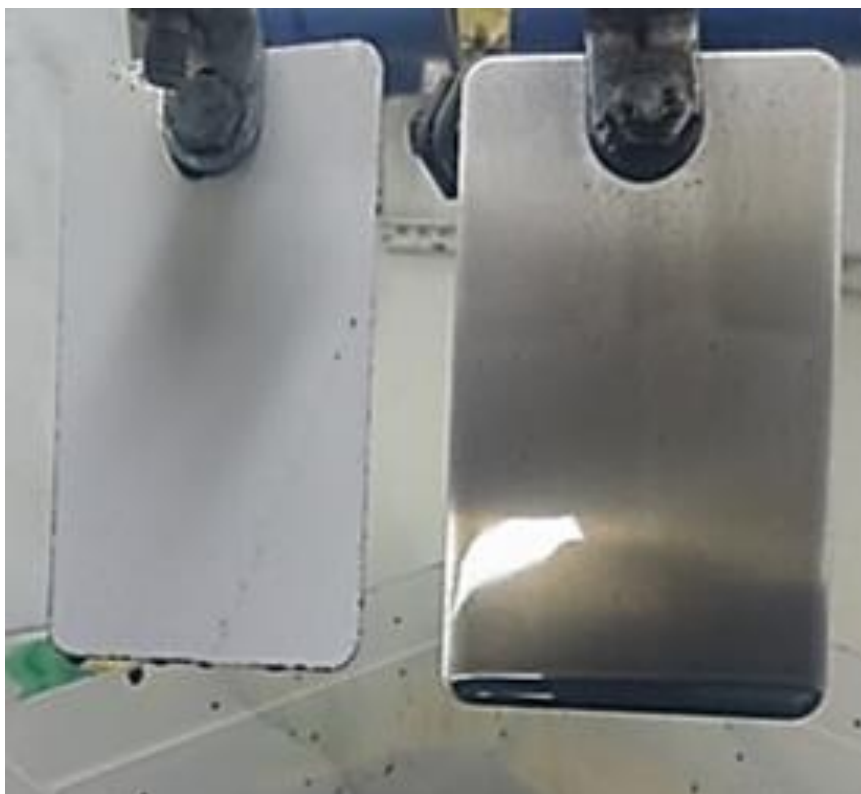
## 6.2 Vyhodnocení

Cílem experimentu bylo ověřit funkčnost kataforetické technologie při použití různých materiálů a různé povrchové úpravy katod. Výsledkem experimentu je srovnání počtu povlakovaných vzorků pro příslušnou katodu včetně výsledné tloušťky povlaku po vypálení. Zkouška - měření tloušťky povlakované vrstvy, probíhala dle normy ČSN EN ISO 2808 - Stanovení tloušťky vrstvy nátěru nedestruktivně metodou vířivých proudů. Tloušťka byla měřena na zpolymerizovaném vyloučeném KTL povlaku.



*Obrázek 9: Vzorek pro povlakování – drobný díl*

Vzorky použité pro lakování, viz obrázek 9, byly ve tvaru „L“ v rozměru 20x20 mm, s tloušťkou stěny 2 mm. Jako materiál byla zvolena běžná konstrukční ocel S 235. Všechny vzorky byly před povlakováním mořeny v 17 % HCl po dobu 10 min, při 22°C.



Obrázek 10: Katoda z materiálu Al-slityny 2024 – T3, PÚ - hydrofobní postřík (UED) vlevo, bez PÚ vpravo

Na obrázku 10 je porovnání katod ze slitiny hliníku s povrchovou úpravou hydrofobním postříkem (UED) vlevo a bez povrchové úpravu vpravo. Po ponoření a následném vytažení z KTL lázně, bez přítomnosti elektrického proudu – hydrofobní efekt.

### 6.3 Pracovní postup

Průběh výroby vzorků proběhl od začátku a až do finální polymerizace naprosto identicky pro všechny vzorky. Vzdálenost mezi katodou a anodou byla nastavena na 50 mm, viz obrázek 7.

- Vzorky, viz obrázek 9, byly mořeny v 17 % HCl.
- Jednotlivě umístěny na katodu s depozicí znázorněnou na obrázku 7.
- Spolu s elektrodami ponořeny do KTL lázně.
- Následovalo spuštění proudu po dobu 15 sec.
- Po vytáhnutí z KTL lázně byly opláchnuty ultrafiltrátem (demineralizovanou vodou).

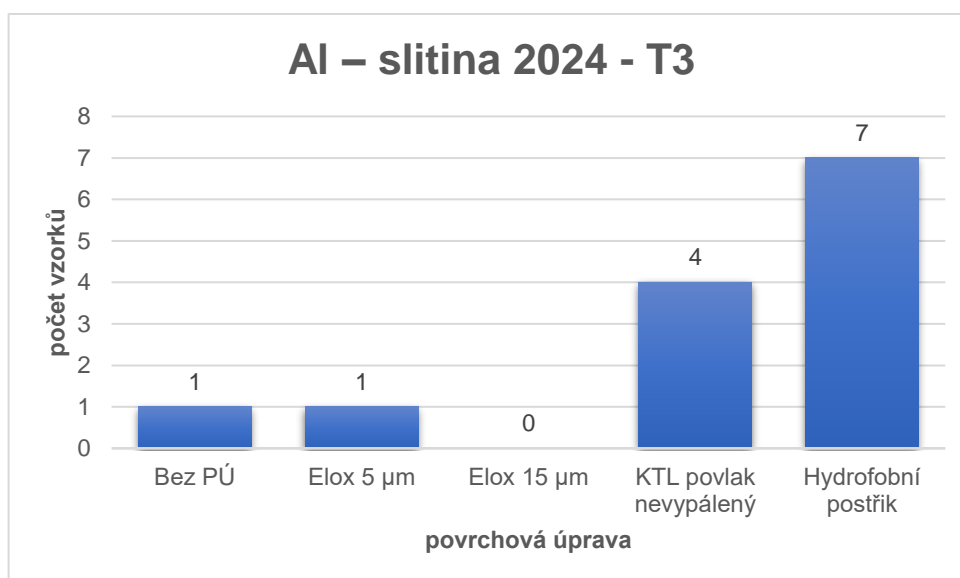


- Následovala polymerizace v peci při teplotě 180 °C po dobu 20 min.
- Proběhlo měření tloušťky pomocí tloušťkoměru (Elcometer 456 feromagnetický).
- Závěrem bylo vyhodnocení, zdali je vzorek vyhovující, či nikoli.

## Dílčí závěr pro katodu ze slitiny hliníku 2024 – T3

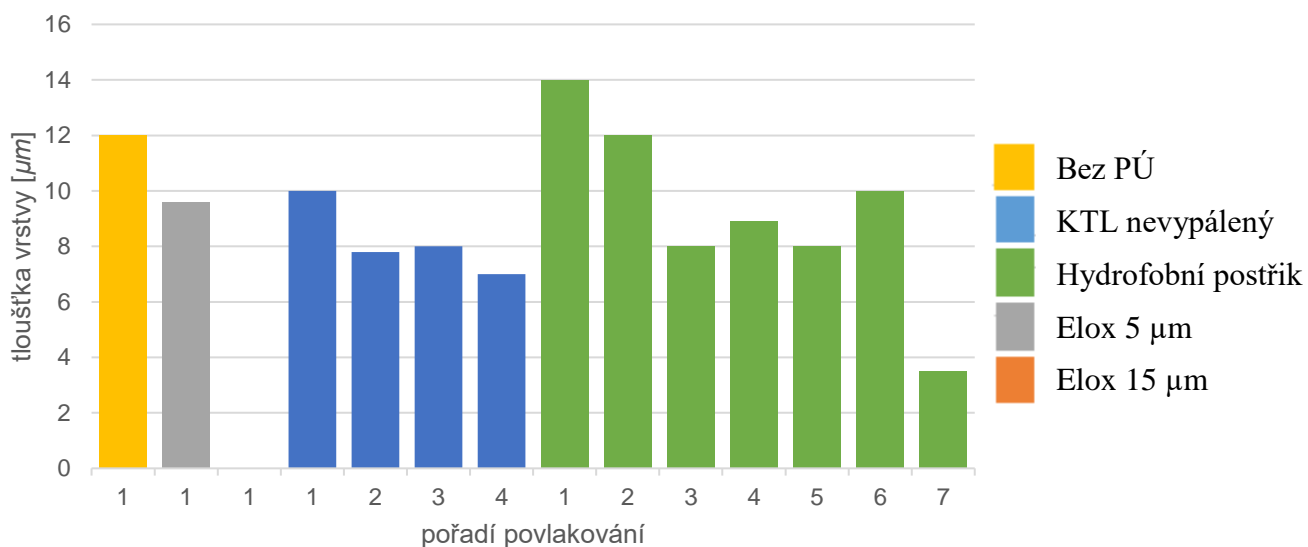
Tabulka 2 - Vyhodnocení KTL lakování s použitím katody z Al – slitiny

