



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## PRÁŠKOVÉ LAKOVÁNÍ

POWDER COATING

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lukáš Strouhal

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

BRNO 2018

# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Lukáš Strouhal**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Ladislav Žák, Ph.D.**  
Akademický rok: 2017/18

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:

## **Práškové lakování**

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

Úkolem zadání je zpracovat nové poznatky technologie práškového lakování.

### **Cíle bakalářské práce:**

Literární studie dané problematiky

### **Seznam doporučené literatury:**

MOHYLA, Miroslav. Technologie povrchových úprav kovů. 2. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2000. ISBN 80-707-8953-0.

SEDLÁČEK, Vladimír. Povrchy a povlaky kovů. Praha: ČVUT, 1992. ISBN 80-01-00799-5.

GROYSMAN, Alec. Corrosion for everybody. New York: Springer, c2010. ISBN 978-90-481-3476-2.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

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

## **ABSTRAKT**

STROUHAL Lukáš: Práškové lakování.

---

Cílem bakalářské práce je literární studie a celkový popis metody práškového lakování a technologií při ní používaných. Práce se věnuje předúpravě povrchu, práškovým barvám a zařízením, které se při lakování využívají. Na konci práce je souhrn nejčastějších vad při lakování a ukázka technologického postupu nanášení používaného na práškovací lince.

Klíčová slova: práškové lakování, prášková barva, metody nanášení, lakovací kabiny, vady povlaků

## **ABSTRACT**

STROUHAL Lukas: Powder coating.

---

The goal of this bachelor's thesis is literary study and total description of powder coating and technologies used in this method. This thesis deals with pre-treatment of the surface, powder paints and devices used in this type of painting. At the end of the thesis is the summary of the most common defects in painting and demonstration of the technological procedure of coating used on powdering line.

Keywords: powder coating, powder paint, application methods, painting booths, coating defects

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

STROUHAL, Lukáš. *Práškové lakování*. Brno, 2018. 28s, CD. 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 Brně dne 21.5.2018

.....

Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Své díky bych rád věnoval panu Ing. Liborovi Vaňkovi za možnost využití práškové linky, ve firmě SMR plus k závěrečné ukázce technologického postupu. Dále bych rád poděkoval firmě Ideal Trade Service za poskytnutí odborných informací ohledně práškového lakování a panu Ing. Ladislavovi Žákovi, Ph.D. za připomínky a rady týkající se teoretické části bakalářské práce. Na závěr bych rád poděkoval rodičům a celé své rodině za veškerou podporu v průběhu studia.

# OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

<b>ÚVOD</b> .....	9
<b>1 PŘEDÚPRAVA POVRCHU</b> .....	10
1.1 Mechanická úprava povrchu.....	10
1.2 Chemické úpravy povrchu.....	11
1.2.1 Oplach.....	12
<b>2 PRÁŠKOVÉ LAKY</b> .....	13
2.1 Složení a druhy práškových barev.....	13
2.2 Výroba práškových barev.....	14
2.3 Recyklace prášku.....	14
<b>3 METODY NANÁŠENÍ PRÁŠKOVÝCH LAKŮ</b> .....	16
3.1 Elektrostatické nabíjení (korona).....	16
3.2 Elektrokinetické nabíjení (tribo).....	16
3.3 Fluidní nanášení.....	17
3.4 Aplikační zařízení práškových laků.....	18
<b>4 ZAŘÍZENÍ PRÁŠKOVÝCH LINEK</b> .....	19
4.1 Pece.....	19
4.2 Lakovací kabiny.....	20
4.3 Dopravníky, závěšová a krycí technika.....	21
<b>5 VADY POVLAKŮ A JEJICH OPRAVOVÁNÍ</b> .....	22
5.1 Vady a defekty na vytvrzeném laku.....	22
5.2 Vady při aplikaci nátěrových hmot.....	23
<b>6 TECHNOLOGICKÝ POSTUP</b> .....	24
6.1 Zavěšování výrobků.....	25
6.2 Předúprava povrchu.....	25
6.3 Nanesení práškového laku.....	26
6.4 Vypalování v peci.....	27
6.5 Svěšování a kontrola.....	27
<b>7 ZÁVĚRY</b> .....	28

Seznam použitých zdrojů

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh



## ÚVOD [1], [2], [3], [4]

Povrchové úpravy jsou dnes nedílnou součástí většiny vyráběných předmětů. Důraz je kladen na kvalitu a vzhled povrchové úpravy na výrobku. Vzhled povrchu přímo ovlivňuje náš dojem, zda se nám výrobek líbí či nelíbí.

Práškové lakování je moderní a jedna z nejrychleji rostoucích technologií v dokončovací průmyslu. Řadí se mezi jednovrstvé nátěrové systémy a nabízí ekologicky šetrnou alternativu k „mokrému“ lakování. Vrstva naneseného laku o tloušťce několik desítek mikrometrů dokáže ochránit výrobek před korozí, povětrnostními vlivy a umí dodat výrobku požadovaný vzhled.

Celý proces práškového lakování je plně automatizován a dochází k němu na práškovacích linkách, kde každá část má svou danou funkci. Práškové barvy se nanášejí pistolí a pomocí statické elektřiny se přichytí na povrch, poté se v peci při cca 180°C nataví a dojde k napečení na povrch výrobku. Není potřeba žádného zdlouhavého schnutí, po vychladnutí je povrchová úprava hotová.

Práškové barvy jsou jemně mleté vyráběné z pryskyřice a pigmentů a vytvářejí vysoce odolný povrch, který je tvrdší než běžné barvy. Jsou mnohem šetrnější k životnímu prostředí, jelikož se ničím neředí a neprodukují emise z těkavých organických látek. Disponují širokou škálou barev a možností vytvářet na povrchu imitace dřeva nebo kovů, zvrásnění, mat či velmi lesklý efekt, oproti „mokrému“ lakování, kdy lze dosáhnout pouze hladkého povrchu.



Obr. 1 Práškové lakování

## 1 PŘEDÚPRAVA POVRCHU [1], [5], [6], [7], [8], [9]

Předúprava povrchu je první nevyhnutelnou a velmi důležitou etapou před nanesením práškového laku. Účelem je vyčistit a připravit povrch součásti tak, aby následná povrchová úprava dosáhla požadované vlastnosti a mohla plnit svou funkci. Procesy předúpravy lze kombinovat, vše záleží na požadovaných výsledných vlastnostech povrchu.

Úprava povrchu je obvykle dvoustupňová a lze ji rozdělit na dvě základní skupiny:

- mechanická úprava povrchu,
- chemická úprava povrchu.

### 1.1 Mechanická úprava povrchu [1], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11]

Záměrem mechanických úprav je odstranění nečistot, převážně okují, mastnot a rzi, po předchozích technologických operacích. Mezi mechanické úpravy řadíme otryskávání, omílání, broušení, kartáčování a leštění.

Otryskávání – způsob, při kterém se tryskací prostředek vrhá velikou rychlostí na povrch součásti (obr. 2). Dopad tryskacího materiálu je doprovázen plastickou deformací, kterou dochází ke zvýšení napětí, zpevnění materiálu a topografickým změnám. Intenzita čistoty povrchu je dána tvarem zrn, druhem tryskaného materiálu, kinetickou energií, úhlem dopadu a vzdáleností tryskače od povrchu součásti.

Mezi často používané materiály se řadí křemičitý písek nebo sklenářský písek. Jako další se využívá litinová drť, brusiva jako je karbid křemíku a umělý korund, a sekaný drát, který se nejvíce uplatňuje pro tryskače s metacími koly. Rovněž se hojně využívají skleněné kuličky neboli balotina, vyráběné granulací skla.

Omílání – povrchová úprava spočívající ve vzájemném odírání součástí, omílajících těles, brusiva a kapaliny v otáčejícím bubnu (obr. 3). Slouží k vyhlazení, odjehlení povrchů, sražení hran a zpevnění povrchu. Metoda se zásadně uplatňuje pro hromadnou úpravu menších dílů o velkých sériích. Omílání je ovlivněno průměrem bubnu a jeho otáčkami, dobou omílání, tvarem a velikostí součástí, také druhem a velikostí omílacích těles nebo množstvím omílací kapaliny.

Omílacími prostředky mohou být jak přírodní, tak i umělé kameny. Uplatnění najde křemen, žula, čedič, vápenec, umělý korund nebo kovová či plastová tělesa, organické hmoty, kožené odpady a textil. Pro vysušení výrobků se zpravidla používají dřevěné piliny. Při mokřém omílání se využívá kapalina, která tlumí nárazy na předměty a omílací tělesa a může také zvětšovat úběr materiálu nebo chránit povrch součásti před korozí během procesu.



Obr. 2 Ruční tryskání [10]



Obr. 3 Omílací buben s plastovými tělisky [11]

## 1.2 Chemické úpravy povrchu [1], [5], [7], [8], [11], [12], [13], [14]

Chemické úpravy povrchu se nejčastěji používají za účelem odstranění mastnot a starých laků z povrchu, před následujícími povrchovými úpravami. Mezi chemické úpravy řadíme odmašťování, moření, odrezování a leštění. Nečistoty zachycené na povrchu součásti, lze rozdělit do dvou skupin a to ulpělé a vlastní nečistoty.

Ulpělé nečistoty jsou k povrchu součásti připojeny pouze adhezními silami. Patří sem nejen všechny zbytky emulzí, jako jsou lešticí a brusné pasty, řezné oleje či chladicí obráběcí kapaliny, ale i kovový prach a kovové třísky z mechanického opracování a prach z ovzduší. Všeobecně ulpělé nečistoty odstraňujeme odmašťováním.

Vlastní nečistoty jsou spojeny s povrchem součásti určitou chemickou vazbou. Mluvíme o tzv. korozních zplodinách, patří sem okuje a rez. Odstraňují se chemickým mořením.

Odmašťování – nedokonalé odmaštění povrchu má za následek špatnou přilnavost povlaku, jeho menší odolnost proti korozi a náchylnost k estetickým závadám. Odmašťováním se odstraňují všechny ulpělé nečistoty, jež jsou k povrchu vázány fyzikální absorpcí a adhezními silami. Záměrem odmaštění je odpoutání nečistot z povrchu součásti, uvolnění těchto složek do roztoku a zamezení zpětnému vyloučení na povrch součásti. Proces lze v zásadě rozdělit do tří skupin.

Odmašťování v alkalických roztocích je nejběžnějším způsobem čištění kovového povrchu. Provádí se ponorem nebo postřikem (obr. 4). Metoda ponoru se zpravidla provádí při teplotě 60–90 °C a době trvání 5–10 minut. Během procesu je nezbytné odstraňovat nečistoty, které se vyloučí na hladinu lázně. Postřiková metoda využívá mechanického účinku působení kapaliny na povrch, uplatňuje se zejména při odmaštění větších a silně zamaštěných výrobků.

