

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**Fakulta strojní**

**Ústav strojírenské technologie**



**Zařízení pro hromadný způsob kataforetického lakování**

**Equipment for mass cataphoretic painting**

Bakalářská práce

Studijní program: Teoretický základ strojního inženýrství

Studijní obor: bez oboru

Vedoucí práce: Ing. Petr Drašnar Ph.D.

**Lukáš Marusič**

Praha 2017

## Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat celé skupině povrchových úprav ústavu strojírenské technologie a hlavně vedoucímu této bakalářské práce Ing. Petru Drašnarovi Ph.D. za podporu a odbornou pomoc. Déle bych chtěl poděkovat firmě MEGA a.s. za poskytnutí odborných informací a firemních podkladů. Práce vznikla v rámci projektu TAČR TH02020019 (*Vývoj nové technologie pro hromadné povlakování elektroforetickými nátěrovými systémy*)

### Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně s tím, že její výsledky mohou být dále použity podle uvážení vedoucího diplomové práce jako jejího spoluautora. Souhlasím také s případnou publikací výsledků diplomové práce nebo její podstatné části, pokud budu uveden jako její spoluautor.

*Dne 1.8.2017*

.....

*Lukáš Marusič*

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Marusič** Jméno: **Lukáš** Osobní číslo: **437119**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**  
Studijní program: **Teoretický základ strojírenského inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Zařízení pro hromadný způsob kataforetického lakování**

Název bakalářské práce anglicky:

**Equipment for mass cathophoretic painting**

Pokyny pro vypracování:

cíle BP

1. Rozbor problematiky elektroforetického nanášení NH
2. Hromadný způsob elektroforetického nanášení NH
3. Návrh zařízení pro hromadný způsob kataforetického lakování
4. Technicko-ekonomické hodnocení sledované technologie

Seznam doporučené literatury:

Dle pokynů vedoucího

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

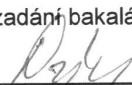
**Ing. Petr Drašnar Ph.D., ústav strojírenské technologie FS**


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


Datum zadání bakalářské práce: **25.04.2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **10.08.2017**

Platnost zadání bakalářské práce: **10.08.2017**

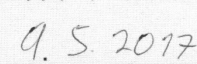
  
Podpis vedoucí(ho) práce

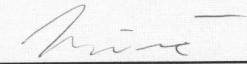
  
Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

  
Podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

  
9. 5. 2017  
Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta



<b><i>Jméno autora:</i></b>	Lukáš Marusič
<b><i>Katedra:</i></b>	12123 – Ústav strojírenské technologie
<b><i>Zaměření:</i></b>	Povrchové úpravy
<b><i>Název bakalářské práce:</i></b>	Zařízení pro hromadný způsob kataforetického lakování
<b><i>Rozsah bakalářské práce:</i></b>	Počet stran: 33 Počet obrázků: 30 Počet rovnic: 7 Počet tabulek: 1
<b><i>Přílohy:</i></b>	1. Návrh zařízení pro KTL lakování drobných dílů

## Anotace

Bakalářská práce seznamuje s technologií elektroforetického povlakování, zejména kataforetického lakování známého jako KTL, CED nebo E-coat. V první části se práce zaměřuje na vysvětlení zmiňované technologie, její historii, výhody a použití v průmyslu. Dále práce popisuje princip kataforetického lakování. V bakalářské práci je zmíněna důležitá část pro kataforetické lakování, a tou je předúprava povrchu pro zvýšení kvality povlaku.

Druhá část bakalářské práce se zaměřuje na rozbor problematiky kataforetického lakování pro malé díly. Hlavním obsahem je řešení těchto problémů. Práce popisuje navržené zařízení pro kataforetické lakování. Zařízení je vhodné pro drobné díly, které je neekonomické nebo nemožné povlakovat běžným způsobem kataforetického lakování pro jejich velikost, či tvar.

## Annotation

Bachelor thesis is introducing the technology for electrophoretic coating, especially the cathoretic painting also known as KTL, CED or E-coat. The first part of thesis is focused on describing mentioned technology, its history, advantages and its use in the engineering industry. Next, the thesis is describing the principle of cathoretic painting. Thesis is mentioning an important part of cathoretic painting, which is the chemical pre-treatment of materials for their better properties.

The second part of bachelor thesis is focusing on analysis of difficulties during cathoretic painting of small parts. The main content is solving these problems. The thesis is describing designed device for cathoretic painting. The device is suitable for coating of small parts, where it would be uneconomical to paint them usual way or parts that would be impossible to coat for their shape or size.

**Obsah**

Úvod .....	1
1. Antikorozní ochrana.....	2
1.1. Galvanické pokovování.....	2
1.2. Ochrana nátěrovými hmotami .....	3
1.2.1. Nanášení nátěrových hmot pneumatickým stříkáním.....	3
1.2.2. Nanášení nátěrových hmot máčením.....	3
2. Kataforetické lakování .....	4
2.1. Historie elektroforézy .....	4
2.2. Použití KTL.....	4
2.3. Výhody a nevýhody použití kataforézy .....	5
2.4. Princip.....	5
2.4.1. Základní princip.....	5
2.4.2. Nátěrová hmota a její výroba .....	6
2.4.3. Depozice na katodách a anodový box.....	7
2.4.4. Anolytový okruh.....	8
2.4.5. Kataforézní vana.....	8
2.4.6. Oplach.....	8
2.4.7. Filtrace .....	9
2.4.8. Polymerizace .....	9
2.5. Linky pro kataforetické lakování.....	9
2.5.1. Rozdělení kompletní linky na základní části.....	10
2.5.2. Jednotlivé části KTL uzlu .....	10
3. Předúprava povrchu dílu před KTL .....	11
3.1. Odmaštění.....	11
3.2. Moření.....	12
3.3. Aktivace .....	12
3.4. Fosfátování .....	12
3.5. Pasivace.....	13
3.6. Oplachové operace.....	13
4. Kontrola kvality nátěrových hmot .....	14
4.1. Optické hodnocení nátěrových hmot .....	14
4.2. Fyzikálně-mechanické hodnocení nátěrových hmot .....	14
4.2.1. Povrchová tvrdost .....	14

4.2.2.	Přilnavost.....	14
4.2.3.	Pórovitost nátěrů.....	16
4.2.4.	Tloušťka nátěrové hmoty .....	16
4.3.	Ochranné vlastnosti nátěru .....	17
4.3.1.	Koroze v umělých atmosférách.....	17
4.3.2.	Odolnost proti vlhkosti .....	17
5.	Problematika hromadného kataforetického lakování drobných dílů.....	18
5.1.	Linka Ecopaint RoDip .....	18
5.2.	Drobné díly pro KTL .....	19
5.3.	Omezení při použití závěsu pro lakování drobných dílů .....	19
5.4.	Náhrada závěsu.....	19
5.5.	Zařízení pro protikorozi ochranu drobných dílů ve světě .....	20
5.5.1.	System pro elektrickou depozici nátěrových hmot pro drobné díly.....	20
5.5.2.	Galvanické pokovování drobných dílů .....	22
5.5.3.	Elektrolytický člunek .....	23
5.5.4.	Zařízení pro elektrické povlakování vodivých předmětů .....	25
6.	Zařízení pro kataforetické lakování drobných dílů.....	27
6.1.	Zkušební zařízení pro KTL lakování drobných dílů.....	27
6.2.	Prvotní návrh nového zařízení pro KTL lakování drobných dílů.....	28
6.3.	Návrh nového zařízení pro KTL lakování drobných dílů .....	29
6.4.	Povlakovací buben.....	31
6.5.	Osa bubnu.....	32
6.6.	Elektrody .....	33
6.6.1.	Katody.....	33
6.6.2.	Anoda.....	34
6.7.	Schéma kataforetického uzlu.....	35
6.8.	Výpočet potřebných otáček bubnu v závislosti na jeho geometrii .....	36
7.	Technogicko-ekonomické zhodnocení sledované technologie .....	38
	Závěr .....	39
	Použitá literatura.....	40
	Seznam obrázků .....	43
	Seznam tabulek.....	43
	Seznam rovnic .....	44

Seznam příloh.....44

## Úvod

Bakalářská práce se zabývá problematikou elektroforetického povlakování drobných dílů. V první části práce nastiňuje, jak celý proces povlakování funguje a co je potřeba pro kvalitní nanesení nátěrové hmoty. Technologie elektroforetického povlakování materiálu, za použití závěsu, je velice dobře optimalizována a automatizována. V současné době je velkým nedostatkem této technologie povlakování drobných dílů. Těmi jsou myšleny díly o velikosti jednotek až desítek milimetrů. Vzhledem k jejich velikosti je složité proces navěšování na závěs automatizovat. To přináší zvýšení provozních nákladů, a tak zvýšení ceny povlakovaných součástí. Z toho důvodu je práce v její druhé části zaměřena na návrh zařízení, které by umožňovalo elektroforetické lakování drobných dílů provádět zcela jiným způsobem než je tradiční navěšování.

## 1. Antikorozní ochrana

Hlavní funkcí povlakování je zvýšení antikorozní ochrany základního materiálu. Koroze je nežádoucí proces znehodnocování materiálu. Jde o fyzikálně chemické reakce základního materiálu s okolním prostředím. [9]

Nejvíce předmětů je vystaveno atmosférické korozi. Jde o reakci materiálů s atmosférou, za působení několika vlivů:

- vlhkosti vzduchu,
- teploty a změn teploty,
- složení atmosféry,
- slunečního záření,
- biologických činitelů. [9]

Koroze má nepříznivý vliv na činnosti strojů a zařízení. Aby se korozi zamezilo nebo alespoň zpomalilo její působení na materiály, používají se mimo jiné i protikorozní povrchové úpravy. Použití té správné povrchové úpravy se odvíjí od vlastností základního materiálu a vlastností požadovaného povlaku. [9]

Z hlediska charakteru vytváření povrchové úpravy můžeme technologie rozdělit:

- předúpravy povrchu mechanické (broušení, kartáčování, otryskávání apod.) a chemické (odmašťování, moření apod.),
- kovové povlaky (žárové stříkání kovů, ponor do roztavených kovů, galvanické pokovování),
- nekovové anorganické povlaky (fosfátování, oxidace, pasivace, anorganické nátěrové hmoty, keramické materiály atd.),
- organické povlaky (nátěrové hmoty, plasty, tmely, vosky, tuky apod.). [9]

### 1.1. Galvanické pokovování

Technologií elektrolytického (galvanického) pokovování využívá nanesení kovového povlaku na základní materiál. Povlaky slouží k ochraně proti korozi. Základní materiály jsou převážně kovy. Vylučování povlaku kovu je založeno na elektrolýze, kdy jsou v elektrolytu (vodný roztok kovových solí) ponořeny dvě elektrody (anoda a katoda) a obvodem prochází stejnosměrné elektrické napětí. Povlak se vylučuje na záporné katodě (povlakované zboží). Druhá elektroda, kladná anoda, je během pokovování rozpouštěna a doplňuje kovy odebrané z roztoku. [9]

Galvanické povrchové úpravy se dají rozdělit podle použitého povlakového kovu:

- niklování,
- mědění,
- chromování,
- zinkování,
- mosazení,
- cínování. [9]

## 1.2. Ochrana nátěrovými hmotami

Nátěrové hmoty patří mezi nejrozšířenější povrchové úpravy. Na povrchu materiálu se vytvoří polymerní film organické nátěrové hmoty. Základní složky nátěrových hmot jsou pojiva, pigmenty, těkavá rozpouštědla, ředidla a další přísady, které upravují vlastnosti povlaků. Účelem pojiv je zaručit přilnavost povlaku na základní materiál a soudržnost tohoto povlaku. Pojivo zaručuje elasticitu povlaku, aby nedocházelo k praskání a odlupování. Běžně se používají reaktoplasty a elastomery. Pigmenty mají vliv na barvu nátěrové hmoty, její krytí, ale i tvrdost a odolnost proti korozi. Funkcí rozpouštědel je zajistit správnou konzistenci nátěrových hmot k nanášení. Ředidla upravují konzistenci nátěrových hmot. [9]

### 1.2.1. Nanášení nátěrových hmot pneumatickým stříkáním

Pneumatické stříkání je klasickou technologií nanášení nátěrových hmot. Stříkání může být ruční ve stříkacích kabinách nebo automatizované, které se využívá u dopravníkových linek. Nátěrová hmota je rozprášena na povrch materiálu a následně spojena v souvislý film, za pomoci povrchového napětí rozprášených kapek. Produktivita stříkání je podstatně vyšší než při ručním nanášením nátěrových hmot. Nevýhodou je ztráta rozprašováním, při kterém dochází ke znečišťování prostředí. Ztráty závisí na tvaru a velikosti výrobku a mohou se pohybovat v rozmezí 25 – 80%. Aby se ztráty snížily, používá se stříkání v elektrickém poli, kdy se nátěrová hmota nanáší za pomoci elektrostatických sil. [9]

### 1.2.2. Nanášení nátěrových hmot máčením

Nanesení nátěrové hmoty se provádí ponorem výrobků do lázně a jejich následné vytažení. Při vytažení dochází k okapu nátěrových hmot ze spodní hrany výrobků. Okapem a odpařováním rozpouštědel z hladiny lázně dochází ke ztrátám. Technologie máčení není vhodná pro některé tvary součástí. Jsou to tvary, kde by se mohla po vynoření držet barva nebo hrozí vytvoření vzduchové kapsy. Jiným zavěšením výrobků se tomuto problému dá předejít. U některých dílů může dojít ke změně odstínu povlaku, důsledkem velikosti vany. Máčení vytváří tloušťky povlaku v rozmezí 25 – 35  $\mu\text{m}$ . Vady povrchu způsobeny touto technologií mohou být zaschlé kapky na spodní hraně a klínovitost nátěru. [9]

Existuje velké množství korozivzdorných povlaků. Zde byly uvedeny jen některé z metod korozivzdorných povrchových úprav, které se používají pro povlakování drobných dílů.

## 2. Kataforetické lakování

Elektroforetické lakování patří mezi nejmodernější způsoby povrchových úprav. Dělí se na kataforetické lakování (KTL) a zastaralejší anaforetické lakování (ATL). Jedná se o velice ekologický proces, kdy se vytvoří na povrchu materiálu odolný rovnoměrný korozivzdorný povlak. Používá se převážně jako základní povrchová úprava, výjimečně jako finální. Kataforetické lakování je vysoce hospodárnou úpravou díky recyklovatelnosti nevyužité nátěrové hmoty. Je využíváno hlavně na ocelové součásti, ale je vhodné například i pro pozinkované plechy a hliník. Jednou z dalších výhod KTL je ta, že se nátěrová hmota dostane i do špatně přístupných míst, dutin a dobře ulpívá na hranách dílů, kde by bylo použití tradičních metod povlakování obtížné. Kataforezní lakování je vhodná povrchová úprava z ekologických důvodů, díky nízkému obsahu organických rozpouštědel a využitelnosti nátěrové hmoty. [1][4][5]

### 2.1. Historie elektroforézy

Anaforéza se začala používat v 60. letech v USA. Jako první jí průmyslově začala používat americká automobilka Ford na drobné díly karoserií. Do Evropy se anaforéza dostala v roce 1967, kdy byla použita na úpravu karoserií francouzskou automobilovou firmou Peugeot. V relativně krátkém časovém období poskočil vývoj organických pryskyřic a optimalizace procesu takovou rychlostí kupředu, že už počátkem 70. let začala americká firma PPG vyvíjet kataforetické nátěrové hmoty a v roce 1975 je uvedla do provozu. Jednalo se opět o automobilovou firmu ve Francii, ale tentokrát to byla firma Chrysler-France. Vývoj šel dále kupředu už jen kataforetickou větví povlaků, až většina firem upustila od anaforézy a přešla k lakování kataforeznímu. [8]

### 2.2. Použití KTL

Velký rozvoj kataforetického lakování byla v 2. polovině 70. let. Hlavní podíl na tom měl automobilový průmysl. Díky rozvoji se používá stále častěji i v jiných odvětvích průmyslu. [1][8]

Příklady použití:

- automobilový průmysl (karosérie a odnímatelné díly),
- motocykly,
- jízdní kola,
- domácí spotřebiče (pračky, ledničky),
- elektrické přístroje,
- radiátory,
- klimatizace a ventilátory,
- traktory, zemědělské a stavební stroje,
- kovový nábytek. [1]

V automobilovém průmyslu se tato metoda povrchových úprav ujala hlavně díky narůstajícím nárokům na ekologii a technické požadavky karoserií. [1]



### 2.3. Výhody a nevýhody použití kataforézy

Výhody:

- minimální dopad na životní prostředí, čehož je docíleno nízkým obsahem pevného odpadu z nátěrových hmot, minimálním znečištěním odpadních vod díky nízkému obsahu organických rozpouštědel,
- vzhledem k relativně malé tloušťce povlaku má vysokou korozní odolnost,
- možnost řízení tloušťky povlaku regulací elektrického napětí,
- rovnoměrnost naneseného povlaku po celém povrchu, a to i v místech, jako jsou rohy nebo v místech, která jsou špatně přístupná,
- nízké ekonomické ztráty, díky vysoké recyklovatelnosti nevyužité nátěrové hmoty (prakticky 100%),
- mechanická odolnost povrchu,
- snadná automatizace povlakovacího procesu,
- při zavěšení se na povrchu netvoří kapky, které potom zasychají, jako je tomu u technologie namáčení,
- lze povlakovat dalšími nátěrovými hmotami, a použít tak KTL jako základní antikorozi povlak.

