



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VLIV ZPŮSOBU VYPALOVÁNÍ NA KVALITU LAKU

INFLUENCE OF THE BURN METHOD ON VARNISH QUALITY

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. ROMAN SVAČINA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. LADISLAV ŽÁK, Ph.D.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2014/2015

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Roman Svačina

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

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 diplomové práce:

### **Vliv způsobu vypalování na kvalitu laku**

v anglickém jazyce:

### **Influence of the burn method on varnish quality**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce bude experimentálně ověřit vliv způsobu vypalování na kvalitu laku

Cíle diplomové práce:

1. Literární studie dané problematiky
2. Návrh základních materiálů, nátěrové hmoty a možných způsobů vytvoření lakové vrstvy
3. Experimentální ověření navržených nátěrových systémů
4. Vyhodnocení výsledků
5. Závěr



Seznam odborné literatury:

GROYSMAN, Alec. Corrosion for everybody. Vyd. 1. New York: Springer, 2010, 368 s. ISBN 978-90-481-3476-2

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

SEDLÁČEK, Vladimír. Povrchy a povlaky kovů. 1. vyd. Praha : České vysoké učení technické v Praze, 1992. Skripta. ISBN 80-01-00799-5.176 s.

PODJUKLOVÁ, Jitka. Speciální technologie povrchových úprav I. 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1994. Skripta. ISBN 80-7078-235-8. 76 s..

Vedoucí diplomové práce: Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 27.11.2014

L.S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

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

**ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá vlivem způsobu vytvrzování na kvalitu laku práškového lakování. Práce obsahuje literární studii zaměřenou na problematiku práškového lakování. V experimentální části práce bude provedeno vytvrzení dvou odlišných materiálů ve třech technicky odlišných vypalovacích pecích a porovnání vlivu vypálení.

**Klíčová slova**

Předúprava, práškové lakování, práškové nátěrové hmoty, vzorek, vytvrzování

**ABSTRACT**

The thesis deals with the influence of the curing process on varnish quality of paint powder coating. The thesis includes a literary study focused on the issue of powder coating. In the experimental part of the work will be done curing of two different materials in three technically different kilns and compare the effect of firing.

**Key words**

Surface pre-treatment, powder coating, powder coatings, sample, curing process

**BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

SVÁČINA, Roman. *Vliv způsobu vypalování na kvalitu laku*. Brno 2015. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 74 s. 1 příloh. Vedoucí práce Ing. Ladislav Žák, Ph.D..

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Vliv způsobu vypalování na kvalitu laku** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

27.5.2015

Datum

Bc. Roman Svačina

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto **Ing. Ladislavu Žákovi, Ph.D** za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

Dále děkuji společnostem **Diktr spol s.r.o.**, **TVD - Technická výroba, a.s.** a **Hestego, a.s.** za zprostředkování měření a společnostem **Surfin s.r.o.** a **IDEAL - Trade Service, spol.s.r.o.** za cenné informace týkající se vytvrzování a složení práškových barev.

**OBSAH**

Abstrakt

Prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD .....	9
1 HISTORIE PRÁŠKOVÝCH NÁTĚROVÝCH HMOT .....	10
2 PRÁŠKOVÉ LAKOVÁNÍ .....	11
2.1 Předúprava .....	11
2.1.1 Mechanická předúprava .....	11
2.1.2 Chemická předúprava .....	12
2.2 Práškové nátěrové hmoty .....	18
2.2.1 Rozdělení práškových nátěrových hmot dle nosičů .....	19
2.2.2 Rozdělení reaktoplastů .....	19
2.2.3 Rozdělení termosetů .....	20
2.3 Nanášení práškových nátěrových hmot .....	24
2.3.1 Elektrostatické nabíjení .....	25
2.3.2 Elektrokinetické nabíjení .....	26
2.3.3 Podmínky pro úspěšné nanášení práškových hmot .....	27
2.4 Výroba práškových nátěrových hmot .....	28
3 VYTVRZOVACÍ PECE .....	30
3.1 typy pecí dle způsobu vypalování .....	30
3.1.1 Horkovzdušné pece .....	30
3.1.2 Infračervené pece .....	32
3.1.3 UV pece .....	33
3.2 typy pecí dle způsobu uspořádání .....	34
4 VADY A DEFEKTY TECHNOLOGIE A JEJICH ŘEŠENÍ .....	35
5 experimentální část .....	38
5.1 Návrh experimentu .....	38
5.2 Příprava vzorků .....	39
5.2.1 Nanášení práškové nátěrové hmoty .....	39
5.2.2 Vytvrzování zkušebních vzorků .....	41
5.3 Měřicí přístroje, postup a hodnocení zkoušek .....	43
5.3.1 Měření barevné odchylky .....	43
5.3.2 Měření lesku .....	44

5.3.3 Měření tloušťky povlaku .....	45
5.3.4 Mřížková zkouška .....	46
5.3.5 Odtrhová zkouška .....	49
5.3.6 Zkouška ohybem přes cylindrický trn .....	51
5.3.7 Záznam průběhu teploty v peci .....	52
5.4 Vyhodnocení měření a zkoušek .....	54
5.4.1 Vyhodnocení barevné odchylky .....	54
5.4.2 Vyhodnocení měření lesku .....	56
5.4.3 Vyhodnocení měření tloušťky povlaku .....	58
5.4.4 Vyhodnocení mřížkové zkoušky .....	60
5.4.5 Vyhodnocení odtrhové zkoušky .....	63
5.4.6 vyhodnocení zkoušky ohybem přes cylindrický trn .....	67
5.4.7 vyhodnocení záznamu průběhu v peci .....	68
5.5 ekonomická analýza .....	70
ZÁVĚR .....	74
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých zkratk	
Seznam příloh	

## ÚVOD

Diplomová práce se věnuje vlivu způsobu vypalování na kvalitu laku práškového lakování.

Metoda povrchové úpravy materiálu práškovými nátěrovými hmotami je v současné době rychle se rozvíjející metodou expandující po celém světě. Tento rozmach způsobují především výborné vlastnosti práškového povlaku, velmi malé procento odpadovosti práškové barvy a šetrnost technologie k životnímu prostředí. Díky stálému vývoji nových chemických složení práškových barev se vyvíjí také způsob jejich vypalování, dnes nazývaný vytvrzování. Tento proces je při tvorbě práškového povlaku jeho poslední fází. Má tedy zásadní vliv na finální kvalitu celého povlaku. Je také nejpomalejší a nejnákladnější částí celého procesu práškového lakování, z toho důvodu výběru vhodného vytvrzovacího zařízení musí být přikládána velká pozornost.

Práce se skládá z teoretické a praktické části. V teoretické části práce jsou popsány druhy předúprav vhodných před práškovým lakováním. Dále je rozdělení práškových barev dle jejich nosičů s využitím v praxi. Následuje popis technologií pro nanášení práškových nátěrových barev a jejich samotná výroba. Závěr teoretické práce se věnuje způsobům vytvrzování výsledného laku a jsou zde popsány některé vady s možností jejich příčiny a způsoby, kterými by mohly být odstraněny.

V experimentální části práce je zpracován experiment zaměřený na porovnání vlivu vytvrzení na následnou kvalitu laku práškových nátěrových hmot. Experiment byl proveden ve třech technologicky rozdílných pecích s dvěma různými konstrukčními řešeními. Byly testovány materiály hliník a ocel.

V první části experimentu budou změřeny hodnoty vzorků obou materiálů. U těchto hodnot bude posuzován vliv rozdílného vytvrzení na výslednou kvalitu laku a hodnocen rozdíl mezi materiály. Kvalita povrchu se bude hodnotit pomocí měření barevné odchylky, tloušťky materiálu, hodnoty lesku, přilnavosti mřížkovou, odtrhovou a ohybovou zkouškou. Vytvrzovací teploty budou zaznamenány na měřicím přístroji, který zaznamenává jejich průběh.

V poslední části bude zpracována ekonomická analýza, v které bude porovnání výrobních nákladů na výrobu 5000 ks jednoho ze vzorků. Pro výpočet budou použity hodnoty a parametry, při kterých budou zhotoveny vzorky.

Výsledkem experimentu bude vyhodnocení výsledků jednotlivých pecí a porovnání vlivu na vytvrzování na odlišné druhy materiálu. Ekonomická analýza vyhodnotí nejúspornější variantu pro zvolenou výrobu.

## 1 HISTORIE PRÁŠKOVÝCH NÁTĚROVÝCH HMOT

První historické záznamy o práškovém lakování jsou z konce 40-tých a začátku 50-tých let minulého století. V této době byly organické polymery v práškové barvě nanášeny na kovové podklady pomocí žárového stříkání.

Německý vědec Dr. Erwin Gemmer v této době vyvíjel novou metodu nanášení práškové barvy ve fluidní loži ke zpracování duroplastických práškových barev, kterou si nechal v květnu roku 1953 nechat řádně patentovat. V letech 1958 až 1965 je skoro veškerá produkce práškového lakování využívána pro její funkční využití, jako je elektrická izolace, odolnost proti korozi a otěru. Metodou nanášení práškové barvy ve fluidní loži se vrstvy nátěru pohybovaly od 150 $\mu$ m do 500 $\mu$ m. Nanášené materiály v té době se skládaly z Nylonu, polyethylenu, měkčeného polyvinylchloridu, polyesteru a chlorovaného polyethylenu. V této době se objevily i duroplastické epoxidy, které sloužily především k tepelné izolaci. Firma Bosch, která hledala vhodný izolační materiál pro elektrotechniku, vyvinula základní typ epoxi-pryskyřičného prášku.[1][2]

Z důvodu nanášení příliš silných vrstev se metoda nanášení práškové barvy ve fluidní loži dlouho neudržela. V USA vyvinuli a v letech 1962 až 1964 komerčně rozšířili i v Evropě novou a mnohem lépe průmyslově využitelnou technologii nanášení práškových barev. Firma Sames představila své elektrostatické nástřikové pistole. Tyto pistole využívaly dodnes zachovalého nanášení prášku elektrostatickým nabíjením jeho částic. Díky této metodě mohli na stejném výrobku dosáhnout menší vrstvy práškové barvy, což jím dříve nebylo umožněno.[1][2]

V letech 1966 až 1964 byly vyvinuty a přijaty na trh 4 základní typy práškových barev, které ještě dnes jsou základními typy duroplastů: epoxid, epoxi-polyester hybrid, polyuretan a polyester. Dále se barvy začaly vyvíjet různě podle použití i podle kontinentu. V Evropě dnešní venkovní barvy mají základ na polyesterových pojivech oproti Americe, kde mají barvy pro venkovní použití častěji polyuretanový základ.[1][2]

Od počátku 70. let nastal pro technologii práškového lakování celosvětově velký průlom například v Německu během let 1966 až 1970 stoupl počet práškových lakoven z 4 na 51. Největší nárůst nastal až po ruku 1980, kdy technologie a zařízení začaly být dostupnější, byly stále vylepšovány problémy s dalším zmenšováním sil vrstev barvy, výměnou barev v lakovacích pasážích a vypalovacích teplot, které omezovaly rozmanitost barev a jejich efektů.[1][2]

Od roku 1985 až dodnes prošel vývoj práškových barev a celé technologie rozsáhlými renovacemi i díky omezením v rámci ochrany životního prostředí. Práškové barvy dnes už neslouží pouze pro kovové výrobky, ale jsou rozšířeny i na materiály jako je sklo, keramika, dřevo a některé druhy plastů. Z jejich původně hlavního funkčního využití, které se rozšířilo o vzhledovou část a vznikly práškové nátěrové hmoty vysoce tepelně odolné, nízkoteplotní, metalické, strukturní, tenkovrstvé, antigrafitické, antistatické a další. Všechny tyto faktory zaručují další vývoj a pokračování této technologie do budoucna.[1][2]



## 2 PRÁŠKOVÉ LAKOVÁNÍ

Práškové lakování je známe taky pod názvem komaxit. Jedná se o moderní technologii v oblasti povrchové úpravy především kovů, ale i dalších materiálů jako je plast, sklo, dřevo. Tento povrch kromě vizuálních požadavků splňuje taky mechanické a chemické. Proces práškového lakování se skládá z povrchové předúpravy, nanášení prášku a následném vytvrzení v peci. Tato metoda povrchové úpravy je velice šetrná k životnímu prostředí, na což je v dnešní době kladen velký důraz a i proto je rozšířená po celém světě. Rozsah této metody je díky její univerzálnosti veliký. Práškuje se výrobky tzv. bílého programu (pračky, ledničky, sporáky), dále kovový nábytek, bytové doplňky, sportovní nářadí, díly v automobilním a motocyklovém průmyslu, elektrorozvodné skříně, kovové pohledy a mnoho dalších. [3,4,5]

### 2.1 Předúprava

Předúprava povrchu před nanesením práškové nátěrové hmoty má zásadní vliv na životnost celého nátěru. Vhodná volba předběžných úprav kovových podkladů ovlivní mechanické a chemické vlastnosti následného povrchu. Správnou volbou předúpravy zaručíme vytvoření konverzní vrstvy, která má za úkol zaručit adhezi mezi povrchem a naneseným práškovým povlakem. Nedostatečně provedená předúprava vede ve většině případů ke snížení přilnavosti, vzniku puchýřů a podkorodování povlaku. V případě lokálního porušení je oprava bez porušení dekorativních vlastností povlaku neproveditelná a jediným řešením je sejmutí povlaku z celého povrchu. Předúprava lze ze základního hlediska rozdělit do dvou skupin: [8]

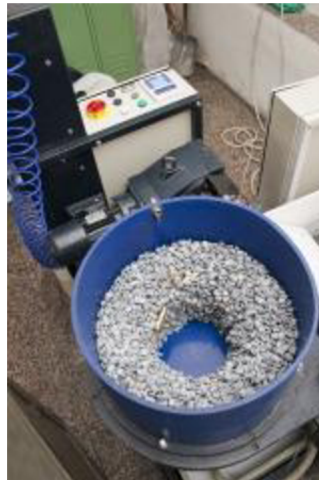
- Mechanická předúprava
- Chemická předúprava

#### 2.1.1 Mechanická předúprava

Mechanická předúprava má za úkol odstranit z výrobku mechanické nečistoty jako jsou okuje, rez, struska, které jsou na povrchu výrobku z předešlých technologických operací jeho výroby.

- **Omílání**

Pomocí omílání můžeme řešit celou řadu technologických požadavků jako je odstraňování otřepů, zaoblování hran, vyhlazování povrchu, odstranění okují, odmašťování a čištění. Jedna z technologií omílání je odstředivé omílání. Odstředivé omílací stroje mají pevný plášť a rotující dno, které uvádí do pohybu směs omílacích tělísek a obrobků. Za pomoci odstředivé síly a pevného pláště vystupuje směs tělísek a obrobků vzhůru až do bodu, kde získá nulovou kinetickou energii. Působením gravitace nastane návrat směsi zpět na rotující dno. Tento spirálový pohyb za pomoci velké odstředivé síly způsobí vzájemné tření mezi obrobky a omílacími tělisky. [9]



Obr. 1 Omílání [9]

- **Tryskání**

Tryskání známé i jako pískování je technologie úpravy povrchu materiálu proudem jemných částic. Tím dosáhneme odstranění nečistot, koroze a zdrsnění povrchu. Zdrsnění povrchu zlepšuje přilnavost pro práškové nátěrové hmoty. Příliš velké zdrsnění plochy má naopak nežádoucí účinek a to ten, že vrcholky struktury otryskané plochy jsou schovány jen malou vrstvou nátěrové hmoty. Nejčastěji používané tryskací materiály jsou ocelové broky, křemičitý písek, ocelová drť, ale mohou to být i plasty a sklo. Velikost tryskacího materiálu je 0,4 – 0,8 mm. Technolog musí vždy dobře zvolit tryskací materiál. Pro tryskání hliníku se nedoporučují ocelové tryskací materiály, ty by mohly vyvolat vznik korozního makročlánku a nastartovat tím korozi hliníku. Pro hliník se doporučuje korund nebo křemičitý písek. [10]

### 2.1.2 Chemická předúprava

Chemický proces předúpravy je mnohonásobně složitější než mechanický. V případě práškového lakování chemická předúprava nejčastěji zahrnuje odmaštění, moření, fosfátování, pasivování, chromátování a eloxování. Tyto chemické předúpravy jsou specifické pro každý druh materiálu.

Vlastnosti kovů vzhledem k předúpravě: [11]

- Mají různou chemickou odolnost vůči kyselinám, louhům
- Některé reagují překotně jiné vůbec
- Kovy a jejich slitiny mají různá povrchová napětí
- Mají různě rychlé povrchové oxidace
- Ve slitinách vykazují jiné chování než v čisté formě
- Tvoří na povrchu různě odolné vrstvy oxidů

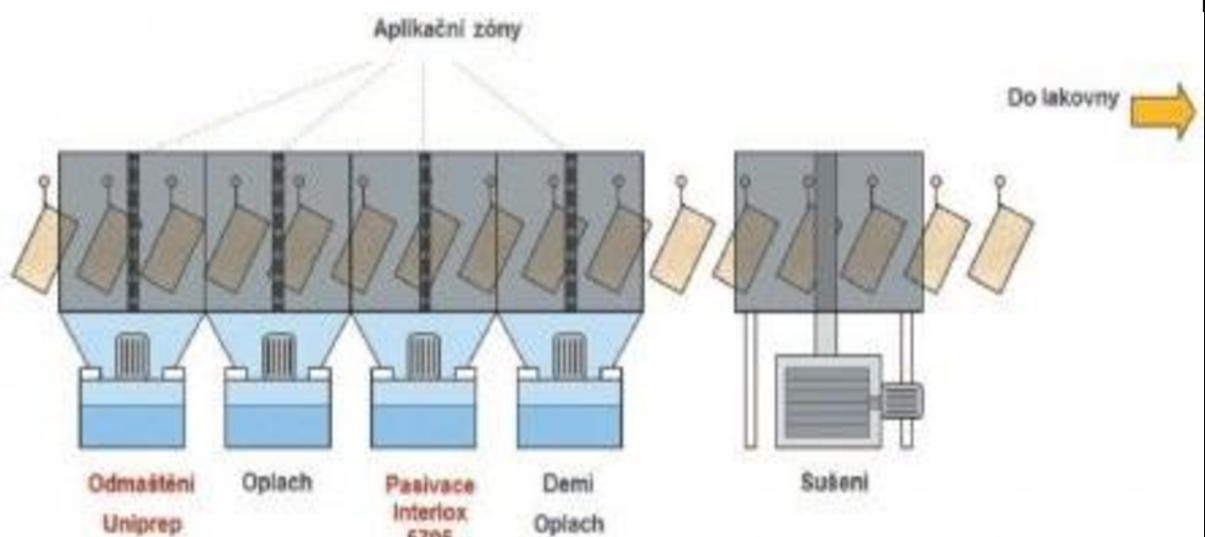
Rozdíly v předúpravách vzhledem k materiálu: [11]

- Rozdílné kovové materiály vyžadují rozdílné chemické předúpravy
- Rozdílné počty stupňů předúpravy
- Rozdílné chemické přípravky
- Rozdílné koncentrace lázní
- Rozdílné teploty lázní
- Rozdílnou dobu ponoru / postřiku v lázni
- Rozdílnou teplotu sušení po předúpravě

Z výše uvedených požadavků u chemické předúpravy je zřetelná její náročnost, avšak často je k dispozici pouze jedna linka, na které se musí všechny tyto procesy uskutečnit. Proto je velký důraz kladen právě na její univerzálnost.

Možné univerzální řešení: [11]

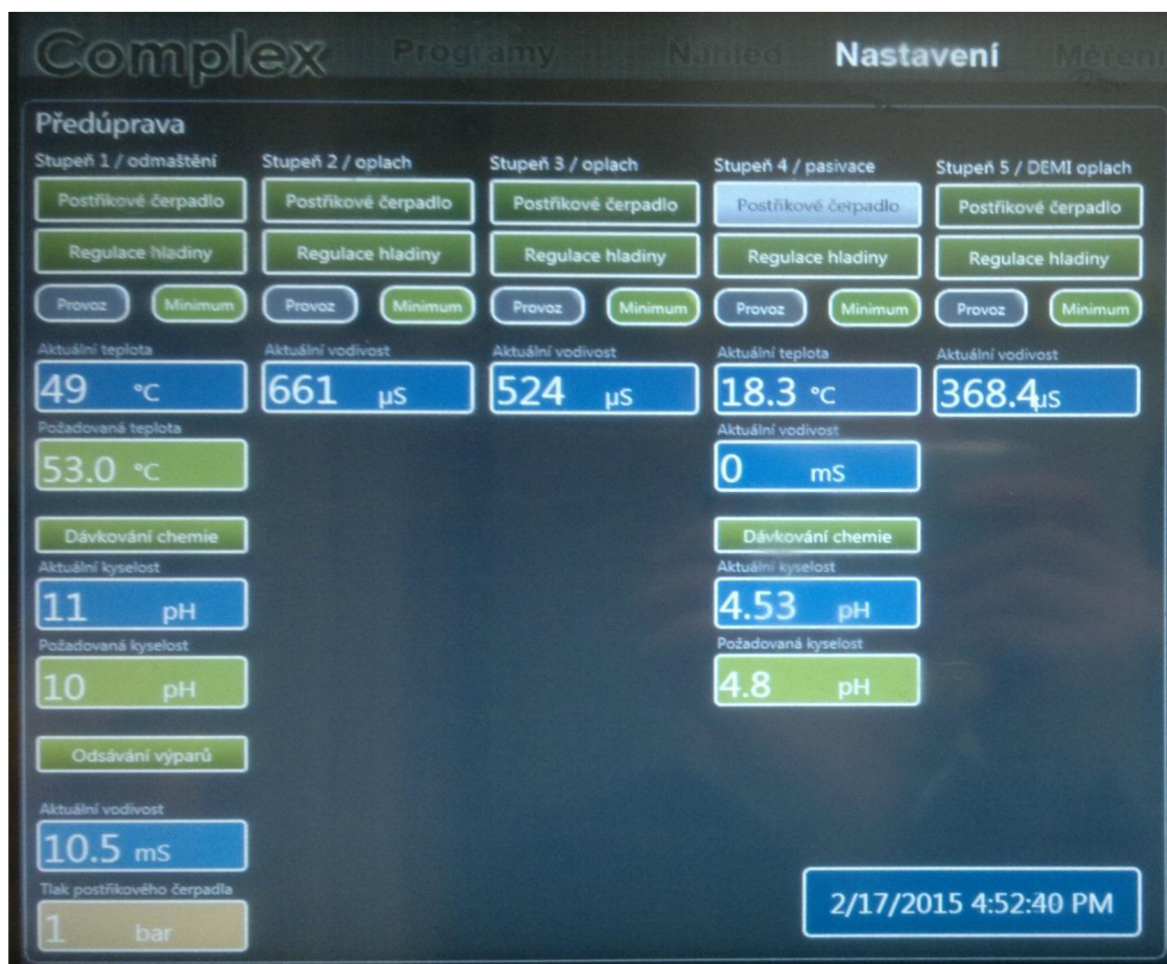
- Dlouhá linka s různými vanami / zónami pro různé materiály
- Linka s univerzálními vanami a zásobníky pro přečerpávání lázní
- Chemické přípravky, které dokáží předupravit společně Fe, Fe/Zn, Al
- Automatizace přenastavení při novém výrobku



Obr. 2 Linka chemické předúpravy [11]

Na obrázku 2 je vidět vícezónová tunelová předúpravová linka. Tato linka má 4 zóny odmaštění, oplach, pasivaci, demi oplach. Počet zón je závislý na různorodosti výroby, nabízeny jsou automatické linky s počtem zón 2 – 12.

