



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



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

VOLBA VHODNÉHO SYSTÉMU VYTVRZOVÁNÍ PRÁŠKOVÝCH NÁTĚROVÝCH HMOT

THE CHOICE OF THE SUITABLE HARDENING SOLUTION FOR POWDER
COATING

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. PETR DONABAUER

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JAROSLAV KUBÍČEK

BRNO 2013

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá porovnáním a volbou vhodného systému vytvrzování práškových nátěrových hmot. Práce obsahuje literární studii zaměřenou na problematiku práškového lakování. V experimentální části práce bude provedena technicko-ekonomická analýza vhodnosti použití jednotlivých technologií pro vytvrzování dílů v konvenční a infračervené katalytické peci.

Klíčová slova

Práškové lakování, práškové nátěrové hmoty, vytvrzovací teplota, infračervené katalytické pece, barevná odchylka.

ABSTRACT

The thesis deals with the comparison and selection of a suitable system of curing powder coatings. The work includes a literature review focused on the issue of powder coating. In the experimental part of the work will be carried out techno-economic analysis of the suitability of each technology for curing parts in a conventional and catalytic infrared oven.

Key words

Powder coating, powder coatings, curing temperature, catalytic infrared oven, color deviation.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DONABAUER, Petr. *Volba vhodného systému vytvrzování práškových nátěrových hmot*. Brno 2013. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 89 s., 5 příloh. Vedoucí diplomové práce Ing. Jaroslav Kubíček.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **VOLBA VHODNÉHO SYSTÉMU VYTVRZOVÁNÍ PRÁŠKOVÝCH NÁTĚROVÝCH HMOT** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

9.10.2013

Datum

Bc. Petr Donabauer

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto **Ing. Jaroslavu Kubíčkovi** za vedení a cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

Dále děkuji společnosti **Dikrt spol. s r.o.** za zprostředkování měření a společnosti **Surfin s.r.o.** za cenné informace týkající se vytvrzování a složení práškových nátěrových hmot.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	9
1 HISTORIE PRÁŠKOVÝCH NÁTĚROVÝCH HMOT	10
2 PRÁŠKOVÉ NÁTĚROVÉ HMOTY	12
2.1 Rozdělení práškových nátěrových hmot dle nosičů	13
2.1.1 Rozdělení termoplastů	13
2.1.2 Rozdělení termosetů	14
2.2 Vícevrstvé nátěry práškových nátěrových hmot	19
2.2.1 Bariérová ochrana	23
2.2.2 Katodická ochrana	24
2.2.3 Třívrstvý systém	25
2.3 Výroba práškových nátěrových hmot	26
2.3.1 Výroba metalických barev	29
2.4 Dodatečná úprava práškových nátěrových hmot	30
2.5 Nanášení práškových nátěrových hmot	31
2.5.1 Elektrostatické nabíjení	31
2.5.2 Elektrokinetické nabíjení	33
2.5.3 Podmínky pro správnou aplikaci práškových nátěrových hmot	34
3 VYTVRZOVÁNÍ PRÁŠKOVÝCH NÁTĚROVÝCH HMOT	36
3.1 Typy pecí dle způsobu vytvrzení	36
3.1.1 Horkovzdušné pece	36
3.1.2 Infračervené pece	38
3.1.3 UV pece	39
3.2 Typy pecí dle způsobu upořádání	40
4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	41
4.1 Návrh experimentu	41
4.1.1 Předúprava povrchu	43
4.1.2 Nanášení práškové nátěrové hmoty	44

4.1.3 Vytvrzení	45
4.2 Měřicí přístroje a použité postupy měření	47
4.2.1 Měření kvality tryskaného povrchu	47
4.2.2 Měření tloušťky povlaku	48
4.2.3 Měření přilnavosti povrchu otrhoměrem	50
4.2.4 Měření přilnavosti povrchu mřížkovou zkouškou	53
4.2.5 Měření barevné odchylky	56
4.2.6 Měření lesku	57
4.2.7 Záznam průběhu teploty v peci	58
4.3 Vyhodnocení měření	60
4.4 Ekonomická analýza	75
ZÁVĚR	82
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých zkratek a symbolů	
Seznam příloh	

ÚVOD

Diplomová práce se zabývá volbou vhodného systému pro vytvrzování práškových nátěrových hmot.

Povrchová úprava práškovými nátěrovými hmotami je v současnosti rozšířenou a rychle expandující metodou. Tento rozmach je ovlivněn dobrými vlastnostmi práškového povlaku, vývojem aplikační a vytvrzovací technologie a především šetrnosti k životnímu prostředí. Vytvrzování povlaku při práškovém lakování je zpravidla nejpomalejší a energeticky nejnáročnější částí celého procesu lakování. V kontextu této skutečnosti musí být volbě vhodného způsobu vytvrzování věnována zvláštní pozornost.

Práce se skládá z teoretické a praktické části. V teoretické části je zpracováno rozdělení práškových nátěrových hmot dle nosičů a jejich využití v praxi. Dále je zpracován postup při výrobě práškových nátěrových hmot a následná možná úprava. V závěru teoretické části jsou zpracovány technologické možnosti nanášení práškových plastů a způsoby vytvrzování včetně využívaného přenosu tepla.

V experimentální části práce je zpracován experiment zabývající se volbou vhodného systému vytvrzování pro práškové nátěrové hmoty. Experiment bude proveden na dvou charakteristických dílech konzoly a stojanu. Díly jsou vytvrzeny ve třech technicky nebo konstrukčně rozdílných pecích.

V první části experimentu budou změřeny a vyhodnoceny vlastnosti povrchu při jednotlivých způsobech vytvrzení. U vlastností povrchu bude hodnocena přilnavost odtrhovou a mřížkovou zkouškou, lesk a změna barevné odchylky. Před aplikací práškové nátěrové hmoty bude zkontrolována kvalita předúpravy za pomoci komparátoru. Vytvrzovací teploty v pecích jsou zaznamenány měřicím přístrojem, sledující náběh teploty jednotlivých dílů v peci.

V poslední části je zpracována technicko-ekonomická analýza jednotlivých způsobů vytvrzování. V ekonomické analýze je vyhodnoceno množství nákladů na vytvrzení dílu a počet vytvrzených dílů za směnu.

Výsledkem experimentu je porovnání naměřených hodnot barev při jednotlivých způsobech vytvrzování a jejich vliv na mechanické a estetické vlastnosti povlaku. V ekonomicky-technické analýze jsou porovnány jednotlivé způsoby vytvrzení a na základě zjištěných výsledků je doporučen vhodný způsob vytvrzení.

1 HISTORIE PRÁŠKOVÝCH NÁTĚROVÝCH HMOT

V posledních letech nacházejí stále širší uplatnění v průmyslových odvětvích zejména povlaky zhotovené z práškových nátěrových hmot, neboť se jedná o povlaky odolné vůči korozi, se širokou škálou dekorativních vzorů a odstínů.

Historie práškového lakování začíná koncem 40. a začátkem 50. let minulého století, v době, kdy byly organické polymery v práškové barvě žárově stříkány na kovové podklady. Dr. Erwin Gemmer, německý vědec, tehdy vyvinul metodu nanášení práškové barvy ve fluidním loži ke zpracování duroplastických práškových barev a přihlásil v květnu 1953 k tomu odpovídající patent. [11, 12, 25, 29]

V letech 1958 až 1965 je práškové lakování zpravidla jen pro funkční použití s vrstvami nánosu od 150 μm do 500 μm . Práškové barvy byly nanášeny ve fluidním loži. Ve stejné době se objevily i duroplastické epoxidy jako např. pro myčky nádobí (PVC), k tepelné izolaci (epoxid), pro lodní příslušenství (nylon) a kovový nábytek. Firma Bosch, která na základě hledání vhodného izolačního materiálu pro elektrotechniku, vyvinula základní typ epoxi-pryskyřičného prášku. [12, 11, 29]

V letech 1962 až 1964 byla ve Spojených státech amerických vyvinuta nová mnohem efektivnější technologie pro nanášení práškových nátěrových hmot. Firma Sames představila elektrostatické pistole, které se staly až dodnes nejpoužívanější metodou nanášení práškových nátěrových hmot. Tato metoda umožnila nanášení mnohem tenčího povlaku než ve fluidním loži, a tím přinesla mnohem širší využití práškových nátěrových hmot v průmyslu. [12, 25, 29]

V letech 1966 až 1973 byly vyvinuty a komerčně uvedeny na trh 4 základní typy práškových nátěrových hmot: epoxid, epoxi-polyester, polyuretan a polyester. Tyto typy se využívají dodnes. [12, 25, 29]

Na různých kontinentech se přitom barvy vyvíjely různými směry. Zatímco v Evropě dnes venkovní prášky symbolizují barvy postavené na polyesterových pojivech, v Americe jsou venkovní prášky daleko častěji polyuretanové. Itálie je v evropském měřítku velmocí, co se týče počtu výrobců i celkového vyprodukovaného objemu práškových barev. [12, 29]

Tento nebývalý rozmach je dále ovlivněn vývojem aplikačních technologií a v neposlední řadě omezeními v rámci ochrany životního prostředí. Všechny tyto faktory zaručují, že tento trend bude trvale pokračovat i v následujících desetiletích. [12, 25]

Časová osa práškových nátěrových hmot:[29]

- roku 1940 plamenové stříkání termoplastického prášku
- 1953 Dr. Erwin Gemmer vyvinul fluidní aplikaci, která byla patentována
- 1955 Fluidní proces aplikace představen na trhu v Americe
- 1962 – 1964 Představeno elektrostatické nanášení prášku
- 1966 – 1973 Vyvinuty čtyři originální termosety – epoxid, epoxy-polyester, polyuretan a polyester
- 1970 Práškový průmysl a použití se rozrůstá v Evropě
- 1980 Rapidní nárůst v práškové produkci a použití v Severní Americe a Japonsku
- 1985 – 2013 Aplikace práškových barev se rozšířila na nekovové substráty, jako je plast, sklo, keramika a dřevo. Rozšíření sortimentu a vývoje práškových nátěrových hmot na vysoce tepelně odolné, nízkoteplotní, metalické, strukturní, tenkovrstvé, UV, antigrafitické, antistatické a další určené pro speciální užití v chemickém a automobilním průmyslu.
- 2013 – V dalších letech se dál budou práškové nátěrové hmoty vyvíjet ke snižování nákladů na aplikaci. To je snižování teploty vytvrzení povlaku a výtěžnosti při zachování vlastností povlaku.

2 PRÁŠKOVÉ NÁTĚROVÉ HMOTY

Práškové plasty tvoří zvláštní skupinu povrchových úprav. Svou charakteristikou a způsobem nanášení se sice řadí do skupiny tzv. průmyslových nátěrových hmot, ale od nátěrových hmot se významně liší. Protože jsou svým složením a vlastnostmi bližší více plastům než klasickým nátěrovým hmotám, místo názvu práškové nátěrové hmoty (odtud známá zkratka PNH) se často používá název práškové plasty. Lidově se také užívá název KOMAXIT. Toto označení používala firma Balakom a.s. a značila jím produktovou řadu práškových nátěrových hmot v 90. letech. [20]

Původně byly práškové nátěrové hmoty určeny především k povrchové úpravě kovových materiálů, snášejících vytvrzovací teploty min. 150 °C. I dnes tyto materiály, především ocel, hliník a měď u povrchové úpravy práškovými plasty převažují, i když rychle se rozvíjející vývoj už začíná nabízet speciální typy pro povrchovou úpravu např. plastů, některých druhů keramiky, skla a teplotně málo odolných slitin. Práškových nátěrových hmot se nejvíce využívá k lakování výrobků tzv. bílého programu (pračky, ledničky, sporáky, mikrovlnné trouby), kovový nábytek a bytové doplňky, trezory, kryty spotřební elektroniky a výpočetní techniky, jízdní kola, sportovní nářadí a posilovací stroje, díly pro automobilový průmysl, radiátory, hasící přístroje, osvětlovací tělesa a některé druhy dekorativních předmětů. Práškové nátěrové hmoty nelze použít pouze na ty výrobky, které neodolávají vytvrzovacím teplotám (plasty), obsahují vlhkost (dřevo) nebo jsou silně pórovité, takže nelze dosáhnout slitého povrchu nátěru. [20]

Konečná povrchová úprava výrobků práškovými nátěrovými hmotami je nejen významná pro svůj estetický vzhled, ale také dokáže díky svým ochranným vlastnostem podstatně zvýšit jejich životnost, pozitivně ovlivnit jejich funkčnost a rozšířit jejich použitelnost i v extrémních podmínkách, kde by bez vhodné povrchové úpravy použity být nemohly, anebo by mohly být použity jen velmi omezenou dobu.[20]

Výhody práškového lakování oproti klasickým povrchovým úpravám rozpouštědlovými nátěrovými hmotami spočívá především ve čtyřech skutečnostech: [20]

- Při zhotovování povlaku se nepoužívají žádná rozpouštědla,

- Povlakování lze označit za prakticky bezodpadovou technologii. Dokonce práškovou nátěrovou hmotu, která neulpí na výrobcích, lze recyklovat a tím ztráty obvykle představují pouze 2 až 3 %,
- Srovnatelné nebo lepší ochranné vlastnosti
- Pro většinu aplikací postačuje jednovrstvý nátěr s tloušťkou povlaku 90 μm (u běžně dodávaných prášků)

2.1 Rozdělení práškových nátěrových hmot dle nosičů

Práškové nátěrové hmoty jsou tuhé formy nátěrové hmoty ve formě částic velikosti od 10 μm do 500 μm , které se po nanesení na podklad a po roztavení spojí a vytvoří souvislý povlak. Na základě vytvrzovacích vlastností můžeme rozdělit práškové nátěrové hmoty do dvou základních skupin na termoplasty a termosety.

2.1.1 Rozdělení termoplastů

Termoplasty jsou plasty, které se při vyšších teplotách stávají tvárnými až tekutými a při ochlazení se stávají pevnými. Tuto změnu je možno provádět opakovaně, proto se nazývají také vratné plasty. Po vytvrzení povlaku se tloušťka nalakované vrstvy pohybuje od 150 do 600 μm . Toto rozmezí je závislé na způsobu nanášení práškového plastu (fluidní lože, elektrostatické nanášení). Na dnešním trhu se vyskytují jen zřídka a většina výrobců práškových barev se jejich výrobou nezabývá. Mezi termoplasty řadíme především práškové plasty.[9]

- **Polyethylenové**

Jejich předností je relativně nízká cena. Nanáší se ve fluidním prachu. Hlavní nevýhodou jsou nízké mechanické vlastnosti. [9]

- **Polyamidové**

Jsou vhodné do speciálních prostředí, např. chemický průmysl, styk s horkou vodou. Před aplikací vyžadují speciální předúpravu povrchu. V porovnání s termosety je nutno nanášet silnější vrstvy. Další nevýhodou je velmi vysoká cena.[9]

- **Fluoropolymerové**

Plasty odolávají vysokým teplotám. Jejich hlavní předností je dlouhá životnost. Nevýhodou je velmi vysoká cena a tudíž omezená nabídka. [9]

2.1.2 Rozdělení termosetů

Termosety jsou opak termoplastů. Po jejich zahřátí proběhne chemické zasíťování a následné vytvrzení. Tímto je znemožněna vratná změna do plastického stavu při opakovaném zahřátí povrchu, proto se jim také říká nevratné plasty. Jejich nesporná výhoda od termoplastů je nízká vytvrzovací teplota ($130\text{ }^{\circ}\text{C} - 180\text{ }^{\circ}\text{C}$), vysoká kryvost ($30\text{ }\mu\text{m} - 90\text{ }\mu\text{m}$), široký sortiment odstínů a dobré nabíjecí vlastnosti. Díky tomu se staly masivně používanou povrchovou úpravou. Termosety dělíme dle základního pojiva na epoxidy, epoxi – polyestery, polyestery, polyuretany, akryláty.

- **Epoxidy (EP)**

Termosetický prášek získaný smícháním pevné epoxidové pryskyřice, vybraných tvrdidel, pigmentů, plniv a aditiv. Jejich určení je výhradně do interiéru. Při styku s UV zářením pozvolna degradují – ztrácejí lesk, křídovatí a postupně mění odstín. Silné stránky epoxidových barev jsou v širokém rozsahu podmínek vytvrzení. Možnost velice nízkých vypalovacích teplot již od $130\text{ }^{\circ}\text{C} - 10$ minut při tloušťce plechu 1mm. Vynikající přilnavost, chemická stabilita a odolnost proti korozi. Díky těmto vlastnostem je užíván i v antikorozních systémech jako základový bariérový primer. Optimální tloušťka povlaku po vytvrzení je $60\text{ }\mu\text{m}$ až $90\text{ }\mu\text{m}$. Hlavní použití: automobilový průmysl, elektroprůmysl, armatury, nábytek, skříně, kancelářské potřeby, domácí spotřebiče, nástroje [9, 13, 27].



Obr. 2.1 Příklad použití epoxidu – domácí spotřebiče [21]

- **Epoxi – polyester (EP+PES)**

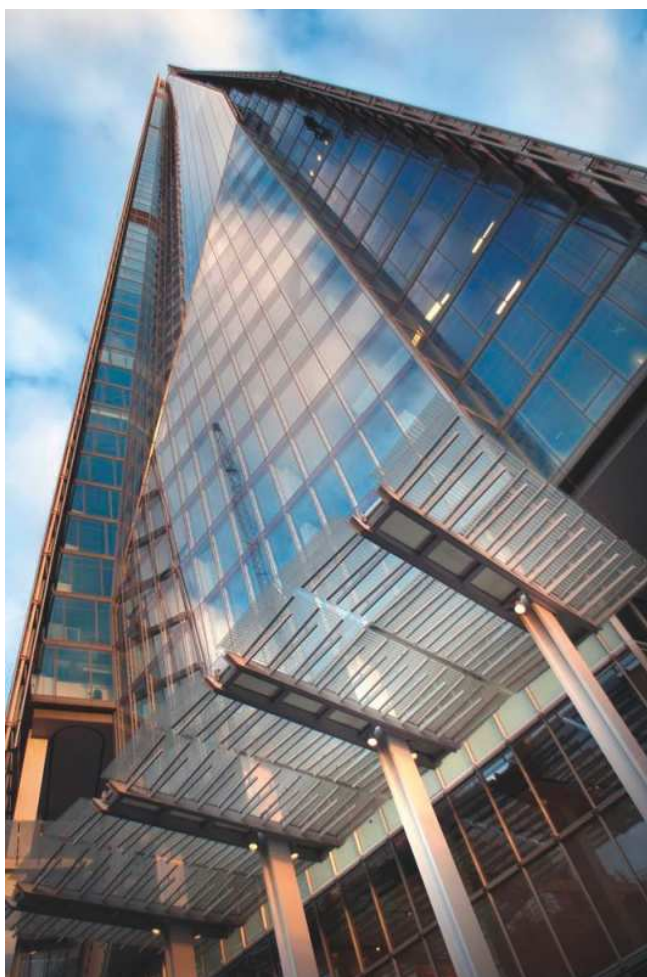
Epoxi – polyester neboli tzv. hybridy jsou dnes nejvíce používanými práškovými plasty. Jsou určeny především do vnitřního prostředí, ale vzhledem k tomu, že jsou oproti epoxidovým typům odolnější vůči UV záření, lze je používat i na výrobky krátkodobě vystavené povětrnostním vlivům. Oproti epoxidům mají nižší chemickou odolnost. Jejich předností je nízká cena a široká škála odstínů, lesků, typů povrchů a metalických úprav. Jejich vypalovací teploty jsou velmi nízké od 140 °C – 10 minut. Optimální tloušťka povlaku po vypálení je od 60μm - 90μm. Na trhu jsou ale i tzv. tenkovrstvé povlaky, které kryjí už při tloušťce 30 μm. Sortiment těchto barev je ale omezen. Ne všechny pigmenty umožňují tak nízkou kryvost povlaku. Použití epoxi – polyesterových plastů je hlavně v interiérech, např. regálové systémy, radiátory, domácí spotřebiče, výpočetní technika atd. [9, 13, 27]



Obr. 2.2 Příklad použití epoxi – polyesteru – radiátor [19]

- **Polyestery (PES)**

Jsou vyráběné především k použití v exteriéru. Mají vysokou odolnosti proti UV záření a povětrnostním vlivům. Rozdělují se na fasádní polyestery a průmyslové polyestery. Fasádní polyesterové práškové nátěrové hmoty se vyrábí ze surovin, které mají excelentní vlastnosti, takže splňují požadavky norem Qualicoat a GSB. Tyto normy mají rozdělení do tří odolnostních tříd (třída 1 standardní trvanlivost, třída 2 ultra trvanlivost, třída 3 hyper trvanlivost). Díky tomu je možno garantovat stálost odstínu a lesku až 20 let. Běžně se používají na hliníkový podklad ve stavebnictví – okna, dveře, profily, rolety. Přední výrobci práškových nátěrových hmot mají vždy vytvořené speciální fasádní kolekce, které se aplikují na přední světové stavby. [9, 13, 27]



Obr. 2.3 Příklad použití fasádního polyesteru – okenní rámy [22]

Průmyslové polyestery se vyrábí ze surovin, které nemají tak dobré vlastnosti, takže nesplňují všechny požadavky, které jsou kladeny pro výrobu barev do stavebnictví. Tyto barvy jsou určeny do venkovního prostředí, kde nejsou tak vysoké nároky na kvalitu, stálost odstínu a lesku např. zemědělské stroje, kempinkový a zahradní nábytek, osvětlovací zařízení, kola atd. [9, 13, 27]



Obr. 2.4 Příklad použití průmyslového polyesteru – zahradní židle [32]

- **Polyuretany (PUR)**

Termosetický plast získaný smícháním hydroxylované polyesterové pryskyřice, blokového cykloalfatického izokyanátu, vybraných pigmentů s dobrou světelnou a tepelnou odolností, plniv a aditiv. Předností je vysoká tvrdost a dobrá odolnost proti povětrnostnímu prostředí. Jejich nevýhoda je vysoká cena. Nejvíce jsou rozšířeny v USA. Polyuretany se dají vyrábět i jako antigrafitické. Jejich použití je stejné jako u polyesterů. Polyuretany se můžou ještě pyšnit vysokou číroostí, proto se využívají na odolné transparentní laky např. disky kol, jízdní kola. [9, 13, 27]



Obr. 2.5 Příklad použití polyuretanu – jízdní kolo [30]

- **Akryláty**

Akryláty jsou specifickou řadou v práškových nátěrových hmotách. Jejich užití je velmi specifické. Hlavní nevýhodou je nekompatibilita s aplikací jiných práškových nátěrových hmot, vysoká cena, velká náchylnost na změnu teploty. Nutno skladovat za stálé teploty 16 °C. Tím vzniká problém s přepravou barvy v letních měsících. Aplikace musí probíhat v klimatizované boxu za stálé teploty 20°C. Pozitivními vlastnostmi jsou dokonalý rozliv, vysoký stupeň lesku, vysoká mechanická a chemická odolnost. Proto se tyto barvy používají především v automobilovém průmyslu.