Jako odmašťovací prostředky jsou používány Ronolod (radikální prostředek pro ponor i postřik) a Synalod 40 (univerzální prostředek pro ponor i postřik).



Obr. 4 Alkalické odmašťování ruční metodou [6]

Odmašťování v organických rozpouštědlech je nejjednodušším a rychlým způsobem odmaštění, rozpustí se při něm mastné látky a zároveň se uvolní i ostatní nečistoty jako kovové třísky a prach. Rozpouštědla nelze používat na vlhké povrchy, nelze jimi odstraňovat heteropolární nečistoty (anorganické soli, otisky prstů a pot), další nevýhodou je obtížná likvidace použitých rozpouštědel.

Mezi organická rozpouštědla patří petrolej, benzen, benzín, toluen a jiné.

Odmašťování vodnými tenzidovými prostředky patří mezi nejmladší metody odmašťování. Jejich velkou předností je velmi dobrá likvidace oplachových odpadních vod včetně odmašťovacích lázní. Tenzidy lze aplikovat jak ručně, ponorem, tak i postřikem.

Moření – je jednou z nejrozšířenějších metod úprav povrchu. Odstraňujeme jím nežádoucí okuje a produkty koroze tak, že na povrch součásti působí roztoky kyselin. Jako mořicí kyseliny se používají kyseliny solná, sírová a fosforečná a celá metoda probíhá v ponořených mořicích lázních ve vanách, které musí odolávat působení kyselin.

Jinou operací je odrezování, které slouží k chemickému očištění povrchu výrobků zrezivělých během použití nebo skladování.

Odrezování, také dekapování, je odstranění tenkých až neviditelných korozních povlaků z povrchu před následující úpravou. Dekapování slouží jak k očištění povrchu, tak i k aktivaci povrchu před další úpravou.

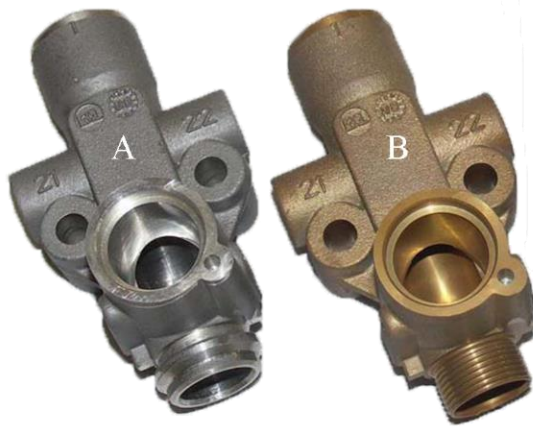
Fosfátování – chemická úprava zejména kovů, kdy na povrchu výrobku vzniká souvislá a nerozpustná vrstva (tloušťky 1 až 3  $\mu\text{m}$ ) neboli konverzní vrstva. Konverzní vrstva se nepoužívá jako konečná povrchová úprava, ale slouží jako podklad pod nátěry. Fosfátování funguje na principu, kdy na povrchu výrobku vznikají nerozpustné krystalické vrstvy fosforečnanu těžkého kovu. Typické zbarvení povrchů je šedé až tmavošedé (obr. 5). Základní složkou lázně je roztok dihydrogenfosforečnanu zinečnatého (nebo manganatého) s podílem kyseliny fosforečné. Dochází k lepší přilnavosti nátěru k povrchu a podstatnému prodloužení životnosti povlaků, které jsou trvale vystaveny venkovním atmosférickým podmínkám. Lze jej nanést ponorem nebo postříkem, vhodnější a používanější je metoda ponoru.

Ve většině případů se využívá železnatý fosfát, především díky jeho nízké ceně. Při správném nanesení vytvoří dostačující ochrannou vrstvu pro většinu aplikací. Povlak výrazně omezuje rozšíření koroze pod práškovým lakem například u koster jízdních kol, ledniček a praček, krytu počítačů a kovového nábytku. Železnatý fosfát je vhodný i na výrobky určené do exteriéru, nezaručí však dlouhodobou odolnost povrchové úpravy, proto je vhodnější zinečnatý nebo manganatý fosfát.

Chromátování – pracuje na stejném principu jako fosfátování. Při chromátování vznikají na povrchu nerozpustné amorfnní povlaky bazického chromatu chromitého různé tloušťky a rozdílného zbarvení (obr. 6). Zbarvení ovlivňuje aktuální druh a složení lázně. Upravují se tak především neželezné kovy, jako jsou zinek, kadmium, hliník, hořčík, měď nebo mosaz.



A) povrch před B) povrch po úpravě  
Obr. 5 Manganaté fosfátování [13]



A) neupravený povrch B) chromátovaný povrch

Obr. 6 Chromátování [14]

### 1.2.1 Oplach [1], [2], [15], [16]

Po všech chemických předúpravách povrchu musí následovat oplach výrobku, který zajistí odstranění všech chemikálií a anorganických solí, jež během procesu nezareagovaly. Provádí se horkou vodou zbavenou všech minerálních látek neboli demineralizovanou vodou (také DEMI vodou). Horkou vodou se rozumí teplota přibližně 40 °C.



## 2 PRÁŠKOVÉ LAKY [2], [11], [17]

Na trhu existuje široká škála práškových barev, které se liší svými vlastnostmi a využitím. Práškové barvy patří do skupiny průmyslových nátěrových hmot.

K docílení požadovaných vlastností musíme zvolit vhodný typ práškové barvy pro:

- Ochranný povlak – zaručí nám ochranu proti atmosférické či chemické korozi (kyselé či zásadité prostředí nebo mořský vzduch). Zde je rozhodující typ práškové barvy, popřípadě jejich kombinace.
- Dekorativní povrch – na povrchu výrobku vytvoří pohledovou vrstvu libovolné barvy a libovolného charakteru (matné, lesklé, metalízy, jemné či hrubé struktury).

### 2.1 Složení a druhy práškových barev [2], [12], [17], [18], [19], [20]

Práškové barvy jsou výhradně v tuhé konzistenci (obr. 7), ničím se neředí a ani se v žádné tekutině nerozpouští. Na určování odstínu se používá vzorkovnice RAL, viz příloha 1.

Mezi běžné složení prášků patří pojiva, pryskyřice a tvrdidla (50–60 %), dále pigmenty a nabíjecí částice (40–50 %) a další přísady (1–2 %), které povrchu dodávají lesk, tvrdost a strukturu povrchu.

Běžně rozšířenými a hojně využívanými práškovými barvami jsou:

Epoxidy (EP) – barva na bázi epoxidové pryskyřice, která dodává laku vysokou tvrdost. Vyznačují se výborným tečením, hladkým povrchem, velmi dobrou odolností vůči chemikáliím a rozpouštědlům. Mezi nevýhody patří malá odolnost proti UV záření, které může mít za následek odlupování laku. Jedná se o nejrozšířenější typ barvy vyráběný v obrovské škále variací, je však relativně drahá. Vytvrzování probíhá od 5 minut při 220 °C do 20 minut při 180 °C. Hodí se pro lakování kovových konstrukcí a hlavně pro interiérové použití (nábytek či různé domácí nástroje).

Polyesterové (PES) – lze je používat samostatně nebo v kombinaci s epoxidovými barvami, které rozšíří škálu použití těchto barev. Polyesterové barvy jsou velmi flexibilní, nabízí dobré aplikační vlastnosti, jsou vhodné jak pro interiérové, tak i exteriérové povrchy. Speciálně jsou vyvinuty pro vysokou odolnost vůči povětrnostním vlivům a UV záření. Barvy jsou relativně rychle vytvrditelné a levné.

Využívají se pro lakování konstrukcí, externích dekorací, průmyslových zařízení, jízdních kol a v automobilovém průmyslu. K vytvrzování dochází od 10 minut při 210 °C do 20 minut při 180 °C.

Smíšené a hybridní – jsou kombinací epoxidových a polyesterových prášků a v dnešní době patří mezi nejpoužívanější práškové laky. Jsou odolné vůči UV záření, mají výborné mechanické vlastnosti, jsou měkčí, s vyšší citlivostí na chemikálie. Vhodné jsou k internímu použití pro lakování kovových konstrukcí (kovový nábytek, regály, skříně, radiátory apod.).

Polyuretanové (PUR) – řadí se mezi nejstabilnější a nejodolnější prášky, které se vyznačují výbornou odolností proti chemikáliím, rozpouštědlům a slunečním paprskům. Hlavní použití nalezneme v dopravě (vlaky, nákladní auta apod.).

Akrylové laky (AC) – vyznačují se vynikající chemickou odolností, dlouhou trvanlivostí, výbornou přílnavostí a krycí schopností barvy pro exteriérové použití.



Obr. 7 Prášková barva [19]

Povrch je jemný a lesklý a má skvělou odolnost proti poškrábání. Nevýhodou je jejich neslučitelnost s ostatními typy práškových laků.

Laky se převážně využívají v automobilovém průmyslu a u domácích spotřebičů. Vytvrzování probíhá od 10 minut při 204 °C po dobu 30 minut při 135 °C.

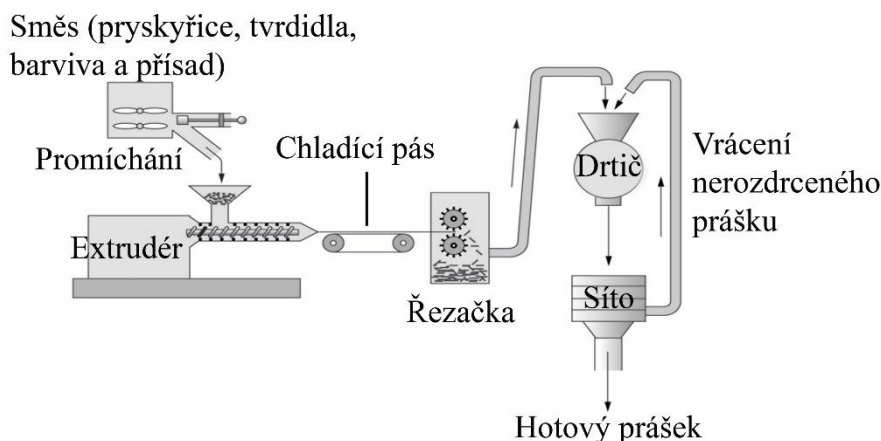
Nylonové – jsou vhodné jak pro kovové, tak i nekovové povrchy jako základní lak s dlouhou životností. Využívají se v potravinářství, při lakování nemocničního vybavení či lakování částí nákladních automobilů.