Nevýhody:

- lze upravovat pouze elektricky vodivé materiály,
- pro výrobce jsou vysoké pořizovací náklady,
- pro výměnu odstínu se musí vyměnit nátěrová hmota v KTL lakovací lázni i v celém filtračním okruhu a oplachovací lázni,
- pracnost pro povlakování malých dílů. [1][7]

### 2.4. Princip

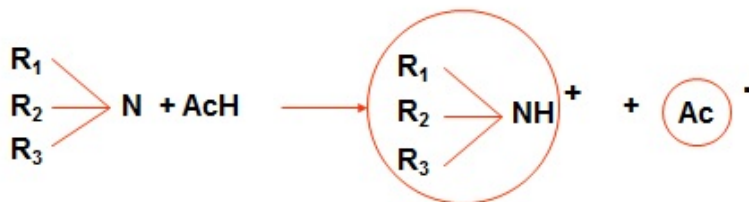
#### 2.4.1. Základní princip

Základem je, aby byl materiál elektricky vodivý. KTL je totiž jedním ze dvou typů elektroforetického lakování (ETL) společně s anaforetickým (ATL). Při elektroforéze využíváme dvou elektrod, a to katodu a anodu. Rozdíl mezi anaforetickým a kataforetickým lakováním je v elektrodě, na které se nátěrová hmota vylučuje. Pokud se vylučuje na katodě, jedná se o kataforetické lakování. Jestliže je nátěrová hmota vyloučena na anodě jde o anoforetické lakování. Nátěrové hmoty se vyrábí kataforetické či anaforetické. U KTL se používají jako povlaky kationické epoxidy, které jsou iontově rozpuštěny v demineralizované vodě. Jako proti-iont se používá acetát, u nových aplikací aniont kyseliny amidosulfonové. Nátěrové hmoty mají nízký obsah organických rozpouštědel, a tak méně zatěžují životní prostředí. Obsah rozpouštědel se pohybuje kolem 1 hmotnostního procenta. Výrobek se ponoří do kataforetické lázně, která se skládá z demineralizované vody a samotných nátěrových hmot. Po připojení stejnosměrného proudu, se vytvoří elektrické pole mezi anodou a katodou, ve kterém se začnou pohybovat polymerní kationty směrem ke katodě a anionty směrem k anodě. Elektrický zdroj má obvykle mezi 150 až 350 V. Při průchodu

elektrického proudu elektrodami a lázní, dochází také k elektrolyze vody, kde na katodě vzniká plynný vodík a na anodě kyslík. Na povrchu materiálu se začne vytvářet povlak. S rostoucí tloušťkou povlaku začne růst i elektrický odpor a klesá rychlost vylučování částic. Při určité tloušťce se částice přestanou vylučovat a tím vzniká rovnoměrná tloušťka povlaku. Tloušťky kataforetického povlaku jsou v rozmezí od 15 do 35  $\mu\text{m}$ . Po samotné kataforeze se díly vyjmou z lázně, opláchnou od ulpělých nátěrových hmot a vloží se do pece, kde dojde k polymerizaci a získání požadovaných vlastností povlaku za teploty 180°C. To znamená, že materiál, na který se nanáší lak, musí odolat těmto teplotám. [1][7][8]

### 2.4.2. Nátěrová hmota a její výroba

Výrobci nátěrových hmot se neustále snaží zlepšovat vlastnosti kataforetických povlaků. Jedná se o vlastnosti kvalitativní, ale zároveň environmentální. Z neutrálních makromolekul, které obsahují aminové skupiny, se získává kationický polymer. Neutrální molekula reaguje s organickou monokyselinou (např. kyselinou octovou  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) v roztoku demineralizované vody s obsahem organických rozpouštědel. Chemickou reakcí, se tak získá aminový kationt pryskyřice a neutralizační acetonový aniont. [8]



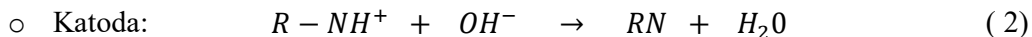
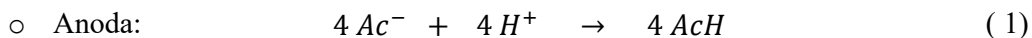
Obrázek 1- Schéma přípravy kationtu pryskyřice neutralizací aminu organickou kyselinou [8]

Takto získaná pryskyřice je základním elementem KTL lázně. K ní se přidává pigmentová pasta, která zapříčiní správný odstín nátěrové hmoty a další její vlastnosti. Pasta se přidává v hmotnostním poměru 4 až 6 : 1. Díky složité vyměnitelnosti nátěrové hmoty v lázni a faktu, že se KTL používá většinou jako základní povrchová úprava, se laky vyrábí víceméně ve třech základních podkladových barvách. Černá, šedá a bílá.



Obrázek 2 – obecně používané odstíny KTL barev [8]

Chemické reakce elektrické depozice na elektrodách:

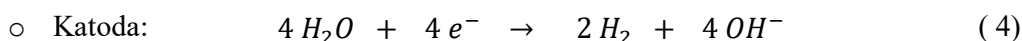
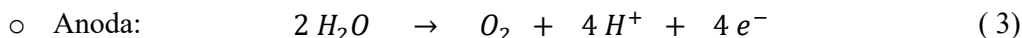


Chemické vlastnosti samotné pryskyřice dále závisí na použití. Kataforézní povlak je používán hlavně jako základní nátěr, který slouží jako vysoce odolná antikoroziní vrstva. Pro tyto nátěry se používá epoxy-polyuretanová pryskyřice. Pokud je kataforeza zároveň i konečnou povrchovou úpravou, kdy se od povlaku požaduje i odolnost proti ultrafialovému záření, používá se akrylátová báze. [8]

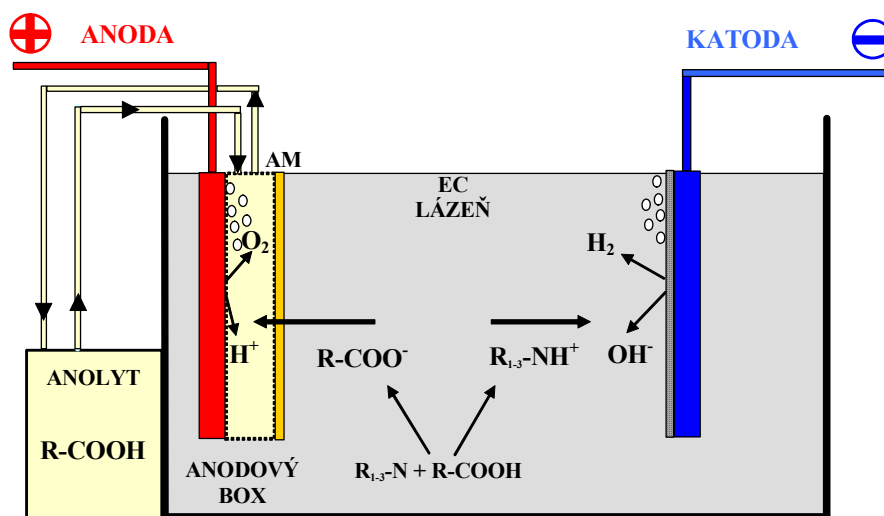
### 2.4.3. Depozice na katodách a anodový box

Na katodě vzniká vodík, který je vytvořený elektrolýzou vody. S vodíkem se vytváří hydroxylový aniont, který začne neutralizovat pryskyřicové kationty. Tím pryskyřice neutralizuje a ta je dále nerozpustná ve vodě. Na anodě vzniká rozkladem vody kyselý vodík. Vodík se z lázně musí odebírat nebo se musí neutralizovat, aby nedošlo k pozvolnému okyselení lázně. [8]

Chemické procesy, které probíhají na anodě a katodě při elektrolýze vody:



Kataforézní lázeň je velmi náchylná na změnu pH. Musí se pohybovat v rozmezí od 5,4 do 5,8. To znamená, že je lázeň mírně kyselá. Kdyby došlo k velkému okyselení, došlo by v lázni ke koagulaci (shlukování) pryskyřice. Tím by se celá lázeň znehodnotila a stala se nepoužitelnou. Tento problém je řešen ve firmě MEGA a.s. pomocí iontově-selektivní membrány anexového typu. Membrána je v zásadě nepropustná pro vodu a zároveň převádí pouze záporné ionty. Je umístěna v anodovém boxu a prostupuje jí acetát směrem k anodě. Membrána zároveň brání převodu kyselých kationtů vodíku, vznikajících na anodě, na katodu v lázni. Díky nepropustnosti vody skrz selektivní membránu, je anodový box hydraulicky oddělen od kataforetické lázně. Vodivost v anodovém boxu je udržována demineralizovanou vodou. Tento systém je označován jako automatická regulace pH nebo jako anolytový okruh. [8]



Obrázek 3 - Princip kataforézního vylučování organických nátěrových hmot [8]

#### 2.4.4. Analytový okruh

Jak už bylo řečeno, analytový okruh se používá jako automatická regulace pH v lázni, kde dochází uvolňování organických kyselin. Je tvořen několika anodovými boxy ponořenými v kataforetické vaně. Dále je tvořen cirkulační nádrží s čerpadlem a potrubím. Uvnitř se nachází kontinuální měřič vodivosti. Vodivost roste se zvyšující se koncentrací kyselin v analytovém okruhu, a tak se musí regulovat. Je tedy upravována pomocí magnetického ventilu, který do okruhu vpouští demineralizovanou vodu, a ta vysokou vodivost snižuje. Zároveň se také přebytečný anolyt vypouští do odpadu.

Další částí je anodový box, který je tvořen anodou a membránou, která odděluje analytový okruh a lakovací lázeň. Membrána je aniont-selektivní a tak propustí anionty (hlavně  $\text{Ac}^-$ ) na anodu ale nepropustí přebytečné kyseliny, které se tvoří na anodě a pronikly by do lázně a znehodnocovali její pH. V boxu je umístěná anoda, vyrobená z antikorozi oceli. Může být deskového nebo trubkového typu. Tvar anody záleží na tvaru boxu, ve kterém je umístěna. U klasického kataforetického lakování se v dnešní době se převážně používají boxy kruhového typu. [1][8]

#### 2.4.5. Kataforézní vana

Ve vaně je se odehrává samotné kataforetické lakování. Velikost vany je odvozena od geometrie lakovaných dílů. Logicky nesmí být menší než díly, ale i zbytečně velká vana je nevhodným řešením. Pokud se jedná o průběžnou linku, musí se počítat i s časem lakování a skosením pro vstup a výstup z lázně. Ve vaně je umístěn systém pro máchání nátěrové hmoty. Ten má za úkol promíchat nátěrovou hmotu tak, aby její částičky nesedimentovali na dně vany. Čas, který se uvádí pro maximální odstavení vany bez míchání, je 2 až 4 hodiny. Zároveň je míchání vhodné pro proudění nátěrové hmoty okolo materiálu. Míchání lázně je zajištěno pomocí trysek ve vaně, do kterých se dopravuje nátěrová hmota z přeřadu pomocí cirkulačního čerpadla. [1][8]

U konvenčních linek pro KTL se ve vaně nachází anodové boxy, které jsou hydraulicky odděleny od lázně samotné. [1][8]

Lázeň není choulostivá jen na pH, ale i na teplotu. Proto je vana opatřena chlazením. Nátěrová hmota se musí chladit kvůli její zvyšující se teplotě, ať už průchodem elektrického proudu nebo mícháním lázně. Pro chlazení se používají deskové tepelné výměníky. Díky tepelným čidlům umístěným ve vaně, probíhá chlazení automaticky. [1]

Vana je propojena s rezervní nádrží. Do ní se odčerpá nátěrová hmota z vany, pokud se provádí údržba, či její čištění. Nádrž je také opatřena míchacím systémem, aby se zabránilo sedimentaci. [1]

#### 2.4.6. Oplach

Po vytažení dílu z kataforetické lázně, ještě není díl připraven k použití. Nevykazuje ty správné vlastnosti, jako např. chemickou a mechanickou odolnost nebo lesk. Povlak musí být patřičně upraven. Prvním úkonem je oplach v ultrafiltrátu, popřípadě následuje

demioplach, což je oplach demineralizovanou vodou. Tímto jsou odstraněny mechanicky ulpělé částice nátěrové hmoty, které by po vytvrzení znamenaly nedokonalosti na povrchu, a tak by tento povrch znehodnocovaly. Oplach je prováděn jak ponorem, tak ostříkem. Je však možné použití ponoru s ostříkem zároveň. [1][8]

#### **2.4.7. Filtrace**

Aby se zabránilo znečištění lázně, musí být vana opatřena filtračním systémem. V případě KTL vany se jedná o tzv. ultrafiltraci. Její funkcí je příprava oplachové kapaliny (permeátu z ultrafiltrace). Aby se nenarušovali poměry složek v lázni, je oplachová voda připravována přímo z KTL lázně. Ultrafiltrace je prováděna membránou, která oddělí větší částice nátěrové hmoty od malých molekul vody, kyselin a organických rozpouštědel. Voda se dostane přes membránu až do oplachové části. Oplachová voda se vrátí přes přepady z nejčistšího oplachu, přes znečištěnější až do KTL vany. [1][8]

#### **2.4.8. Polymerizace**

Polymerizace je velmi důležitou částí celého procesu kataforetického lakování. Tak se dosáhne té správné odolnosti, která se od KTL očekává. Proces polymerizace nastává po oplachu a to ve vytvrzovací části linky, ve vypalovací peci, kde je teplota zvýšena na hodnotu kolem 180°C. Za těchto teplot započne vytvrzovací proces. Dále se začnou odpařovat blokační organické alkoholy, které brání dřívější polymerizaci nátěrových hmot. Tak můžou začít pracovat hydroxylové skupiny pryskyřice a vzniknou tak uretanové vazby mezi polymery. [1][8]

### **2.5. Linky pro kataforetické lakování**

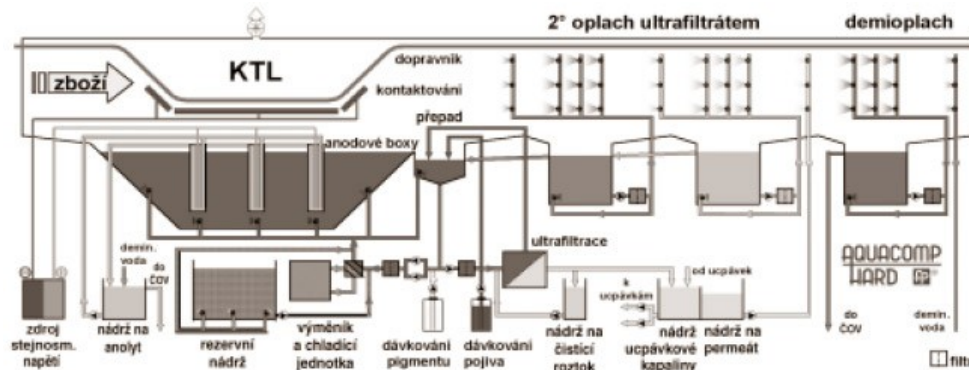
Tyto linky se mohou rozdělit do dvou základních koncepčních typů. Na linky taktovací a linky průběžné. Volba linky závisí na mnoha faktorech (charakter zboží, požadovaný výkon linky, variability linky, kvalita či tloušťka nátěru). [1]