Obr. 2.6 Příklad použití akrylátu – disk kola [3]

2.2 Vícevrstvé nátěry práškových nátěrových hmot

Dlouhodobá ochrana dílu proti korozi je závislá na mnoha faktorech. Počínaje konstrukčním návrhem, volbou antikorozního systému a výrobní techniky, přes schéma údržby a provozní prostředí. Tyto všechny aspekty budou mít v průběhu provozního zařízení vliv na výkonnosti systému. [2]

Správný výběr a dobrá aplikace nátěrového systému hrají rozhodující roli v zajištění vhodné ochrany proti korozi, která zaručuje dlouhodobou životnost.

Antikorozní práškový nátěrový systém je definován jako:

- Povrchová předúprava dílů určených k nátěru
- Přesná specifikace nátěrového systému, která definuje počet vrstev nátěru, tloušťku jednotlivých vrstev a aplikační podmínky

Při použití vícevrstvé ochrany povrchu musí vždy předem vědět, do jakého prostředí bude nalakovaný materiál umístěn. K tomuto účelu byla zhotovena norma korozního prostředí ISO 12944. Tato norma je rozdělena na 5 skupin určující agresivitu prostředí. [2]

Tab. 2.1 Stupně korozní agresivity v atmosféře [8]

Stupně korozní agresivity	Informativní příklady typických prostředí	
	Venkovní	Vnitřní
C1 – velmi nízká		Vytápěné budovy s čistou atmosférou např. školy, kanceláře, obchody, hotely
C2 - nízká	Oblasti venkova s nízkým stupněm znečištění	Nevytápěné budovy, kde může dojít ke kondenzaci např. sklady, sportovní haly.
C3 - střední	Město, průmysl, mírně znečištěná pobřežní oblast, nízký obsah solí	Výrobní prostory s vysokou vlhkostí a malým znečištěním ovzduší např. prádelny, pivovary.
C4 - vysoká	Průmyslové prostředí, pobřežní oblast s nízkým obsahem solí	Chemické závody, plavecké bazény, loděnice, kravíny
C5–I - velmi vysoká (průmysl)	Průmyslové prostředí s vysokou vlhkostí a agresivní atmosférou	Budovy nebo prostředí s převážně trvalou kondenzací a vysokým znečištěním ovzduší
C5-M – velmi vysoká (moře)	Přímořská, pobřežní oblast s vysokým obsahem soli	

Na základě prostředí volíme pouze jednovrstvý, dvouvrstvý nebo třívrstvý nátěr. Vhodnost použití typu základového primeru je vždy závislá na povrchové úpravě povrchu. Ta může být ošetřena chemicky nebo mechanicky. Dle těchto kritérií volíme mezi dvěma primery, bariérovým a katodickým nebo jejich vzájemnou kombinací.



<< Chemická předúprava.



Mechanická předúprava >>

Obr. 2.7 Chemická a mechanická předúprava povrchu [2]

Tab 2.2 Volba antikoroziního systému pro venkovní prostředí [2]

	Venkovní prostředí				
Prostředí	C2	C3	C4	C5-I	C5-M
Chemická předúprava	Amorfní fosfátování nebo Amorfní fosfátování s pasivací nebo Krystalické Zn-Ni fosfátování s pasivací	Amorfní fosfátování s pasivací nebo Krystalické Zn-Ni fosfátování s pasivací	Krystalické Zn-Ni fosfátování s pasivací	Specifická oblast	Krystalické Zn-Ni fosfátování s pasivací
Nátěrový systém	<u>Jednovrstvý nátěr:</u> polyester průmyslový nebo fasádní (min. 60 µm)	<u>2 vrstvý systém:</u> primer epoxipolyesterový nebo primer epoxidový (min. 60 µm) + polyester průmyslový nebo fasádní (min. 70 µm)	<u>2 vrstvý systém:</u> primer epoxipolyesterový nebo primer epoxidový (min. 60 µm) + polyester průmyslový nebo fasádní (min. 70 µm) <u>3 vrstvý systém:</u> primer zinkový (min. 60 µm) + primer epoxidový (min. 60 µm) + fasádní polyester (min. 70 µm)	Specifická oblast	Specifická oblast
Mechanická předúprava	Tryskání drtí Ra 6 – 12 µ SA ≥ 2,5	Tryskání drtí Ra 6 – 12 µ SA ≥ 2,5	Tryskání drtí Ra 6 – 12 µ SA ≥ 2,5		Tryskání drtí Ra 6 – 12 µ SA ≥ 2,5
Nátěrový systém	<u>2 vrstvý systém:</u> zinkový primer (min. 60 µm) + polyester průmyslový nebo fasádní (min. 70 µm)	<u>2 vrstvý systém:</u> zinkový primer (min. 60 µm) + polyester průmyslový nebo fasádní (min. 70 µm)	<u>2 vrstvý systém:</u> zinkový primer (min. 60 µm) + polyester průmyslový nebo fasádní (min. 70 µm) <u>3 vrstvý systém:</u> primer zinkový (min. 60 µm) + primer epoxidový (min. 60 µm) + fasádní polyester (min. 70 µm)		<u>3 vrstvý systém:</u> primer zinkový (min. 60 µm) + primer epoxidový (min. 60 µm) + fasádní polyester (min. 70 µm)

Tab 2.3 Volba antikoroziho systému pro vnitřní prostředí [2]

	Vnitřní prostředí				
Prostředí	C1	C2	C3	C4	C5
Chemická předúprava	Amorfní fosfátování nebo Amorfní fosfátování s pasivací nebo Krystalické Zn-Ni fosfátování s pasivací	Amorfní fosfátování nebo Amorfní fosfátování s pasivací nebo Krystalické Zn-Ni fosfátování s pasivací	Amorfní fosfátování s pasivací nebo Krystalické Zn-Ni fosfátování s pasivací	Krystalické Zn-Ni fosfátování s pasivací	Specifická oblast
Nátěrový systém	<u>Jednovrstvý nátěr:</u> epoxi - polyester nebo polyester průmyslový nebo polyester fasádní (min. 60 μm)	<u>Jednovrstvý nátěr:</u> epoxi - polyester nebo polyester průmyslový nebo polyester fasádní (min. 60 μm)	<u>2 vrstvý systém:</u> primer epoxipolyesterový nebo primer epoxidový (min. 60 μm) + epoxi – polyester nebo polyester průmyslový nebo polyester fasádní (min. 60 μm)	<u>3 vrstvý systém:</u> primer zinkový (min. 60 μm) + primer epoxidový (min. 60 μm) + epoxi - polyester nebo polyester průmyslový nebo polyester fasádní (min. 70 μm)	Specifická oblast
Mechanická předúprava	Tryskání drtí Ra 4 – 8 μ SA $\geq$ 2,5	Tryskání drtí Ra 4 – 8 μ SA $\geq$ 2,5	Tryskání drtí Ra 6 – 10 μ SA $\geq$ 2,5	Tryskání drtí Ra 6 – 10 μ SA $\geq$ 2,5	Specifická oblast
Nátěrový systém	<u>Jednovrstvý nátěr:</u> epoxi - polyester nebo polyester průmyslový nebo polyester fasádní (min. 80 μm)	<u>Jednovrstvý nátěr:</u> epoxi - polyester nebo polyester průmyslový nebo polyester fasádní (min. 80 μm)	<u>2 vrstvý systém:</u> primer zinkový (min. 60 μm) + epoxi – polyester nebo polyester průmyslový nebo polyester fasádní (min. 60 μm)	<u>3 vrstvý systém:</u> primer zinkový (min. 60 μm) + primer epoxidový (min. 60 μm) + epoxi - polyester nebo polyester průmyslový nebo polyester fasádní (min. 60 μm)	

2.2.1 Bariérová ochrana

Principem této technologie, která se nazývá bariérová ochrana, je izolace ocele od okolního prostředí, pokrytím povrchu vodotěsným a vzduchotěsným povlakem, jako je například smalt, barva, plast atd. Bariérová ochrana je velice výkonná, pokud nedojde k porušení vrstvy. Bariérová ochrana se dělí na dva základy, epoxi – polyesterový nebo epoxidový.

- **Epoxi – polyesterový primer**

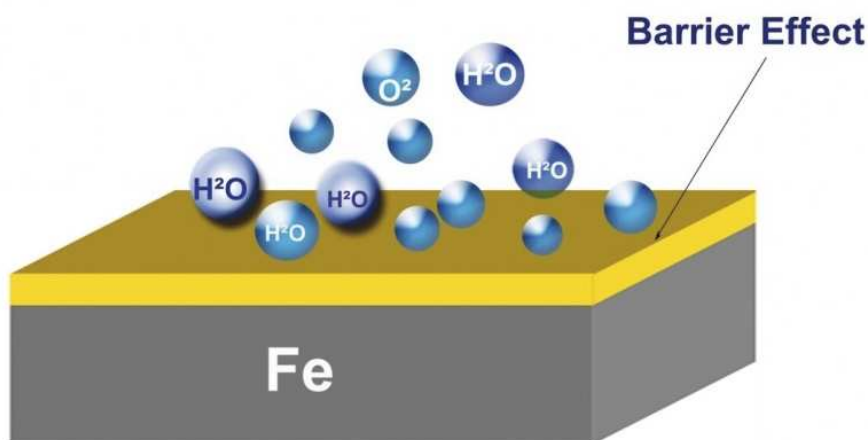
Epoxi - polyesterový primer je používán u dvouvrstvého systému, kdy je na práškový podkladový nátěr (primer) aplikován konečný práškový nátěr (top coat). Jako práškový podkladový nátěr je použit aktivní ochranný epoxi - polyesterový prášek a jako konečný práškový nátěr je použit venkovní odolný polyesterový prášek nebo vnitřní epoxi-polyesterový prášek. Je určen pro ochranu oceli s povrchem ošetřeným předúpravou mechanickou nebo chemickou. Tento primer obsahuje aktivní antikoroziční pigmenty, které poskytují pasivační účinek, chránící podklad. Má také co možná nejlepší přilnavost k vrchnímu nátěru. Odstín základu je vždy naformulován tak, aby korespondoval s barvou vrchního nátěru. Lze ho také využít jako čekající primer, nikdy však jako odolný, jednovrstvý nátěr. [2, 4, 27]



Obr. 2.8 Příklad použití epoxi - polyesterový primer – lodní dveře [1]

- **Epoxidový primer**

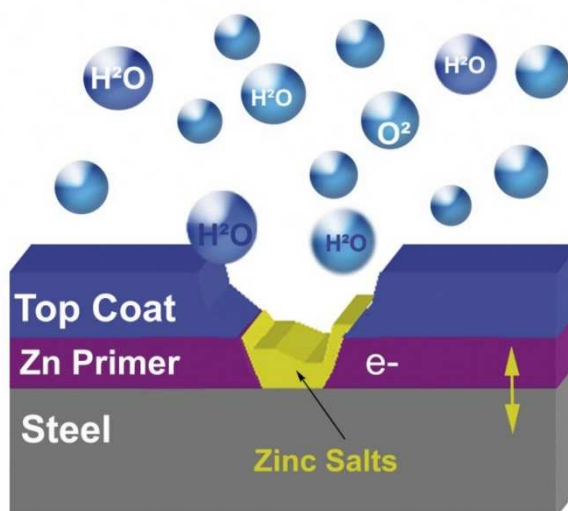
Epoxidový primer je možno použít na dvouvrstvý nebo třívrstvý systém ochrany. Poskytuje výbornou bariérovou ochranu, které je dosažena vysokým stupněm zasítování práškové nátěrové hmot. Epoxidový primer je určen k ochraně oceli s povrchem ošetřeným předúpravou tryskáním nebo fosfátováním. Nejvíce se vyrábí v šedém odstínu, v pololesklém provedení. Jeho předností je velmi dobrý rozliv, snadné nanášení a možnost použití na žárově zinkovou ocel. [2, 4, 27, 31]



Obr. 2.9 Princip bariérové ochrany [31]

2.2.2 Katodická ochrana

Tato technologie spočívá v povlakování oceli některými ušlechtilými kovy, které budou podléhat oxidaci dříve než železo. Železo je méně náchylné k oxidaci než zinek, čímž může být účinně ochráněno. Zinek poskytuje železu katodickou ochranu svým elektrochemickým účinkem. Tento zdvojený technologický systém je kombinací katodové ochrany a bariérového efektu. Jedná se o dvouvrstvý systém skládající se z primeru bohatého na zinek a z vrchního polyesterového nátěru nebo z hybridního vrchního nátěru pro vnitřní použití. Je určen pro ochranu oceli s povrchovou předúpravou provedenou tryskáním nebo fosfátováním s pasivací. Zinkový primer je formulován na bázi epoxidové pryskyřice obsahující cca. 50 % zinku ve formě prachu a speciálních lamel, které zlepšují vodivost. Tyto primery mají šedý, zinkový odstín. Jejich předností je vysoká antikorozní ochrana, obzvláště při tryskání drtí. Mají dobré krycí vlastnosti s ohledem na metry čtvereční. [2, 4, 27, 31]



Obr. 2.10 Princip katodické ochrany [31]

2.2.3 Třívrstvý systém

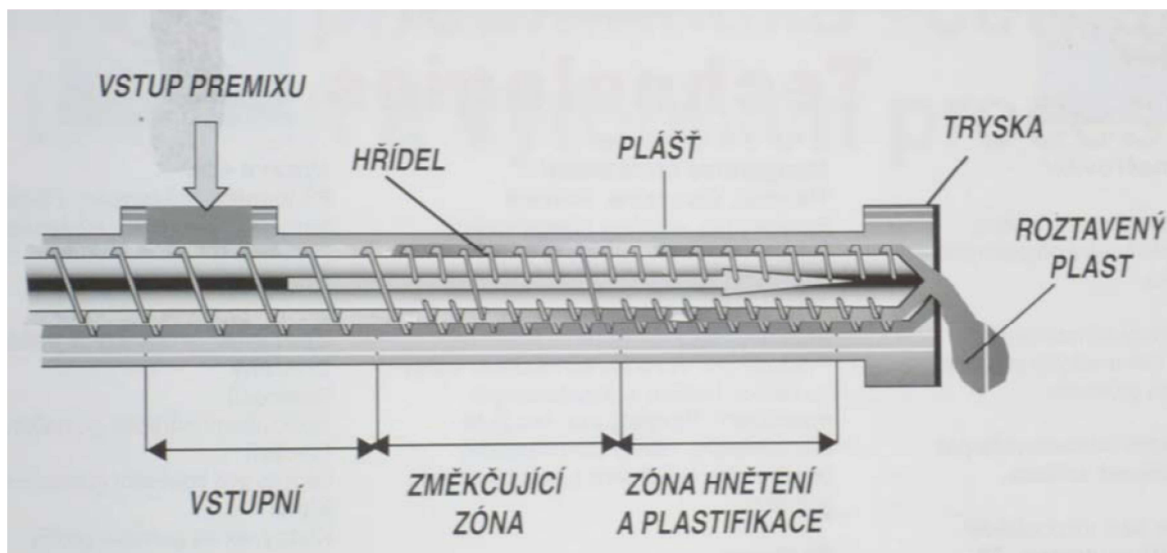
Tento třívrstvý systém se skládá z primeru bohatého na zinek, bariérového ochranného primeru a vrchního nátěru v provedení polyester při venkovním použití nebo epoxi – polyester při vnitřním použití. Užití třívrstvého systému je ve vysoce korozivním prostředí, např. přímořské oblasti, materiály vystavenému trvalému kontaktu s mořskou vodou. Systém je určen hlavně k ochraně oceli s povrchovou předúpravou provedenou tryskáním nebo krystalickým Zn-Ni fosfátováním s pasivací. Princip třívrstvé ochrany je založen na kombinaci výhod katodické ochrany a vysoce bariérového efektu. [4, 8]



Obr. 2.11 Příklad užití třívrstvého systému – mořská bójka [4, 2]

2.3 Výroba práškových nátěrových hmot

Typické práškové nátěrové hmoty se skládají ze 4 až 5 komponentů. Největší částí je pryskyřice, která může mít polyuretanové, epoxidové nebo polyesterové složení. Případně může být vytvořena jejich vzájemná kombinace. Dále se skládá z tvrdidel, pigmentů, plniv, katalyzátoru a činidel pro regulaci rozlivu. Přesný poměr složení jednotlivých segmentů je vždy individuální dle požadovaných mechanických, korozních a chemických vlastností. Všechny potřebné suroviny pro výrobu jsou prvně smíchány za vysoké rychlosti a tím vzniká tzv. premix. Ten je nasypán do extruderu. Hlavní částí extruderu je šroubová hřídel, přes kterou je protlačován premix. Ten postupně mění svoji konzistenci, až se stává roztaveným plastem. Šroubové hřídele se mění dle požadovaných vlastností práškové nátěrové hmoty. [14, 29]



Obr. 2.12 Extruder [14]

Následně je roztavený plast rozválcován, hladícími pásy a pásovým dopravníkem dopraven do drtiče. Drtič rozseká rozválcovaný plast na velké částice cca. 10 – 60 mm.

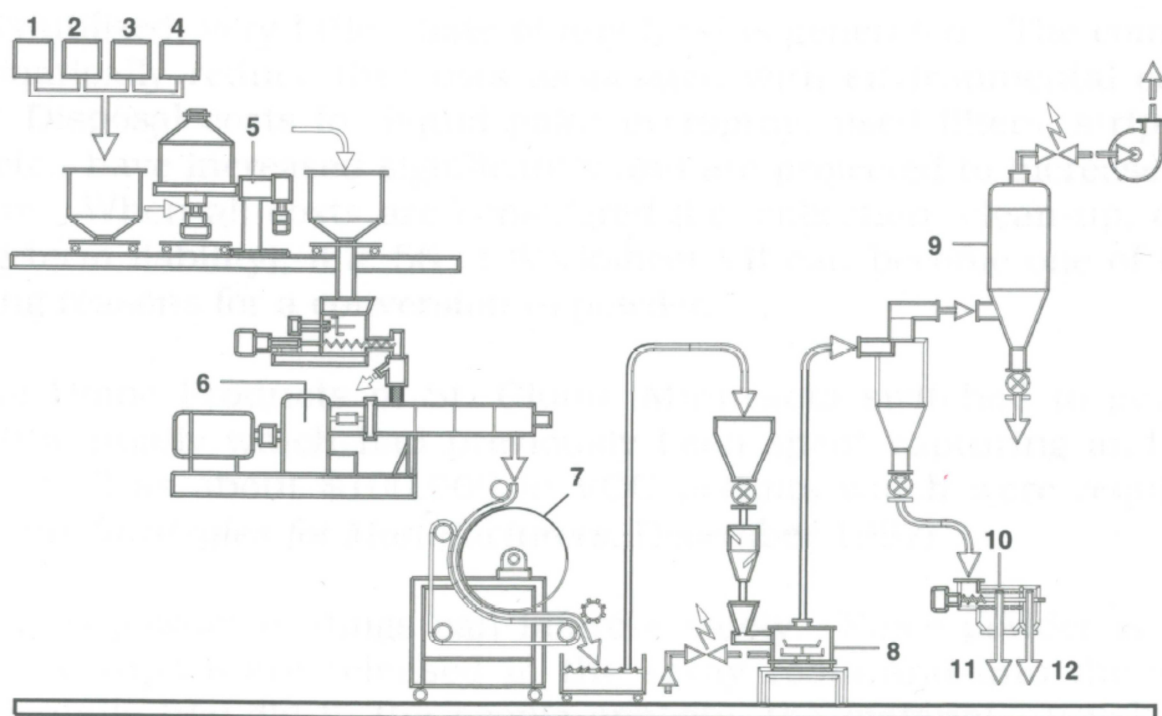


Obr. 2.13 Rozválnování práškového plastu



Obr. 2.14 Drtič

Z drtiče je práškový plast nasypán do mlýna. Zde jsou částice barvy rozemlety na výslednou velikost. Poté jsou taženy přes cyklon, který oddělí velmi jemné částice barvy a případně nečistoty. Výsledný prášek je nasypán dávkovačem do obalu. Nejpoužívanější balení práškových nátěrových hmot je krabicové, po 20 nebo 25 kg. Pro velké průmyslové závody se používají i balení po pytlích, tzv. big bag mající hmotnost 100 – 300 kg.



