

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2023

**BOHDAN
HORNÍČEK**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

Úspory energií v technologii práškového lakování

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

AUTOR: Bohdan Horníček

VEDOUcí PRÁCE: Ing. Jiří Kuchař PhD., IWE

STUDIJNÍ PROGRAM: B 2343 Výroba a ekonomika ve strojírenství

STUDIJNÍ OBOR: 2303R014 Technologie, materiály a ekonomika strojírenství

Praha 2024

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Horníček** Jméno: **Bohdan** Osobní číslo: **501408**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**
Studijní program: **Strojní inženýrství**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Úspory energií v technologii práškového lakování

Název bakalářské práce anglicky:

Energy savings in powder coating technology

Pokyny pro vypracování:

- 1) Rozbor literatury (rozdělení práškových plastů, předúpravy povrchu, nanášení a vytvrzení povlaku, energetické úspory)
- 2) Zhotovení vzorků
- 3) Vyhodnocení kvality povlaku
- 4) Diskuze výsledků a technicko-ekonomické zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

Kreibich, V. Teorie a technologie povrchových úprav. Praha. ČVUT Praha. 1999.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Jiří Kuchař, Ph.D. ústav strojírenské technologie FS

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

doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc. ústav strojírenské technologie FS

Datum zadání bakalářské práce: **18.10.2023** Termín odevzdání bakalářské práce: **15.01.2024**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2024**

Ing. Jiří Kuchař, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Tímto prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jiřího Kuchaře PhD., IWE, a to pouze pomocí podkladů uvedených v seznamu použité literatury v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne:

.....

Podpis autora

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Jiřímu Kuchařovi, Ph.D., IWE za jeho cenné rady a za pomoc při provádění experimentu. Dále bych chtěl poděkovat panu doc. Ing. Viktoru Kreibichovi CSc. a jeho cenné rady a připomínky.

Anotace

Cílem bakalářské práce je prozkoumat možnosti úspor energií v technologii povlaků z práškových plastů. Teoretická část se zabývá problematikou práškových plastů, jejich nanášením, vytvrzováním a možnostem úspory elektrické energie. Experimentální část se zabývá porovnáním různých druhů prášku z hlediska spotřebované energie k jejich vytvrzování a mechanických vlastností.

Název diplomové práce: Úspory energií v technologii práškového lakování

Autor práce: Bohdan Horníček

Vedoucí práce: Ing. Jiří Kuchař PhD, IWE

Konzultant: doc. Ing. Viktor Kreibich CSc.

Akademický rok: 2023/2024

Vysoká škola: ČVUT v Praze, Fakulta strojní

Ústav: 12133 – Ústav strojírenské technologie

Vedoucí ústavu: doc. Ing. Ladislav Kolařík Ph.D., IWE

Rozsah práce: 88 stránek, 26 tabulek, 19 obrázků

Klíčová slova: Práškové plasty, energetické úspory, vytvrzování, povrchové úpravy

Annotation

The aim of the bachelor thesis is to explore the possibilities of energy savings in powder coating technology. The theoretical part deals with the issue of powder coatings, their application, curing and possibilities of saving energy. The experimental part deals with the comparison of different types of powder in terms of energy used for their curing and mechanical properties.

Title of the final thesis:	Energy savings in powder coating technology
Author:	Bohdan Horníček
Supervisor:	Ing. Jiří Kuchař Ph.D., IWE
Consultant:	doc. Ing. Viktor Kreibich CSc.
Academic year:	2023/2024.
University:	CTU in Prague, Faculty of Mechanical Engineering
Department:	12133 – Department of Manufacturing Technology
Head of department:	doc. Ing. Ladislav Kolařík Ph.D., IWE
Extent:	88 pages, 26 tables, 19 pictures
Keywords:	Powder coating, energy savings, curing, surface treatment

Obsah

Obsah	8
1. ÚVOD A CÍL PRÁCE	13
2. Rozdělení práškových plastů	14
2.1 Termoplasty	14
2.1.1 Polyethyleny a polypropylény	14
2.1.2 Polyamidy	14
2.1.3 Fluoropolymery	15
2.1.4 Polyvinylchloridy	15
2.1.5 Nylony	15
2.2 Termosety	15
2.2.1 Epoxidy	15
2.2.2 Epoxi-polyestery	16
2.2.3 Polyestery	16
2.2.4 Polyuretany	16
2.2.5 Akryláty	16
3. Předúpravy povrchu	17
3.1 Mechanické předúpravy	17
3.1.1 Tryskání	17
3.1.2 Omílání	18
3.1.3 Broušení	19
3.1.4 Kartáčování	19
3.1.5 Leštění	20
3.2 Chemické předúpravy	20
3.2.1 Odmašťování	20

3.2.2 Moření.....	21
3.2.3 Odrezování.....	22
3.2.4 Fosfátování	22
4. Nanášení práškových plastů	23
4.1 Stříkání.....	23
4.1.1 Elektrostatické (korónové) nanášení.....	24
4.1.2 Elektrokinetické (tribostatické, frikční) nanášení	24
4.2 Fluidní nanášení	25
4.3 Žárový nástřik	25
5. Vytvrzování	26
5.1 Horkovzdušné (konvenční) pece	26
5.2 Infračervené pece	27
5.3 UV pece.....	28
6. Energetické úspory.....	29
6.1 Úspory v jednotlivých fázích výroby	29
6.1.1 Úspory stlačeného vzduchu	30
6.1.2 Úspory ve vytvrzovacím procesu.....	30
6.1.3 Úspory zkrácením doby vytvrzování	31
6.1.4 Úspory plánováním výroby.....	31
6.2 Cena energie v podniku.....	32
7. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	33
7.1 Návrh experimentu.....	33
7.2 Předúpravy a nanášení.....	34
7.2.1 Mechanická předúprava	34
7.2.2 Chemická předúprava	35
7.2.3 Nanášení	36

7.3	Vytvrzování.....	37
7.3.1.	Náběhová teplota	39
7.4	Měření drsnosti	40
7.4.1.	Průběh měření	40
7.4.2.	Vyhodnocení měření.....	41
7.5	Měření tloušťky povlaku.....	45
7.5.1.	Průběh měření	45
7.5.2.	Vyhodnocení měření.....	46
7.6	Mřížková zkouška	48
7.6.1.	Průběh měření	49
7.6.2.	Vyhodnocení měření.....	49
7.7	Zkouška křížovým řezem	50
7.7.1.	Průběh měření	50
7.7.2.	Vyhodnocení měření.....	52
7.8	Odtrhová zkouška	52
7.8.1.	Průběh měření	54
7.8.2.	Vyhodnocení měření.....	54
7.9	Technicko-ekonomické zhodnocení	58
7.9.1.	Porovnání elektřiny a plynu	59
7.9.2.	Porovnání rychlosti vytvrzení termoplastu a termosetu.....	61
8.	ZÁVĚR.....	63
	Bibliografie	64
	Seznam tabulek	69
	Seznam obrázků	70
	Seznam příloh.....	71
	Přílohy	72

Seznam zkratk

UV	ultrafialové
ČSN	Československá norma
EN	Evropská norma
ISO	Mezinárodní organizace pro standardizaci
ASTM	Americká společnost pro testování a materiály

Seznam použité symboliky

[mm]	milimetr
[μm]	mikrometr
[%]	procento
[Kč]	Koruna česká
[s]	sekunda
[min]	minuta
[°C]	stupeň Celsia
[W]	watt
[kWh]	kilowatthodina
[kV]	kilovolt
[MPa]	megapascal

1. ÚVOD A CÍL PRÁCE

Práškové nátěrové hmoty patří mezi často užívanou technologii úprav povrchu. Jak název napovídá, jedná se o plastové prášky, které jsou nanášeny na povrch povlakované součásti, kde poté působením tepla vytvoří souvislou vrstvu. [1] [2]

Technologie práškových plastů byla vynalezena již v 50. letech 20. století, ale praktického využití se dočkala až v 70. letech. Díky svým vlastnostem jako je mimořádná otěruvzdornost, odolnost vůči vysokým teplotám a další si rychle získala značnou oblibu. Dnes je používána především jako ochrana proti korozi, nicméně jsou na ni kladeny i mnohé další požadavky, jako například antibakteriálnost, smáčivost, stálost v extrémním prostředí, ekologičnost, elektrický odpor, barevná stálost a mnoho dalších. [1] [2]

Asi hlavní výhodou plastu v práškové podobě v porovnání s jinými formami plastových povlaků, je fakt že nevyužívá žádná rozpouštědla. Běžně užívaná rozpouštědla, jako například: aromatické uhlovodíky, estery, ketony a podobné představují velkou ekologickou zátěž a odstraňování těchto látek z přírody je velmi náročné a nákladné. [3]

Vytvrzování práškových plastů je však energeticky náročné, což se negativně projevuje na ceně výrobků. Mezi lety 2010 až 2020 byla cena elektřiny relativně stabilní. Od roku 2021 však cena elektřiny začala prudce kolísat. Kvůli těmto změnám v ceně začala být energetická náročnost výroby důležitější než v předchozích letech. [4] [5] [6]

2. Rozdělení práškových plastů

Plasty jsou organické materiály, jejichž hlavní složku tvoří polymery, ke kterým se přidávají další látky, takzvaná aditiva, které mají za úkol upravovat vlastnosti materiálu. Práškové plasty se rozdělují na dva základní druhy: termoplasty a termosety. [7]

2.1 Termoplasty

Termoplasty se při vyšších teplotách rozpouští a po vychlazení a ztuhnutí si zachovávají stejné chemické složení. Díky tomu je lze opakovaně ohřívat do stavu taveniny a následně nechat ztuhnout. Dají se nanášet žárovým nástřikem, fluidním nanášením a stříkáním. [4] [7]

Jsou založeny na termoplastických pryskyřicích s vysokou molekulární hmotností. Tyto tuhé a odolné pryskyřice jsou však drahé, hlavně kvůli vysoké náročnosti na rozemletí do podoby prášku, který je dostatečně jemný. [4] [7]

