



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## ELEKTROFORÉZNÍ LAKOVÁNÍ

ELECTROPHORESIS COATING

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jiří Holčapek

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

BRNO 2020

# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	<b>Jiří Holčapek</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	<b>Ing. Ladislav Žák, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## **Elektroforézní lakování**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Úkolem zadání je zpracovat nové poznatky technologie elektroforézního lakování.

### **Cíle bakalářské práce:**

- literární studie dané problematiky,
- způsoby vytváření elektroforézních povlaků,
- aplikační příklady.

### **Seznam doporučené literatury:**

KREIBICH, Viktor. Teorie a technologie povrchových úprav. Praha: České vysoké učení technické, 1996. ISBN 80-010-1472-x.

MOHYLA, Miroslav. Technologie povrchových úprav kovů. Vyd. 2. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, Strojní fakulta, 2000, 150 s. ISBN 80-707-8953-0.

SEDLÁČEK, Vladimír. Povrchy a povlaky kovů. 1. vyd. Praha : České vysoké učení technické v Praze, 1992. Skripta. ISBN 80-01-00799-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

HOLČAPEK Jiří: Elektroforézní lakování

---

Tato práce je založena na základě literární studie technologie elektroforézního lakování a koroze. Zprvu se pojednává o korozi kovů a důležitosti ochrany kovových částí. Následně se zabývá samotnou technologií elektroforézního lakování a technologického postupu vytváření elektroforézních povlaků. Na závěr jsou uvedeny nové trendy v oblasti elektroforézního lakování.

Klíčová slova: elektroforézní lakování, kataforéza, anaforéza, koroze, antikorozní ochrana

## **ABSTRACT**

HOLČAPEK Jiří: Electrophoresis coating

---

This bachelor is based on a study of electrophoresis coating and corrosion. The first part contains information about corrosion of metal and the importance of protecting metal parts. Then it deals with the technology of electrophoresis coating and technological process of creating electrophoresis coating. Finally, new trends in the field of electrophoresis coating are presented.

Keywords: electrophoresis coating, cathoresis, anaphoresis, corrosion, corrosion protection

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

HOLČAPEK, Jiří. *Elektroforézní lakování* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124569>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V ..... dne 26.6.2020

.....

Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu Ing. Ladislavu Žákovi, PhD. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu během mého studia.

## **OBSAH**

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

<b>ÚVOD</b> .....	9
<b>1 KOROZE KOVŮ</b> .....	10
1.1 DRUHY KORZE .....	10
1.2 OCHRANA KOVŮ PROTI KOROZI .....	11
<b>2 ELEKTROFORÉZNÍ LAKOVÁNÍ</b> .....	14
2.1 ANAFORETICKÉ LAKOVÁNÍ – ANAFOREZA .....	15
2.2 KATAFORETICKÉ LAKOVÁNÍ – KATAFORÉZA .....	16
2.2.1 PRINCIP .....	16
2.2.2 OBLASTI POUŽITÍ .....	17
2.2.3 TECHNOLOGICKÝ POSTUP .....	18
2.2.4 TYPY LINEK KTL.....	25
2.2.5 PARAMETRY VYBRANÝCH LINEK .....	26
2.2.6 VÝHODY a NEVÝHODY KTL .....	26
<b>3 NOVÉ MOŽNOSTI ELEKTROFORÉZY</b> .....	27
<b>4 ZÁVĚRY</b> .....	29
Seznam použitých zdrojů	
Seznam obrázků	



## ÚVOD [1], [2], [3], [4]

Dnešní uspěchaná doba, ve které žijeme a kde se spousta lidí žene jenom za úspěchem, představuje negativní dopady na celé naše okolí. Nakupování stále nových věcí, které ještě dobře slouží, se nahrazují novými, většími, modernějšími, a to jenom proto, že novou věc si koupil soused, či náš kamarád. Dnešní doba není jenom uspěchaná, ale taky velmi konzumní. V tomto období v porovnání s předchozími mají mnozí lidé mnohem více volných finančních prostředků. Dokážou si vydělat peníze, ale taky je mnohem rychleji utratit. Ten, kdo disponuje volnými penězi a rád utrácí, si vůbec neuvědomuje, kde jeho odložené, nahrazené věci končí. Jak zatěžuje naši přírodu, jak trpí naše životní prostředí. Neustále roste množství odpadu ať už plastového, kovového, obalového. Téměř každý odpadní materiál se dá nějakým způsobem recyklovat. Dříve se dávala přednost plastovým materiálům, avšak nyní se celý svět doslova topí v plastových odpadcích. Bylo zjištěno, že jedno z nejlepších a nejrychlejších druhotných zpracování mají kovové odpady.

Kovy mají velmi dobré mechanické vlastnosti, především pevnostní. Mají širokou škálu použití a využití. Bohužel jedna negativní vlastnost stále převládá nad pozitivním hodnocením při využití kovů, a tou je koroze. Bylo již vynalezeno mnoho způsobů, jak povrchy kovů chránit, pro dlouhou životnost. Existují různé povrchové úpravy, ale při jejich provádění se používají chemické sloučeniny, které jsou mnohdy agresivní a poškozují životní prostředí. Během procesu se také spotřebovává velké množství vody, která se v poslední době stává čím dál větší vzácností a ne samozřejmostí. Dále vzniká velké množství vody odpadové, která se musí nákladně čistit.

Aby byly zohledněny všechny výhody, a to finanční, materiálové, ekonomické, vysoce produktivní se širokou škálou použití, je třeba najít nějaký vhodný způsob výroby. Mezi všemi variantami povrchových úprav existuje metoda, která splňuje nejnovější požadavky a přísné normy. Vyznačuje se vysokou produktivitou a kvalitou zpracování a přísnými požadavky na ekologii. Tato technologie se nazývá elektroforézní lakování.



*Obr. 1: Karoserie automobilu v KTL lázni [4]*

# 1 KOROZE KOVŮ [1], [2], [3], [5], [6]

Koroze je definována jako znehodnocování materiálu způsobené chemickým nebo fyzikálním působením prostředí. Jedná se o souhrn fyzikálně-chemických dějů, jejichž konečným důsledkem je částečné nebo úplné rozrušení materiálu. Korozi podléhají takřka všechny konstrukční materiály jako jsou kovy a jejich slitiny, plastické hmoty, sklo, dřevo, keramika a mnohé další.

Díky korozi vznikají všem zemím světa, zvláště těm průmyslově založeným, obrovské ztráty. Celosvětově se ztráty vzniklé korozi odhadují na 3 až 5 % HDP u vyspělých zemí. V České republice se škody vzniklé korozi odhadují až na 130 mld. Kč. Do ztrát se započítávají přímé náklady jako je znehodnocení materiálu, náklady na protikorozi ochranu a údržbu a na obnovy a opravy předčasně poškozených zařízení. Nemalou část tvoří i nepřímé náklady, především výrobní ztráty vzniklé odstávkou poškozených zařízení nejčastěji v odvětvích energetickém, petrochemickém, chemickém a mnohých dalších.