Na obrázku 3 je vyfocený automatizovaný program linky, ve které je 5 stupňů zón. První zóna je odmašťovací, je v ní nastavená teplota, dávkování chemie, zapnuto odsávání výparů a tlak postřikového čerpadla. Druhý a třetí stupeň je u této výroby nastaven pouze na oplach. Čtvrtý stupeň je pasivace, ve které je nastavena teplota a dávkování chemie. Pátý stupeň je demi oplach. Z obrázku je patrné, že linka jde proškolenou obsluhou jednoduše přenastavit a v případě náročnější výroby ve stupni 2 a 3 zapojit další chemickou předúpravu.



Obr. 3 Panel nastavení předúpravy

Je tedy patrné, že chemická předúprava je velice důležitá, ale taky složitá. Tunelová předúprava je jedna z nejpoužívanějších. Dále máme technologie ponorové, kde jsou lázně odděleny a obrobky rozměrných rozměrů jsou za pomoci pojezdových jeřábů spouštěny a ponořeny do požadovaných částí lázně. V případě omezeného prostoru linky se využívá i automatická kompaktní komora, ve které je dle technologie výroby nainstalován počet rámu s postřikovými pistolemi. Tyto pistole vykonávají pohyb a postřik dílců, které jsou navedeny do komory. Poslední technologie chemické předúpravy se provádí ručně za pomoci vysokotlakého stroje s ohřevem v komorovém prostoru.

Základní druhy chemické předúpravy:

- **Odmašťování**

Odmašťování se je součástí každé povrchové předúpravy, má za úkol odstranit mastnoty, prach, soli a jiné chemické látky z povrchu dílce. I v tomto případě se musí vycházet z druhu nečistot, které se mají odstranit a zároveň druhu upravovaného materiálu. Organická rozpouštědla odstraňují pouze mastné nečistoty jako jsou oleje, tuky, maziva a další. Více se používají odmašťovadla s kyselými, neutrálními nebo alkalickými chemikáliemi. Tyto činidla mohou odstranit i korozní produkty, okuje a jiné oxidy. [13][14]

- Organická rozpouštědla

Jsou hořlavé i nehořlavé. Principem je rozpouštění mastnot a vznik následného roztoku, který je regenerovaný destilací. Tím je umožněno následné opětovné použití rozpouštědla. Používají se různé typy rozpouštědel od technického benzínu pro ruční odmaštění, které je časově náročné a neekologické, až po halogenové uhlovodíky. Halogenové uhliky se používají od ponorných lázních až po uzavřené systémy parních odmašťování, kde páry kondenzují na výrobku a spolu s mastnotou padají zpět do lázně a opět se destilují. [13][14]

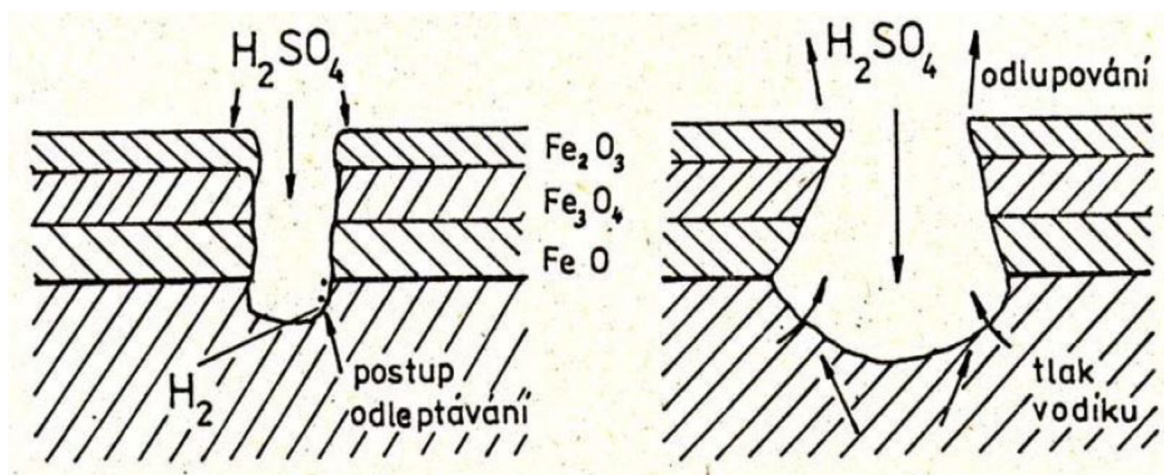
- Alkalické chemikálie

Nejčastěji se používá hydroxid sodný nebo uhličitan sodný ředěný smáčedly při koncentraci do 10% účinných látek a teplotách 40 až 70°C po dobu 1 až 20 minut. Mastnota v roztocích emulguje (zmýdelňuje) a má snahu se usazovat na hladině zásobníků s roztokem. Při odmašťování v ponorných lázních je nezbytné zajistit účinné proudění roztoku. Účinnost odmašťování snižuje tvrdá voda, kterou můžeme upravovat fosfáty. Po alkalickém odmaštění se doporučuje demi oplach. To je demineralizovaná voda a její hodnota vodivosti by neměla přesáhnout hodnotu  $G=50 \mu S$ . Běžná voda obsahuje minerální látky a příměsi ve formě soli. Tyto solné příměsi jsou nežádoucím jevem předúpravy. [13][14]



### • Moření

Moření je chemický postup pro odstraňování korozních produktů a okují z oceli, hliníku, zinku a jiných kovů pomocí kyselin či hydroxidů. Při moření se kromě nečistot rozpouští i samotný kov a jeho povrch se rozleptá. Tento jev je pro nátěrové hmoty výhodný z důvodu lepší přilnavosti mezi nanášenou vrstvou a výrobkem. Moření trvá dle použité kyseliny pro měď, ocel a zinek či hydroxidu pro hliník a zinek několik sekund až minut. Pro příklad nejlepší rozpustnost FeO je v kyselině sírové o koncentraci 8 – 14% při době moření 5 – 10 min a pracovní teplotě 60 - 80°C. Při moření dochází k nežádoucím účinkům vnikání vodíku a rozpustných solí do povrchu dílce. Soli se odstraní následným oplachem, ale vodík vniká do krystalické mřížky mořeného materiálu, kde se koncentruje a může se následně začít uvolňovat při vypalování barvy, což může způsobit korozi materiálu. Proto po moření materiálu by měla následovat pasivace. [18,10]



Obr. 4 Rozpouštění oxidů železa v kyselině sírové a odtrhávání okují vodíkem [10]

### • Pasivace

K dosažení požadované přilnavosti a korozní odolnosti je potřeba povrch nejen důkladně odmastit, ale i připravit na jeho povrchu vrstvu, která bude mít dobré vlastnosti pro přilnavost nátěrové hmoty a její protikorozní účinnost. Toho se dosahuje pomocí konverzní vrstvy železnatého nebo zinečnatého fosfátování. V předúpravě především hliníku se přišlo na to, že více účinná varianta je právě pasivace hliníku.

- Bezfosfátová pasivace – náhrada železnatého fosfátování

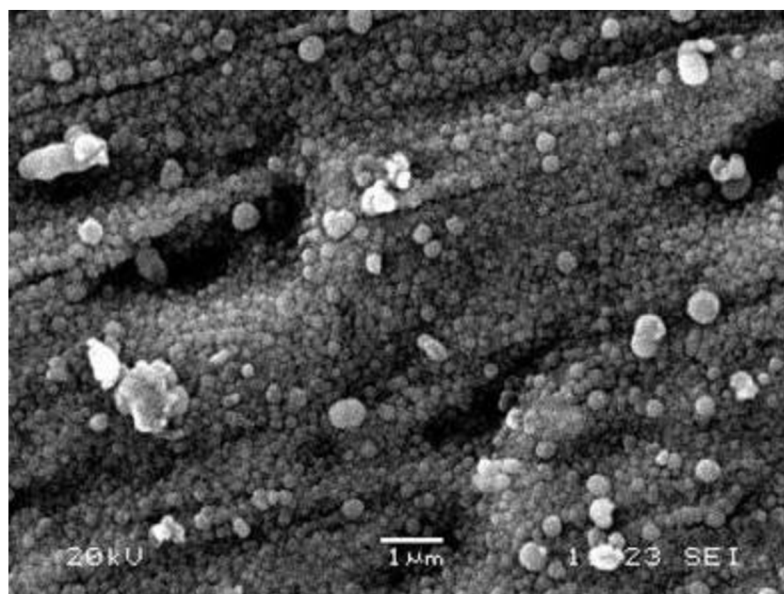
Tato technologie na povrchu předupravovaného materiálu vytváří tenkou vrstvu organického polymeru. Tato vrstva je v řádu několika nanometrů, ale zajistí srovnatelnou nebo i lepší korozní ochranu a přilnavost laku k základnímu materiálu jako železnatý fosfát. Aplikuje se postřikem nebo ponorem při teplotě 20°C a nevyžaduje následný oplach.

- Zirkonová pasivace – náhrada zinečnatého fosfátování

Tato technologie na povrchu předupraveného materiálu vytváří tenkou vrstvu oxidu zirkoničitého. Tato vrstva je vysoce korozně odolná a díky své krystalické struktuře výrazně zvyšuje adhezi laku na základní materiál.[15,19]

#### • Fosfátování

Při fosfátování se využívá schopnost některých kovů (Fe, Zn) vytvářet primární, sekundární nebo terciální fosforečnany těchto kovů ve dvojmočné formě. Trojmočný existuje pouze fosforečnan železitý, ten je však ze všech nejméně rozpustný. Za působení kyseliny fosforečné na kov probíhá fosfatizace, při které se do krystalické mřížky kovu chemicky vážou vznikající nerozpustné fosforečnany. Podle kovu se liší chemické složení fosfatizačních lázní. Pro úspěšné fosfátování je důležité udržovat předepsanou koncentraci roztoku a dodržovat předepsanou teplotu a to v rozmezí přibližně +/- 5 – 8 °C. Základní proces fosfátování oceli způsobem železitým nebo zinečnatým probíhá při teplotě 90 °C okolo 20 – 30 minut. Tato doba je pro linkové výroby nepřiměřeně dlouhá, proto se zkracuje přidáním různých oxidačních činidel (dusičnany, chlorečnany) v jejichž důsledku jsme schopni dobu ponoru zkrátit na 5- 10 minut a v případě aplikace postříkem dokonce 1 – 3 minuty. Oxidační činidla mají vliv i na teplotu, která při těchto časech klesne na 30 – 70 °C. Po procesu fosfátování se aplikuje ostřík demineralizovanou vodou. Vytvořená fosfátová vrstva se pohybuje v rozmezí 0,25 – 4 μm. Vyšší vrstvy mohou být křehké a způsobit tak horší přilnavost barvy u mechanicky namáhaných součástí.[14,19]



Obr. 5 Vrstva silnovrstvých fosfátu [16]

- **Eloxování**

Eloxování je druh povrchové úpravy hliníku. Spočívá ve vytvoření ochranné vrstvy oxidu hliníku, která hliníkový povrch hermeticky uzavře. Vytvoření umělého eloxování otevře póry na povrchu hliníku, které se pak ve speciální parní lázni uzavřou. Tato vrstva už dále neoxiduje a tím chrání před oxidací i samotný hliník. Je to podobný proces jako rezavění železa jen s rozdílem, že po vytvoření tenké vrstvy již hliník v korozi dále nepokračuje. [17]

- **Chromátování**

Chromátování je proces chemické úpravy, při kterém se na povrchu kovu vytvářejí ochranné pasivační vrstvy chromových sloučenin. Základem je obvykle dvojjaderný draselný. Tato vrstva ochraňuje kov před korozi a především napomáhá k dobré přilnavosti mezi materiálem a nanášeným práškem. Odmaštěné nebo mořené předměty se ponoří do chromátovací lázně, případně projede chromátovací kabinou s postřikem. Doba postřiku nebo ponoření trvá krátkou dobu, řádově desítek sekund. Vzniklé pasivační vrstvy jsou bezbarvé nebo zbarveny do žluta až zelena. Chromátování je vhodné na zinkové a pozinkované předměty, kde vytvořená vrstva chrání zinkový povrch před tvořením tzv. bílé rzi. [18]

## 2.2 Práškové nátěrové hmoty

Práškové nátěrové plochy tvoří zvláštní skupinu povrchových úprav. Řadí se do skupiny tzv. průmyslových nátěrových hmot, ale od nátěrových hmot se významně liší svou charakteristikou a způsobem nanášení. Místo práškové nátěrové hmoty (odtud známá zkratka PNH) se častěji používá názvu práškové plasty, díky jejich složení a vlastnostem blíže plastům než klasickým nátěrovým plochám.

Dříve byly práškové nátěrové hmoty určeny především k povrchové úpravě kovových materiálů, které snášely vytvrzovací teploty min. 150 °C. I dnes kovy především železo, hliník a měď tvoří hlavní část produkce, ale s vývojem práškových nátěrových hmot se začaly nabízet hmoty pro povrchovou úpravu skla, plastů, některých druhů keramiky a dřeva. Přes veškerý vývoj stále na některé výrobky práškové nátěrové hmoty nelze použít. Jedná se o plasty, které nevydrží vypalovací teplotu, dřevo obsahující vlhkost a materiály silně pórovité, na kterých nelze dosáhnout slitého povrchu nátěru.

Práškové nátěrové hmoty jsou ceněny nejen kvůli konečnému estetickému vzhledu, ale díky svým ochranným vlastnostem, které zvyšují životnost výrobků, ovlivňují jejich funkčnost a rozšíří jejich použitelnost až do extrémních podmínek. [19]

Výhody práškových nátěrových oproti klasickým rozpouštědlovým nátěrovým hmotám spočívají především ve čtyřech bodech.: [19]

- Nepoužívají se žádná rozpouštědla
- Ochranné vlastnosti jsou srovnatelné i lepší
- Pro většinu aplikací postačuje jednovrstvý nátěr



- Méně odpadová technologie. Použitý prášek jde recyklovat a odpadovost jde zredukovat až na 2 – 3 %

### 2.2.1 Rozdělení práškových nátěrových hmot dle nosičů

Práškové nátěrové hmoty jsou tuhé hmoty ve formě částic velikosti od 10 µm do 500 µm. Práškový plast je zpravidla tvořen syntetickou pryskyřicí, plnidlem, pigmentem a složkami pro úpravu rozlivu a vytvrzování.

Nejrozšířenější typy práškových plastů se vyrábějí v mnoha vzhledových typech a široké paletě odstínů (nejčastěji dle stupnice RAL) v různých verzích – lesk, pololesk, polomat, mat a v provedení struktury jemné a hrubé.

V současné době se ve formě práškových plastů používají termosety a termoplasty. [19]

- **Termoplasty**
- **Reaktoplasty**

### 2.2.2 Rozdělení reaktoplastů

reaktoplasty jsou skupinou plastů, které se při vyšších teplotách stávají tvárnými a při ochlazení tuhnou, až se stanou pevnými. U termoplastů můžeme tuto změnu provádět opakovaně, proto je také můžeme nazývat plasty vratné. Vytvrzená tloušťka nanášeného povlaku se pohybuje v rozmezí od 150 do 600 µm. Tuto tloušťku nejvíce ovlivňuje způsob nanášení. Většina výrobců práškových barev se jejich výrobou již nezabývá, proto je na trhu uvidíme jen zřídka. Mezi reaktoplasty řadíme především práškové plasty: [19][20]

- **Polyethylenové**

Jejich hlavní nevýhodou jsou nízké mechanické vlastnosti, což vyvažuje jejich relativně nízká cena. [19]

- **Polyamidové**

Před nanášením vyžadují speciální povrchovou přípravu. Tyto nátěry jsou určeny především pro speciální prostředí, např. chemického průmyslu nebo pro styk s horkou vodou. Oproti termosetům je nutné nanášet silnější vrstvy a zohlednit vysokou cenu. [19]

- **Fluoropolymerové**

Jsou vhodné do extrémních podmínek od – 200 °C až po +200 °C. Jejich další výhodou je dlouhodobá životnost. Cena je opět velmi vysoká a díky tomu malá nabídka. [19]

### 2.2.3 Rozdělení termosetů

Termosety jsou nevratné plasty. Oproti termoplastům se po opakovaném zahřátí nedají vrátit do plastického stavu. To je způsobeno tím, že při zahřátí proběhne chemické zasíťování a tím ztratí své počáteční plastické vlastnosti. Nespornou výhodou termosetických práškových plastů je jejich nízká vytvrzovací teplota od 120 °C do 200 °C. Mezi další výhody těchto plastů patří vysoká kryvost 30 μm až 90μm, široký sortiment odstínů, druhů struktury povrchu a dobré nabíjecí vlastnosti. Díky těmto vlastnostem se staly masivně používanou povrchovou úpravou a výrobci se zaměřili především na jejich vývoj a výrobu. Termosety dělíme dle základního pojiva na epoxidy, epoxi-polyestery, polyestery, polyuretany a akryláty.

- **Epoxidy (EP)**

Epoxidové barvy jsou složeny z pevné epoxidové pryskyřice, vybraných tvrdidel, pigmentů, plniv a aditiv. Tyto barvy se vyznačují velmi dobrou přilnavostí na různé druhy povrchu. Jejich použití je určeno výhradně pro interiér. UV záření má negativní účinky, pod jeho vlivem barva pozvolna degraduje – ztrácí lesk, křídovatí a postupně mění odstín. Křídovatění je zmatnění povrchu a zároveň probíhá rozklad polymerního filmu, což má za následek úbytek nanesené vrstvy. Další slabou stránkou je náchylnost k přepalování. To se projeví při nedokonalém vypalování, kde především bílé povrchy mohou zažloutnout. Epoxidové nátěry velmi dobře odolávají korozi a mají vysokou odolnost proti otěru. Tloušťky vytvrzeného povlaku se pohybují od 60 μm do 90 μm. Vypalovací teploty mohou začínat už od 130 °C při malé tloušťce materiálu. Hlavní použití: kancelářské potřeby, domácí spotřebiče, armatury, elektrořemesln. (vymyslet) [22,23,24]



Obr. 5 Příklad použití epoxidů [21]

- **Epoxi-polyestery (EP+PES)**

Epoxi-polyestery neboli tzv. hybridy nebo mixy jsou dnes nejvíce používanými práškovými plasty. Skládají se z kombinace epoxidových a polyesterových pryskyřic v poměrech od 30:70 až 50:50. Oblast použití je především v interiéru, ale můžeme je krátkodobě vystavovat povětrnostním podmínkám. Mají totiž na rozdíl od epoxidových typů větší odolnost proti UV záření díky namixování složek. Jejich předností je nízká cena a široká škála odstínů, lesků, typů povrchů a metalických úprav. Mezi nevýhody patří menší odolnost proti chemikáliím a rozpouštědlům. Teploty vypalování jsou opět docela nízké od 140 °C po dobu 10 min. Tloušťka optimálního povlaku po vypálení se pohybuje od 60 μm do 90 μm. Na trhu jsou i tenkovrstvé povlaky, které kryjí už od tloušťky 30 μm. Hlavní použití: regálové systémy, výpočetní technika, radiátory, domácí spotřebiče. [22,23]



Obr. 6 příklad použití epoxi-polyesterů [25]

- **Polyestery (PES)**

Základem složení je polyesterová pryskyřice. Jsou vyráběny především pro venkovní použití. Mají vysokou odolnost proti UV záření, povětrnostním vlivům a relativně vysokou tepelnou odolnost, což se využívá hodně při povrchové úpravě sporáků. Polyestery se dále rozdělují na fasádní a průmyslové. Fasádní polyesterové prášky mají zvláště přísné požadavky na jejich dlouhověkost. Používají se speciální suroviny, které mají excelentní vlastnosti a jsou schopny splňovat požadavky trvanlivosti. Díky tomu se odhaduje garantovaná doba stálosti odstínu až 25 let. Běžně se používají na hliníkový podklad. Ve

stavebnictví je můžeme vidět na oknech dveřích roletách. Výrobci práškových hmot je berou za speciální skupinu práškových barev.[22,23,24]



Obr. 7 Příklad použití stavebních polyesterů [26]