Hlavní nevýhodou je tedy jejich omezená odolnost proti vysokým teplotám a vyšší pořizovací cena. Výhodou termoplastů je, že vyžadují kratší dobu vytvrzování, než termosety a zároveň mají vyšší odolnost proti agresivním chemikáliím. [4] [7]

2.1.1 Polyethyleny a polypropylény

Polyethyleny a polypropylény mají vysokou houževnatost, chemickou odolnost a vysoký elektrický odpor. Výsledný povrch je velmi hladký, takže ho lze snadno čistit. Jejich vlastnosti se odvíjejí především od hustoty polymerových krystalů s tím, že hustější struktura většinou znamená lepší mechanické vlastnosti, které jsou u polyethylenů a polypropylénů vcelku nízké. Jsou relativně levné. Nejčastěji se využívají pro fluidní nanášení. [4] [5]

2.1.2 Polyamidy

Nabízejí výbornou odolnost proti abrazi, opotřebení, nárazu a dalším mechanickým poškozením. Pokud jsou nanášeny na vhodný podklad, tak mají

velmi nízké tření, což je činí vhodnými pro mechanicky namáhané části. Nevýhodou je jejich vysoká cena, nutnost nanášet silnější vrstvy a potřeba speciální předúpravy. [4] [2]

2.1.3 Fluoropolymery

Jedná se o rozsáhlou skupinu polymerů obsahující fluor. Mají skvělou odolnost proti povětrnostním vlivům, odolnost proti chemikáliím a snesou relativně vysoké teploty. Nevýhodou je jejich vysoká cena a tím pádem i omezená nabídka. [1] [2]

2.1.4 Polyvinylchloridy

Povlaky vyráběné z polyvinylchloridu (PVC) mají vysokou chemickou i korozní odolnost a tvrdost. Využívají se na venkovní nábytek, regály, oplocení a další. [7]

2.1.5 Nylony

Jsou odolné proti abrazi a nárazu, mají nízkou drsnost a nízkou toxicitu. Používají se pro rotační a kluzná ložiska v elektrických spotřebičích, dále například v textilních a farmářských strojích. Dále se využívají jako povlaky na zdravotnických nástrojích, především díky jejich schopnosti vydržet sterilizační teploty. Nevýhodou je jejich nízká odolnost proti chemikáliím. [3] [1]

2.2 Termosety

Termosety neboli reaktoplasty dnes představují většinu práškových plastů. Jsou složeny z částic s nižší molekulární hmotností než termoplastické prášky. Při roztavení dojde k zesíťování mezi jednotlivými částicemi a díky tomu se celý povlak vytvrdí. Po vytvrzení je nelze opakovaně tavit. [8] [7]

2.2.1 Epoxidy

Velmi dobře odolávají korozi a některým druhům chemikálií. Jsou vhodné pro rychlé vytvrzování. I přes jejich výborné mechanické vlastnosti nejsou vhodné

pro exteriéry, protože při vystavení UV záření začnou blednout a žloutnout. Využívají se výhradně v interiérech. [1] [4]

2.2.2 Epoxi-polyestery

Jsou v současné době nejpoužívanějšími práškovými barvami. Mají výborné nabíjecí schopnosti, díky kterým se snadno uchytí v rozích a koutech výrobku. Kvůli obsahu epoxidů začnou blednout při vystavení na UV záření, takže se nehodí na venkovní aplikace. Používají se především v interiéru, ale lze je nanášet na výrobky, které jsou krátkodobě vystavovány povětrnostním vlivům, jako například zahradní nábytek. Slouží hlavně pro dekorativní účely. [4]

2.2.3 Polyestery

Polyestery se uplatňují hlavně v exteriéru, protože mají velmi dobrou odolnost proti UV záření a větru. Jejich vysoká odolnost jim garantuje stálý lesk a odstín až na 20 let. Jsou populární i díky své nízké ceně. [7] [9]

2.2.4 Polyuretany

Jsou určeny na výrobky, které vyžadují jemný povrch a odolnost. Velmi dobře odolávají povětrnostním vlivům. Povlaky z polyuretanu mají malou přilnavost, takže jsou vhodné pro anti-graffitové povrchy. Nevýhodou je jejich omezená schopnost vytvářet tlusté vrstvy, což zhoršuje jejich mechanickou odolnost. [4] [1]

2.2.5 Akryláty

Akrylátové prášky se používají kvůli jejich odolnosti proti abrazi a vzhledu. Běžně se používají na motocyklech, spotřebičích a automobilových nátěrech. Mohou být nanášeny v tenkých vrstvách, díky čemuž lze vytvářet jemné povlaky, které většina jiných prášků neumožňuje. Nevýhodou je, jejich náchylnost na kvalitu podkladu. [4] [7]

3. Předúpravy povrchu

Prakticky každý výrobek, který má být povlakován vyžaduje nějakou formu předúpravy. Předúpravě výrobku je nutné věnovat náležitou pozornost, protože kvalita podkladového povrchu má zásadní vliv na kvalitu výsledného povlaku. Při použití práškových plastů můžeme správnou úpravou povrchu nejen zvýšit adhezi, ale i zlepšit výsledné vlastnosti povlaku. Zpravidla se využívá několik metod předúprav po sobě, předúpravy v jednom kroku jsou výjimečné. [3] [10]

3.1 Mechanické předúpravy

Mechanické předúpravy se používají především pro odstranění mechanických nečistot, tedy koroze, okují, strusky po svařování a dalších nečistot. Krom odstranění nečistot se využívají k vytvoření vhodné mikrostruktury povrchu. Jsou charakteristické ničením vazby mezi nečistotou a povrchem prostřednictvím mechanické síly. Všechny mechanické předúpravy fungují na stejném principu a liší se pouze použitým nástrojem. [11]

3.1.1 Tryskání

Tryskání je nejúčinnější mechanickou metodou úpravy povrchu. Cílem tryskání je zbavit povrch nečistot, vytvoření vhodného kotvícího profilu a zlepšení mechanických vlastností. Nástrojem je proud sypkých či zrnitých částic, které jsou na součást vrhány kinetickou energií. Dělí se dle způsobu tryskání a podle druhu abraziva. Nejčastěji používanými abrazivy jsou ocelové broky, ocelová drť a křemičitý písek. Použitá zrna se liší tvarem, a proto se dělí na zrna s tupou a s ostrou geometrií. Zrna s tupou geometrií se používají pro zpevnění povrchu, bez úběru materiálu. Zrna s ostrou geometrií odstraňují ze součásti materiál, čímž odstraňují nečistoty a zdrsňují povrch, což vede ke zvýšení přilnavosti. Zrna s ostrou geometrií se však rychle opotřebovávají a musí se proto častěji vyměňovat. Po tryskání je vhodné na součást co nejdříve nanést povlak, jinak hrozí vznik takzvané bleskové koroze. [4] [10] [11] [12]

Tryskání se dělí dle způsobu urychlování abraziva na mechanické a pneumatické. Při použití pneumatického způsobu je abrazivo urychlováno za pomoci stlačeného vzduchu a usměrňováno tryskou. Lze ho využít k úpravě velkých výrobků, jako například ocelové mosty. U mechanického způsobu je abrazivo urychlováno odstředivou silou vytvořenou lopatkami metacího kola. Abrazivo je usměrňováno natočením metací jednotky. Z energetického hlediska je vhodnější mechanický způsob. [4] [10] [11] [12] [13]

3.1.2 Omílání

Jedná se o úpravu povrchu, která je vhodná pro větší množství drobných a členitých výrobků, především odlitků a vylisků. Při omílání se výrobky uvádějí do pohybu vibrací, nebo rotací omílacího zařízení a tím se vzájemně otloukají a obrušují. Omílání se hodí především pro odstranění ostrých hran, na kterých také dochází k největšímu úběru materiálu a zjemnění drsných ploch, kde je úběr naopak nejmenší. [11]

Běžně se do procesu přidávají omílací tělíska, která mohou mít různý tvar a být vyrobena z různých materiálů. Úběr materiálu na výrobcích lze ovlivnit velikostí zrna a druhem pojiva omílacích tělísek. Během omílání se tělíska opotřebovávají a tím se zhoršuje jejich schopnost odebírat materiál. Omílání může probíhat buď za sucha, nebo za přítomnosti odmašťovacích kapalin či inhibitorů koroze. [11]

Hlavní nevýhodou omílání je nerovnoměrný úběr materiálu a omezená velikost výrobků. Zároveň nelze omílat předměty, u nichž musí z konstrukčních důvodů zůstat ostré hrany. Výhodou je, že dochází k broušení i leštění v rámci jedné operace. [11]

EVP-RA



Obrázek 1: Kruhový omílací stroj EVP RA [14]

3.1.3 Broušení

Cílem broušení, jakožto povrchové úpravy, je odstranění nerovností, dosažení požadované kvality povrchu a sjednocení kvality povrchu. Povrch se s pomocí tvrdého brusiva obrušuje až na čistý kov. Nástrojem jsou brusné pásy, kotouče, brusné segmenty a další, které jsou vyrobeny z brusných zrn spojených pojivem. Brusná zrna jsou v nástroji rozmístěna a orientována náhodně a nemají jednotnou geometrii. Požadované kvality povrchu se dosahuje postupným zjemňováním použitého brusiva. Kvůli vysoké obvodové rychlosti nástroje dochází ke vzniku velkého množství tepla, které je třeba odebírat chlazením. Broušení se hodí především pro součásti s tvrdým povrchem, protože na nich lze dosáhnout mnohem nižší drsnosti než na měkkém povrchu. [11] [15]

3.1.4 Kartáčování

Při kartáčování dochází k odírání materiálu s pomocí konců drátků, které jsou upevněny v různých uskupeních k pevnému předmětu. Materiál, z něhož jsou vyrobeny drátky se vybírá na podle materiálu opracovávané součásti. Slouží k odstranění hrubých nečistot, jako třeba rez. Jemné nečistoty, jako třeba mastnotu, nelze kartáčováním odstranit. Kvalita a tvar výsledného

povrchu závisí především na kinetické energii, která je vynaložena při operaci. Kinetická energie může být vytvořena jak strojově, tak ručně. Hlavní výhodou kartáčování je nízká cena. Nevýhodou je fakt, že umožňuje odstranění jen některých druhů nečistot. [11]