<b>Materiál: Al – slitina 2024 - T3</b>				
<b>Povrchová úprava katody</b>	<b>U [V]</b>	<b>I [A]</b>	<b>Povlakované díly (ks)</b>	<b>Tloušťka povlaku [μm] ČSN EN ISO 2808</b>
<i>Bez PÚ</i>	150	3	1	12
<i>Elox 5 μm</i>	150	3	1	9,6
<i>Elox 15 μm</i>	150	3	0	0
<i>KTL povlak nevypálený</i>	150	3	4	(10; 7,8; 8; 7)
<i>Hydrofobní postřik</i>	150	3	7	(14; 12; 8; 8,9; 8; 10; 3,5)



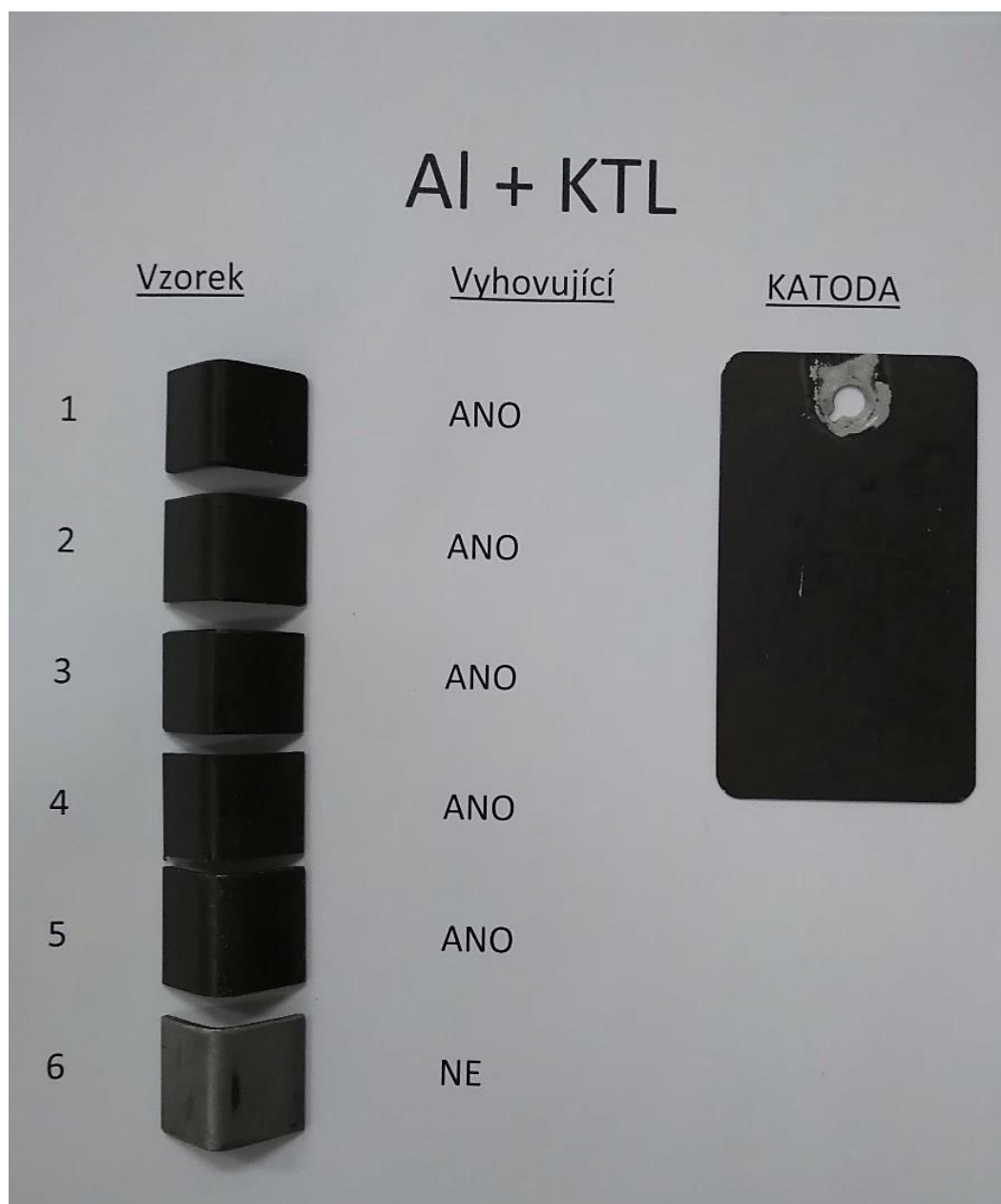
Graf 1: Závislost materiálu katody (Al – slitina 2024 – T3) a povrchové úpravy na počtu povlakovaných dílců

## Závislost počtu povlakování na tloušťce povlaku Al – slitina 2024 - T3



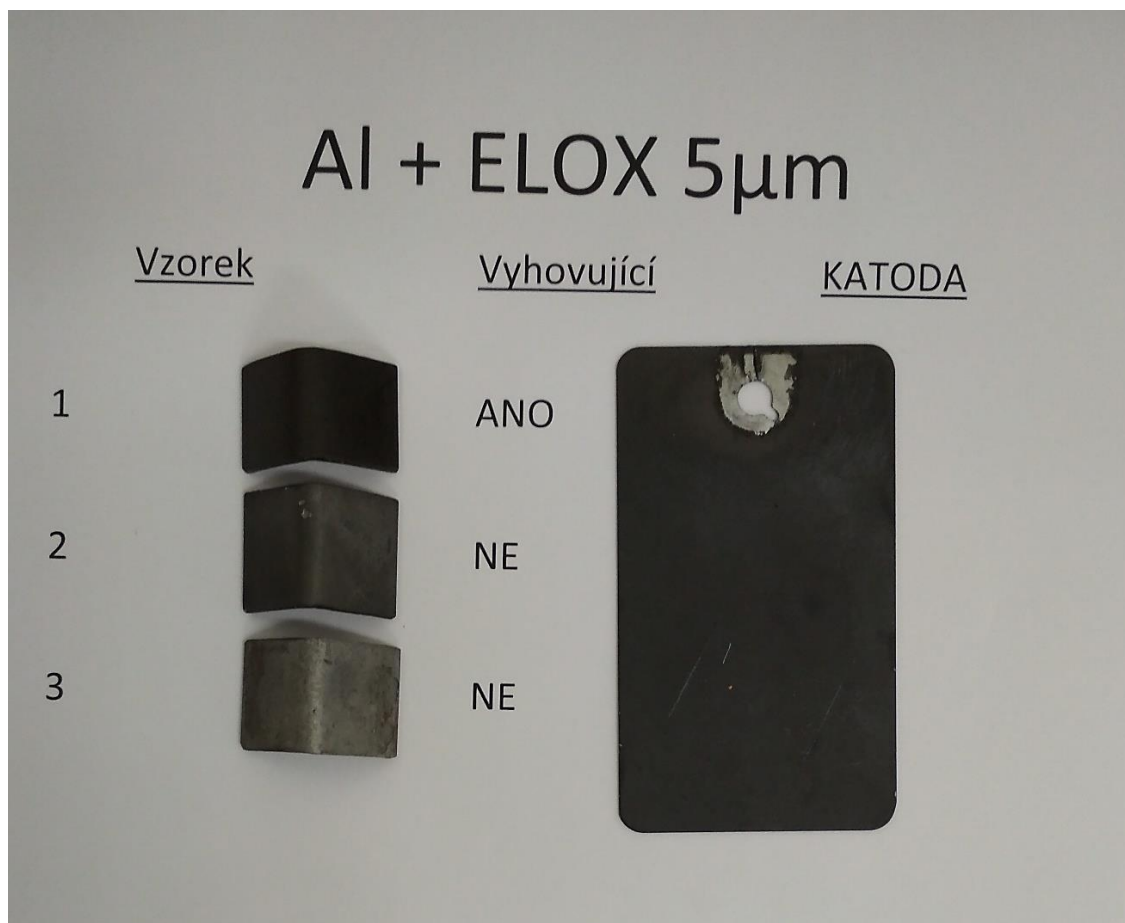
Graf 2: Závislost počtu opakování na tloušťce povlaku za užití materiálu Al – slitina 2024 - T3

Z grafů je zřetelné, že hydrofobní postřík vykazoval největší opakovatelnost, v porovnání s ostatními PÚ.