Polyvinylchlorid – neboli PVC prášky, jsou pružné, lesklé s plastickým vzhledem. Slouží k lakování košů myček na nádobí, vybavení dětských hřišť, zahradního vybavení či poštovních schránek.

## 2.2 Výroba práškových barev [2], [11], [21]

Práškové barvy vznikají pečlivým odměřením a smícháním jednotlivých přísad v tavenině. Směs je tlakem vytlačována na chladicí válce a vzniká dokonalá homogenní hmota, která je poté lámána a mleta ve speciálních mlýnech až do stavu prášku požadované zrnitosti. Tento proces nazýváme protlačovací metoda taveniny (obr. 8).

Zrnitost je velice důležitým činitelem a ukazatelem kvality práškové barvy. Ideální velikost částí se pohybuje v desítkách mikrometrů, které se dobře nabíjí. Příliš velké částice padají a není možné je dobře nabít, malé částice se přebíjí a nedrží na povrchu.



Obr. 8 Výroba práškových laků protlačovací metodou taveniny [21]

Následné správné uskladnění barev výrazně ovlivňuje kvalitu povrchu a životnost barvy. Barvy je nutno skladovat do maximálních teploty 25 °C v suchém a dobře větraném prostředí, je důležité zabránit jejich navlhnutí. Životnost barev, udávaná výrobcem, je přibližně rok.

## 2.3 Recyklace prášku [1], [2], [3], [22], [23], [24], [25]

Jednou z předností práškového lakování je téměř stoprocentní využití nanášené barvy, přičemž při nanášení nevznikají žádné exhalace a skoro žádný odpad. Maximální účinnosti nanesení nelze v praxi dosáhnout, tudíž prášek, který se neuchytí na výrobku, je nutné řízeně odsát z lakovací kabiny. Prášek je odváděn do recyklačního zařízení, kde dojde oddělení prášku od nečistot a následnému vrácení do práškovacího centra k jeho opětovné fluidizaci a použití. Filtrace práškových barev je nejčastěji prováděna cyklonovými, pásovými a kazetovými filtry (cartridge).

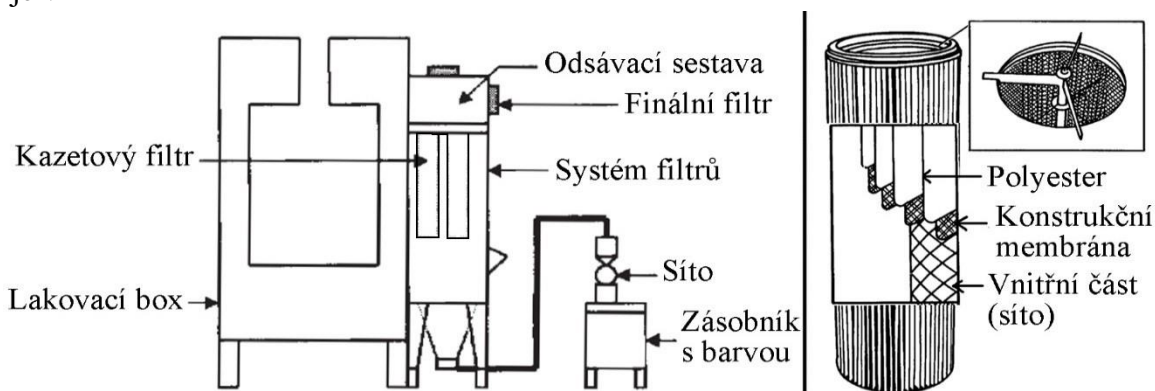
Recyklace cyklonovými systémy (obr. 9) probíhají v cyklonové komoře, do které je přestříknutý prášek nasáván. Prášek do cyklonu vstupuje značnou rychlostí a je uváděn do rotačního pohybu, jenž vyvolá odstředivou sílu. Větší částice začnou narážet na stěny cyklonu, ztrácejí svou rychlost a klesají ke dnu k sítům. Menší částice zůstávají ve středu cyklonu a pomocí unikajícího vzduchu jsou unášeny k filtrům. Efektivita obnovy prášku se pohybuje v rozmezí 85–95 %.

U systému pro rychlou výměnu barev se používají monocyklony právě pro jejich výhodu snadného čištění. Ve spodní části cyklonu bývá instalováno vibrační síto a pneumatický podavač dopravující prášek zpět do práškovacího centra.

Recyklace pásovými filtry, také Twin Air Belt metoda, je prováděna dvěma vzduchovými obvody. První obvod slouží k omezení úniku a druhý pro recyklaci. V prvním vzduchovém obvodu je vytvořen podtlak, který odsává přestříknutý prášek a přivádí do horizontálního textilního filtru,

tzv. pásového filtru. Druhý obvod vytváří podtlak pod pásem a dochází k přitahování recyklovaného prášku na pás. Prášek je pohybem pásu přiveden do sekundárních filtrů, kde dojde k oddělení částic nečistot. Prášek bez nečistot je zpět dopravován do práškovacího centra ke znovupoužití. Účinnost recyklace pásovými filtry je až 99 %.

Recyklace kazetovými filtry fungují na principu vyměnitelných filtrů jako hlavní separace prášku od vzduchu. Tyto filtry jsou typicky vyrobeny z vlnitých materiálů, tak aby byla jejich separační plocha co největší. Přestříknutý prášek je dopravován z lakovacího boxu (obr. 10) do prostoru s kazetovými filtry, kde dochází ke zbavení nasátého vzduchu. Částice, které se přichytávají na filtrech, postupně padají do sběrného zásobníku níže a přes síta jsou přesívány zpět do práškovacího centra ke znovupoužití. Síť filtrů je pravidelně čištěna tlakem vzduchu z opačné strany filtrů. Typickými materiály filtrů jsou papírové kazety nebo polyester. Výhodou je snadná a velmi rychlá výměna při změně odstínu barvy. Největší využití filtrů je v lakovacích boxech.



Obr. 10 Recyklace kazetovými filtry. Vlevo filtrační jednotka, vpravo kazetový filtr [23]

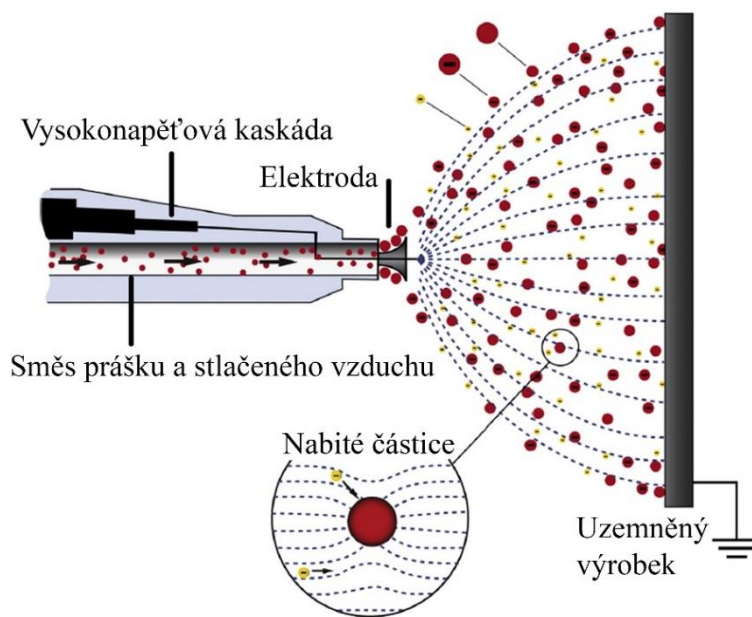
Odpadní směsi prášku lze likvidovat ve spalovnách, nebo v případě, kdy není možnost jejich rozprášení, ukládat na skládkách za předpokladu, že neobsahují toxické složky. Nejlepší a z hlediska ekologie nejvýhodnější metodou je předání do firem, kde se prášky vyrábějí. Jelikož se jedná o recyklovatelnou surovinu, lze s ní dále pracovat.

### 3 METODY NANÁŠENÍ PRÁŠKOVÝCH LAKŮ [1], [2]

Existují tři metody nanášení, a to korona, tribo a fluidní lože. Pro všechny metody je důležité zfluidizování prášku v práškovacím centru. Fluidní lože slouží pro přímý ponor výrobku v prášku. U zbylých dvou metod je zfluidizovaný prášek důležitý pro lepší průchodnost v hadicích pistolí.

#### 3.1 Elektrostatické nabíjení (korona) [1], [2], [26], [27]

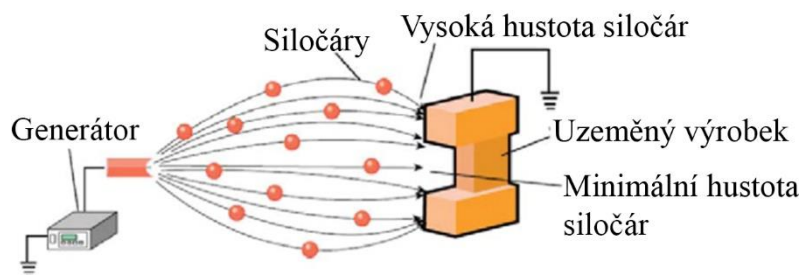
Metoda korona využívá nabíjení práškových částic pomocí vysokonapěťové kaskády (až 100 kV) a stlačeného vzduchu, který slouží k vyfukování částic trubicí pistole. Vysokonapěťový generátor je integrován do pistole a je regulován pomocí řídicí jednotky. Mezi elektrodou u ústí pistole a uzemněným výrobkem vzniká elektrostatické pole. Tímto elektrostatickým polem prochází záporně nabitě částice, které se pohybují podle siločar k výrobku (obr. 11). Dochází k usazení prášku a vzniku jednotné vrstvy. Prášek je přichycen pomocí Coulombových sil a musí dojít k vytvrzení v peci v co nejkratším čase od nástřiku, v opačném případě by prášek z výrobku spadl.



Obr. 11 Metoda korona [26]

Komplikace se objevují u výrobků složitějších tvarů (převážně vyčnívajících částí), kde vzniká Faradayův efekt. Při tomto efektu vzniká nehomogenní hustota siločar a dochází k většímu obalení míst práškem, než je žádoucí (obr. 12). U některých barev zvýšení tloušťky znamená pouze zvýšení nákladů, u některých může způsobit změnu struktury povrchu, což je nežádoucí. K zabránění může dojít, pokud se sníží výkon nabíjení částic, vzdálí se pistol od výrobku a zvýší se proudění vzduchu, aby se lépe rozložily siločary.