## 1.1 DRUHY KORZE

Podle mechanismu vzniku korozi rozdělujeme na chemickou a elektrochemickou:

- Chemická:  
Je způsobena chemickou reakcí vnějšího prostředí jako jsou plyny, vzduch a neelektrolyty jako nafta nebo benzen. Typickým příkladem je oxidace, kdy se na povrchu kovu vytvoří vrstva oxidů. Pokud je tato vrstva pórovitá nebo z povrchu odpadá, může reakce mezi kovem a prostředím pokračovat až do úplného rozrušení materiálu. Jestliže je vrstva nepropustná nebo dobře přilne k povrchu, chemická reakce se zpomalí nebo úplně zastaví. Ne vždy má koroze pouze negativní vlastnosti. Při pasivaci oceli kyselinou sírovou vznikne vrstva, která zabrání dalšímu poškození povrchu. Následný převoz kyseliny v ocelových cisternách je již bezpečný.
- Elektrochemická:  
Při styku materiálu s elektricky vodivým prostředím dochází ke korozi jejíž mechanismus se zcela liší od chemické koroze. Při elektrochemické korozi dochází ke změnám způsobeným přenosem elektrického náboje. Prostředím jsou zde kapalné roztoky kyselin, zásad a solí rozpuštěných ve vodě. Elektrochemická koroze je charakterizována korozním dějem v elektrolytu za vzniku galvanického článku. K nejdůležitějším druhům elektrochemické koroze patří atmosférická koroze, koroze ve vodách a půdách.

## 1.2 OCHRANA KOVŮ PROTI KOROZI

Z důvodu velkých ekonomických ztrát v důsledku koroze je snaha a potřeba sbírat poznatky o korozi a vyvíjet opatření, jak korozi zabránit nebo zpomalit na přijatelnou míru, aby se zvýšila životnost výrobku.

Povrchová ochrana propůjčuje kovovému materiálu nové kvalitativní vlastnosti, lišící se od vlastností základního kovu. Podle způsobu povrchové ochrany dělíme způsoby zamezení koroze kovových materiálů následovně:

- Úpravou korozního prostředí

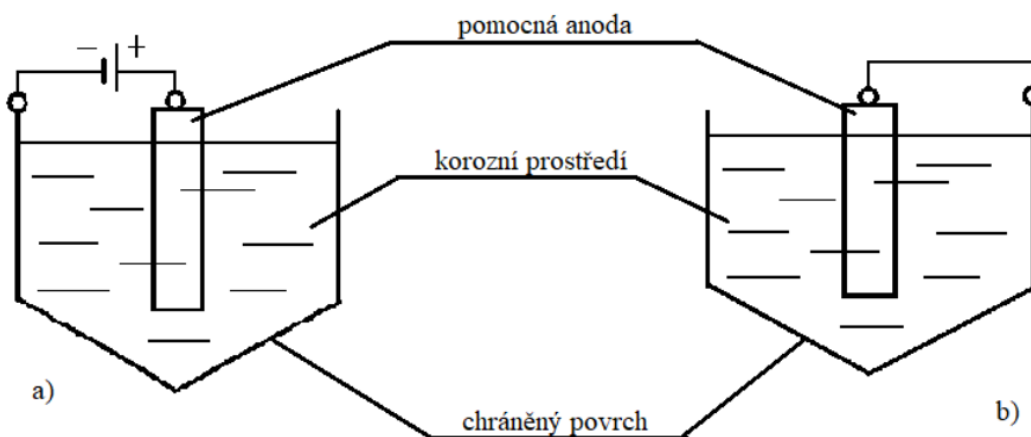
Jedná se o odstranění nebo snížení koncentrace agresivních složek korozního prostředí. Korozní systém se převede do tzv. pasivního stavu. Možností je několik, záleží na dané situaci:

1. Využití vysoušedel ve spojení s hermetickým balením, například gel kyseliny křemičité pro snížení vodních par na hodnotu, při kterých korozní procesy neprobíhají.
2. Vyhřívání za účelem snížení relativní vlhkosti pod kritickou mez.
3. Použití komplexních sloučenin například chlorofylinu s mědí a sodíkem, které váží plynné sloučeniny síry, při ochraně měděných a stříbrných kontaktů
4. Odstraněním kyslíku, resp. oxidu uhličitého z vody u parních zařízení, ať už fyzikálními metodami nebo chemickými.

- Elektrochemickou ochranou

Při elektrochemické korozi dochází k vytvoření korozního článku, přičemž dochází k anodickému rozpouštění, tj. anody. Katoda se nerozpouští a je do jisté míry funkcí článku před korozi chráněna.

Podstata elektrochemické ochrany spočívá v záměrném vytvoření makročlánku s požadovanou polarizací.



Obr. 2: Schéma katodické ochrany: a) s vnějším zdrojem proudu  
b) s obětovanými elektrodami [6]

Dělí se na dvě metody:

1. Katodická ochrana:

Předmět se stává katodou a je vůči působení korozních činidel imunní.

Provádí se dvěma způsoby:

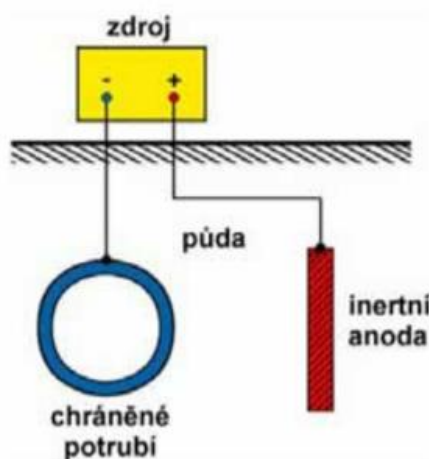
a) Vnější zdroj stejnosměrného proudu

Chráněný předmět je připojen na katodu a anoda je zhotovena z relativně málo rozpustného vodivého materiálu jako je například grafit, olovo, titan. Schéma katodické ochrany s použitím stejnosměrného proudu je vyobrazeno na obr. 2a.

b) Obětovanými elektrodami

Elektrody jsou zhotoveny z materiálu s dostatečně zápornějším potenciálem, než má chráněný kov. Například pro ochranu oceli se používá obětovaná elektroda zhotovena nejčastěji z hořčíku, zinku nebo hliníku. Schéma aplikace obětované elektrody viz. obr. 2b.

ad a) Nejčastěji se této aplikaci využívá při ochraně dálkového potrubí jako jsou ropovody a plynovody. Viz obr. 3.



Obr. 3: Katodická ochrana potrubí [2]

ad b)

Aplikace obětované elektrody se využívá k ochraně trupů námořních lodí, ocelových konstrukcí uložených v mořské vodě, např. ropné plošiny, nebo při ochraně domácího ohřivače teplé vody. Viz obr 4.



Obr. 4: Použití obětované elektrody na trupu lodi [7]

## 2. Anodická ochrana

Je technologie použitelná pouze u materiálů snadno vytvářejících pasivní vrstvu. Chráněný předmět se připojuje na anodu a silnou polarizací se posune jeho elektrodový potenciál do oblasti pasivity. Aplikuje se zejména při ochraně nerezavějících ocelí v roztocích kyselin nebo louhů.