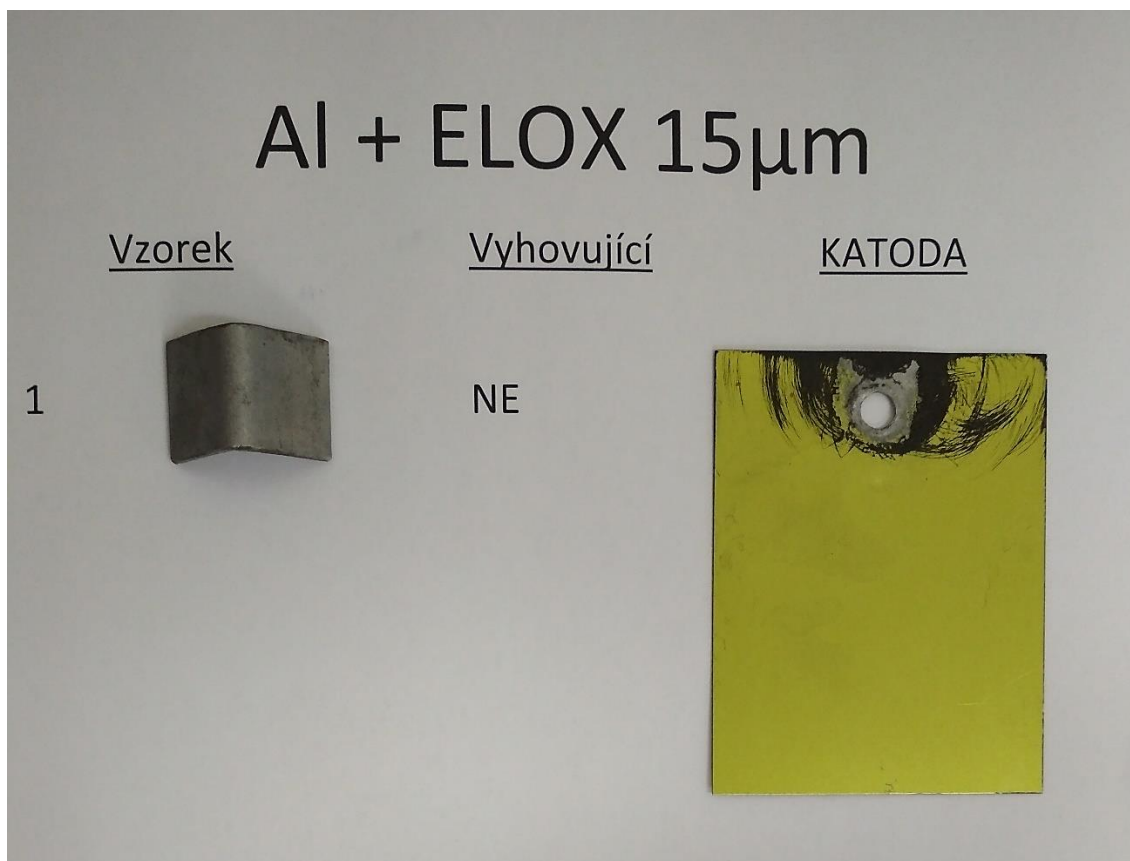
Obrázek 11: Katoda z materiálu Al-slityny 2024 – T3, PÚ- KTL povlak nepolymerizovaný a počet povlakovaných vzorků

Na obrázku č. 11 je znázorněno, kolik drobných dílců byla katoda schopna povlakovat v sérii, bez nutnosti oplachu. V případě materiálu katody ze slitiny hliníku s povrchovou úpravou KTL povlaku nepolymerizovaného, zvládla katoda povlakovat 5 dílců s vyhovující celistvostí, 6. dílec nebyl dostatečně povlakován, proto byl prohlášen za nevhovující.



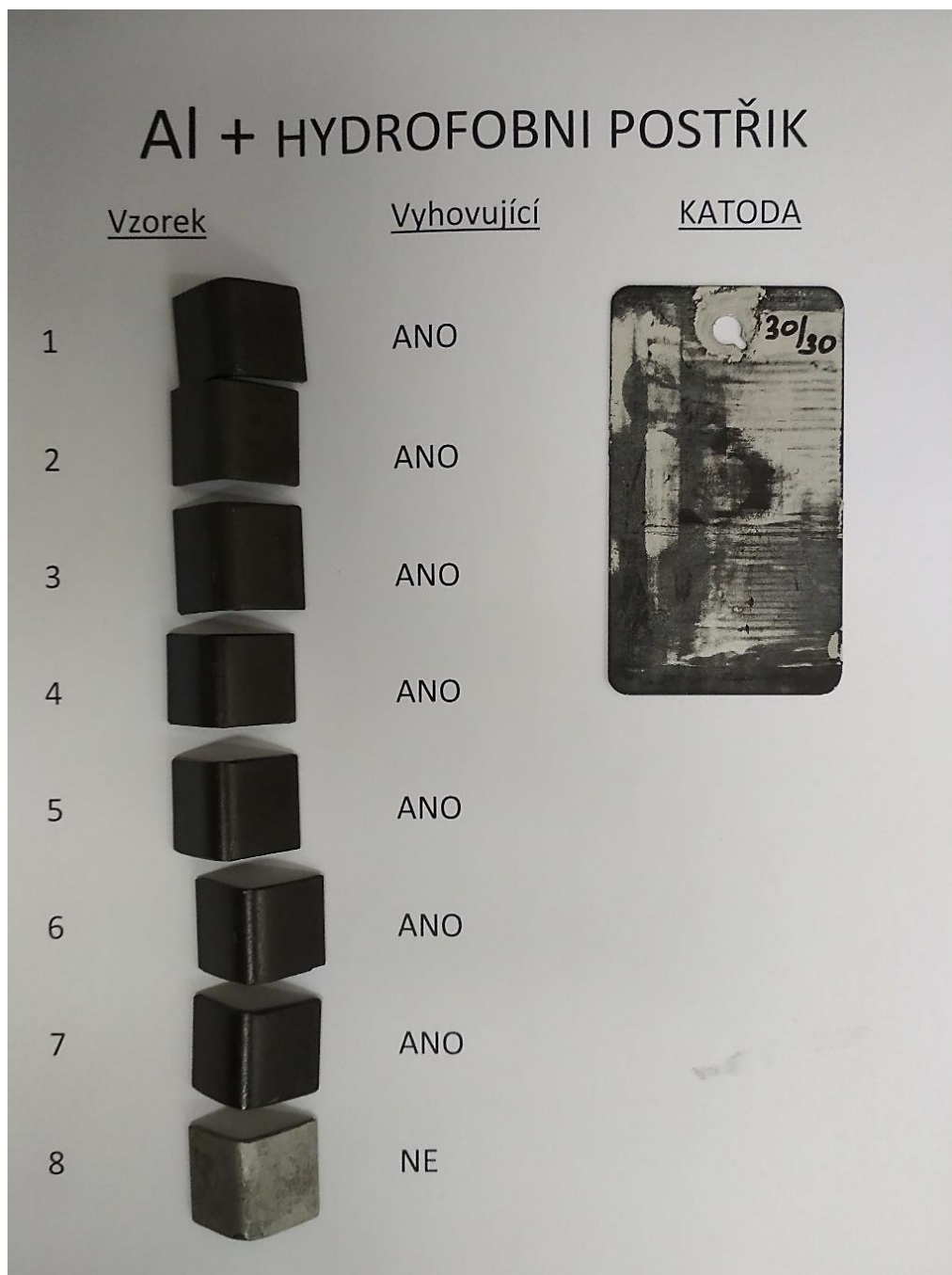
Obrázek 12: Katoda z materiálu Al-slity 2024 – T3, PÚ- elox 5  $\mu$ m a počet povlakovaných vzorků

Katoda ze slitiny hliníku opatřena PÚ – elox 5  $\mu$ m dokázala povlakovat pouze 1 dílec v sérii. Další opakování již nebylo dostatečně vyhovující.