Obr. 2.15 Výrobní proces PNH [29]

Legenda:

- 1 - 4 pryskyřice, plniva, pigmenty, aditiva
- 5 premix
- 6 extruder
- 7 rozválcování
- 8 mlýn
- 9 cyklon
- 10 třídící stroj se sítí
- 11 krabicový dávkovač
- 12 pytlový dávkovač

2.3.1 Výroba metalických barev

Hlavní využití metalické práškové nátěrové hmoty je k dekorativním účelům, z estetického hlediska a také pro venkovní aplikaci ve stavebnictví. Nejpoužívanější odstín z ralové vzorkovnice s tímto efektem je RAL9006. Pro výrobu metalických práškových nátěrových hmot se používají tři procesy: extruze, suché míchání a bonderizace. [27]

- **Proces extruze**

Vhodné kovové pigmenty jsou přidány do předmíchávací fáze s ostatními surovinami, které jsou následně zpracovány extruzí a mletím. Žádné další fáze zpracování jako míchání nebo bonderizace nejsou zapotřebí. Nevýhody této metody spočívají v nutnosti použití speciálních metalických pigmentů, vhodných pro extruzi. Nelze dosáhnout chromového efektu, pouze třpytivého. V současné době není k dispozici široký výběr surovin. Může nastat problém s odolností proti poškrábání. Přednost této metody spočívá v možnosti rekuperace, podobnost bonderizovaným materiálům. [27]

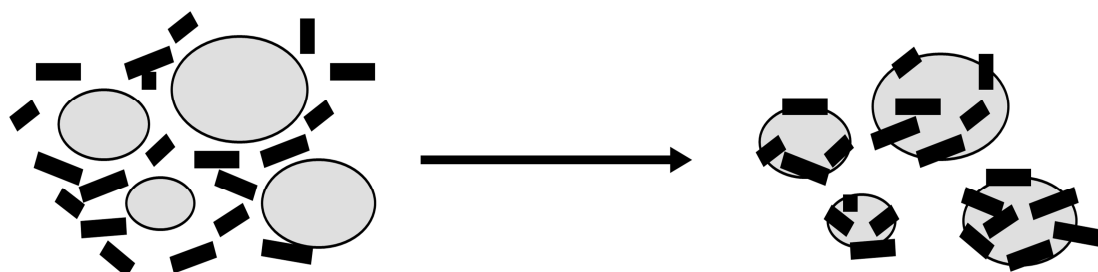
- **Proces suchého míchání**

Jedná se o nejběžnější proces na trhu. Standardní metalické povrchové úpravy je dosaženo suchým smícháním práškové barvy s vhodnými metalickými pigmenty. V důsledku metody slučování je důležitá přísná kontrola aplikace, aby byl zajištěn konzistentní vzhled povrchu. Výhoda této metody je nižší cena oproti bonderizovaným barvám. Při aplikaci je potřeba se vyhnout používání přívodních systémů s vibračním boxem, aby nedocházelo k separaci směsi. Při aplikaci tribo pistolí mají metalické pigmenty menší schopnost se nabíjet oproti práškovému základu. Díky tomu nastává celkově špatné nabíjení metalické práškové nátěrové hmoty a tím zamezení správnému ulpění na lakovaném povrchu. Tento problém se částečně řeší přimícháním nabíjecí přísady. Při tomto procesu výroby není vhodná rekuperace prášku, z důvodu složitého odhadu poměru nové a rekuperované barvy.[27]

- **Proces bonderizace**

Metalické nebo slídové pigmenty jsou natrvalo vázány k základu prostřednictvím tzv. procesu plnění. Jedná se o proces, v rámci kterého se metalické pigmenty „přilepí“ k základní práškové barvě. Díky teplu vznikajícímu třením, vytvářeným vysokou intenzitou míchání, se zvyšuje teplota základní práškové barvy nad její hodnotu skelného

přechodu Tg. Metalické pigmenty přilnou ke změkčenému základu práškových částic, takže metalické pigmenty a základní prášek jsou k sobě „vázány“. Přední výrobci práškových nátěrových hmot dosahují až 80% účinnosti bonderizace prášku. [27]



Standardní suché směšování

Bonderizovaná

Obr. 2.16 Schéma bonderizované barvy [27]

Předností výrobního procesu bonderizace je rovnoměrná aplikace, homogenní vzhled, možnost rekuperace, možnost nanášení systémem Tribo a lepší rovnoměrnost nástřiku při Faradayovi kleci. Nevýhodou je vyšší cena. [27]

2.4 Dodatečná úprava práškových nátěrových hmot

Kromě ekologických důvodů je jednou z nesporných výhod použití práškových nátěrových hmot (dále jen PNH) fakt, že se dodaná PNH u uživatele v lakovně nemusí dále upravovat, jako je tomu u rozpouštědlových nebo i disperzních vodou ředitelných nátěrových hmot.

Prášková nátěrová hmota se přímo v dodaném stavu doplňuje do nanášecího zařízení nebo u zařízení s vibračním podáváním se odebírá přímo z originální krabice dopravním čerpadlem. V případě ručních nanášecích pistolí s nádobkou se nejčastěji nabírá prášek přímo touto nádobkou z krabice. Přímá aplikace z krabice však může někdy způsobovat problémy, a to zejména u PNH dlouho skladovaných při vyšších teplotách nebo i PNH upěchovaných dlouhou dopravou. V tomto případě je vhodné provzdušnění barvy, jak bude uvedeno dále. I u práškových plastů však existují případy, kdy je vhodné nebo i nutné provést dodatečnou úpravu. Méně náročné úpravy lze provést přímo v lakovně. Při úpravě strukturní přísadou je lépe požádat dodavatelskou firmu. [27]

Přehled nejběžnějších dodatečných úprav PNH: [27]

- Promíchání dodané PNH

- Prosévání
- Míchání recyklované a nové PNH
- Úprava nabíjecí přísadou
- Úprava fluidizační přísadou
- Úprava odpěňovací přísadou
- Matování
- Úprava strukturní přísadou

2.5 Nanášení práškových nátěrových hmot

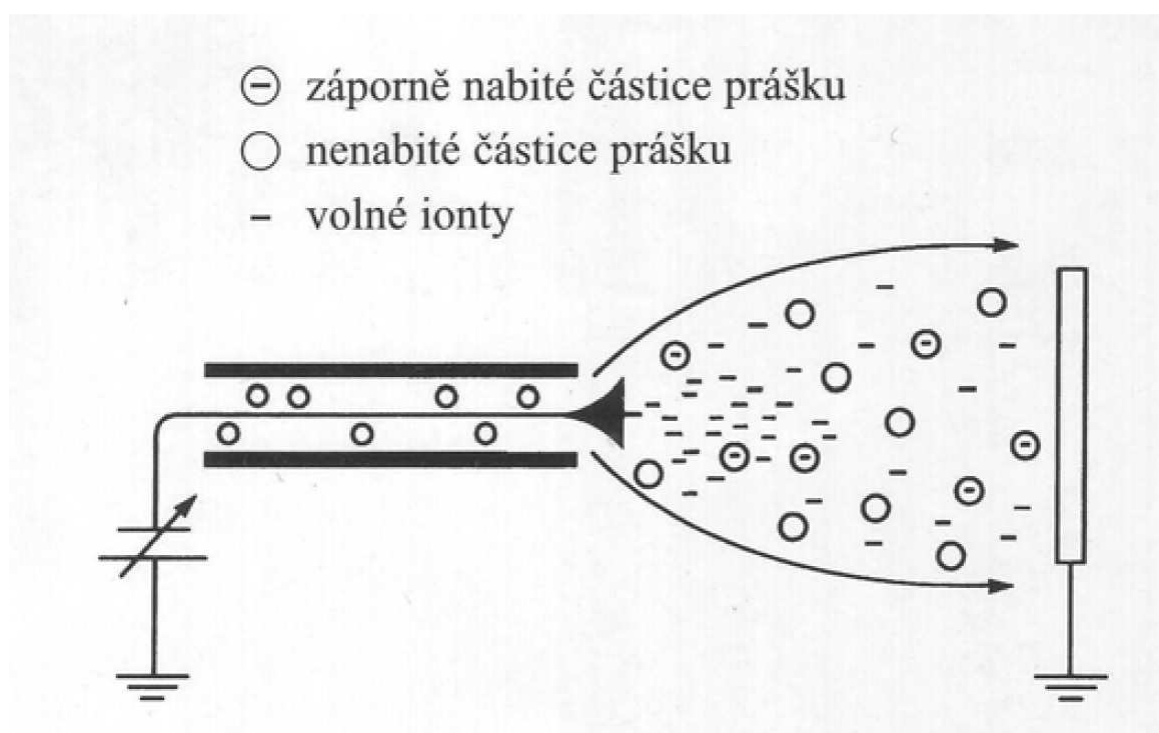
Dnes se prakticky veškeré práškové plasty nanášejí stříkáním v elektrostatickém poli. Společnou vlastností všech procesů toho druhu je, že částice prášku se elektricky nabíjí, zatímco lakovaný předmět je uzemněn. Výsledná elektrostatická přitažlivá síla stačí k vytvoření dostatečné vrstvy prášku na předmětu, udrží suchý prášek na místě, dokud se prášek neroztaví a nepřilne k povrchu. Částice prášku se elektrostaticky nabíjejí z těchto dvou způsobů: [9]

- Elektrostatickým nabíjením neboli corona nabíjením průchodem prášku vysokonapětovým elektrostatickým polem
- Elektrokinetickým nabíjením neboli tribostatickým nabíjením, kde elektrostatický náboj na částicích prášku vzniká jejich třením o izolant

2.5.1 Elektrostatické nabíjení

Vysoké napětí (40 – 100 kV), soustředěné na trysce stříkací pistole, způsobuje ionizaci vzduchu procházející pistolí. Při průchodu prášku tímto ionizovaným vzduchem se volné ionty přichytí na určitém počtu částic prášku, čímž se na částicích vytvoří záporný náboj. Mezi elektrostatickou stříkací pistolí a povlakovaným předmětem jsou přítomny záporně nabitě částice prášku, nenabitě částice prášku a volné ionty. Cílem je vždy dosáhnout co největšího podílu nabitých částic během vlastního procesu. K úspěchu významně přispívá také kvalita stříkacího zařízení. Volné ionty jsou malé a mnohem pohyblivější než částice prášku. Přebytké volné ionty se rychle pohybují směrem k předmětu

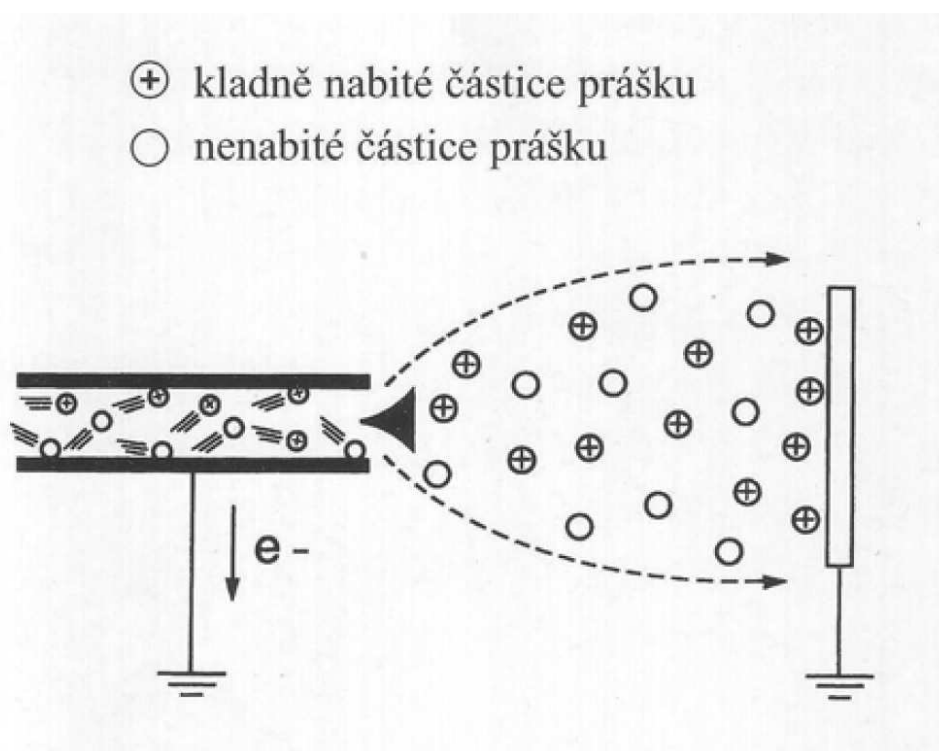
a současně na něj přenášejí velké množství záporných nábojů. Množství volných iontů zcela závisí na regulování napětí. Příliš vysoké napětí způsobuje nadbytečný přísun volných iontů, což ztěžuje získání dobré povrchové úpravy a v neposlední řadě zhoršuje rozliv – zpětná ionizace. (nedostatečné uzemnění předmětu, situaci dále zhoršuje). Vlivem vysokých hodnot napětí vznikají mezi tryskou stříkací pistole a předmětem elektrostatická pole. Tento jev se zpravidla označuje jako efekt Faradayovy klece a jeho důsledkem je obtížnost nanesení prášku na místech nejnižší hustoty pole (vnitřní plochy, dutiny). Zručná obsluha elektrostatického nanášení prášku se vyznačuje právě tím, že dokáže nastavit optimální hodnoty napětí a tento jev eliminovat. Výhodou elektrostatického nanášení je široký rozsah regulace nabíjení a tím možno aplikovat široké spektrum práškových nátěrových hmot od metalických odstínů, tenkovrstvé povlaky až po různé typy struktur. [9, 16, 24]



Obr. 2.17 Schéma principu elektrostatického nabíjení práškového plástu [16]

2.5.2 Elektrokinetické nabíjení

Částice prášku se elektrokineticky (frikčně, elektrokineticky) nabíjejí díky tomu, že při rychlém pohybu se otírají o speciální druh izolačního materiálu, kterým je vyložen válec stříkácí pistole. Mezi elektrokinetickou stříkácí pistolí a předmětem jsou přítomny především kladně nabitě částice prášku a nenabitě částice prášku. U elektrokinetického nabíjení není přítomno vysoké napětí, které by mohlo generovat volné ionty nebo vytvářet elektrické pole. Účinnost nabíjených částic prášku závisí na proudění prášku ve stříkácí pistolí. Optimálního výkonu lze zpravidla dosáhnout regulací průtoku vzduchu pistolí a poměru množství prášku a vzduchu. Některá elektrokinetická zařízení jsou vybavena mikroampérmetrem, jehož údaj nepřímo charakterizuje účinnost procesu nabíjení prášku. Hodnota měřeného elektrického proudu však závisí na množství prášku procházejícího stříkácí pistolí. Vysoký údaj mA nezaručuje dobrý výsledek nanášení. Nejdůležitějším faktorem optimalizace stříkání je množství (podíl) nabitých částic prášku opouštějících pistolí. Hlavní předností elektrokinetické neboli tribo pistole je jednoduchost v aplikaci a nehrozícího efektu Faradayovy klece. Nevýhoda je při aplikaci práškových nátěrových hmot s metalickými pigmenty, ty nedokáže tribo aplikace dostatečně nabít. [9, 16, 24]



Obr. 2.18 Schéma principu elektrokinetického nabíjení práškového plastu [16]

2.5.3 Podmínky pro správnou aplikaci práškových nátěrových hmot

U práškových plastů existují jen velmi omezené možnosti úprav dodávaného prášku. Použitím správné technologie a při znalosti jejích zákonitostí se však lze ve značné míře vyhnout vzniku problémů. Ve většině případů je prášek speciálně připraven pro konkrétní technologický proces. I když prášek i zařízení se mohou u jednotlivých aplikací lišit, existuje řada společných okruhů problémů. Aby se dosáhlo co nejlepšího výsledku a nanášení práškové hmoty probíhalo bez problémů, je velmi důležité přesně dodržovat návody jak dodavatele práškové hmoty, tak výrobce zařízení. V následujících bodech jsou uvedeny nutné podmínky pro zajištěné bezproblémové aplikace práškových nátěrových hmot. [9, 16, 23]

- **Kvalita stlačeného vzduchu**

Do stříkacího zařízení se smí přivádět jen čistý a suchý stlačený vzduch. Kvalita stlačeného vzduchu může změnit proces nabíjení a transportní vlastnosti prášku. Nečistý stlačený vzduch může také způsobovat vzhledové vady na povlaku. Tlakový vzduch nesmí obsahovat olej, vodu a musí být co nejsušší. Vzduch opouštějící chladič (sušič) při teplotě 3 °C je suchý a je pak vhodný pro nanášení práškových plastů. Maximální přípustná koncentrace vody ve stlačeném vzduchu je 1,3 g/m³, oleje 0,1 g/m³. [9, 16, 23]

- **Kvalita vzduchu v lakovně**

Pro účinnost stříkání má velký význam relativní vlhkost pracovního prostředí (ideální je mezi 45 a 50 %). Regulovanou vlhkostí lze získat rychlejší a rovnoměrnější vytváření povlaků. Zvláště důležitá je vyšší hodnota vlhkosti při stříkání další vrstvy. [9, 16, 23]

- **Kvalita práškového plastu.**

Vlhkost prášku nesmí být vyšší než cca 0,4 %. Teplota skelného přechodu by neměla být nižší než cca 50 °C. Práškový plast má obsahovat maximální podíl částic o velikosti 35-40 μm. Podíl částic menších než 10 μm by neměl překročit 10 % a prášek nesmí obsahovat částice větších rozměrů. Rozdíl ve velikosti částic má být co nejmenší. Je proto důležité určit maximální poměr použitého prášku po jeho recyklaci, neboť ten má vlastnosti vždy odlišné od nepoužitého. [9, 16, 23]

- **Dobré uzemnění předmětu**

Při elektrostatickém nanášení prášku se na předmět přenáší velké množství záporného náboje. Nemůže-li být tento velký přebytek elektronů účinně odveden dostatečným uzemněním, vytvoří se rychle na povlěkaném povrchu silný záporný náboj, který pak odpuzuje záporně nabitě částice prášku. Při elektrokinetickém nanášení vychází ze stříkací pistole prášek s kladným nábojem, to znamená, že má deficit elektronů. Pokud není předmět dostatečně uzemněn, vytvoří se na povlěkaném povrchu silný kladný náboj, který pak odpuzuje kladně nabitý prášek opouštějící pistoli. Důsledkem je pak nedostatečná tloušťka vrstvy prášku. Pro zajištění bezpečnosti provozu je naprosto nezbytné dokonale a účinně uzemnit stříkací zařízení a stříkací kabiny. U elektrokinetického nanášení je dobré uzemnění stříkací pistole zásadní podmínkou pro úspěšné nanášení. Jelikož prášek získává kladný náboj, je třeba uvolněné elektrony odvádět do země. Bez účinného uzemnění stříkací pistole by se záporný náboj hromadil a prášek by procházel pistolí bez nabití. Špatné uzemnění lakovaných předmětů je nejčastěji zapříčiněno neočištěnými závěsy a přípravky. [9, 16, 23]

3 VYTVRZOVÁNÍ PRÁŠKOVÝCH NÁTĚROVÝCH HMOT

Teplotu a především čas tepelného zpracování je nutno volit s ohledem na tloušťku materiálu, jeho tepelnou vodivost a tvar. Na kvalitním tepelném zpracování závisí přilnavost povlaků i jejich další vlastnosti. Problematické jsou povlaky na výrobcích o větších tloušťkách (např. 10-20 mm). Velmi záleží též na průběhu nárůstu teploty vypalovaného zboží. Nedostatečná výkonnost, resp. nevhodnost pece je příčinou zhoršení kvality povlaku projevující se v rozdílnosti kvality povrchů i u jednotlivých detailů. Rozdílnost (lesku, matu, drsnosti) závisí pak i na způsobu zavěšení a množství zboží. Velmi důležité je přímé proměřování teplot zboží, neboť nelze pouze spoléhat na hodnoty odečtené na ovládání pecí. Vzhledem k novým požadavkům na pracoviště práškových plastů (výrobky o velké hmotnosti i rozměrech) i větší náročnosti některých nových práškových plastů je nezbytné přehodnotit zaběhlé praktiky při tepelném vytvrzování práškových nátěrových hmot. [16]

3.1 Typy pecí dle způsobu vytvrzení

Typy pecí dle způsobu vytvrzování dělíme do tří základních skupin na horkovzdušné, infračervené a ultrafialové.