3.1.5 Leštění

Leštění se používá po předchozím kartáčování, nebo broušení. Využívá se pro dosažení lesku a nízké drsnosti povrchu. Leštící částice jsou oblého tvaru, bez ostrých hran, které jsou buď pevně připojeny k leštícímu nástroji, nebo jsou volně nanесeny ve formě pasty, mezi nástroj a leštěný povrch. Při tlačení částic na povrch dochází k deformaci nerovností a výstupků na povrchu s minimálním úbytkem materiálu. Leštění může probíhat jak ručně, tak automaticky. [11]

3.2 Chemické předúpravy

Chemické předúpravy se používají k odstranění mastnot a dalších chemických nečistot. Zahrnuje způsoby předúprav, při kterých chemikálie reagují s nečistotami, které jsou k povrchu buď přimknuté, nebo chemicky vázané. Důležitou součástí chemických předúprav je oplachování, při kterém dochází k odstranění solí a jiných zbytků, které vznikají po odpaření prostředků předúprav a které by vedly ke snížení přilnavosti na povrchu. [10]

3.2.1 Odmašťování

Mastnoty jsou nejběžnější povrchové nečistoty. Z toho důvodu je odmašťování základem naprosté většiny povrchových předúprav. Krom běžného chemického odmašťování existuje i odmašťování ultrazvukem, nebo parami. Chemické odmašťování se dělí dle typu rozpouštědel na organická rozpouštědla, vodní roztoky a tenzidové roztoky. [11]

- Organická rozpouštědla

Při použití organických rozpouštědel dochází k odstranění mastných látek a k nim vázaných nečistot. Jejich hlavní výhodou je vysoká účinnost

a jednoduchost procesu. Nevýhodou je fakt, že po jejich použití zůstává na povrchu tenká vrstva rozpouštědla, proto nejsou vhodná pro některé povrchové úpravy, jako například galvanické pokovování. Dalším zásadním problémem je jejich ekologická škodlivost. [11]

- Alkalické vodné roztoky

Umožňují odstranění nečistot, které jsou ve vodě nerozpustné. Toho alkalické roztoky dosahují tím, že nejprve rozruší mastnou nečistotu a následně ji vytěsní z odmašťovací lázně. Pro zvýšení efektivity se mnohdy kombinují s použitím ultrazvuku, nebo elektrického proudu. [11]

- Tenzidové vodné roztoky

Snižují povrchové napětí mastnot na povrchu a rozptylují je do roztoku. Vyrábějí se z biologicky likvidovatelných látek, aby se zamezilo znečišťování životního prostředí. [11]

3.2.2 Moření

Moření slouží k odstraňování anorganických nečistot, jako například okují, oxidů a koročních zplodin. Uvádí se, že 60-70 % vyráběné oceli se v průběhu výroby alespoň 1x moří, což z něj dělá jednu z nejběžněji prováděných předúprav vůbec. Při jejich použití dochází k rozpouštění nečistot v minerálních kyselinách, nejčastěji v kyselině chlorovodíkové, kyselině sírové a kyselině solné. [11][16][17]

Během moření dochází k naleptávání základního kovu, čímž se na jednu stranu zvýší přilnavost povrchu, na druhou stranu se zvyšuje riziko difuze vodíku do kovové matrice. Moření zároveň zvyšuje spotřebu kyselin, což vede k vyšším nákladům na zpracování odpadů. Z toho důvodu se do mořící lázně přidávají takzvané mořící inhibitory, které omezují vliv kyseliny na základní materiál. [11][16][17]

3.2.3 Odrezování

Jedná se o zvláštní druh moření, které slouží k odstraňování jemných vrstev rzi, které zpravidla vznikají během skladování, nebo používání výrobku. Odrezovače se dělí na oplachové a bezoplachové. Oplachové se oplachují po určité době působení. Po použití bezoplachových chemikálií, je vhodné očistit povrch vodou, nebo alespoň otřít savým materiálem, aby zbytky odrezovače nesublinovaly do povrchu. [11]

Rychlost odrezování lze zlepšit zvýšením teploty odrezovací lázně a přidáním vysokofrekvenčních vibrací. Odrezování je výrazně efektivnější pro odstranění rzi než mechanické metody. [18]

3.2.4 Fosfátování

Fosfátování je chemická předúprava, která slouží ke zlepšení korozivzdornosti a přilnavosti povrchu. Zpravidla jí předchází jiné předúpravy, které odstraňují mastnotu a okuje. [19] [20]

Provádí se ponořením součásti do lázně, kdy na povrchu zůstane vrstva krystalů fosforečnanu železnatého, zinečnatého nebo manganového. Tato vrstva funguje jako bariérová ochrana. V ideálním případě vytváří vrstva fosfátu a práškového povlaku takzvaný synergický efekt, tedy výsledná ochrana je větší než součet ochran jednotlivých vrstev. [19] [20]

4. Nanášení práškových plastů

Technologie nanášení práškových plastů se zpravidla rozdělují na dva druhy: s předehřevem a bez předehřevu povlakovaného materiálu. Technologie s předehřevem se dělí na žárový nástřik a fluidní nanášení. Bez předehřátí jsou to pak elektrostatické a elektrokinetické stříkání. V některých případech se používá kombinace výše zmíněných metod, například elektrostatické stříkání předehřátého výrobku. [5] [2]

Při nanášení je třeba dodržet správnou tloušťku povlaku. Příliš silná, nebo tenká vrstva zpravidla vede k odklonu od požadovaných vlastností. Běžná tloušťka povlaku po vytvrzení je mezi 60 μm a 90 μm . V praxi se tloušťka volí dle funkce. U málo namáhaných výrobků, jako třeba regálů lze použít vrstvy tenčí než 40 μm . Na druhou stranu vysoce namáhané výrobky, například armatury, mohou mít povlak tlustší než 250 μm . [5] [2]

4.1 Stříkání

Jedná se o nejpoužívanější metodu nanášení práškových plastů. Během stříkání se vysušený stlačený vzduch smíchá s práškovým plastem a dále je skrz stříkací pistoli vymršťován na povrch výrobku. [5]

Tlak vzduchu se nastavuje dle konstrukce aplikačního zařízení, tvaru lakovaného výrobku a požadované tloušťky povlaku. Při příliš nízkém tlaku může docházet k ucpávání aplikačního zařízení, při příliš vysokém tlaku dochází ke strhávání prášku z povrchu výrobku a vyššímu opotřebením aplikačního zařízení. [5] [2] [7]

Metody stříkání se dělí na elektrostatické a elektrokinetické nanášení. U obou metod se částice prášku elektricky nabíjejí a povlakovaný předmět je uzemněn. Při styku nabitého prášku s uzemněným předmětem vznikne elektrostatická přitažlivá síla, která udrží dostatečné množství prášku na povrchu výrobku. Je nezbytné uzemnit stříkací kabinu a pomocná zařízení, aby se předešlo vzniku vysokonapěťového výboje a vzniku jisker. [5] [2] [7]

Stříkání umožňuje rovnoměrně navést 40 μm až 150 μm a je určeno pro nanesení pouze jedné vrstvy. Je nezbytné zakrýt ostré hrany, na kterých

by výsledný povlak špatně držel. Po nanesení se prášek nechá roztavit v peci a vytvoří tak souvislou vrstvu. [5] [2] [7]

4.1.1 Elektrostatické (korónové) nanášení

Při elektrostatickém nanášení prochází prášek skrz ionizovaný vzduch (korónový mrak), ve kterém se volné ionty přichytí na určitém počtu částic prášku, které díky tomu získají záporný náboj. Ionizovaný vzduch se vytváří s pomocí vysokého napětí o síle 30 kV až 90 kV, které je soustředěné v trysce pistole. Jelikož mají částice záporný náboj, tak je třeba zajistit, aby byl přebytek elektronů účinně odveden do země. Pokud není dostatečně uzemněn, dojde k vytvoření silného záporného náboje na povrchu výrobku, který pak nový, taktéž záporně nabitý prášek odpuzuje, což vede k různým vadám povrchu. Kvůli relativně vysokému napětí vznikají mezi stříkácí pistolí a výrobkem elektrostatická pole, takzvaný efekt Faradayovy klece, kvůli kterému je náročné nanášet prášek na místa s nižší hustotou pole, jako například vnitřní plochy a dutiny. [5] [2] [7] [21]

4.1.2 Elektrokinetické (tribostatické, frikční) nanášení

Při elektrokinetickém nanášení se částice prášku nabíjejí otěrem o speciální izolant (nejčastěji PTFE), který se nachází v trubici stříkácí pistole. Díky tomu není za potřebí vysoké napětí, které by vytvářelo elektrická pole, nebo volné ionty. Výkon se určuje regulací protékajícího vzduchu. Při otírání získává prášek kladný elektrický náboj. Tryska stříkácí pistole musí být dobře uzemněna, aby se mohly odvádět uvolněné elektrony, které by jinak vedly k hromadění záporného náboje a prášek by procházel pistolí bez nabití. Elektrokinetické zařízení jsou obecně levnější než elektrostatické. Efekt Faradayovy klece při této metodě nehrozí, protože při ní nedochází k tak velkým rozdílům elektrických potenciálů. Nevýhodou je, že mnoho typů prášků, hlavně metalické barvy, nelze touto metodou nanášet. [5] [2] [7]