- Volbou vhodného konstrukčního materiálu

Volba vhodného materiálu je podmíněna vlivy jako jsou maximální teplota, které je materiál vystaven, složení prostředí a koncentrace agresivních látek, namáhání a mnohé další. Při výběru materiálu pro danou aplikaci platí zásada volby takového materiálu, který splňuje funkční požadavky a jehož dlouhodobé náklady na pořízení a údržbu jsou nejnižší. Řešení tudíž nespočívá ve volbě materiálu, který by danému prostředí odpovídal absolutně.

- Tvorba ochranných povlaků na základním materiálu

Vytváření povlaků na základním materiálu patří k nejčastěji užívaným prostředkům protikorozi ochrany.

Ochrana povrchu je založena na jednom z následujících principů:

1. Vytvořená povrchová vrstva je souvislá a nepropustná a tím dokonale izoluje chráněný materiál od okolního prostředí.
2. Na povrchu chráněného materiálu je uměle vytvořena slitina s lepší korozní odolností.
3. Na povrchu chráněného materiálu je uměle vytvořena sloučenina s lepší odolností proti korozi.
4. Povrchová vrstva chrání základní materiál elektrochemicky metodou katodické ochrany.
5. Povrchová vrstva obsahuje složky, které svým účinkem zmírňují agresivitu korozního prostředí.



## 2 ELEKTROFORÉZNÍ LAKOVÁNÍ [1], [2], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15]

Tato technologie, přestože je používána v širším měřítku více jak čtyřicet let, je původně určena pro dosažení vysoké korozní odolnosti zejména u karoserií vozidel jako základ pod vrchní povlaky z nátěrových hmot.

Jedná se o jednu z nejprogresivnějších metod v oblasti povrchových úprav. Vyznačuje se svou úsporností, účinností a v neposlední řadě také ekologií procesu. Předností této technologie je plně automatizovaný proces, cíleně nastavitelná tloušťka povrchu a vysoká účinnost využití nátěrových hmot. Tím se stává vysoce hospodárnou s nízkými náklady, zanedbatelnými nároky na ekologii s vysokou efektivitou. Využívají se speciální nátěrové hmoty, vytvořené speciálně pro tento proces, které zaručují potřebné parametry procesu i povlaku.

Tento proces poskytuje uživateli možnost povlakování i velmi složitých součástí i ve špatně přístupných plochách s kvalitní ochranou povrchu proti koroznímu napadení. Díky použití nátěrových hmot s minimem organických rozpouštědel, je tato technologie velmi šetrná k životnímu prostředí.

Povlakování elektroforézním procesem se děje na základě elektrodepozice částic v roztoku stejnosměrným elektrickým proudem. Díky rozdílnému potenciálu mezi anodou a katodou se povrch upravovaného dílu pokryje povlakem částic nátěrové hmoty o přesné tloušťce.

Podle způsobu elektrického zapojení a vyloučeného povlaku se jedná původně o proces anodózy a později, tj. dnes převažující procesy kataforózy.

Na obr. 5 je zachycena část linky na elektroforézní lakování firmy INALFA Zlaté Moravce se sídlem na Slovensku, která se zabývá kataforetickým lakováním automobilových dílů. Na obrázku jdou vidět díly karoserie mířící do lázně KTL.

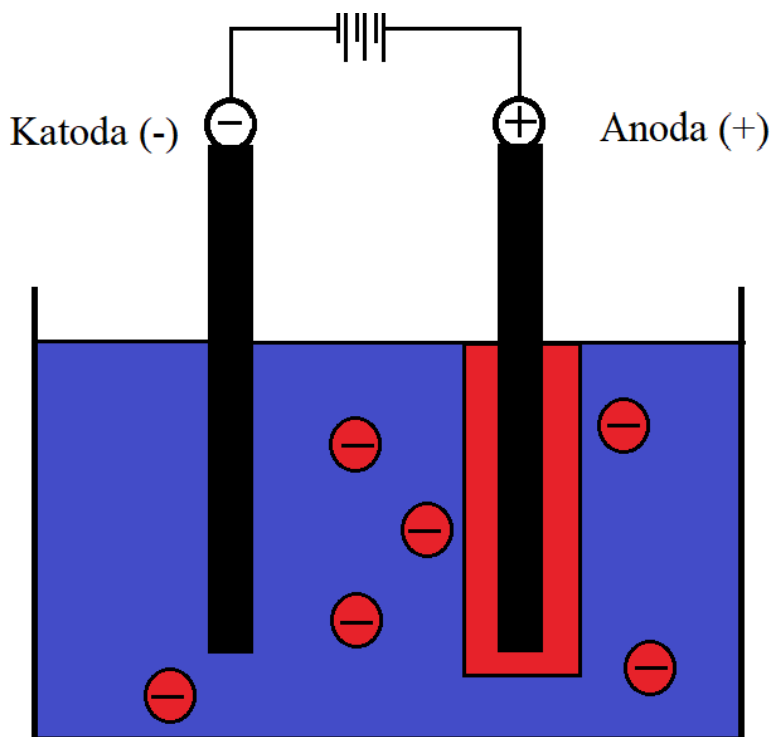


Obr. 5: Díly karoserie v lázni KTL [13]

## 2.1 ANAFORÉTIKÉ LAKOVÁNÍ – ANAFORÉZA

Základní princip spočívá v tom, že se elektricky vodivý předmět ponoří do lázně s rozředěnou nátěrovou hmotou. Předmět, který má být povlakován, se připojí na anodu. Katodou je kovová vana nebo vložená elektroda z nerezavějící oceli. Působením stejnosměrného proudu se vytvoří mezi elektrodami elektrické pole. Záporně nabité částice nátěrové hmoty se pohybují po siločarách k anodě. Zde odevzdají svůj záporný elektrický náboj. V důsledku elektroosmózy se sníží obsah vody v povlaku na 5 %. Povlak má vyšší ohmický odpor než lázeň, a proto se siločáry elektrického pole odklánějí na plochy s menší tloušťkou nátěru. Tím se dosáhne rovnoměrný povlak nejen na povrchu upravovaného předmětu, ale i v dutinách a těžko přístupných místech. Schéma anaforetického lakování je vyobrazeno na obr.6.

Vylučování organických povlaků na anodě přináší určité výhody jako jsou vysoká účinnost procesu, tvorba rovnoměrného povlaku i na těžko dostupných místech, snížení nebezpečí požáru a znečišťování životního prostředí. Negativní stránkou je elektrochemické rozpouštění upraveného předmětu. Přítomností kovových iontů v povlaku se snižuje jeho korozní odolnost. Proto byla hledána cesta, jak nežádoucímu rozpouštění zabránit. Řešení poskytuje vylučování povlaku na katodě.



Obr. 6: Schéma anaforetického lakování [2]

Tloušťka povlaku anaforetického lakování dosahuje 30  $\mu\text{m}$ . Doba vylučování se pohybuje v rozmezí 30 sekund až 3 minut při použitím napětí 100 až 400 V. Vyloučený lak se vypaluje v pecích při teplotách 165 až 190  $^{\circ}\text{C}$ .