3.1.1 Horkovzdušné pece

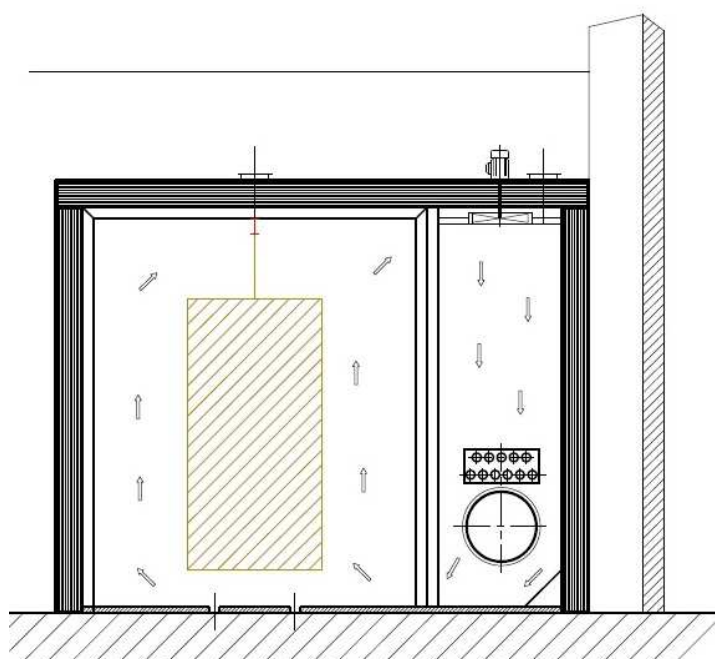
Horkovzdušné pece jsou nejpoužívanějším typem pro vytvrzování práškových nátěrových hmot. Rozdělují se dle topného média na plynové s přímým ohřevem, plynové s nepřímým ohřevem, elektrické a LTO (lehké topné oleje). Princip pecí funguje za pomoci cirkulace teplého vzduchu, který předává teplo na povrch dílce. Předností horkovzdušných pecí je univerzálnost. Možnost vytvrzování všech typů práškových nátěrových hmot a tvarů výrobků.

Nejčastěji se setkáváme s plynovými pecemi. Zde je tepelným činidlem plynový hořák. Jeho velikost a počet se liší dle velikosti pece. Provozní náklady těchto pecí jsou nejnižší z důvodu nejlacinějšího topného média – plynu. Užívají se dva typy plynových pecí, s přímým a nepřímým ohřevem.

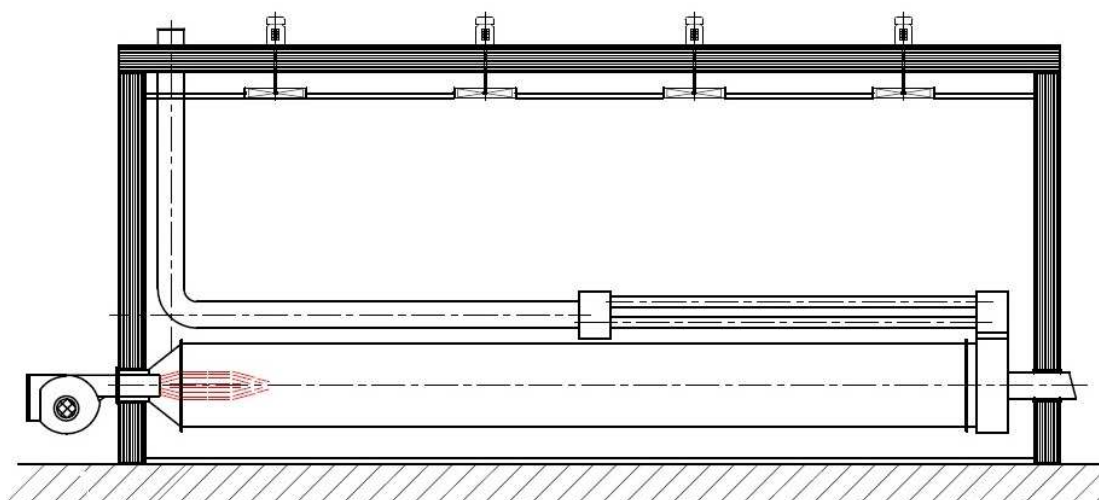
Nejlevnější variantou je plyná pec s přímým ohřevem. Plynový hořák vhání ohřátý vzduch přímo do vytvrzovacího prostoru. Hlavní nevýhoda této pece je ve spalínách z hořáku, které zůstávají v prostoru vytvrzování a mohou znehodnocovat kvalitu povrchu po vytvrzení.

Hlavní součástí pece s nepřímým ohřevem je teplotní výměník. Princip nepřímého teplotního výměníku spočívá v tom, že teplý vzduch z hořáku je vháněn do trubkového potrubí, které má výstup do venkovního prostředí i se všemi spaliny. Za pomoci ventilátorů cirkuluje vzduch z pece přes tento zahřátý trubkový výměník a zahřívá pec na danou teplotu. Předností této metody je větší čistota prostředí a plynulé rozvedení teploty v peci.

Elektrické a LTO pece se využívají v prostorách, kde není možno přivést plyn nebo je to finančně nákladné.



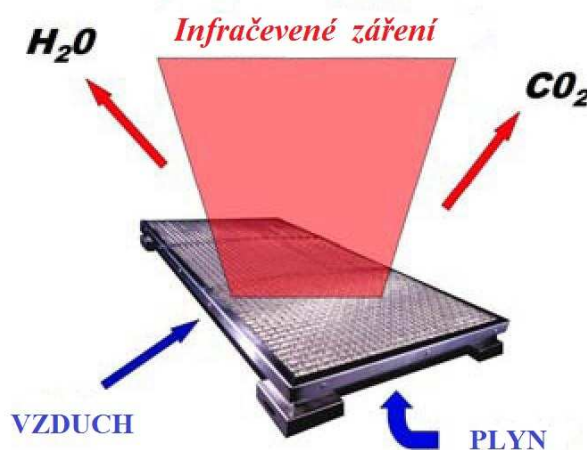
Obr. 3.1 Schéma cirkulace vzduchu v peci s výměníkem [27]



Obr. 3.2 Řez pecí s výměníkem [27]

3.1.2 Infračervené pece

Infračervené pece jsou bezplamennou vytvrzovací technologií, která produkuje rovnoměrně nežhavé teplo o nízké intenzitě. Tato energie o střední vlnové délce je snadno a stejnosměrně absorbována širokou škálou materiálů, včetně práškových barev. Na rozdíl od horkovzdušných pecí se nezahřívá vzduch, ale přímo povrch lakovaného dílu. Díky tomu nastává rychlejší vytvrzení než u klasických konvenčních pecí. Infračervené pece mohou být dle zdroje infračerveného záření elektrické nebo katalytické plynové. Elektrické se skládají z trubic, které vyzařují infračervené záření. Tyto pece se stavěly v minulosti a dnes jsou nahrazovány katalytickými. Nevýhoda těchto pecí spočívala ve vysoké energetické náročnosti a servisních nákladech. Infračervený katalytický ohřívač je ohřívač difuzního typu, který funguje na principu procesu redukce chemické oxidace. Nedochozí k žádnému nucenému přívodu vzduchu nebo kyslíku pro chemickou reakci. Vzduch, který je potřebný pro reakci, se rozptyluje skrze povrch ohřívače a do míst reakce na platinovém/plynovém rozhraní. Katalytický ohřívač funguje přibližně při teplotě 482 °C a převádí 80 % přiváděného plynu na infračervené záření, které je ve vlnové délce 3,5 mikronů, což je v takové vlnové délce, aby všechny organické materiály efektivně absorbovaly infračervené záření při velmi rychlém zvýšení jejich teploty. Katalyzátorem, který tento proces umožňuje, může být např. platina. Předností infračervených pecí jsou v rychlém zvýšení teploty dílu, v nižších provozních nákladech, v možnosti přesné regulace teploty a v minimálních požadavcích na podlahovou plochu pece. Jejich nevýhoda je pouze u dílu s lakovanými dutinami nebo hodně profilovanými tary. Zde nedochází k dopadu infračervených paprsků a tím k nedostatečnému vytvrzení povlaku. [26]



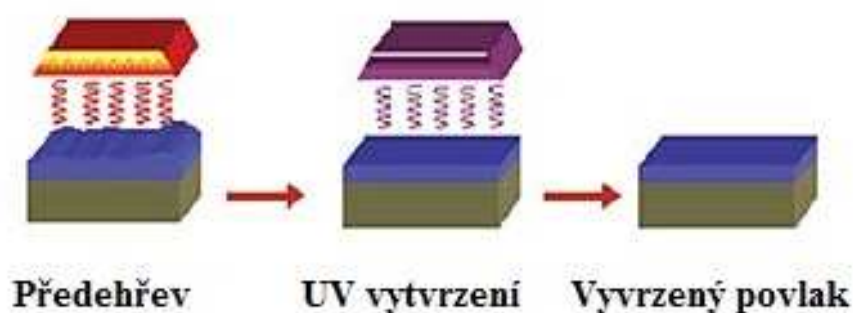
Obr. 3.3 Princip infračerveného katalytického ohřívače [26]



Obr. 3.4 Příklad infračervené katalytické pece

3.1.3 UV pece

Vytvrzování UV paprsky je nejrychlejší proces vytvrzování. Vytvrzování práškových nátěrových hmot pomocí UV pece má 2 stupně. Prvním je nanesení práškového plastu na povrch a předehtání na teplotu cca. 100 °C. Předehtev může být proveden horkovzdušnou nebo infračervenou pecí. Nejčastěji se využívá infračervené za účelem urychlit proces vytvrzení a tím co nejméně zahřívát základní materiál. Během tohoto procesu se začne prášek tavit a rozlévat. Následně nastává ozáření ultrafialovým světlem a vytvrzení povlaku. Nevýhodou je nutnost speciálních práškových nátěrových hmot s obsahem fotoiniciátorů, které umožní téměř okamžité zasíťování pryskyřice. Předností UV pecí je rychlost vytvrzení povlaku, nízká teplota vytvrzování, možnost okamžitého balení vytvrzeného materiálu. Díky nízkým teplotám se tyto pece využívají hlavně při výrobě MDF desek a v automobilovém průmyslu. [15]



Obr. 3.5 Proces vytvrzování ultrafialovým paprskem [15]

3.2 Typy pecí dle způsobu upořádání

Vytvrzovací pece na práškové nátěrové hmoty se dělí na dva typy, komorové a průjezdné.

Komorové vytvrzovací pece se také nazývají zavážecí. Nejčastěji se s nimi setkáme v komerčních lakovnách a provozech, kde se vytvrzují silnostěnné materiály. Vyrábí se dvě uspořádání, vratné nebo průchozí. Vratné mají pouze jedny dveře, které slouží k otevření i uzavření pece. Průchozí komorové pece jsou konstruovány tak, aby měly vstupní i výstupní dveře naproti sobě a tím umožňují snadnější manipulaci s vytvrzeným materiálem. V menších komerčních lakovnách se užívá zavážecích vozíků. Efektivnější a rychlejší je užití podvěsných drážek a přesuvného dopravníku, tento systém je nejrozšířenější. Výhoda těchto pecí je jejich univerzálnost, cena a nízké nároky na podlahovou plochu.

Lakovací linky užívají průjezdné pece. Materiál jimi prochází na závěsném dopravníku. Vstup i výstup musí být vždy opatřen clonou, aby nedocházelo k úniku tepla z pece. Clony jsou vzduchové nebo konstrukční.



Obr. 3.6 Komorová pec [28]

4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

4.1 Návrh experimentu

Pro měření experimentu byly vybrány dva charakteristické díly – konzola a stojan. Proces povrchové úpravy je složen z předúpravy, nalakování a vytvrzení dílů. U všech dílů bude shodně provedena předúprava a aplikace práškové nátěrové hmoty dle optimálních podmínek. Při stanovení podmínek se bude vycházet z informací uvedených v technickém a bezpečnostním listu práškové nátěrové hmoty a z obecných aplikačních zásad při lakování. Kvalita předupraveného povrchu bude zkontrolována dle ISO 2632.

Proces vytvrzování bude probíhat ve třech různých pecích. Dvě pece budou komorové průchozí s horkovzdušným ohřevem a jedna průjezdná s infračerveným katalytickým ohřevem. Počet vytvrzovaných dílů bude rozdělen do dávek dle maximální možné kapacity komorových pecí. Díl konzola bude rozdělen po 26 a 40 kusech. Díl stojan bude rozdělen na dávky po 5 a 12 kusech. Při vytvrzování bude vždy změřen teplotní diagram náběhu teploty a doby vytvrzení jednotlivých dílů. Po provedení povrchových úprav všech dílů bude provedeno jejich jednotlivé měření. Bude měřena tloušťka povlaku dle normy ISO 2808, změna barevné odchylky ΔE v barevném prostoru CIE Lab a množství jednotek lesku dle ISO 2813. Následně bude provedena zkouška přilnavosti povlaku mřížkovou zkouškou dle ČSN EN ISO 2409 a odtrhovou zkouškou dle ČSN EN ISO 4624

Po dokončení povrchové úpravy jednotlivých dílů bude provedena ekonomická analýza. Analýza bude porovnávat časy na nalakování, vytvrzení a následné zchladnutí jednotlivých dílů na celou dávku. Dále bude porovnána energetická spotřeba na jednotlivé dávky a počet pracovníků nutných pro daný proces lakování. Podle výsledné ekonomické analýzy bude vyhodnocen nejefektivnější proces lakování a následně vypočítána ekonomická návratnost při změně stávajícího procesu za nejefektivnější.

Díly, na kterých bude experiment proveden, jsou z oceli 11 373.0. Díl konzola je svařovaný, s konstantní tloušťkou materiálu 15 mm. Druhý svařovaný díl, stojan má tloušťku materiálu od 4 do 10 mm.



Obr. 4.1 Díl konzola



Obr. 4.2 Díl stojan

4.1.1 Předúprava povrchu

Všechny svařené díly byly otryskány v závěsném tryskacím zařízení od firmy Kovo Staněk. Jednotlivé díly určené k tryskání se zavěsily na hák, který se během cyklu tryskání otáčel a současně se vodorovně pohyboval před metacími koly. Metacími koly bylo vrháno abrazivo typu S330. Jedná se o ocelový granulát s kulatým tvarem zrn se střední tvrdostí 40 - 55 HRC. Chemické složení oceli se skládá z uhlíku (0,8-1,1%), manganu (0,6-0,8%), křemíku (0,6-0,8%), fosforu (<0,04%) a síry (<0,04%). Tvar o velikost od 0,7 – 1 mm. Výhodou této předúpravy je ekologická nezávadnost a zdrsňení povrchu, které umožňuje lepší přilnavost práškové nátěrové hmoty při aplikaci i po vytvrzení. Zařízení je vybaveno systémem rekuperace. Ta zajišťuje zbavení abraziva přebytečného prachu a nečistot. [18]



Obr. 4.3 Závěsné trykací zařízení

4.1.2 Nanášení práškové nátěrové hmoty

Pro lakování dílů je předepsána prášková nátěrová hmota 531-7755 od společnosti BASF (Příloha 1.). Jedná se o epoxid - polyester s hrubou strukturou a matným povrchem. Lakování dílů probíhalo na dvou místech se stejným aplikačním zařízením, z důvodu rozdílného vytvrzení povlaku. Nanášení práškové nátěrové hmoty bylo aplikováno elektrostatickým zařízením GEMA Optiflex 2. Barva byla podávána ze zásobníku s fluidizačním dnem. Při aplikaci byly nastaveny na aplikačním elektrostatickém zařízení hodnoty napětí 85 kV a proudu 60 μ A. Nanášení práškového plastu bylo prováděno ručně v oboustranné nanášecí kabině typ MAJKA, vyrobené z leštěného nerezového plechu. Kabina má dvojici odsávacích filtračních modulů. Každý modul je osazen 8 filtračními patronami. Pro nanášecí pistole byl zajištěn tlakový vzduch zbavený vody a oleje.



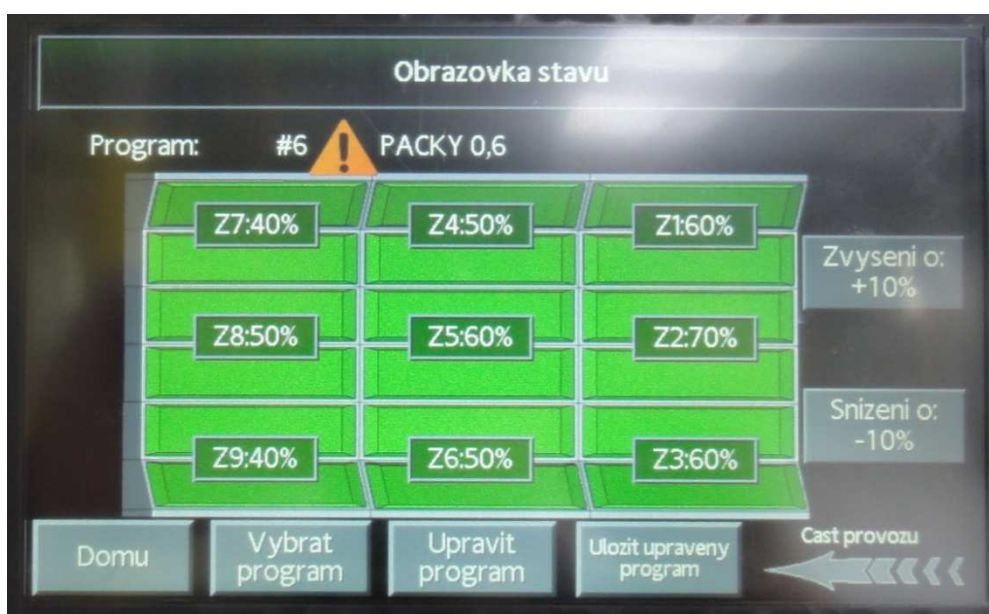
Obr. 4.4 Nanášení práškové nátěrové hmoty

4.1.3 Vytvrzení

Vytvrzení je prováděno ve třech pecích. První je průběžná infračervená katalytická pec. Její vytvrzovací rozměry jsou 5500 mm na délku, 1400 mm na šířku a 3200 mm na výšku. Obsahuje 36 infračervených panelů. Výkon jednotlivých panelů byl nastaven pro každý díl rozdílně, procentuální výkon jednotlivých panelů je zobrazen na obr. 4.28 a 4.29. Díly byly zavěšeny na jednoduchém podvěsném dopravníku. Rychlost dopravníku byla nastavena u konzoly na $0,6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ a u stojanu na $0,75 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.



Obr. 4.5 Nastavení infračervených panelů pro díl – konzola



Obr. 4.6 Nastavení infračervených panelů pro díl – stojan

Druhé vytvrzení probíhalo v průchozí horkovzdušné komorové peci s plynovým vytápěním. Velikost malé pece je 3100 mm na délku, 1400 mm na šířku a 2000 mm na výšku. Pec vytápí dva plynové hořáky o výkonu 40 kW. Pec je s nepřímým ohřevem, který umožňuje odvod spalin z hořáku mimo lakované díly a tím zlepšuje kvalitu povrchu po vytvrzení. Doba nahřátí pece při zapnutí je 60 minut. Doba vytvrzení konzoly při zavezení do pece je 60 minut a stojanu 50 minut při teplotě 210 °C.



Obr. 4.7 Malá horkovzdušná komorová pec

Poslední velká vytvrzovací pec je také průchozí, horkovzdušná a komorová s plynovým vytápěním o rozměrech 5100 mm na délku, 2400 mm na šířku a 2000 mm na výšku. Pec vytápí čtyři hořáky o výkonu 30 kW. Doba nahřátí pece při spuštění je 45 minut. Doba vytvrzování konzoly při zavezení do pece je 60 minut a stojanu 50 minut při teplotě 210 °C. Obě pece mají hořáky se skokovým náběhem, kdy po sepnutí mají pouze plný výkon bez plynulého náběhu. Do obou pecí byly zavezeny díly na přesuvném dopravníku.