Taktovací linky jsou linky s dopravními manipulátory mezi jednotlivými stanovišti. Jsou vhodné, pokud se často mění velikosti, tvary a materiály dílů. Tyto linky se používají v tzv. zakázkových lakovnách, kam přicházejí díly z různých odvětví či firem. [1][4]

Linky průběžné se vyznačují tím, že mají řetězový dopravník a zboží linkou prochází kontinuálně. Jsou vhodné pro velké série a vysoké výkony linky. Díky tomu mají vysokou produktivitu a tím i nižší cenu povlakovaných dílů. Sníží se i náklady na řízení provozu. [1][5]

### 2.5.1. Rozdělení kompletní linky na základní části

- zařízení pro předúpravu,
- kataforetický uzel,
- vypalovací pec a úsek chlazení,
- zařízení na čištění vzduchu,
- dopravní a manipulační zařízení,
- řídicí systém,
- zařízení pro přípravu vody,
- čistírna odpadních vod. [1]



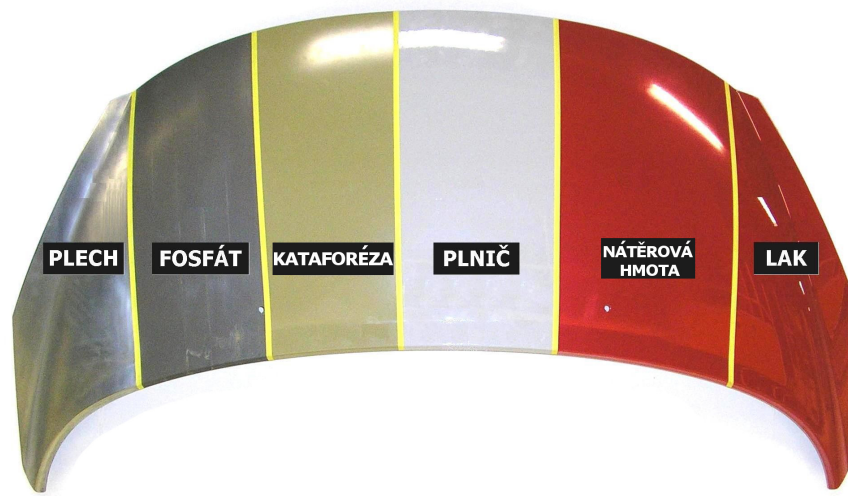
Obrázek 4 - samotný kataforetický uzel KTL linky [1]

### 2.5.2. Jednotlivé části KTL uzlu

- KTL vana,
- cirkulace, míchání a filtrace nátěrové hmoty,
- anolytový okruh,
- chlazení nátěrové hmoty,
- zdroj elektrického proudu,
- ultrafiltrace,
- dávkování nátěrové hmoty,
- reverzní nádrž na nátěrovou hmotu,
- oplach. [1]

### 3. Předúprava povrchu dílu před KTL

Jde o proces, při kterém se povrch materiálu upraví pro samotné kataforetické lakování. Předúprava povrchu je důležitou součástí celého procesu KTL lakování. Materiál se musí správně očistit od mastnot, rzi a mechanických nečistot. Dále se na povrch vytvoří konverzní vrstva pomocí fosfátování. Tato vrstva má v zásadě dva účely. Prvním je antikoroziční ochrana materiálu a druhý je zvýšení přilnavosti kataforetického povlaku na povrch materiálu. Volba vhodné předúpravy závisí na dílu, který se povlakuje. Např. vyšší nároky na korozní odolnost v automobilovém průmyslu si žádají trikationické (Zn, Ni, Mn) jemnozrné fosfátování, většinou následováno bezchromovou pasivací. [1]



Obrázek 5 - postup povlakování přední kapoty automobilu [11]

Běžně se používá tento postup:

- chemické odmaštění,
- oplach,
- moření (v případě potřeby),
- oplach,
- aktivace,
- fosfátování (popř. železité fosfátování),
- oplach
- pasivace,
- sušení. [1][9]

#### 3.1. Odmaštění

Odmaštění je proces čištění ulpělých nečistot na povrchu dílů. Nečistotami jsou myšleny látky vázány na povrch fyzikální adsorpcí (tuky, mastnota) nebo látky vázány adhezními silami (kovové třísky, prach, anorganické nečistoty). Vazební energie fyzikálně vázaných nečistot není tak vysoká, jako například u koroze, proto se

odstraňují snadněji než nečistoty s chemickou vazbou, jako je zmíněná koroze. Přípravky pro odmašťování mají dva základní úkoly. Odstranit nečistoty z povrchu materiálu a zabránit jejich zpětnému vylučování na čištěném povrchu. [9]

Odmašťování lze zhruba rozdělit do tří základních skupin:

- odmašťování v organických rozpouštědlech,
- odmašťování ve vodných alkalických rozpouštědlech,
- odmašťování emulzní. [9]

Při odmašťování drobných dílů nebo dílů s malými otvory se používá odmašťování pomocí ultrazvuku. Společně s elektrolytickým odmašťováním a odmašťováním parou, jde pouze o zvýšení účinnosti alkalického odmašťování. Principem alkalického odmaštění je potrhání mastného filmu, následované jeho vyčištěním, emulgací uvolněné mastnoty a zachycením mastnoty, vytvářením micel, což jsou shluky uvolněných tuků, v odmašťovacím roztoku. Při ultrazvukovém odmašťování se napomáhá uvolňování mastnoty mechanickými účinky. Ultrazvuk zhušťuje a zředňuje prostředí, při velkých rozdílech tlaku. Tento jev způsobuje kavitaci, kdy se mastnota uvolňuje úderem mikroskopických částic. [9]

### 3.2. Moření

Na povrchu kovových materiálů vznikají oxidy. Povrch oxiduje při kontaktu s vlhkou atmosférou nebo při tepelném zpracování kovů, jako jsou oceli. Tato oxidická vrstva se odstraňuje pomocí chemické úpravy povrchu mořením. Při moření se povrch materiálu naleptává kyselinou. Správným technologickým postupem se dosáhne kvalitního povrchu rovnoměrným naleptáváním. Nejčastější jsou kyselina solná a sírová, popřípadě dusičná, fluorovodíková nebo směsi kyselin. Oxidy vznikající při tepelném zpracování se odstraňují obtížněji, než oxidy vzniklé atmosférickou korozí. [9][22]

### 3.3. Aktivace

Před fosfátováním se obvykle používá aktivační oplach. Aktivace je nutná v případě, je-li dalším krokem manganaté fosfátování. Volba aktivační lázně závisí na následovném druhu fosfátování. Pokud je následující operací Zn-fosfátování, lázeň je na bázi kondenzovaných polyfosfátů titanu. Při Mn-fosfátování by se bez aktivačního oplachu vytvořila nekvalitní fosfátová vrstva. Lázeň je v tomto případě na bázi polyfosfátů manganu. [9]

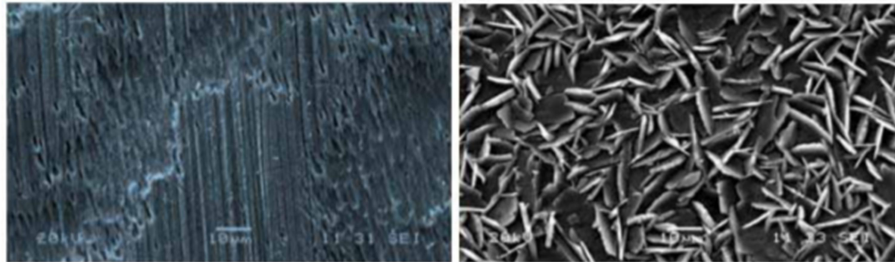
### 3.4. Fosfátování

Při fosfátování vzniká na povrchu terciální fosforečnan zinečnatý, manganatý, vápenato-zinečnatý nebo železnatý. Hlavní složkou při fosfátování je roztok fosforečnanu. Jsou to fosforečnany zinku, vápníku manganu nebo železa. Lázeň obsahuje i kyselinu fosforečnou. Pokud je předmět ponořen do lázně, dojde k jeho povrchu ke korozi. Kyselinou rozpouští základní materiál a chemickou reakcí vzniká vodík. Tak dojde mezi styčnou plochou kovu a lázní k narušení rovnováhy roztoku a



vznikne nerozpustný terciální fosfát. Terciální fosforečnan vytvoří na povrchu konverzní povlak. Povlak má dvě funkce. První je zvýšení korozní odolnosti a druhou je zlepšení přilnavosti nátěrových hmot na povrch materiálu. Při nanášení nátěrových hmot se doporučuje tenčí tloušťka povlaku fosfátu. Chemická reakce se sama reguluje, jelikož fosfát nepropustí kyselinu k materiálu, a tak se reakce po určité době zastaví. [9][23]

Drsnost povrchu před fosfátováním má velký vliv na jakost konečného povlaku. Dalšími vlivy mohou být kvalita odmaštění a moření, druh materiálu nebo jiné úpravy kovu před fosfátováním. [9]



*Obrázek 6 - Vlevo: SEM snímek amorfního železnatého fosfátu, Vpravo: SEM snímek krystaly hopeitu zinečnatého fosfátu [23]*

### 3.5. Pasivace

Pasivace se používá u kovových materiálů proto, aby se zamezilo vytváření oxidačních vrstev na jejich povrchu. Zároveň pasivace zlepšuje přilnavost nátěrových hmot a vzhled povlakových kovů. Nejčastějším způsobem pasivace je chromátování. Lázně, které se používají k chromátování, se skládají z šestimocného chromu a aniontů, které slouží jako aktivátory. Kovový povlak reaguje s lázní při redukci šestimocného chromu. Tloušťka povlaku se zmenšuje a získává lesk. Na povrchu se vytváří oxidy. Složení filmu závisí na složení lázně. [9]

### 3.6. Oplachové operace

Aby se kataforetická lázeň nekontaminovala, je nutné díly po chemických předúpravách opláchnout. Pro kataforézu je nejlepším řešením finální oplach součástí demineralizovanou vodou. Oplachování se provádí i mezi jednotlivými chemickými předúpravami a to především mezi odmaštěním a mořením, mořením a aktivací, fosfátováním a pasivací. Pokud by tomu tak nebylo, postupem času, by docházelo ke kontaminaci roztoků jednotlivých povrchových předúprav, mícháním jednotlivých roztoků. [1][4]

## 4. Kontrola kvality nátěrových hmot

Povrchové úpravy materiálů jsou v dnešní době nedílnou součástí výroby. Aby se zjistilo, zda má povrchová úprava správné vlastnosti, musí se provést jednotlivé zkoušky. Ať už jde o optické, fyzikálně-mechanické nebo ochranné hodnocení povrchu, postupuje se vždy podle příslušné normy. [17]

### 4.1. Optické hodnocení nátěrových hmot

Jde o hodnocení subjektivní, kde se hodnotí vzhled povrchu a viditelné vady. Předmětem hodnocení jsou defekty jako vrásnění, puchýřky, struktura pomerančové kůry, tahy štětci, barevné odstíny, atd. [17]

Nátěrové hmoty – Osvětlení a postup pro vizuální hodnocení nátěrů ČSN EN ISO 13076

### 4.2. Fyzikálně-mechanické hodnocení nátěrových hmot

#### 4.2.1. Povrchová tvrdost

Na tvrdosti povrchu závisí hned několik mechanických vlastností (pevnost, trvanlivost nebo odolnost při deformaci ohybem či úderem). Nevyhovující tvrdost nátěrové hmoty může znamenat nedodržení správných podmínek při aplikaci nátěrové hmoty. Používá se stanovení tvrdosti zkouškou tužkami. Tvrdost nátěrové hmoty odpovídá standardizované tvrdosti tužky, která jako první pronikne povlakem. [17]

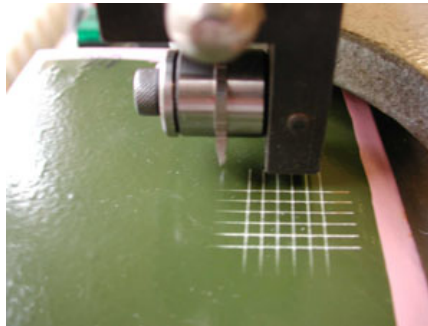
*Tabulka 1 – tabulka stupňů tvrdost tužek KOH-I-NOOR [27]*

Nejtvrdší																Nejměkčí				
9H	8H	7H	6H	5H	4H	3H	2H	H	F	HB	B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	8B	9B	

ČSN EN ISO 15184:2012 Nátěrové hmoty – Stanovení tvrdosti nátěru zkouškou tužkami

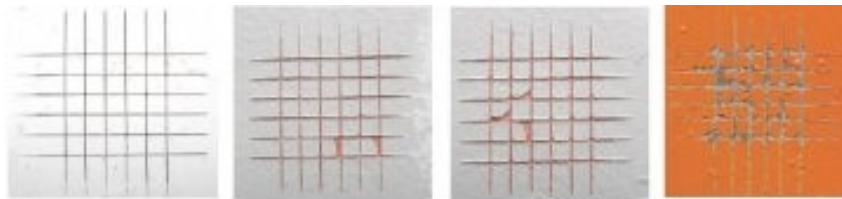
#### 4.2.2. Přilnavost

Přilnavost je důležitá vlastnost nátěrové hmoty, která rozhoduje o odolnosti povlaku. Mřížková zkouška určuje odolnost nátěrové hmoty k oddělení od podkladu. Nátěr se prořízne mřížkovým řezem. Metoda je vhodná pro tloušťky povlaku do 250 μm, kdy vzdálenost jednotlivých čar mřížky od sebe, závisí na tloušťce měřeného povlaku a materiálu podkladu. Norma hodnotí 6 stupňů přilnavosti (0-5). [17][30]



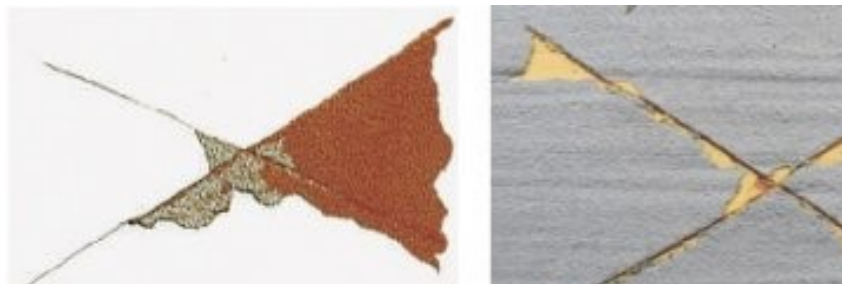
**Obrázek 7 – mřížková zkouška podle ČSN EN ISO 2409 [18]**

Pro měření přilnavosti se provede přilepením pásky o dané lepivosti na vytvořenou mřížku a po odtrhnutí pásky se určuje stupeň přilnavosti podle normy ČSN EN ISO 4624. [17][18]



**Obrázek 8 - Ukázka vzhledu plochy mřížky po provedení řezů nátěrem [30]**

Pro měření přilnavosti v terénu je vhodná metoda křížového (X) řezu. Provedou se dva řezy o délce 40 mm až k podkladu. Řezy se protínají ve svých středech a jsou pod úhlem 30° – 40°. Po přilepení a následném odtržení pásky se hodnotí přilnavost na stupnici od 5A do 0A (5A – neodlupuje se; 0A – odpadávaní nátěru mimo řez). [30]



**Obrázek 9 - Ukázka zkoušky X řezem na výrobku a zkušebním vzorku [30]**

ČSN EN ISO 2409:2013 Nátěrové hmoty – Mřížková zkouška

ČSN EN ISO 4624 Nátěrové hmoty - Odrhová zkouška přilnavosti

ASTM D 3359 - Test Method for Measuring Adhesion by Tape Test - X Cut Test - Method A

### 4.2.3. Pórovitost nátěrů

Pórovitost je nebezpečná pro mechanické či ochranné vlastnosti nátěrové hmoty. Standardně se měří pomocí nízkonapěťové zkoušky za pomoci mokré houbičky (napětí 9 – 90V) nebo vysokonapěťové jiskrové zkoušky, kde se dosahuje napětí až 30kV. Velikost elektrického napětí se odvíjí od tloušťky nevodivé vrstvy nátěrové hmot. Navlhčenou houbičkou se přejíždí po zkoumaném místě, kde voda pronikne do pórů a uzavře elektrický obvod. Přístroj tak může detekovat chybějící povlak v podobě pórů. [17][29]

ČSN EN ISO 29601 Nátěrové hmoty – Ochrana proti korozi ochrannými nátěrovými systémy – Hodnocení pórovitosti suchého nátěru

### 4.2.4. Tloušťka nátěrové hmoty

Měření tloušťky nátěrových hmot se dá rozdělit na destruktivní a nedestruktivní. Různé metody závisí na materiálu, na který se nátěrová hmota nanáší.