## 2.2 KATAFORETICKÉ LAKOVÁNÍ – KATAFORÉZA

Kataforetické lakování označované též jako kataforéza nebo KTL je vysoce hospodárný způsob lakování patřící mezi nejmodernější technologie povrchových úprav výrobků. Používá se pro ochranu především ocelových, ale i pozinkovaných a hliníkových součástek. A to buď k základnímu nátěru nebo k tzv. jednovrstvému lakování jako finální povrchové úpravě. U řady výrobků lze dosáhnout podstatného zvýšení užitečných vlastností a tím i konkurenceschopnosti a prodejnosti. V řadě aplikací navíc kataforéza díky vlastnostem procesu i povlaku nemá v současné době srovnatelnou konkurenci.

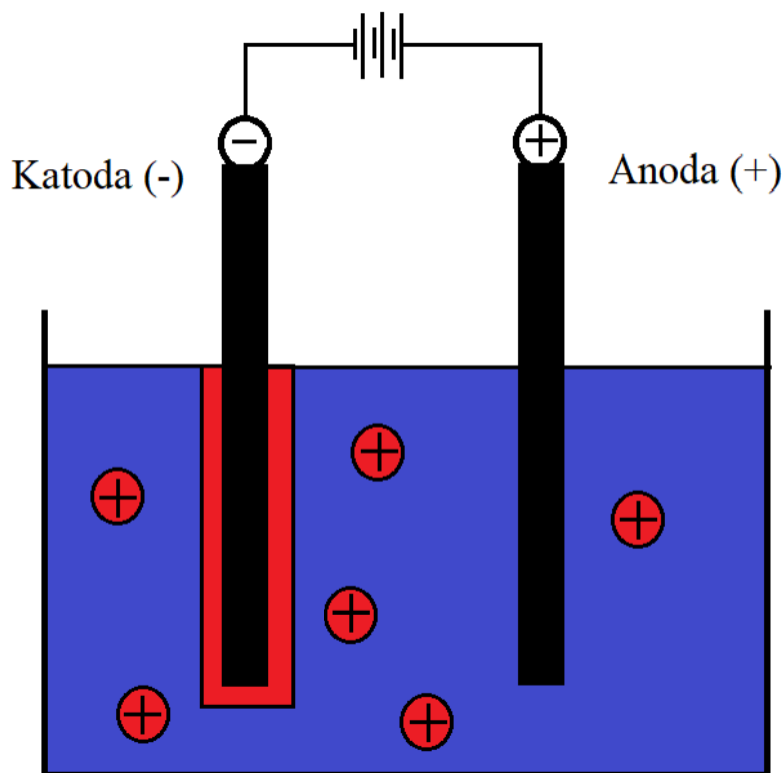
### 2.2.1 PRINCIP

Při kataforetickém lakování se používají kationické ve vodě rozpustné nátěrové hmoty na bázi epoxidů, popř. akrylátů s velmi nízkým obsahem organických rozpouštědel obsahující částice laku ve formě polymerních kationtů. Při lakování je výrobek ponořen do lakovací lázně a zapojen jako katoda. Schéma zapojení a vylučování nátěrové hmoty je znázorněno na obr. 7.

Vložení stejnosměrného napětí mezi výrobek a anodu se vytvoří elektrické pole, vlivem něhož putují kationty ke katodě, kde reakcí s hydroxidovými anionty vznikajícími na ní rozkladem vody ztrácejí rozpustnost a vylučují se na povrchu dílu. S narůstající tloušťkou povlaku roste odpor vrstvy a klesá rychlost vylučování, která pak přednostně probíhá na místech s ještě malou tloušťkou (místa stíněná, dutiny). Tím dochází k tvorbě velmi rovnoměrného povlaku na celém povrchu včetně těžko dostupných míst, hran a rohů. Po dosažení určité tloušťky se vylučování zastaví. Při požadavku silnější vrstvy laku se musí zvýšit napětí.

Tloušťka závisí hlavně na použitém napětí, které dosahuje hodnot v rozpětí 100 až 400 V, běžně se pohybuje okolo 15 až 30  $\mu\text{m}$ , při extrémních požadavcích 45 až 60  $\mu\text{m}$ . Vrstva tenká jen 30  $\mu\text{m}$  již má velmi silnou antikorozi ochranu, přičemž váha naneseného laku se pohybuje okolo 5  $\text{g}/\text{m}^2$ .

Elektricky vyloučená vrstva pevně lne k povrchu a přebytečný lak se opláchne. Vyloučený lak je nutno vypálit v peci při teplotách okolo 160 až 180  $^{\circ}\text{C}$ , kdy dochází k polymeraci a povlak získává své konečné vlastnosti.



Obr. 7: Schéma kataforetického lakování [2]



## 2.2.2 OBLASTI POUŽITÍ

Největší zásluhu na rozvoji katarézy má automobilový průmysl, hlavně pak stále se zvyšující technické a ekonomické požadavky na lakování karoserií a odnímatelných dílů. Dnes se již však vzhledem k vysoké kvalitě a užitným vlastnostem povlaku, ekologickým a ekonomickým aspektům kataréza stále více používá a stává standardem i v řadě dalších odvětvích. Technologie byla původně vyvinuta pro automobilový průmysl. Na obr. 8 je zachycena karoserie automobilu podstupující proces KTL. Obr. 9 zachycuje již nalakované disky kol automobilů technologií KTL a na obr. 10. jsou zachyceny díly pro výrobu klimatizačních jednotek firmy DAIKIN.

Jako hlavní oblasti použití lze uvést: automobily, motocykly, bicykly, domácí spotřebiče, elektrické přístroje, radiátory, klimatizační zařízení, traktory, zemědělské a stavební stroje, kovový nábytek, stavební elementy.



Obr. 8: Karoserie automobilu v lázni KTL [11]



Obr. 9: Disky kol opatřené lakem KTL [13]



Obr. 10: Díly klimatizačních jednotek v lázni KTL [13]

## 2.2.3 TECHNOLOGICKÝ POSTUP

Technologický postup elektroforetického lakování se skládá z několika částí:

- **Předúprava:**

Podmínkou pro dosažení co nejvyšší kvality povlakového systému je nutná kvalitní úprava povrchu. Ta musí zabezpečit očištění povrchu od mastnot, nečistot, korozních zplodin a vytvoření fosfátové vrstvy, která zajišťuje vysokou přilnavost laku a zvyšuje korozní odolnost. Materiál je z výroby přirozeně mastný a obsahuje nečistoty. Ty se odstraňují pomocí procesu odmaštění.

Volba technologie předúprav závisí především na stavu povrchu dílů a na požadované korozní odolnosti. Při vyšších požadavcích se používá trikationické jemnozrnné fosfátování, často s následnou pasivací. Při nižších požadavcích se aplikuje amorfnní železnaté fosfátování, jako sdružená operace se současně využívá odmaštění doplněné o pasivaci.

Technologie zinečnatého fosfátování je v současné době nejkvalitnější předúprava před lakováním kovových dílů. Tato předúprava zaručuje optimální ochranné vlastnosti nanokeramické finální pasivace i v případě porušení lakované vrstvy proti tzv. podkorodování. Trikationické zinečnaté fosfátování je založeno na tvorbě vrstvy na bázi fosforečnanů zinku. Součástí technologie je i finální pasivace, která uzavírá případné mikropóry fosfátové vrstvy.

Z důvodu minimalizace přenosu iontů z předúprav do kataforézní lázně je velmi důležitý kvalitní finální oplach demineralizovanou vodou.