Průmyslové polyestery nepodléhají tak vysokým požadavkům jako fasádní. Proto suroviny na výrobu barev nemusí mít tak kvalitní vlastnosti. To se projeví i na ceně, která je menší. Pro průmyslové výrobky jako jsou zemědělské stroje, kempingový a zahradní nábytek, osvětlovací zařízení atd., není kladený tak velký důraz např. na stálost odstínu a lesku.[22,23,24]



Obr. 8 Příklad použití průmyslových polyesterů [27]

- **Polyuretany (PUR)**

Základem složení je hydroxylovaná polyesterová pryskyřice, vybrané pigmenty s dobrou světelnou a vodivou odolností, plniva a aditiva. Tento typ prášku se vyznačuje velkou tvrdostí, dobrou odolností proti povětrnostnímu prostředí a velmi pěkným rozlivem. Nevýhodou je jeho vysoká cena. Pro vytvrzování je nutná teplota od 180 °C. Využití je podobné jako u polyesterů, ale díky vysoké čirosti se více používají na odolné transparentní laky. Použití např. na disky kol, jízdní kola a části motocyklu. [22,23,24]



Obr. 9 Příklad použití polyuretanů [28]

- **Akryláty**

Akryláty jsou relativně novou specifickou řadou nátěrových hmot. Skládá se z akrylátové pryskyřice zasíťované různými tvrdidly. Dříve se akrylátové prášky nevyžívaly, díky své nekompatibilitě s ostatními druhy prášků. Další nevýhody jsou vysoká cena, špatná skladovatelnost, je nutno dodržovat teplotu okolo 16 °C. To je problém hlavně v letních měsících při dopravě, ale i následném skladování. Jejich aplikace na povrch dílce by taktéž měla probíhat v chlazeném lakovacím boxu. Mezi hlavní výhody patří dobrý rozliv povrchového filmu, brilantní lesk a vysoká mechanická a chemická odolnost. Díky jejich vysoké ceně mají uplatnění velmi omezené. Hlavní použití je v automobilním průmyslu. [22,23]



### 2.3 Nanášení práškových nátěrových hmot

Dnes se prakticky veškeré práškové plasty nanášejí stříkáním v elektrostatickém poli. Aby mohla být prášková nátěrová hmota použita k aplikaci na výrobek, který má být povrchově upraven, je potřeba ji převést do tekutého stavu. V aplikačním zařízení je prášková nátěrová hmota smíšená s tlakovým vzduchem a hnána ze zásobníku tlakovými hadicemi do aplikačních pistolí a z nich stříkána na výrobek. Aby nanesený prášek na výrobku ulpěl a nespadl z něj dříve, než dojde k jeho zakotvení na povrchu výrobku ve vypalovací peci, je mu v aplikačním zařízení dodána elektrostatická energie, která způsobuje přitahování jeho částic ke stříkanému výrobku a jejich ulpění na něm. Toto nabití je zajišťováno v principu dvěma způsoby: třením o vnitřní stěny aplikačních pistolí, případně i tlakových hadic a dalších pomocných dílů, vyráběných zpravidla z teflonu, nebo získáním náboje pomocí elektrody vysokého napětí umístěné u výstupové části aplikační pistole. [19]



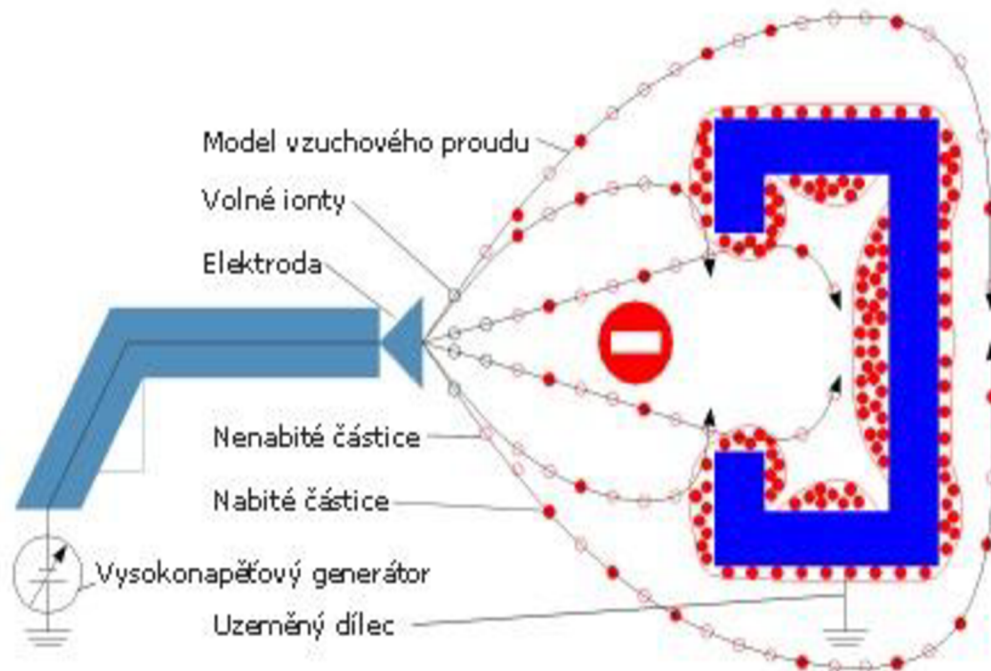
Obr.10 Mísení práškové hmoty

Nanášení se dělí do těchto dvou způsobů: [19]

- Elektrostaticky - neboli corona nabíjením při průchodu prášku vysokonapětovým elektrostatickým polem
- Elektrokineticky – neboli tribostatickým nabíjením, kde elektrostatický náboj na částicích prášku vznikne díky jejich tření

### 2.3.1 Elektrostatické nabíjení

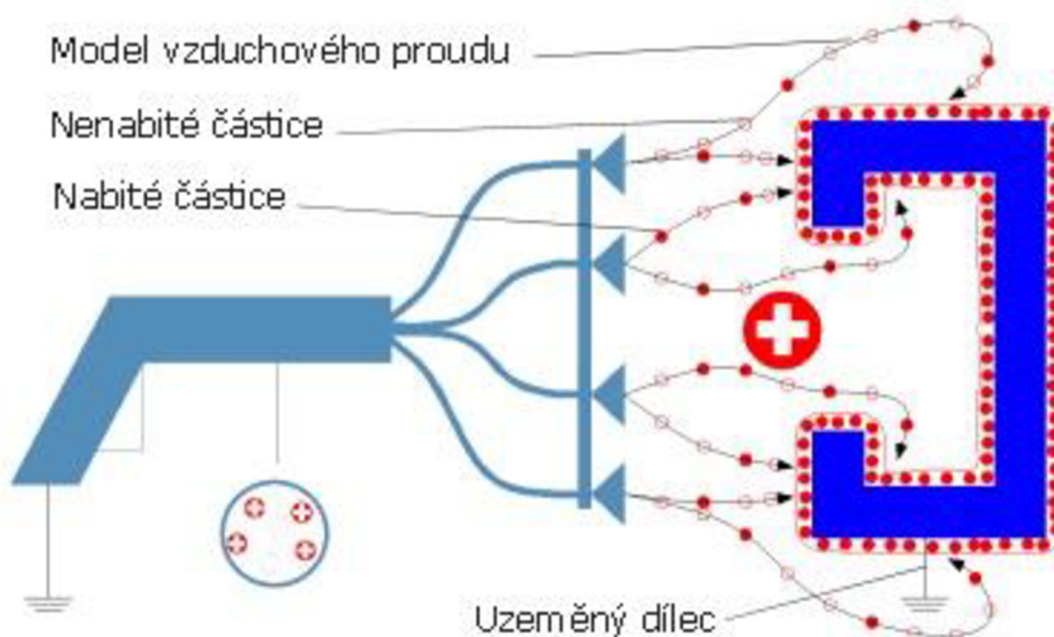
Vysoké napětí (30 – 100kV), které je soustředěno na trysce nanášecí pistole, způsobuje ionizaci vzduchu proudícího pistolí. Při průchodu nátěrového prášku tímto ionizovaným vzduchem se přichytí volné ionty na určitý počet částic prášku, čímž na částicích vznikne záporný náboj. Mezi povlakovaným předmětem a elektrostatickou nanášecí pistolí jsou přítomny záporně nabitě částice nanášeného prášku, nenabitě částice nanášeného prášku a volné ionty. Během vlastního procesu je cílem dosáhnout co největšího počtu nabitých částic prášku. Kvalita nanášecího zařízení nejvýrazněji ovlivní tento počet částic. Volné ionty jsou menší a mnohem pohyblivější než částice nanášeného prášku. Volné přebytečné ionty se rychleji pohybují směrem k předmětu a tím na něj přenášejí velké množství záporných nábojů. Regulací napětí ovlivníme množství volných iontů. Příliš vysokým napětím způsobíme nadbytečný přísun volných iontů, což má za následek zhoršení rozlivu a celkové zhoršení vzniku dobrých vlastností nanášeného povrchu. Při tomto způsobu nanášení mohou vznikat mezi pistolí a výrobkem elektrostatická pole. Tento jev se označuje jako efekt faradayovy klece a díky jeho působení je problém nanést prášek do míst s jeho menší hustotou. To může způsobit nestejnou tloušťku barvy na výrobku. Tento jev se dá předejít použitím menších hodnot napětí a v případě potřeby podstoupit pistolí od výrobku a tím zvětšit jejich vzájemnou vzdálenost, která ovlivní vznik pole. Výhodou elektrostatického nanášení je rozsah regulace napětí a tím možno aplikovat širokou škálu práškových nátěrových hmot. [29,30]



Obr.11 Schéma principu elektrostatického nabíjení práškového plástu [30]

### 2.3.2 Elektrokinetické nabíjení

Částice prášku se tribostatickým efektem (frikčně, elektrokineticky) nabíjejí. Nabíjení se děje díky rychlému pohybu částic, které se otírají o speciální druh materiálu, kterým je vyloženo válcové hrdlo stříkací pistole. V prostoru mezi elektrokinetickou pistolí a výrobkem jsou přítomny kladně nabitě částice nanášeného prášku a nenabitě částice nanášeného prášku. U elektrokinetického nabíjení se nevyužívá vysokého napětí, které generuje i volné ionty nebo díky přiblížení vytvářet elektrické pole. Proudění prášku v pistolí ovlivňuje jeho účinnost, s kterou nabíjí částice nanášeného prášku. Optimalizovat poměr nabitých částic nátěrové hmoty lze za pomoci regulace průtoku vzduchu, proudícího pistolí a poměru množství prášku se vzduchem. Na některých moderních nanášecích pistolích je zakomponován mikroampérmetr, jenž nepřímo udává hodnotu elektrického proudu a tím účinnost procesu nabíjení částic. Vysoký údaj hodnoty mA nám ale taky nezaručí dobré výsledky nanášení práškové hmoty. Hodnota naměřeného elektrického proudu závisí na množství prášku, který projde stříkací pistolí, ale nejdůležitější faktor optimalizace je poměr nabitých a nenabitých částic nátěrové hmoty. Velkou předností elektrokinetického nanášení je, že při něm nemůže dojít ke vzniku elektrického pole, které by způsobilo nestejnorodou tloušťku výsledného nástřiku. Další výhodou je jeho jednoduchost a nepřítomnost vysokého napětí. Nevýhodou však je nanášení hmot s metalickým pigmentem, které nedokáže tribo aplikace dostatečně nabít. [29,30]



Obr.12 Schéma principu elektrokinetického nabíjení práškového plastu [30]



### 2.3.3 Podmínky pro úspěšné nanášení práškových hmot

Při aplikaci práškových plastů je důležité dodržovat postupy technologie. Ty nám může určovat výrobce práškových nátěrových hmot ale taky dodavatel technologie pro nanášení. U práškových plastů máme jen malé možnosti ovlivnit jejich chování. Je proto důležité před novou sérií výrobků důsledně s dodavatelem probrat jaké jsou na lakovaný povrch kladeny požadavky. Následný prášek už ve výrobě moc neovlivníme. Co ale můžeme ovlivnit, jsou technické parametry nanášení, které dodavatele nanášecích technologií doporučují pro získání nejlepšího možného povrchu, jako jsou níže uvedené. [29]

- **Kvalita stlačeného vzduchu**

Do stříkacího zařízení se má přivádět pouze suchý a čistý stlačený vzduch. Kvalita stlačeného vzduchu ovlivňuje proces nabíjení a transportní vlastnosti prášku. Nečistoty ve stlačeném vzduchu mohou ovlivňovat vzhledové vady na povlaku. Tlakový vzduch nesmí obsahovat olej, vodu a musí být suchý. Vzduch by měl opouštět chladič při teplotě 3 °C a dokonale suchý. Koncentrace vody by neměla přesáhnout 1,3 g/m<sup>3</sup> a olej by se měl držet pod hladinou 0,1 g/m<sup>3</sup>. [29]

- **Kvalita vzduchu v lakovně**

Relativní vlhkost pracovního prostředí má velký význam pro účinnost stříkání, ideální je mezi 45 – 50 %. Regulací vlhkosti dosáhneme rychlejší a rovnoměrnější vytvoření povlaku. Zvláště důležitá je vlhkost prostředí při nanášení další vrstvy. [29]

- **Dobré uzemnění předmětu**

Při elektrostatickém nanášení se na lakovaný předmět přenáší velké množství záporného náboje. Není-li tento přebytek elektronů odveden dostatečným uzemněním, vytvoří se rychle na nanášeném povrchu silný záporný náboj, který pak odpuzuje záporně nabitě částice nanášeného prášku.

Při elektrokinematickém nanášení prášku se na lakovaný předmět přenáší prášek s kladným nábojem, to znamená, že má nedostatek elektronů. Jestliže není předmět dostatečně uzemněn, vytváří se na nanášeném povrchu silný kladný náboj, který pak odpuzuje kladně nabitě částice nanášeného prášku. To může zapříčinit nedostatečnou tloušťku povlaku. Pro bezpečný provoz je naprosto nezbytné dokonale a účinně uzemnit stříkací zařízení a stříkací kabiny. U elektrokinematické pistole je pro úspěšné nanášení nezbytnou podmínkou její dostatečné uzemnění. Prášek získává z pistole kladný náboj a je třeba uvolněné elektrony odvádět. Bez řádného uzemnění stříkací pistole by se záporný náboj hromadil a prášek by při průchodu pistolí zůstával bez nabití. Špatné uzemnění povlakovaných předmětů je nejčastěji způsobeno neočištěnými závěsy a přípravky. [29]

## 2.4 Výroba práškových nátěrových hmot

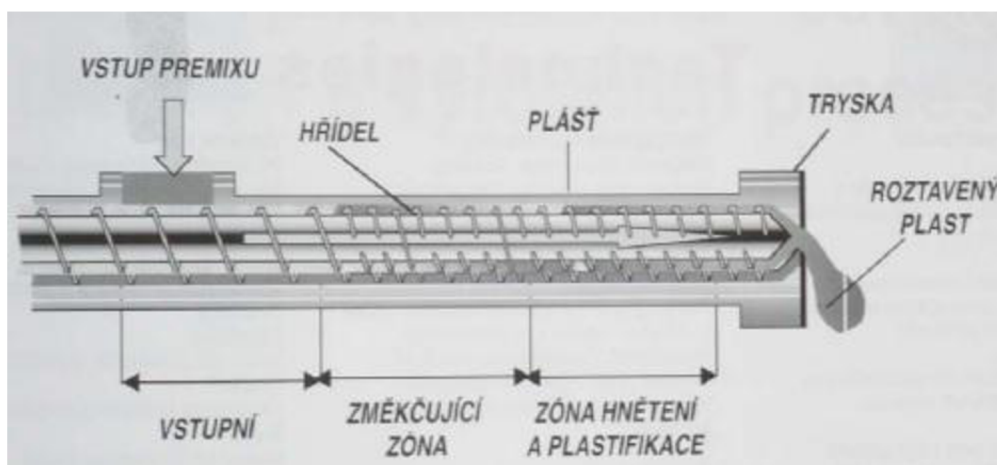
Výroba práškových barev se rozděluje do tří základních kroků. Ještě před těmito kroky je důležitá část, při které se po domluvě s odběratelem, jaké vlastnosti má barva splňovat navrhne její poměr tvrdidel, plniv, pigmentu, a dalších složek. Vytvořený mix těchto složek se nazývá premix. Když je premix připravený následují 3 fáze výroby. První fáze je extrudace následuje válcování a jako poslední je mletí.

Tab. 1 Složení práškové barvy

Surovina	Podíl celkového složení v %	Funkce
přísady	1 – 2 %	Ovlivňují tečení, strukturu a lesk povrchu
plniva	2 – 20%	Zlepšují vlastnosti aplikace Zvyšují odolnost proti otěru, tvrdosti a korozivzdornosti
pigmenty	0 – 40 %	Dodávají odstín, mají krycí a optické vlastnosti
tvrdidla	Cca 50 – 60%	Dodávají odolnost proti nárazu Pružnost a odolnost proti atmosférickým vlivům

- **Extrudace**

Extrudace neboli protlačování. Po připravení směsi tzv. premixu je nasypán do násypky extruderu. Hlavní částí extruderu je hřídel se šroubovým stoupáním. Tato hřídel žene premix přes vstupní zónu do změkčující zóny, kde začíná měnit svoji konzistenci a po průchodu zóny hnětení a plastifikace na konci vyjde roztavený plast.



Obr.13 Extruder [31]

- **Válcování**

Roztavený plast z extruderu je přiváděn k válcům. Při operaci válcování dochází k tuhnutí a rozválcování roztaveného plastu. Proces tuhnutí a válcování je velmi specifický dle výrobce jakou používá technologii. Chlazeny mohou být samotné válce, ale i dopravník. Rozválcovaný pás má námi zvolenou tloušťku a šířku. Dopravník dále vede rozválcovaný a vychladlý materiál k mletí.



Obr. 14 Proces válcování [32]

- **Mletí**

Dopravníkem se materiál dostane do drtiče. Drtič rozseká rozválcovaný plast na velké částice cca. 10 – 60 mm. Z drtiče práškový plast pokračuje do mlýna. Mlýn částice rozemele na výslednou velikost. Dále pokračují přes cyklon, který oddělí velmi jemné částice barvy a případně nečistoty. Z cyklonu prášek přes dávkovač putuje do obalu. Nejčastěji se používají krabicové balení po 20 nebo 25 kg. Pro velké průmyslové závody se mohou balení zvětšit až na 300 kg. Tyto balení už jsou bez krabice pouze v pytlích.

### 3 VYTVRZOVACÍ PECE

Teplotu a čas vytvrzování v peci je nutno volit s dle tvaru a tepelné vodivosti výrobku. Čím je tloušťka materiálu větší tím delší je potřeba čas vypalování. Přílnavost povlaku a jeho další vlastnosti závisí na kvalitě vytvrzování. Výrobky o větší tloušťce (10 a více mm) jsou více problematické. Velmi důležitý je náběh teploty vypalovaného dílce a jeho následná stálost na vytvrzovací teplotě. Špatným nastavením nebo malou výkoností pece můžeme zapříčinit zhoršení kvality a vlastností povlaku, jako jsou lesk, odstín barvy, drsnost a další. Nelze se ovšem spoléhat pouze na nastavené hodnoty na ovládacím panelu. Pro správné nastavení se používá přímé proměření vytvrzovacích teplot za pomoci měřících přístrojů se sondama připevněnými přímo na materiálu. [29]

#### 3.1 typy pecí dle způsobu vypalování

Typy pecí se dělí dle způsobu vytvrzování. Rozdíly mezi nimi jsou tvořené způsobem vytváření tepla v peci. Základní dělení rozděluje peci do tří skupin na horkovzdušné infračervené ultrafialové.

##### 3.1.1 Horkovzdušné pece

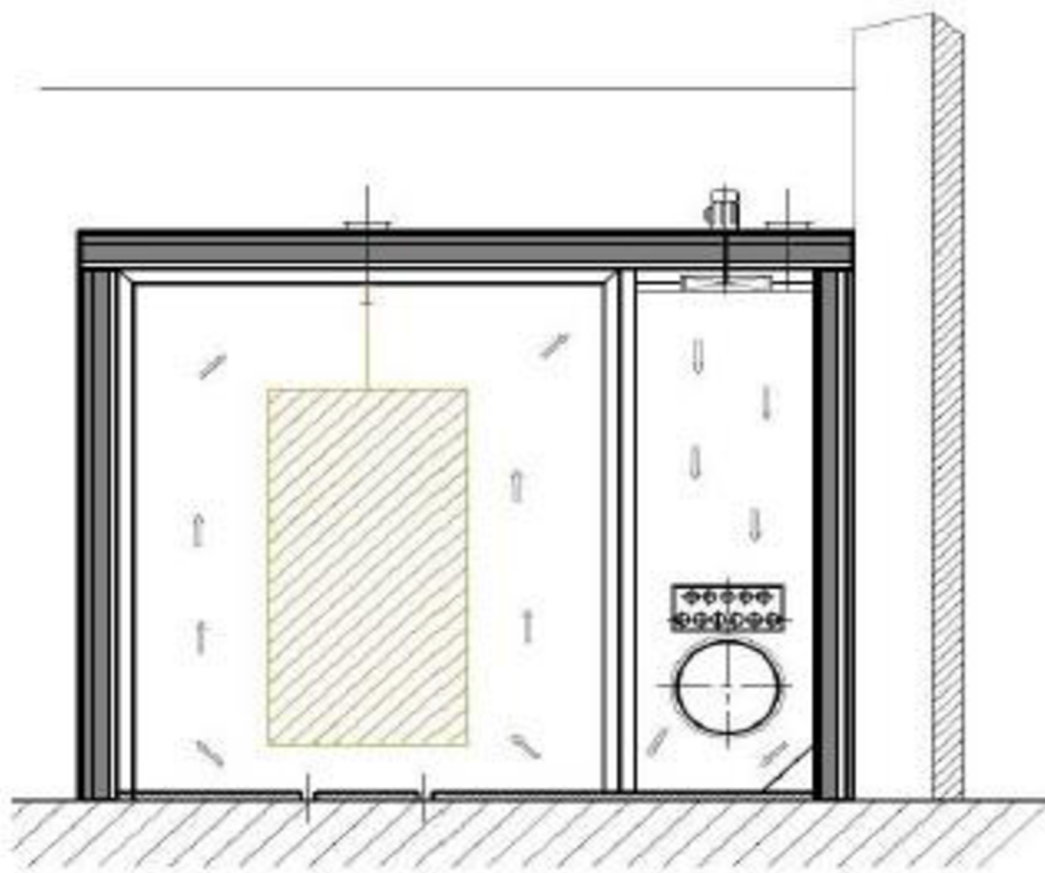
Horkovzdušné pece jsou nejpoužívanějším typem pro vytvrzování práškových nátěrových hmot. Dle topného tělesa se rozdělují dále na plynové s přímým ohřevem, plynové s nepřímým ohřevem, elektrické. Vytvrzování práškových hmot u těchto pecích funguje na principu cirkulace ohřátého vzduchu okolo výrobku, který předává teplo na jeho povrch. Velkou předností těchto pecí je jejich univerzálnost, díky které mají možnost vytvrzovat všechny typy práškových nátěrových hmot a tvary výrobků.