4.2 Fluidní nanášení

Při fluidním nanášení se povlakovaná součást ohřeje a následně ponoří do zfluidizovaného prášku. Po uplynutí předem určeného času se výrobek opět vytáhne. Díky teplu výrobku se částice prášku nataví a přichytí se na součásti. Při použití termoplastů se součást obvykle nechá vychladnout. Při nanášení termosetů se výrobek po nanášení umístí do pece, kde se roztavení prášku dokončí. Tato metoda umožňuje vytvoření tlustších vrstev povlaku než jiné metody. Nevýhodou je omezené využití pro součásti se složitým tvarem, protože se na některých místech uchycuje přebytečný prach, nebo v nich zůstává zbytkový vzduch, což může vést k nedostatečnému pokrytí daných oblastí. [1]

4.3 Žárový nástřik

Při žárovém nástřiku je natavený prášek nastříkovan na výrobek. Termoplastický prášek je nasáván pomocí Venturiho trubice a dopravován do hořáku. V něm hoří směs plynu, nejčastěji propan-butanu a vzduchu. Vzniklé horké plyny natavují přiváděný termoplast a usměrňují ho na lakovaný výrobek. Pro správné uchycení povlaku se výrobky předehtívají na teplotu 90 °C až 110 °C. Výhodou žárového nástřiku je možnost práce v exteriéru a možnost opravování již naneseného povlaku. [22]

5. Vytvrzování

Vytvrzování je jednou z nejdůležitějších fází výroby povlaků z práškových plastů. Nedostatečné, nebo naopak přehnané vytvrzení zhorší všechny vlastnosti povlaku, ať už mechanické, nebo vzhledové. Během vytvrzování v peci dochází působením tepla k rozpuštění prášku do tekuté podoby, která kopíruje tvar výrobku. V termosetovém prášku dojde k zesíťování polymeru a povrch získá požadované mechanické vlastnosti. U termoplastického prášku dojde pouze k roztavení polymeru. Při ohřívání výrobku se přiváděné teplo odvádí do výrobku, proto k vytvrzení prášku dochází až po prohřátí celého objemu výrobku. Z tohoto důvodu se práškové povlaky nedoporučují pro objemné výrobky s malou teplosměnnou plochou, protože je třeba velkého množství tepla, aby došlo ke kompletnímu prohřátí, což se značně projeví na nákladech. Naopak tělesa s malým objemem, jako třeba plechy, jsou pro práškové plasty ideální. Teplota a čas vytvrzování se volí na základě typu prášku, tvaru, objemu a tepelné vodivosti výrobku. Nejčastěji se vytvrzovací teploty pohybují mezi 180 °C a 200 °C a čas mezi 10 až 20 minutami. Po vytvrzení se výrobky nechají vychladnout. Po vychlazení nepotřebuje povlak žádný čas ke schnutí, výrobky tedy lze ihned balit a expedovat. [7] [8] [10]

5.1 Horkovzdušné (konvenční) pece

Horkovzdušné pece jsou dnes nejpoužívanější metodou pro vytvrzování práškových nátěrů. V průmyslu se k ohřívání vzduchu nejčastěji využívá plyn, případně elektřina, nebo topné oleje. Plynové pece se využívají především proto, že plyn byl historicky levnější než jiné zdroje energie. Elektrické pece se často využívají v podnicích, kde by bylo zavedení plynu ekonomicky nevýhodné, případně slouží pro amatérské a domácí použití. [4] [23]

Aby v peci nevznikala místa se studeným, nebo naopak příliš horkým vzduchem, je nezbytné zajistit dostatečnou cirkulaci vzduchu. Nedostatečná cirkulace způsobuje nerovnoměrné ohřívání výrobků. Příliš silná cirkulace však způsobuje odfoukávání prášku z výrobků, nebo dokonce vzájemné nárazy

výrobků o sebe, či o stěny pece. Díky možnostem přesného nastavení teploty umožňují horkovzdušné pece vytvrzování všech druhů práškových plastů. Horký vzduch se dostane do záhybů a dutin, čímž umožňuje vytvrzování tvarově složitých výrobků. Nevýhodou je relativně dlouhá doba vytvrzování. [23]

5.2 Infračervené pece

V infračervených pecích je povlak vytvrzován s pomocí světelných paprsků, které přenášejí tepelnou energii. Část energie se odrazí od povrchu, část se absorbuje do práškového povlaku a část se absorbuje do podkladu. Díky přímému přenosu energie se začne prášek vytvrzovat ihned po vystavení paprskům, a díky tomu jsou infračervené pece výrazně rychlejší než pece konvenční. Infračervené paprsky se v elektromagnetickém spektru nacházejí mezi viditelným světlem a mikrovlnami. Chování infračervených paprsků je ovlivněno jejich vlnovou délkou, vzdáleností emitoru od povrchu, na který dopadají. Podle vlnové délky se rozdělují na 3 základní typy: krátké, střední a dlouhé. Pro nejefektivnější vytvrzování by mělo být co nejvíce energie pohlceno samotným práškem, k čemuž se nejlépe hodí střední vlnová délka. Krátkovlnné záření přenáší více energie do podkladu, a proto se používá pro tvarově složité součásti. Dlouhovlnné záření ohřívá hlavně vzduch, a proto se příliš nepoužívá. Infračervené záření se vyzařuje emitory, které používají buď plyn, nebo elektřinu. V infračervených pecích by měly být všechny povrchy přímo vystaveny záření z emitoru. [4] [23]

Infračervené pece jsou vhodné především pro větší a těžší výrobky, u kterých lze rozestavět emitory tak, aby rovnoměrně ohřívaly celý povrch. Kvůli nutnosti nastavovat emitory a reflektory se tyto pece zpravidla nehodí do provozů, kde je příliš velká různost tvaru výrobků. Zvýšení pružnosti výroby lze docílit například rotací výrobku v peci, nebo pohybem emitorů a reflektorů. Efektivita vytvrzování je ovlivněna i barvou povlaku, protože tmavé barvy lépe pohlcují záření a vytvrzují se rychleji než světlé povlaky. Infračervené pece se mnohdy využívají k předehřívání výrobků, které trvá 30 až 60 sekund a následně jsou vytvrzovány v konvenční peci. [4] [23]

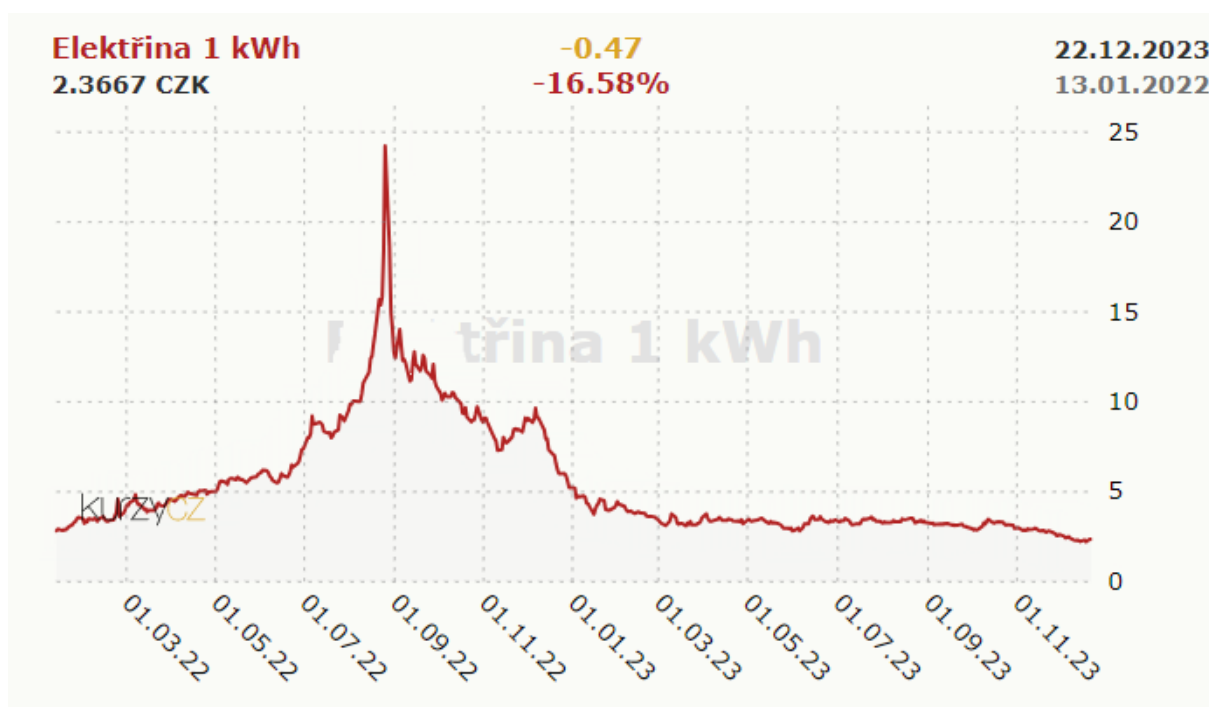
5.3 UV pece

Proces vytvrzování v UV peci se skládá ze dvou kroků. Prvním je předehřev, který je nejčastěji prováděn infračerveným zářením po dobu jedné až dvou minut, případně se provádí v horkovzdušné peci. Při předehřevu dojde k natavení povlaku a jeho rozlívání po povrchu výrobku. Druhým krokem je vytvrzování pod UV lampou, kdy dochází k vytvrzení už po několika sekundách. [24] [25]

Samotná technologie je velmi podobná infračerveným pecím, s několika zásadními rozdíly. Při použití UV pecí nedochází k prohřátí celého výrobku, ale pouze samotného povlaku. Díky tomu je možné práškově lakovat mnohem více druhů materiálu, které by nesnesly tak vysoké teploty, jako třeba dřevo, nebo MDF desky. Zároveň se hodí pro kovové materiály, které mají tendenci uvolňovat plyny, které by při použití běžných metod způsobovaly znehodnocení povlaku. Rychlost vytvrzování zároveň zajišťuje velmi nízkou energetickou spotřebu. Vyžadují speciální typ prášku, což zvyšuje nákladnost celého procesu. Vysoká pořizovací cena UV pecí je další překážkou pro větší rozšíření této technologie. Stále se jedná o relativně novou technologii, která se však rychle rozvíjí a lze předpokládat, že se vysoká cena bude časem snižovat. [24] [25]