Výhodou metody je široké použití lakovacích prášků, velmi rychlý a účinný způsob nanášení, jednoduchá výměna barev. Nevýhodou je Faradayův efekt, nevhodné je tedy pro stříkání velmi složitých tvarů výrobku (lemy a hluboké záhlubně). V dnešní době patří tato metoda mezi nejpoužívanější.



Obr. 12 Faradayův efekt [2]



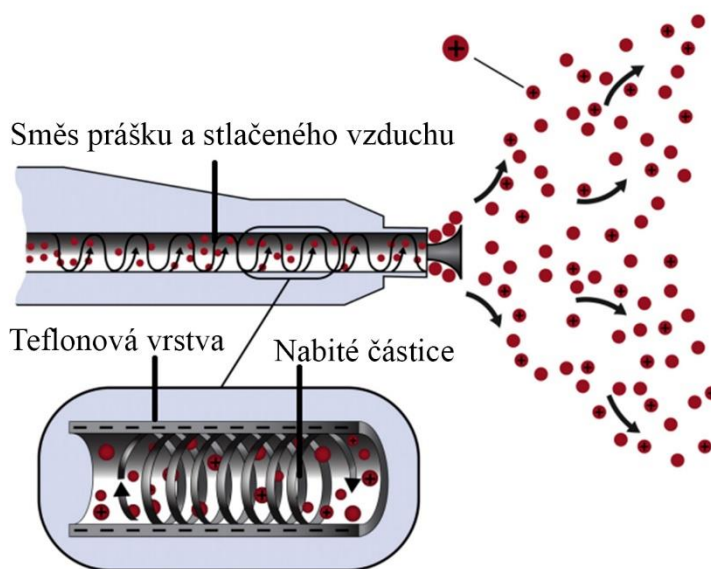
### 3.2 Elektrokinetické nabíjení (tribo) [1], [2], [26], [27]

Metoda tribo (obr. 13) využívá mechanického tření částic prášku o materiál uvnitř pistole (nejčastěji teflon). Teflon zbavuje prášek elektronů a okamžitě je odvádí k zemi. V případě metody tribo je, oproti metodě korona, uzemněna i pistole. K odtržení elektronů je zapotřebí velké množství energie, proto jsou pistole delší a mají omezený průtok prášku. K pohánění částic prášku z pistole se využívá stlačený vzduch.

Vyšší účinnosti lze dosáhnout průchodem větších částic prášku a optimálním průtokem vzduchu pistolí.

Výhodou metody je tvorba jednotného povrchu, dobré možnosti automatizace, prášek lépe proniká do štěrbin, rohů a dutin výrobku, jelikož nevzniká Faradayův efekt. Také není potřeba vysokonapěťový generátor.

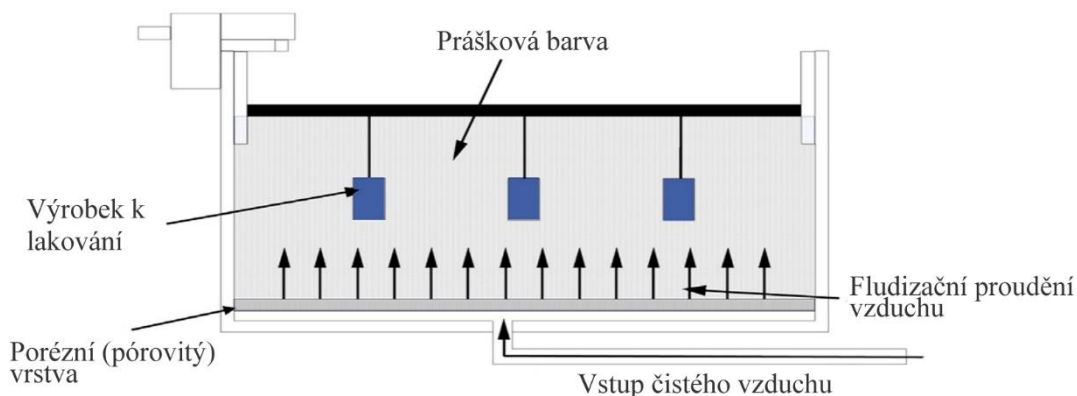
Nevýhodou je použití pouze pro epoxidové laky, obtížné nabíjení menších částic prášku, delší doba potřebná pro změnu barvy, vnitřní části pistole se rychleji opotřebovávají a jsou zapotřebí přísnější specifikace na stlačený vzduch, jako je jeho čistota a vlhkost.



Obr. 13 Metoda tribo [26]

### 3.3 Fluidní nanášení [1], [16], [28]

Jedná se o metodu, při které musí být výrobek předehřán. Nanášení se provádí ponorem ve fluidačním zařízení, které je tvořeno kovovou vanou (obr. 14). Vana obsahuje práškovou barvu a na dně pórovitou přepážku, přes kterou je přiváděn čistý vzduch. Následně dojde ke smíchání a vzniká směs podobná kapalnému skupenství. Při ponoření výrobku nastane natavení směsi na povrch, poté proběhne v dokončovací peci vytvrzení povlaku. Jelikož se jedná o metodu s předehřevem, lakovací linka je tvořena dvojicí pecí, a to předehřívací a dokončovací, mezi nimiž se nachází fluidní vana.



Obr. 14 Metoda fluidního nanášení [16]

Výhodou je 100 % účinnost využití práškové barvy a krátká povlékací doba, kdy povlékání probíhá během pár sekund. Nevýhodou je výměna barvy doprovázená zdlouhavým čištěním vany nebo nutnost použití jiné vany.

Tato metoda se využívá především k nanášení prášku na drátěné programy, k lakování košů, madel, rukojetí a venkovního nábytku.

### 3.4 Aplikační zařízení práškových laků [1], [2], [29]

Ruční pistole slouží výhradně pro držení obsluhou, pevné umístění je vyloučeno. Pistole mají na zadní straně své ovládací prvky (obr. 15), aby nutnost odcházet od stříkací kabiny byla minimální. Pistole využívají obě metody (korona i tribo).

Pistole disponují velmi širokou nabídkou příslušenství, které umožňuje svojí variabilitou měnit tvar výstupního prášku, lakovat přímo z krabice, ze zásobníku umístěného na pistoli nebo s velice malým vzorkovým množstvím.

Automatické pistole se bez výhrad umísťují na manipulátor v lakovacích kabinách. Manipulátor zajišťuje pohyb pistole. Možná je však i varianta fixního ukotvení. Nejčastější postavení pistole je vodorovné, může však být ukotvena i kloubem, což zajišťuje libovolné natočení pistole. V poslední řadě může být tryska opatřena kloubem, což zaručuje neomezené směřování prášku.

Automatická pistole INOBELL (obr. 16) je pistolí, která se naprosto liší svým způsobem nanášení laků. K nanášení prášku se nevyužívá pevná tryska, ale rotační disk, který je nabíjen pomocí koronového efektu, disk se točí až 7000 ot.min<sup>-1</sup>. Rozložení elektrostatického pole je mnohem rovnoměrnější a prášek zaujímá před výrobkem velmi plochý tvar. Tím se zvýší účinnost nanášení a efektivita nabíjení prášku, který je lépe distribuován na povrch výrobku.

INOPELL umožňuje širší rozptyl prášku, který zaručuje rovnoměrnější nanášení laku. Svým výkonem dokáže nahradit dvě stříkací pistole. Používá se pro lakování většiny standardních dílů, složitých konstrukcí, rovných plechů či drátěných programů.

Robotické lakování slouží pro opakované lakování složitějších dílů nebo při velké sériové výrobě, nejčastěji se používá v automobilovém průmyslu při lakování karosérií aut. Robot disponuje širokou škálou výhod: provádí automatickou změnu pohybu při změně výrobků, zvládá velice komplikované polohování pistole, zvyšuje efektivitu nanášení, která vede k výrazné úspoře prášku. Výhodou je také 100 % opakovatelnosti lakovacího postupu nebo možnost uzpůsobení robota k automatickému čištění kabiny.



Obr. 15 Ruční pistole Mach Jet



Obr. 16 INOBELL

## 4 ZAŘÍZENÍ PRÁŠKOVÝCH LINEK [1], [2]

Každá lakovací linka obsahuje zařízení na předúpravu, lakovací kabinu a pec k vypalování laku. Zařízení linek se liší podle metody nanášení laků. Příkladem může být metoda fluidní lože, která potřebuje, před samým nanesením laku, přehřívací pec. Také se výrobky v různých firmách liší svými předúpravami, kdy je požadavek linky například na chemickou předúpravu.

### 4.1 Pece [1], [2], [22], [30], [31], [32]

Pece jsou nedílnou součástí lakovací linky a slouží k vysušení výrobků po chemické předúpravě nebo k vypálení práškové barvy. Po nanesení prášku je nutné vypálení. Dojde k roztavení prášku, který se spojí a zapeče na povrchu výrobku. Vytvrzené laky není potřeba nechat schnout, jako u mokrého lakování, můžou být přímo expedovány či jít na montáž.

Používají se komorové a tunelové pece. Komorové pece se zpravidla využívají u ručních či poloautomatických linek, tunelové pece u průběžných linek. Výrobky mohou být do pece dopravovány pomocí zavážecích vozíků nebo podvěsného či pásového dopravníku.

Pece mohou být dodávány s přímým plynovým ohřevem, nepřímým ohřevem s účinným výměníkem nebo s elektrickým ohřevem.

Horkovzdušné pece (konvekční) patří mezi nejpoužívanější metody, ve kterých jsou využívány plynové či naftové hořáky. Vyráběny jsou s přímými nebo nepřímými hořáky, kde vzduch prochází výměníkem, takže se do pece dostává pouze čistý vzduch. Velká cirkulace ohřátého vzduchu zajišťuje rychlý a účinný přestup tepla do dílce. Výkonné ventilátory zajišťují rozmístění ohřátého vzduchu po celé délce komory tak, aby v celé peci byla zajištěna konstantní teplota.

Předností pecí je univerzálnost, lze je použít na vytvrzování všech typů laků a tvarů výrobku. Nevýhodou můžou být vyšší náklady na provoz, jelikož je ohříván všechna okolní vzduch.

Infračervené pece (IR pece) jsou bezplamennou ohřívací technologií (obr. 17). Funguje na principu infračervených paprsků, které jsou na povrch přenášeny prostřednictvím elektromagnetických vln. Vlny jsou práškem pohlcovány a dochází k roztavení prášku. Nedochozí k zahřátí okolního vzduchu, ale pouze povrchu výrobku, tím je zaručeno rychlejší vytvrzení prášku na povrchu. Nevýhodou je omezené použití na tvarově složité výrobky. Také není příliš efektivní pro vytvrzování světlých práškových laků, jelikož dochází k odrazení více infračerveného záření a tím se prášek na povrchu pomaleji zahřívá.