- **Kataforézní uzel**

KTL uzel se skládá z několika částí:

1. **Kataforézní vana**

Je prostor, ve kterém se nachází kataforézní lázeň obsahující rozpuštěnou nátěrovou hmotu ve vodě. Musí být koncipována s přepadovým oddílem, vybavena míchacím systémem, kontaktováním závěsů a odsáváním. Musí být zapojena na systémy míchání, filtrace a chlazení barvy, dále na ultrafiltraci a mnohé další.

Velikost vany se řídí podle geometrie požadovaných dílů, výkonem a u průběžných linek i rychlostí dopravníku, časem nanášení a velikostí zkosení na vjezdu a výjezdu.

Velikosti van se pohybují od jednotek metrů až po desítky. Na obr. 11 je vidět vana pro průběžné linky před napuštěním, celková délka linky je 80 metrů.



Obr. 11: Kataforetická vana [13]



## 2. Míchání a filtrace barvy

Pro zabránění usazování pevných částic je nutné nepřetržité míchání barvy. Realizuje se cirkulačními čerpadly, jež čerpají lázeň z přeplavu KTL vany do systému míchacích trysek ve vaně. Kvůli odstraňování do lázně vnášených mechanických nečistot je nutná kontinuální filtrace. Na obr. 12 je zachycen filtr pro barvu.



Obr. 12: Filtr barvy [13]

## 3. Analytový okruh

Při vylučování laku se uvolňují organické kyseliny, které je kvůli udržování pH a koncentrační rovnováhy nutno z lázně odstraňovat. To se děje dialýzou přes tzv. dialýzové cely. V dialýzové cele se nachází anoda oddělená od lakovací lázně semipermeabilní membránou. Celami cirkuluje anolyt (kapalina o určité koncentraci kyselin, a tedy i vodivosti), který je čerpán ze zásobní nádrže vybavené měřením vodivosti. Při nárůstu vodivosti se do nádrže načerpá demineralizovaná voda a přebytečný anolyt odtéká do odpadních vod. Na obrázku 13 je znázorněn analytový okruh.



Obr. 13: Analytový okruh [13]

#### 4. Chlazení barvy

Pro lakování je velmi důležité udržování konstantní teploty lázně. Protože se vlivem cirkulace a průchodu elektrického proudu vytváří teplo, je nutné lázeň chladit. K chlazení se využívá deskový tepelný výměník napojený na chladicí jednotku. Jak takové chlazení vypadá viz obr. 14.



Obr. 14: Chlazení barvy [13]

#### 5. Zdroj stejnosměrného proudu

Musí být řízen programem a dostatečně dimenzován jak pro dosažení potřebného napětí, tak i potřebné proudové hustoty. Kladný pól je připojen k anodám, záporný k systému kontaktování závěsů.

#### 6. Dávkování komponent barvy

Provádí se membránovými čerpadly. U nejčastěji používaného dvoukomponentního laku se dávkuje pojivo a pigmentová pasta.

#### 7. Rezervní nádrž na barvu

Slouží pro případy provádění údržby a čištění kataforézní vany. Musí být vybavena odpovídajícím míchacím systémem a mít možnost napojení na všechny potřebné systémy, především pak chlazení.

Barva může být skladována i v IBC kontejnerech jako je vidět na obr. 15. Fotka je pořízena v Německu ve firmě BMW Motorrad, zabývající se výrobou rámců motocyklů.



Obr. 15: Zásobníky s barvou [13]



## 8. Ultrafiltrace – UF

Slouží k získávání potřebného množství oplachové kapaliny a dále pak umožňuje případně korekce složení lázně cíleným odpouštěním permeátu. UF je tlakový membránový separační proces využívající mikroporézní membrány k oddělení pevných a vysokomolekulárních látek. Látky nízkomolekulární přes membránu projdou. Na ultrafiltraci je trvale čerpán určitý podíl lázně z přepadu KTL vany. Ultrafiltrací dojde k rozdělení tohoto proudu na tzv. retentát obsahující částice laku a tzv. permeát obsahující pouze nízkomolekulární látky. Permeát je jímán v zásobní nádrži a čerpán do postřikového rámu pro finální oplach. Ultrafiltrace je znázorněna na obr. 16.



Obr. 16: Ultrafiltrace [13]

## 9. Oplachový systém

Oplach se provádí permeátem z UF, ve speciálních případech následuje ještě oplach demivodou. Všechny oplachové vany musí být vybaveny mícháním a filtrací. Oplachy ultrafiltrátem jsou řešeny jako protiproudá kaskáda. Oplachová kapalina je spolu s opláchnutým lakem vedena zpět do KTL vany. Oplachový systém tak spolu s ultrafiltrací vytváří v podstatě materiálově uzavřený okruh a zajišťuje téměř 100% recyklaci laku. Systém oplach je znázorněn na obr. 17.



Obr. 17: Systém oplachu ostřikem [13]

## 10. Vypalování a chlazení

Po samotném vyloučení a opláchnutí laku přichází na řadu vypalování laku. Děje se tak v pecích ať už komorových nebo tunelových, vyhřívaných plynem, elektricky nebo olejem. Vždy záleží na daných okolnostech jako jsou druh, velikost a počty povlakovaných dílů. V peci dochází k polymeraci laku, který dostává svých finálních vlastností. Teplota vypalování se pohybuje v rozmezí 160 až 180 °C. Na obr. 18 je znázorněna tunelová pec, do které jsou dopravovány díly pomocí řetězového dopravníku

Pro ochlazení dílů před svěšováním je za pecí zařazena ochlazovací zóna.



*Obr. 18: Tunelová pec s díly [15]*

## 11. Čištění vzduchu

Při kataforetickém lakování vznikají emise prakticky jen při vypalování laku a v nepatrné míře ještě vypařováním organických látek z lakovací lázně. Splnění předpisů většinou vyžaduje čištění vzduchu odsávaného z pece, s nímž je čištěn i vzduch odsávaný z KTL vany. Čištění se provádí termickým

spalováním. Při spalování vznikající tepelnou energii je účelné rekuperovat a použít pro vytápění pece nebo lázní předúprav. Na obr. 19 je zobrazeno termické spalování.



*Obr. 19: Termické spalování [13]*



## 12. Dopravní a manipulační technika

Podle typu linky se používají různá manipulační zařízení. U taktových linek se využívají portálové manipulátory pro přenos závěsů se zbožím. Dále veškeré potřebné dopravní a manipulační prostředky jako jsou navěšovací a svěšovací stojany nebo převážející vozíky. U průběžných zařízení závěsy se zbožím projíždí linkou zavěšeny na řetězovém dopravníku, jehož rychlost je nastavitelná.

Příklad závěsu se zbožím v podobě disků kol automobilů je na obr. 20. Jedná se o taktovou linku firmy PLES CORPORATION Rt.



Obr. 20: Závěs se zbožím [13]

## 13. Příprava demineralizované vody

Technologie KTL vyžaduje použití demineralizované vody o vodivosti max 10  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Výroba demineralizované vody se provádí buď pomocí zařízení na bázi iontoměníčů nebo na bázi reverzní osmózy. Na obr. 21 je znázorněna demistanice na výrobu demivody spolu se zásobníkem na demivodu.