Nejčastější jsou pece s plynovým vyhříváním, kde dle velikosti pece jsou jeden či více plynových hořáků. Tyto hořáky vyrábí teplo, které je vháněné do pece. Náklady na provoz těchto pecí jsou jedny z nejnižších.

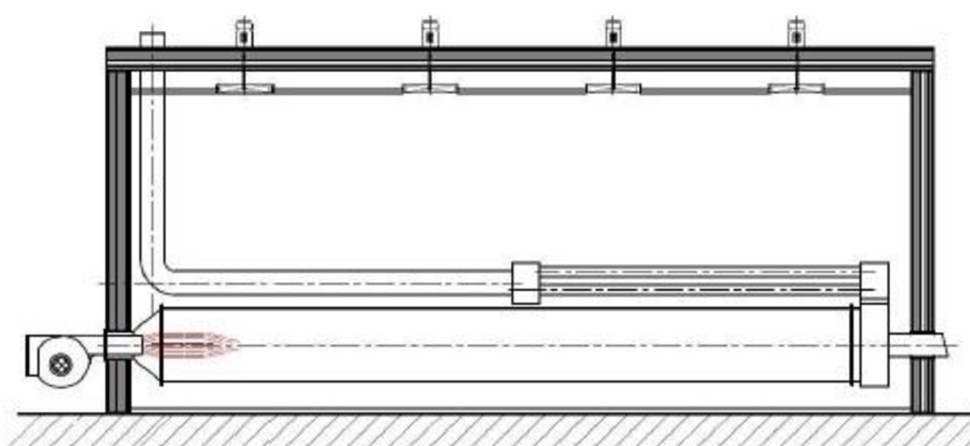
Pec s přímým ohřevem vhání ohřátý vzduch přímo z hořáků do prostoru vytvrzovací pece. Vzduch s hořákem sebou nese i spaliny. To je považováno za její nevýhodu, protože jsou obavy, že spaliny mohou ovlivnit jakost výsledného povrchu po vytvrzení.

Pec s nepřímým ohřevem obsahuje tepelný výměník, díky kterému se spaliny nedostanou do vytvrzovacího prostoru pece. Ohřátý vzduch z hořáků je vháněn do trubkového potrubí. Toto trubkové výměňkové potrubí je vedeno prostorem pece, až do venkovního prostředí. Vzduch je v potrubí poháněn pomocí ventilátorů. Díky výměňkovému potrubí je zajištěné plynulejší rozvedení teploty v peci.

Elektrická pec ohřívá vzduch topným tělesem a pomocí ventilátorů je vháněn do vytvrzovací komory.



Obr. 15 Schéma proudění vzduchu [24]

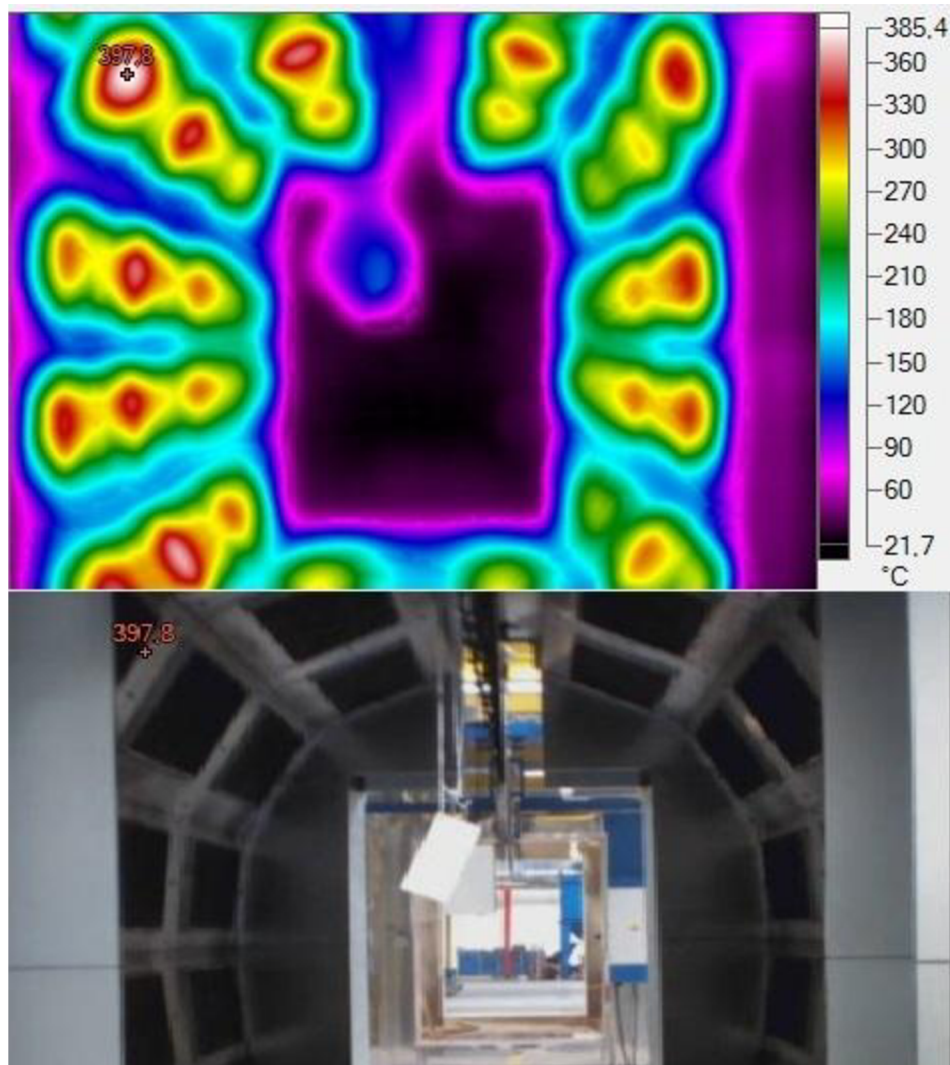


Obr. 16 Řez pece s výměníkem [24]



### 3.1.2 Infračervené pece

Infračervené vytvrzovací pece jsou technologií bezplamenovou. Pece produkují rovnoměrně nežhavé teplo s nízkou intenzitou. Tato energie o střední vlnové délce je stejnoměrně absorbována širokou škálou materiálů i práškovými barvy. Rozdílem je, že se neohřívá vzduch jako je tomu u horkovzdušných pecí, ale přímo povrch lakovaného výrobku. To způsobuje rychlejší vytvrzování práškové barvy, než u pecí horkovzdušných. Infračervené pece se rozdělují dle zdroje infračerveného záření na elektrické nebo katalytické. Díky vysokým nákladům u elektrických pecích jsou dnes používány více katalytické. Infračervený katalytický ohřívač je difuzního typu a funguje na principu procesu redukce chemické oxidace. Katalytický ohřívač dosahuje teplot okolo 480 °C a 80% přivedeného plynu převede na infračervené záření o vlnové délce 3,5 mikronů. Výhodou této pece je rychlost náběhu teploty a rychlost celkového vytvrzování. Mezi výhody patří i fakt, že nedochází k zahřívání dílce, na který je prášková barva nanášena. Nevýhoda této pece je, že infračervené paprsky dopadají pouze na venkovní část dílce a tedy dílce s dutinou nebo složitým tvarem nemohou být v této peci vytvrzovány. [33]



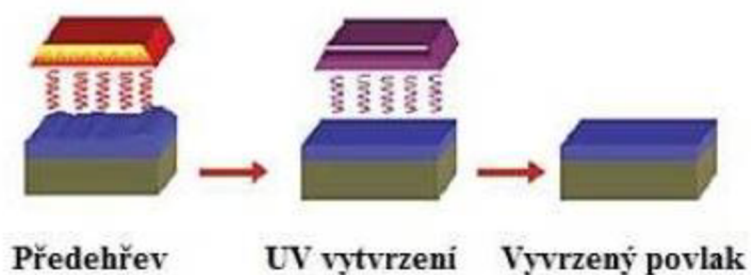
Obr. 17 Teplota rozeřtých panelů nastavení 60%



Obr. 18 infračervená katalytická pec

### 3.1.3 UV pece

Vytvrzování UV paprsky je nejrychlejším procesem vytvrzování. Toto vytvrzování se dělí do dvou částí. V první části se nanosený práškový plast předehřívá na teplotu 100 °C. V druhé části je povrch ozářen ultrafialovým světlem, které způsobí jeho vytvrzení. Předehřev na 100 °C může být proveden horkovzdušnou nebo infračervenou pecí. Za účelem urychlení procesu a zahřátí materiálu na co nejmenší teplotu se nejčastěji pro předehřívání používá infračervená pec. Nevýhodou vytvrzování UV paprsky je nutnost použití speciálních práškových nátěrových hmot s obsahem fotoiniciátorů, které umožňují okamžité zasíťování pryskyřice. Předností vytvrzování UV paprsky je rychlost vytvrzení povlaku, nízké teploty vytvrzování a následně rychlé chladnutí. Díky nízkým teplotám se tyto pece využívají hlavně při výrobě MDF desek. [34]



Obr. 19 proces vytvrzení UV paprsky [34]

### 3.2 typy pecí dle způsobu uspořádání

Vytvrzovací pece na práškové nátěrové hmoty se dělí na dva typy, komorové a průjezdné. Průjezdné pece jsou z obou stran otevřené a pomocí dopravníku projíždí dílce. Komorové pece jsou uzavřené, díly se do pece zaváží pomocí dopravníku nebo na pojízdné konstrukci po otevření vrat pece.



Obr. 20 Pec průjezdná



Obr.21 Pec komorová



## 4 VADY A DEFEKTY TECHNOLOGIE A JEJICH ŘEŠENÍ

Práškové lakování bude vždy procesem, který vyžaduje velkou pozornost při všech svých procesech jako je předúprava, nanášení práškové nátěrové hmoty a jejím vytvrzování. Při nedodržení chemických a technologických postupů, se na výsledném povrchu práškové nátěrové hmoty mohou vyskytovat vady. Tyto vady jsou nežádoucím účinkem. Některé z nich jsou viditelné okem hned po vypálení (krátery v povlaku, zežloutnutí bílé barvy a další). Vady se mohou projevit také po mechanickém otěru, například puchýř je viditelný i okem, ale při otěru se může oddělit od lakovaného materiálu. Koroze je vada, která se projeví až po určitém čase. To je pro výrobce nejméně přijatelná varianta, při které může přijít o zákazníka. Proto se celý proces řadu let sleduje a zkušenostmi se přišlo na následující vady, jejich možné příčiny a následné napravení. [35]

- **Krátery v povlaku**

Tab.2 Krátery v povlaku

Možné příčiny	řešení
Špatně odmaštěný nebo očištěný podklad	Zlepšit předúpravu
Slabá nebo znečištěná lázeň předúpravy	Doplnit nebo vyměnit za novou
Povrch po předúpravě nebyl vysušený	Zvýšit teplotu sušící pece
Porézni materiál výrobku (nebo svary)	Použít speciální barvy
Znečištění podkladu silikonem	Vyloučit silikon z celého zpracování výrobku
Smíchání prášku s jiným tipem	Používat originální prášek, vyčistit zařízení
Nedostatečně čistý vzduch (ve vzduchu je olej nebo voda)	Kontrola účinnosti vzduchových filtrů, jejich oprava nebo výměna
Málo vysušený tmel pod práškem	Tmel dostatečně vytvrdit nebo použít jiný
Velmi vysoké napětí při elektrostatické aplikaci	Snížit nabíjení nebo zvětšit vzdálenost pistolí
Velká tloušťka barvy	Aplikovat menší tloušťku

- **Barevné tečky na povlaku**

Tab.3 Barevné tečky na povlaku

Možné příčiny	řešení
Smíchání s jiným odstínem	Vyčistit zařízení, použít originální barvu
Nedostatečné vyčištění zařízení (hadice, zásobník, pistole)	Vyčistit zařízení, při vracení prášku nepoužívat jedny filtry pro více odstínů
Kontaminace během vypálení	Nevypalovat více odstínů v peci najednou

- **Nečistoty na hotovém povlaku**

Tab.4 Nečistoty na hotovém povlaku

Možné příčiny	řešení
Nečistoty nasáté kabinou při lakování	Omezit prašnost v okolí kabiny Prostříkaný prášek před vrácením sít'ovat Nepoužívat oděv uvolňující vlákna

Nečistoty na výrobku před lakováním	Povrch před lakováním ofoukat vzduchem Kontrola čistoty oplachu Nevířit prach v lakovně
Nečistoty napadané na výrobek z dopravníku	Vyčistit / profoukat dopravník
Nečistoty v zařízení	Vyčistit celé zařízení, zjistit zdroj kontaminace

- **Drobné kopečky prášku (hrudky) na povlaku**

Tab.5 Drobné kopečky prášku na povlaku

Možné příčiny	řešení
Hrudky vzniklé v zařízení	Upravit tlaky prášek/vzduch Vyměnit opotřebené díly zařízení Vadné čerpadlo pod cyklonem
Hrudky vzniklé vlhkostí	Používat prášek vytemperovaný na tep. lakovny Skladovat dle doporučení výrobce Zabránit častému střídání teplot
Vysoký podíl jemných částic	Zmenšit podíl vráceného prášku Kontaktovat dodavatele prášku
Hrubé částice v prášku	Kontaktovat dodavatele barev

- **Lesklý povrch není lesklý**

Tab.6 Lesklý povrch není lesklý

Možné příčiny	řešení
Na povrchu je mikrostruktura	Zřejmě zvlhlý prášek, zkusit prášek z originální krabice nebo zjistit, zda prášek nebyl kontaminován jiným práškem a zkusit jiný. Další možností je snížit podíl recyklovaného prášku
Barva byla přepálena	Snížit teplotu nebo čas vypalování

- **Odstín výrobku není všude stejný**

Tab.7 Odstín výrobku není všude stejný

Možné příčiny	řešení
Rozdíl teploty při vypalování	Změnit zavěšení výrobku Jiné nastavení rozváděcích klapek vzduchu
Rozdílné tloušťky materiálu	Vypalovat na nižší teplotu a zdelšíť čas

- **Hotový povlak je křehký, praská např. při lehkém úderu**

Tab.8 Hotový povlak je křehký

Možné příčiny	řešení
Málo vytvrzená barva	Upravit teplotu dle doporučení výrobce Prodloužit vytvrzovací dobu
Vysoká tloušťka barvy	Aplikovat menší tloušťku
Nevhodná kombinace barvy a materiálu	Zvolit jinou předúpravu Konzultovat s dodavatelem prášku

- **Efekt pomerančové kůry**

Tab.9 Efekt pomerančové kůry

Možné příčiny	řešení
Velká vrstva prášku	Dodržovat vrstvy do 100 $\mu\text{m}$
Malá vrstva prášku	Dodržovat vrstvy nad 60 $\mu\text{m}$
Pomalý náběh teplot při vypalování	Upravit teplotu vypalování Změnit rychlost dopravníku
Efekt zpětné ionizace při elektrostatické operaci	Snížit nabíjení nebo zvýšit vzdálenost pistolí od výrobku
Typ práškové barvy	Konzultovat s dodavatelem

- **Vzhled hrubé struktury není podle očekávání**

Tab.10 Vzhled hrubé struktury není podle očekávání

Možné příčiny	řešení
Struktura je příliš jemná	Aplikovat větší vrstvy prášku, alespoň 80 $\mu\text{m}$ Zvýšit rychlost náběhu teplot
Struktura je příliš slitá a nevýrazná	Zmenšit aplikovanou vrstvu prášku
Struktura není na výrobku stejnoměrná	Aplikovat ne celém výrobku stejnoměrnou vrstvu barvy

- **Hotový povlak je měkký, lehce se poškrábe**

Tab.11 Hotový povlak je měkký.

Možné příčiny	řešení
Nedostatečné vytvrzení barvy	Zvýšit teplotu nebo čas vypalování
Nevhodný typ barvy, např. příliš lesklé povlaky	Konzultovat s dodavatelem prášku

## 5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

### 5.1 Návrh experimentu

Experiment byl proveden na dvou typech materiálu - železo a hliník. Předúprava díky navštívení více linek na odlišných pracovištích, kde by mohlo dojít k ovlivnění z důvodu odlišných chemických složení postříkových kapalin, byla zvolena pouze odmaštění technickým lihem.

Nástřík práškové nátěrové hmoty byl prováděn ručními pistolemi, dle technického a bezpečnostního listu práškové nátěrové hmoty. Nátěrová hmota byla vždy použita stejná a nástříkové ústrojí vždy řádně pročištěno, aby nedošlo ke smísení s předešlou nanášenou barvou z výroby. Ve všech třech případech byl prováděn školeným personálem, který obsluhuje nástříkovou linku na daném pracovišti.

Vytvrzování práškové nátěrové hmoty proběhlo ve třech různých pecích. První pec je průjezdná horkovzdušná s přímým plynovým ohřevem, druhá pec je komorová horkovzdušná s elektrickým ohřevem a poslední pec průjezdná s infračerveným katalytickým ohřevem. Pece byly nastaveny dle technických požadavků práškové nátěrové hmoty pro řádné vypálení. Při vytvrzování bude zajištěno získání teplotního diagramu po celou dobu vytvrzování, aby byla viditelná křivka náběhu teploty na vypalovací teplotu a její doba vypalování.

Dále budou na vzorcích probíhat zkoušky a měření. Bude se měřit tloušťka povlaku dle normy ISO 2808, změna barevné odchylky  $\Delta E$  v barevném prostoru CIE Lab a hodnota lesku dle ISO 2813. Mezi zkoušky bude ohyb na trnu dle ISO 1520, zkouška přilnavosti povlaku mřížkovou zkouškou dle ČSN EN ISO 2409 a odtrhovou zkouškou dle ČSN EN ISO 4624

Bude provedena ekonomická analýza, kterou se vypočítá nejméně nákladná varianta pro vytvoření 5000 ks ocelového vzorku. Při výpočtu bude použito nastavení pecí, při kterých se vytvrzovaly vzorky. Z těchto nastavení se odečtou průměrné spotřeby pecí. Zbylé hodnoty jsou odměřeny při výrobě vzorků.

## 5.2 Příprava vzorků

Při přípravě vzorků bylo nutné navštívit tři různé pracoviště, aby bylo možné zajistit tři způsoby vytvrzování. V každé vytvrzovací peci se vytvořilo vždy po sedmi kusech vzorků od oceli a hliníku pro následné zkoušky a měření. Vzorky oceli (R-46) mají rozměry 120 mm na šířku a 153 mm na šířku a vzorky hliníku (ALMg1) mají rozměry 70 mm na šířku a 140 mm na výšku. Tloušťka obou vzorků byla shodná 1 mm.



Obr. 22 vzorky – vlevo ocel, vpravo hliník

### 5.2.1 Nanášení práškové nátěrové hmoty

Nanášená prášková hmota byla použita od firmy EUROPOLIVERY typ: DURPOL EE BIANCO. Jedná se o bílou barvu, s hladkým a lesklým povrchem na bázi epoxi-polyesteru (viz. Technický list – příloha 1). Nanášení prášku probíhalo na třech místech dvěma různými aplikačními zařízeními a ve třech stříkacích kabinách. V prvním případě se jednalo o aplikační zařízení SAMES E-Jet 2 s vibračním podkladem na krabici barvy a plastovou oboustrannou stříkací kabinu. V druhém případě bylo použito aplikační zařízení GEMA Optiflex, které mělo také vibrační podklad na krabici barvy a nanášelo se v menší jednostranné stříkací kabině z leštěného nerezového plechu. Poslední nanášení proběhlo stejným aplikačním zařízením jako ve druhém případě, ale stříkací kabina byla oboustranná typ MAJKA, taktéž z leštěného nerezového plechu. Všechny tři aplikační zařízení jsou elektrostatické s ručním nanášením. Při aplikaci se tedy mohly nastavit stejné hodnoty pro nanášení a byly dodrženy dle prvního nastavení, které se podle technického listu barvy zvolily – hodnota napětí 75 kV a hodnota proudu 65  $\mu$ A.