6. Energetické úspory

Mezi lety 2010 a 2020 byla průměrná cena elektrické energie relativně stabilní. Od roku 2020 se však cena energie začala rychle měnit a zvyšovat (viz. graf). Z toho důvodu se snižování spotřeby energie stalo jedním z hlavních témat v průmyslu. [6]



Obrázek 2: Vývoj ceny elektřiny od roku 2021 [6]

6.1 Úspory v jednotlivých fázích výroby

Je velmi důležité průběžně sledovat a vyhodnocovat provozní náklady a celý proces neustále zlepšovat. Díky podrobnému sledování je možné odhalit problematické části výroby, od plýtvání energií nedbalostí pracovníků, špatně udržované motory, až po zastaralé transformátory. Ideální způsob monitorování je napojení všech zařízení na centrální systém, který umožňuje sledovat spotřebu energie v reálném čase. Tohle řešení je vhodné především pro velké podniky. [26]

Na spotřebu prášku má vliv tloušťka vrstvy, uzemnění výrobku, způsob aplikace, nastavení aplikační techniky a kvalita samotného prášku. [27]

6.1.1 Úspory stlačeného vzduchu

Stlačený vzduch je využíván jako energetické médium, které nese tlakovou energii. Má široké uplatnění, od ovládání a pohonu pneumatických strojů, přes chlazení, čištění až po nanášení nátěrových hmot. Hlavní výhody stlačeného vzduchu jsou jeho snadná skladovatelnost, prakticky neomezená dostupnost a ekologičnost. [28] [29]

K výrobě stlačeného vzduchu se využívá takzvaných vzduchových kompresorů, k jejichž pohonu se nejčastěji využívají elektromotory, případně parní, nebo plynové turbíny. Mimo kompresoru obsahuje soustava pro výrobu stlačeného vzduchu i čistící zařízení a sušičku, protože vzduch musí být dostatečně kvalitní, aby mohl být použit. [28] [29]

Využívání stlačeného vzduchu je však energeticky velmi náročné. Uvádí se, že 10% celkové spotřeby elektřiny v průmyslu připadá na výrobu stlačeného vzduchu. To je způsobeno hlavně faktem, že průměrně 90% elektrické energie je při stlačování přeměněno v teplo, což je při současném technologickém procesu nevyhnutelný jev. Z toho důvodu jsou dnes vyvíjeny metody pro využívání takto vyrobeného odpadního tepla. Jedná se například o systémy, které vytvořené teplo zachycují a využívají pro další procesy, například ohřev vody k vytápění. [28]

Velký vliv na spotřebu energie má i tlak vzduchu. Zvýšení tlaku o 1 bar zvyšuje spotřebu elektrické energie přibližně o 7 %. Z toho důvodu je důležité posoudit, zda je používaný tlak skutečně zapotřebí. [28] [29]

Velké množství tlaku se běžně ztrácí ve špatně provedených, či zastaralých rozvodech a strojích. Proto může změna provozu, nebo pořízení modernějších technologií ušetřit náklady na používání stlačeného vzduchu v řádech desítek procent ročně. [28] [29]

6.1.2 Úspory ve vytvrzovacím procesu

Z energetického hlediska je vytvrzování nejnákladnější součástí procesu. Náklady se liší například typem použité pece, kdy infračervené pece umožňují snížení nákladů až o 50 %, ale mají vyšší pořizovací náklady, proto je před

nákupem nutné provést podrobnou analýzu nákladů. Podobná situace je u UV pecí s tím rozdílem, že se jedná o méně používanou technologii. [23] [30]

Velké pece jsou obecně nákladnější na vytápění, proto by z ekonomických důvodů měly být využívány co možná nejmenší pece. Doba vytvrzování v horkovzdušné peci se nejčastěji pohybuje mezi 15 a 20 minutami, takže pec by měla mít dostatečnou kapacitu, aby dokázala pojmout co možná nejvíce výrobků, které lze vytvrdit za tuto dobu. Někdy se jako kompromis mezi kapacitou a úsporou energie používají dvě menší pece. Při použití dvou pecí je vhodné položit je vedle sebe, aby se zabránilo ztrátám tepla na jedné straně pece. [23] [30]

6.1.3 Úspory zkrácením doby vytvrzování

Jednou z možností, jak snížit náklady na vytvrzování je použití prášků s kratší dobou vytvrzování, nebo s nižší vytvrzovací teplotou. Kratší dobou vytvrzování je možné dosáhnout nejen úspory při jedné várce, ale zároveň i energii spotřebovanou pro roztápění pece. Pokud například várku, která by se musela vytvrzovat čtyři pracovní směny, dokáže podnik vytvrdit během tří směn, tak čtvrtou směnu není vůbec potřeba roztápet pec, což vede ke značným úsporám elektrické energie. Roztápění pecí je energeticky nákladnější než udržování konstantní teploty. [8]

6.1.4 Úspory plánováním výroby

Pro efektivní výrobu je třeba naplnit kapacitu pece. U horkovzdušných pecí je výhodné vytvrzovat bez přestávky, kvůli dlouhému a nákladnému roztápění pece. Jestliže není naplněna kapacita pece, nebo dochází k dlouhé časové prodlevě mezi várkami, dochází k plýtvání energií. [8]

Je třeba mít co nejvyšší množství nekvalitně zhotovených výrobků. Špatně provedeného práškového povlaku se podniky nejčastěji zbavují spálením v pecích, při teplotách vyšších než 400 °C. Následně musejí provést nástřik práškovým plastem znovu. Jedná se o energeticky nákladný proces, a proto je velmi důležité nevyrábět velké množství zmetkových výrobků, které by bylo třeba opravovat. [8] [31]

Náklady lze šetřit i vhodným využitím odpadního tepla. Například spaliny, které by běžně unikaly komínem lze s pomocí tepelného čerpadla využít k ohřevu jiných částí podniku a ušetřit tak náklady na vytápění. [31]

Spotřeba pece je dána především třemi faktory. Ztráta tepla přes stěny pece, energie spotřebovaná na samotné vytvrzování a ztráty horkého vzduchu při výměně výrobků. [23] [30]

Ztráty tepla stěnami pece jsou dány především teplosměnnou plochou. Větší pece mají větší plochu a tím pádem i větší tepelné ztráty, proto by pec měla být co nejmenší. [23] [30]

Samotné vytvrzování zahrnuje nejen samotné výrobky, ale i systémy které výrobky drží. Zpravidla se jedná o háky, kolejnice a řetězy. Ty se při vytvrzování zahřívají také tím dochází k odvodu tepla. Spotřebovaná energie je dána i materiálem samotných výrobků. [23] [30]

Ztráty tepla při výměně výrobků jsou rozdílné u různých typů pecí. Největší jsou u horkovzdušných. Běžně pece zabraňují úniku tepla dveřmi. Dveře musí být dobře utěsněné a měly by být otevřeny co nejkratší dobu. Toho lze dosáhnout rychlou výměnou výrobků s vytvrzeným povlakem a nevytvrzených výrobků. [23] [30]

6.2 Cena energie v podniku

Zpravidla je výhodnější rozprostřít spotřebu energie do delšího časového období. Kapacita jističe je předplacená. Dodavatelé energie dovolují omezená maxima spotřeby za den, za překročení spotřeby se platí vysoké příplatky. Poptávka po elektřině se mění v průběhu dne, takže může být finančně výhodné přesunout energeticky náročné procesy do částí dne, kdy je poptávka nižší. Cena energie bývá zpravidla zafixovaná na delší časové období, v řádu několika měsíců až roku, především kvůli možnosti plánování budoucích nákladů. [26] [30]

7. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

7.1 Návrh experimentu

Praktická část se zabývá porovnáním termoplastického a termosetového prášku. Pro zkoušku byly vybrány dva prášky, které mají stejnou vytvrzovací teplotu, ale odlišnou vytvrzovací dobu.

Pro potřeby experimentu bylo použito 20 kulatých ocelových vzorků z materiálu S235JR o průměru 105 mm a tloušťce 2 mm, na které byly prášky nanášeny. Před samotným nanášením byly vzorky otryskány ocelovými kuličkami a odmaštěny.

Po předúpravě vzorků byly nanášeny prášky pomocí elektrostatické metody. Prášky byly následně vytvrzeny v horkovzdušné peci.

Nakonec byly provedeny zkoušky mechanických vlastností, které měly za úkol určit, zda byly práškové nátěry provedeny správně a také měly ukázat rozdíly ve vlastnostech mezi použitými prášky.

Použité zkoušky byly:

- Měření drsnosti před a po nanesení povlaku ČSN EN ISO 21920-2
- Měření tloušťky povlaku ČSN EN ISO 2808
- Zkouška křížovým řezem ČSN EN ISO 16276-2
- Mřížková zkouška ČSN EN ISO 2409
- Odtrhová zkouška ČSN EN ISO 4624

7.2 Předúpravy a nanášení

Všechny vzorky byly mechanicky a chemicky předupraveny. Předúprava byla nutná, kvůli odstranění nečistot, mastnot a zvýšení přilnavosti povlaku. Všechny vzorky byly upraveny stejným postupem.



Obrázek 3: Otryskaný vzorek [foto autora práce]

7.2.1 Mechanická předúprava

Prvním krokem předúpravy bylo tryskání. Cílem bylo odstranění mechanických nečistot a koroze a také zvýšení drsnosti povrchu vzorků, pro vytvoření lepšího kotvícího profilu.

K tryskání bylo použito automatické stolové tryskácké zařízení typ RT 1D1000/HK od firmy S.A.F. Stroj je vybaven otočným hákem, na kterém byl pověšen jednoduchý šestiramenný přípravek a na ten byly rozvěšeny neotryskané vzorky. Vnitřek tryskácké komory je vyložen Hadfieldovou ocelí a otěruvzdornými litými pláty, díky čemuž je účinnost tryskání výrazně vyšší než

u běžných tryskacích zařízení, které mají vyložení z pryžových, nebo plastových závěsů. [32]

Tryskacím prostředkem byly ocelové kuličky o průměru 0,5 mm. Doba tryskání byla 2 minuty. Tryskalo se vždy po šesti vzorcích, aby došlo ke stejnoměrnému otryskání po celém povrchu vzorků.