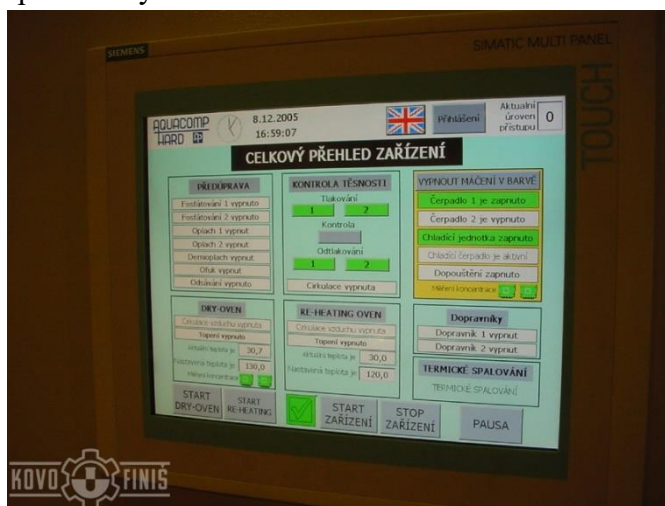


Obr. 21: Demistanice [13]

#### 14. Řízení

Kataforetické linky jsou plně automatické řízené řídicím systémem. Většinou se linky dodávají i s vizualizací technologického postupu na obrazovce, která zajišťuje zobrazování činnosti linky, případně archivaci, výpis a tisk parametrů a poruchových stavů.

Pohled na řídicí panel systému je na obr. 22. Jedná se o systém firmy DAIKIN DEVICE Czech Republic se sídlem v Brně, která se zabývá výrobou klimatizačních jednotek.

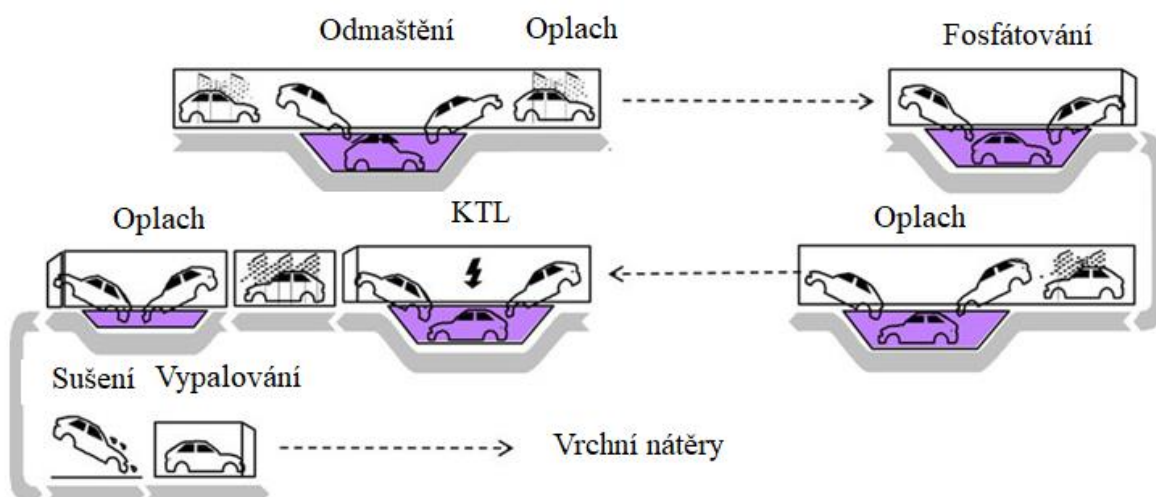


Obr. 22: Vizualizace systému [13]

#### 15. Čištění odpadních vod

Drtivá většina všech odpadních vod vzniká při předúpravách. Jedná se hlavně o oplachové vody. Při vlastní kataforeze vzniká jen minimum odpadních vod, jde převážně o nadbytečný anolyt, dále pak o vody z údržby nebo čištění lázně či zařízení.

Na obr. 23 je schematicky znázorněn technologický postup KTL automobilové karoserie.



Obr. 23: Schéma KTL linky [16]

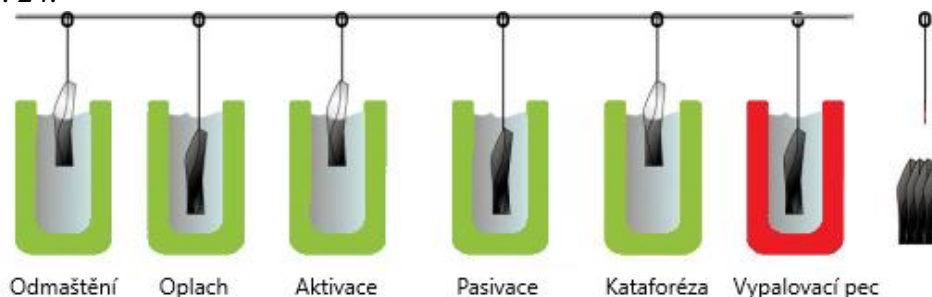


## 2.2.4 TYPY LINEK KTL

Technologie kataforetického lakování je prováděna na dvou typech linek. Jedná se o linky průběžná a taktové. Volba zařízení závisí na řadě faktorů, z nichž základní jsou charakter zboží, požadovaný výkon linky.

- Taktové linky

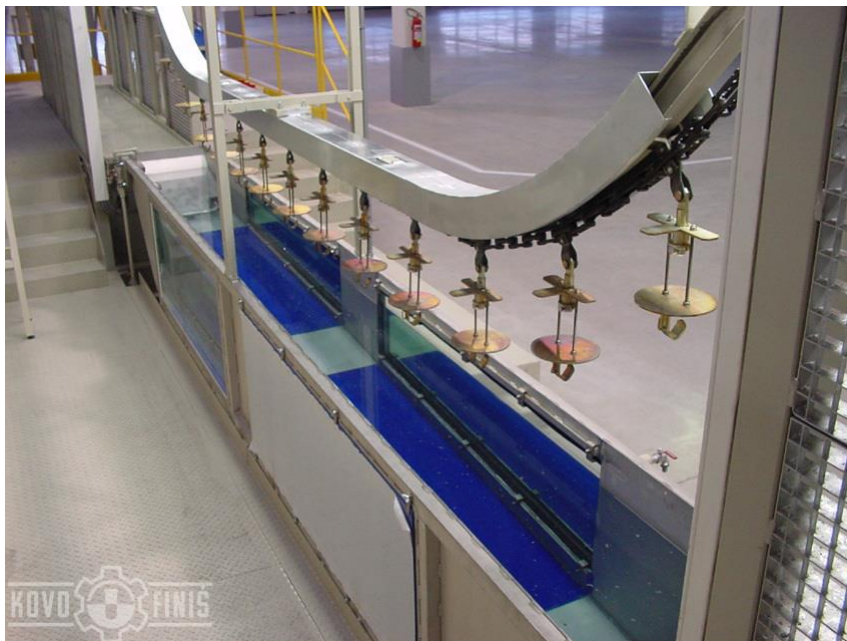
Taktové nebo též taktované linky jsou vysoce flexibilní a programovatelné. Transport zboží mezi jednotlivými vanami je zajišťován transportními manipulátory v určitém taktu. Tento typ linky je velmi vhodný pro malé výkony, kde se často mění typ dílů anebo pro velkorozměrové zboží. Postup taktované linky je znázorněn na obr. 24.