Obr. 23 první způsob nanášení



Obr. 24 Druhý způsob nanášení

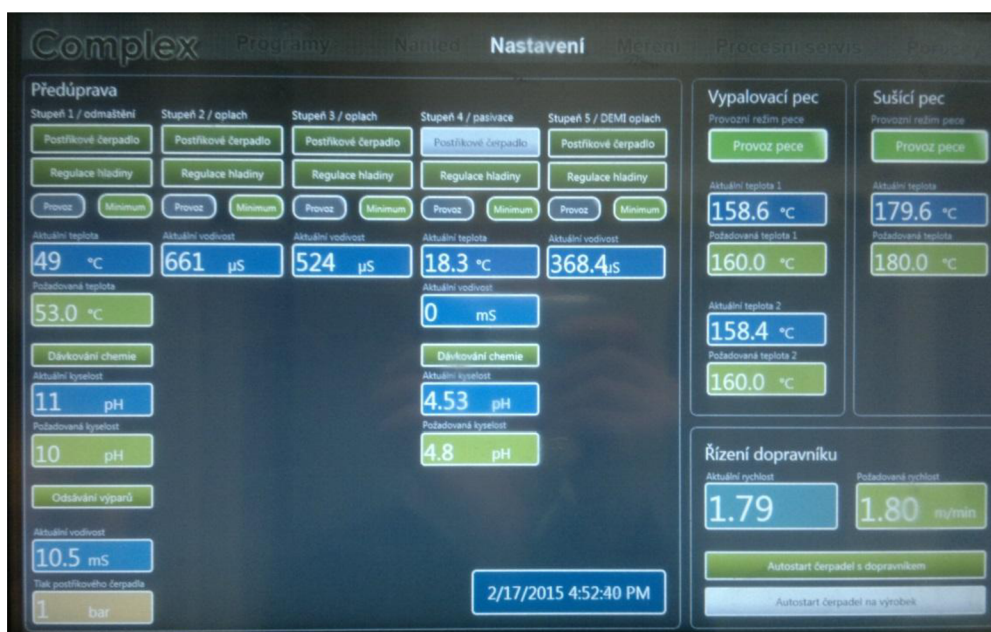




Obr. 25 třetí způsob nanášení

### 5.2.2 Vtvrzování zkušebních vzorků

Vtvrzování vzorků probíhalo ve třech technologicky rozdílných pecích. První probíhalo v průchozí horkovzdušné peci s plynovým přímým ohřevem. Tento způsob neumožňuje odvod spalin ven z prostoru pece. Délka pece je 36 metrů, jedná se o pec účkovou, tudíž 2x18 metrů vedle sebe předělené přepážkou. Na začátku a na konci pece jsou vzduchové clony, aby neunikalo teplo z pece. Rychlost dopravníku byla nastavena na  $1.8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ .



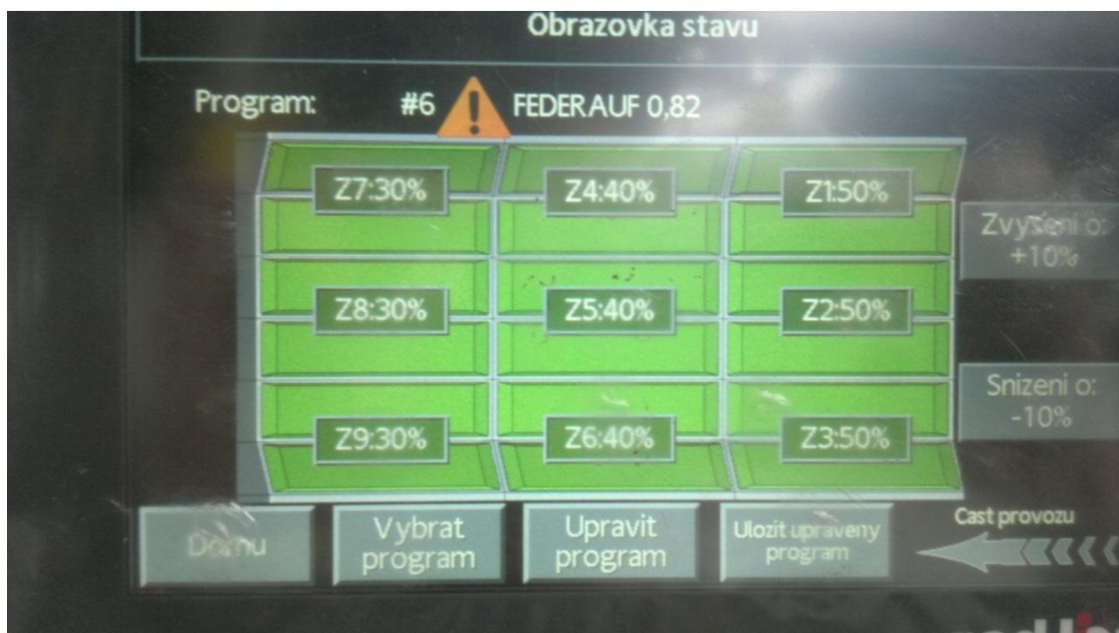
Obr. 26 Nastavení horkovzdušné plynové pece

Druhé vytvrzování probíhalo v zavázeční komorové peci horkovzdušně elektricky vytápěné. Pec měla vnitřní rozměry 1900 mm na výšku, šířku i hloubku. Vzorky po nastříkání nátěrové hmoty byly navěšeny na zavázeční pojízdnou konstrukci a zavezeny do pece.



Obr. 27 Nastavení horkovzdušné elektrické pece

Poslední vytvrzování probíhalo v průběžné infračervené katalytické peci. Její délka je 5500 mm šířka 1400 mm a výška 3200 mm. Pec má 36 infračervených panelů ve třech řadách, vždy 12 panelů po obvodu pece. Vzorky byly zavěšeny na jednoduchém podvěsném dopravníku. Zkusily se dvě nastavení výkonu panelů, a tři rychlosti dopravníku 0,6, 0,8 a 1 m/min. Po provedení zkušebních nastavení se jako nejlepší varianta zvolila nastavení výkonu dle obrázku 28 a rychlost dopravníku 1 m/min.



Obr. 28 Nastavení infračervené katalytické pece



### 5.3 Měřicí přístroje, postup a hodnocení zkoušek

#### 5.3.1 Měření barevné odchylky

Při měření barevné odchylky byl použit spektrofometr X-Rite typ SP60. Na přístroji lze nastavit hodnoty L, a, b, které by měla barva po vytvrzení dosahovat. Přístroj naměří skutečné hodnoty L, a, b, kterých dosahuje zkoušený vzorek a sám přepočítá hodnoty  $\Delta L$ ,  $\Delta a$ ,  $\Delta b$  a následně i celkovou odchylku  $\Delta E$ . Měření probíhá dle normy ISO 7724 a barevná odchylka je měřena v barevném prostoru CIE Lab.

- Parametry stroje

Tab.12 Parametry spektrofometru

Měrný otvor:	8 mm
Reprodukovatelnost:	0,10 $\Delta E$
Mezipřístrojová shoda:	0,30 $\Delta E_{cmc}$
Světelný zdroj:	Plynem plněná wolframová lampa
Čidlo:	Křemíková dioda posílená v křemíkové oblasti
Geometrie měření:	Osvit:difuzní/ měření: 8°
Trvání měřicího cyklu:	2 sekundy



Obr. 29 Spektrofometr

- Postup měření

Po zadání hodnot L, a, b, z technického listu nebo katalogu RAL pro danou barvu se spektrofotometr přiloží na měřený vzorek, spustí se měřícím tlačítkem a po přibližně dvou sekundách přístroj na displeji ukáže hodnoty L, a, b,  $\Delta L$ ,  $\Delta a$ ,  $\Delta b$  a  $\Delta E$ . Tímto je měření ukončeno.

- Hodnocení zkoušky

Každý odstín má jasně definované hodnoty L, a, b, které by po vytvrzení barvy měli být co nejvíce shodné. Pro barevnou odchylku  $\Delta E$  platí, že je rovna odmocnině součtu čtverců jednotlivých odchylek od L, a, b. Systém CIE Lab vyjadřuje odstín v barevném prostoru pomocí souřadnic pod daným typem osvětlení. [36]

Kde hodnoty L, a, b vyjadřují následující:

- L = hodnota lesku
- a+ = hodnota červené
- a- = hodnota zelené
- b+ = hodnota žluté
- b- = hodnota modré

Tab.13 Hodnocení zkoušky [10]

Velikost $\Delta E$	Popis
0 – 0,2	Téměř nepostřehnutelná
0,2 – 0,5	Velmi slabá
0,5 – 1,5	Slabá
1,0 – 2,0	Rozeznatelná
1,5 – 3,0	Jasně postřehnutelná
2,0 – 4,0	Ještě nerušící
4,0 – 8,0	Mírně rušící
0,6 – 12,0	Výrazná až velmi výrazná
12,0 a více	Rušící

### 5.3.2 Měření lesku

Na měření lesku byl použit leskoměr Sheen typ GLOSSmaster 60°, který měřil lesk pod úhlem 60°. Součástí leskoměru byla černá kalibrační destička, jejíž hodnota lesku byla 95,4 jednotek lesku. Při kalibraci bylo naměřeno 95,3 jednotek lesku. Tento výsledek byl v rámci tolerance. Leskoměr je schválen pro normu ISO 2813

- Parametry leskoměru

Tab. 14 Parametry GLOSSmasteru

Rozsah měření:	0 – 100 jednotek lesku
Rozlišení přístroje:	0,1 jednotek lesku
Reprodukovatelnost:	0,5 jednotek lesku
Úhle měření:	60°



Obr. 30 Leskoměr

- Postup měření

Po zkalibrování přístroje se přiloží na zkoušený vzorek. Přístroj provede měření, které spočívá na polarizovaném sensorickém snímání paprsků odraženého světla, které je vyzářeno světelným zdrojem pod určitým úhlem a konstantní intenzitě.

- Vyhodnocení

Naměřená hodnota jednotek lesku leskoměrem by se měla pohybovat v rozmezí udávaném v technickém listu barvy. Pokud naměřená hodnota je v udaném rozmezí výsledek zkoušky je kladný, pokud není, měřený vzorek nespňuje naše požadavky a při vytvrzování došlo k problému.

### 5.3.3 Měření tloušťky povlaku

Tloušťka povlaku byla měřena přístrojem Elcometer 456. Tento přístroj sám vyhodnocuje průměrnou hodnotu povlaku po proměření stanovených bodů a automaticky se přepíná mezi feromagnetickým a neferomagnetickým měřením. Tloušťka povlaků pro jednovrstvé lakování se pohybuje mezi 50  $\mu\text{m}$  až 150  $\mu\text{m}$ . Hodnota tloušťky je u každé barvy jiná a je jí nutno dodržet dle technického listu pro následné chemické a mechanické vlastnosti. Vliv vypalování by tloušťku povlaku ovlivnit neměl ale její hodnota je pro nás důležitá pro následné měření odtrhu, ohybu a mřížkové zkoušky. Měření proběhlo dle normy ISO 2808.

- Parametry tloušťkoměru

Tab. 15 Parametry Elcometer 456

Rozsah:	0 - 1500 $\mu\text{m}$
Rozlišení:	0 – 100 $\mu\text{m}$ = 0,1 $\mu\text{m}$
	100 – 1500 $\mu\text{m}$ = 1 $\mu\text{m}$
Přesnost:	0 – 100 $\mu\text{m}$ = 1 $\mu\text{m}$
	100 – 1500 $\mu\text{m}$ = 1-3%



Obr. 31 Přístroj na měření tloušťky

- Postup měření

Nejdříve byl nastaven mód skenování, při kterém sondou jezdíte libovolně po vzorku, a přístroj zaznamenává data. Na konci poskytne hodnoty: největší a nejmenší tloušťku a průměrnou hodnotu. Tento způsob byl vyhodnocen jako nevyhovující a následně se nastavil mód průměrování hodnot. Na vzorku se vytyčili tři oblasti, ve kterých se provedly tři měření a dostala se průměrná hodnota z oblasti.

- Vyhodnocení

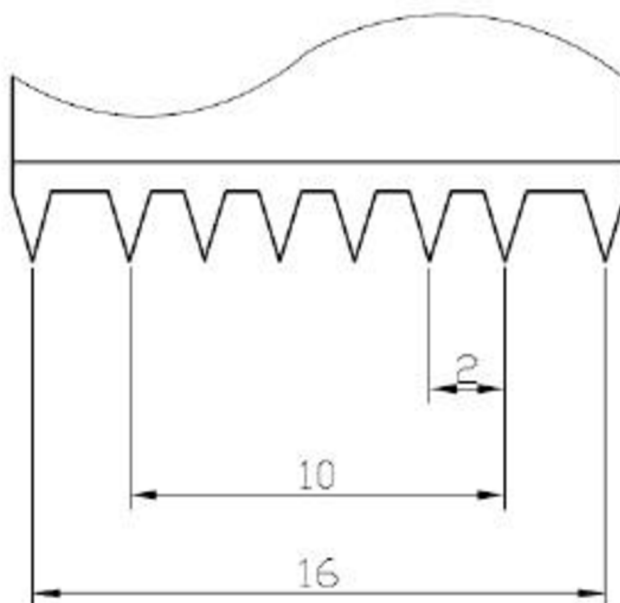
Při hodnocení tloušťky povlaku musíme vycházet z technického listu barvy, kde je udané rozmezí tloušťky. Toto rozmezí musí být dodrženo, aby byly zaručeny chemické a mechanické vlastnosti udávané výrobcem.

### 5.3.4 Mřížková zkouška

Mřížková zkouška se používá k měření kvality přilnavosti k základnímu materiálu. Pro měření byla použita sada Elcometer 107, která se skládá z řezného nástroje, lupy, samolepící pásky, a štětečku místo kterého byl použit kartáč. Dále je součástí sady sada řezných nožů, které se mění dle materiálu a tloušťky povlaku. Měření probíhalo v souladu dle normy ČSN EN ISO 2409.

- Řezný nástroj

Řezný nástroj má přesně definovanou geometrii. Jeho tvar a ostří musí být v dobrém stavu. Řezná část se skládá z šesti řezných ostří a dvou vodících hran. Řezný nástroj se musí zvolit dle normy pro danou velikost tloušťky povlaku a tvrdosti materiálu, na kterém je povlak nanesený. Pro zkoušené vzorky se zvolila vzdálenost řezných hran 2 mm, která odpovídá tloušťce povlaku 61  $\mu\text{m}$  až 120  $\mu\text{m}$  a je pro tvrdé i měkké podklady.



Obr. 32 Geometrie řezného nástroje [10]



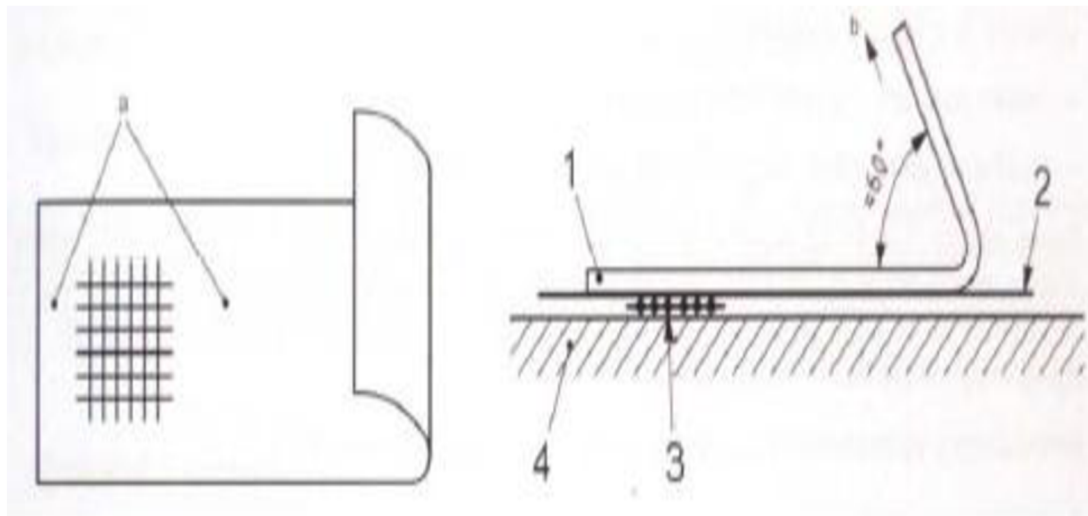
Obr. 33 Řezný nástroj [10]

- Samolepící páska

Pokud není dohodnuto jinak, je dle normy stanovena samolepící páska, jejíž přilnavost je mezi 6 – 10 N na 25 mm šířky. Tato páska musí být alespoň 50 mm široká.

- Postup zkoušky

Před provedením zkoušky musí být vzorek (4) řádně připravený. Vzorek musí být rovný a nijak jinak zdeformovaný. Velikost vzorků musí být minimálně taková, aby na jeho ploše šlo provést měření na třech různých místech vzdálených od sebe nebo od okraje minimálně 5 mm. Dle normy ISO 2808 se na vzorku musí změřit tloušťka vytvrzeného povlaku pro následné zvolení vzdálenosti řezných ostří. Řezný nástroj se drží kolmo k povrchu řezaného vzorku. Za stálého tlaku vedeme řezný nástroj po zkušební vzorku. Tlak na řezný nástroj musí být dostatečně velký, aby prořízl povlak (2) až na základní materiál. Poté provedeme řez (3) kolmý na původní stejným postupem. Kolmost řezů nám zajistí vytvoření mřížkové oblasti. Měkkým štětečkem mřížkovou oblast očistíme, aby ve vzniklých spárách nezůstaly uvolněné části povlaku. Z pásky se kus odmotá a následně se odřízne kus přibližně 75 mm dlouhý. Střed pásky se umístí na střed mřížky tak, aby pásky přibližně o 20 mm překrývala mřížkovou oblast. Pásku (1) v místě mřížky uhladíme (a) prstem pro zajištění dobrého kontaktu s povlakem. Do 5 minut po aplikaci pásky strhneme a tažením (b) pod úhlem co možná nejbližší 60° za 0,5 až 1 s. [37]

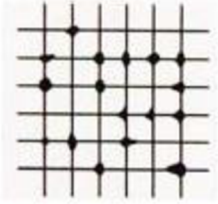
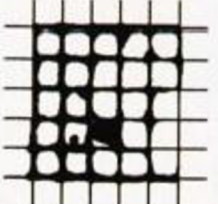

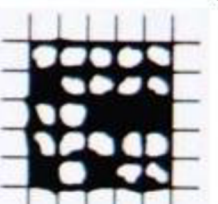


Obr. 34 Postup mřížkové zkoušky [37]

- Vyhodnocení

Vyhodnocení mřížkové zkoušky má 5 klasifikačních tříd dle normy. Po odtržení pásky se na mřížce vytvoří procentuální poškození plochy. Následně zařadíme do třídy dle jeho velikosti.



Klasifikace	Popis	Vzhled povrchu plochy s mřížkovým řezem
0	Hrany řezů jsou zcela hladké, žádný čtverec mřížky není poškozen	—
1	Malé kousky povlaku odloupnuty v místech křížení řezů. Poškozená plocha je menší než 5%	
2	Povlak se odlupuje podél řezů anebo v místech křížení řezů. Poškozená plocha je větší než 5%, ale menší než 15%	
3	Povlak se odlupuje podél řezů ve velkých pásech, částečně nebo zcela, anebo se odlupuje částečně nebo zcela na různých místech čtverců. Poškozená plocha je větší než 15%, ale menší než 35%	
4	Povlak se odlupuje podél řezů ve velkých pásech zcela anebo některé čtverce jsou odloupnuty částečně nebo zcela. Poškozená plocha je větší než 35%, ale menší než 65%	
5	Jakýkoliv stupeň odlupování, který nemůže být klasifikován ani stupněm 4	—

Obr. 35 Klasifikace mřížkové zkoušky [37]

### 5.3.5 Odtrhová zkouška

Odtrhová zkouška slouží pro měření kvality přilnavosti povrchu. Měření bylo provedeno přístrojem Elcometer 108 s digitálním ukazatelem dle normy ČSN EN ISO 4624. Přístrojová sada se skládá z odtrhoměru, zkušebního tělíska vyrobeného z nerezové oceli a lepidla

- Parametry odtrhoměru

Tab. 16 parametry Elcometer 108

Rozsah přístroje:	0 – 18 MPa
Přesnost přístroje:	1%
Rozměry testovací panenky	Vnější průměr 19,39 mm
	Vnitřní průměr 3,73 mm
	Plocha 284 mm <sup>2</sup>



Obr. 37 Odrhoměr



Obr. 38 Panenka

- Lepidlo

Pro přilepení panenek ke zkušebnímu vzorku bylo použito lepidlo Scotch-Weld MC 1500. Jedná se o kyanoakrylátové lepidlo s vysokou viskozitou a speciálním složením pro lepení kovů. Dosahuje pevnosti v tahu 20 N/mm<sup>2</sup> a doba pro úplné vytvrzení je 24 hodin.

- Postup zkoušky

Vhodným lepidlem se přilepí na měřené místo panenka. Panenka se chvíli přitlačí a následně se nechá 24 hodin lepidlo vytvrdnout. Výřez kolem měřeného místa se dle normy do tloušťky nátěru 150  $\mu\text{m}$  nemusí dělat. Po vytvrdnutí lepidla se na panenku přichytí odtrhoměr a plynule se vyšroubovává šroubovice přibližně po dobu 90 sekund. Šroubovice způsobí, že se panenka začne odtrhovat od měřeného vzorku. Po odtržení, zůstane na digitálním měřiči maximální hodnota napětí potřebného na odtrh.

- Vyhodnocení zkoušky

Vyhodnocení odtrhové zkoušky se skládá z odtrhové síly a charakteru porušení. Odtrhová síla v MPa se nám zobrazí na displeji otrhoměru. Charakter porušení je vyjádřen v procentuálním podílu porušení povlaku.