Obrázek 4: Tryskací stroj RT 1D1000/HK [foto autora práce]

7.2.2 Chemická předúprava

Druhým krokem předúpravy bylo odmaštění vzorků. Cílem bylo odstranění mastnot i dalších nečistot, které ulpěly na vzorcích a mohly by způsobit špatnou přilnavost povrchu. Použit byl odmašťovací prostředek 3M™ Čistič povrchů VHB™, který byl nastříkán na povrch. Během postřiku byl kladen důraz především na rovnoměrné pokrytí celého povrchu, aby nevznikly neodmaštěné plochy. Po postřiku bylo třeba počkat několik minut na oschnutí vzorků.



Obrázek 5: Odmašťovací prostředek [foto autora práce]

7.2.3 Nanášení

Nanášení obou typů práškových plastů bylo prováděno ručně, elektrostatickou metodou. Bylo důležité nanést souvislou, stejnoměrnou vrstvu po celém povrchu vzorků. Každý vzorek byl pověšen na ocelový háček, díky kterému bylo možné manipulovat se vzorkem bez porušení nanesené vrstvy a zároveň zajišťoval elektrické uzemnění vzorků, aby se prášek mohl dobře uchytit. Nanášení prášku probíhalo v ruční nanášecí kabině od firmy DATEL Ledec s.r.o.



Obrázek 6: Nanášecí kabina [foto autora práce]

7.3 Vytvrzování

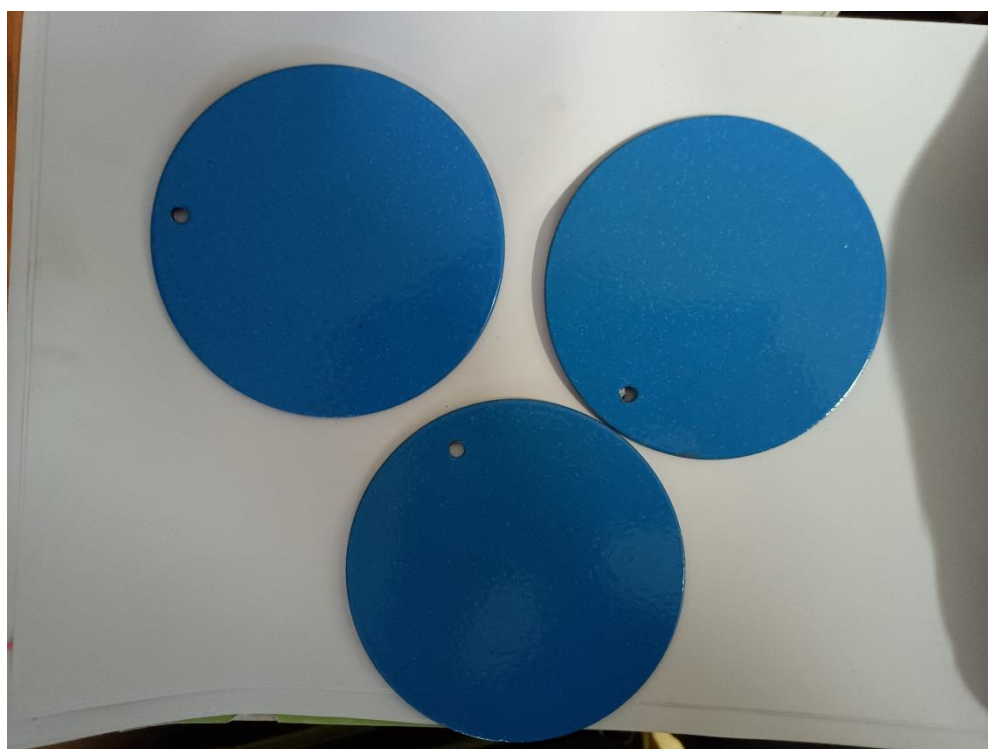
K vytvrzování byla použita elektrická komorová pec Heratherm OMH400 od firmy Thermo Scientific. Výrobce uvádí příkon pece 630 W při 150 °C.

Vytvrzení termosetového prášku trvalo 20 minut, při teplotě 180 °C. Termosetový prášek byl použit na 10 vzorků.

Vytvrzování termoplastového prášku bylo rozděleno do dvou skupin po pěti vzorcích. Prvních 5 vzorků termoplastického prášku bylo vytvrzeno za 2 minuty, při teplotě 180 °C. Následujících 5 vzorků bylo vytvrzeno za 4 minuty při teplotě 180 °C. U vzorků pokrytých termoplastem, které byly vytvrzovány po dobu 4 minut se vyskytly po vytvrzení kráterky, což je nežádoucí jev (viz příloha 21). I přesto byly tyto vzorky hodnoceny. Z tohoto důvodu se ve zbytku práce berou 2 minuty, jako referenční vytvrzovací doba pro termoplastový povlak.



Obrázek 7: Elektrická komorová pec Heratherm OMH400 [foto autora práce]



Obrázek 8: Vytvrzený termoplastový povlak [foto autora práce]



Obrázek 9: Vytvrzený termosetový povlak [foto autora práce]

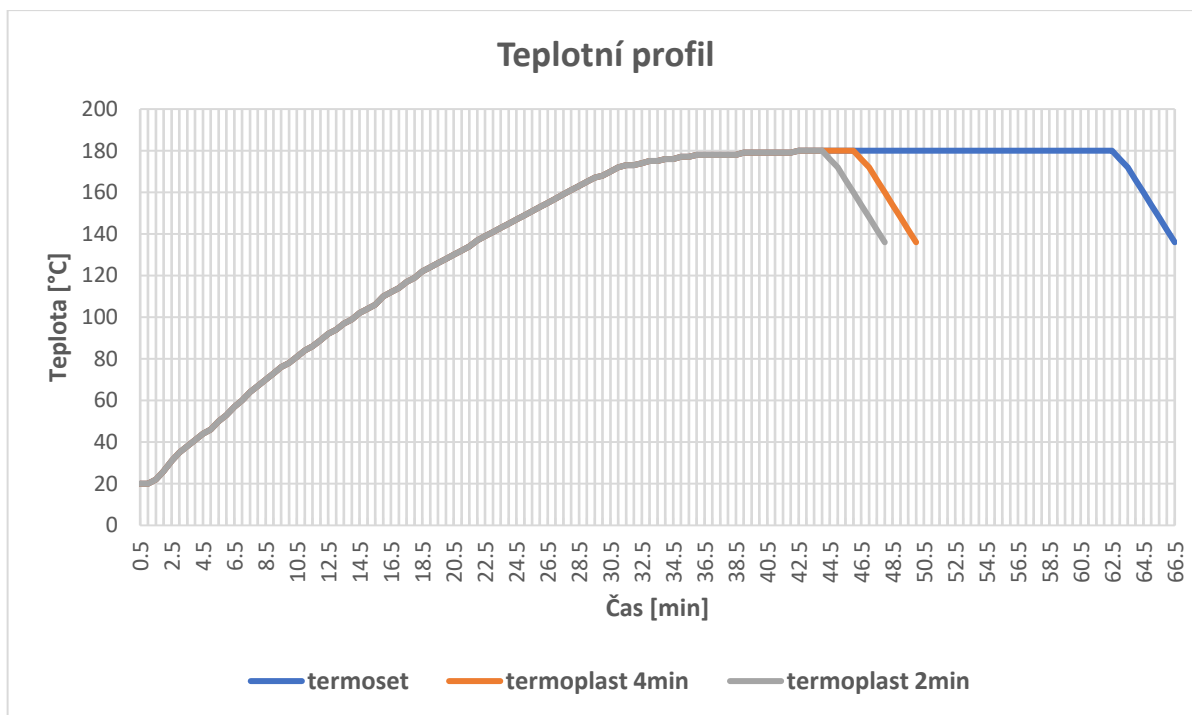
7.3.1. Náběhová teplota

Pro vytvrzení práškového povlaku v horkovzdušné peci musí nejprve dojít k prohřátí celého výrobku. Samotný proces vytvrzování začíná až po dosažení samotné vytvrzovací teploty, v tomto případě 180 °C.

Před zapnutím byla teplota vzduchu uvnitř pece stejná, jako teplota vzduchu v místnosti, tedy 20 °C. Po zapnutí trvalo dosažení vytvrzovací teploty 42,5 minut. Teplota byla měřena každých 30 vteřin.

Vytahování pěti vzorků trvalo přibližně 2 minuty, během kterých poklesla teplota v peci ze 180 °C na 136 °C.

Dávání nových vzorků do pece trvalo stejnou dobu jako vyndávání již vytvrzených vzorků ven, takže celková výměna trvala 4 minuty. Za tu dobu klesla teplota v peci na 98 °C. Znovudosažení vytvrzovací teploty trvalo 27,5 minut.



Obrázek 10: Graf popisující čas a teplotu potřebnou pro vytvrzení povlaků

7.4 Měření drsnosti

Dle ČSN EN ISO 21920-2 je drsnost souhrn nerovností povrchu s relativně malou vzdáleností, které nevyhnutelně vznikají při výrobě, nebo jejím vlivem. [33]

Cílem měření bylo porovnání vzorků před tryskáním a po tryskání, kvůli zajištění vhodné kotvícího profilu. Dále mělo za cíl porovnat vlastnosti termoplastového a termosetového povlaku. Drsnost povlaku ovlivňuje přilnavost lepidla a adhezni pásy, což má vliv na výsledky mechanických zkoušek, které byly provedeny.

7.4.1. Průběh měření

Měření drsnosti bylo prováděno přístrojem Mitutoyo SJ-301. Jedná se o kontaktní přístroj, což znamená že upraveným hrotem snímá souřadnice vyhodnocovaného povrchu, které následně počítačově zpracovává. Kontaktní měřicí přístroje se skládají z mechanické a elektronické části.