Obr. 24: Schéma taktovací linky [14]

- Průběžné linky

Průběžná zařízení využívají pro dopravu zboží řetězový dopravník. Nemění se u nich charakter zboží ani výkon linky. Jsou vhodné pro velké výkony a velké série stejných nebo podobných dílů, nejčastěji části karoserie automobilů. Nehodí se pro velkorozměrové díly. Jsou charakteristické vysokou produktivitou a nižšími náklady na řízení. Na obr. 25 je zachycena část průběžné KTL linky, je zde patrné zboží zavěšené na dopravím řetězu projíždějící kataforetickou lázní.



Obr. 25: Průběžná KTL linka [13]

### 2.2.5 PARAMETRY VYBRANÝCH LINEK

Pro představu rozměrů a možností využití KTL jsou níže uvedeny vybrané firmy používající technologii KTL:

- FELAK a.s., firma zabývající se antikorozní ochranou povrchu disponuje automatickou kataforetickou linkou včetně linky předúprav. Rozměry operačních van jsou následující: 3500 x 1500 x 1800 mm. Výkon linky je asi 1 100 000 m<sup>2</sup>/rok při třísměnném provozu.
- PLES CORPORATION Rt., se sídlem v Maďarsku, je renomovaný výrobce kol a segmentů kol. Vlastní automatickou KTL linku včetně linky předúprav. Rozměry operačních van jsou: 2250 x 1500 x 1500 mm. Výkon linky asi 275 000 m<sup>2</sup>/rok při třísměnném provozu.
- TAIKISHIA Europe Ltd. / MAGYAR SUZUKI CORPORATION se sídlem v maďarsku je producent automobilů. Vlastní průběžnou linku předúprav dlouhou 150 m a průběžnou linku KTL dlouhou 80 m.
- INALFA, firma se sídlem na Slovensku, zabývající se kataforetickým lakováním automobilových dílů. Vlastní průběžnou linku na základní lakování o výkonu 625 m<sup>2</sup>/h. Rychlost řetězového dopravníku 2,5 m/min. Průjezdni profil 900 x 2000 mm, objem kataforézní vany 55 m<sup>3</sup>.
- DAIKIN DEVICE Czech Republic, se sídlem v Brně. Firma zabývající se výrobou klimatizačních jednotek. Vlastní průběžnou KTL linku na lakování kompresorů klimatizačních jednotek, výkon linky 240 ks/h.

### 2.2.6 VÝHODY a NEVÝHODY KTL

Mezi hlavní přednosti KTL lze uvést:

- Minimální zatížení životního prostředí díky nízkému obsahu rozpouštědel (okolo 2 %)
- Minimální množství emisí, pevných odpadů a odpadních vod
- Vysoká korozní odolnost povlaku (i přes 1000 hod v solné mlze)
- Rovnoměrná tloušťka povrchu včetně těžko přístupných míst, hran a rohů
- Možnost řízení tloušťky
- Vysoká přilnavost a mechanická odolnost povlaku
- Vysoká hospodárnost – minimální ztráty barvy díky prakticky materiálově uzavřenému okruhu barvy
- Snadná automatizace a kontrola procesu
- Nízká pracnost a náročnost na obslužný personál
- Žádná tvorba kapek či závoje
- Možnost vrchního lakování různými laky
- Vysoká bezpečnost – nejsou nutná opatření proti požáru či výbuchu
- Nízké zatížení pracovního prostředí

Nevýhod technologie KTL je málo. Patří mezi ně možnost povlakování pouze kovových částí z důvodu nutnosti vodivosti povrchu. Dále pak vysoké pořizovací náklady linky, nákladná změna barvy v důsledku nutnosti vypuštění celé kataforetické vany.

### 3 NOVÉ MOŽNOSTI ELEKTROFORÉZY [1], [2], [3], [9], [17], [18]

Technologie elektroforézního lakování byla vytvořena speciálně pro automobilový průmysl z důvodu zvýšení kvality základního nátěru kvůli korozivzdornosti. Systém vrstvení povrchu na karoserii automobilu je znázorněna na obr. 26.

Z důvodu nanášení následujících vrstev na základní lak nebyla nutnost vyvíjet a používat různě barevné kataforetické laky. Také kvůli

náročným výměnám nátěrové hmoty v lázni a faktu, že KTL se používá především jako základový nátěr, se v zásadě používaly jen barvy černá, šedá a bílá.



Obr. 26: Vrstvy automobilové karoserie [17]

Jako novinka se jeví aplikace barevného kataforetického lakování:

- Způsob Techniclear je katodický elektrolytický proces, kde se nanáší čirá nebo obarvená polyuretanová pryskyřice. Následuje vytvrzení při teplotách 120-160 °C. Tato technologie je vhodná pro jakékoliv vodivé materiály jako je ocel, hliník, mosaz nebo vhodný plast potažený vrstvou chemického niklu. Nejvíce se tato technologie aplikuje v automobilovém průmyslu, zejména díky své vysoké korozní odolnosti, tvrdosti a dokonalému vzhledu. Dalším důvodem použití této technologie je jsou estetické a užité vlastnosti povrchu předmětů jako například kování, části světel, pohledové rámy, panty, bižuterie a mnoho dalších aplikací především čírého laku.

Z hlediska provozu se jedná o snadnou obsluhu, kdy se za pomoci refraktometru a konduktometru měří vodivost lázně, která je přímo úměrná aktuální koncentraci lázně. Výhody procesu:

1. Proces je samoregulovatelný, dochází primárně k nanášení do míst, kde je odpor nižší a tam kde je vrstva tenčí – vhodné pro složitější tvary.
2. Snadná regulace tloušťky povrchu.
3. Vynikající korozní odolnost i na hranách předmětu.
4. Lázeň obsahuje pouze 2 % rozpouštědel, to je výhodné z ekonomického a ekologického hlediska.
5. Nedochozí k zanášení vany a nevznikají problémy při nepravidelném procesu.
6. Produkt není toxický, hořlavý a nepatří mezi nebezpečné materiály.

Metody barvení:

- Integral dye

tyto barvy jsou přidávané do lázně s lakem, jsou netoxické a používají se obvykle v množství 5 až 15 ml/l. Tento způsob je vhodný pro velkosériovou výrobu nebo v případě omezení produkce jen určité barvy. Na obr. 27 je vlevo čirý povlak KTL na leštěné mosazi a vpravo čirý povlak KTL na stříbře.



*Ob. 27: Čirý lak KTL na mosazi a stříbře [18]*

- Post dye

Pomocí tohoto systému lze dosáhnout různých barev výsledného laku pouze ponorem. Například mosazného, měděného, zlatého či bronzového vzhledu, jak je patrné na obr. 28. Tento systém je další možností rozšíření pro zákazníky.