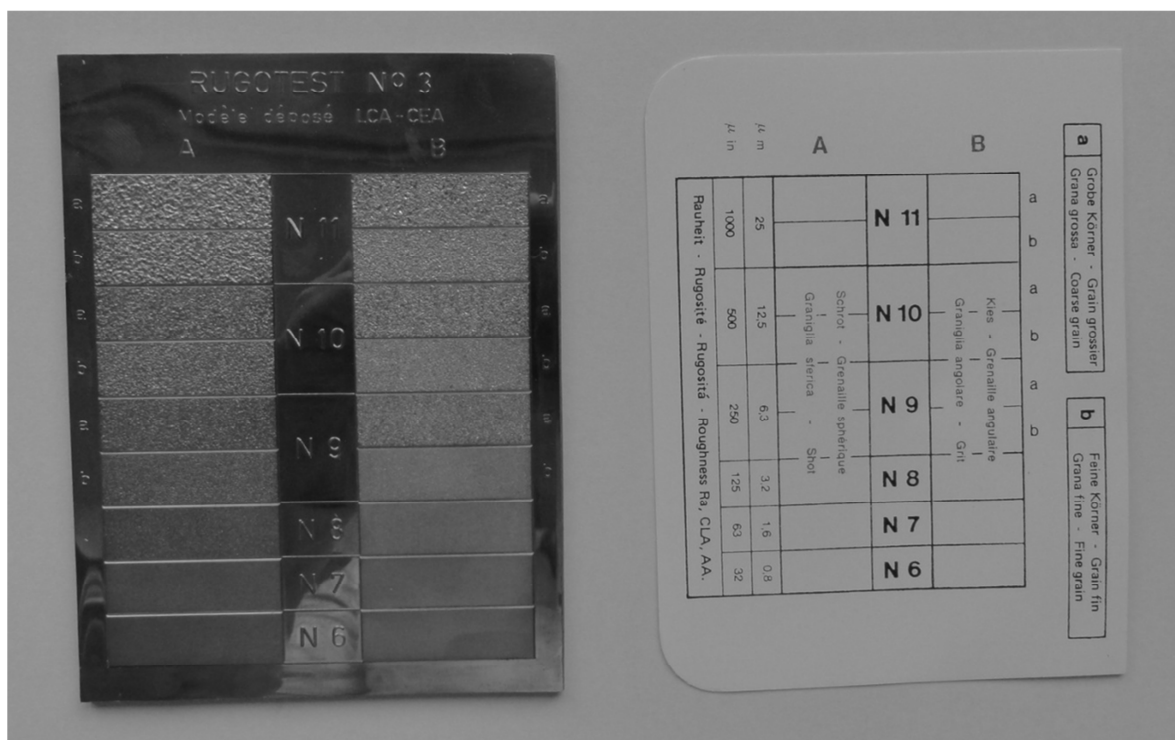
4.2 Měřicí přístroje a použité postupy měření

4.2.1 Měření kvality trykaného povrchu

Přilnavost práškové nátěrové hmoty k základnímu materiálu se vždy odvíjí od kvality předúpravy povrchu. Kvalita povrchu po tryskání se zjišťuje porovnávací metodou, za pomoci komparátorů. Tyto komparátory nám pomáhají zjistit drsnost povrchu po tryskání. Pro lakování práškovými plasty nám norma ISO 2632/I-1975 udává doporučenou drsnost povrchu po tryskání v rozmezí Ra 6,3 až 12,5 μm . Pro správné určení drsnosti povrchu byl použit komparátor RUGOTEST č. 3.

- **Popis RUGOTESTU č. 3**

Velká písmena A a B nám určují typ použitého abraziva. Tryskání drtí (ostrohranem) je označeno písmenem B a tryskání granulátem (kuličkami) je označeno písmenem A. Stupně N6 až N11 nám určují stupeň drsnosti. Střední aritmetická úchylka drsnosti Ra nám k jednotlivým stupňům přiřazuje následující hodnoty N6 – 0,8 μm ; N7 – 1,6 μm ; N8 – 3,3 μm ; N9 – 6,3 μm ; N10 – 12,5 μm a N11 – 25 μm . Malé písmeno **a** je jemné zrna a malé písmeno **b** je hrubé zrna.



Obr. 4.8 Komparátor RUGOTEST č. 3

4.2.2 Měření tloušťky povlaku

Tloušťka povlaku nám ovlivňuje kvalitu povrchu, mechanickou i chemickou odolnost. Proto je vždy nutno dodržet doporučenou tloušťku dle příslušného technického listu. Nejčastější rozmezí je od 80 μm do 120 μm . Měření tloušťky slouží jako podklad pro mřížkovou zkoušku, kde je tloušťka povlaku vstupní hodnotou pro měření. Pro měření tloušťky povlaku byl použit tloušťkoměr LIST MAGNETIC EASY-CHECK FE/FN.

- Použití dle norem ISO 2178, ISO 2360, ISO 2808
- Rozsah měřicího přístroje: Fe 0 – 5000 μm , NFe 0 – 2000 μm
- Rozlišení přístroje: 1 - 100 μm : 0.1 / 1 μm
> 100 μm : 1 μm
> 1000 μm : 0.01 mm
- Přesnost přístroje: do 100 μm : $\pm 1 \mu\text{m}$
100 - 1000 μm : $\pm 1 \%$
1000 - 2000 μm : $\pm 3 \%$
nad 2000 μm : $\pm 5 \%$
- automatické přepnutí mezi feromagnetickým a neferomagnetickým podkladem

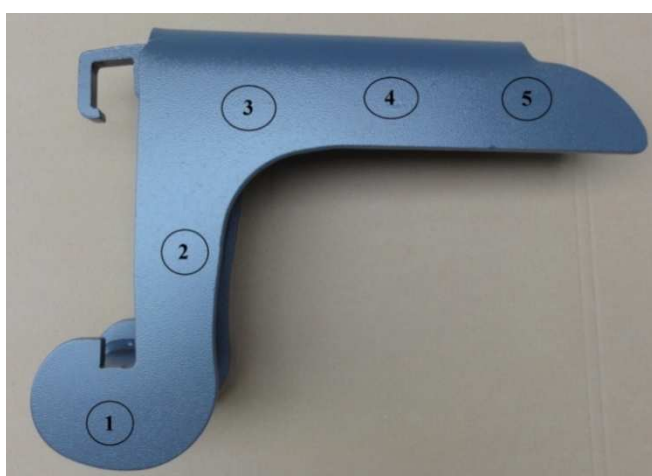


Obr. 4.9 Tloušťkoměr EASY-CHECK FE/FN

Vytvrzení práškové nátěrové hmoty bude provedeno ve třech rozdílných pecích. Po jednotlivých vytvrzeních bude vybrán vždy jeden díl a na něm bude provedeno měření. U každého dílu bude naměřeno pět hodnot (obr. 4.32 a obr. 4.33). Výsledná hodnota bude vypočítána aritmetickým průměrem dle vzorce:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{n} \cdot (x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5) \quad (4.1)$$

- x jsou jednotlivé naměřené hodnoty [μm]
- n je počet měření [-]



Obr. 4.10 Měření tloušťky - díl konzola



Obr. 4.11 Měření tloušťky - díl stojan

4.2.3 Měření přilnavosti povrchu odtrhoměrem

Pro měření kvality přilnavosti povrchu byla použita odtrhová zkouška přilnavosti. Odtrhová zkouška přilnavosti byla provedena dle normy ČSN EN ISO 4624. K měření byla použita měřicí sada Comtest OP1-P20. Měření probíhalo dle normy ČSN EN ISO 4624, ČSN EN 311 a BS EN ISO 4624. Skládá ze zkušebního tělíska, řezného nástroje, lepidla a odtrhoměru.



Obr. 4.12 Odtrhová sada Comtest OP1-P20

- **Zkušební tělíska**

Zkušební tělíska jsou z hliníku, speciálně navržena k použití s trhacím zkušebním zařízením. Každé tělísko má pevnou, rovnou základnu pro spojení lepidlo / nátěr na jedné straně a zařízení pro uchycení v trhacím zařízení na straně druhé. Každé tělísko má nominální průměr 20 mm a dostatečnou tloušťku, aby se vyloučilo deformace během zkoušky. [7]



Obr. 4.13 Zkušební tělíska

- **Odrhoměř**

Pro odtržení byl použit mechanický odtrhoměr Comtest OP1-P20.

Tab. 4.1 Technické parametry odtrhoměru [17]

Typ přístroje	COMTEST® OP1 P 20
Maximální napětí	7 kN resp. 19,98 MPa na panence o průměru 20mm
Rozlišení	0,02 MPa
Max. chyba měření	± 1,5% z naměřené hodnoty ± 2 digity
Hmotnost zatěžovací jednotky	1,7 kg
Rozměr zátěžové jednotky.	200 x 85 mm

- **Lepidlo**

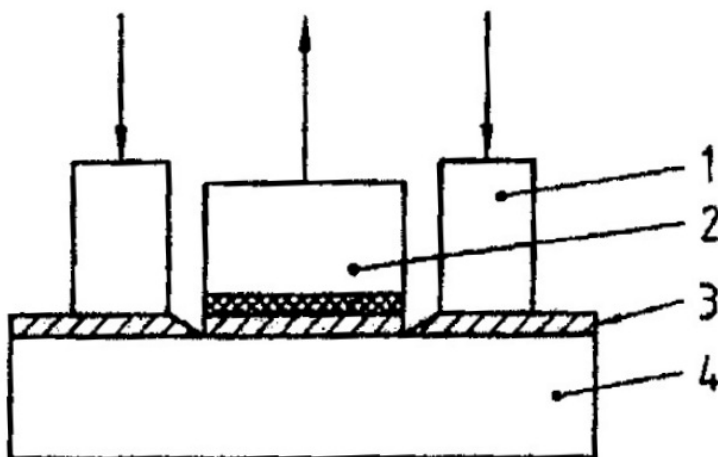
Pro provedení zkoušky bylo použito rychlolepidlo RI/21. Jedná se o dvousložkový systém pro lepení kovových součástí k různým materiálům na bázi metylmetakrylátové pryskyřice. Při aplikaci se tekutá složka rychlolepidla důkladně promíchá s 5 % (váhově) práškového tvrdidla a nanese se na dobře očištěné a odmaštěné zkušební tělíska v tloušťce 1 - 2 mm a lehce se přitlačí ke zkušebnímu podkladu. Doba k dosažení tahové pevnosti 20MPa při 20°C je cca. 1 hodinu.

- **Řezný nástroj**

Jako řezný nástroj byla použita ruční mechanická frézka. Frézka má navržené rozměry tak, aby přesně kopírovala zkušební tělíska o průměru 20 mm. Tím je zaručeno ideální obřezání zkušebního tělíska na základový materiál.

- **Postup měření**

Vhodným lepidlem se přilepí na měřené místo na povrchové úpravě panenka. Povrchová úprava (3) se prořízne až do základního materiálu (4) ruční frézou. Tím je zajištěna (definována) přesná měřená plocha. Po vytvrzení lepidla se připojí ke zkušební panence odtrhový přístroj (1) COMTEST®OP1 P 20. Otáčením zatěžovacího ramene (vratidla) se zkušební panenka (2) zatěžuje. Měřicí jednotka je vybavena akustickou indikací překročení optimální rychlosti zatěžování. Během zkoušky neustále přepočítává nárůst zatěžovací síly. Při překročení nastaveného limitu (např. 200N/s) informuje zkušebního technika zapípáním. Panenka se zatěžuje až do odtržení. Na displeji elektronické měřicí jednotky se odečte maximální dosažené napětí na panence o průměru 20mm. [7]



Obr. 4.14 Zkušební uspořádání pro tuhé podklady [7]

- **Vyhodnocení zkoušky**

Vyhodnocení odtahové zkoušky se skládá z odtahové síly a charakteru porušení. Odtahová síla σ , v megapaskalech se znázorní na displeji odtrhoměru. Tato hodnota se zaokrouhlí

na nejbližší celé číslo. Charakter porušení je vyjádřen jako odhad procentuálního podílu plochy a charakteru porušení zkoušeného systému podle tab. 4.2.

Tab. 4.2 Charakter porušení [7]

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

4.2.4 Měření přilnavosti povrchu mřížkovou zkouškou

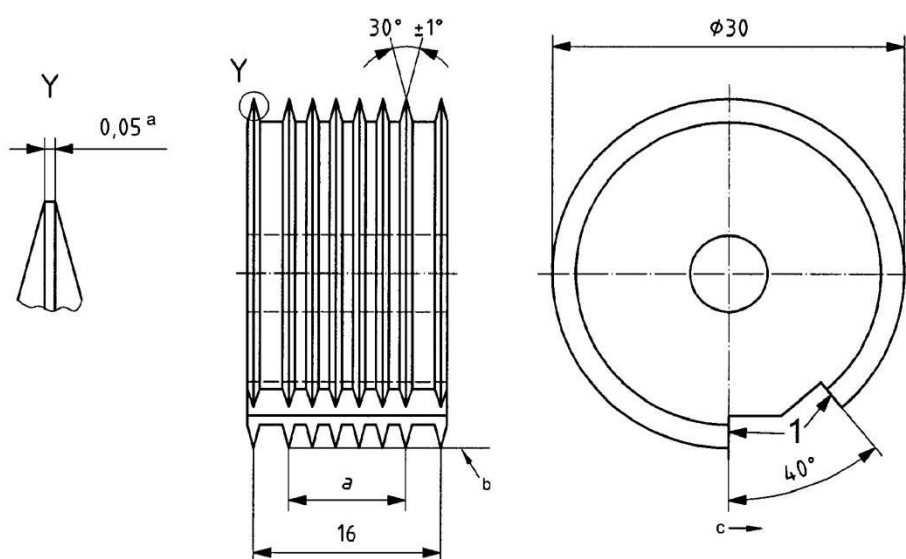
Pro měření kvality přilnavosti povrchu k základnímu materiálu byla použita mřížková zkouška. Mřížková zkouška byla provedena dle normy ČSN EN ISO 2409. K měření byla použita měřicí sada Elcometer 1542. Měření probíhalo dle normy ČSN EN ISO 2409, ASTM D3359, BS 3900 E6, ECCA T-6. Skládá se z řezného nástroje, lupy, kartáčku a pásy.



Obr. 4.15 Sada pro mřížkovou zkoušku Elcometer 1542

• Řezný nástroj

Řezný nástroj má přesně definovaný tvar a jeho ostří je v dobrém stavu. Pro měření byl použit řezný nástroj s více ostřími. Nástroj je složen ze šesti řezných ostří pod úhlem 30° a dvou vodících. Nástroje se šesti ostřími mají tři rozdílné geometrie dle tloušťky a typu podkladu. Pro tvrdé i měkké podklady s tloušťkou povlaku $61\text{ }\mu\text{m}$ až $120\text{ }\mu\text{m}$ je vzdálenost mezi ostřími 2 mm . [6]



b) Řezný nástroj s více ostřími

Legenda

- 1 řezné ostří
- a šířka přes všech šest řezných ostří
- ^a přebrousit, pokud se řezné ostří opotřebovalo na $0,1\text{ mm}$
- ^b vodící hrana a řezné ostří leží ve stejné vzdálenosti (mají stejný průměr)
- ^c směr řezu

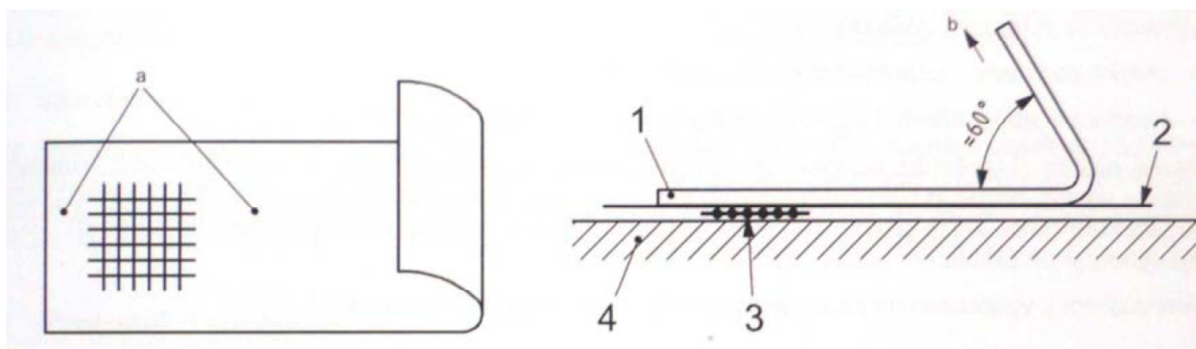
Obr. 4.16 Řezný nástroj [6]

• Samolepící páska

Samolepící páska, jejíž přilnavost je mezi 6 N na 25 mm šířky a 10 N na 25 mm šířky, stanoveno podle IEC 60454-2. Páska musí být alespoň 50 mm široká. Doporučuje se průhledná páska. [6]

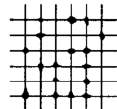
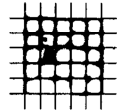
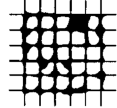
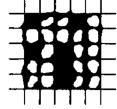
- **Postup zkoušky**

Vzorky musí být rovné a nedeformované. Jejich rozměry musí být takové, aby dovolovaly provést zkoušku ve třech různých místech vzdálených od sebe navzájem anebo od hrany vzorku nejméně 5 mm. Tloušťka vytvrzeného povlaku, v mikrometrech, se stanoví jednou z metod specifikovaných v ISO 2808. Dle tloušťky povlaku se stanoví vzdálenost řezů. Řezný nástroj se drží kolmo k povrchu zkušebního vzorku. Stejným tlakem na řezný nástroj a pomocí příslušné vodící šablony se provede do povlaku(2) dohodnutý počet řezů rovnoměrnou řeznou rychlostí. Všechny řezy (3) musí proniknout k povrchu podkladu (4). Tento postup se opakuje provedením stejného počtu dalších paralelních řezů, křížící původní řezy pod úhlem 90° tak, aby se vytvořila mřížka. Měkkým štětcem se vzorek několikrát lehce otře podél obou úhlopříček mřížky. Na tvrdé podklady se použije samolepící páska. Na začátku nové řady zkoušek se z cívky se samolepící páskou odstraní dvě celé otočky pásky a odloží se. Odvine se další kus pásky a uřízne se z něj kousek přibližně 75 mm dlouhý. Střed pásky se umístí na mřížku, rovnoběžně s jedním svazkem řezů tak, jak je zobrazeno na obrázku 4.37. Páska (1) se v místě nad mřížkou prstem uhladí (a) tak, aby mřížku překrývala nejméně o 20 mm. Aby byl zajištěn dobrý kontakt s povlakem, přitlačí se páska pevně konečky prstů nebo nehtem. Barva povlaku prosvítající páskou je známkou dobrého kontaktu po celé délce pásky. Během 5 minut po aplikaci pásky se páska trhnutím za volný konec a tažením (b) pod úhlem co možná nejblíže 60° za 0,5 s až 1 s odstraní (obr. 4.37). [6]



Obr. 4.17 Provedení mřížkové zkoušky [6]

• **Klasifikace výsledné zkoušky**

Klasifikace	Popis	Vzhled povrchu plochy s mřížkovým řezem, na které se vyskytlo odlupování (Příklad pro šest rovnoběžných řezů)
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 a/nebo 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, a/nebo 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 a/nebo některé čtverce jsou odloupnuty částečně nebo zcela. Poškozená plocha je větší než 35 %, ale menší než 65 %	
5	Jákykoliv stupeň odlupování, který nemůže být klasifikován ani stupněm 4	–

Obr. 4.18 Klasifikace mřížkové zkoušky [6]

4.2.5 Měření barevné odchylky

Pro měření barevné odchylky byl použit spektrofotometr HACH LANGE typu LMV170. Měření proběhlo dle normy ISO 7724. Barevná odchylka byla měřena v barevném prostoru CIE Lab. Na přístroji lze nastavit automatický výpočet změny odchylky ΔE a odečet jednotlivých souřadnic L, a, b. Vzorové díly konzola a stojan pro měření barevné odchylky byly vytvrzeny v malé komorové peci.

Parametry použitého přístroje:

- Rozsah délek vlnových délek 400 nm až 700 nm
- Rozlišení vlnové délky 10 nm
- Opakovatelnost 0,01 ΔE
- Reprodukovatelnost 0,2 ΔE
- Osvětlení D65
- Úhel pozorování 2°



Obr. 4.19 Fotospektrometr HACH LANGE

4.2.6 Měření lesku

Pro měření lesku byl použit Leskoměr ELCOMETER 401 Novo-Gloss. Přístroj je určený k měření lesku na povrchu rovných ploch. Princip měření lesku spočívá na polarizovaném senzorickém snímání paprsků odraženého světla, vyzářeného světelným zdrojem pod určitým úhlem a konstantní intenzitě.

Parametry použitého přístroje:

- Schváleno pro normy ISO 2813 a ISO 7668
- Rozsah měření od 0 do 100 jednotek lesku
- Úhel měření lesku 20°, 60° a 85°
- Reprodukovatelnost $\pm 0,5$ jednotek lesku
- Rozlišení přístroje 0,1 jednotek lesku



Obr. 4.20 Leskoměr ELCOMETER 401 [10]

4.2.7 Záznam průběhu teploty v peci

Pro zaznamenání průběhu teploty jednotlivých dílů v peci byla použita měřicí sada CURVE –X 2 USB. Měření budou díly stojan a konzola, které se vytvrdí v komorových pecích. Sada obsahuje měřicí přístroj, snímací sondy, ochranný izolační box a software.