Tab. 17 Hodnocení odtrhové zkoušky [38]

A	Je kohezní porušení v podkladu
A/B	Je adhezní porušení mezi podkladem a první vrstvou
B	Je kohezní porušení první vrstvy
B/C	Je adhezní porušení mezi první a druhou vrstvou
n	Je kohezní porušení n. vrstvy mnohavrstvého nátěrového systému
n/m	Je adhezní porušení mezi n. a m. vrstvou mnohavrstvého nátěrového systému
-/Y	Je adhezní porušení mezi poslední vrstvou a lepidlem
Y	Je kohezní porušení v lepidle
Y/Z	Je adhezní porušení mezi lepidlem a tělískem

### 5.3.6 Zkouška ohybem přes cylindrický trn

Zkouška ohybem se prováděla na ohybači TQC. Tento odolný přístroj se používá pro zjišťování odolnosti barvy, laku a podobných povlaků vůči praskání nebo otrhávání povlaku ze vzorku po ohnutí vzorku kolem válcovitého trnu. [39]

- Parametry ohyboměru

Tab.18 Parametry ohybače TQC

Úhel ohybu:	190°
Průměr trnů:	2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 13, 16, 19, 20, 25 a 32 mm



Obr. 39 Ohybový přístroj [39]

- Postup zkoušky

Nejdříve se vybere průměr válcového trnu. Průměr, který by měl povlak vydržet je v technickém listu barvy (příloha 1). Tento trn se upevní do ohybového přístroje. Poté se zkoušený vzorek upevní do spodních sklíčidel. Po upevnění vzorku plynule tlačíme páku ohybníku k dorazovým zábranám. Páku vrátíme do původní polohy, uvolníme vzorek ze sklíčidel a vyjmeme ho.

- Vyhodnocení zkoušky

Tato zkouška se může vyhodnotit jako jednoduchý test vyhovuje/nehovuje podle průměru uvedeného v technickém listu, který by barva měla vydržet bez porušení. Zkouška se dá taky hodnotit jako postupné testování, kdy používáme postupně trny s menším průměrem a sledujeme, kdy se objeví praskliny.

### 5.3.7 Záznam průběhu teploty v peci

Pro první dva záznamy průběhu teploty ve vytvrzovacích pecích byla použita měřící sada CURVE –X2 USB. Touto sadou se měřilo v pecích horkovzdušných v plynové s přímým ohřevem a elektrické. Sada obsahuje měřící přístroj, snímací sondy, ochranný izolační box a software.

Měřící přístroj sleduje průběh procesu vypalování práškové barvy ve vypalovacích pecích. Shromažďuje data o provozní teplotě výrobku a jeho okolí a tyto data zobrazuje na displeji. Sondy mají malou tvarovou a materiálovou diferenci a zajišťují tak správné vlastnosti kontinuálního teplotního toku. Vodicí kabely mají vnější teflonový obal, který zabraňuje jeho poničení. Ochranný box je vyroben z vysoce kvalitní nerezové oceli a zajišťuje teplotní ochranu s vysokým koeficientem teplotního odporu. Pro měření byly použity tři typy sond, sonda s magnetem pro snímání železa, svorková sonda pro hliník a sonda pro snímání teploty vzduchu [40]

Tab.19 parametry měřicího přístroje CURVE-X2 USB [31]

Počet měřících kanálů pro sondy:	6
Rozsah měřené teploty:	Od -50 °C do 1200 °C
Přesnost měření:	0,3 °C
Rozlišení měření:	0,1 °C
Interval měření:	Od 1 sekundy



Obr. 40 Měřicí sada CURVE – X2 USB [40]

Třetí měření záznamu průběhu teploty proběhlo pomocí termokamery FLUKE Ti200. Tato kamera byla nastavená na interval zachycování snímku po jedné sekundě a pomocí automatického zaostřování byla po dobu vytvrzování mířena na vzorky. Po sestavení snímků s hodnoty teploty a časy jejich pořízení bylo možné vytvořit graf průběhu teploty.

Tab.20 Parametry termokamery FLUKE Ti200.[32]

Rozsah měření teploty:	-20 °C až 650 °C
Přesnost měření:	2 °C nebo 2% při vyšší teplotě
Infračervené spektrální pásmo	7,5 μm až 14 μm



Obr. 41 Termokamera FLUKE Ti200 [41]

#### 5.4 Vyhodnocení měření a zkoušek

Celkem se provedly tři měření a tři zkoušky a byly zaznamenány křivky teploty. Měření a zkoušky proběhly dle postupů uvedených v předešlé kapitole. V každé ze třech vytvrzovacích pecích se vyrobilo shodně po sedmi kusech vzorkách pro oba materiály. Změřené výsledky jsou zpracovány do tabulek a především u zkoušek jsou přidány fotografie.

##### 5.4.2 Vyhodnocení barevné odchylky

Jako první bylo vybráno měření barevné odchylky z důvodu třech variant nastavení v případě infračervené katalytické pece. Z těchto třech variant bude vybrán vzorek s nejmenší barevnou odchylkou pro provedení zkoušky mřížkou, odtrhové zkoušky a zkoušky ohybem

Základní hodnoty barevného odstínu:  $L = 93,22$

$a = -0,7$

$b = 2,52$



- **Změřené hodnoty pro hliník**

Tab.21 Horkovzdušná elektrická pec

vzorek	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
Č.1	94,91	-0,77	+0,96	+1,69	-0,07	-1,56	2,3
Č.2	94,97	-0,83	+0,83	+1,75	-0,13	-1,69	2,43
Č.3	94,32	-0,91	+0,58	+1,6	-0,21	-1,94	2,52

Tab.22 Horkovzdušná plynová pec s přímým ohřevem

vzorek	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
Č.1	94,87	-0,92	+0,29	+1,65	-0,22	-2,23	2,78
Č.2	94,95	-0,85	+0,47	+1,73	-0,15	-2,05	2,69
Č.3	95,15	-0,79	+0,66	+1,93	-0,09	-1,86	2,68

Tab.24 Infračervená katalytická pec – nastavení 1/rychlost dopravníku 0,5 m\*min<sup>-1</sup>

vzorek	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
Č.1	92,37	-0,6	+3,79	-0,85	+0,1	+1,27	1,53

Tab.25 Infračervená katalytická pec – nastavení 2/rychlost dopravníku 0,6 m\*min<sup>-1</sup>

vzorek	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
Č.2	94,28	-0,98	+0,96	+1,06	-0,28	-1,56	1,91

Tab.26 Infračervená katalytická pec – nastavení 2/rychlost dopravníku 1 m\*min<sup>-1</sup>

vzorek	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
Č.3	94,5	-0,87	1,66	+1,28	-0,17	-0,86	1,59

- **Změřené hodnoty pro ocel**

Tab.27 Horkovzdušná elektrická pec

vzorek	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
Č.1	94,90	-0,90	+0,72	+1,68	-0,2	-1,8	2,47
Č.2	94,83	-0,93	+0,62	+1,61	-0,23	-1,9	2,5
Č.3	94,84	-0,91	+0,72	+1,62	-0,21	-1,8	2,44

Tab.28 Horkovzdušná plynová pec s přímým ohřevem

vzorek	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
Č.1	95,12	-0,82	+0,67	+1,9	-0,12	-1,85	2,66
Č.2	95,13	-0,83	+0,59	+1,91	-0,13	-1,93	2,72
Č.3	94,98	-0,89	+0,46	+1,76	-0,19	-2,06	2,71

Tab.29 Infračervená katalytická pec – nastavení 1/rychlost dopravníku 0,5 m\*min<sup>-1</sup>

vzorek	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
Č.1	92,29	+0,07	+5,10	-0,93	+0,77	+2,58	2,84

Tab.30 Infračervená katalytická pec – nastavení 2/rychlost dopravníku 0,6 m\*min<sup>-1</sup>

vzorek	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
Č.2	94,37	-0,85	+1,46	+1,15	-0,15	-1,06	1,57

Tab. 31 Infračervená katalytická pec – nastavení 2/rychlost dopravníku 1 m\*min<sup>-1</sup>

vzorek	L	a	b	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
Č.3	94,25	-0,77	+2,19	+1,03	-0,07	-0,33	1,09

Horkovzdušná elektrická a plynová pec s přímým ohřevem dosáhly podobných výsledků odchylky  $\Delta E$  a dle hodnotící tabulky by byly zařazeny do kategorie jasně postřehnutelná pro hodnoty  $\Delta E$  1,5 – 3. U infračervené katalytické pece pro další měření byly vybrány vzorky s nastavením 2/rychlostí 1 m/min, které dle hodnotící tabulky byly zařazeny do kategorie rozeznatelná pro hodnoty  $\Delta E$  1 – 2. Tyto hodnoty se dle tabulky dají považovat za neuspokojivé, ale při vizuální kontrole barva neprokazovala žádné náznaky odlišnosti od bílého lesku, kromě nastavení 1/rychlost 0,5 m/min u infračervené katalytické pece kde vzorky obou materiálů byly lehce nažloutlé a bez lesku z důvodu přepálení.

Zajímavostí je u infračervené katalytické pece, kde u hliníku bylo při nastavení 1/rychlosti 0,5 m/min odchylka  $\Delta E = 1,53$ . Tato odchylka byla nejmenší ze třech nastavení avšak vzorek byl lehce nažloutlý a bez lesku.

#### 5.4.2 Vyhodnocení měření lesku

Pro hodnocení lesku byly zvoleny 3 oblasti viz obr 42. Měření proběhlo na třech vzorcích z každé pece a pro ukázkou byl změřen i přepálený vzorek z infračervené katalytické pece.



Obr. 42 Oblasti měření

- **Změřené hodnoty pro hliník**

Tab.32 Horkovzdušná elektrická pec

Vzorek	Oblast 1	Oblast 2	Oblast 3	průměr
Č.1	90,1	88,1	90,1	89,4
Č.2	90,8	87,6	93,0	90,5
Č.3	92,1	91,2	93,5	92,3

Tab.33 Horkovzdušná plynová pec s přímým vytápěním

Vzorek	Oblast 1	Oblast 2	Oblast 3	průměr
Č.1	89,3	91,5	89,6	90,1
Č.2	89,4	91,8	90,8	90,7
Č.3	90,2	88,1	88	88,8

Tab.34 Infračervená katalytická pec

Vzorek	Oblast 1	Oblast 2	Oblast 3	průměr
Č.1	90,9	91,1	89,8	90,6
Č.2	92,4	90,4	89,4	90,3
Č.3	89,5	89,4	89,2	89,4

Tab.35 Infračervená katalytická pec – přepálený vzorek

Vzorek	Oblast 1	Oblast 2	Oblast 3	průměr
Č.1	74,3	74,5	74,3	74,4

- **Změřené hodnoty pro ocel**

Tab.36 Horkovzdušná elektrická pec

Vzorek	Oblast 1	Oblast 2	Oblast 3	průměr
Č.1	91,1	90,5	92,1	91,2
Č.2	90,7	91,4	89,9	90,7
Č.3	92,9	92,9	90,3	92,0

Tab.37 Horkovzdušná plynová pec s přímým ohříváním

Vzorek	Oblast 1	Oblast 2	Oblast 3	průměr
Č.1	94,0	92,9	93,6	93,2
Č.2	92,8	92,1	93,5	92,8
Č.3	91,5	93,0	93,7	92,7

Tab.38 Infračervená katalytická pec

Vzorek	Oblast 1	Oblast 2	Oblast 3	průměr
Č.1	90,3	87,5	91,3	89,7
Č.2	91,7	92,6	93,0	92,4
Č.3	91,0	90,6	90,9	90,8

Tab.39 Infračervená katalytická pec – přepálený vzorek

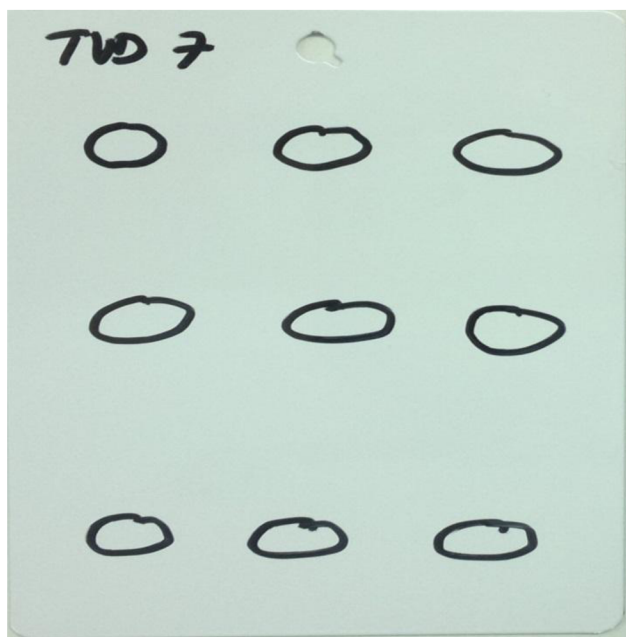
Vzorek	Oblast 1	Oblast 2	Oblast 3	průměr
Č.1	72,2	71,7	69,8	71,2

Hodnoty lesku všech vzorků se vešly do tolerančního rozmezí hodnoty lesku z technického listu, které je 80 – 100 jednotek. Mezi jednotlivými peci jsou rozdíly v řádu jednotek od nejmenšího 88,8 po největší 93,2 jednotek lesku. Mezi materiály jsou v průměru u oceli hodnoty lesku o 2 jednotky větší než u hliníku.

U přepáleného vzorku se potvrdila vizuální ztráta lesku, kde u oceli je o 5 jednotek a u hliníku o 9 jednotek lesku pod spodní hranicí.

#### 5.4.3 Vyhodnocení měření tloušťky povlaku

Měření tloušťky povlaku se provádělo na třech vzorcích v devíti bodech rozdělených do třech oblastí. Každá oblast obsahovala tři body měření. Oblasti jsou rozděleny na části horní, středová a dolní. Na výsledky měření má spíše vliv nanášení barvy, ale jsou důležité s ohledem na následné mechanické zkoušky. Pro korektní provádění a hodnocení zkoušek musí být dodržena vrstva od výrobce barvy.



Obr. 43 Oblasti měření

Všechny změřené hodnoty jsou uvedeny v  $\mu\text{m}$

- **Změřené hodnoty pro hliník**

Tab.40 Horkovzdušná elektrická pec

vzorek	Horní oblast	Středová oblast	Dolní oblast	Průměr oblastí
Č.1	96,6	92,5	93,3	94,1
Č.2	80,2	73,9	82,1	78,7
Č.3	87,9	81,3	91,9	87

Tab.41 Horkovzdušná plynová pec s přímým ohřevem

vzorek	Horní oblast	Středová oblast	Dolní oblast	Průměr oblastí
Č.1	103,6	85	71,5	86,7
Č.2	93,7	76,1	75,6	81,8
Č.3	111	100,5	101,9	104,4

Tab.42 Infračervená katalytická pec

vzorek	Horní oblast	Středová oblast	Dolní oblast	Průměr oblastí
Č.1	73,8	77,9	92,3	81,3
Č.2	89,2	90,5	91,7	90,5
Č.3	93,4	94,5	93,9	93,9

- **Změřené hodnoty pro ocel**

Tab.43 Horkovzdušná elektrická pec

vzorek	Horní oblast	Středová oblast	Dolní oblast	Průměr oblastí
Č.1	79,5	79,5	93,7	84,2
Č.2	85,1	84,1	77,2	82,1
Č.3	81,4	80,1	89	83,8

Tab.44 Horkovzdušná plynová pec s přímým ohřevem

vzorek	Horní oblast	Středová oblast	Dolní oblast	Průměr oblastí
Č.1	90,6	83,6	79,3	84,5
Č.2	96,7	70,2	74,8	80,5
Č.3	89,6	83,1	83,3	85,3

Tab.45 Infračervená katalytická pec

vzorek	Horní oblast	Středová oblast	Dolní oblast	Průměr oblastí
Č.1	93,3	98,5	82,8	91,5
Č.2	71,7	84,8	79,1	78,5

Č.3

83,3

101

96,1

93,4

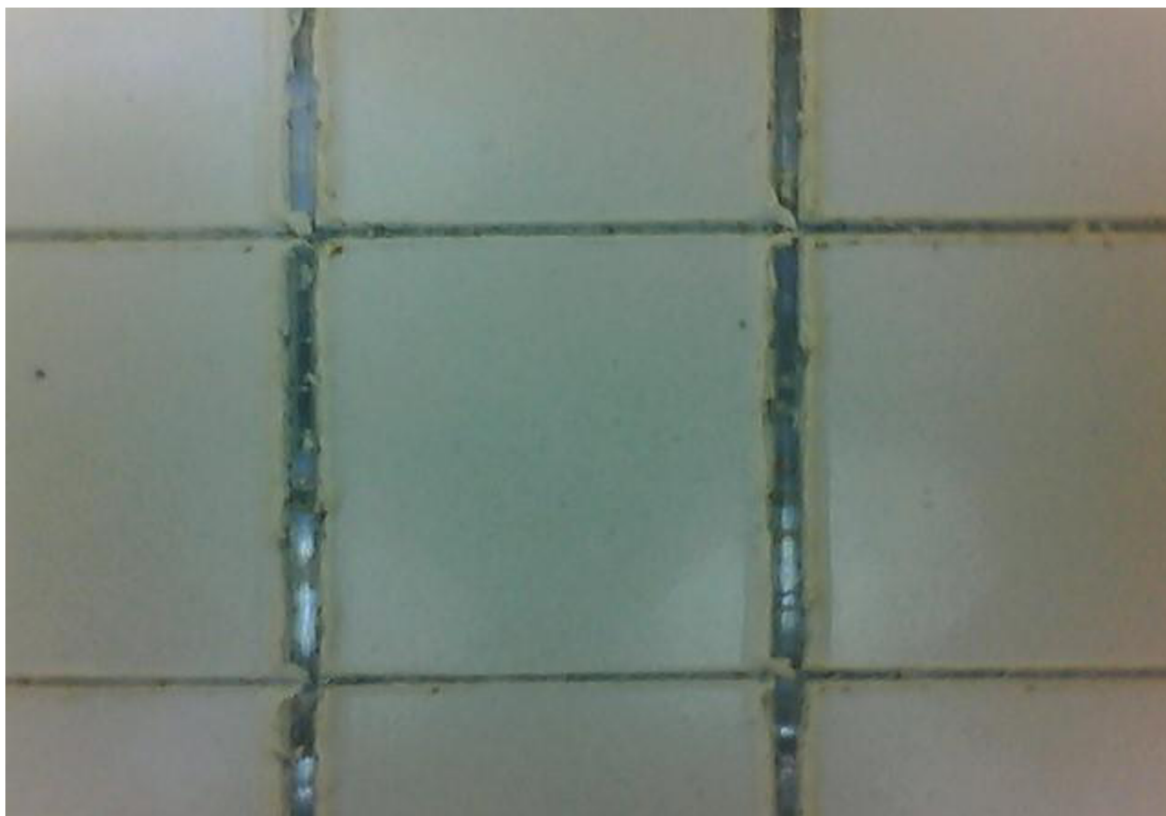
Nanesený povrch na všech vzorcích vyhovuje požadavku z technického listu. Pro získání mechanických vlastností udávaných výrobcem se tloušťka barvy má pohybovat v rozmezí 70 – 80  $\mu\text{m}$ . Z výsledku je také vidět, že žádná pec nezpůsobuje stékání barvy ani na jednom z materiálů.

#### 5.4.4 Vyhodnocení mřížkové zkoušky

Pro výsledky mřížkové zkoušky jsou nafoceny detailně části mřížek. Z kterých se následně určí jejich poškození.