Ultrafialové pece (UV pece) jsou jedny z nejrychlejších metod vytvrzování práškových laků. K použití této metody bylo nutné vyvinout nové směsi prášků, které musí obsahovat fotoiniciátory. Prášek je nejprve nutno natavit v horkovzdušných nebo infračervených pecích, poté dojde k ozáření fotoiniciátorů prášku ultrafialovým světlem a k okamžitému vytvrzení. Nejčastěji se infračervená pec používá pro urychlení procesu vytvrzení. Díky nízké teplotě se pece využívají při lakování dřevěných materiálů (dřevovláknitých desek MDF) a plastových výrobků.



Obr. 17 Infračervená pec [30]

## 4.2 Lakovací kabiny [1], [2], [30], [31]

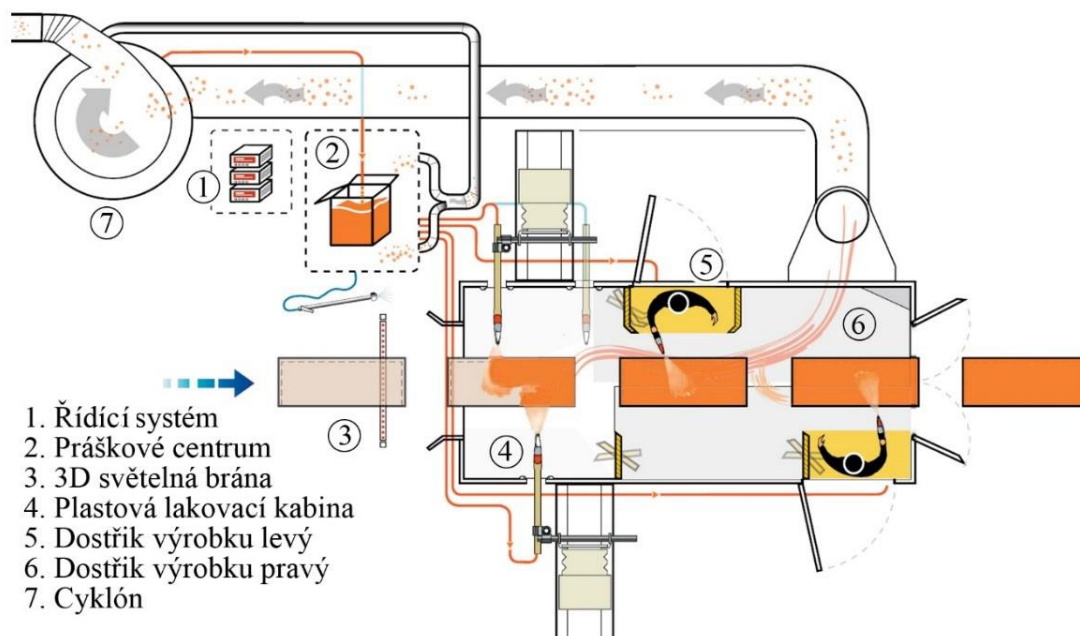
Kabina vytváří odsávaný prostor, kde je prášková barva nanášena na výrobek. Důležitou úlohou je zajištění maximální možné účinnosti nanášení a ekonomie celého procesu. Vhodný tvar kabiny obstarává zachycování přestříknutého prášku do recyklačních systémů, proto musí být uvnitř kabiny vhodně seřízen proud vzduchu i jeho rychlost. Při špatném nastavení by vzduch ovlivňoval elektrostatische síly a rychlost částic prášku.

Práškovou kabinu tvoří tři základní systémy:

- nerezové stříkací kabiny,
- plastové stříkací kabiny,
- ruční boxy.

Nerezové stříkací kabiny jsou levné, nehořlavé, snadno se vyrábějí a dobře odvádějí náboj. Jsou ideální volbou pro velké série výrobků, kde dochází ke změnám barvy v delších intervalech, jelikož se přestříknutý prášek usazuje na stěnách a pevně k nim přilne, stejně jako k uzemněnému výrobku. Z tohoto důvodu je čištění velmi dlouhé a náročné. Za částečné řešení problému lze považovat konstrukci kabiny větších rozměrů, aby se zabránilo usazování prášku na stěnách. Pro recyklaci prášku se využívá cyklon, který odsávaný přestříknutý prášek vrací zpět do zásobníku s barvou.

Plastové stříkací kabiny patří mezi nejvýhodnější variantu pro efektivní lakování. Kladem kabin je, že přestříknutý prášek nemá velkou přilnavost k plastovým stěnám kabin, tudíž mohou být menší oproti nerezovým kabinám. Svou popularitu naleznou ve výrobách, kde je potřeba častější změna práškových barev. Čištění kabiny se provádí ofouknutím stěn. Výměnu barvy lze provádět řádově v minutách (5 –20 minut). Dochází k recyklaci pomocí cyklonu (obr. 18) a znovuvrácení prášku do práškového centra. Nevýhodou může být snadné poškození. Nejčastějším materiálem pro výrobu je antistatické PVC.



Obr. 18 Plastová stříkací kabina s cyklonem [2]

Ruční boxy, také filtrační boxy, viz příloha 2, se využívají při ručním lakování. V tomto případě se většinou s vracením přestříknutého prášku nepočítá. Je zde však možné využívat výměnu filtračních modulů, které poskytnou možnost lakovat s více barvami i recyklaci. Přechod na jinou barvu je ze všech variant nejvíce zdlouhavý. Chybějící cyklon neoddělí nečistoty a tak prášek obsahuje i nečistoty a barva se musí externě přesít. K ručním boxům se využívají ruční přenosné vozíčky vybavené pistolí a držákem barvy k fluidizaci.



### 4.3 Dopravníky, závěsová a krycí technika [1], [2], [33]

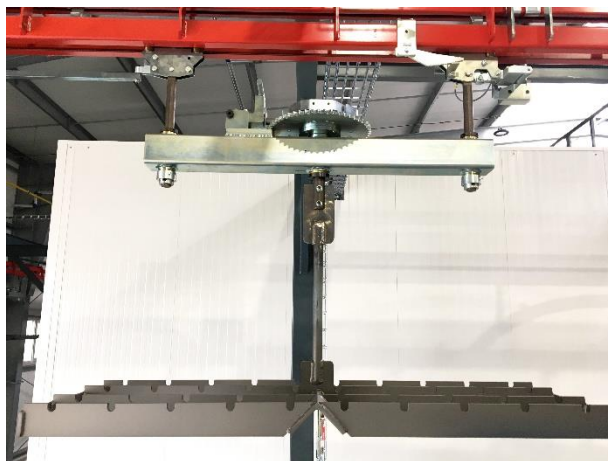
Dopravní systém slouží k transportu výrobku v lakovací lince do určených stanovišť technologie lakování. Dopravníky rozdělujeme z hlediska určení do základních 3 skupin:

- ruční podvěsné dopravníky,
- poháněné řetězové dopravníky,
- Power & Free dopravníky.

Ruční podvěsné dopravníky jsou tvořeny transportními vozíky. Díly jsou věšeny na transportní vozíky nebo na transportní tyče a celý systém se přesouvá ručně pomocí háků. Kombinacemi oblouků, výhybek, otočí a příčných přesuven lze zkombinovat libovolný uzavřený nebo křížový systém přepravy dílů mezi jednotlivými operacemi. Ruční dopravníky se využívají v malovýrobách.

Poháněné řetězové dopravníky jsou pro linky s uzavřeným okruhem dopravníkového profilu, ve kterém je veden kardanový řetěz vybaven vysokoteplotními ložisky. Na unášeče řetězu se zavěšují hřebenové profily, popřípadě C-háky. Častějším využití mají hřebeny, protože umožňují flexibilitu navěšování a maximální využití kapacity lakovny.

Power & Free dopravník (obr. 19) tvoří nejsložitější systém dopravy v lakovacích linkách, zároveň poskytuje největší míru flexibility. Jedná se o dvoukolejnicový systém, který poskytuje vysokou nosnost a vyznačuje se svou volností pohybu. V horní části je veden kardanový řetěz osazený tlačnými členy, které pohybují vedenými vozíky ve spodní části. Je rozdělen do stop stanic a vozíky jsou očíslované. Používají se v linkách, kde se lakují větší a delší výrobky.



Obr. 19 Power & Free dopravník

Zavěšování výrobků je první část, která má zásadní vliv na celý proces. Především je potřeba zohlednit možnost odtoku vody či abraziva v předúpravě, vhodné natočení pro lakovací pistole a také co neoptimalnější zaplnění průjezdní výšky lakovny pro maximální využití závěsů. Důležitá je údržba celé závěsová techniky ve vhodném stavu, aby byl zaručen spolehlivý elektrický kontakt výrobku se zemí. Výrobky je možné zavěšovat za kovové háky různých tvarů a provedení nebo lze použít závěsová rámy pro sérii výrobků nebo pro výrobky, které nejdou zavěsit přes klasické háky. Vytvrzená barva na hácích a závěsových rámech se buď nechá otrýskat, nebo se v pecích spálí tak, aby barva opadala.

Přechodový odpor v závěsová technice je odpor, který vzniká v jakémkoliv spoji, v našem případě v místě zavěšení výrobku. V případě, že je odpor příliš vysoký, výrobek má stejný potenciál jako barva a ta na něm nedrží. Barva se odpuzuje a padá dolů.

Při posuzování uzemnění není úplně vhodné omezit se pouze na stav jednoho háku, ale celé sestavy. Pokud se uvažuje, že profil dopravníku je dokonale uzemněný, stav řetězu je hned první částí ke kontrole, neboť znečištěný a zaolejovaný řetěz může situaci v mnohém zhoršit. Nehledě na to, že ze znečištěného řetězu může odpadávat špína a znehodnotí výsledný povrch na výrobku. Celý systém musí být v dobrém stavu a vyhovovat normě ČSN EN 50177 5.7.3., jinak není dosaženo vysoké účinnosti nanášení a kvality lakování. Norma viz příloha 3.

Často se na výrobku nachází závit, otvory, čepy nebo plochy, které je potřeba chránit před lakem, proto se tato místa maskují. Základní materiálem maskování je silikon.

## 5 VADY POVLAKŮ A JEJICH OPRAVOVÁNÍ [1], [2], [34]

Vady povlaků jsou z většiny způsobeny závadami v technologii nanášení povlaků, méně špatnou kvalitou práškového laku nebo poruchou zařízení.

Z hlediska technologie vzniká nejvíce vad díky předběžné úpravě povrchu. Příčinou je nedostatečné nebo nevhodné očištění a upravení povrchu. Technologií předúprava povrchu mohou vznikat i skryté vady. Jedná se o zaschlé soli pod povrchem nalakované vrstvy, které způsobí zhoršení adheze a následnou delaminaci barvy při prvním použití výrobku.