Obrázek 13: Katoda z materiálu Al-slityny 2024 – T3, PÚ- elox 15  $\mu$ m a počet povlakovaných vzorků

Jediný vzorek z materiálu slitiny hliníky s PÚ elox o tloušťce 15  $\mu$ m nedokázal přenést elektrický náboj, proto nebyl povlakován ani jeden dílec. Z obrázku č. 13 je patrné, že se nedokázala povlakovat ani samotná katoda, tedy elektrický náboj nedokázal projít skrz tloušťku elektricky nevodivé vrstvy eloxu.



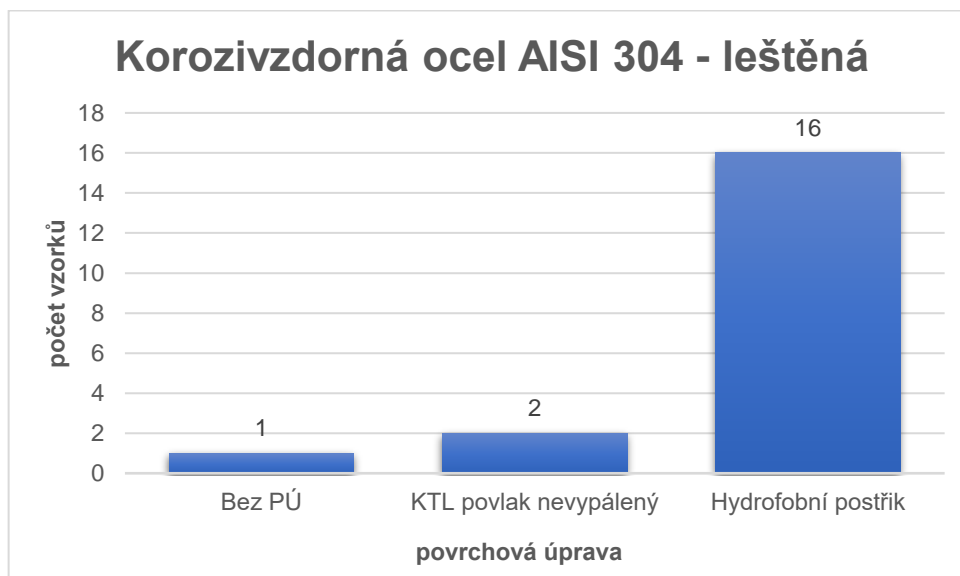
Obrázek 14: Katoda z materiálu Al-slityny 2024 – T3, PÚ- hydrofobní postřík (UED) a počet povlakovaných vzorků

Katoda na obrázku 14 je viditelně nepovlakovaná po celém povrchu, a to z důvodu PÚ hydrofobního postříku. Povlakovaná místa jsou zapříčiněna nedokonalostí nanesení hydrofobního povlaku. Zároveň hydrofobní postřík vykazuje největší produktivitu povlakování dílců v sérii bez užití oplachu.

## Dílčí závěr pro katodu z korozivzdorné oceli AISI 304 - leštěné

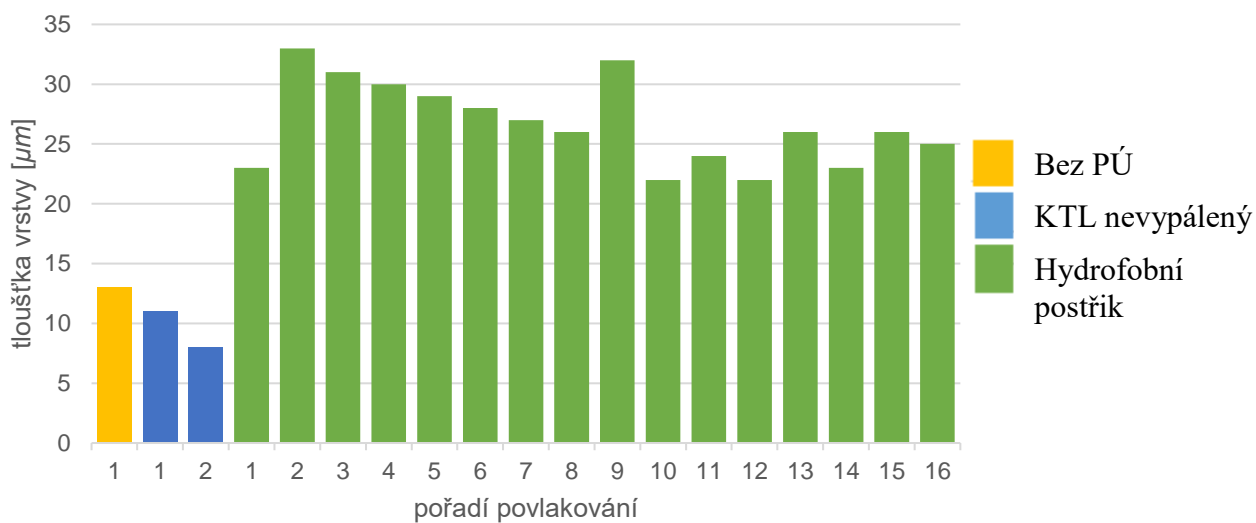
Tabulka 3 - vyhodnocení KTL lakování s použitím katody z korozivzdorné oceli AISI 304 - leštěná

<b>Materiál: korozivzdorná ocel AISI 304 - leštěná</b>				
<b>Povrchová úprava katody</b>	<b>U [V]</b>	<b>I [A]</b>	<b>Povlakované díly (ks)</b>	<b>Tloušťka povlaku [μm] ČSN EN ISO 2808</b>
<i>Bez PÚ</i>	150	3	1	13
<i>KTL povlak nevypálený</i>	150	3	2	(11;8)
<i>Hydrofobní postřik</i>	300	3	16 a více	(32; 33; 31; 30; 29; 28; 27; 26; 32; 22; 24; 22; 26; 23; 26; 25)



Graf 3: Závislost materiálu katody (Korozivzdorná ocel AISI 304 – leštěná) a povrchové úpravy na počtu povlakovaných dílců