Měřicí přístroj sleduje průběh procesu vypalování práškové barvy ve vypalovacích pecích. Shromažďuje data o provozní teplotě výrobku a jeho okolí, což následně analyzuje a výsledek okamžitě zobrazuje na displeji. [5]

Parametry přístroje:

- 6 měřících kanálů na sondy
- Rozsah měřené teploty od -50 °C až + 1200 °C
- Přesnost měření $\pm 0,3$ °C
- Rozlišení měření 0,1 °C
- Interval měření od 1. sekundy

Sondy pro CURVE-X2 byly speciálně navrženy tak, aby garantovaly vysokou přesnost měření. Malá tvarová a materiálová diference zajišťuje kontakt s povrchem vypalovaného povlaku a také správné zachování vlastností kontinuálního teplotního toku. Vodící kabely mají vnější teflonový obal, který napomáhá jejich údržbě a zároveň zabraňuje zapletení kabelu, popřípadě jeho zničení. Pro měření byly použity tři typy sond, magnet snímající teplotu povrchu, svorka a svorka snímající vzduch. [5]

Ochranný izolační box je vyroben z vysoce kvalitní nerezové oceli a zajišťuje ochranu jak přístroji, tak přebytné délce vodivých kabelů, které by se mohly při vypalovacím procesu poškodit. V koncovém důsledku vytváří ochranný box teplotní ochranu s vysokým koeficientem teplotního odporu. [5]



Obr. 4.21 Měřicí sada průběhu teploty v peci [5]

4.3 Vyhodnocení měření

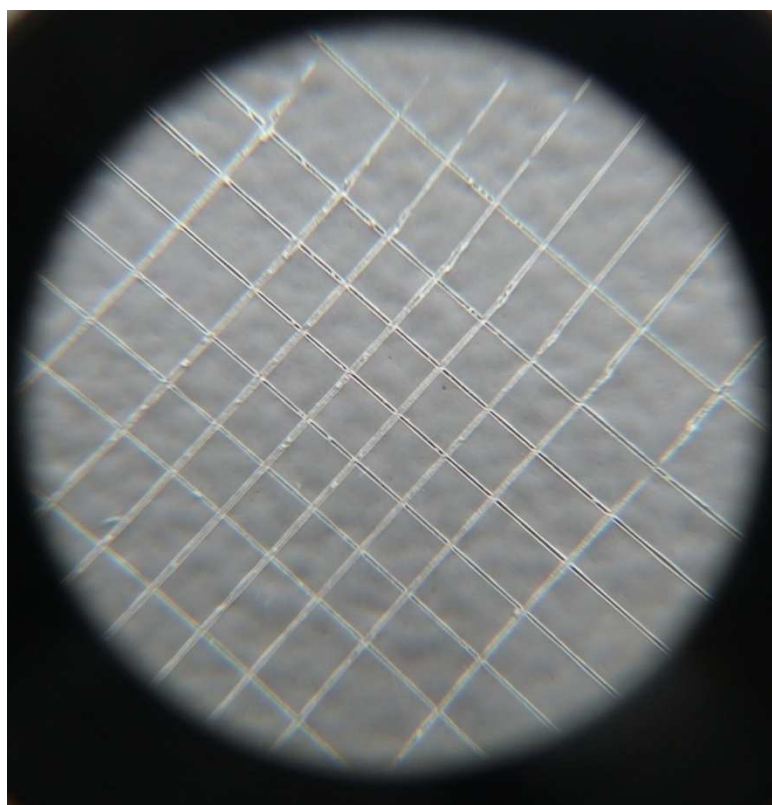
Měření bylo provedeno na šesti dílech. Na všech dílech byly provedeny zkoušky nebo měření podle postupů uvedených v předchozí kapitole. Každý měřený díl je zpracován do tabulky s vypočtenými a naměřenými hodnotami. Následně jsou přidány fotografie z měření odtahové zkoušky, mřížkové zkoušky a grafu průběhu vytvrzovací teploty v peci. Fotografie mřížkové zkoušky jsou po 10 násobném zvětšení mřížky.

- **Měření 1**

První konzola byl vytvrzen v malé komorové peci při teplotě 210 °C po dobu 60 minut. Jednotlivé hodnoty barevné odchylky jsou výchozí pro další měření dílu konzola. Lesk byl měřen pod úhlem 60°.

Tab. 4.3 Výsledné hodnoty dílu 1

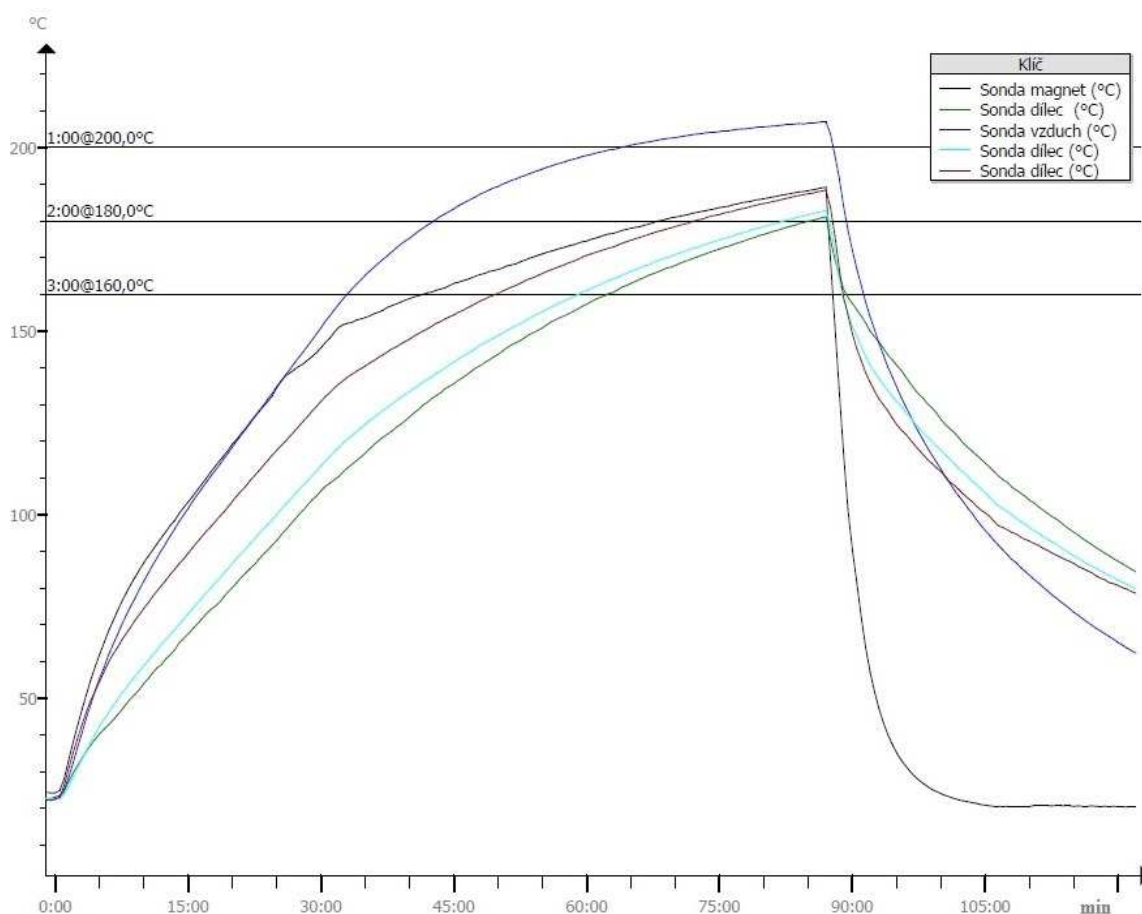
Vzorek číslo	1	Jednotka/ISO
Kvalita otryskaného povrchu	N10 b	[-] ISO 2632
Vytvrzovací podmínky	210/60	[°C/min]
Hodnocení mřížkové zkoušky	0	[-] ISO 2409
Hodnota odtahové zkoušky	13	[MPa] ISO 4664
Charakter porušení Y/Z	100	[%] ISO 4664
Jednotky lesku	24	[GU] ISO 2813
Hodnota barevné odchylky	0	[ΔE] ISO 7724
Hodnota a	0,25	[-] ISO 7724
Hodnota b	-3,04	[-] ISO 7724
Hodnota L	42,64	[-] ISO 7724
Průměrná tloušťka povlaku	111,6	[μm] ISO 2808
Bodové tloušťky povlaku	98, 112, 125, 118, 105	[μm] ISO 2808



Obr. 4.22 Mřížková zkouška dílu 1



Obr. 4.23 Odtrhová zkouška dílu 1



Graf. 4.1 Průběh vytvrzování dílu 1

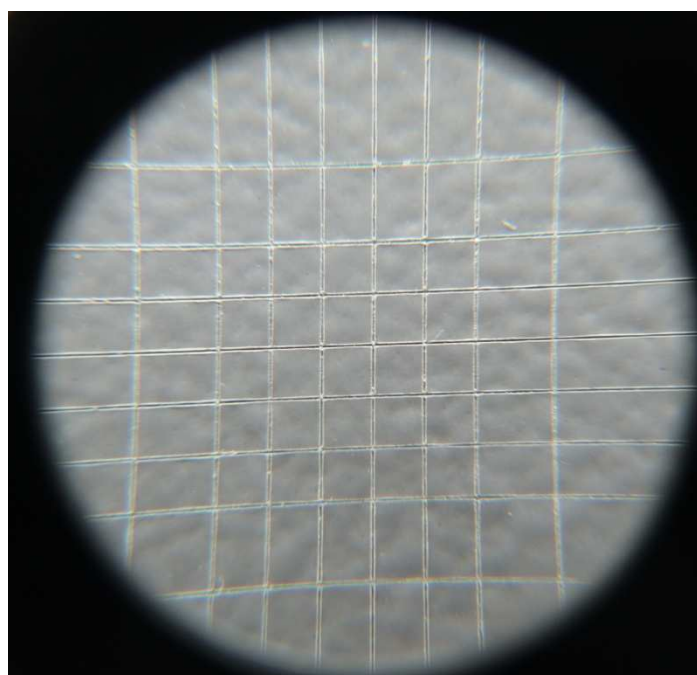
Kvalita předúpravy povrchu tryskáním o hodnotě N10 b odpovídá Ra 12,5, to je v souladu s normou ISO 2632/I-1975. Doba vytvrzení povlaku je 180 °C / 16 min (graf 4.1). To splňuje podmínky vytvrzení dle technického listu, který udává 180 °C / 15 min. Hodnocení přilnavosti mřížkovou zkouškou je na nejlepším, tedy nultém stupni. Při odtahové zkoušce došlo k 100 % adheznímu porušení mezi lepidlem a tělískem. Hodnota lesku je 24 jednotek, rozmezí matu je mezi 10 – 29 jednotkami.

- **Měření 2**

Díl konzola byl vytvrzen ve velké komorové peci. Podmínky vytvrzení byly 210 °C / 60 minut. Lesk byl měřen pod úhlem 60°. Jednotlivé hodnoty z měření jsou uvedeny v tabulce 4.4

Tab. 4.4 Výsledné hodnoty dílu 2

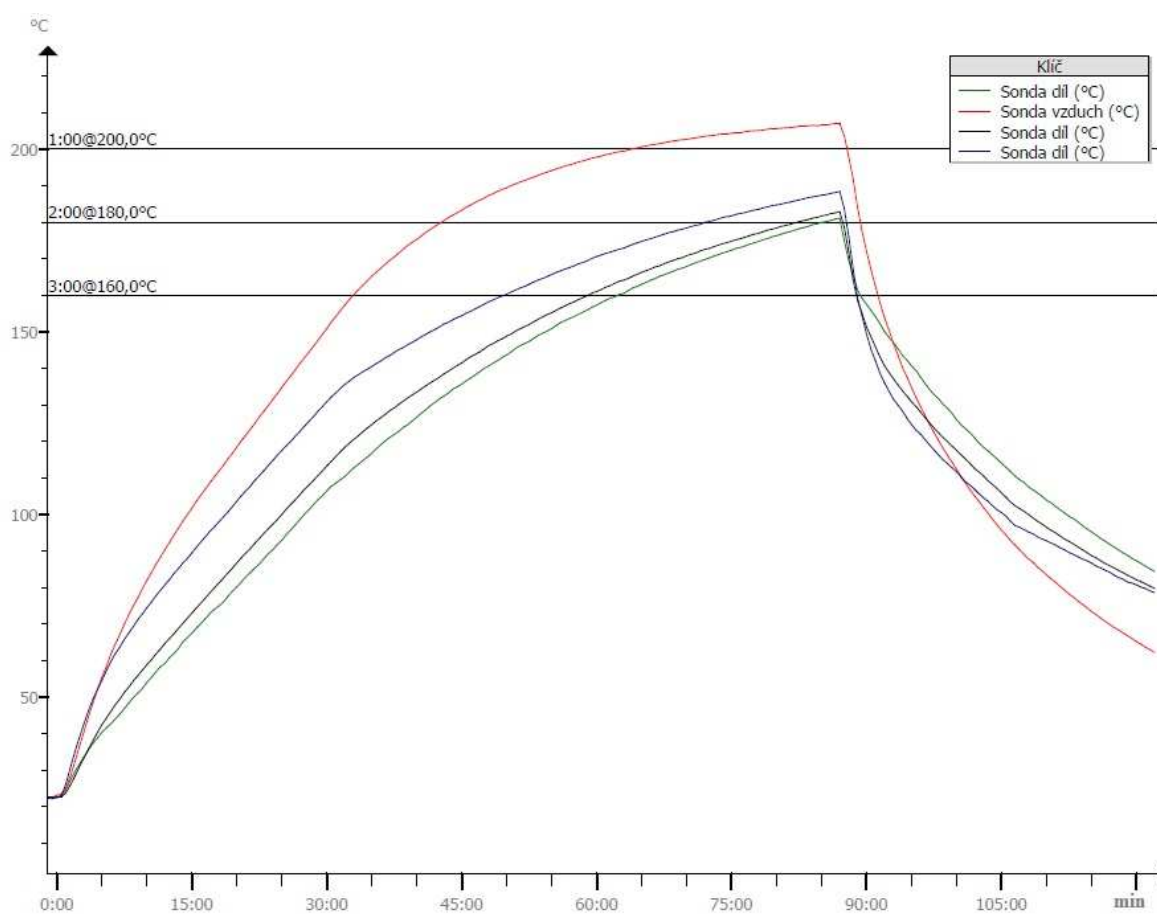
Vzorek číslo	2	Jednotka/ISO
Kvalita otryskaného povrchu	N10 b	[-] ISO 2632
Vytvrzovací podmínky	210/60	[°C/min]
Hodnocení mřížkové zkoušky	0	[-] ISO 2409
Hodnota odtrhové zkoušky	11	[MPa] ISO 4664
Charakter porušení Y/Z	100	[%] ISO 4664
Jednotky lesku	23	[GU] ISO 2813
Hodnota barevné odchylky	0,18	[ΔE] ISO 7724
Hodnota a	0,38	[-] ISO 7724
Hodnota b	-2,92	[-] ISO 7724
Hodnota L	42,65	[-] ISO 7724
Průměrná tloušťka povlaku	111,8	[μm] ISO 2808
Bodové tloušťky povlaku	116, 98, 113, 123, 109	[μm] ISO 2808



Obr. 4.24 Mřížková zkouška dílu 2



Obr. 4.25 Odrhová zkouška dílu 2



Graf. 4.2 Průběh vytvrzování dílu 2

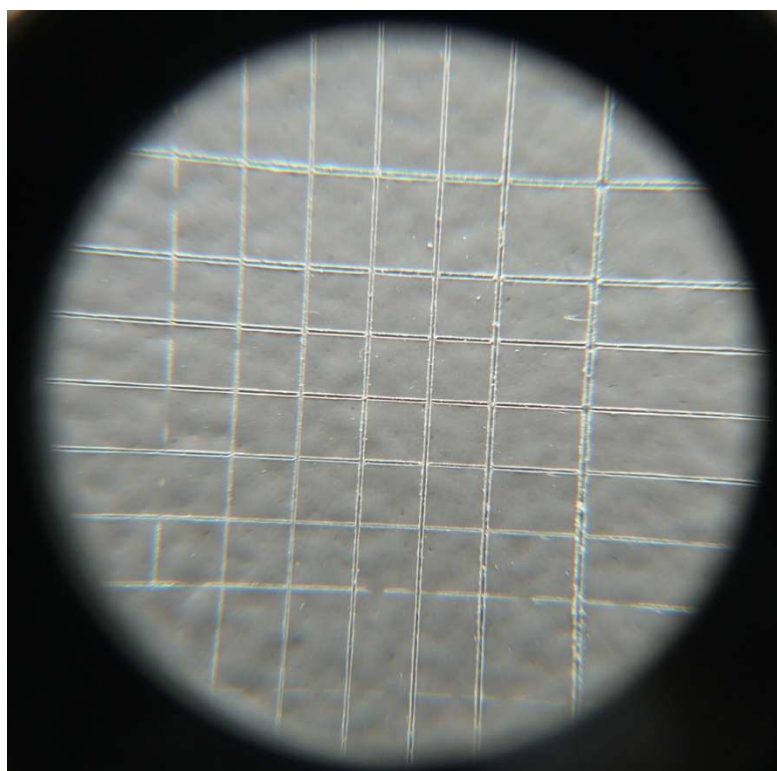
Kvalita předúpravy povrchu tryskáním o hodnotě N10 b odpovídá Ra 12,5, to je v souladu s normou ISO 2632/I-1975. Teplota vzduchu 210 °C byla dosažena a odpovídá teplotě nastavení pece. Doba vytvrzení povlaku je 180 °C / 14 min (graf 4.2). To splňuje podmínky vytvrzení dle technického listu, který udává 180 °C / 15 min. Hodnocení přilnavosti mřížkovou zkouškou je na nejlepším, tedy nultém stupni. Při odtahové zkoušce došlo k 100 % adheznímu porušení mezi lepidlem a tělískem. Hodnota lesku je 23 jednotek, rozmezí matu je mezi 10 – 29 jednotkami. Hodnota barevné odchylky 0,18 je pod hranicí viditelného rozdílu pouhým okem.

- **Měření 3**

Konzola byl vytvrzen v infračervené katalytické peci. Nastavení jednotlivých sekcí viz. Obr. 4.5. Rychlost dopravníku při vytvrzování byla 0,6 m · min⁻¹. Délka pece je 5500 mm. Z toho plyne, že čas vytvrzování v peci je 9,2 minuty. Lesk byl měřen pod úhlem 60°.

Tab. 4.5 Výsledné hodnoty dílu 3

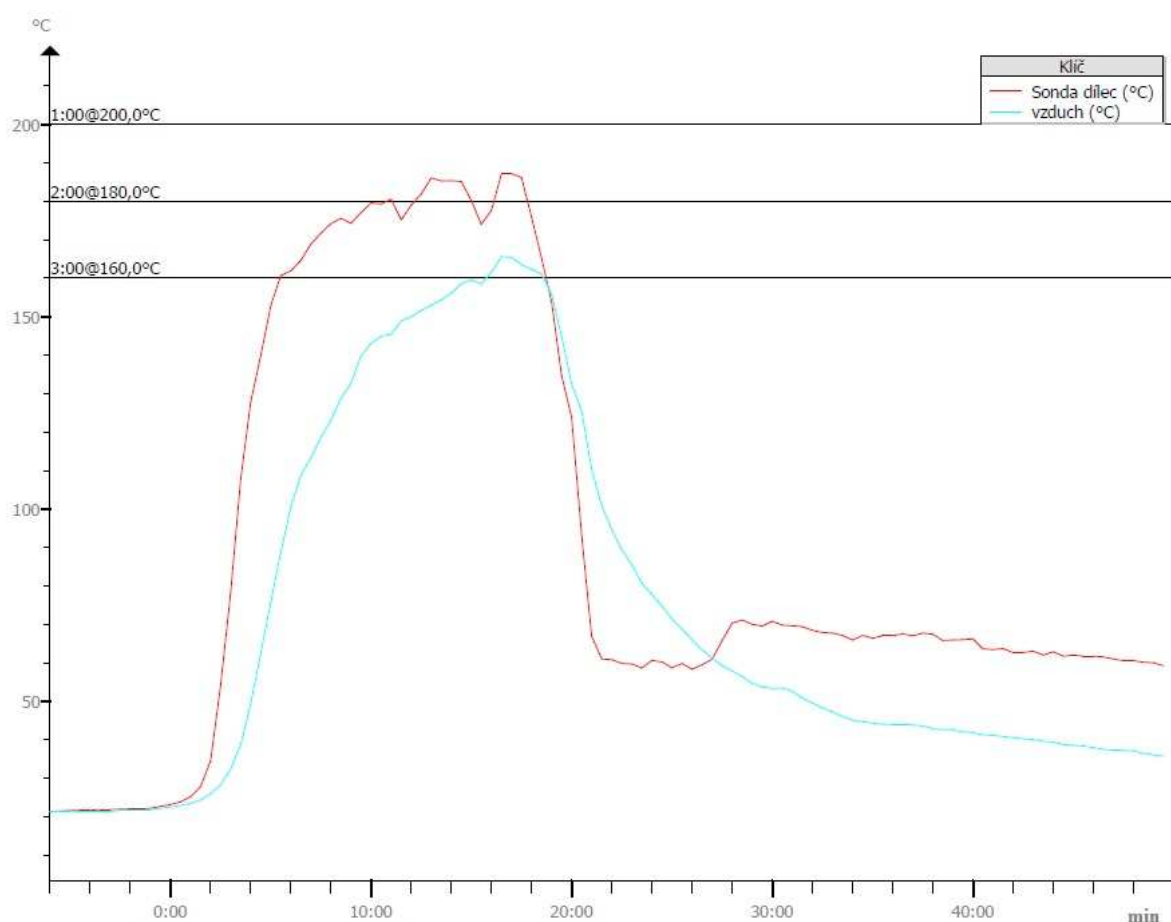
Vzorek číslo	3	Jednotka/ISO
Kvalita otryskaného povrchu	N10 b	[-] ISO 2632
Hodnocení mřížkové zkoušky	0	[-] ISO 2409
Hodnota odtrhové zkoušky	12	[MPa] ISO 4664
Charakter porušení Y/Z	100	[%] ISO 4664
Jednotky lesku	19	[GU] ISO 2813
Hodnota barevné odchylky	0,24	[ΔE] ISO 7724
Hodnota a	0,38	[-] ISO 7724
Hodnota b	-2,98	[-] ISO 7724
Hodnota L	42,44	[-] ISO 7724
Průměrná tloušťka povlaku	107,8	[μm] ISO 2808
Bodové tloušťky povlaku	107, 103, 119, 99, 111	[μm] ISO 2808



Obr. 4.26 Mřížková zkouška dílu 3



Obr. 4.27 Odtrhová zkouška dílu 3



Graf. 4.3 Průběh vytvrzování dílu 3

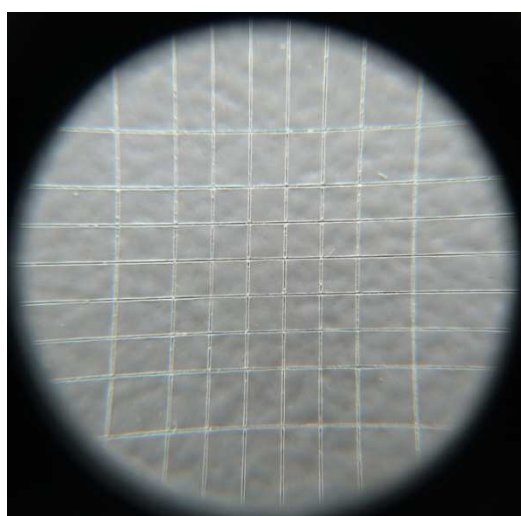
Kvalita předúpravy povrchu tryskáním o hodnotě N10 b odpovídá Ra 12,5, to je v souladu s normou ISO 2632/I-1975. Podle grafu je patrný prudký nárůst teploty. Tento tepelný šok zajišťuje lepší rozliv barvy a stejnoměrný tvar struktury. Teplota dílu na povrchu dosáhla 180 °C po dobu 10 minut. Hodnocení přilnavosti mřížkovou zkouškou je na nejlepším, tedy nultém stupni. Při odtahové zkoušce došlo k 100 % adheznímu porušení mezi lepidlem a tělískem. Hodnota lesku je 19 jednotek, rozmezí matu je mezi 10 – 29 jednotkami. Hodnota barevné odchylky 0,24 je pod hranicí viditelného rozdílu pouhým okem. Kvalita vytvrzeného povlaku odpovídá stejným hodnotám jako předchozí díly vytvrzené v konvenčních pecích.