Vady mohou být také zapříčiněny špatnou údržbou nebo nevhodným seřízením lakovacího zařízení. Příkladem může být špatné nastavení teploty při vytvrzování v peci, která může způsobit nedostatečné vytvrzení či přetvrzení povlaku. Častěji se setkáváme s nedostatečným vytvrzením.

K narušení povrchu může také dojít při manipulaci výrobku při převozu do pece nebo při konečném balení a expedici k zákazníkovi. Při převozu do pece nejčastěji dochází k otření nanesené vrstvy na výrobku, například obsluhou. Vady lze rozdělit dle defektů na vady na vytvrzeném laku nebo vady způsobené při nanášení laků.

### 5.1 Vady a defekty na vytvrzeném laku [1], [2], [34]

Nečistoty na povrchu (obr. 20) se dostanou na povrch z přiváděného tlakovém vzduchu, nečistot uvolněných z neudržovaného zařízení, znečištěnou halou, v barvě či ve vytvrzovacích pecích.

Pomerančový efekt, také orange peel effect, je vada na povrchu, která vypadá jako pomerančová kůra (obr. 21). Nejčastější příčinou je velmi vysoký nános barvy na výrobku, popřípadě špatné nastavení voltampérové charakteristiky. Z hlediska barvy je možné, že mohlo dojít ke zvlhnutí při skladování.

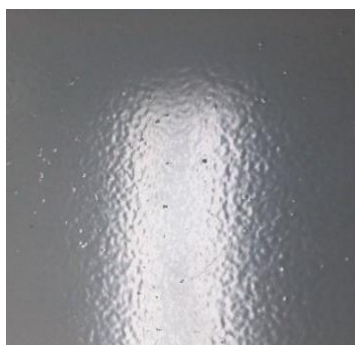
Puchýře v laku (obr. 22) mohou být způsobeny vlhkým tlakovým vzduchem, který je přiváděn do pistolí. Z pohledu aplikačních zařízení jsou nanášeny velmi vysoké tloušťky laku nebo nastaveno velmi vysoké napětí. Může se také jednat o špatnou šarži barvy nebo o barvu zvlhlou, příčinou může být i špatně odmaštěný povrch.

Setkat se můžeme s vadou, kterou lze označit jako rybníček v laku (obr. 23). Projevuje se vypuknutím barvy a vznikem velkých ok na povrchu. Při vzniku vady je nutné zkontrolovat, zda nedodáváme do pistolí vlhký vzduch. Souvisí také se špatným odmaštěním nebo vlhkou barvou.

Dalším příkladem nežádoucího povrchu, se kterým se lze setkat je nerovnoměrná vrstva na výrobku. Po vytvrzení se projevuje jako hrbolatý povrch (obr. 24) způsobený příliš malou tloušťkou nanášené barvy.



Obr. 20 Nečistoty na povrchu laku [34]



Obr. 21 Pomerančový efekt [34]



Obr. 22 Puchýře na povrchu [34]



Obr. 23 Rybníček v laku [34]



Obr. 24 Nerovnoměrná struktura povrchu [34]

## 5.2 Vady při aplikaci nátěrových hmot [1], [2], [34]

Barva, která nedrží na výrobku (obr. 25), je vadou, která může být způsobena vysokým tlakem vzduchu, kdy dochází k odfukování částic z povrchu. Z hlediska aplikačního zařízení je nastaveno příliš nízké napětí na nabití částic nebo došlo k opotřebení pistolí. Posledním důvodem, méně častým, je špatně zvolená barva pro danou technologii nabíjení.

Při aplikaci se na povrchu tvoří drobné hrudky (obr. 26). Za tímto problémem stojí ve většině případů špatně zfluidizovaná barva. Vada též naznačuje, že došlo k opotřebení nějaké části aplikační pistole.

Další nežádoucí komplikací může být odskok barvy od lakovaného výrobku (obr. 27), projevuje se také jako vada připomínající kytičky na povrchu. Může být zapříčiněna vysokým tlakem vzduchu, který prášek odfukuje z výrobku. S tím souvisí například to, že pistole je příliš blízko nebo daleko od výrobku. Také se může projevovat jako poškození elektrody na aplikačním zařízení, nevhodné zavěšení nebo nedostatečné uzemnění výrobku.

Vysoký tlak vzduchu také způsobuje tvorbu kopečků na povrchu (obr. 28). Tlak vzduchu nemusí být jediným faktorem při této vadě, může to být i navlhčená barva, která přicpává dopravní cesty.

Také se lze setkat s nízkou vydatností práškové barvy, kdy je na povrchu možné vidět přechod odstínů (obr. 29).



Obr. 25 Barva, která nedrží na výrobku [34]



Obr. 26 Na výrobku se tvoří hrudky [34]



Obr. 27 Odskakování barvy z výrobku [34].



Obr. 28 Tvorba kopečků na povrchu [34]



Obr. 29 Nízká vydatnost barvy [34]



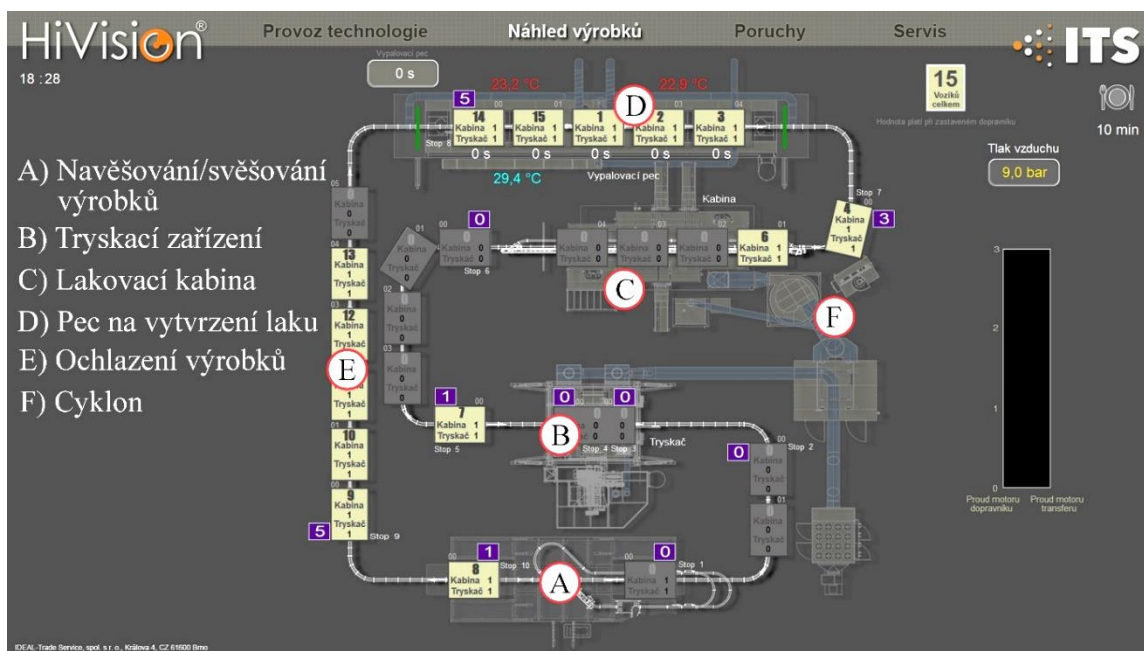
## 6 TECHNOLOGICKÝ POSTUP

Na závěr bakalářské práce jsem si připravil ukázkou technologického postupu lakování ve firmě SMR plus, která se zabývá výrobou palet pro automotive. Lakování proběhlo na práškové lince firmy Ideal Trade Service, spol. s.r.o.

Postup bude obsahovat navěšení výrobku, předúpravu výrobku, nanesení práškových laků, vytvrzení v peci, svěšování výrobku a následnou vizuální kontrolou a kontrolu tloušťky. Shrnutí technologického postupu lze vidět v tabulce 1.

Prášková linka obsahuje řetězový dopravník Power & Free s 15 zavěšenými vozíky a 25 stanovišti. Linka je vybavena dvěma zdvihacími plošinami. Maximální velikost výrobku je 2500 x 1500 x 2100 mm a lakovaná plocha od 6 do 12 m<sup>2</sup>. Doba cyklu od navěšení po svěšení výrobku činí zhruba 1,5 hodiny a následný požadovaný takt linky je 12 minut. To znamená, že každých 12 minut se 1 výrobek navěsí, otrýská, nalakuje, vypálí v peci a svěsí.

Lakovna pracuje na systému HiVision a je ovládána z centrálního dotykového panelu (obr. 30) u navěšovací a svěšovací plošiny. Z ovládacího panelu lze nastavovat teploty pece, kontrolovat a posílat dopravníky do jednotlivých stanovišť.



Obr. 30 Ovládací panel lakovací linky

Tab. 1 Technologický postup lakovací linky ve firmě SMR plus.

1	Předúprava povrchu	Tryskání výrobku	Zařízení s metalí turbínou	5 minut	3000 ot.min <sup>-1</sup>	Abrazivum ocelový granulát
2	Nanesení práškového laku	Lakování výrobku	Plastová lakovací kabina	9 minut		Barva RAL 7015 (břidlicová šedá)
3	Vypálení laku	Vypálení laku v peci	Pec typu LU	45 minut	Teplota 200 °C	Vytápění pomocí zemního plynu
4	Kontrola	Kontrola vzhledu a tloušťky	Tloušťkoměr CM 8825	Tloušťka minimálně 100 μm		



## 6.1 Zavěšování výrobků

Výrobky, zbavené štítků a nálepek od výrobců, jsou dopraveny na navěšovací plošinu linky. Navěšování na dopravníkový systém probíhá pomocí vysokozdvížných vozíků a zvedacích plošin s nosností 1000 kg.

Je nutné se zamyslet nad tím, jak co nejefektivněji zavěsit výrobek. Při zavěšení je nutné myslet na jednoduchou manipulaci při následujících operacích, v případě tryskání na to, aby došlo k jednoduchému vysypání a následnému jednoduchému vysávání zbytkového abraziva. V případě zavěšovací techniky je dobré volit háky tak, aby výrobek udržely a nevznikala stinná místa.

V případě ukázky musel být výrobek postaven na výšku (obr. 31), jelikož jsou ve středovém kříží odtokové otvory. Jsou zvoleny řetězy s háky, které výrobek drží tak, aby při předstřihu výrobku bylo místo jednoduše dostupné a nevzniklo stinné místo a obtisk háku na finálním povrchu.