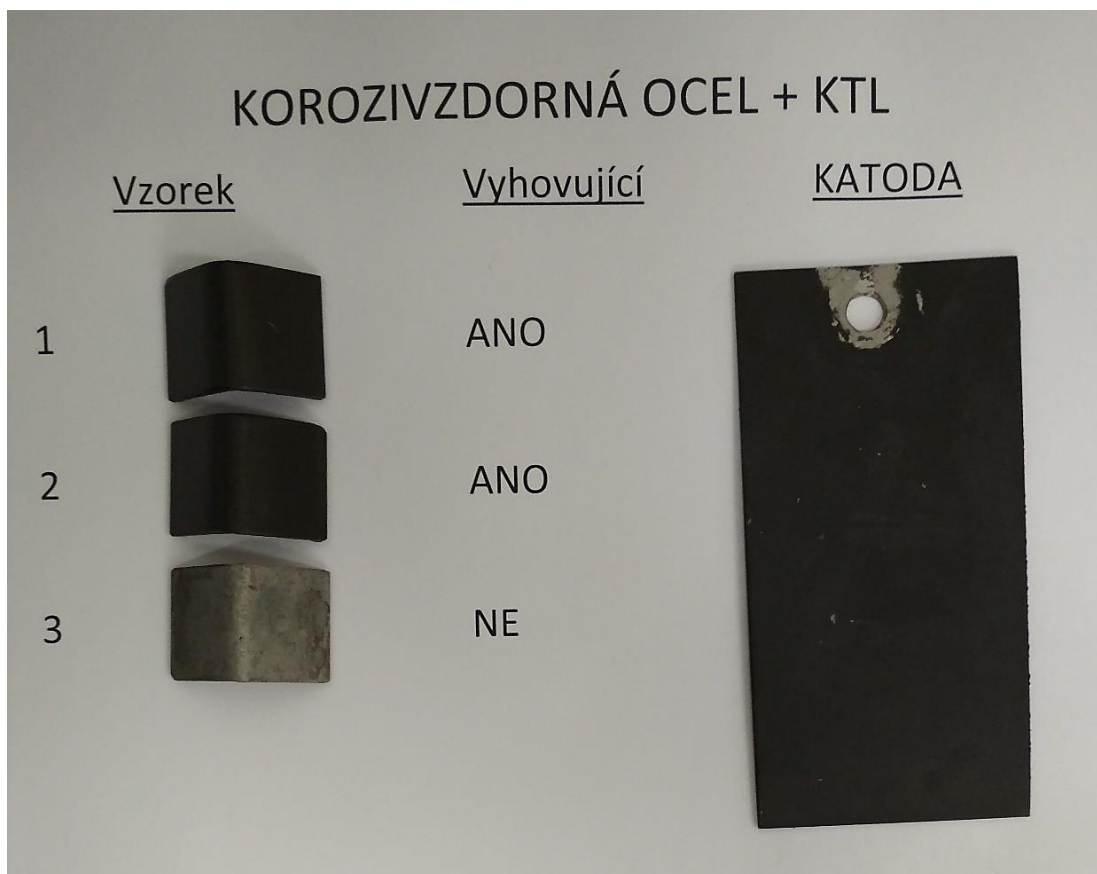
### Závislost počtu povlakování na tloušťce povlaku korozivzdorná ocel AISI 304



Graf 4: Závislost počtu opakování na tloušťce povlaku za užití materiálu korozivzdorná ocel AISI 304

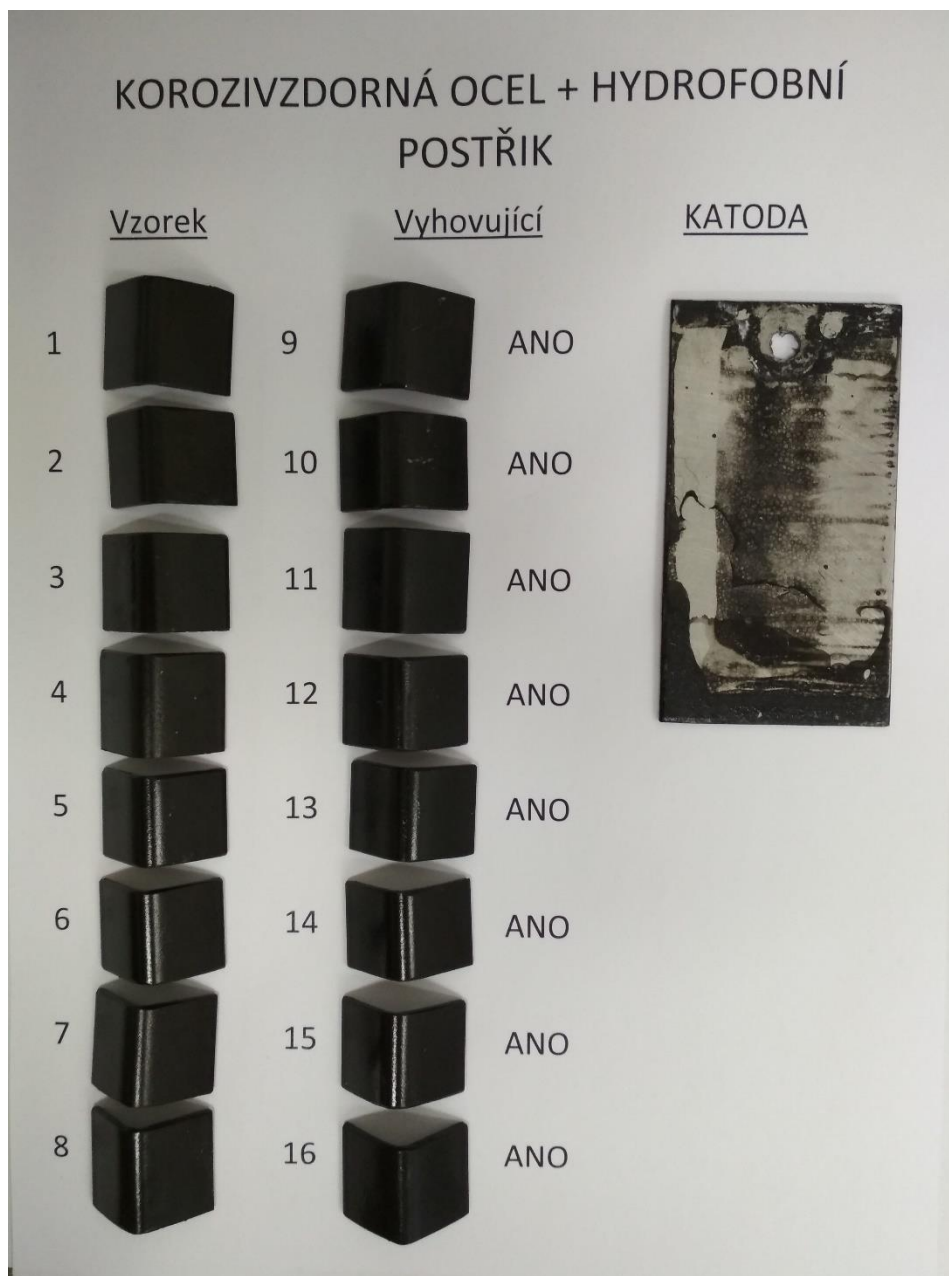
Z grafů 3 a 4 je patrný největší rozdíl opakovatelnosti při užití PÚ hydrofobní postřik a bez PÚ. Výsledky tohoto dílčího závěru byly klíčové v celkovém vyhodnocení ideální povrchové úpravy.





*Obrázek 15: Katoda z materiálu korozivzdorné oceli AISI 304 - leštěná, PÚ- KTL povlak nepolymerizovaný a počet povlakovaných vzorků*

Na obrázku 15 se nachází katoda z materiálu korozivzdorná ocel s KTL povlakem. Je zřetelná pouze malá opakovatelnost, která činí 2 vzorky. Z tohoto výsledku lze usuzovat, že korozivzdorná bez ošetření PÚ hydrofobním postříkem není vhodná.



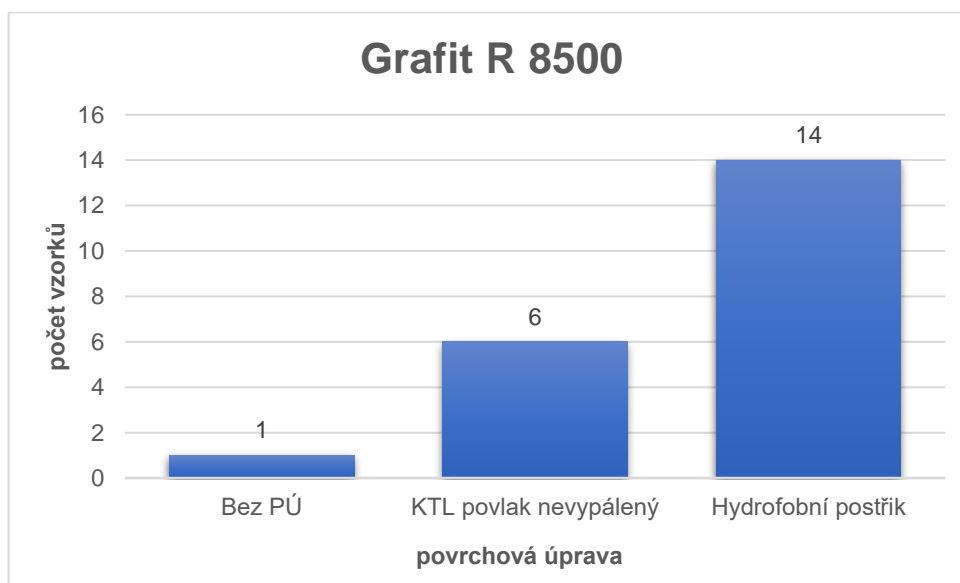
Obrázek 16: Katoda z materiálu korozivzdorné oceli AISI 304 - leštěná, PÚ- hydrofobní postřik (UED) a počet povlakovaných vzorků

Na obrázku 16 je katoda z korozivzdorné oceli, kde byla aplikována povrchová úprava hydrofobní postřik (UED). Opakovatelnost této katody byla testována až do množství 16 dílců v sérii, bez nutnosti oplachu. Katoda byla schopna v testování nadále pokračovat ale z důvodu srovnávání, a tedy nejlepší opakovatelnosti, bylo testování na tomto čísle zastaveno. Kombinace tohoto materiálu a povrchové úpravy byla ve výsledku prohlášena za nejideálnější, s nejvyšší opakovatelností.