- **Měření 4**

Stojan byl vytvrzen v malé komorové peci při teplotě 210 °C po dobu 50 minut. Jednotlivé hodnoty barevné odchylky jsou výchozí pro další měření dílu stojan. Lesk byl měřen pod úhlem 60°.

Tab. 4.6 Výsledné hodnoty dílu 4

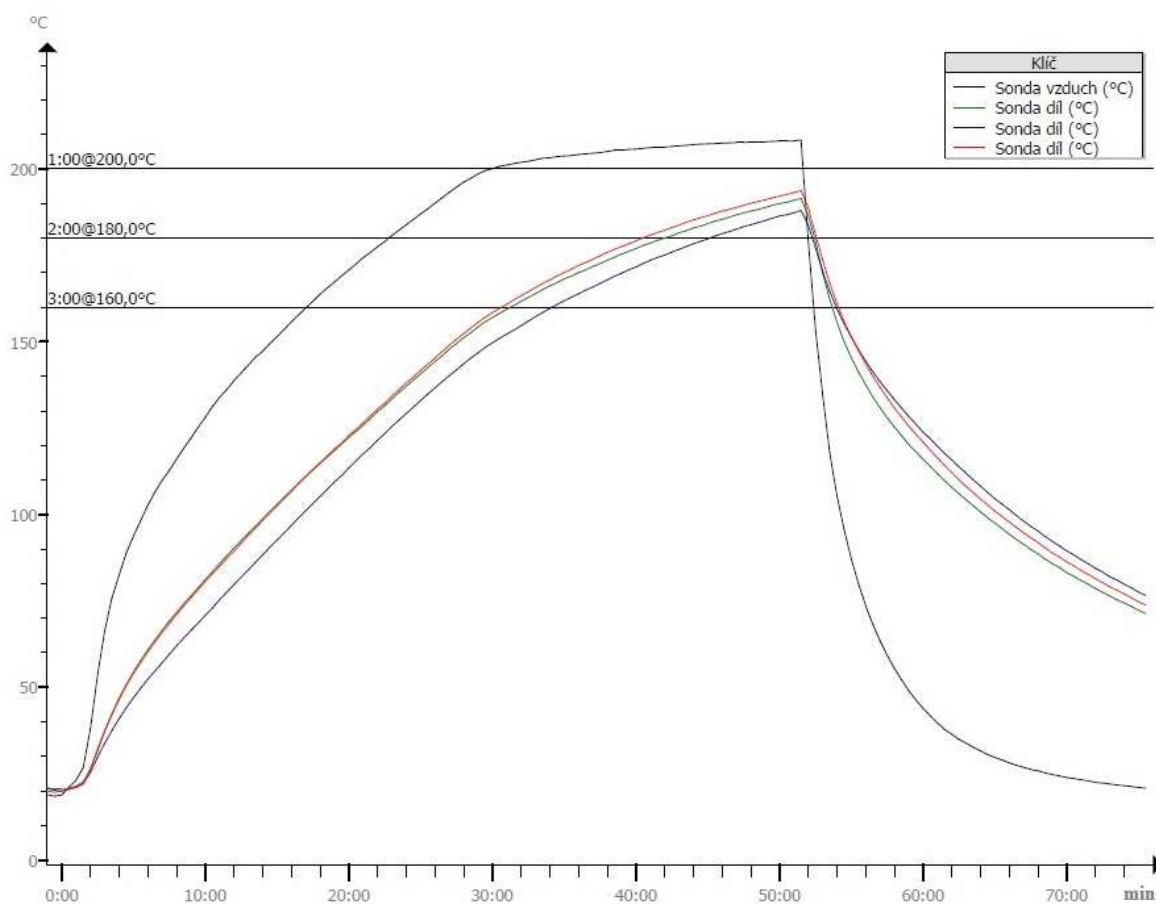
Vzorek číslo	4	Jednotka/ISO
Kvalita otryskaného povrchu	N10 b	[-] ISO 2632
Hodnocení mřížkové zkoušky	0	[-] ISO 2409
Hodnota odtrhové zkoušky	11	[MPa] ISO 4664
Charakter porušení Y/Z	100	[%] ISO 4664
Jednotky lesku	20	[GU] ISO 2813
Hodnota barevné odchylky	0	[ΔE] ISO 7724
Hodnota a	0,39	[-] ISO 7724
Hodnota b	-3,24	[-] ISO 7724
Hodnota L	43,41	[-] ISO 7724
Průměrná tloušťka povlaku	103,8	[μm] ISO 2808
Bodové tloušťky povlaku	121, 89, 115, 92, 102	[μm] ISO 2808



Obr. 4.28 Mřížková zkouška dílu 4



Obr. 4.29 Odtrhová zkouška dílu 4



Graf. 4.4 Průběh vytvrzování dílu 4

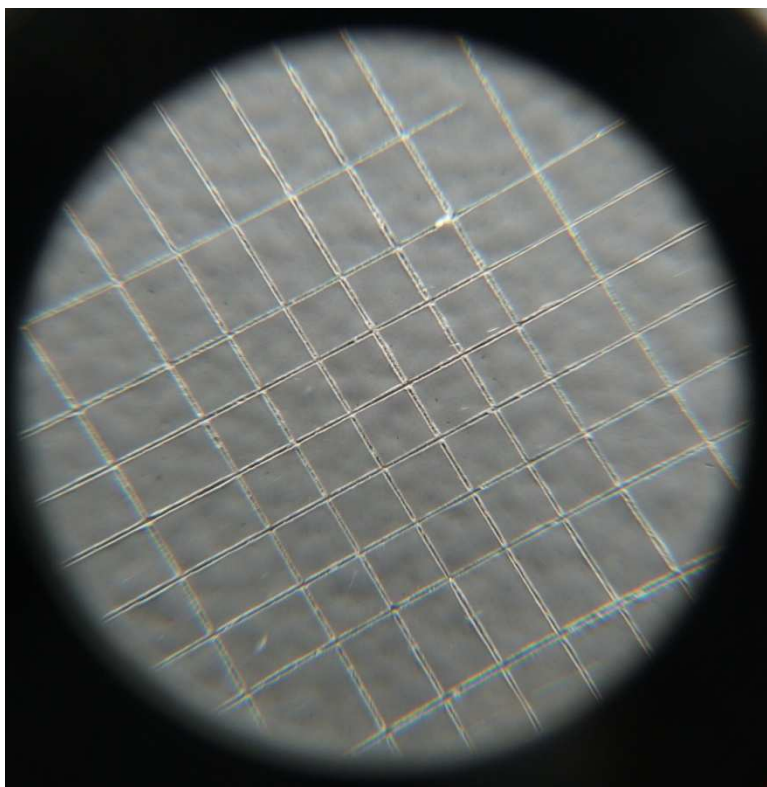
Doba vytvrzení povlaku je 180 °C / 13 min (graf 4.4). To splňuje podmínky vytvrzení dle technického listu, který udává 180 °C / 15 min. Hodnocení přilnavosti mřížkovou zkouškou je na nejlepším, tedy nultém stupni. Odtrhová zkouška má 100 % adhezní porušení mezi lepidlem a tělískem. Hodnota lesku je 20 jednotek, rozmezí matu je mezi 10 – 29 jednotkami.

- **Měření 5**

Stojan je vytvrzen ve velké komorové peci při teplotě 210 °C / 50 min. Lesk byl měřen pod úhlem 60°.

Tab. 4.7 Výsledné hodnoty dílu 5

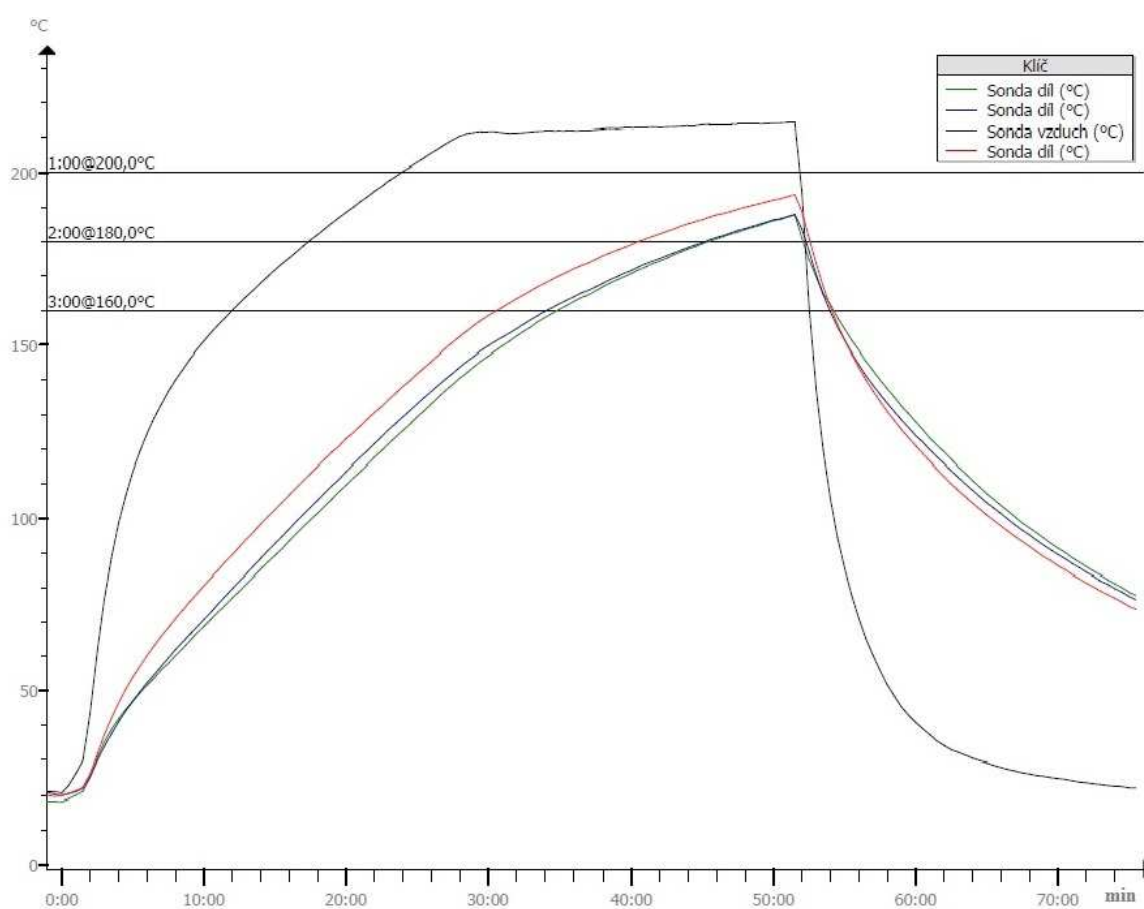
Vzorek číslo	5	Jednotka/ISO
Kvalita otryskaného povrchu	N10 b	[-] ISO 2632
Hodnocení mřížkové zkoušky	0	[-] ISO 2409
Hodnota odtrhové zkoušky	13	[MPa] ISO 4664
Charakter porušení Y/Z	100	[%] ISO 4664
Jednotky lesku	25	[GU] ISO 2813
Hodnota barevné odchylky	0,41	[ΔE] ISO 7724
Hodnota a	0,28	[-] ISO 7724
Hodnota b	-3,12	[-] ISO 7724
Hodnota L	43,03	[-] ISO 7724
Průměrná tloušťka povlaku	106,2	[μm] ISO 2808
Bodové tloušťky povlaku	125, 95, 117, 89, 105	[μm] ISO 2808



Obr. 4.30 Mřížková zkouška dílu 5



Obr. 4.31 Odtrhová zkouška dílu 5



Graf. 4.5 Průběh vytvrzování dílu 5

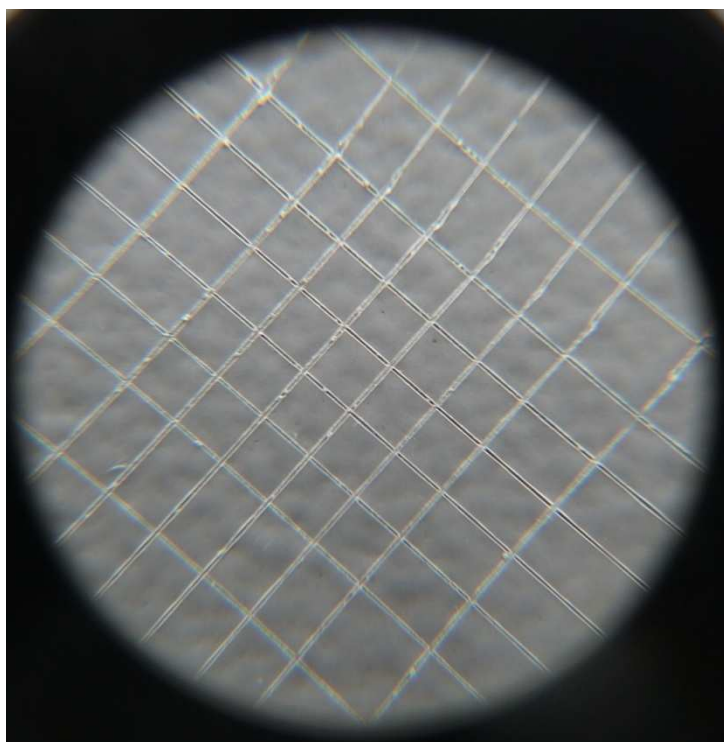
Předúprava povrchu odpovídá normě ISO 2632. Teplota vzduchu 210 °C v peci odpovídá nastavení pece. Povrchová teplota dílu a čas je v souladu s vytvrzovacími podmínkami technického listu barvy. Hodnota mřížkové zkoušky je hodnocena stupněm 0. Hodnota lesku je 25 jednotek, to odpovídá danému rozmezí v technickém listu barvy. Barevná odchylka nedosahuje hodnot, které by neodpovídaly normě.

• Měření 6

Stojan byl vytvrzen v infračervené katalytické peci. Procentuální výkon jednotlivých panelů je zobrazen na obr. 4.6. Rychlost dopravníku je $0,75 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Lesk byl měřen pod úhlem 60°.

Tab. 4.8 Výsledné hodnoty dílu 6

Vzorek číslo	6	Jednotka/ISO
Kvalita otryskaného povrchu	N10 b	[-] ISO 2632
Hodnocení mřížkové zkoušky	0	[-] ISO 2409
Hodnota odtrhové zkoušky	13	[MPa] ISO 4664
Charakter porušení Y/Z	100	[%] ISO 4664
Jednotky lesku	21	[GU] ISO 2813
Hodnota barevné odchylky	0,5	[ΔE] ISO 7724
Hodnota a	0,31	[-] ISO 7724
Hodnota b	-3,19	[-] ISO 7724
Hodnota L	42,92	[-] ISO 7724
Průměrná tloušťka povlaku	105,2	[μm] ISO 2808
Bodové tloušťky povlaku	116, 97, 119, 93, 101	[μm] ISO 2808



Obr. 4.32 Mřížková zkouška dílu 6



Obr. 4.33 Odtrhová zkouška dílu 6

Předupravený povrch tryskáním, odpovídá normě ISO 2632. Hodnota mřížkové zkoušky je hodnocena stupněm 0. Kvalita vytvrzeného povlaku odpovídá stejným hodnotám, jako předchozí díly vytvrzené v konvenčních pecích. Hodnota barevné odchylky je v souladu s normou. Hodnota lesku je v rozmezí, stanoveným technickým listem.

4.4 Ekonomická analýza

Vytvrzování je časově a energeticky nejnákladnější část lakování. Proto se stále hledá efektivnější využití energie. Doba vytvrzení je závislá na vytvrzovacích podmínkách práškové nátěrové hmoty a tloušťce materiálu. Na každý milimetr tloušťky ocelového materiálu se při vytvrzování práškové nátěrové hmoty přidávají 2 až 3 minuty. To u materiálů o tloušťce 15 mm znamená dobu vytvrzení v konvenční komorové peci až 60 minut při teplotě 210 °C. Doba vytvrzení v konvenčních komorových pecích ovlivňuje i doba náběhu pece na požadovanou vytvrzovací teplotu. Doba náběhu je ovlivněna délkou času pro zavezení a tím poklesu teploty na cca. 145 °C. Množství vytvrzených dílů na jednu dávku pece ovlivňuje i způsob zavěšení jednotlivých dílů.

Pro vytvoření ekonomické analýzy byla použita prášková nátěrová hmota s běžnými vypalovacími podmínkami 180 °C / 15 minut. Vytvrzované díly byly vybrány z ocelového materiálu o tloušťce 15 mm konzola a 4 – 10 mm stojan. Pro vytvrzení jednotlivých dílů byla použita malá plynová komorová pec (3100 mm délka, 1400 mm šířka, 2000 mm výška), velká plynová komorová pec (5100 mm délka, 2400 mm šířka, 2000 mm výška) a plynová infračervená katalytická pec. Vyhodnocení proběhne vždy na celou maximální dávku v komorové peci, která se porovná s průběžnou infračervenou katalytickou pecí.

V ekonomické analýze se vyhodnotila procentuální úspora nákladů na vytvrzení dílu a navýšení procentuální produkce v porovnání komorová malá pec / infračervená katalytická pec a komorová velká pec / infračervená katalytická pec. Výsledky pro jednotlivé díly a pece budou přehledně zaznamenány v tabulce. Postup jednotlivých výpočtů bude uveden na příkladu pro díl konzola vytvrzovaný v malé peci a pro díl konzola vytvrzovaný v infračervené katalytické peci. Výpočet pro každý díl obsahuje náklady na vytvrzení jedné dávky, nákladovou úsporu a navýšení produkce. Při výpočtu je počítáno s časem na nalakování a vytvrzení celé dávky, zanedbán je čas na nahřátí pece před zapnutím. Spotřeba plynu je počítána vždy na danou dávku. U horkovzdušných pecí je spočítána z výkonu hořáku a čistého času sepnutí při vytvrzování. U infračervené katalytické pece je spotřeba odečtena z plynoměru. S cenou plynu je počítáno 7,5 Kč za 1 m³ spotřebovaného plynu. Na hodinovou práci dělníka je počítáno 420 Kč. Doba směny je stanovena na 8 hodin. Cena plynu, hodinová sazba dělníka a počet dělníků potřebných na danou operaci je stanovena dle doporučených získaných z běžného

výrobního provozu firmy Dikrt spol. s r.o. Výpočet nezahrnuje odpisy, cenu PNH a časy potřebné na zchladnutí výrobku.