#### ○ Nedestruktivní

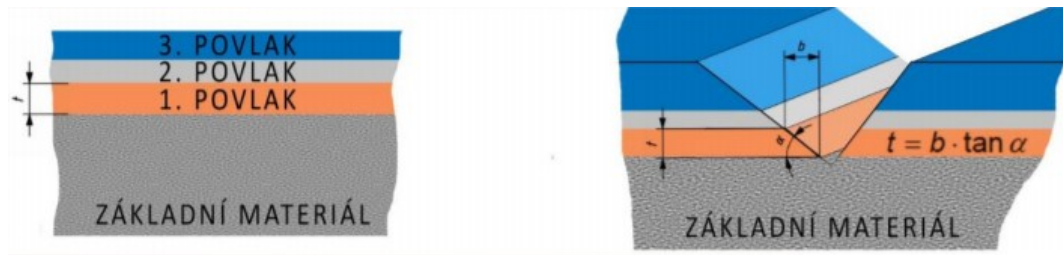
Měří se nemagnetická nátěrová hmota na magnetických kovových podkladech. Jde tedy o feromagnetické materiály. Pro paramagnetické materiály (např. hliník) se používá metoda vířivých proudů. Tloušťka se měří pomocí tloušťkoměru, který bývá vybaven sondami pro oba typy měření, popř. je sonda kombinovaná. [20][31]

ČSN EN ISO 2178 Nemagnetické povlaky na magnetických podkladech. Měření tloušťky povlaku - Magnetická metoda

ČSN EN ISO 2360 - Nevodivé povlaky na nemagnetických elektricky vodivých podkladech - Měření tloušťky povlaku - Metoda vířivých proudů využívající změn amplitudy

#### ○ Destruktivní

Tloušťka nátěrové hmoty se dá měřit destruktivní metodou klínového řezu podle ČSN EN ISO 2808. Metoda je vhodná pro inspekci vícevrstvých povlaků. Tloušťka jednotlivých vrstev se určí z geometrie řezu. Při použití klínového řezu lze vypočítat tloušťku na základě úhlu klínového řezu a šířky jednotlivých vrstev, které se při řezu odkryjí. Při měření musí být jednotlivé vrstvy nátěrové hmoty zřetelně odlišitelné. V případě sporů je rozhodující přímá (kolmá) metoda. [19]



Obrázek 10 - Přímé měření tl. povlaku (vlevo), nepřímé stanovení tl. metodou klínového řezu (vpravo) [19]

ČSN EN ISO 2808 Metoda klínového řezu

### 4.3. Ochranné vlastnosti nátěru

#### 4.3.1. Koroze v umělých atmosférách

Při KTL lakování je ochranou vlastností korozní odolnost nátěrové hmoty. Jelikož jsou KTL laky určeny k dlouhodobé korozní odolnosti, je vhodné použít laboratorně urychlené korozní zkoušky v umělých atmosférách. Jednou z takových zkoušek je zkouška korozní odolnosti v solné mlze. Norma stanovuje přístroje a chemikálie, které se používají při zkoušce v solné mlze. Chemikálie se dělí na neutrální 5% roztok chloridu sodného (NSS – Neutral Salt Spray), okyselená mlha 5% roztoku chloridu sodného (AASS – Acid Acetic Salt Spray) a na okyselenou solnou mlhu s chloridem měďnatým  $\text{CuCl}_2$  (CASS – Copper Acetic Salt Spray). [17][21]

ČSN EN ISO 9227 Korozní zkoušky v umělých atmosférách - Zkoušky solnou mlhou

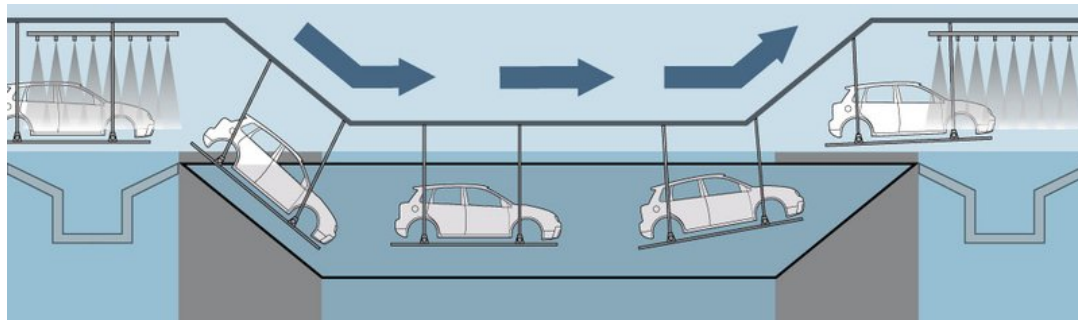
#### 4.3.2. Odolnost proti vlhkosti

Pokud je povlak vytaven neustálé kondenzací, je zapotřebí provést zkoušku Stanovení odolnosti proti vlhkosti. Hodnotící kritéria pro odolnost proti kondenzaci jsou včetně puchýřování, koroze, měknutí, vrásnění a křehnutí apod. [28]

ČSN EN ISO 6270-1 Nátěrové hmoty - Stanovení odolnosti proti vlhkosti - Část 1: Kontinuální kondenzace

## 5. Problematika hromadného kataforetického lakování drobných dílů

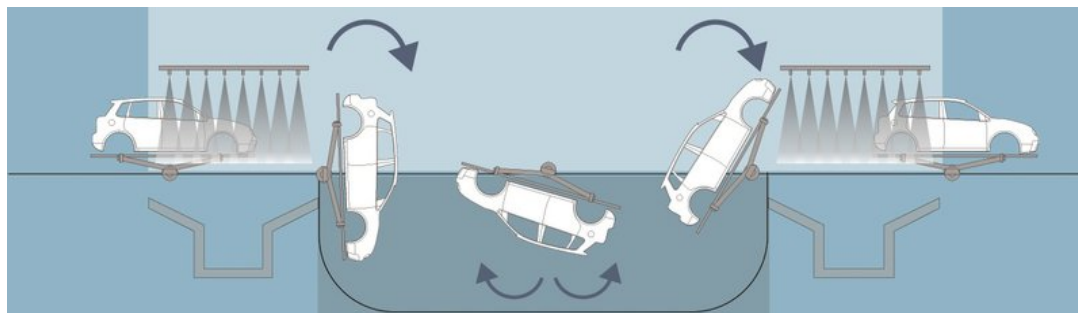
Problémy hromadného kataforetického lakování jsou v dnešní době velice kvalitně řešeny. Jedná se však o hromadnou výrobu malých i rozměrnějších dílů jako jsou karoserie automobilů nebo např. radiátory. Speciálně jsou uzpůsobeny linky pro lakování karoserií automobilů, které vyžadují zvláštní pozornost. Nejen že se karoserie musí ponořit do kataforetické lázně, ale ještě se v ní musí dokázat pootočit tak, aby se odstranily všechny vzduchové kapsy. Vzduch totiž při ponoru zůstane uvězněn v některých prostorech karosérie, zejména pak pod střešní částí. Tento problém je částečně eliminován naklopením přední části karoserie při vstupu do KTL vany. Ve vaně se potom karosérie naklápí tak, aby byly vzduchové kapsy uvolněny a dostaly se z těžko přístupných míst. Proto vana musí mít dostatečné rozměry, aby pootočení umožňovala. Kataforetické linky pro lakování karoserií využívají vypínání nečinných anodových boxů, za účelem šetření energie.[25]



Obrázek 11 – konvenční kataforetické lakování karoserií automobilů [24]

### 5.1. Linka Ecopaint RoDip

Linka Ecopaint RoDip německé firmy Dürr řeší zmíněné problémy kataforetického lakování karoserií automobilů. Karoserie prochází linkou, kde je závěs schopen rotovat výrobkem o 360°. Kompletní otočení řeší problém vzduchových kapes. Díky otočení je vana kratší, a tak šetří místo a snižuje objem nátěrové hmoty ve vaně. Linka je vhodná i pro chemické předúpravy a oplach přebytečné nátěrové hmoty. [24]



Obrázek 12 – linka Ecopaint RoDip pro karoserie automobilů [24]

Při použití Ecopaint RoDip linky uvádí Dürr snížení ceny lakovaných výrobků o 15,8% oproti konvenčnímu povlakování na závěsu. [24]

## 5.2. Drobné díly pro KTL

Při kataforetickém lakování drobných dílů nastávají problémy, které souvisejí s jejich velikostí a množstvím. Drobnými díly jsou myšleny malé součástky velikosti spojovacích materiálů, jako jsou např. šrouby, podložky nebo čepy. Za drobné díly se dají považovat i některé šperky, která se také upravují pomocí kataforézy. Používají se ale velice tenkého povlaku. Jedná se tedy o dekorativní KTL lakování. Tato práce se zabývá součástmi, které se používají v průmyslu a od kterých se požaduje určitá korozní odolnost nebo otěruvzdornost např. díly automobilů. [1]



Obrázek 13 – příklad drobných dílů v podobě čepů [12]

## 5.3. Omezení při použití závěsu pro lakování drobných dílů

Kataforetické lakovací linky bývají plně automatizované. Samotné navěšování může být procesem automatizovaným, pokud se nejedná o drobné díly, která se musí na závěs navěšovat ručně. KTL lakování je poměrně rychlý proces, ale díky této manuální práci se stává povlakování drobných dílů časově náročnějším. Trvá řádově desítky minut až hodiny v závislosti na počtu dílů na závěsu. Vzhledem k tomu, že je zapotřebí použití lidské práce při navěšování, cena výrobků stoupá. Dalším problémem je ten, že pokud součást nelze zavěsit na háček závěsu, nelze ji povlakovat běžným způsobem. Zde se potom používají jiné antikorozní povlaky, které jsou pro malé součásti vhodnější. Jedná se například o galvanické pokovování nebo namáčení do nátěrových hmot. Tento problém je patrný např. při povlakování čepů, kolíků nebo jim tvarově podobných součástí.

Z tohoto vyplývá, že použití běžného závěsu je nevhodné pro povlakování drobných a tvarově jednoduchých dílů a je tedy rozumné zvolit jiný vhodnější způsob KTL lakování.

## 5.4. Náhrada závěsu

Z důvodu nevhodnosti povlakování součástí na závěsu je potřeba zvolit jinou metodu nanášení KTL nátěrových hmot. Jak je vysvětleno dále, pro povrchovou, úpravu pomocí KTL, velkého počtu drobných dílů je vhodný bubnen. Jako materiál bubny se používají běžné termoplasty, jako jsou např. polyvinylchlorid (PVC), polyetylen (PE) nebo

polypropylen (PP). Termoplastické materiály jsou vhodné pro tuto aplikaci zejména díky jejich odolnosti, ceně a nízké hustotě, která znamená nízkou hmotnost zařízení. Buben musí dále zajišťovat správné nanášení KTL nátěrových hmot na materiál a z toho vyplývá jeho konstrukce. Při použití bubnu je důležitý dotyk materiálu a katod, aby vůbec došlo k povlakování zboží. Materiál na závěsu má trvalý kontakt s katodou, ale u drobných dílů v bubnu se musí zajistit jiný způsob styku.

Je vhodné použít to řešení, že katoda je součástí samotného bubnu. Při otáčení bubnu, se po sobě součásti převalují. Tento pohyb materiálu v bubnu nezajišťuje trvalý kontakt s katodou. Jde o tzv. náhodný kontakt, kdy se díly dotýkají katod bodovým, čarovým nebo plošným stykem. Zároveň dochází i k dotyku mezi jednotlivými součástmi. Druhy styků se díky otáčení bubnu neustále mění. [8]

Na lakovací proces v bubnu se dá nahlížet ze dvou pohledů. Buben může být uzpůsoben pro dávkové povlakování, nebo povlakování kontinuální. Dávkové povlakování, jak už název napovídá, povlakuje dávku výrobků. Po nanesení povlaku na dávku dílů se z bubnu díly vysypou a proces se opakuje s dávkou novou. U kontinuálního neboli průběžného zařízení je materiál průběžně dopravován do bubnu a zároveň je již nalakovaný materiál z bubnu vysypáván. [8]

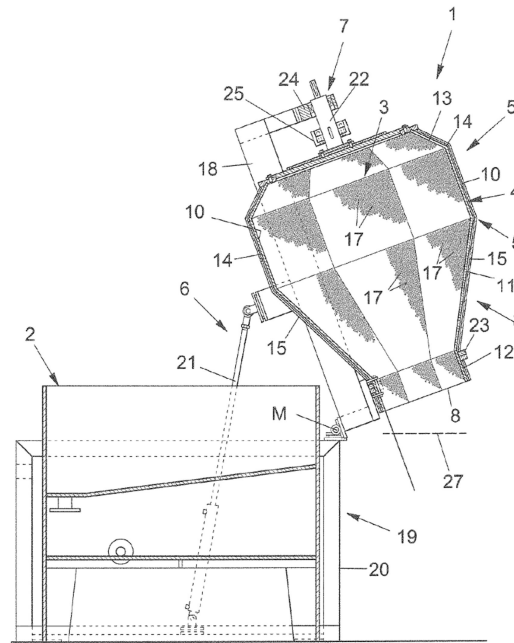
## **5.5. Zařízení pro protikorozní ochranu drobných dílů ve světě**

Problémem hromadné protikorozní ochrany drobných dílů se zabývají i zahraniční firmy. V některých případech, jako je tomu u KTL, se jedná o velice perspektivní technologie. V jiných procesech je technologie antikoroze ochrany velmi dobře zpracován a vlastní proces je zcela automatizován.