## Dílčí závěr pro katodu z grafitu R 8500

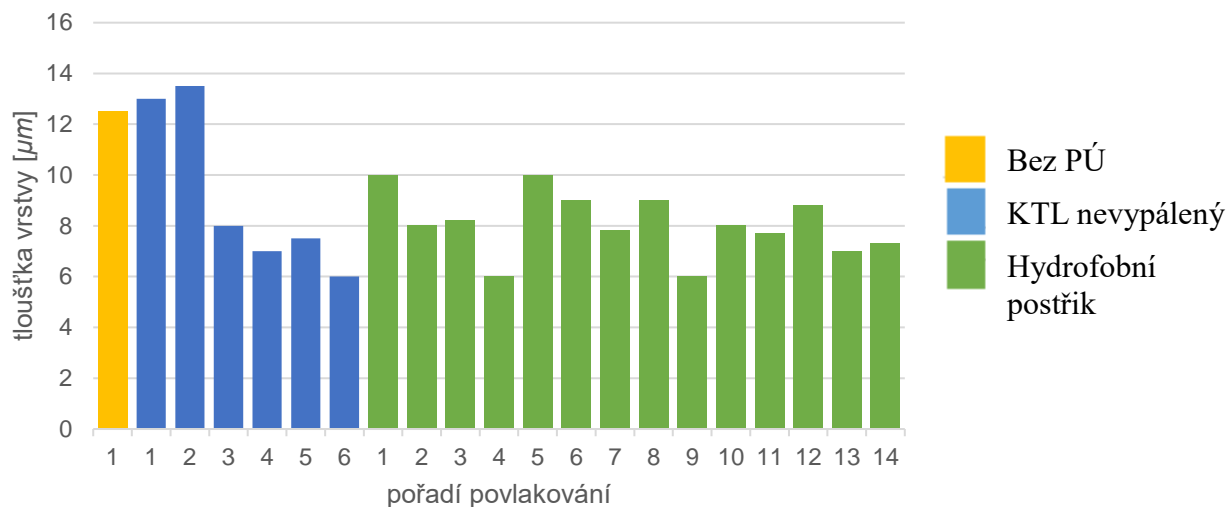
Tabulka 4 - vyhodnocení KTL lakování s použitím katody z Grafitu R8005

<b>Materiál: grafit R 8500</b>				
<b>Povrchová úprava katody</b>	<b>U [V]</b>	<b>I [A]</b>	<b>Povlakované díly (ks)</b>	<b>Tloušťka povlaku [μm] ČSN EN ISO 2808</b>
<i>Bez PÚ</i>	150	3	1	12,5
<i>KTL povlak nevypálený</i>	150	3	6	(13; 13,5; 8; 7; 7,5; 6)
<i>Hydrofobní postřik</i>	150	3	14	(10; 8; 8,2; 6; 10; 9; 7,8; 9; 6; 8; 7,7; 8,8; 7; 7,3)



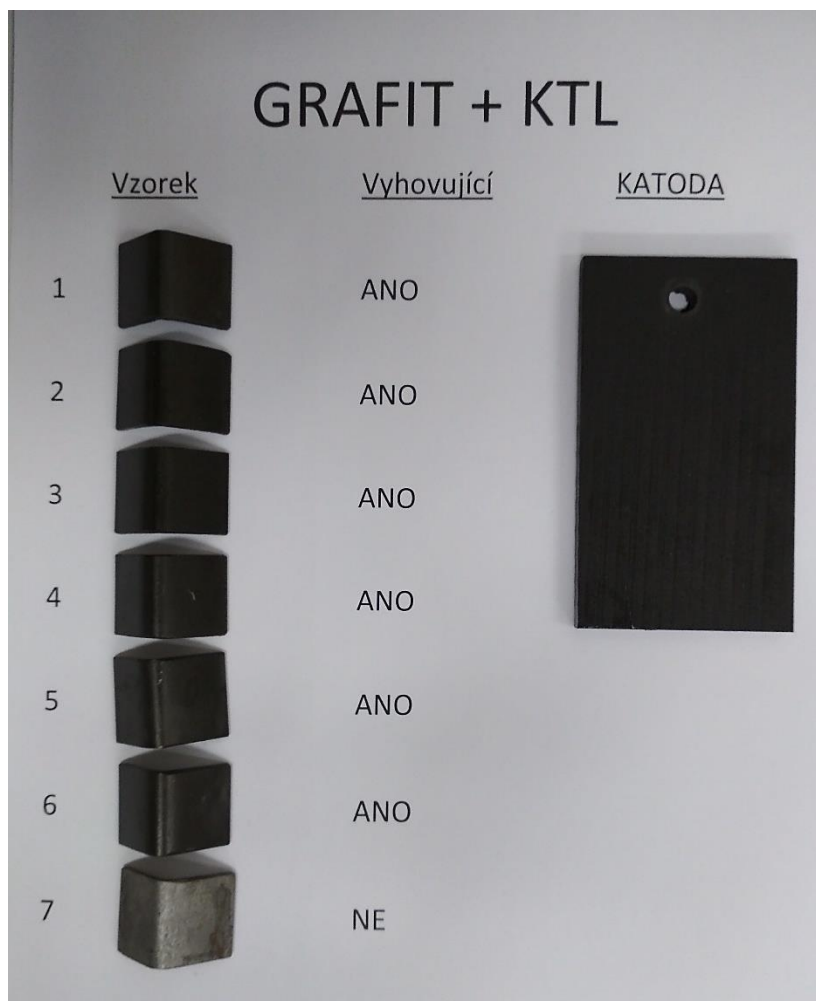
Graf 5: Závislost materiálu katody (grafit R 8500) a povrchové úpravy na počtu povlakovaných dílců