Mechanická část je rameno se snímacím hrotem, které se pohybuje konstantní rychlostí s pomocí elektromotoru.

Elektronická část přeměňuje mechanický signál produkovaný snímacím hrotem na elektrický signál. Následně signál zpracovává na číselnou hodnotu daných parametrů drsnosti.

Měření bylo provedeno vždy dvanáctkrát, následně byla odstraněna nejvyšší a nejnižší hodnota a ze zbylých hodnot byla vypočítána průměrná hodnota.

7.4.2. Vyhodnocení měření

Cílem měření bylo porovnání drsnosti před a po mechanické předúpravě.

Drsnost měřená před tryskáním, která byla měřena na jednom vzorku, z obou stran.

Tabulka 1: Drsnost vzorků před tryskáním

Číslo vzorku	1. strana		2. strana	
	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]
1	0,27	0,72	0,23	1,6
2	0,15	0,83	0,14	0,94
3	0,24	1,34	0,22	0,76
4	0,19	1,07	0,19	0,56
5	0,18	1,23	0,31	1,52
6	0,24	0,95	0,16	0,73
7	0,2	0,87	0,26	0,89
8	0,15	1,78	0,2	1,54
9	0,17	0,63	0,31	1,82
10	0,28	0,79	0,26	0,93
11	0,21	1,17	0,22	1,24
12	0,22	0,79	0,21	1,36
min	0,15	0,63	0,14	0,56
max	0,28	1,78	0,31	1,82
Průměr	0,21	0,98	0,23	1,15

Drsnost po tryskání byla měřena na třech náhodně vytipovaných vzorcích z jedné strany.

Tabulka 2: Drsnost vzorků po tryskání

Číslo vzorku	1		5		16	
Číslo měření	Ra[μm]	Rz[μm]	Ra[μm]	Rz[μm]	Ra [μm]	Rz[μm]
1	6,6	34,68	5,47	25,32	6,72	37,57
2	8,26	39,38	5,16	20,5	6,64	34,08
3	9,73	38,73	3,54	24,51	7,52	24,22
4	7,53	35,64	6,1	22,45	6,53	38,99
5	6,71	36,77	4,88	28,59	5,87	29,46
6	7,66	31,9	4,78	25,24	7,89	35,67
7	6,86	32,82	5,19	26,16	7,22	34,38
8	8,42	39,61	5,6	32,33	4,42	24,34
9	7,05	33,35	3,91	21,16	5,27	31,76
10	6,57	34,35	4,04	32,49	5,3	30,58
11	7,33	36,36	4,74	28,11	4,3	36,68
12	9,26	38,96	4,96	23,42	6,5	39,58
min	6,57	31,9	3,54	20,5	4,3	24,22
max	9,73	39,61	6,1	32,49	7,89	39,58
Průměr	7,57	36,1	4,87	25,73	6,2	33,35

Z předchozích výsledků je vidět, že došlo ke zvýšení drsnosti povrchu vzorků, což byl požadovaný efekt. Zároveň byly odstraněny korozní produkty a mechanické nečistoty, které by snižovaly přilnavost povrchu.

Měření drsnosti práškových povlaků, bylo vždy provedeno na dvou náhodně vytipovaných vzorcích, na jedné straně.

Tabulka 3: Drsnost termoplastového povlaku

Číslo vzorku	1		6	
Číslo měření	Ra[μm]	Rz[μm]	Ra[μm]	Rz[μm]
1	0,83	3,39	0,63	3,49
2	0,62	3,83	0,47	3,28
3	0,57	3,44	0,5	2,98
4	0,69	4,94	0,63	3,31
5	0,74	3,65	0,62	3,39
6	0,59	3,32	0,58	3,36
7	0,6	3,7	0,65	2,93
8	0,48	4,15	0,69	3,45
9	0,68	2,83	0,64	3,29
10	0,78	4,69	0,68	4,3
11	0,74	3,49	0,59	3,43
12	0,56	4,14	0,59	3,9
min	0,48	2,83	0,47	2,93
max	0,83	4,94	0,69	4,3
Průměr	0,66	3,78	0,61	3,39

Tabulka 4: Drsnost termosetového povlaku vytvrzovaného 2 minuty

Číslo vzorku	11		14	
Číslo měření	Ra[μm]	Rz[μm]	Ra[μm]	Rz[μm]
1	0,46	2,37	0,46	1,86
2	0,32	1,31	0,53	2,25
3	0,36	2,59	0,45	0,22
4	0,31	1,63	0,6	2,14
5	0,51	0,87	0,38	1,52
6	0,32	1,55	0,47	2,1
7	0,18	1,6	0,42	1,73
8	0,28	1,15	0,42	0,19
9	0,44	0,83	0,46	1,85
10	0,42	1,61	0,46	2
11	0,43	1,41	0,32	2,3
12	0,2	1,48	0,52	1,72
min	0,18	0,83	0,32	0,19
max	0,51	2,59	0,6	2,3
Průměr	0,35	1,5	0,46	1,74

Tabulka 5: Drsnost termosetového povlaku vytvrzovaného 4 minuty

Číslo vzorku	16		20	
Číslo měření	Ra[μm]	Rz[μm]	Ra[μm]	Rz[μm]
1	0,22	0,81	0,27	2,49
2	0,34	1,32	0,4	1,77
3	0,29	1,22	0,45	1,79
4	0,82	1,5	0,56	2,32
5	0,47	3,51	0,47	1,95
6	0,46	0,75	0,3	1,32
7	0,2	3,38	0,26	1,13
8	0,27	1,6	0,34	1,38
9	0,35	1,57	0,4	1,04
10	0,3	1,25	0,43	1,94
11	0,75	1,8	0,23	1,69
12	0,35	1,72	0,51	1,33
min	0,2	0,75	0,23	1,04
max	0,82	3,51	0,56	2,49
Průměr	0,38	1,62	0,38	1,66

Z naměřených drsností vyplývá, že byl vhodně vytvořen kotvící profil pro aplikaci práškových povlaků. Po nanesení povlaku se drsnost snížila, a to díky vytvrzení a zasítování práškového plastu, který zahladil nerovnosti vytvořené tryskáním.



Obrázek 11: Měřící hlavice [foto autora práce]



Obrázek 12: Měřicí přístroj Mitutoyo SJ-301 [foto autora práce]

7.5 Měření tloušťky povlaku

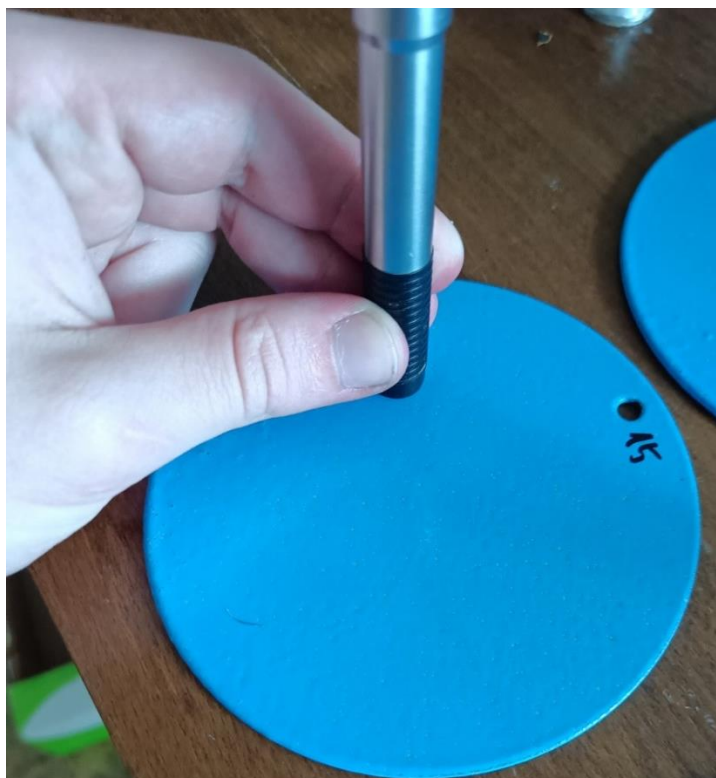
Měření je dáno normou ČSN EN ISO 2808. K měření je možné použít elektronické přístroje, které umožňují nedestruktivní zkoušku. [34]

Existuje několik různých metod měření, které se používají podle materiálu podkladu a použité úpravy povrchu. Jedná se například o prozařovací zkoušky, elektroinduktivní zkoušky, kapilární zkoušky a další.

7.5.1. Průběh měření

K měření byl použit přístroj Elcometer 456. Ten vyhodnocuje průměrnou tloušťku povlaku po změření stanovených bodů a podle typu použité sondy může měřit feromagnetické nebo neferomagnetické materiály.

Tloušťka povlaku byla měřena dvanáctkrát na každém vzorku, na různých místech. Minimální a maximální hodnota byly vyřazeny a ze zbylých hodnot byl vypočítán aritmetický průměr.