- Příklad výpočtu malé komorové pece pro díl konzola**

Náklady na dávku:

$$N_1 = N_Z + N_P$$

$$N_1 = 2520 + 40,5$$

$$N_1 = 2560,5 \text{ Kč}$$

Provozní náklady:

$$N_P = q_p \cdot p$$

$$N_P = 5,4 \cdot 7,5$$

$$N_P = 40,5 \text{ Kč}$$

Mzdové náklady:

$$N_Z = t_d \cdot q \cdot Q$$

$$N_Z = 120 \cdot 3 \cdot 7$$

$$N_Z = 2520 \text{ Kč}$$

Čas nalakování a vytvrzení dávky:

$$t_d = D \cdot t_t$$

$$t_d = 26 \cdot 4,61$$

$$t_d = 120 \text{ min}$$

- Příklad výpočtu infračervené katalytické pece pro díl konzola**

Náklady na díl:

$$N_2 = N_Z + N_P$$

$$N_2 = 1491 + 230,3$$

$$N_2 = 1721,3 \text{ Kč}$$

Provozní náklady:

$$N_P = q_p \cdot p$$

$$N_P = 30,7 \cdot 7,5$$

$$N_P = 230,3 \text{ Kč}$$

Mzdové náklady:

$$N_Z = t_d \cdot q \cdot Q$$

$$N_Z = 71 \cdot 3 \cdot 7$$

$$N_Z = 1491 \text{ Kč}$$

Čas nalakování a vytvrzení dávky:

$$t_d = D \cdot t_t$$

$$t_d = 26 \cdot 2,73$$

$$t_d = 71 \text{ min}$$

- Příklad výpočtu % úspory nákladů na díl konzola malá pec / infračervená pec**

Nákladová úspora:

$$N_U = N_1 - N_2$$

$$N_U = 2560,5 - 1721,3$$

$$N_U = 839,2 \text{ Kč}$$

Úspora konzola:

$$U_K = \frac{N_U}{N_2} \cdot 100$$

$$U_K = \frac{839,2}{2560,5} \cdot 100$$

$$U_K = 33 \%$$

• **Příklad výpočtu % navýšení produkce na díl konzola malá pec / infračervená katalytická pec**

Počet dílů za směnu malá pec:

$$n_{1K} = p_{d1} \cdot D$$

$$n_{1K} = 4 \cdot 26$$

$$n_{1K} = 104 \text{ ks}$$

Počet dávek za směnu malá pec:

$$p_{d1} = \frac{s \cdot 60}{t_d}$$

$$p_{d1} = \frac{8 \cdot 60}{120}$$

$$p_{d1} = 4$$

Počet dílů za směnu infračervená pec:

$$n_{2K} = \frac{s \cdot 60}{t_t}$$

$$n_{2K} = \frac{8 \cdot 60}{2,73}$$

$$n_{2K} = 176 \text{ ks}$$

Navýšení produkce:

$$P = \left(\frac{n_{2K}}{n_{1K}} - 1 \right) \cdot 100$$

$$P = \left(\frac{n_{2K}}{n_{1K}} - 1 \right) \cdot 100$$

$$P = 69 \%$$

N_1 – náklady na dávku pro díl konzola v malé komorové peci [Kč]

N_2 – náklady na dávku pro díl konzola v infračervené katalytické peci [Kč]

N_Z – náklady [Kč]

N_P – provozní náklady [Kč]

q_b – množství spotřebovaného plynu na dávku [m^3]

p – cena plynu [$\text{Kč}/\text{m}^3$]

t_d – čas na nalakování a vytvrzení dávky [min]

q – náklad na pracovníka [$\text{Kč}/\text{min}$]

Q – počet pracovníků [ks]

D – počet dílů v dávce [ks]

t_t – čas na nalakování a vytvrzení dílu [min]

N_U – nákladová úspora na díl [Kč]

U_K – úspora na vytvrzení dílu konzola [%]

n_{1K} – počet dílů za směnu v malé peci [ks]

n_{2K} – počet dílů za směnu v infračervené katalytické peci [ks]

p_{d1} – počet dávek za směnu malá pec [-]

s – počet hodin za směnu [hod]

P – navýšení produkce [%]

- **Porovnání dílu konzola v malé komorové peci a infračervené katalytické peci**

Tab. 4.9 Porovnání dílu konzola v malé komorové a infračervené katalytické peci

Konzola	Infračervená pec	Malá komorová pec
počet dílů na dávku [ks]	26	26
plyn [m ³]	30,7	5,4
cena plynu [Kč/m ³]	7,5	7,5
Provozní náklady [Kč]	230,3	40,5
Technologický čas [min]	71	120
Počet pracovníků [ks]	3	3
Náklady na pracovníka [Kč/min]	7	7
Mzdové náklady [Kč]	1491	2520
Náklady na dávku [Kč]	1721,3	2560,5
Náklady na díl [Kč]	66,2	98,5
Směna [min]	480	480
Počet dávek za směnu [-]	-	4
Počet dílů za směnu[ks]	176	104
Navýšení produkce [%]	69%	-
Úspora nákladů [%]	33%	-

Z výpočtů nákladů je patrné, že nejvíce ovlivňují náklady na dávku mzdové náklady a technologický čas. Důvod větší spotřeby plynu infračervené katalytické pece a tím navýšení provozních náklů je dán tím, že infračervená katalytická pec má stále plný výkon, zato hořáky komorové pece pouze vyrovnávají teplotní rozdíly od nastavené teploty pece. Navýšení produkce infračervené katalytické pece od malé komorové pece je o 69 procent. Uspoření nákladů na danou dávku infračervené katalytické pece od malé komorové pece je 33 procent.

- **Porovnání dílu konzola ve velké komorové peci a infračervené katalytické peci**

Tab. 4.10 Porovnání dílu konzola ve velké komorové a infračervené katalytické peci

Konzola	Infračervená pec	Velká komorová pec
Počet dílů na dávku [ks]	40	40
Plyn [m ³]	42,5	8,2
Cena plynu [Kč/m ³]	7,5	7,5
Provozní náklady [Kč]	218,8	61,5
Technologický čas [min]	91	141
Počet pracovníků [ks]	3	3
Náklady na pracovníka [Kč/min]	7	7
Mzdové náklady [Kč]	1911	2961
Náklady na dávku [Kč]	2129,8	3022,5
Náklady na díl [Kč]	53,2	75,6
Směna [min]	480	480
Počet dávek za směnu [-]	-	3
Počet dílů za směnu [ks]	210	120
Navýšení produkce [%]	75%	-
Úspora nákladů [%]	35,5%	-

Navýšení produkce infračervené katalytické pece od velké komorové pece je o 75 procent. Uspoření nákladů na danou dávku infračervené katalytické pece od velké komorové pece je 35,5 procent. Horší výsledky velké komorové pece v porovnání s malou komorovou pecí jsou zapříčiněny, zavezení pouze tří dávek za směnu do komorové pece. Přesná hodnota počtu dávek je 3,4. Pokud by navazovala výroba další směnou, bylo by možné na zbývajícím čase navázat a tím zajistit lepší produkci.

- **Porovnání dílu stojan v malé komorové peci a infračervené katalytické peci**

Tab. 4.11 Porovnání dílu stojan v malé komorové a infračervené katalytické peci

Konzola	Infračervená pec	Malá komorová pec
Počet dílů na dávku [ks]	5	5
Plyn [m ³]	6,1	4,76
Cena plynu [Kč/m ³]	7,5	7,5
Provozní náklady [Kč]	45,8	35,7
Technologický čas [min]	36	76
Počet pracovníků [ks]	3	3
Náklady na pracovníka [Kč/min]	7	7
Mzdové náklady [Kč]	756	1596
Náklady na dávku [Kč]	801,8	1631,7
Náklady na díl [Kč]	160,4	326,3
Směna [min]	480	480
Počet dávek za směnu [-]	-	6
Počet dílů za směnu [ks]	66	30
Navýšení produkce [%]	120%	-
Úspora nákladů [%]	52,6%	-

Navýšení produkce infračervené katalytické pece v porovnání malé komorové pece je o 120 procent. Uspoření nákladů na danou dávku infračervené katalytické pece od malé komorové pece je 52,6 procent. Vysoká hodnota produkce je dána malým počtem dílů, které je možné zavést do komorové pece na jednu dávku. Při větších sériích dílu stojan se stává vytvrzování v malé komorové peci neefektivní.

- **Porovnání dílu stojan ve velké komorové peci a infračervené katalytické peci**

Tab. 4.12 Porovnání dílu stojan ve velké komorové a infračervené katalytické peci

Konzola	Infračervená pec	Velká komorová pec
Počet dílů na dávku [ks]	12	12
Plyn [m ³]	17,4	7,1
Cena plynu [Kč/m ³]	7,5	7,5
Provozní náklady [Kč]	130,5	53,3
Technologický čas [min]	52	92
Počet pracovníků [ks]	3	3
Náklady na pracovníka [Kč/min]	7	7
Mzdové náklady [Kč]	1092	1932
Náklady na dávku [Kč]	1222,5	1985,3
Náklady na díl [Kč]	101,9	165,4
Směna [min]	480	480
Počet dávek za směnu [-]	-	5
Počet dílů za směnu [ks]	110	60
Navýšení produkce [%]	83,3%	-
Úspora nákladů [%]	38,4%	-

Navýšení produkce infračervené katalytické pece v porovnání velké komorové pece je o 83,3 procent. Uspoření nákladů na danou dávku infračervené katalytické pece od velké komorové pece je 38,4 procent.

ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá vytvrzováním práškové nátěrové hmoty na dvou charakteristických dílech ve třech rozdílných vytvrzovacích pecích. Dále vyhodnocuje a porovnává hodnoty přilnavosti povrchu, lesku a barevné odchylky ΔE na vytvrzených dílech. Porovnání bylo provedeno v šesti měřeních. Na závěr byla zpracována technicko-ekonomická analýza, kde bylo zjištěno navýšení produkce a úspora nákladů infračervené katalytické pece v porovnání s komorovými pecemi.

Jako charakteristické díly byly vybrány konzola a stojan, které byly vytvrzeny v malé komorové horkovzdušné peci, velké komorové horkovzdušné peci a infračervené katalytické peci. Všechny díly byly shodně předupraveny tryskáním. Aplikace práškové nátěrové hmoty byla provedena ruční elektrostatickou pistolí.

Při všech šesti měření přilnavosti povrchu mřížkovou zkouškou, bylo shodně dosaženo nultého stupně, tedy nejlepšího. Odtrhovou zkouškou bylo vždy dosaženo pouze adhezního porušení mezi lepidlem a tělískem. Ani při jednom, ze šesti měření se nepodařilo porušit vytvrzený povlak.

Při všech měření lesku byla splněna tolerance v rozmezí 10 až 29 jednotek lesku, daná technickým listem vytvrzované práškové barvy.

Barevná odchylka měla hodnotu vždy menší než 0,5. Tato hodnota je pod hranicí viditelnosti pouhým okem.

V technicko-ekonomické analýze byla porovnána vždy celá maximální dávka dílu, která je možná zavézt do komorové pece s infračervenou katalytickou pecí. Prvně byla porovnána malá komorová pec s dílem konzola v maximální dávce 26 ks s infračervenou katalytickou pecí, zde byla dosažena úspora nákladů 33 % a navýšení produkce o 69 %. V druhém porovnání velké komorové pece s infračervenou katalytickou pecí u dílu konzola v dávce 40 ks, bylo dosaženo 35,5 % uspoření nákladů a 75 % navýšení produkce. V předposledním porovnání malé komorové pece s dílem stojan v maximální dávce 6 ks s infračervenou katalytickou pecí, byla dosažena úspora nákladů 52,6 % a navýšení produkce o 120 %. V posledním porovnání velké komorové pece s dílem stojan v maximální dávce 12 ks s infračervenou katalytickou pecí, bylo dosaženo 38,4 % úspory nákladů a 83,3 % navýšení produkce. Při výpočtu bylo zjištěno, že nejvíce úsporu nákladů ovlivňuje mzdový náklad, který je ovlivněn dobou vytvrzování jednotlivých dílů.

Změnou závěsu dílu konzola u infračervené katalytické pece, by bylo dosaženo dvojnásobného vytvrzení dílů, za stejný technologický čas a tím dosažení ještě větší navýšení produkce.

Kvalita vytvrzeného povlaku v infračervené katalytické peci odpovídá stejným hodnotám, jako díly vytvrzené v horkovzdušné komorové peci. Z ekonomicko-technické analýzy vyplývá, že pro dané díly konzola a stojan je nejvýhodnější způsob vytvrzování v infračervené katalytické peci.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. A60 sliding fire door for ships (glass). NAUTICEXPO. *ALUFLAM* [online]. 2013 [cit. 2013-07-22]. Dostupné z: http://www.nauticexpo.com/prod/aluflam/a60-fire-doors-ship-glass-34654-344284.html#product-item_344290.
2. AKZO NOBEL COATINGS CZ, a.s. Interpon. *Průvodce výběrem systémů pro ocel*. Opava, 2010.
3. ALU DISKY - NEPTUNE -/7,5J R18 - OCTAVIA II. PNEU-CENTRUM. *PNEU-CENTRUM* [online]. 2011 [cit. 2013-07-22]. Dostupné z: <http://www.pneu-centrum.cz/pneu-alu-disky-neptune-p2719>.
4. Certifikované lakovny pro antikorozivní systémy Interpon. *Konstrukce* [online]. 2010 [cit. 2013-08-16]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/certifikovane-lakovny-pro-antikorozivni-systemy-interpon/>.
5. Curve-X2 USB. PROINEX INSTRUMENTS, s.r.o. *Proinex Instruments* [online]. 2013 [cit. 2013-07-14]. Dostupné z: <http://www.proinex.cz/curve-x2-usb.html>.
6. ČSN EN ISO 2409. *Nátěrové hmoty – Mřížková zkouška norma ČSN EN ISO 2409*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
7. ČSN EN ISO 4624. *Nátěrové hmoty – Odtrhová zkouška přilnavosti ČSN EN ISO 4624*. Praha: Český normalizační institut, 2003.
8. ČSN EN ISO 9223. *Koroze kovů a slitin – Korozní agresivita atmosfér – Klasifikace, stanovení a odhad*. Praha: Český normalizační institut, 2012.
9. ČVUT odborná literatura Centrum pro povrchové úpravy: *Povlaky z práškových plastů*. Praha, 2008.
10. Elcometer 401 & 402. DIRECTINDUSTRY. *DirectIndustry* [online]. 2013 [cit. 2013-07-26]. Dostupné z: <http://pdf.directindustry.com/pdf/x-rite-inc/elcometer-401-402/50847-237298.html>.
11. GEIPLOVÁ, H., BENEŠOVÁ, J. a PARÁKOVÁ, M. Vliv přípravy povrchu na životnost organických povlaků. *Tribotechnika* [online]. 2008 [cit. 2013-06-26]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-62012/vliv-pripravy-povrchu-na-zivotnost-organicky-povlaku.html>.
12. Historie práškového lakování. *Tiger coatings* [online]. 2008 [cit. 2013-06-15]. Dostupné z: <http://pop.tiger-coatings.us/index.php?id=384&L=8&C=0>.
13. IDEAL -TRADE SERVICE, spol. s.r.o. *Průvodce práškovým lakováním*. Brno, 2007.
14. KLIMEŠ, L. *O historii a výrobě práškových plastů*. Povrchové úpravy. 2003, roč.2003, č. 3, s. 18-19. ISSN 0551-7354.

15. KNOBLAUCH, M., SCHWARB, R. a POLYMER, K. Innovation and Sustainability Drive UV-Cured Powder Coating Developments. *Plastics Decorationg* [online]. 2012 [cit. 2013-07-15]. Dostupné z: <http://plasticsdecorating.com/articlesdisplay.asp?ID=122>.
16. KREIBICH, V. Povlaky z práškových plastů bezchybně. *MM průmyslové spektrum: Trendy/Povrchové úpravy*. 2010, č. 3, s. 24. DOI: 100337. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/povlaky-z-praskovych-plastu-bezchybne.html>.
17. Mechanický odtrhnoměr Comtest OP1-P20. PROINEX INSTRUMENTS, s.r.o. *Proinex Instruments* [online]. 2013 [cit. 2013-07-14]. Dostupné z: <http://www.proinex.cz/mechanicky-odtrhomer-comtest-op1-p20.html>.
18. Ocelová drť, granulát. RENO - TECH.CZ, s.r.o. *Abraziva.cz* [online]. 2013 [cit. 2013-08-24]. Dostupné z: <http://www.abraziva.cz/abrazivo-ocelova-drt-granulat/>.
19. PALMYRA RADIUS CHROM - KOUPELNOVÝ DESIGNOVÝ RADIÁTOR. ISAN RADIÁTORY, s.r.o. *ISAN* [online]. 2013 [cit. 2013-07-25]. Dostupné z: http://www.isan.cz/cs/produkty/melody/palmyra_radius_chrom/?.
20. *Povrchové úpravy materiálů*. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2005. ISBN 80-214-3062-1. Skripta. Vysoké učení technické v Brně.
21. Pračka Electrolux EWC 1350. NÁKUPKA.CZ. *Nákupka.cz* [online]. 2000, 2013 [cit. 2013-07-25]. Dostupné z: <http://www.nakupka.cz/vyrobek/pracka-electrolux-ewc-1350/>.
22. Práškové barvy Interpon D certifikované nejen pro použití v architektuře. KONSTRUKCE MEDIA, s.r.o. *Konstrukce* [online]. 2013 [cit. 2013-07-29]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/praskove-barvy-interpon-d-certifikovane-nejen-pro-pouziti-v-architekture>.
23. Práškové plasty chrání nejen proti korozi. KREIBICH, V. *JIC Jihomoravské inovační centrum* [online]. 2010 [cit. 2013-08-02]. Dostupné z: <http://www.inovace.cz/novinky/199-praskove-plasty-chrani-nejen-proti-korozi>.
24. Princip práškového lakování. Technolak, s.r.o. *Technolak* [online]. 2009 [cit. 2013-08-02]. Dostupné z: <http://www.technolak.cz/technologie.html>.
25. STEINER, P. *Práškové barvy a možnosti jejich použití* [online]. 1998 [cit. 2013-06-12]. Dostupné z: <http://www.povrchovauprava.cz/clanek/24/praskove-barvy-a-moznosti-jejich-pouziti>.
26. SURFIN, s.r.o. *Návod k ohřívači Vulcan*. Brno, 2013.
27. SURFIN, s.r.o. *Práškové barvy: Základní informace*. Brno, 2008.
28. Sušicí pec KSPE 2653. DATEL LEDEČ S.R.O. *Datel* [online]. 2013 [cit. 2013-07-26]. Dostupné z: <http://datel-ledec.cz/31-reference.html>.
29. THE POWDER COATING INSTITUTE. *Powder Coating*. Alexandria: The Powder Coatings Institute, 2004, 487 s. ISBN 0-9643091-0-6.

30. XP 909. BIKE FUN INTERNATIONALS.R.O. *Superior* [online]. 2013 [cit. 2013-07-12]. Dostupné z: <http://www.superiorbikes.eu/cz/archiv/kolekce-2013/mtb-hardtail/race/492-xp-909.html>.
31. Zn práškové základy – kombinace výhod zinku vůči korozi. *Konstrukce* [online]. 2009 [cit. 2013-08-16]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/zn-praskove-zaklady-kombinace-vyhod-zinku-vuci-korozi/>.
32. Židle Monaco. UNIKOV STEEL, spol. s.r.o. *UNIKOV* [online]. 2013 [cit. 2013-07-12]. Dostupné z: <http://www.unikov.cz/index.php/katalog-vyroby/zahradni-nabytek/zidle>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka / Symbol	Jednotka	Popis
$\bar{x}$	[μm]	Aritmetický průměr tloušťek povlaku
+a	[-]	Hodnota červená
+b	[-]	Hodnota žlutá
ΔE	[-]	Velikost barevné odchylky
-a	[-]	Hodnota zelená
-b	[-]	Hodnota modrá
CO ₂	[-]	Oxid uhličitý
D	[ks]	počet dílů v dávce
D65	[-]	Druh osvětlení při měření barevné odchylky
Fe	[-]	Železo
GSB	[-]	Německá norma kvality
H ₂ O	[-]	Voda
HRC	[-]	Tvrdost podle Rockwella
L	[-]	Hodnota jasů
LTO	[-]	Lehké topné oleje
n	[-]	Počet měření
N ₁	[Kč]	náklady na dávku pro díl konzola v malé komorové peci
n _{1K}	[ks]	počet dílů za směnu v malé peci
N ₂	[Kč]	náklady na dávku pro díl konzola v infračervené katalytické peci
n _{2K}	[ks]	počet dílů za směnu v infračervené katalytické peci
NFe	[-]	Neferomagnetický podklad
N _p	[Kč]	provozní náklady

N_U	[Kč]	nákladová úspora na díl
N_z	[Kč]	náklady
O_2	[-]	Kyslík
p	[Kč/m ³]	cena plynu
P	[%]	navýšení produkce
p_{d1}	[-]	počet dávek za směnu malá pec
PNH	[-]	Práškové nátěrové hmoty
PVC	[-]	Polyvinylchlorid
q	[Kč/min]	náklad na pracovníka
Q	[ks]	počet pracovníků
q_p	[m ³]	množství spotřebovaného plynu na dávku
R_a	[μm]	Střední aritmetická hodnota drsnosti
s	[hod]	počet hodin za směnu
S_a	[-]	Čistota povrchu po otryskání
t_d	[min]	čas na nalakování a vytvrzení dávky
t_t	[min]	čas na nalakování a vytvrzení dílu
U_K	[%]	úspora na vytvrzení dílu konzola
UV	[-]	Ultrafialové záření
x	[μm]	Hodnota bodové tloušťky povlaku
Y/Z	[%]	Adhezní porušení mezi lepidlem a tělískem
Zn	[-]	Zinek
Zn - Ni	[-]	Slitina zinku a niklu

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Technický list BASF PE/EP – Práškový lak
Příloha 2	Technický list odtrhoměr Comtest OP1 – P20
Příloha 3	Technický list rychlo lepidlo RI/21
Příloha 4	Technický list leskoměr Elcometr J401
Příloha 5	Technický list CURVE - X2