## Závislost pořadí povlakování na tloušťce povlaku Grafit R 8500



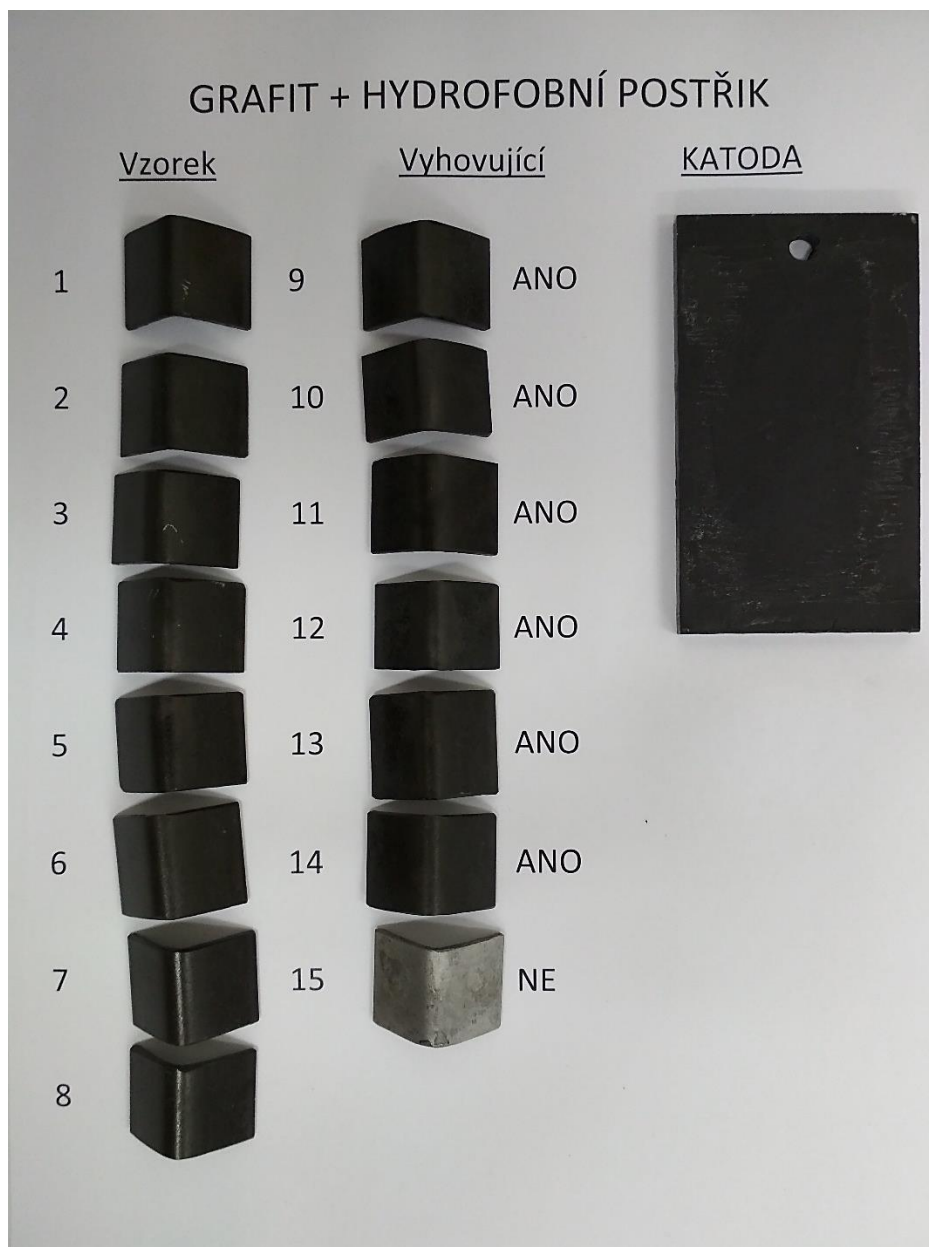
*Graf 6: Závislost počtu opakování na tloušťce povlaku za užití materiálu grafit R 8500*

Ve srovnání všech 3 materiálů (Al, korozivzdorná ocel, grafit), bez užití povrchové úpravy, respektive za užití KTL povlaku nevypáleného, vykazovala katoda z materiálu grafit největší opakovatelnost. Nicméně, za přítomnosti hydrofobního postřiku, vykazovala katoda daleko lepší opakovatelnost.



Obrázek 17: Katoda z materiálu grafit R 8500, PÚ - KTL povlak nepolymerizovaný a počet povlakovaných vzorků

Katoda z materiálu grafit s KTL povlakem vykazovala největší opakovatelnost ve srovnání s ostatními materiály s touto povrchovou úpravou.



Obrázek 18: Katoda z materiálu grafit R 8500, PÚ - hydrofobní postřik (UED) a počet povlakovaných vzorků

Grafitová katoda na obrázku 18 vykazovala velice vysokou opakovatelnost, nicméně grafit se nejeví jako ideální materiál katody z důvodu nízké odolnosti vůči abrazi, náročné přípravě vzorků a téměř žádné tvrnosti.

## **8. Diskuse**

Z výsledků experimentu vyplývá, že nejvíce vyhovující materiál pro elektrody modifikované technologie kataforetického lakování, je korozivzdorná ocel AISI 304 – leštěná. Vykazovala největší opakovatelnost bez nutnosti oplachu. Zároveň má tento materiál, ve srovnání s ostatními materiály, největší odolnost vůči abrazi a neoxiduje v lázni. Katoda z grafitu vykazovala také vysokou opakovatelnost, ale z již zmiňovaných materiálových vlastností byl grafit prohlášen za nevhovující. Není možné stanovit ideální proud a napětí, a to z důvodu závislosti na ploše upravovaného materiálu a katody.

## **9. Technologicko-ekonomické zhodnocení**

Kataforetické lakování je velice hospodárná technologie povrchové úpravy materiálu. Výtěžnost nátěrové hmoty se blíží téměř 100 %, tedy nevznikají žádné odpadní látky. Zároveň je velmi významná ekologická stránka technologie bez organických rozpouštědel. Tato technologie vytváří vysokou protikorozi ochranu při relativně nízké tloušťce povlaku, která je snadno regulovatelná nastavením proudové a napěťové smyčky. Vyniká rovnoměrným pokrytím i složitých tvarů, dutin a jiných problémových míst v porovnání s běžnými povrchovými úpravami.

## 10. Závěr

Cílem výzkumu bylo nalézt technické řešení, jak zajistit možnou opakovatelnost použití neboli funkčnost vícenásobného použití katody. Byl nalezen materiál a povrchová úprava, díky níž dokázala katoda „povlakovat“ drobné dílce opakovaně aniž by se stala dielektrikem, tedy izolantem. Nejvhodnější materiál, ať už z hlediska odolnosti vůči abrazi, či chemickému čištění nebo nejdůležitějším kritériem – možné opakovatelnosti, použití katody povlakování hromadným způsobem s PÚ, dle experimentu byl materiál **korozivzdorná ocel AISI 304**, s povrchovou úpravou - **hydrofobním postřikem (UED)**. Tento materiál zároveň vykazuje větší odolnosti vůči případnému mechanickému či chemickému čištění nebo aplikaci hydrofobní ochrany. Výzkum byl postaven na předpokladu bez závěsného systému, tedy styk mezi katodou a dílcem, který je taktéž katodou v náhodném kontaktu. Motivací toho výzkumu je nalézt technické řešení, které umožní realizovat hromadný způsob povlakování drobných dílů bez navěšování. V našem experimentu bylo použito konstantní nastavení proudové a napěťové smyčky 150 V a 3 A. Tyto hodnoty nelze prohlásit za plošně využitelné, hodnoty odpovídaly experimentálním vzorkům a tloušťce PÚ.

Výsledky z experimentální části přinesly významné poznatky a jsou velmi důležité pro další vývoj technologie KTL pro drobné zboží. vývoj v oblasti hromadného KTL, a to především v materiálu katod, v povrchové předúpravě a možnostech přesné aplikace hydrofobních nátěrových hmot.

Náhodný kontakt mezi katodami a drobnými díly zajistí přestup elektrického proudu a vytvoření podmínek pro kataforetického lakování. Při dalším zkoumání modifikované technologie kataforetického lakování by bylo vhodné se zaměřit zejména na zkoumání náhodného kontaktu a doby nezbytné pro kontakt mezi katodou a dílcem při kontinuální povlakování.