- **Detailní záběry pro hliník**

Horkovzdušná elektrická pec



Obr. 44 Detail mřížkové zkoušky

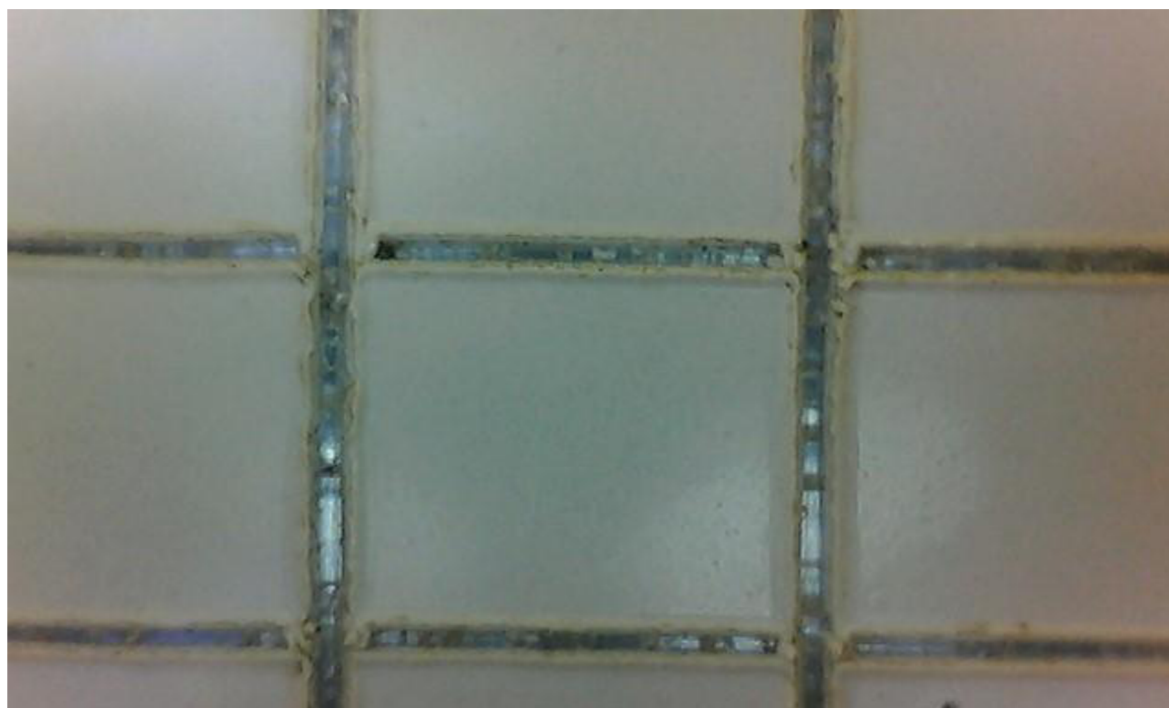


Horkovzdušná plynová pec s přímým ohřevem



Obr. 45 Detail mřížkové zkoušky

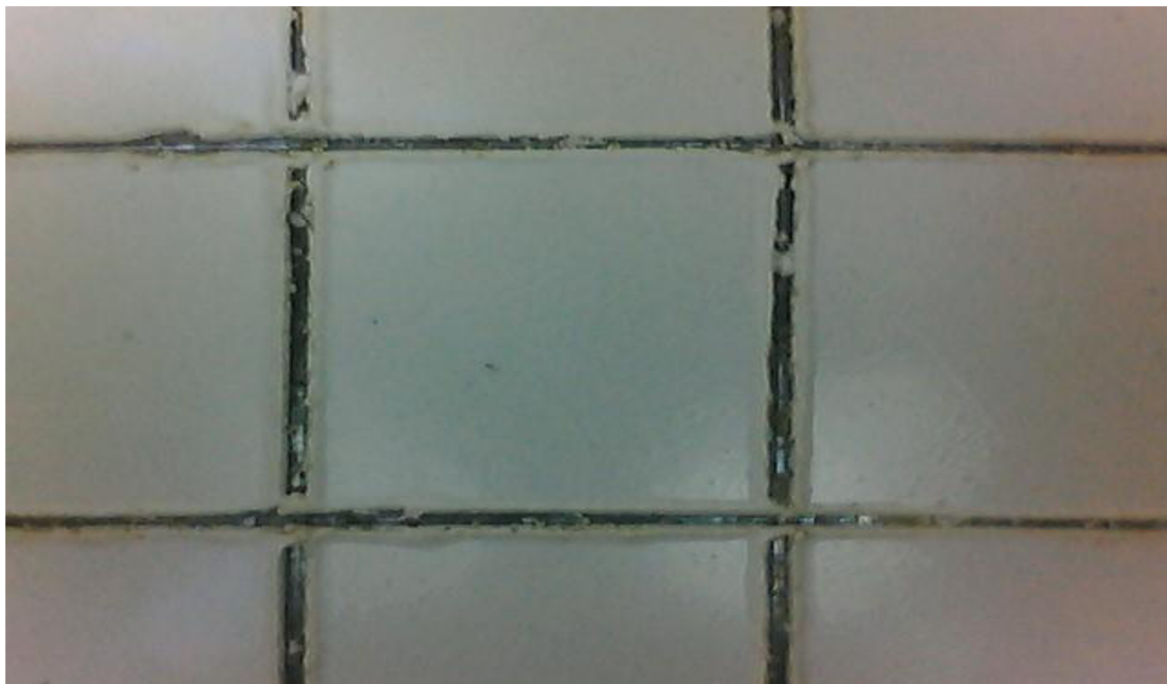
Infračervená katalytická pec



Obr. 46 Detail mřížkové zkoušky

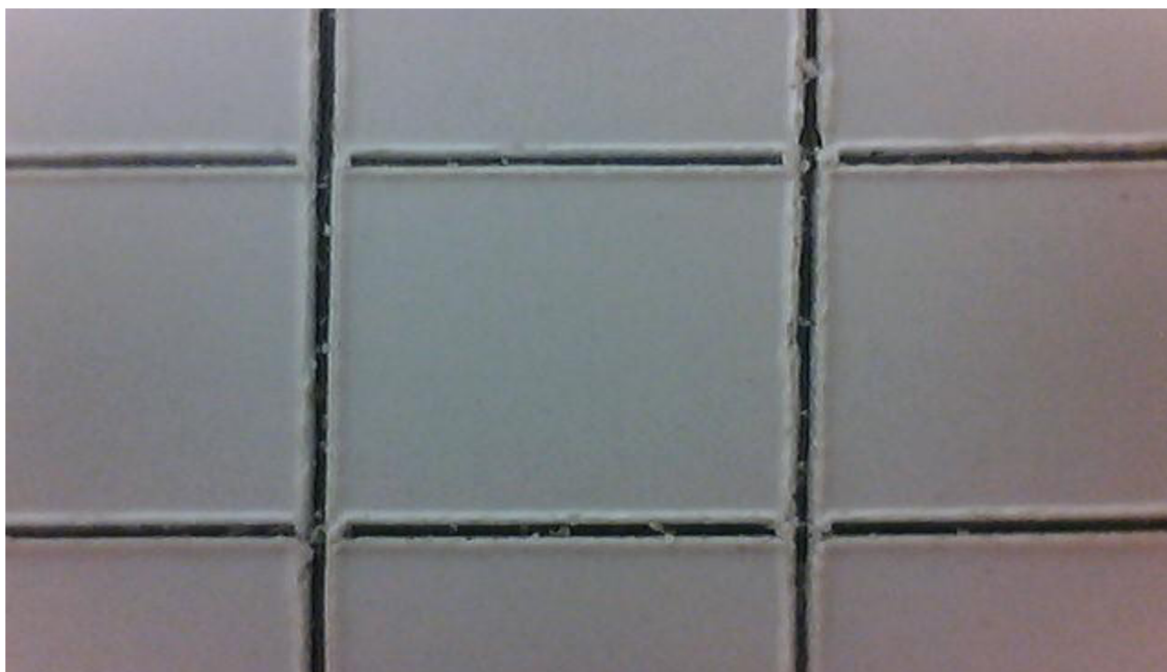
- **Detailní záběry pro ocel**

Horkovzdušná elektrická pec



Obr. 47 Detail mřížkové zkoušky

Horkovzdušná plynová pec s přímým ohřevem



Obr. 48 Detail mřížkové zkoušky

## Infračervená katalytická pec



Obr. 49 Detail mřížkové zkoušky

Z detailních záběrů všech šest vzorků shodně dosáhlo stupně 0 pro hodnocení mřížkové zkoušky. Při dodržení technických podmínek vytvrzování požadovaných výrobcem 180 °C po dobu 15 minut, test neprokázal u mřížkové zkoušky rozdílný vliv vypalovacích pecí ani v případě rozdílného materiálu.

#### 5.4.5 Vyhodnocení odtrhové zkoušky

Odtrhová zkouška byla provedena z časových důvodů pouze na jednu na každém vzorku. Z toho důvodu nemůže být zkouška považována za plně platnou. Pro dodržení normy by se mělo provést více měření. Můžeme ji ovšem brát jako orientační. Tak jako u mřížkové zkoušky byly nafoceny detailně výsledky zkoušky a v tabulce uvedeny hodnoty odtrhové síly v MPa.

- **fotografie výsledků pro hliník**

horkovzdušná elektrická pec



Obr. 50 Detail odtrhové zkoušky

Horkovzdušná plynová pec s přímým ohříváním



Obr. 51 Detail odtrhové zkoušky

Infračervená katalytická pec



Obr. 52 Detail odtrhové zkoušky

- **fotografie výsledků pro ocel**

horkovzdušná elektrická pec



Obr. 53 Detail odtrhové zkoušky



Horkovzdušná plynová pec s přímým ohříváním



Obr. 54 Detail odtrhové zkoušky

Infračervená katalytická pec



Obr. 55 Detail odtrhové zkoušky



Tab.46 Odtrhová síla v MPa

Materiál	Hork. elektrická	Hork. plynová	Infra. katalytická
Hliník	3,02	3,06	3,43
Ocel	3,52	3,79	3,63

Odtrhové síly se liší mezi materiály i mezi peci. U hliníkových vzorků infračervená katalytická pec vydržela o přibližně 0,4 MPa více než horkovzdušné pece. U vzorků z oceli vydržela nejvíce pec plynová. V porovnání mezi materiály má ocel s výjimkou hliníkového vzorku s infračervené katalytické pece hodnoty o více než 0,5 MPa lepší než hliník

K porušení povlaku došlo ve třech případech v jednom přibližně 70% A/B a ve dvou pod 10 % A/B. Zbylé vzorky jsou hodnoceny 100 % Y/Z. V porovnání pecí dopadla nejlépe pec elektrická, která měla oba vzorky bez porušení. Materiál dopadl lépe ocelový s jedním porušením do 10%.

#### 5.4.6 vyhodnocení zkoušky ohybem přes cylindrický trn

Tato zkouška byla provedena jako poslední. V technickém listu barvy je uvedeno, že při dodržení tloušťky nátěru by barva měla vydržet ohyb přes cylindrický trn o průměru 4 mm. Tímto trnem se zkouška provedla a následně se trny zmenšovaly a testovalo se, při jakém průměru dojde k prasklinám.

- **Výsledky zkoušky pro hliník**

Tab.47 Výsledky ohybové zkoušky

Průměr trnu	Hork. elektrická	Hork. plynová	Infra. katalytická
4 mm	Vyhovuje	Vyhovuje	Vyhovuje
3 mm	Vyhovuje	Velké praskliny	Lehké praskliny
2 mm	Lehké praskliny	----	Velké praskliny

- **Výsledky zkoušky pro ocel**

Tab.48 Výsledky ohybové zkoušky

Průměr trnu	Hork. elektrická	Hork. plynová	Infra. katalytická
4 mm	Vyhovuje	Vyhovuje	Vyhovuje
3 mm	Vyhovuje	Vyhovuje	Vyhovuje
2 mm	vyhovuje	Lehké praskliny	Lehké praskliny



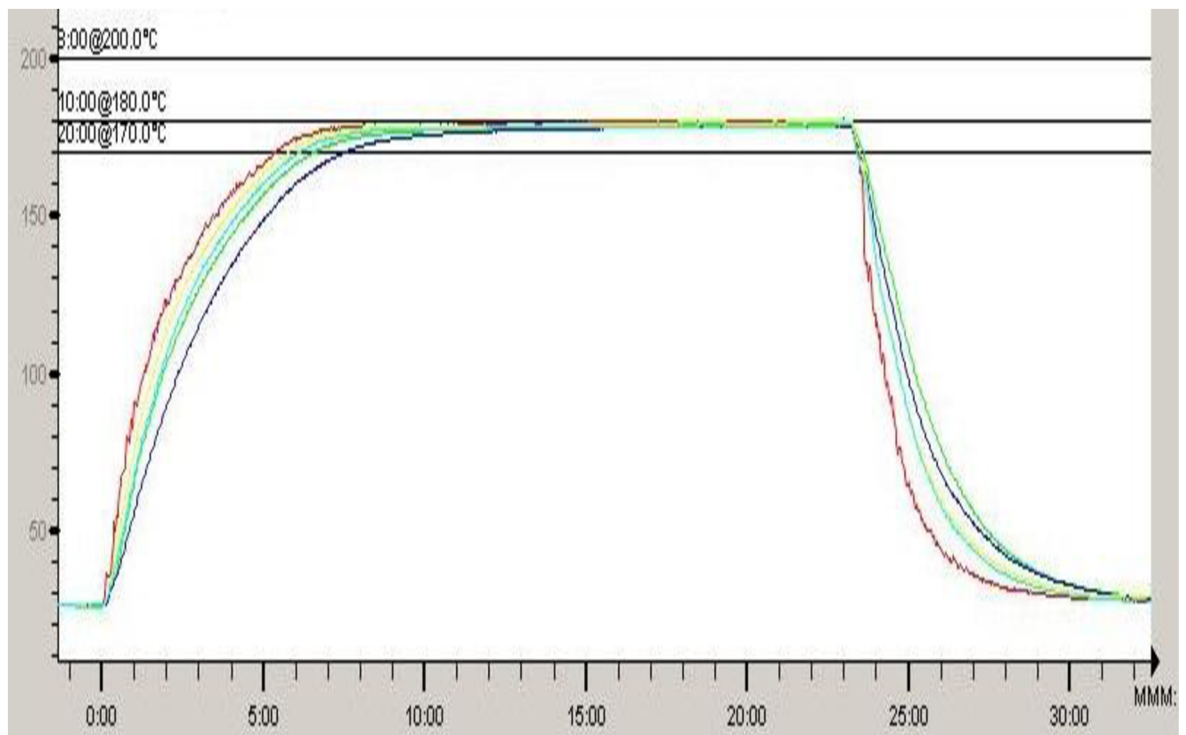
Obr.56 Rozdíl mezi lehkou a velkou prasklinou

Tuto zkoušky splnily všechny tři pece u obou materiálů. Stanovené 4 mm z technického listu vydržely bez prasklin. Následné zmenšování průměrů trnu nejlépe vydrželi vzorky z horkovzdušné elektrické pece. V porovnání mezi materiály dopadla lépe ocel, která vydržela u všech vytvrzovacích pecí ohyb přes trn průměru 3 mm.

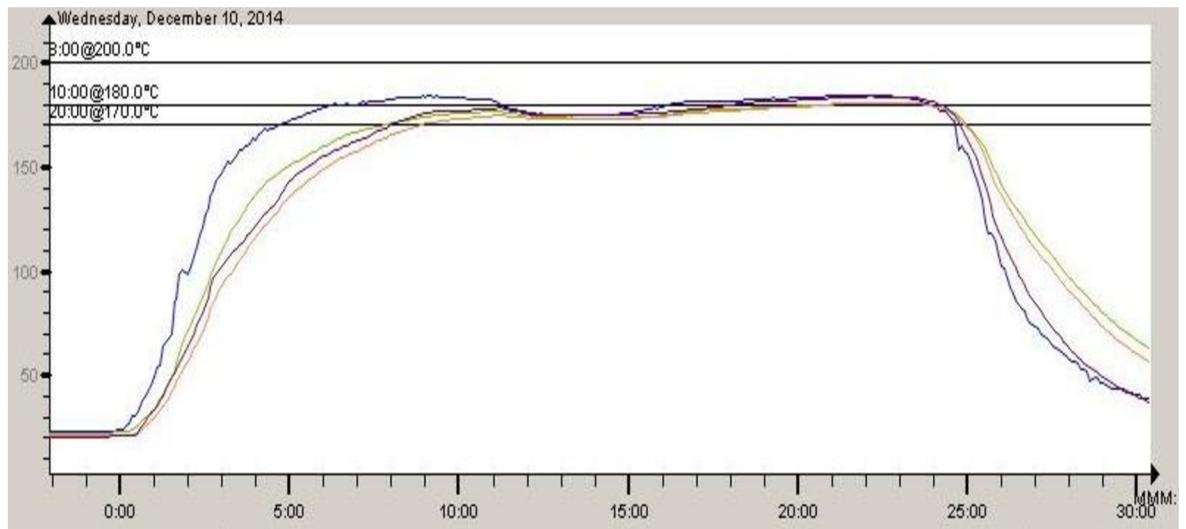
#### 5.4.7 vyhodnocení záznamu průběhu v peci

červená barva je sonda vzduchu, žlutá a světle modrá materiál hliník, modrá a zelená materiál ocel.

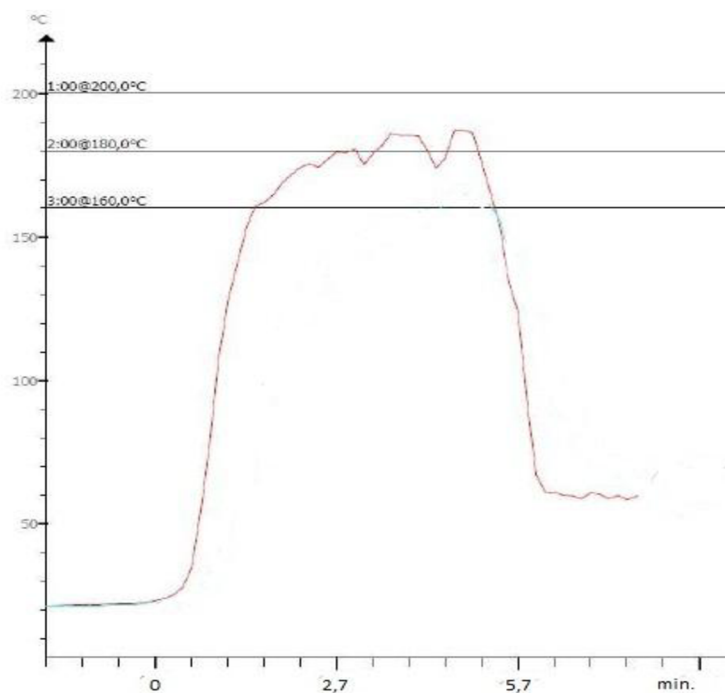
#### Pec horkovzdušná elektrická:



Graf. 1 Teplotní Křivka

**Pec horkovzdušná plynová s přímým ohřevem:**

Graf. 2 Teplotní křivka

**Pec infračervená katalytická:**

Graf. 3 teplotní křivka

Z grafů je vidět, že uzavřená komorová pec elektrická nezaznamenala kolísání teploty a náběh teploty byl plynulejší než u pece plynové. Časy vytvrzování u těchto pecí byly shodné a dodržely 180°C/ 15 min. Infračervená katalytická pec měla náběh teploty razantnější a doba vytvrzování byla přibližně o pětinu času menší. Z výsledků testu neprojevila horší vlastnosti při rychlém vypalování.

### 5.5 ekonomická analýza

Pro vytvoření ekonomické analýzy byla použita nátěrová hmota EUROPOLIVERY typ: DURPOL EE BIANCO s běžnými vypalovacími podmínkami 180 °C / 15 minut. Vytvrzovaný díl byl vybrán ocelový vzorek o tloušťce 1 mm a rozměrech 120 mm na šířku a 153 mm na výšku. Pro vytvrzení dílů byla použita pec horkovzdušná elektrická komorová o rozměrech 1900 mm výška, 1900 mm šířka a 1900 mm hloubka. Dále horkovzdušná pec plynová s přímým ohřevem o délce 36 metrů a infračervená katalytická pec o délce 5500 mm. Obě tyto pece jsou průjezdné s dopravníkovým zavěšením. Vyhodnocení proběhne pro výrobu 5000 kusů výrobků.

V ekonomické analýze se vyhodnotilo porovnání nákladů pro zvolenou sérii 5000 kusů. Výsledky jednotlivých pecí budou přehledně zaznamenány v tabulce. Ve výpočtu se počítá se spotřebou pecí na hodinu provozu při daném nastavení. Cena plynu je počítána 7 Kč za 1 m<sup>3</sup> spotřebovaného plynu. Cena elektrického proudu je počítána 5 Kč za 1 KW/h. Na hodinovou práci dělníka je počítáno 400 Kč. Uvedené časy operací jsou spočítány z nastavení pecí, dopravního systému a získanými zkušenostmi. Ve výpočtu nákladů na sérii nejsou zahrnuty – pořizovací ceny pecí, náklady na spotřebovanou barvu, fixní náklady, spotřeba energie na vyhřátí pecí a další.

- **Horkovzdušná elektrická pec**

Rozměr zavážecí klece (obr. 21) 1800 mm šířka, 1800 mm hloubka, 5 zavěšovacích pater na výšku.

- varianta maximální dávky

Maximální dávka:	Počet tyčí v dávce	Čas nalakování dávky
$D = x \times y \times p$	$D_t = y \times p$	$t_t = D_t \times t_l$
$D = 9 \times 17 \times 5$	$D_t = 17 \times 5$	$t_t = 85 \times 1$
$D = 850 \text{ ks}$	$D_t = 85 \text{ ks}$	$t_t = 85 \text{ min}$

Počet zavážek:	Počet lakýrníků:	Celkový čas vytvrzování
$Z = \frac{Q}{D} = \frac{5000}{850}$	$L = \frac{t_t}{t_d} = \frac{85}{30}$	$t_c = z \times t_d$
$Z = 6$	$L = 3,03$	$t_c = 6 \times 30$
		$t_c = 180 \text{ min}$

Pro další výpočty převedeme čas  $t_c = 180 \text{ min.} \Rightarrow t_c = 3 \text{ hodiny}$

Náklady na sérii 5000 ks:

$$N_{el.} = N_P + N_Z$$

$$N_{el.} = 600 + 6300$$

$$N_{el.} = 6900 \text{ Kč}$$

Provozní náklady:

$$N_P = t_c \times c_e \times P_o$$

$$N_P = 3 \times 5 \times 40$$

$$N_P = 600 \text{ Kč}$$

Mzdové náklady:

$$N_Z = t_c \times q \times (L + p_p)$$

$$N_Z = 3 \times 420 \times (3 + 2)$$

$$N_Z = 6300 \text{ Kč}$$

- o varianta jeden lakýrník

Maximální počet tyčí:

$$D_t = \frac{t_D}{t_l} = \frac{28}{1}$$

$$D_t = 28 \text{ ks}$$

Maximální dávka:

$$D = D_t \times x$$

$$D = 28 \times 10$$

$$D = 280 \text{ ks}$$

Počet zavážek:

$$Z = \frac{Q}{D} = \frac{5000}{280}$$

$$Z = 18$$

Celkový čas vytvrzování:

$$t_c = Z \times t_D = 18 \times 30 = 540 \text{ min.} \Rightarrow 9 \text{ hodin}$$

Náklady na sérii 5000 ks:

$$N_{el.} = N_P + N_Z$$

$$N_{el.} = 600 + 6300$$

$$N_{el.} = 13140 \text{ Kč}$$

Provozní náklady:

$$N_P = t_c \times c_e \times P_o$$

$$N_P = 9 \times 5 \times 40$$

$$N_P = 1800 \text{ Kč}$$

Mzdové náklady:

$$N_Z = t_c \times q \times (L + p_p)$$

$$N_Z = 9 \times 420 \times (1 + 2)$$

$$N_Z = 11340 \text{ Kč}$$

- **horkovzdušná plynová pec s přímým ohříváním**

rychlost dopravníku 1,8 m/min, lakování kontinuální.

Délka zavěšení výrobků:

$$L_D = (l_a + l_m) \times Q$$

$$L_D = (0,01 + 0,1) \times 5000$$

$$L_D = 550 \text{ m}$$

Technologická dráha:

$$L_t = l_p + l_l + l_{pl}$$

$$L_t = 36 + 10 + 9$$

$$L_t = 55 \text{ m}$$

Celková dráha výrobku:

$$L_c = L_D + L_t$$

$$L_c = 550 + 55$$

$$L_c = 605 \text{ m}$$

Celkový čas vytvrzování:

$$t_c = \frac{L_c}{v} = \frac{605}{1,8} = 336 \text{ min.} \Rightarrow 5,6 \text{ hodin}$$

Náklady na sérii 5000 ks:

$$N_{pl.} = N_P + N_Z$$

$$N_{pl.} = 600 + 6300$$

$$N_{pl.} = 7742 \text{ Kč}$$

Provozní náklady:

$$N_P = t_c \times c_p \times s$$

$$N_P = 5,6 \times 7 \times 17,5$$

$$N_P = 686 \text{ Kč}$$

Mzdové náklady:

$$N_Z = t_c \times q \times (L + p_p)$$

$$N_Z = 5,6 \times 420 \times (3)$$

$$N_Z = 7056 \text{ Kč}$$

- **infračervená katalytická pec**

rychlost dopravníku 1 m/min, lakování kontinuální.