Obr. 31 Zavěšení výrobku

## 6.2 Předúprava povrchu

Následně byl výrobek otryskán v tryskacím zařízení, které je dodáno firmou Cogeim Europe, zabývající se tryskacími stroji na míru dle požadavků zákazníka, viz příloha 4. Zařízení je vybaveno čtyřmi metacými turbínami (označení typu turbíny je CG 380 M DD) s výkonem motoru 7,5 kW, aby bylo otryskání rovnoměrné, a aby bylo zaručeno, že k tryskání dojde po celé ploše výrobku, je zařízení vybaveno rotačním dopravníkem uvnitř kabiny. Tryskání bylo provedeno při maximálních otáčkách turbín, a to 3000 ot.min<sup>-1</sup>. Použitými abrazivem byl ocelový granulát s tvrdostí 46 ÷ 59 HRC, který zajistí požadovaný povrch (obr. 32) pro snadné přilnutí práškové barvy v následující operaci.

Důležitým krokem, dříve než výrobek vejde do lakovací kabiny, je co nejdokonalejší vysátí usazeného abraziva. K ručnímu vysávání dochází hned za tryskacím strojem, kde je stop stanoviště dopravníku. Aby výrobek mohl pokračovat, musí dojít k potvrzení na stanovišti obsluhou.



Obr. 32 Povrch po otryskání se zbytky abraziva

### 6.3 Nanesení práškového laku

Práškovací linka obsahuje plastovou kabínu vybavenou deseti automatickými a dvěma ručními pistolemi (obr. 33). K dokonalému povrchu můžeme dopomoci ručním předstříkem, kdy obsluha lakovací kabiny prášek aplikuje do míst pro automatické pistole těžce dosažitelných (obr. 34). Nejčastěji to jsou stinná místa, různé záhyby a mezery, které vznikají při svařování v důsledku určitého zaoblení na materiálu. V případě stálé nespokojenosti poslouží ruční dostřík, jenž je součástí kabiny. Všechny pistole jsou řízeny přes počítač pomocí systému HiVision, kde lze nastavovat proud, napětí, množství prášku a tlak vzduchu, viz příloha 5. Před samým lakováním musí dojít ke změření výrobku, aby byly lakovací pistole seřízeny na rozměry výrobku a nedošlo ke kolizi. K tomu slouží systém automatické detekce výrobku, který je zobrazen na obr. 32 písmenem A.

Linka je vybavena cyklonem (obr. 9), který z kabiny odstává přestříknutý prášek a po zbavení nečistot jej následně vrací do práškovacího centra, viz příloha 6. Práškovací centrum obsahuje vanu, ve které dochází k fluidizaci prášku pomocí čistého vzduchu přiváděného ze dna.

Požadovanou barvou výrobku byla břidlicová šedá (RAL 7015). Jedná se o všestrannou epoxy-polyesterovou práškovou barvu od firmy Jotun, nanášenou při nastaveném napětí 68–70 kV.



Obr. 33 Plastová kabina s automatickou detekcí výrobku



Obr. 34 Předstřík výrobku ruční pistolí

Kabina je vybavena protipožárními čidly, která jsou citlivá na jakýkoliv záblesk, proto se poblíž kabiny nesmí fotit s bleskem. Také je doporučeno, aby měly haly kvůli světelným paprskům zatemněná okna. V případě zaznamenání kolize dojde k okamžitému naplnění kabiny CO<sub>2</sub>, včetně všech hadic a cyklonu.



## 6.4 Vypalování v peci

Po nanesení prášku výrobek vchází do tunelové pece typu LU s přímými hořáky, které spalují zemní plyn (obr. 35). Typ LU znamená, že se pec nachází v rovině dopravníku. Vstup a výstup pece je opatřen výkonnými vzduchovými clonami, které zabraňují nežádoucímu úniku tepla z pece na vstupu i výstupu z pece jsou automatické dveře. Pec má odsávací systém sloužící k odsávání odpadových plynů, maximální teplota pece je 230 °C.

K vytvrzení laku došlo při teplotě 200 °C po dobu 45 minut. Pec je rozdělena na pět stadií, a tak pojme zároveň pět výrobků. Na začátku dochází k předehřevu a prohřátí celého výrobku. Vytvrzovací teplota je v epicentru pece, kde dojde k vytvrzení laku, zbývající část slouží k pomalému ochlazení.

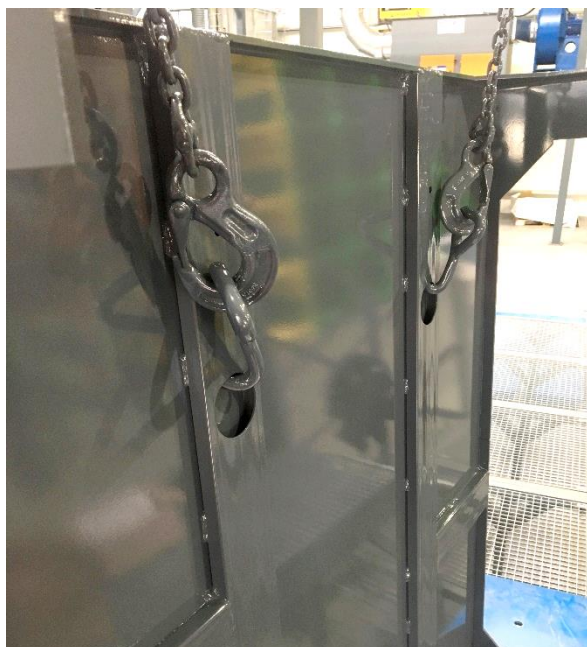


Obr. 35 Vjezd výrobku do vypalovací pece

## 6.5 Svěšování a kontrola

Po vychladnutí výrobku byla provedena vizuální kontrola (obr. 36) a změřena tloušťka vrstvy pomocí digitálního tloušťkoměru.

V našem případě byla požadována minimální tloušťka 100 μm (obr. 37). Poté můžeme výrobek opatrně odháknout a následně expedovat.



Obr. 36 Vytvrzený lak a jeho vizuální kontrola



Obr. 37 Měření tloušťky laku pomocí tloušťkoměru CM 8825

## 7 ZÁVĚRY

Povrchové úpravy jsou dnes nedílnou součástí většiny vyráběných předmětů, a proto je důraz kladen na jejich kvalitu a vzhled. Právě ten přímo ovlivňuje náš první dojem z výrobku a na jeho základě se mnohdy rozhodujeme při koupi.

Práškové lakování poskytuje spotřebitelům bohaté spektrum neúspornějších variant povrchů v široké barevné škále a s nejdélší životností. Povrchy práškové barvy jsou více odolné vůči odštěpování, poškrábání, vyblednutí a opotřebení než jiné povrchové úpravy. Pestrá škála barev nabízí povrchy s vysokým a nízkým leskem nebo efekty, jako jsou matnost, drsnost a hladkost.

Nejvýznamnější technologií nanášení je stříkání, které se aplikuje na studený uzemněný předmět. Částice nesou elektrický náboj a jsou přitahovány k uzemněnému výrobku. Na povrchu předmětu vytvoří stálou vrstvu, která se v peci roztaví. Opakem je méně používaná technologie, a to fluidní nanášení. Metoda probíhá namáčením přehřátých výrobků ve vanách s barvou. Lze vytvářet vrstvy o tloušťce až 1 mm. Využití prášku je téměř stoprocentní, účinnost také.

Práškové lakování je dnes velmi využívanou technologií z hlediska šetrnosti k životnímu prostředí a ekonomičnosti technologie. Šetrnost k životnímu prostředí zajišťují práškové barvy, které se ničím neředí a jsou používány v tuhém stavu, díky tomu nevznikají žádné emise z těkavých organických látek. Z ekonomického hlediska šetří místo při jejich skladování, protože není potřeba skladovat také ředidla, jako u mokrého lakování. Dnes už jsou téměř běžně práškové linky vybaveny cyklony, které zajišťují řízené odsávání přestříknutého prášku v kabině. Následně je prášek v cyklonu pomocí filtrů recyklován a přiváděn zpět do práškovacího centra k opakovanému použití. Tímto způsobem se prakticky eliminuje většina odpadu, který vzniká při lakování.

Rozsah použití práškových barev je široký a výrobky upravené touto metodou nás každodenně obklopují. Nejčastější využití nalezneme v tzv. bílém programu, což je označení pro lakování praček, ledniček, sporáků, také kovového nábytku, krytů spotřební elektroniky a výpočetní techniky, jízdních kol, sportovního nářadí včetně posilovacích strojů, kancelářských potřeb. Také se hojně využívá v automobilovém průmyslu při lakování brzdových destiček, disků kol, kovových částí aut a řady komponent na motocyklech. Najedeme je také na věcech, které nás každodenně obklopují, jako jsou radiátory, hasicí přístroje nebo dopisní schránky.

V dnešní době je snahou vytvoření směsí barev, které budou mít co nejnižší vytvrzovací teplotu, aby se ušetřil čas celkového procesu lakování. Také jsou již vymyšleny směsi laků s nízkou vytvrzovací teplotou, které slouží k lakování dřevěných MDF desek nebo nanášení na plastové části.

Poslední kapitolou práce je ukázka technologického postupu ve firmě SMR plus, která se zabývá výrobou palet pro automotive.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. CHVÁTAL, Antonín a Jarmila KUPFOVÁ. *Povrchová ochrana práškovými plasty*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1985. Knižnice technických aktualit. ISBN 2-0888-089.
2. *Průvodce práškovým lakováním*. Brno: Ideal Trade Service, spol. s.r.o., 2017.
3. STRATIL, Jaroslav. Recyklace práškových nátěrových hmot a likvidace odpadů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2015, 2015 [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/recyklace-praskovych-naterovych-hmot-a-likvidace-odpadu.html>
4. What is Powder Coating?. *Powder Coating Institute* [online]. [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <http://www.powdercoating.org/page/WhatIsPC>
5. KREIBICH, Viktor. *Teorie a technologie povrchových úprav*. Praha: České vysoké učení technické, 1996. ISBN 80-01-01472-X.
6. *TECHNICOAT s.r.o.* [online]. 2015 [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <https://www.technicoat.cz/cs/nase-kompetence/>
7. SEDLÁČEK, Vladimír. *Povrchy a povlaky kovů*. Praha: ČVUT, 1992. ISBN 80-01-00799-5.
8. MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1995. ISBN 80-7078-267-6.
9. PODJUKLOVÁ, Jitka. *Speciální technologie povrchových úprav I. Dot.* Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 1997. ISBN 80-7078-235-8.
10. *Sand blasting and Shot blasting* [online]. [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: [http://ferroecoblast.com/r\\_d/sand\\_blasting\\_and\\_shot\\_blasting/](http://ferroecoblast.com/r_d/sand_blasting_and_shot_blasting/)
11. *Apretace výrobků* [online]. [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <http://centes.cz/vyroba/lisovani-kovu/apretace/>
12. *OK-COLOR spol. s.r.o.* [online]. [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <http://www.okcolor.cz/technologie/>
13. *Mangnese Phosphating* [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <http://www.phosphating.net/photo/manganese-phosphate-M70-b5.jpg>
14. *Chromatování* [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: [http://www.chromovani-zajic.cz/Foto/bigAll\\_Tel.jpg](http://www.chromovani-zajic.cz/Foto/bigAll_Tel.jpg)
15. *Demineralizovaná voda* [online]. 2011 [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <http://www.kowa.cz/uprava-vody/prumysl/povrchove-upravy/demineralizovana-voda>
16. MCKEEN, Laurence. *Fluorinated Coatings and Finishes Handbook* [online]. Second Edition. 2015 [cit. 2018-04-24]. ISBN 978-0-323-37126-1. Dostupné z: [https://ac-els-cdn-com.ezproxy.lib.vutbr.cz/B9780323371261000114/3-s2.0-B9780323371261000114-main.pdf?\\_tid=b9b3cc80-8f32-48f0-bb14-1b70803c1b94&acdnat=1526039478\\_f43768a5213e1d1da398e2f8471f2349](https://ac-els-cdn-com.ezproxy.lib.vutbr.cz/B9780323371261000114/3-s2.0-B9780323371261000114-main.pdf?_tid=b9b3cc80-8f32-48f0-bb14-1b70803c1b94&acdnat=1526039478_f43768a5213e1d1da398e2f8471f2349)
17. *MCV Plast* [online]. 2012 [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <http://www.mcvplast.cz/index.php?link=technologie>