# 11. Zdroje

- [1] Kapilární elektroforéza: Separační analytická metoda pro věk mikročipů. Vesmír [online]. 2001, 5. 7. 2001, 2001(80), 1 [cit. 2018-25-05]. DOI: <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2001/cislo-7/kapilarni-elektroforeza.html>. Dostupné z: <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2001/cislo-7/kapilarni-elektroforeza.html>.
- [2] KREIBICH, Viktor. Teorie a technologie povrchových úprav. Praha: České vysoké učení technické, 1996. ISBN 80-01-01472-x.
- [3] Povrchové úpravy [online]. [cit. 2018-22-03]. Dostupný z WWW: [www.povrchoveupravy.cz/2005-04-clanek01.html](http://www.povrchoveupravy.cz/2005-04-clanek01.html).
- [4] Lakum [online]. [cit. 2018-22-03]. Dostupný z WWW: [www.lakum.cz/cz/sluzby/humpolec/kataforeza-ctl-cyklicka](http://www.lakum.cz/cz/sluzby/humpolec/kataforeza-ctl-cyklicka).
- [5] Povrchové úpravy v autoprůmyslu - Škoda Superb. Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum [online]. Copyright © 2018 [www.mmspektrum.com](http://www.mmspektrum.com) [cit. 08.05.2018]. Dostupný z WWW: <https://www.mmspektrum.com/clanek/povrchove-upravy-v-autoprmyslu-skoda-superb.html>.
- [6] <http://www.knipl.com/sk/Berendezesgyartas/Elektroforeticke-lakovanie-KTL>.
- [7] KUDLACEK, Jan. *Povrchové úpravy*. Předúprava povrchu, Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011-3-7.
- [8] MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB, 1995, 151 s. ISBN 80-707-8267-6.
- [9] [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=16799](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16799).
- [10] Wikipedia [online]. [cit. 2018-22-03]. Dostupný z WWW: [www.wikipedia.cz](http://www.wikipedia.cz).
- [11] Firemní podklady firmy MEGA a.s.
- [12] KREIBICH, Viktor. *Strojírenské materiály a povrchové úpravy, Návod ke cvičení z povrchových úprav*. Praha: České vysoké učení technické, srpen 1989.

- [13] Nano tech shop [online]. [cit. 2018-22-03]. Dostupný z WWW: [www.nanotechshop.cz](http://www.nanotechshop.cz).
- [14] KAFKA, Jakub. Kataforetické lakování drobných dílů. Praha, 2013. Diplomová práce (Ing.) České vysoké učení technické v Praze, fakulta strojní, ústav strojírenské technologie, 2013-8-27.
- [15] BTI Inc [online]. [cit. 2018-02.06.]. Dostupný z WWW: <https://bti-tool.com/contract-cnc-machining-services>.
- [16] Patent US 5810987 A - Process for efficiently electrophoretically coating small items, datum publikování: 22. září 1998.
- [17] Patent US 3616392 A - Method for coating conductive articles, datum publikování: 26. října 1971.
- [18] KUDLÁČEK, J., et al. Průběžná zpráva z řešení projektu za ČVUT v Praze Ú12133-2016-MEGA-04. České vysoké učení technické v Praze Fakulta strojní Technická 4, 166 07 Praha 6 Dejvice. 2018, Ú12133-2016-MEGA-04.
- [19] KUDLÁČEK, J., et al. Studie zařízení pro kontinuální kataforetické lakování drobných dílů. České vysoké učení technické v Praze Fakulta strojní Technická 4, 166 07 Praha 6 Dejvice. 2017, Ú12133-2017-MEGA - 03.
- [20] KUDLÁČEK, J., et al. Zařízení pro dávkové kataforetické lakování drobných dílů. České vysoké učení technické v Praze Fakulta strojní Technická 4, 166 07 Praha 6 Dejvice. 2017, Ú12133-2016-MEGA-02.
- [21] KUDLÁČEK, J., et al. Rešerše stavu problematiky kataforetického lakování drobných dílů. České vysoké učení technické v Praze Fakulta strojní Technická 4, 166 07 Praha 6 Dejvice. 2017, Ú12133-2016-MEGA-01.
- [22] DRAŠNAR, P., KUDLÁČEK, J., a MATUŠKA, Z. CATAPHORESIS OF SMALL PARTS DEVICE CONSTRUCTION. In: International Conference on Innovative Technologies 2017. International Conference on Innovative Technologies, IN-TECH2017. Ljubljana, 11.09.2017 - 13.09.2017. Rijeka: Faculty of Engineering University of Rijeka. 2017, s. 277-280. ISSN 0184-9069.
- [23] ZBOŘIL, Petr, Kamil HYLÁK, Petr DRAŠNAR a Jan KUDLÁČEK. INTERNATIONAL TECHNICAL CONFERENCE: Electrode testing for cataphoretic coating small parts. 9th. 551 01 Jaroměř:

**TISK AS, s.r.o., Jaroměř, 2018. ISBN 978-80-87583-26-5. České vysoké učení technické v Praze Fakulta strojní Technická 4, 166 07 Praha 6 Dejvice. 2018.**

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma kataforetického vylučování nátěrové hmoty [11].....	4
Obrázek 2: Odstíny KTL barev. [11].....	7
Obrázek 3: Schéma dvoustupňového oplachu s protiproudem [8].....	12
Obrázek 4: Příklad drobného materiálu [15] .....	14
Obrázek 5: Ukázka zkušebního demonstrátoru elektrod pro kataforetické lakování .....	16
Obrázek 6: Laboratorní demonstrátor s anodou (vlevo) a katodou (vpravo) .....	17
Obrázek 7a,b: Ukázka depozice(položení) vzorku na katodu opatřenou hydrofobním postřikem před ponořením do KTL lázně vlevo, vpravo vyjmutí elektrod z KTL lázně a oplach ultrafiltrátem, drobný díl vykazuje 100 % povlakování.....	18
Obrázek 8: Zdroj stejnosměrného elektrického proudu THAOXIN KXN-5005D (5 A, 500 V). .....	19
Obrázek 9: Vzorek pro povlakování – drobný díl .....	22
Obrázek 10: Katoda z materiálu Al-slitiny 2024 – T3, PÚ - hydrofobní postřik (UED) vlevo, bez PÚ vpravo.....	23
Obrázek 11: Katoda z materiálu Al-slitiny 2024 – T3, PÚ- KTL povlak nepolymerizovaný a počet povlakovaných vzorků.....	26
Obrázek 12: Katoda z materiálu Al-slitiny 2024 – T3, PÚ- elox 5 $\mu\text{m}$ a počet povlakovaných vzorků.....	27
Obrázek 13: Katoda z materiálu Al-slitiny 2024 – T3, PÚ- elox 15 $\mu\text{m}$ a počet povlakovaných vzorků.....	28
Obrázek 14: Katoda z materiálu Al-slitiny 2024 – T3, PÚ- hydrofobní postřik (UED) a počet povlakovaných vzorků .....	29
Obrázek 15: Katoda z materiálu korozivzdorné oceli AISI 304 - leštěná, PÚ- KTL povlak nepolymerizovaný a počet povlakovaných vzorků.....	32
Obrázek 16: Katoda z materiálu korozivzdorné oceli AISI 304 - leštěná, PÚ- hydrofobní postřik (UED) a počet povlakovaných vzorků .....	33
Obrázek 17: Katoda z materiálu grafit R 8500, PÚ - KTL povlak nepolymerizovaný a počet povlakovaných vzorků .....	36
Obrázek 18: Katoda z materiálu grafit R 8500, PÚ - hydrofobní postřik (UED) a počet povlakovaných vzorků.....	37

## Seznam grafů

Graf 1: Závislost materiálu katody (Al – slitina 2024 – T3) .....	24
Graf 2: Závislost počtu opakování na tloušťce povlaku za užití materiálu Al – slitina 2024 - T3.....	25
Graf 3: Závislost materiálu katody (Korozivzdorná ocel AISI 304 – leštěná) .....	30
Graf 4: Závislost počtu opakování na tloušťce povlaku za užití materiálu korozivzdorná ocel AISI 304 .....	31
Graf 5: Závislost materiálu katody (grafit R 8500) .....	34
Graf 6: Závislost počtu opakování na tloušťce povlaku za užití materiálu grafit R 8500 .....	35

## **Seznam tabulek**

<i>Tabulka 1 - materiály katod včetně povrchové úpravy .....</i>	<i>20</i>
<i>Tabulka 2 - Vyhodnocení KTL lakování s použitím katody z Al – slitiny .....</i>	<i>24</i>
<i>Tabulka 3 - vyhodnocení KTL lakování s použitím katody z korozivzdorné oceli AISI 304 - leštěná .....</i>	<i>30</i>
<i>Tabulka 4 -vyhodnocení KTL lakování s použitím katody z Grafitu R8005 .....</i>	<i>34</i>

## **Seznam příloh**

**Příloha č. 1 – Technologický list nátěrové hmoty**

**Příloha č. 2 – Bezpečnostní list pigmentové pasty**

**Příloha č. 3 – Bezpečnostní list pryskyřice**