### **5.5.1. Systém pro elektrickou depozici nátěrových hmot pro drobné díly**

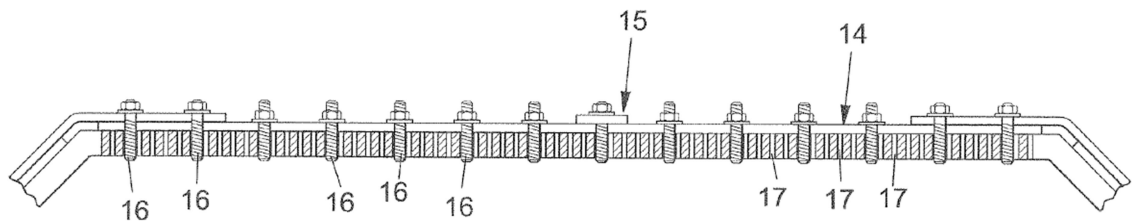
V italské firmě O.M.I.G. S.r.l. se vyvíjí zařízení pro hromadné elektroforetické lakování, které je vhodné pro dávkovou výrobu. Zařízení se skládá z vany (2), ve které je ponořena rotační nádoba (3). Tato nádoba není kruhového průřezu, ale je ve tvaru osmihranu. Skládá se tedy z plochých desek (10)(11)(12)(13), které jsou na sebe napojeny pod úhly tak, aby tvořily zmíněnou nádobu. Nádoba je tvořena deskami z toho důvodu, aby při rotaci nádoby v lázni docházelo k převalování materiálu, a tak byl změněn kontakt drobných dílů s katodou. Nádoba je z jedné strany opatřena ústím (8) pro vkládání a vykládání dílů. Velice důležitým aspektem je perforace (17) bubnu. Ta umožňuje proudění nové nátěrové hmoty do nádoby a zároveň pomáhá při promíchání lázně. [7]





**Obrázek 14 - zařízení pro KTL firmy O.M.I.G. S.r.l. [7]**

Tělo bubny je tvořeno z polypropylenových materiálů. Polypropylen je vhodný díky jeho elektrické nevodivosti, nízké hmotnosti, nízké ceně a tepelné odolnosti. Po délce bubny jsou umístěny katody (14) a po obvodu průřezu katody (15), které jsou zvenčí bubny. Samotné katody nejsou tedy v přímém kontaktu s materiálem, ale tento kontakt je zprostředkován pomocí šroubů (16) vyvedených do vnitřku bubny. Šrouby slouží zároveň i pro připevnění katod k nádobě. Anodová elektroda (není zobrazena) je koaxiálně umístěna v bubnu. Čištění katodových šroubů je tedy zajištěno samotným odvalováním materiálu po jejich povrchu. [7]



**FIG. 6**

**Obrázek 15 - provedení katod zařízení firmy O.M.I.G. S.r.l. [7]**

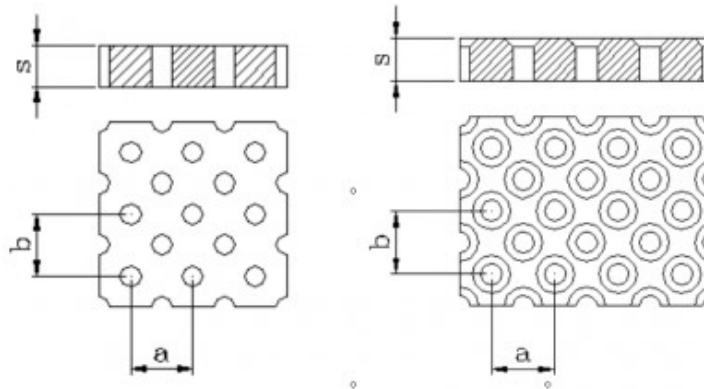
Vykládání materiálu z bubny je zajištěno naklopením bubny, pomocí lineárního hydraulického motoru (21), podle osy (M), při kterém se vyklopí nalakovaný materiál na dopravníkový pás (27). [7]

Je tedy jasné, že zařízení funguje na principu dávkové výroby, takže není možný kontinuální provoz. To by ale nemuselo být takovým problémem, s ohledem na velikost dané dávky.

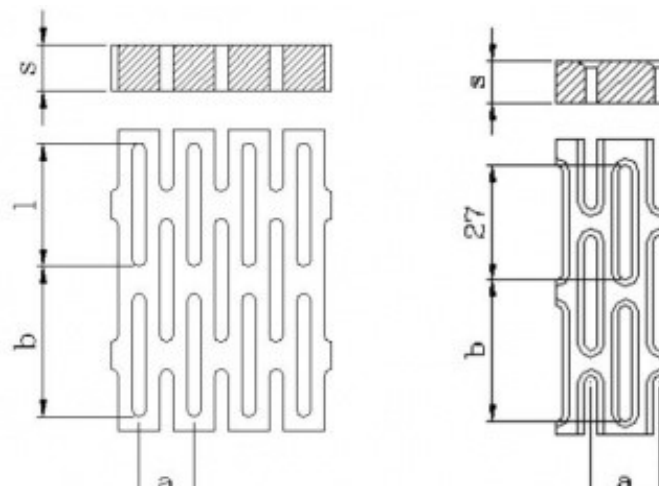
### 5.5.2. Galvanické pokovování drobných dílů

Galvanické pokovování vychází z elektrolyzy. Při elektrolyze jsou ponořeny dvě elektrody v solném vodivém roztoku. Zavedením stejnosměrného proudu na elektrody se elektrickou disociací začnou uvolňovat záporné ionty z jedné elektrody a jsou přitahovány ke druhé. Na záporné elektrodě se vylučují kladné ionty (dochází na ní k redukci kationů). Tato elektroda se nazývá katoda. Naopak na kladné elektrodě se vylučují záporné ionty (dochází na ní k oxidaci aniontů). Tato elektroda se nazývá anoda. U galvanických článků se jedná o opačný děj s opačnými znaménky. Katoda je kladná a anoda záporná. Při pokovování je anoda rozpustná a většinou je z kovu, kterým má být výrobek pokoven. [6]

Pokovení drobných dílů se v dnešní době provádí v pokovovacích bubnech. Plášť bubny je perforován. Perforace jsou v různých tvarech a velikostech pro různé tvary a velikosti pokovovaných dílů. [2][3]



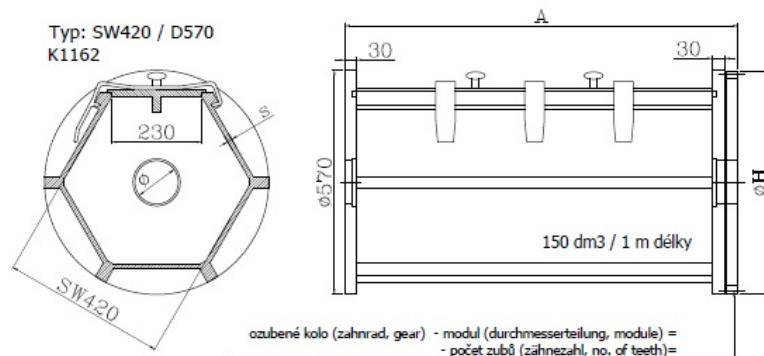
Obrázek 16 – kruhová perforace bubnů firmy J.V.Š., s.r.o. [2]



Obrázek 17 – podélná perforace bubnů firmy J.V.Š., s.r.o. [2]

Bubny se vyrábí z vysoce odolného polypropylenu (PP) nebo polyethylenu (PE 500, PE 1000). Uvnitř bubny se nachází pružná katoda opatřena silnou izolací a na konci

opatřena kontaktní hruškou. Katoda musí mít vysokou odolnost proti stříhu a její hruška proti otěru. Buben se ponoří do galvanické lázně, ve které se buben začne otáčet a pokovovat drobné části. [2][3]



Obrázek 18 – buben firmy J.V.Š., s.r.o.

Pokovovací buben je vhodný pro pokovování drobných dílů. Toto se dá aplikovat na KTL lakování drobných dílů. Hlavní překážkou při KTL v bubnu je vodivost elektrody při nanesení povrchové vrstvy. Pokud se nátěrová hmota nanese na katodu, začne vytvářet elektrický odpor, který brání v proražení elektrického napětí povlakem na elektrodu. Tento problém nenastane při pokovování, díky tomu, že je nanesený galvanický povlak neustále vodivý.

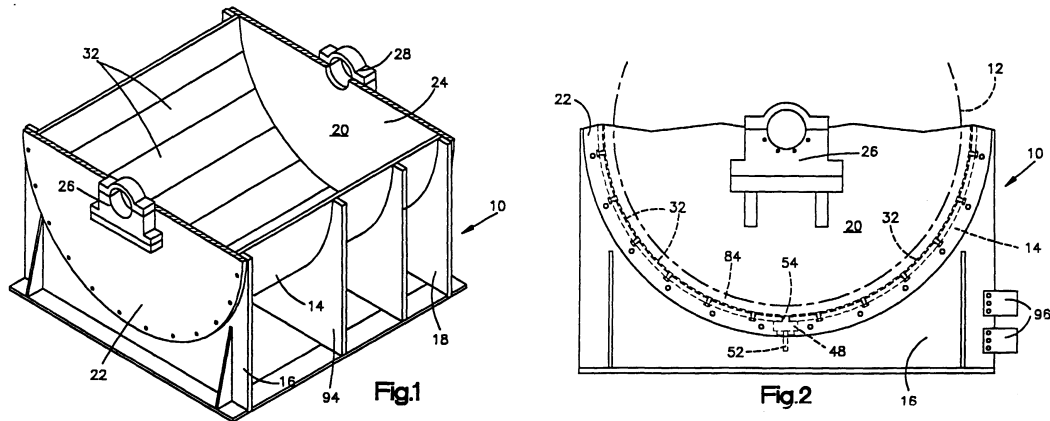
### 5.5.3. Elektrolytický článek

Žádosti o udělení Evropského patentu EP 0 504 939 A2 Electrolytic cell anode (Anoda elektrolytických článků) se zabývá několika druhy materiálů elektrod, které se dají aplikovat na elektrody zařízení pro kataforetické lakování drobných dílů.

Anody elektrolytických článků jsou aplikovány v technologiích, jako jsou pokovování, elektrochemického obrábění, elektro-finišování nebo získávání čistých materiálů z jejich rud redukcí, za průchodu elektrického proudu. Jedná se o aplikace, kde požadujeme tzv. rozměrově stabilní elektrodu. Rozměrově stabilní elektroda je taková, která se nespotebovává v průběhu jejího používání. [16]

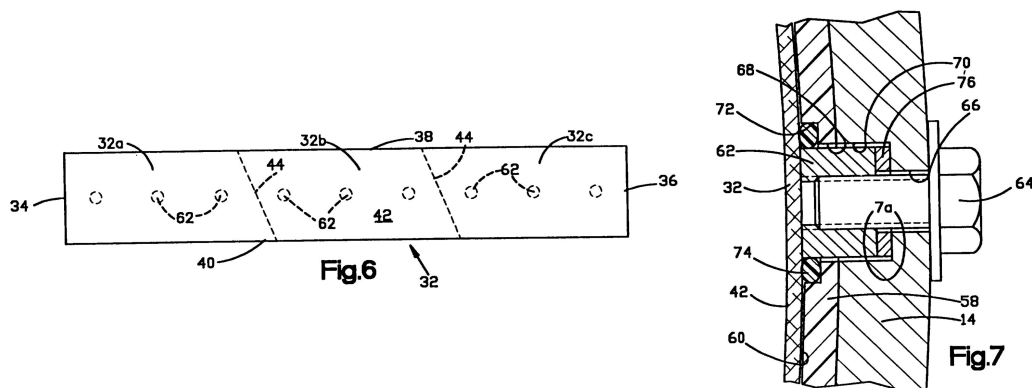
Anody tohoto typu se skládají ze základního materiálu anody a povrchového materiálu. Základní materiály anod jsou kovy jako titan, tantal, zirkonium, hliník, niob nebo wolfram. Preferovaným kovem je titan. Jsou vhodné díky jejich elektrické vodivosti, ale hlavně díky schopnosti odolávat nepříznivým podmínkám v elektrolytech, do kterých jsou ponořeny. Preferovaným kovem je potom titan. [16]

Kovy jako jsou hliník nebo titan, mohou na svém povrchu vytvářet oxidační vrstvu, která snižuje jejich elektrickou vodivost. Z toho důvodu je vhodné vytvořit na povrchu základního materiálu odolný elektricky vodivý povlak. K tomu se používají těžké přechodné kovy zejména platina, paládium, iridium, ruthenium, rhodium a osmium. [16]



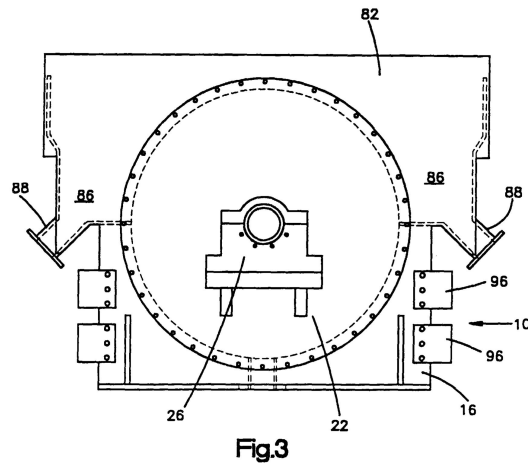
Obrázek 19 – zobrazení nádoby elektrolytického článku [16]

Elektrolytický článek je tvořen nádobou (10), která obsahuje válcovou katodu (12), naznačenou na obrázku čerchovanou čarou. Katoda (12) je rotační a je vyrobena z elektricky vodivého materiálu, nejčastěji z oceli nebo mědi. Částí nádoby (10) je trup (14), který je umístěn na podporách (16)(18). Trup (14) je uzavřen na obou koncích víky (22)(24). Víka jsou přišroubována pro snadnější vyjmutí katody, při větším úhlu článku, než je 180°. Anoda je tvořena anodovými pláty (32) z dříve zmíněných materiálů. Nemůže být z jednoho kusu materiálu jako je tomu u katody, díky vlastnostem základních materiálů anody. Materiály jako titan nebo paládium se špatně válcují. Zároveň by se při tepelném zpracování povrchového materiálu nedosáhlo správné tolerance válcovitosti, a tak by nevznikla rovnoměrná mezera mezi katodou a anodou. [16]



Obrázek 20 – anodový plát elektrolytického článku [16]

Anodové pláty (32) jsou vhodnějším řešením. Pláty jsou přišroubovány k anodovým plátům skrze nádobu pomocí šroubů (64). Nádobou (14) je veden elektrický proud přes šrouby (64) na anodu. Nádoba je ocelová nebo měděná a je elektricky vodivá. Mezi nádobou a anodou je gumový obklad (58), který je připečený na nádobu (14). Mezi anodovými pláty a rotační katodou je mezera (mezikruží), kterou proudí elektrolyt. Zařízení je přikryto krytem (82). [16]

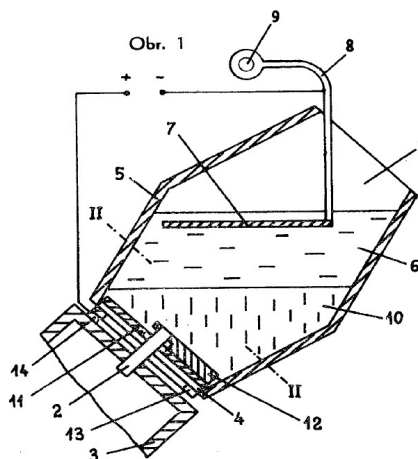


Obrázek 21 – elektrolytický článek s horním krytem [16]

Elektrolyt vstupuje do nádoby vstupem (52). Proudí mezerou mezi anodou a katodou směrem vzhůru, kde přetéká přes hranu do komor (86) a vytéká ven výtoky (88).

#### 5.5.4. Zařízení pro elektrické povlakování vodivých předmětů

Již v roce 1966 byl podán patent, který měl řešit problém týkající se zavěšování drobných dílů na závěs. Zařízení se skládá z otočné nádrže (1), vyrobené z izolantu. Nádrž samotná je tedy nevodivá. Nátěrová hmota (6) je umístěna v bubnu a do ní jsou nasypány díly (10). Elektroforetické lakování se provádí pomocí závěsné elektrody (7) a elektrody (11) na dně nádoby. Obě elektrody jsou ponořeny v lázni. Elektroda (11) má kruhový tvar a otáčí se společně s nádobou (1). Zároveň je v kontaktu s povlakovaným materiálem. Ve dnu nádoby je přes čep (2) umístěn stěrač (12). Stěrač je nehybný po dobu nanášení povlaku, a tak stírá povrch elektrody, která se otáčí a udržuje jí čistou. [13]



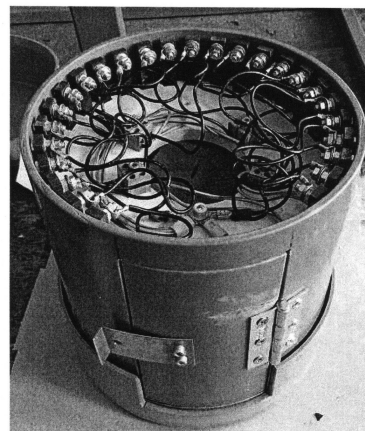
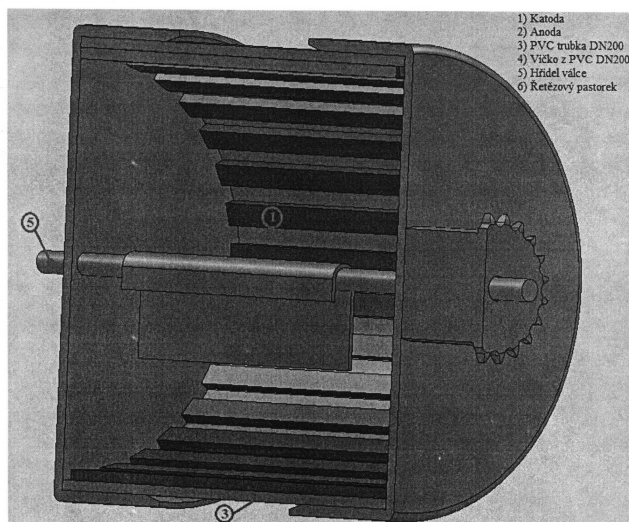
Obrázek 22 – zařízení pro elektrické povlakování [13]

Je zřejmé, že zařízení je zkonstruováno pro dávkovou výrobu. Má spoustu nedostatků např. regulace pH nebo konstantní vzdálenost elektrod. Uvedené nedostatky jsou spojeny s tím, že byl vývoj podobných zařízení teprve na počátku technologie elektroforetického lakování. Představuje však jeden z možných přístupů k řešení problému hromadného elektroforetického lakování drobných dílů, ze kterého se dá dále vycházet.