Délka zavěšení výrobků:

$$L_D = (l_d + l_m) \times Q$$

$$L_D = (0,01 + 0,1) \times 5000$$

$$L_D = 550 \text{ m}$$

Technologická dráha:

$$L_t = l_p + l_l + l_{pl}$$

$$L_t = 5,5 + 7 + 5$$

$$L_t = 17,5 \text{ m}$$

Celková dráha výrobku:

$$L_c = L_D + L_t$$

$$L_c = 550 + 17,5$$

$$L_c = 567,5 \text{ m}$$

Celkový čas vytvrzování:

$$t_c = \frac{L_c}{v} = \frac{567,5}{1} = 567,5 \text{ min.} \Rightarrow 9,45 \text{ hodin}$$

Náklady na sérii 5000 ks:

$$N_{pl.} = N_P + N_Z$$

$$N_{pl.} = 600 + 6300$$

$$N_{pl.} = 12899 \text{ Kč}$$

Provozní náklady:

$$N_P = t_c \times c_p \times s$$

$$N_P = 9,45 \times 7 \times 15$$

$$N_P = 992 \text{ Kč}$$

Mzdové náklady:

$$N_Z = t_c \times q \times (L + p_p)$$

$$N_Z = 9,45 \times 420 \times (3)$$

$$N_Z = 11907 \text{ Kč}$$

Použité symboly

D - Dávka pece [-]

D<sub>t</sub> - Počet tyčí v dávce [ks]

x - Počet kusů na tyči [ks]

y - Počet tyčí na patře [ks]

p - Počet pater [-]

Z - Počet závažek [-]

Q - Množství kusů [ks]

P<sub>o</sub> - Příkon pece [kW]



- $t_c$  - Celkový čas vytvrzování [min]  
 $t_t$  - Doba nalakování dávky [min]  
 $t_d$  - Vypalovací čas dávky [min]  
 $t_l$  - doba lakování jedné tyče [min]  
 $L$  - Počet lakýrníků [ks]  
 $p_p$  - Počet pomocných pracovníků [ks]  
 $q$  - Náklad na pracovníka [Kč/h]  
 $L_D$  - Dopravníková délka zavěšení výrobků [m]  
 $l_d$  - Tloušťka dílce kolmo na dopravník [m]  
 $l_m$  - Mezera mezi dílci [m]  
 $L_t$  - Technologická dráha [m]  
 $l_p$  - Délka pece [m]  
 $l_{pl}$  - Vzdálenost mezi pecí a lakovnou [m]  
 $L_c$  - Celková dráha [m]  
 $v$  - Rychlost dopravníku [ $m/min^{-1}$ ]  
 $s$  - Spotřeba plynu [ $m^3/h$ ]

Tab.49 Porovnání nákladů pecí při výrobě 5000 ks

Série 5000 ks	Elektrická pec 1 lakýrník	Elektrická pec max. D	Plynová pec s přím. ohřev.	Infračervená kat.pec
Technologický čas [min]	540	180	336	567,5
Cena energií [jednot./h.]	5	5	7	7
Počet pracovníků	3	5	3	3
Náklady na díl [Kč]	2,62	1,38	1,54	2,57
Provozní náklady [Kč]	1 800	600	686	992
Mzdové náklady [Kč]	11 340	6300	7 056	11 907
Celkové náklady [Kč]	13 140	6900	7 742	12 899

Podle výsledků navrhované výroby by nejlépe vyšla elektrická komorová pec při zapojení více lakýrníků. Nejvíce náklady zvedá technologický čas, který je u průjezdných pecí ovlivněn rychlostí dopravníku a zvedá mzdové náklady. Výsledky jsou hodně ovlivněny velikostí a tloušťkou vytvrzovaného materiálu. Z grafů v předešlé kapitole je vidět, že nejrychleji byly vzorky vytvrzené v infračervené katalytické peci. V případě vypalování materiálu větších rozměrů a větší tloušťce, by dávky do zavážecí pece byly menší. Horkovzdušná plynová pec by musela zpomalit dopravník, aby tlustý materiál prohrála. V případě materiálů s velkou tloušťkou by nejlépe dopadla infračervená katalytická pec, která při vytvrzování nezahřívá materiál.

## ZÁVĚR

V diplomové práci se porovnává vliv způsobu vytvrzování na kvalitu následného laku práškovou nátěrovou hmotou. Pro porovnání byly vybrány tři vytvrzovací pece a dva druhy materiálů. Vytvrzování se provedlo v peci horkovzdušné elektrické komorové, horkovzdušné plynové průjezdné s přímým ohříváním a průjezdné infračervené katalytické peci. Testované materiály byly ocel a hliník. Barva i předúprava byla na všech vzorcích stejná. Pro vyhodnocení proběhlo 6 testů.

Na měření barevné odchylky měla nejmenší vliv infračervená katalytická pec, která měla hodnotu odchylky mezi 1 - 1,5 a horkovzdušné pece se pohybovali v rozmezí 2,3 - 2,8. I při vysokých hodnotách odchylek vizuálně barva odstín dodržela. Rozdílný materiál neměl vliv na výslednou barevnou odchylku, rozdíly jsou v desetínách.

Hodnoty lesku všech vzorků se nachází uprostřed rozmezí stanoveným technickým listem. Mezi peci jsou rozdíly v řádu jednotek lesku mezi 89 a 93. Ocel vykazovala v průměru o 2 jednotky lesku více než hliník. U zkušebního přepáleného vzorku byla jeho hodnota o 10 jednotek pod spodní hranici.

Tloušťka povlaku splňuje požadavek výrobce barvy a tím zaručuje neovlivněné výsledky u mechanických zkoušek. Měření prokázalo, že žádný způsob vytvrzování nezpůsobuje stékání barvy po výrobku, pouze u přepáleného vzorku došlo ke ztrátě tloušťky, díky spálení prášku před vytvrzením.

Při měření přilnavosti mřížkovou zkouškou nebyl prokázán vliv způsobu vytvrzování. Všechny vzorky dosáhly nultého stupně. To vylučuje i rozdílné vlivy v rámci materiálu. Měření přilnavosti zkouškou odtrhovou tyto výsledky nepotvrdilo. Nejlepší výsledek měla horkovzdušná pec elektrická, oba její vzorky dosáhly pouze adhezního porušení mezi povrchem laku a lepidlem. Druhé nejlepší výsledky dosáhla infračervená katalytická pec, kde u vzorku hliníku došlo k porušení povlaku menší než 10%. Nejhorší výsledek měla pec horkovzdušná plynová, kde u hliníku došlo k odtržení 70% povlaku a méně než 10% u oceli. Odtrhová síla se ve srovnání mezi peci lišila pouze u vzorku hliníku z infračervené pece, kde bylo o 0,4 Mpa více než u zbylých pecí. V materiálovém porovnání ocel dosáhla lepších výsledků u porušení i u odtrhové síly, která byla o 0,5 MPa větší než u hliníku.

Ohybová zkouška potvrzuje výsledky z odtrhové. Všechny pece splnily ohyb garantovaný technickým listem. Horkovzdušná elektrická pec u vzorků z ocele vyhověla ve všech případech a u hliníku při posledním ohybu na průměru trnu 2 mm nastaly lehké praskliny. Infračervená katalytická pec u vzorků z ocele byly lehké praskliny a hliník už ve druhém měření. Vzorky z plynové pece v obou případech při druhém měření měly praskliny. Výsledky potvrdily větší přilnavost na vzorcích z ocele.

Teplotní křivky ukazují rychlý nárůst teploty v případě infračervené pece a její krátkou dobu vytvrzování. Křivka elektrické pece drží hodnotu teploty díky uzavřenému prostoru.

V ekonomické analýze nejmenších nákladů dosáhla horkovzdušná elektrická pec. Je to díky malým rozměrům vytvrzovaného dílce, který umožnil velký objem dávky.

Z výsledků je jasně zřetelné, že na kvalitu výsledného vytvrzeného povrchu má vliv nastavení pece společně s dopravníkem. Nejlepších výsledků dosáhla horkovzdušná komorová pec, která má nejjednodušší nastavení.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

1. GEIPLOVÁ, . *Vliv přípravy povrchu na životnost organických povlaků*. Tribotechnika [online]. 2011 [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-62012/vliv-pripravy-povrchu-na-zivotnost-organicky-povlaku.html>
2. Historie práškového lakování. *Canada.tiger-coatings* [online]. 2015 [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: <http://canada.tiger-coatings.com/index.php?id=384&L=8&C=0>
3. SEDLÁČEK, Vladimír. *Povrchy a povlaky kovů*: odborný časopis pro průmysl, stavebnictví a řemeslníky. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1992, 176 s. ISBN 80-010-0799-5.
4. Technologie práškové lakovny. *Technolak* [online]. 2009 [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: <http://www.technolak.cz/technologie.html>
5. Práškové lakování. *Aclak* [online]. 2015 [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: <http://www.aclak.cz/praskove-lakovani.html>
6. Předúprava. *Praskova lakovna* [online]. 2015 [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: <http://www.praskovalakovna.cz/praskove-lakovani/zakladni-informace/>
7. PODJUKLOVÁ, Jitka. *Speciální technologie povrchových úprav I*: Určeno pro posl. 5. roč. Fak. strojní. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 1994, 71 s. ISBN 80-707-8235-8.
8. GEIPLOVÁ, . *Vliv přípravy povrchu na životnost organických povlaků*. Tribotechnika [online]. 2011 [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-62012/vliv-pripravy-povrchu-na-zivotnost-organicky-povlaku.html>
9. Omílací stroje. Omílaní [online]. 2015 [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: <http://www.omilani.cz/omilaci-stroje.aspx>
10. BLAŽEK, Jaroslav. Optimalizace teploty vytvrzování při práškovém lakování. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 68 s., 4 přílohy. Vedoucí diplomové práce Ing. Jaroslav Kubíček.
11. BALAKOM, a.s. *Trendy v oblasti práškových barev*. Brno, 2005
12. Ekologické inovace v lakování: *Předúprava bez fosforu*. KONVALINKA, Roman. Tribotechnika[online]. 2015 [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-62012/ekologicke-inovace-v-lakovani-preduprava-bez-fosforu.html>
13. MATRIX [online]. 2007 [cit. 2015-05-28]. Dostupné z: <http://www.matrix2000.cz/chemicka-preduprava/odmas-teni-sicur-solv>
14. SALUM [online]. 2003 [cit. 2015-05-28]. Dostupné z: <http://www.salum.cz/index.php/salum-praskove-lakovani-praskova-lakovna-komaxitovani-komaxit-5/40-salum-preduprava-povrchu-pred-lakovanim-praskove-mokre>

15. Ekologické inovace v lakování: *Předúprava bez fosforu*. KONVALINKA, Roman. Tribotechnika[online]. 2015 [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-62012/ekologicke-inovace-v-lakovani-preduprava-bez-fosforu.html>
16. MM Průmyslové spektrum [online]. SZELAG., 2015 [cit. 2015-05-28]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/zeleznate-fosfatovani.html>
17. SALUM [online]. [cit. 2015-05-28]. Dostupné z: <http://www.salum.cz/index.php/salum-sluzby-kooperace-lakovna-lakovani/salum-eloxovani-elox-zakladovani>
18. MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB, 1995, 151 s. ISBN 80-707-8267-6.
19. TULKA, Jaromír. *Povrchové úpravy materiálů*. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemické, 2005, 135 s. ISBN 80-214-3062-1
20. ČVUT odborná literatura Centrum pro povrchové úpravy: *Povlaky z práškových plastů*. Praha, 2008
21. Bydlení [online]. [cit. 2015-05-28]. Dostupné z: SALUM [online]. [cit. 2015-05-28]. Dostupné z: <http://www.salum.cz/index.php/salum-sluzby-kooperace-lakovna-lakovani/salum-eloxovani-elox-zakladovani>
22. ČVUT odborná literatura Centrum pro povrchové úpravy: *Povlaky z práškových plastů*. Praha, 2008.
23. IDEAL -TRADE SERVICE, spol. s.r.o. *Průvodce práškovým lakováním*. Brno, 2007.
24. SURFIN, s.r.o. *Práškové barvy: Základní informace*. Brno, 2008
25. Kovový regál. *Bydlet* [online]. 2015 [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: [http://www.bydlet.cz/static/fotka/51/vysoky\\_kovovy\\_regal.jpg](http://www.bydlet.cz/static/fotka/51/vysoky_kovovy_regal.jpg)
26. Projekty. *Sipral* [online]. 2014 [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: <http://www.sipral.cz/bb-centrum-e>
27. Poštovní schránky. *Rottner-trezor* [online]. 2015 [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: <http://www.rottnertrezor.cz/produkt/pozinkovane-schranky-schranky/T05746/rottner-schranka-harrow-bila-pozinkovana>
28. Rám kola. *Incolour* [online]. 2015 [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: <http://www.incolour.cz/reference-menime-barvy-ramu-silnicnich-a-horskych-kol-detail-26>
29. Povlaky z práškových plastů. KREIBICH, Viktor. *MM průmyslové spektrum* [online]. 2010 [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/povlaky-z-praskovych-plastu-bezchybne.html>
30. Technologie práškové lakovny. *Technolak* [online]. 2009 [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: <http://www.technolak.cz/technologie.html>

31. Povrchové úpravy: *odborný časopis pro průmysl, stavebnictví a řemeslníky*. Praha: Press agency. ISBN 0551-7354.
32. Gallery. *Keylandpolymer* [online]. 2015 [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: <http://www.keylandpolymer.com/uv-powder/gallery/>
33. SURFIN, s.r.o. *Návod k ohřívači Vulcan*. Brno, 2013.
34. KNOBLAUCH, Michael a Ryan SCHWARB. UV-Cured Powder Coating. *Plasticsdecorating*[online]. 2012 [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: <http://plasticsdecorating.com/articlesdisplay.asp?>
35. Řešení problémů při práškovém lakování. *Salum* [online]. 2005 [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: <http://www.salum.cz/index.php/salum-praskove-lakovani-praskova-lakovna-komaxitovani-komaxit-5/39-salum-reseni-problemu-praskove-lakovani-praskove-barvy-praskove-lakovny>
36. Měření odstínu lesku. *Okcolour* [online]. 2015 [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: <http://www.okcolor.cz/technologie/mereni-odstinu-a-lesku/>
37. Praha : Český normalizační institut, 2007. 16 s.  
ČSN EN ISO 2409. Nátěrové hmoty – *Mřížková zkouška norma ČSN EN ISO 2409*.
38. Praha: Český normalizační institut, 2007.  
7. ČSN EN ISO 4624. Nátěrové hmoty – *Odrhová zkouška přilnavosti ČSN EN ISO*
39. Ohyb přes cylindrický trn. *Proinex* [online]. 2015 [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: <http://www.proinex.cz/ohyb-pres-cylindricky-trn.html?pop=0>
41. Curve-X2 USB. *Proinex* [online]. 2015 [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: <http://www.proinex.cz/curve-x2-usb.html>
42. FLUKE Ti200. *Termokamery* [online]. 2015 [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: <http://www.termokamery.cz/termokamery/termokamery-pro-elektro/fluke-ti200-dmm-a3001fc-iflex-kit-zdarma-vip-certifikat.html>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

<b>Zkratka</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Popis</b>
<b>+a</b>	[-]	Hodnota červená
<b>-a</b>	[-]	Hodnota žlutá
<b><math>\Delta E</math></b>	[-]	Velikost barevné odchylky
<b>-a</b>	[-]	Hodnota zelená
<b>-b</b>	[-]	Hodnota modré
<b>D65</b>	[-]	Druh osvětlení při měření barevné odchylky
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	[-]	Oxid železitý
<b>Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub></b>	[-]	Oxid železnato-železitý
<b>FeO</b>	[-]	Oxid železnatý
<b>G</b>	[S]	Elektrická vodivost
<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	[-]	Kyselina sírová
<b>L</b>	[-]	Hodnota jasů
<b>MDF</b>	[-]	Medium density fibreboard



**SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1 – technický list práškové barvy

## **PŘÍLOHA 1**

...

## Prášková barva DURPOL epoxipolyesterová s hladkým povrchem

### 1. Složení

Tento materiál je termosetická prášková barva na bázi kombinace polyesterových nasycených karboxylových pryskyřic a tvrdidel ve stochiometrickém poměru s epoxidovými pryskyřicemi, pigmenty a inertními plnivy, které zaručují dobrou odolnost na místech ne přímo vystavených slunečnímu záření.

### 2. Odstíny

Především odstíny podle vzorkovnice RAL, ale také odstíny dle jiných vzorkovnic a speciální odstíny podle etalonu zákazníka. Některé speciální odstíny/efekty, např. výrobky s písmenem M na 11. místě v kódu produktu, je potřeba přelakovat vhodným bezbarvým lakem v případě vystavení lakovaného výrobku agresivním vlivům nebo otěru.

### 3. Doporučené použití

Výrobek je určen pro širokou škálu použití s výborným estetickým vzhedem a dobrou odolností proti žloutnutí, jako jsou : radiátory, domácí spotřebiče, náradí, vnitřní osvětlení, rozvaděče, kancelářské vybavení a nábytek atd. Při požadavku na dobrou ochranu je potřebná tloušťka vrstvy 70-80  $\mu\text{m}$ . U odstínů s kovovým pigmentem není možné zaručit zachování odstínu během stárnutí a při styku s oxidačními látkami.

### 4. Předúprava podkladu

Tyto práškové barvy mají obecně dobrou přilnavost na většině kovových povrchů, pokud jsou suché, čisté a odmaštěné. Chemická předúprava podkladu je potřebná v případě požadavků na vyšší protikorozní ochranu, její druh závisí na typu kovového podkladu a nárocích na odolnost.

### 5. Nanášení

Tyto produkty jsou vhodné pro aplikaci elektrostatickým stříkacím zařízením, jejichž napětí je mezi 40 a 90 kV. Pokud je to na etiketě na obalu uvedeno, nebo je-li v kódu produktu písmeno T na 10. místě, může být použito také tribo zařízení, případně další jiné metody nanášení podle písmene v kódu. Rozdíly tloušťky aplikovaného povlaku mohou způsobit změny vzhledu vytvrzené barvy. V případě barev se speciálním efektem (např. kovovým), není doporučeno používání prostřiku barvy s výjimkou speciálně upravených bondovaných barev.

### 6. Vypalovací podmínky

Standardní vypalovací podmínky pro tuto sérii barev jsou 180°C/15minut (teplota výrobku), není-li na etiketě na obalu uvedeno jinak. Tato teplota a čas je standardní pro výrobky s číslicí 3 na 9. místě v kódu produktu.

### 7. Mechanické vlastnosti po vytvrzení (na ocelovém plechu)

Erichsen (hloubení)	$\geq 5$ mm	ISO 1520
Ohyb na trnu	$\geq 4$ mm	ISO 1519
Odolnost úderu	$\geq 2,5$ Nm	ATSM D2794
Buchholzova tvrdost	$\geq 80$	ISO 2815
Mřížkový test	St 0	ISO 2409
Lesk při úhlu 60°	Série : 9L1=80-90; 9L2=60-79; 9L3=40-59; 9L4=10-39	ISO 2813
Zkratky pro hodnotu lesku v originálním značení produktu výrobce : L=lesk 80-100; SL=pololesk 60-80; SO=polomat 30-60; O=mat 10-30; OO=hluboký mat 0-10 jednotek		

### 8. Chemická odolnost

Tyto produkty mají dobrou odolnost proti mnoha 10%-ním kyselinám a etylalkoholu při pokojové teplotě (25°C). Pro další informace o specifických odolnostech prosím kontaktujte náš technický servis.

### 9. Korozní odolnost (na podkladu s železnatým fosfátem)

Kondenzační komora	Po 500 hodinách žádné změny	ISO 6270
Kesternich test	Po 10 cyklech žádná ztráta adheze	ISO 3231
Solná komora	Po 1000 hodinách $< 1$ mm podkorodování	ISO 9227

### 10. Urychlené stárnutí (zrychlené povětrnostní zkoušky) : QUV-B 313 nm s QUV/SE cykly 4 hodiny, kondenzace při 40°C/4hodiny ozáření 50°C (0,75 W/m<sup>2</sup>/nm) – aplikováno na hliníkovém plechu

Test :

---

## 11. Skladování

Skladovatelnost je nejméně 6 měsíců od data uvedeného na etiketě na obalu za předpokladu, že produkt bude skladován v originálním uzavřeném obalu v suchých skladech s teplotou, která nepřevýší 30°C.

---

## 12. Poznámky

Získaná data jsou výsledkem pečlivého zkoumání a dlouhého vývoje, nicméně vzhledem k velkému počtu faktorů ovlivňujících výsledné hodnoty uvedené v tomto technickém listě musí spotřebitel pro dosažení nejlepšího možného výsledku zajistit co možná nejlepší podmínky zpracování a vše musí být provedeno v podmínkách odpovídajících nárokům na požadovanou kvalitu.

Tento produkt je určen pouze pro profesionální použití v průmyslu. Uživatel musí nakládat s tímto produktem podle právních předpisů týkajících se používání práškových barev a informací uvedených v našem bezpečnostním a technickém listu zaslaném spolu s první dodávkou produktu.

Výrobce nebo prodejce nemůže nést odpovědnost za výslednou kvalitu tímto produktem nalakovaného výrobku, která je ovlivněna faktory zpracovatele, tedy mimo kontrolu výrobce nebo prodejce. Pro více informací prosím kontaktujte naše obchodní zástupce nebo technický servis.