18. *Sava TRADE - Technické listy* [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <http://www.savatrade.cz/praskove-barvy-x/technicke-listy>
19. *Ultrimax Coatings* [online]. [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <http://www.ultrimaxcoatings.co.uk/products/industrial-powder-coating/>
20. *Prášková barva* [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <http://www.lak-system.cz/praskove-barvy---alesta>
21. *Paint and Coating Manufacture* [online]. 2011 [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <http://www.iloencyclopaedia.org/component/k2/item/380-paint-and-coating-manufacture>
22. *Interpon* [online]. [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <http://www.interpon.cz/expertise-centre/topics/>
23. ULRICH, Darryl. *Users's Guide to Powder Coating* [online]. 3rd ed. Dearborn, Michigan: One SME Drive, 1993 [cit. 2018-04-16]. ISBN 0-87263-444-2. Dostupné z: <http://infohouse.p2ric.org/ref/33/32994.pdf>
24. *Spray Systems* [online]. 2017 [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <http://www.spraysystems.com/news/powder-booth-filtration-breakdown-cartridge-vs-cyclone-systems>
25. SVOBODA, Tomáš. *Optimalizace procesu práškového lakování*. VUT, 2016, 160 s. Dostupné také z: [https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/59655/2016\\_DP\\_Tomáš\\_Svoboda\\_133844.pdf?sequence=-1&isAllowed=y](https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/59655/2016_DP_Tomáš_Svoboda_133844.pdf?sequence=-1&isAllowed=y). Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
26. PRASAD, Leena Kumari, James W. MCGINITY a Robert O. WILLIAMS III. Electrostatic powder coating: Principles and pharmaceutical applications. *International Journal of Pharmaceutics* [online]. 2016, (505), 289-302 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: [https://ac-els-cdn-com.ezproxy.lib.vutbr.cz/S037851731630299X/1-s2.0-S037851731630299X-main.pdf?\\_tid=a76dede5-f90c-42c9-9b20-ae42b34a9b32&acdnat=1524584102\\_be2034f0385c69a596b4360b8b79dfb2](https://ac-els-cdn-com.ezproxy.lib.vutbr.cz/S037851731630299X/1-s2.0-S037851731630299X-main.pdf?_tid=a76dede5-f90c-42c9-9b20-ae42b34a9b32&acdnat=1524584102_be2034f0385c69a596b4360b8b79dfb2)
27. *Powder Coatings Corona vs Tribo* [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: [http://www.coatings.org.uk//Sectors/Powder\\_Coatings\\_Corona\\_vs\\_Tribo\\_.aspx](http://www.coatings.org.uk//Sectors/Powder_Coatings_Corona_vs_Tribo_.aspx)
28. *Lakovny pro fluidní nanášení práškových barev* [online]. 2016 [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <http://www.datel-ledec.cz/linky-pro-fluidni-nanaseni-praskovych-barev>
29. *Technologies* [online]. [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <https://www.sames-kremlin.com/usa/en/technologies.html>
30. *Infračervené Pece - IR Pece* [online]. [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <http://www.surfin.cz/technologie/99-ir-pece.html>
31. *Ideal Trade Service, spol s.r.o.* [online]. [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <https://www.itsbrno.cz>
32. SCHWARB, Ryan a Michael KNOBLAUCH. *New Opportunities for UV-Curable Powder Coatings* [online]. 2011 [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: [http://www.coatingsworld.com/issues/2011-05/view\\_features/new-opportunities-for-uv-curable-powder-coatings](http://www.coatingsworld.com/issues/2011-05/view_features/new-opportunities-for-uv-curable-powder-coatings)

33. *Dopravníky* [online]. [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <http://www.datel-ledec.cz/dopravniky>
34. *Katalog Vad* [online]. [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <https://www.katalogvad.cz>
35. *Vzorkovnice RAL* [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <https://www.windows24.com/images/ral-color.jpg>
36. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. 2013 [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Práškové lakování.....	9
Obr. 2 Ruční tryskání [10] .....	10
Obr. 3 Omílací buben s plastovými tělisky [11].....	10
Obr. 4 Alkalické odmašťování ruční metodou [6].....	11
Obr. 5 Manganaté fosfátování A) povrch před B) povrch po [13] .....	12
Obr. 6 Chromátování A) neupravený povrch B) chromátovaný povrch [14].....	12
Obr. 7 Prášková barva [19] .....	13
Obr. 8 Výroba práškových laků protlačovací metodou taveniny [21].....	14
Obr. 9 Cyklon .....	15
Obr. 10 Recyklace kazetovými filtry [23] .....	15
Obr. 11 Metoda korona [26] .....	16
Obr. 12 Faradayův efekt [2].....	16
Obr. 13 Metoda tribo [26].....	17
Obr. 14 Metoda fluidního nanášení [16].....	17
Obr. 15 Ruční pistole Mach Jet .....	18
Obr. 16 INOBELL .....	18
Obr. 17 Infračervená pec [30].....	19
Obr. 18 Plastová stříkací kabina s cyklonem [2] .....	20
Obr. 19 Power & Free dopravník.....	21
Obr. 20 Nečistoty na povrchu laku [34] .....	22
Obr. 21 Pomerančový efekt [34].....	22
Obr. 22 Puchýře na povrchu [34].....	22
Obr. 23 Rybníček v laku [34] .....	23
Obr. 24 Nerovnoměrná struktura povrchu [34] .....	23
Obr. 25 Barva, která nedrží na výrobku [34].....	23
Obr. 26 Na výrobku se tvoří hrudky [34] .....	23
Obr. 27 Odsakování barvy z výrobku [34] .....	23
Obr. 28 Tvorba kopečků na povrchu [34].....	23
Obr. 29 Nízká vydatnost barvy [34] .....	23
Obr. 30 Ovládací panel lakovací linky .....	24
Obr. 31 Zavěšení výrobku .....	25
Obr. 32 Povrch po otryskání se zbytky abraziva .....	25
Obr. 33 Plastová kabina s automatickou detekcí výrobku.....	26
Obr. 34 Předstřík výrobku ruční pistolí .....	26
Obr. 35 Vjezd výrobku do vypalovací pece .....	27
Obr. 36 Vytvrzený lak a jeho vizuální kontrola.....	27
Obr. 37 Měření tloušťky laku pomocí tloušťkoměru CM 8825 .....	27



## **SEZNAM TABULEK**

Tab. 1 Technologický postup lakovací linky ve firmě SMR plus. ....	24
--	----

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1 Vzorkovnice RAL

Příloha 2 Ruční box s kazetovými filtry a přenosným vozíkem s lakovací pistolí

Příloha 3 ČSN EN 50177 5.7.3.

Příloha 4 Vjezd výrobku do tryskacího zařízení

Příloha 5 Ovládací prostředí HiVision

Příloha 6 Práškovací centrum lakovací linky, kde dochází k fluidizaci prášku

1000	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1011	1012
1013	1014	1015	1016	1017	1018	1019	1020	1021	1023
1024	1026	1027	1028	1032	1033	1034	1035	1036	1037
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2007	2008	2009	2010
2011	2012	2013	3000	3001	3002	3003	3004	3005	3007
3009	3011	3012	3013	3014	3015	3016	3017	3018	3020
3022	3024	3026	3027	3031	3032	3033	4001	4002	4003
4004	4005	4006	4007	4008	4009	4010	4011	4012	5000
5001	5002	5003	5004	5005	5007	5008	5009	5010	5011
5012	5013	5014	5015	5017	5018	5019	5020	5021	5022
5023	5024	5025	5026	6000	6001	6002	6003	6004	6005
6006	6007	6008	6009	6010	6011	6012	6013	6014	6015
6016	6017	6018	6019	6020	6021	6022	6024	6025	6026
6027	6028	6029	6032	6033	6034	6035	6036	7000	7001
7002	7003	7004	7005	7006	7008	7009	7010	7011	7012
7013	7015	7019	7021	7022	7023	7024	7026	7030	7031
7032	7033	7034	7035	7036	7037	7038	7039	7040	7042
7043	7044	7045	7046	7047	7048	8000	8001	8002	8003
8004	8007	8008	8011	8012	8014	8015	8016	8017	8019
8022	8023	8024	8025	8028	8029	9001	9002	9003	9004
9005	9006	9007	9010	9011	9016	9017	9018	9022	9023

Příloha 2      Ruční box s kazetovými filtry a přenosným vozíkem s lakovací pistolí      1/1



Příloha 3      ČSN EN 50177 5.7.3. [2]      1/1

Odpor proti zemi z místa zavěšení každého výrobku nesmí být větší než 1 M $\Omega$ . Napětí během měření musí být 500 V nebo 1000 V. Konstrukce upínacích přípravků a háků musí zajišťovat, aby výrobek zůstal během procesu uzemněn. I když je uzemňování obrobků často zajišťováno kovovými závěsnými háky, je důležité, aby tyto háky byly často čištěny a tak navrženy tak, aby bylo zabráněno vytváření izolačních vrstev nanášeného materiálu.

Příloha 4      Vjezd výrobku do tryskacího zařízení      1/1