## 6. Zařízení pro kataforetické lakování drobných dílů

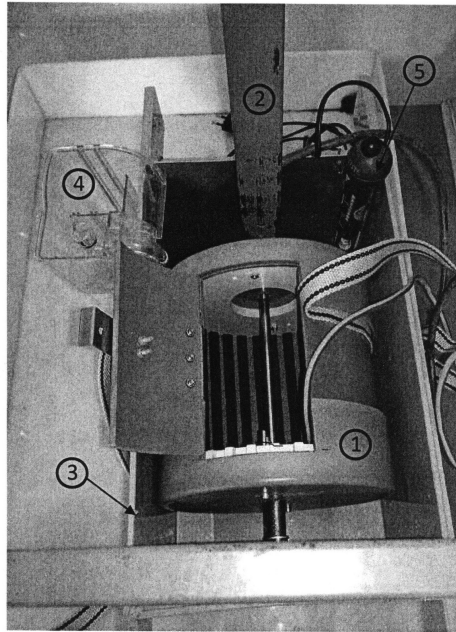
### 6.1. Zkušební zařízení pro KTL lakování drobných dílů

Na strojírní fakultě ČVUT bylo v minulosti sestrojeno zkušební zařízení pro KTL lakování drobných dílů. Jednalo se o povlakovací buben pro dávkové povlakování, jehož tělo se skládalo z válce vyrobeného z PVC trubky DN200. Trubka byla z obou stran uzavřena víčky ze stejného materiálu. Středem válce procházel hřídel, který byl uložen v elektroizolačním pouzdru na konzolách. Po obvodu zařízení bylo umístěno 26 grafitových katod (195x10x5 mm). Anoda byla vyrobena z korozivzdorného ocelového plechu. Plech byl na jednom konci ohnutý tak, aby mohl být zavěšen na centrální osu. Na jednom z konců hřídele, vystupujícího z válce, byl umístěn řetězový pastorek, přes který mohl buben rotovat. Rotace bubnu zajišťovala přesypávání zboží při povlakování. [14]



*Obrázek 23 – návrh a realizace zkušebního zařízení Jakuba Kafky [14]*

Zboží bylo vsypáno do bubnu víkem v boční části válce. Víko se zavřelo a válec byl ponořen do vany, kde se za průchod elektrického proudu elektrodami začal otáčet. Vana byla opatřena čerpadlem pro oběh KTL nátěrové hmoty. Další součástí byla topná spirála s termostatem pro udržení teploty lázně. Díly byli před povlakováním ultrazvukově odmaštěny a po procesu kataforetického lakování byli opláchnuty demineralizovanou vodou a vypáleny v indukční peci při 160-180°C). [14]



*Obrázek 24 – zkušební zařízení: 1 - trubka DN200 s grafitovými elektrodami, 2 - konzole, 3 - KTL vana, 4 – čerpadlo, 5 – topná spirála [14]*

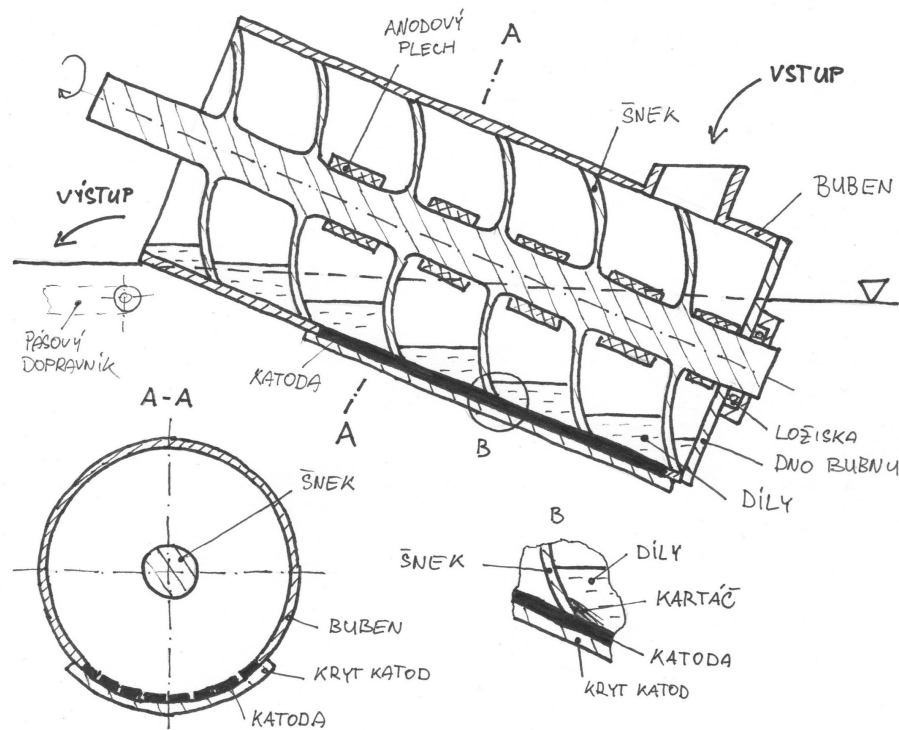
Zařízení pracovalo na principu dávkové výroby. KTL buben měl několik nedostatků, např. automatická regulace pH v lázni nebo čištění katod, což je odůvodněno tím, že bylo zařízení experimentální. Experimentem bylo zjištěno několik důležitých poznatků. Kritické napětí pro průraz KTL povlaku bylo 70V. Maximální vhodné napětí bylo 170V. Při napětích nad 120V byl klesající trend tloušťky nátěrové hmoty. Dál bylo z výsledků experimentu odvozeno doporučení pro rozdělení katod do bloků, které se zapínají, pokud jsou v kontaktu se zbožím. [14]

## **6.2. Prvotní návrh nového zařízení pro KTL lakování drobných dílů**

Návrh nového zařízení vychází z experimentů předchozího zkušebního zařízení pro KTL lakování drobných dílů, společně s rešeršní částí této práce.

Prvotní návrh byl inspirován Archimédovým šroubem, zařízením, které se používá k dopravě vody z níže položených míst do vyšších. Zařízení je jako Archimédův šroub nakloněno a pomocí rotačního šroubu se díly vytahují perforovaným bubnem a kontinuálně se povlakuje. Katody jsou umístěny ve spodní části bubnu a anodový plech je navinutý okolo centrální osy šroubu. Díly se do bubnu nasypou připraveným otvorem, do spodní části bubnu a vystupují na druhou stranu bubnu na dopravníkový pás. Konec šneku je opatřen kartáči, pro nepřetržité čištění katod při povlakování.



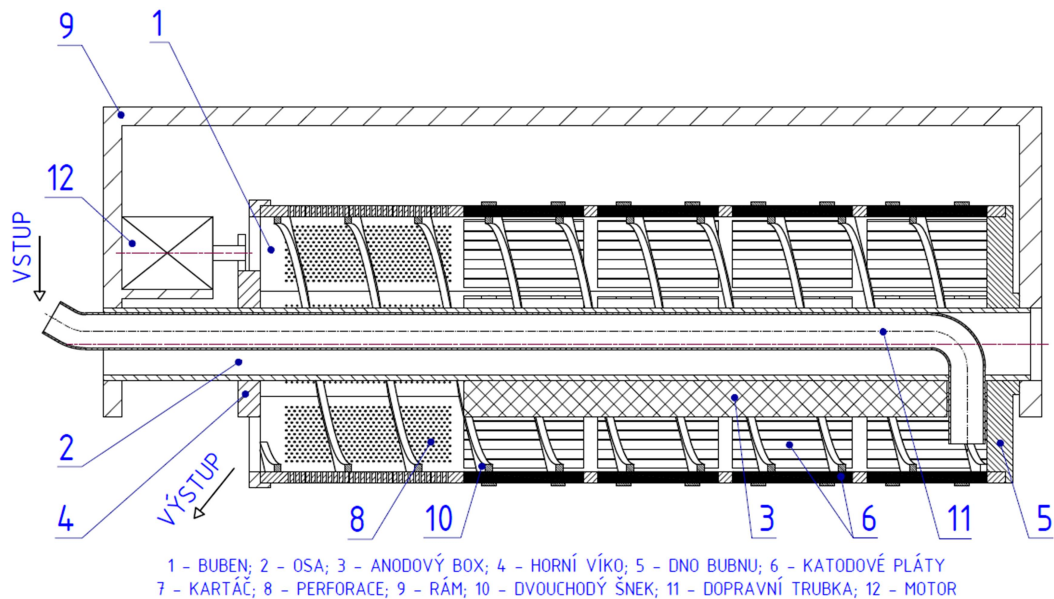


Obrázek 25 - prvotní návrh zařízení pro KTL drobných dílů

Prvotní návrh jevil určité technické nedostatky, a tak byla konstrukce upravena. Při hromadném kataforetickém lakování je nutné použít automatické regulace pH pomocí anolytového okruhu. Použití anolytového okruhu v tomto zařízení by bylo obtížné z hlediska tvaru anody, tzn. složitá konstrukce anodového boxu. Zároveň rotace šroubu by značně komplikovala použití anolytového okruhu, kde je na anodu vedeno potrubí. [8]

### 6.3. Návrh nového zařízení pro KTL lakování drobných dílů

Zařízení je koncipováno jako rotační buben (1), který se otáčí kolem stacionární osy (2). Stacionární osa (2) byla vybrána z toho důvodu jednoduchosti vedení potrubí anolytového obvodu do anodového boxu (3) osou, která je stacionární. Kdyby byla osa rotační, nastával by tak problém s tímto potrubím a zároveň i se zamotávajícími se dráty, které vedou elektrinu na anodu.



**Obrázek 26 – řez navrženým zařízením pro KTL lakování drobných dílů**

Osou (2) je trubka, ve které je umístěno potrubí anodového okruhu a přívod elektřiny na anodu. Zároveň je uvnitř osy umístěna dopravní trubka (11), která slouží k dopravování nových dílů do bubnu (1). Ústí této dopravní trubky (11) je mimo prostor bubnu pro snadné vkládání dílů pomocí pásového dopravníku. Druhý konec trubky je na dně bubnu, kde začíná proces povlakování. Díly jsou do bubnu dodávány gravitačně, jelikož je celý buben naklopen o 30°. To znamená, že se zboží nasype na dno bubnu a musí být vytaženo do horní části, kde se vysype na pásový dopravník. Posuv bubnem je zajištěn dvouchodým šnekem (10) na vnitřní stěně bubnu. Tak při otáčení dochází k posuvu dílů směrem k ústí bubnu. Stěny bubnu jsou tvořeny jednotlivými deskami tak, aby byl buben tvaru hranolu s osmiúhelníkovou základnou.

Celý buben (1) není ponořen v KTL lázni. Z toho vyplývá, že katody (6) nejsou v celé délce bubnu, ale jen v její funkční délce. Tato délka závisí na několika faktorech, a to na geometrii bubnu a na čase nanášení nátěrové hmoty. Pokud obvodem prochází elektrický proud, tak katoda i anoda musí být ponořeny v KTL lázni. Zároveň díky gravitaci probíhá povlakování jen v části bubnu (1), která je ponořena nejhluběji v lázni. Z těchto důvodů se musí ty katody (6), které nejsou ponořené, vypínat. I anodový box (3) má specifický tvar, který zaručuje to, aby byla anoda permanentně ponořena.

Ústí bubnu je tvořeno horním víkem (4) tvaru rovnostranného osmiúhelníku. Dno bubnu (5) má stejný tvar a je perforováno tak, aby do bubnu (1) mohla vtékat čerstvá nátěrová hmota. Ústí bubnu je opatřeno dvěma otvory. Výstupní otvory jsou umístěny v místech, kde končí závity šneků (10). Tak může být materiál dopraven mimo buben na pásový dopravník.

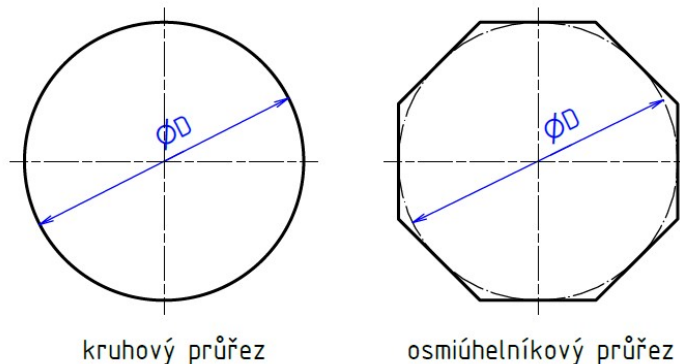
Buben je přes osu (2) uchycen na ocelové konstrukci (9). Konstrukce (9) je opatřena motorem (12), který otáčí bubnem pomocí ozubeného soukolí. Ozubené kolo je součástí

horního víka (4) povlakovacího bubnu (1). Druhé ozubené kolo soukolí je umístěno na ose motoru (12).

#### 6.4. Povlakovací buben

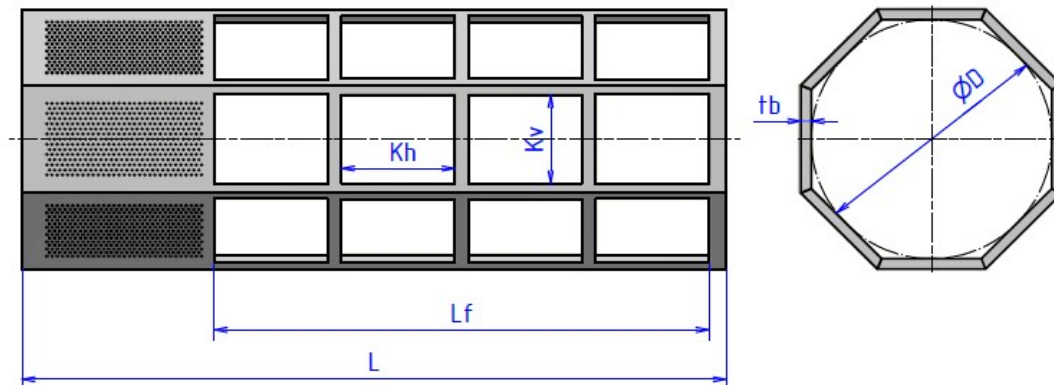
Hlavní částí navrhovaného zařízení pro KTL lakování drobných dílů je povlakovací buben (1). V bubnu probíhá hlavní část vlastního kataforézního lakování. Zařízení je kontinuální, a tak se buben nepřetržitě otáčí kolem stacionární osy (2).

Tvar bubnu je dobré brát v potaz. Pokud by byl buben pouze kruhového průřezu, nemuselo by docházet k převalování materiálu. Tím by nedocházelo ke změnám kontaktních bodů mezi jednotlivými díly a mezi díly s katodami. To by způsobilo, že by kontaktní body (hrany či plochy) mohly zůstat bez KTL povlaku. Z toho vyplývá, že použití polygonového průřezu bubnu je vhodnější z hlediska snížení zmetkovitosti výroby. Zároveň by se i zjednodušila výroba bubnu při jeho větších rozměrech. Další výhodou je aplikace katod do bubnu.