*Obr. 28: Příklady povlaků s různými efekty mosazi, zlata, bronzu, niklu atd. [18]*

Mezi další pokrok v oblasti elektroforézního lakování lze považovat ústup od anaforetického lakování a přechod ke kataforetickému. Důvody jsou určeny vyšší kvalitou a korozivzdorností u KTL povrchů. Dále pak nenarušování dílců rozpouštěním vlastním procesem lakování, jak bylo u anaforézy běžné. V současné době se z velké části staví nové linky pouze typu KTL a ty starší se renovují a z anaforetického se předělávají na kataforetické.

## 4 ZÁVĚRY

Elektroforézní lakování je jedna z nejmodernějších technologií v oboru povrchových úprav. Jedná se o velmi progresivní výrobní technologii nanášení nejen základních barev, ale i konečných nátěrů s vysokým stupněm antikorozi ochrany.

Největší podíl na rozvoji této technologie má automobilový průmysl, pro který byla vyvinuta. Díky jejím nesčetným výhodám se začíná uplatňovat i u výroby ostatních zařízení, jako jsou motocykly, domácí spotřebiče, chladírenská technika, stroje zemědělské a stavební a mnohé další.

Při požadavku na vysokou kvalitu, jež musí být dodržena i za podmínek vysokých ekonomických a ekologických požadavků, jež elektroforéza dokonale splňuje, je prioritou všech světových výrobců.

I přesto, že je tato technologie relativně mladá (vznikla v 70. letech minulého století), stále se vyvíjejí nové procesy spojené s elektroforézním lakováním, ať už se jedná o barevné nebo číré lakování.

Jednotlivá a lehce nastavitelná tloušťka povrchu, vysoká přilnavost a mechanická odolnost, nanesení nátěrové hmoty i na těžko přístupná místa dílu jsou kvality, kterých tato metoda dosahuje.

Vysoká hospodárnost, snadná automatizace procesu a kontrola, vysoká bezpečnost, nízké zatížení pracovního prostředí řadí elektroforézní lakování na vrchol povrchových úprav, kde jen těžko bude hledat konkurenci.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [19]

1. MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1995. ISBN 80-7078-267-6.
2. KREIBICH, Viktor. *Teorie a technologie povrchových úprav*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996, 89 s. ISBN 80-01-01472-X.
3. SEDLÁČEK, Vladimír. *Povrchy a povlaky kovů*. Praha: Ediční středisko ČVUT, 1992, 176 s. ISBN 80-01-00799-5.
4. TUNINGBLOG. *Electrophoretic coating* [online]. 2018 [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: <https://www.tuningblog.eu/en/categories/tuning-wiki/electrophoretic-painting-213892/>
5. KOROZE. *Wikipedie* [online]. 2020 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Koroze>
6. ČERVENÝ, Jaroslav, Karel ŘEZÁČ a Jan KUDLÁČEK. *Ochrana potrubí proti korozi z kovových materiálů. Povrcháři* [online]. Praha, 2012 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: [http://www.povrchari.cz/kestazeni/201206\\_povrchari.pdf](http://www.povrchari.cz/kestazeni/201206_povrchari.pdf)
7. SHIP-TECHNOLOGY, *Anode supply* [online]. Zoetermeer, 2020 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.ship-technology.com/contractors/corrosion/anode-supply/>
8. HAMERNÍK, Jan. *Koroze a ochrana před korozi. Jhamernik* [online]. Pelhřimov, 2003 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <http://jhamernik.sweb.cz/Koroze.htm>
9. POVRCHÁŘI, *Netradičně ozdobně: ochranné povlaky materiálu* [online]. 8. 2018 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: [http://www.povrchari.cz/kestazeni/201801\\_povrchari.pdf](http://www.povrchari.cz/kestazeni/201801_povrchari.pdf)
10. HOLOUBEK, Vít. *Kataforetické lakování. Engineering.sk* [online]. 2004, 3.11.2004, 2004, 3 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.kovofinis.cz/public/articles/files/11/Kataforeticke-lakovani.pdf>
11. MEGA-TEC, *Kataforeza*. [online] [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.mega.cz/cs/kataforeza/>
12. LAKOL s.r.o., *Kataforézní lakování* [online]. Kolín [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <http://www.lakol.cz/project/katoforeza/>
13. KOVOFINIŠ, *Lakování ponorem: Elektroforéza* [online]. Ledeč nad Sázavou [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.kovofinis.cz/lakovani-ponorem>
14. TRYTECH, *Kataforeza-KTL* [online]. Pelhřimov [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.trytech.cz/ochrana-povrchu/kataforeza-ctl/>
15. E-COAT TECHNOLOGY. *E-coat technology* [online]. Bystřice nad Pernštejnem [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <http://e-ct.cz/cs-cz/cim-se-zabyvame-/susici-a-vypalovaci-pece/tunelove-pece-1.aspx>
16. GUANG – LING, Song. *A dipping E-coating for Mg alloys. Researchgate* [online]. Xiamen, 2011 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/241090812\\_A\\_dipping\\_E-coating\\_for\\_Mg\\_alloys](https://www.researchgate.net/publication/241090812_A_dipping_E-coating_for_Mg_alloys)
17. MARUSIČ, Lukáš. *Zařízení pro hromadný způsob kataforetického lakování*. Praha, 2017. Bakalářská práce. ČVUT v Praze. Vedoucí práce Ing. Petr Drašnar, Ph.D.
18. BRITRADE, *Elektroforetický lak nové generace* [online]. Zlín, 2018 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <http://www.britrade.cz/component/content/article/9-produktove-portfolio/82-kataforetický-lak>
19. CITACE PRO, *Generátor citací* [online]. 2013 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Karoserie automobilu v KTL lázni [4] .....	9
Obr. 2 Schéma katodické ochrany [6] .....	11
Obr. 3 Katodická ochrana potrubí[2].....	12
Obr. 4 Použití obětované elektrody na trupu lodi [7].....	12
Obr. 5 Díly karoserie v lázni KTL [13].....	14
Obr. 6 Schéma anaforetického lakování [2].....	15
Obr. 7 Schéma kataforetického lakování [2].....	16
Obr. 8 Karoserie automobilu v lázni KTL [11].....	17
Obr. 9 Disky kol opatřené lakem KTL [13] .....	17
Obr. 10 Díly klimatizačních jednotek v lázni KTL [13] .....	17
Obr. 11 Kataforézní vana [13].....	18
Obr. 12 Filtr barvy [13].....	19
Obr. 13 Anolytový okruh [13].....	19
Obr. 14 Chlazení barvy [13].....	20
Obr. 15 Zásobníky s barvou [13] .....	20
Obr. 16 Ultrafiltrace [13].....	21
Obr. 17 Systém oplachu ostřikem [13].....	21
Obr. 18 Tunelová pec s díly [15] .....	22
Obr. 19 Termické spalování [13].....	22
Obr. 20 Závěs se zbožím [13].....	23
Obr. 21 Demistanice [13].....	23
Obr. 22 Vizualizace systému[13] .....	24
Obr. 23 Schéma KTL linky [16].....	24
Obr. 24 Schéma taktovací linky [14].....	25
Obr. 25 Průběžná linka KTL [13].....	25
Obr. 26 Vrstvy automobilové karoserie [17].....	27
Obr. 27 Čirý lak KTL na mosazi a stříbře [18].....	28
Obr. 28 Příklady povlaků s různými efekty mosazi, zlata, bronzu, niklu atd. [18].....	28