*Obrázek 27 - možné průřezy lakovacího bubnu*

Buben (1) je tvořen osmi totožnými deskami spojenými k sobě pomocí šroubů. Každá z desek je perforována (8), aby se při rotaci bubnu dostala nová nátěrová hmota dovnitř k dílům. Perforace (8) zároveň odlehčuje buben (1) a pomáhá při promíchávání kataforetické lázně, která nesmí sedimentovat na dně, díky různým hustotám jejích přísad. Jelikož se jedná o povlakování drobných dílů, nesmí být velikost děr perforace (8) příliš velká, aby díly otvory nemohly propadnout do vany. Tento rozměr závisí na samotné velikosti upravovaných dílů.



Obrázek 28 - znázornění lakovacího KTL bubnu

V povlakovacím bubnu (1) jsou vyříznuty otvory pro vložení katodových panelů (6), které budou dotvářet stěnu bubnu. Buben je vyroben z termoplastického materiálu jako je polyvinylchlorid (PVC), polyetylen (PE) nebo polypropylen (PP), které jsou odolné, lehké a dobře obrobitelné. Od materiálu bubnu, kde se po sobě převalují díly, se očekává určitá ořezuvzdornost.

### 6.5. Osa bubnu

Osa (2) nese váhu celého zařízení, proto musí být vyrobena z takového materiálu, který unese buben s jeho příslušenstvím a naloženými díly. Materiál osy musí mít dostatečnou pevnost v ohybu.

Centrální osa (2) je stacionární a buben se otáčí kolem ní. Buben (1) je na ose uložen přes kuličková ložiska pro snadnější otáčení. Kuličková ložiska jsou použita i v uložení osy a rámu (9). Součástí osy je dopravní trubka (11), která vede jejím vnitřkem. Dopravní trubka vstupuje do osy bubnu její horní částí rovnoběžně s ní a vychází z ní ve spodu lakovacího bubnu, kolmo na osu. Díly jsou do trubky (11) nasypán a gravitačně je dodáván do bubnu. Dopravní trubka musí být ořezuvzdorná tak, aby se nepoškodila díly, které po ní kloužou do prostoru bubnu. Osa bubnu musí mít dostatečný průměr na to, aby s do ní dopravní trubka vešla. Dopravní trubka musí zajišťovat dokonalý přísun nového materiálu, který se v ní nesmí zasekávat. Vnitřní průměr osy a vnější průměr dopravní trubky nejsou totožné. Dopravní trubka má 2/3 průměru osy z toho důvodu, že v ose musí zůstat místo, pro příslušenství anodového boxu (3). Příslušenstvím je myšleno potrubí vedoucí do anodového boxu, který je připevněn na ose uvnitř bubnu a vodiče, které přivádí elektrický proud na anodu.

Kromě anodového boxu, který je umístěn ve spodní části, je na ose instalován stírací kartáč (7). Katody je potřeba stírat od ulpělé nátěrové hmoty. Při otáčení bubnu tak dochází k neustálému čištění katod.

## 6.6. Elektrody

Aby kataforéza proběhla, musí být díl umístěn ve stejnosměrném elektrickém poli. To je zajištěno elektrodami a vlastní nátěrovou hmotou, která je v bubnu elektrolytem. Elektrody dělíme na katody a anody. V případě že se jedná o kataforetické lakování, vylučuje se KTL nátěrová hmota na katodě. U zastaralejší metody anaforetického lakování je tomu naopak. Je tedy zřejmé že, aby byl díl napovlakován, musí být elektricky vodivý a musí být v kontaktu s katodou. Pokud se katody dotýká, stává se sám katodou. V rotačním bubnu nedochází k neustálému kontaktu, ale k tzv. kontaktu náhodnému, kdy se po sobě díly převalují a tvoří nové kontaktní body. Nátěrová hmota se na materiál začne nanášet v tom okamžiku, kdy je v kontaktu s katodou. V okamžiku kdy se začne tloušťka povlaku zvyšovat, začne tak narůstat její elektrický odpor, který brání dalšímu prostupu proudu. Povlak kataforetického povrchu je dobře propustný zhruba do 15  $\mu\text{m}$ . [1][8]

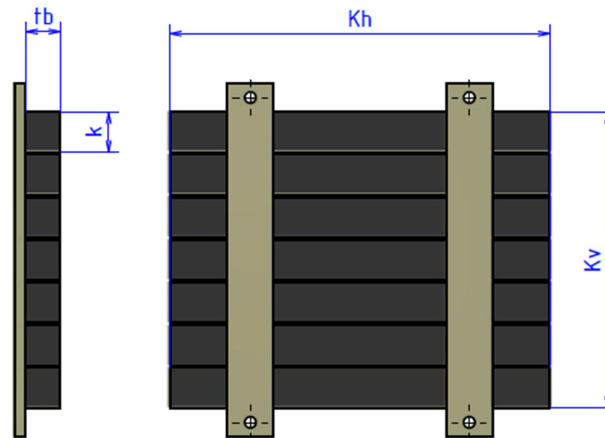
Při tomto způsobu nanášení nátěrových hmot nastává jeden velice významný problém. Tímto problémem je, že při přivedení proudu na elektrody, se nezačne povlak vylučovat jen na dílech, ale i na samotné katodě. Jak již bylo vysvětleno, povlak se chová jako elektrický odpor a katodu by elektricky izoloval. Tento problém se dá řešit hned několika možnostmi v lepším případě jejich kombinací. Jednou z těchto možností je mechanické odstranění vyloučené nátěrové hmoty na elektrodě pomocí stíracího kartáče (7). Stěrač je umístěn uvnitř bubnu a katody mechanicky čistí. Další možností je, že se elektrody čistí pohybem materiálu po jejich povrchu. Z toho důvodu musí být elektrody otěruvzdorné. Pro elektroforézu se používají nejčastěji uhlíkové katody, hlavně kvůli jejich vodivosti a nesmáčivosti povrchu. Uhlíkové katody samotné nejsou do tohoto zařízení vhodné z hlediska otěruvzdornosti, a tak je vhodné zvolit vhodnou povrchovou úpravu. Zároveň nesmáčivost uhlíkových elektrod nestačí k tomu, aby se na nich nátěrová hmota nevyloučila. [7][13][14]

Při KTL lakování v bubnu by se mohla upravit použitá nátěrová hmota tak, aby se nechovala jako elektrický odpor a vodila elektrinu, jako je tomu u galvanického pokovování. Vodivosti nátěrových hmot by se dalo dosáhnout přidáním elektricky vodivých složek. Výhodou by to, že by se na povrchu povlaku netvořili vady způsobené elektrickým průrazem a díly by se mohly povlakovat i skrze nanesenou nátěrovou hmotu. Zmizela by ale automatická regulace tloušťky povlaku, která je založena na tom, že se povlak chová jako elektrický odpor.

### 6.6.1. Katody

Katody (6) jsou v tomto zařízení řešeny v podobě plátů, kde se každý z plátů skládá z několika elektrod kvádrového tvaru a příčných pásů, ke kterým jsou katody přišroubovány. Pásky jsou tvořeny stejným materiálem jako buben. Plát je přišroubován k bubnu zvenku do připravených otvorů tak, aby se v případě poškození elektrod, dal snadno odmontovat z bubnu, bez nutnosti demontáže celého zařízení. Příčné pásky katodových plátů musí mít dostatečnou pevnost. Nesou hmotnost katod, ale i

povlakovaného materiálu. Dalším řešením by bylo zvýšením počtu pásů na jednotlivý katodový plát.

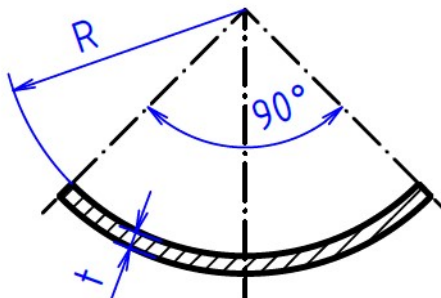


Obrázek 29 - jednoduché zobrazení katodového plátu

### 6.6.2. Anoda

Anoda je umístěna v anodovém boxu (3), který je součástí anolytového obvodu. Tento obvod automaticky reguluje hodnotu pH v lázni, která je velice důležitá pro vlastnosti lázně. Tato hodnota se pohybuje v rozmezí od 5,4 do 5,8. Jako materiál anody se často používá korozivzdorná ocel. Konstrukce anolytového obvodu včetně anodového boxu není předmětem řešení této práce. Dnešní technologie dokáže vyrobit anodový box v různých rozměrech a tvarech, proto je ve výkresu zobrazen pouze schématicky.[8]

Pokud obvodem prochází proud, musí být anoda i katody potopeny v lázni. Zároveň je vhodné, aby byla anoda od katod ve stejné vzdálenosti ve všech místech. Jelikož je buben osmiúhelníkového průřezu a otáčí se okolo anody, která je upevněná na stacionární ose, je vhodné vyrobit anodu kruhového průřezu z tvarovaného plechu. Buben (1) není v lázni kompletně ponořen, a tak má anoda specifický tvar, aby nevystupovala nad hladinu lázně. [8]



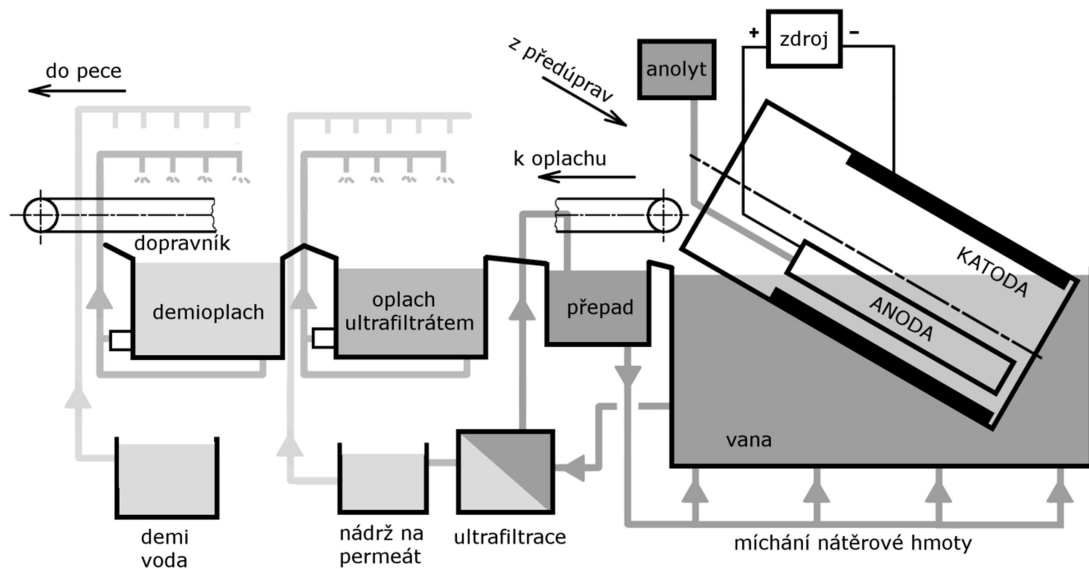
Obrázek 30 - tvar anodového plechu v řezu

U katod (6) nastává technické omezení, kdy se v jedné části otáčení bubnu (1) dostane celý plát nad hladinu lázně. Řešením tohoto problému je vypínání a spínání jednotlivých

sektorů plátů, v závislosti na tom, zda jsou kompletně ponořeny či nikoliv. Pro materiály anody se používá antikorozi ocel, odolná agresivnímu prostředí anodového boxu.

### 6.7. Schéma kataforetického uzlu

Obrázek 29 schematicky ukazuje povlakovací buben s okruhem pro míchání nátěrové hmoty, ultrafiltrace a oplachu. Na schématu je zobrazen dopravníkový pás, který slouží k dopravě povlakovaných výrobků do pece, kde se vytvrdí polymerizací nátěrové hmoty. Před vytvrzením v peci se výrobky na dopravníku opláchnou od ulpělé nátěrové hmoty. Pokud by došlo ke spojení povlakovaných dílů v bubnu, měl by pás zaručovat jejich separaci. Toho se dá docílit např. vibračním dopravníkem.

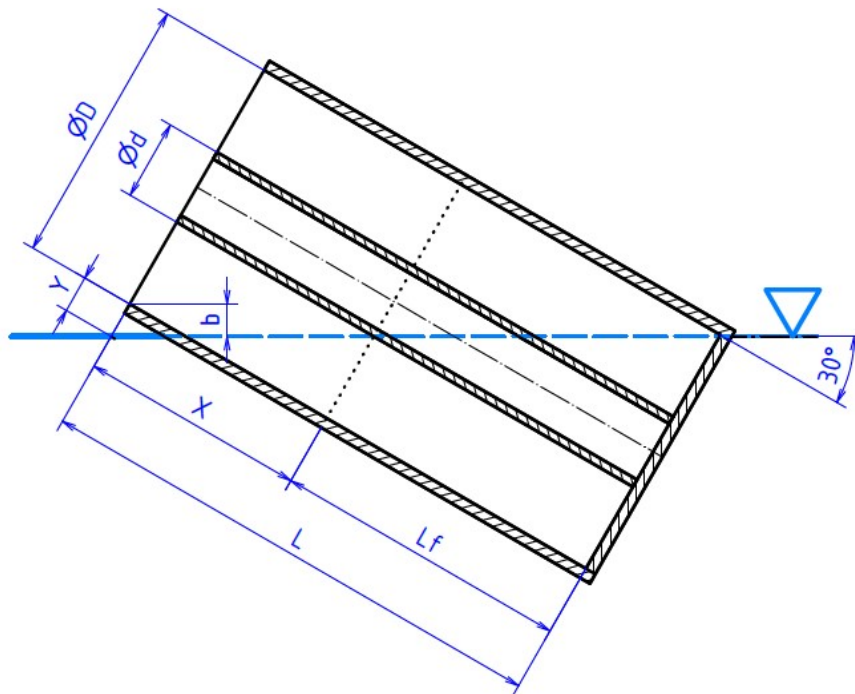


Obrázek 31 – schéma kataforetického uzlu s oplachem navrženého zařízení

### 6.8. Výpočet potřebných otáček bubnu v závislosti na jeho geometrii

Hlavním faktorem pro správné nanesení povlaku a jeho tloušťky je doba povlakování. U běžných kataforetických linek je doba povlakování přibližně 3 minuty. U kataforetického povlakování drobných dílů v bubnu je vhodné dobu povlakování prodloužit na 5 minut, z důvodu náhodných dotyků dílů a katod.

Aby byla doba povlakování dodržena, musí se nastavit správné otáčky bubnu v závislosti na jeho geometrii.



Obrázek 32 - schématické zobrazení základních rozměrů pro výpočet otáček

#### Výpočet pomocných rozměrů X a Y

$$Y = \frac{b}{\cos \alpha}; [mm] \quad (5)$$

$$X = \frac{Y + \frac{D}{2} - \frac{d}{2}}{\operatorname{tg} \alpha}; [mm] \quad (6)$$

Rozměr **b** je výška, do jaké bubnen vystupuje nad hladinu. **D** [mm] je průměr vepsané kružnice vnitřního osmiúhelníku. Průměr **d** [mm] je vnějším průměrem osy zařízení. **α** [°] je úhel naklonění bubnu vůči hladině (v tomto případě 30°).



**Výpočet funkční a obvodové délky**

$$L_F = L - X; [mm] \quad (7)$$

$$L_{obv} = \frac{L_F}{\sin \beta}; [mm] \quad (8)$$

Funkční délka  $L_F$  [mm] je délka bubnu, ve které se materiál povlakuje. Jsou zde umístěny katodové pláty.  $L_{obv}$  [mm] je délka spirály ve funkční délce. Jinak řečeno, jakou dráhu díl urazí po spirále ve funkční délce.  $\beta$  [°] je úhel stoupání šroubovice.

**Výpočet rychlosti otáčení bubnu**

$$v = \frac{L_{obv}}{1000 \cdot t}; [m/s] \quad (9)$$

$$v_0 = v \cdot \cos \beta; [m/s] \quad (10)$$

Rychlost  $v$  [m/s] je tečná na šroubovici a určuje, jak rychle po ní díl šplhá. Rychlost  $v_0$  [ $ms^{-1}$ ] je obvodová rychlost, jakou se buben otáčí. Čas povlakování  $t$  [s] je u tohoto zařízení 5 minut.

**Výpočet otáček bubnu**

$$n = \frac{60 \cdot \pi \cdot D \cdot v_0}{1000}; [ot/min] \quad (11)$$

$n$  [ $ot \cdot min^{-1}$ ] jsou maximální otáčky, které je možno použít, aby doba povlakování nebyla kratší než 5 minut.

## 7. Technologicko-ekonomické zhodnocení sledované technologie

Kataforetické lakování je vysoce kvalitní antikorozi povrchová úprava materiálů, která se používá zejména v automobilovém průmyslu k povlakování karoserií. Výhody této technologie jsou v protikorozi ochraně, při relativně tenké vrstvě povlaku (25 – 35  $\mu\text{m}$ ). Technologie kataforetického lakování je vhodná z ekologických důvodů, díky nízkému obsahu organických rozpouštědel obsažených v nátěrových hmotách a využitelnosti nátěrové hmoty. Výrobci kataforetických linek uvádí využitelnost 99,9%. Vlastnosti nátěrových hmot umožňují vytvoření rovnoměrné tloušťky povlaku, který se chová jako elektrický odpor. Při určité tloušťce se vylučování nátěrové hmoty zastaví, a tak se vytvoří jednotná tloušťka nátěrové hmoty po celém povrchu. Tloušťka se dá regulovat stejnosměrným elektrickým napětím, které prochází kataforetickým obvodem. [1][8]

Povlakování drobných dílů má, na rozdíl od velkých výrobků, významný podíl na celkové ceně zboží. Proto je vhodné zvolit povlakování hromadným způsobem. Jelikož není technologie hromadné kataforezy v bubnu rozšířena v praxi, je srovnání cen závěsového a hromadného povlakování v bubnu velice těžké porovnat. Buben pro hromadné povlakování se využívá v jiných způsobech povrchových úprav, a tak se může očekávat, že výsledky KTL bubnu budou podobné. Jde hlavně o povrchové úpravy galvanického pokovování, kde se výhradně používá buben pro povlakování drobných dílů.

*Tabulka 2 – srovnání cen některých povrchových úprav [8][26]*

<b>Povrchová úprava</b>	<b>[Kč·dm<sup>-2</sup>] (závěsové)</b>	<b>[Kč·kg<sup>-1</sup>] (hromadné)</b>
Galvanické zinkování	0,85	7,50
Galvanické mědění	2,10	70,00
Práškové lakování	1,10	-
Kataforetické lakování	0,77	-
Kataforetické lakování + pozinkování	0,86	-

Cena závěsového povlakování se běžně uvádí v Kč·dm<sup>-2</sup>, ale hromadné povlakování v bubnu je uváděno v Kč·kg<sup>-1</sup>. Povlakování drobných dílů za použití závěsu je časově náročné, proto bývá navýšen počet osob, které výrobky navěšují. Navýšení pracovní síly se negativně promítne do ceny povlakování, kdežto při použití bubnu můžou být tyto náklady zcela eliminovány. Většina hromadných povlakovacích zařízení dávková. Lze předpokládat, že kontinuální hromadné zařízení bude mít vliv na snížení ceny povlakování.

## **Závěr**

Bakalářská práce shrnuje základní poznatky technologie elektroforetického povlakování. Technologie je dobře optimalizována a automatizována pro středně velké a velké výrobky, jako jsou karoserie automobilů. Práce uvádí výhody použití kataforetického lakování, které se dají aplikovat nejen na karoserie, ale i na drobné díly. Pro správné nanesení kataforetického povlaku je potřebná důkladná předúprava povrchu. Konečná kontrola povlaků je důležitou součástí procesu, a to z důvodu zajištění požadovaných vlastností povlaku.

Stávající způsob navěšování je nevhodný a neekonomický pro drobné díly. Tato práce zaměřena na návrh zařízení pro kataforetické povlakování drobných dílů. Pro hromadnou výrobu bylo navrženo kontinuální zařízení, jehož hlavní částí je otočný bubn. Při otáčení bubnu jsou výrobky posouvány zařízením, pomocí posuvového šroubu, a tak dochází k povlakování drobných dílů. Kontinuální zařízení bylo zvoleno na základě předchozích experimentů zařízení dávkového typu.

Hromadné povlakování v bubnu přináší několik technologických omezení. Práce tyto omezení popisuje, vysvětluje jejich důvod a navrhuje alternativní řešení. Zařízení je teoreticky navrženo. Z toho důvodu musí být provedeny testy, při kterých se zjistí vhodné materiály jednotlivých částí kataforetického zařízení pro povlakování drobných dílů. Zmíněné experimenty budou zahrnovat sestavení zkušebního zařízení pro případnou technickou úpravu zařízení navrženého, úpravu nátěrových hmot pro KTL lakování, testování různých druhů materiálů elektrod apod.

Kataforetického lakování by pomocí tohoto zařízení mohlo nahradit některé doposud používané metody povrchových úprav, které jsou vhodnější technologií pro povlakování drobných dílů. Zároveň by použití kataforetického lakování drobných dílů vedlo ke snížení znečištění životního prostředí.

## Použitá literatura

- [1] HOLOUBEK, Vít. *Kataforetické lakování* [online]. [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: <http://www.povrchoveupravy.cz/2005-04-clanek01.html>
- [2] J.V.Š., s.r.o. [online]. [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: <http://www.jvs-sro.cz/cs/28-pokovovaci-bubny/>
- [3] J.V.Š., s.r.o. [online]. [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: <http://www.jvs-sro.cz/cs/118-pruzne-katody-bubnu/>
- [4] *Lakum KTL* [online]. [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <http://lakum.cz/cz/sluzby/humpolec/kataforeza-ctl-cyklicka/>
- [5] *Lakum KTL* [online]. [cit. 2017-03-27]. Dostupné z: <http://lakum.cz/cz/sluzby/frydlant-nad-ostravici/kataforeza>
- [6] KREIBICH, Viktor. *Teorie a technologie povrchových úprav*. Praha: České vysoké učení technické, 1996. ISBN 80-01-01472-x.
- [7] O.M.I.G. S.R.L. A cathaphoretic and electrolytic electrodeposition system for small metal parts. Itálie. EP 2 692 906 A1. Přihlášeno 30.07.2013.
- [8] Firemní podklady firmy MEGA a.s.
- [9] KREIBICH, Viktor a Karel HOCH. *Koroze a technologie povrchových úprav*. 2. vyd. Praha, 1991.
- [10] *Tundra Headquarters* [online]. 2015 [cit. 2017-07-06]. Dostupné z: <http://www.tundraheadquarters.com/blog/metokote-e-coating-toyota-tundra/>
- [11] Proces lakovania a výroby automobilov. *Lestenieaut.sk* [online]. 2013 [cit. 2017-07-06]. Dostupné z: <http://www.lestnieaut.sk/proces.html>
- [12] Technical Data - Grooved Pins. *Groov-Pin Corp.* [online]. [cit. 2017-07-06]. Dostupné z: <http://www.groov-pin.com/kbase/Technical-Information/Technical-Data-Grooved-Pins.html>
- [13] ZAJÍČEK, Karel, Karel VESELÝ a Jiří CIHELKA. *Zařízení pro elektroforetické povlákání vodivých předmětů*. 1968. Československá socialistická republika. 127319. Uděleno 15.10.1967. Zapsáno 15.4.1968.
- [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] POKORNÝ, Petr. Klasifikace fosfátových povlaků. *Tribotechnika* [online]. 2017, (3) [cit. 2017-07-24]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-62012/klasifikace-fosfatovych-povlaku.html>
- [16] POHTO, Gerald R., Zane A. WADE, H. Kirk FOWLER a Andrew J. NIKSA. *Electrolytic cell anode*. US. EP 0504939 B1. Uděleno 28.9.1996.

- [17] BENEŠOVÁ, Jaroslava a Markéta PARÁKOVÁ. Aktuální normy pro zkoušení nátěrových hmot a nátěrů. *Povrcháři* [online]. 2013, (1), 4 - 6 [cit. 2017-08-13]. Dostupné z: [http://www.povrchari.cz/kestazeni/201301\\_povrchari.pdf](http://www.povrchari.cz/kestazeni/201301_povrchari.pdf)
- [18] ČSN EN ISO 2409: Nátěrové hmoty - Mřížková zkouška. *SVÚOM s.r.o.* [online]. [cit. 2017-08-13]. Dostupné z: <http://www.svuom.cz/index.php?zobraz=anotace1&lang=cz&idnum=13>
- [19] ZOUBEK, Michal. Destruktivní měření tloušťky vícevrstevných nátěrových systémů. *Povrcháři* [online]. 2017, (1), 10-12 [cit. 2017-08-13]. Dostupné z: [http://www.povrchari.cz/kestazeni/201701\\_povrchari.pdf](http://www.povrchari.cz/kestazeni/201701_povrchari.pdf)
- [20] ČSN EN ISO 2178: Nemagnetické povlaky na magnetických podkladech. Měření tloušťky povlaku - Magnetická metoda. *SVÚOM s.r.o.* [online]. [cit. 2017-08-13]. Dostupné z: <http://www.svuom.cz/index.php?zobraz=anotace1&lang=cz&idnum=5>
- [21] ČSN EN ISO 9227: Korozní zkoušky v umělých atmosférách. Zkoušky solnou mlhou. *SVÚOM s.r.o.* [online]. [cit. 2017-08-13]. Dostupné z: <http://www.svuom.cz/index.php?zobraz=anotace1&lang=cz&idnum=29>
- [22] FICKOVÁ, Zuzana a Jan KUDLÁČEK. Technologie v kosmickém výzkumu – část II. *Povrcháři* [online]. 2014, (1), 4-9 [cit. 2017-08-16]. Dostupné z: [http://www.povrchari.cz/kestazeni/201401\\_povrchari.pdf](http://www.povrchari.cz/kestazeni/201401_povrchari.pdf)
- [23] SVOBODA, Jakub, Jan KUDLÁČEK a Viktor KREIBICH. Způsoby chemické předúpravy povrchů a povlaků žárového zinku pro přilnavost nátěrových systémů. *Povrcháři* [online]. 2016, (6) [cit. 2017-08-16]. Dostupné z: [http://www.povrchari.cz/kestazeni/201606\\_povrchari.pdf](http://www.povrchari.cz/kestazeni/201606_povrchari.pdf)
- [24] Ecopaint RoDip: Rotational dip coating. *Durr-paint* [online]. [cit. 2017-08-17]. Dostupné z: <http://www.durr-paint.com/paint-systems-products/automotive-painting/ptec/ecopaint-rodip/>
- [25] STREITBERGER, H.; DÖSSEL, K. *Automotive Paints and Coatings*, 2 edit. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2008.
- [26] Galvanické zinkování - Massag CZ. *Massag* [online]. [cit. 2017-08-18]. Dostupné z: <http://www.massag.com/cz/produkty/povrchove-upravy/galvanicke-zinkovani/>
- [27] Tužka. In: *Wikipedia* [online]. [cit. 2017-08-21]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Tu%C5%BEka>
- [28] ČSN EN ISO 6270-1: Nátěrové hmoty - Stanovení odolnosti proti vlhkosti - Část 1: Kontinuální kondenzace. *SVÚOM s.r.o.* [online]. [cit. 2017-08-20]. Dostupné z: <http://www.svuom.cz/index.php?zobraz=anotace1&lang=cz&idnum=28>

[29] Nízkonapěťový porozimetr. *Proinex Instruments* [online]. 2017 [cit. 2017-08-21].  
Dostupné z: <http://www.proinex.cz/cs/59-nizkonapetovy-porozimetr.html>

[30] BENEŠOVÁ, Jaroslava a Markéta PARÁKOVÁ. Zkušební metody pro hodnocení  
přilnavosti organických povlaků. *Tribotechnika* [online]. 2013, (5) [cit. 2017-08-22].  
Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-52013/zkusebni-metody-pro-hodnoceni-prilnavosti-organickych-povlaku.html>

[31] SADÍLKOVÁ, Jana. *Základní kontrolní technika při aplikaci mokřých nátěrových  
hmot* [online]. [cit. 2017-08-22]. Dostupné z:  
[http://www.proinex.cz/cs/blog/14\\_zakladni-kontrolni-technicka-povrchovych-uprav.html](http://www.proinex.cz/cs/blog/14_zakladni-kontrolni-technicka-povrchovych-uprav.html)

## Seznam obrázků

Obrázek 1- Schéma přípravy kationtu pryskyřice neutralizací aminu organickou kyselinou [8] .....	6
Obrázek 2 – obecně používané odstíny KTL barev [8].....	6
Obrázek 3 - Princip kataforézního vylučování organických nátěrových hmot [8] .....	7
Obrázek 4 - samotný kataforetický uzel KTL linky [1] .....	10
Obrázek 5 - postup povlakování přední kapoty automobilu [11] .....	11
Obrázek 6 - Vlevo: SEM snímek amorfního železnatého fosfátu, Vpravo: SEM snímek krystaly hopeitu zinečnatého fosfátu [23] .....	13
Obrázek 7 – mřížková zkouška podle ČSN EN ISO 2409 [18].....	15
Obrázek 8 - Ukázka vzhledu plochy mřížky po provedení řezů nátěrem [30] .....	15
Obrázek 9 - Ukázka zkoušky X řezem na výrobku a zkušební vzorku [30] .....	15
Obrázek 10 - Přímé měření tl. povlaku (vlevo), nepřímé stanovení tl. metodou klínového řezu (vpravo) [19] .....	17
Obrázek 11 – konvenční kataforetické lakování karoserií automobilů [24].....	18
Obrázek 12 – linka Ecopaint RoDip pro karoserie automobilů [24].....	18
Obrázek 13 – příklad drobných dílu v podobě čepů [12] .....	19
Obrázek 14 - zařízení pro KTL firmy O.M.I.G. S.r.l. [7].....	21
Obrázek 15 - provedení katod zařízení firmy O.M.I.G. S.r.l. [7] .....	21
Obrázek 16 – kruhová perforace bubnů firmy J.V.Š., s.r.o. [2].....	22
Obrázek 17 – podélná perforace bubnů firmy J.V.Š., s.r.o. [2] .....	22
Obrázek 18 – buben firmy J.V.Š., s.r.o.....	23
Obrázek 19 – zobrazení nádoby elektrolytického článku [16] .....	24
Obrázek 20 – anodový plát elektrolytického článku [16].....	24
Obrázek 21 – elektrolytický článek s horním krytem [16] .....	25
Obrázek 22 – zařízení pro elektrické polvakování [13] .....	25
Obrázek 23 – návrh a realizace zkušebního zařízení Jakuba Kafky [14].....	27
Obrázek 24 – zkušební zařízení: 1 - trubka DN200 s grafitovými elektrodami, 2 - konzole, 3 - KTL vana, 4 – čerpadlo, 5 – topná spirála [14] .....	28
Obrázek 25 - prvotní návrh zařízení pro KTL drobných dílů.....	29
Obrázek 26 – řez navrženým zařízením pro KTL lakování drobných dílů .....	30
Obrázek 27 - možné průřezy lakovacího bubnu .....	31
Obrázek 28 - znázornění lakovacího KTL bubnu .....	32
Obrázek 29 - jednoduché zobrazení katodového plátu.....	34
Obrázek 30 - tvar anodového plechu v řezu .....	34
Obrázek 31 – schéma kataforetického uzlu s oplachem navrženého zařízení .....	35
Obrázek 32 - schématické zobrazení základních rozměrů pro výpočet otáček .....	36

## Seznam tabulek

Tabulka 1 – tabulka stupňů tvrdost tužek KOH-I-NOOR [27].....	14
Tabulka 2 – srovnání cen některých povrchových úprav [8][26] .....	38

**Seznam rovnic**

Chemické reakce elektrické depozice na anodě ( 1) .....	6
Chemické reakce elektrické depozice na katodě ( 2) .....	6
Chemické procesy na anodě při elektrolýze vody ( 3) .....	7
Chemické procesy na katodě při elektrolýze vody ( 4) .....	7
Výpočet pomocného rozměru Y ( 5) .....	36
Výpočet pomocného rozměru X ( 6) .....	36
Výpočet funkční délky ( 7) .....	37
Výpočet obvodové délky ( 8) .....	37
Výpočet rychlosti ( 9) .....	37
Výpočet obvodové rychlosti ( 10) .....	37
Výpočet otáček bubnu ( 11) .....	37

**Seznam příloh**

Příloha č. 1 – Návrh zařízení pro KTL lakování drobných dílů