Obrázek 13: Průběh měření tloušťky povlaku [foto autora práce]

7.5.2. Vyhodnocení měření

Tabulka 6: Tloušťka termosetového povlaku

Číslo vzorku	1	2	3	4	5
1	68,2	70,7	51,8	70,9	55,3
2	57,3	68,7	57,8	85,3	47,9
3	70,8	71,2	62,9	90,8	49,9
4	64,9	68,3	61,5	70,9	51,2
5	55,7	62	64	83	61,8
6	63,5	71,7	60,8	68,5	51,5
7	84,6	58,6	52,4	91,9	52,7
8	92,7	77,5	51,6	67,8	55,1
9	83,7	73,7	47,2	47,8	61
10	47,7	66,4	59,8	55,5	53,1
11	51,5	51,6	39,3	58,6	46,9
12	53,6	46,8	33,1	66,4	45,6
max	92,7	77,5	64	91,9	61,8
min	47,7	46,8	33,1	47,8	45,6
Průměr	65,4	66,3	54,5	71,8	52,5

Tabulka 7: Tloušťka termosetového povlaku

Číslo vzorku	6	7	8	9	10
1	81,6	54,4	74,5	96,9	79,3
2	94,8	91,6	83,8	84,4	99,7
3	85	99,7	73,3	97,6	105
4	99,3	61,4	73,5	97,2	96,5
5	90,7	57,7	66,9	99,8	77,6
6	90	63,6	66,9	94,3	68,7
7	80,1	73,3	70,1	90,9	72,1
8	87,9	73	73,4	98,2	76,8
9	80,9	77,3	79,7	85,1	77,4
10	71,1	66,9	75,9	84	70,4
11	71,5	47,3	61,5	65,3	49,9
12	82,5	52	62,2	72,6	61,2
max	99,3	99,7	83,8	99,8	105
min	71,1	47,3	61,5	65,3	49,9
Průměr	84,5	67,1	71,6	90,1	78

Výrobce termosetové barvy uvádí ideální tloušťku povlaku 60-80 μm . Toho nebylo dosaženo na vzorcích 3 a 5, protože vrstva je příliš tenká a na vzorcích 6 a 9, kdy je vrstva příliš tlustá. Tyto odchylky vznikly při aplikaci a zhotovení povlaku autorem práce.

Tabulka 8: Tloušťka termoplastového povlaku vytvrzovaného 2 minuty

Číslo vzorku	11	12	13	14	15
1	126	119	113	111	117
2	120	118	88,6	84,8	159
3	130	132	89,3	96,7	103
4	149	139	118	89,5	112
5	136	141	135	116	91,5
6	134	158	126	118	78,2
7	116	137	97,8	90,2	114
8	91,9	103	112	90,3	99,9
9	94,5	117	118	106	75,5
10	110	115	98,9	77,7	109
11	127	112	107	99,3	117
12	112	120	111	126	82,5
max	149	158	135	126	159
min	91,9	103	88,6	77,7	75,5
Průměr	120,6	125	109,1	100,2	102,4

Tabulka 9: Tloušťka termoplastového povlaku vytvrzovaného 4 minuty

Číslo vzorku	16	17	18	19	20
1	137	86,3	145	119	98,6
2	142	52,2	133	93,9	107
3	164	94,8	145	105	103
4	169	91,2	156	111	143
5	163	81,1	194	114	121
6	182	84,8	180	149	106
7	176	70,2	172	127	96,3
8	123	60	174	103	98,2
9	112	71,6	181	92,2	105
10	129	46,3	153	100	119
11	148	70	166	141	103
12	128	47,8	148	102	98,7
max	182	94,8	194	149	143
min	112	46,3	133	92,2	96,3
Průměr	147,9	71,5	162	111,6	106

Výrobce termoplastové barvy uvádí doporučenou tloušťku 300-750 μm . Důvodem, proč nebylo této tloušťky dosaženo je pravděpodobně nanášení elektrostatickou metodou. Pro vytvoření tloušťky nad 300 μm by mohly být použity metody žárového nástřiku, případně fluidního nanášení.

Vzorek 17 má v porovnání s ostatními vzorky relativně slabou vrstvu povlaku, což je opět pravděpodobně způsobeno chybou v nanášení prášku.

Vzorky s termosetovým práškem měly tenčí vrstvu než vzorky s termoplastovým práškem.

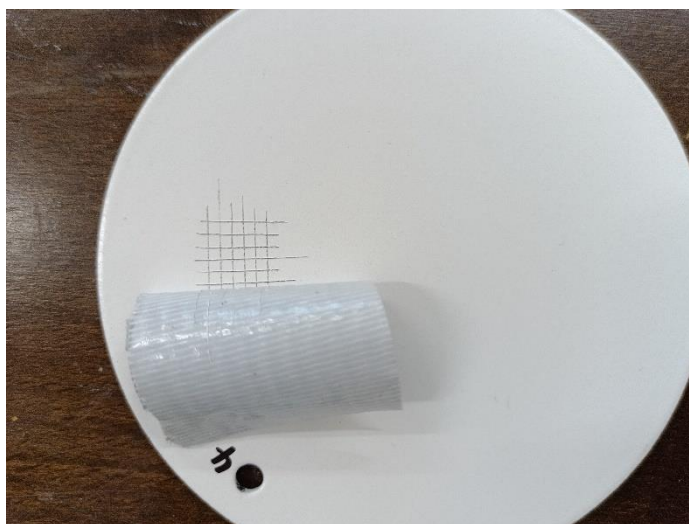
7.6 Mřížková zkouška

Mřížková zkouška slouží ke stanovení adhezní přilnavosti povlaku k podkladu. Při mřížkové zkoušce se postupně nožem vytvoří 6 rovnoběžných řezů a následně se postupně nožem vytvoří 6 řezů pod úhlem 90° vůči původním řezům. Rozteč mezi jednotlivými řezy jsou dány tloušťkou povlaku. Tím dojde k vytvoření 25 čtverců. Pokud je povlak tenčí než 60 μm , tak je rozteč 1 mm. Pokud je tloušťka povlaku v rozmezí 60-120 μm , tak je rozteč 2 mm. Pokud je tloušťka

větší, než 120 μm , tak je rozteč 3 mm. Následně se na vytvořené čtverce přilepí adhezní páska, která je po důkladném přilepení odtržena. Po odtržení se povrch porovnává s tabulkami. [35]

7.6.1. Průběh měření

Zkouška byla provedena a vyhodnocena dle ČSN EN ISO 2409. Tloušťka povlaku byla naměřena předem. K provedení zkoušky byl použit řezný nástroj, šablona a adhezní páska. Zkouška byla vyhodnocena vizuálním srovnáním s obrázky v tabulce, podle kterých byla určena klasifikace.



Obrázek 14: Průběh mřížkové zkoušky [foto autora práce]

7.6.2. Vyhodnocení měření

V této kapitole jsou shrnuty a vyhodnoceny zkoušky přilnavosti mřížkovou zkouškou dle normy ČSN EN ISO 2409 pro termosetový a termoplastový povlak.

Tabulka 10: Klasifikace mřížkové zkoušky na termosetovém povlaku

Číslo vzorku	1	2	3	4	5
Klasifikace	0	0	0	0	0

Tabulka 11: Klasifikace mřížkové zkoušky na termoseovém povlaku

Číslo vzorku	6	7	8	9	10
Klasifikace	0	0	0	0	0

Tabulka 12: Klasifikace mřížkové zkoušky na termoplastovém povlaku vytvrzovaném 2 minuty

Číslo vzorku	11	12	13	14	15
Klasifikace	0	0	0	0	0

Tabulka 13: Klasifikace mřížkové zkoušky na termoplastovém povlaku vytvrzovaném 4 minuty

Číslo vzorku	16	17	18	19	20
Klasifikace	0	0	0	0	0

Během mřížkové zkoušky nedošlo u žádného vzorku k delaminaci povlaku, takže byly všechny vyhodnoceny stupněm 0. Přílnavost povlaku tedy vyhovuje.




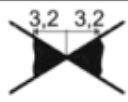


7.7 Zkouška křížovým řezem

Zkouška slouží ke stanovení adheze povlaku. Jednou z hlavních výhod zkoušky je možnost hodnotit povlaky, jejichž tloušťka přesahuje 250 μm . Zkouška spočívá ve vytvoření dvou protínajících se řezů, které spolu svírají úhel 30-45°. Řezy se vytvoří stejně, jako u mřížkové zkoušky, tedy rovným řezem s pomocí ostrého nástroje. Poté se povrch očistí a přilepí se na něj lepicí páska. Po odtrhnutí pásky se hodnotí množství odloupeného materiálu podél řezů, který zůstal na lepicí pásce. [36]

7.7.1. Průběh měření

Zkouška byla provedena dle normy ČSN EN ISO 16276-2. K provedení zkoušky byl použit řezný nástroj, šablona a adhezivní páska.

Tabulka 14: Hodnocení zkoušky křížovým řezem dle ČSN EN ISO 16276-2 [36]

Označení	Popis	Vzhled
5A	Žádný odlup	
4A	Nepatrný odlup podél řezů	
3A	Odlup podél řezu, v ploše max. do vzdálenosti 1,6 mm od křížení řezů	
2A	Odlup podél řezu, v ploše max. do vzdálenosti 3,2 mm od křížení řezů	
1A	Odstranění povlaku z většiny plochy mezi řezy	
0A	Odstranění povlaku i mimo plochu křížového řezu	



Obrázek 15: Průběh zkoušky křížovým řezem [foto autora práce]

7.7.2. Vyhodnocení měření

V této kapitole jsou shrnuty a vyhodnoceny zkoušky přilnavosti křížovým řezem dle normy ČSN EN ISO 16276-2 pro termosetový a termoplastový povlak.

Tabulka 15: Klasifikace křížového řezu na termosetovém povlaku

Číslo vzorku	1	2	3	4	5
Klasifikace	5A	5A	5A	5A	5A

Tabulka 16: Klasifikace křížového řezu na termosetovém povlaku

Číslo vzorku	6	7	8	9	10
Klasifikace	5A	5A	5A	5A	5A

Tabulka 17: Klasifikace křížového řezu na termoplastovém povlaku vytvrzovaného 2 minuty

Číslo vzorku	11	12	13	14	15
Klasifikace	5A	5A	5A	5A	5A

Tabulka 18: Klasifikace křížového řezu na termoplastovém povlaku vytvrzovaného 4 minuty

Číslo vzorku	16	17	18	19	20
Klasifikace	5A	5A	5A	5A	5A

Na žádném ze vzorků nebyl pozorován žádný odlup. Všechny vzorky prošly zkouškou s nejlepším možným hodnocením.

7.8 Odtrhová zkouška

Odtrhová zkouška byla provedena dle ČSN EN ISO 4624. Při této zkoušce se zkoušený materiál zdrsňuje brusným papírem a odmastí lihem. Dále je nutné očistit a odmastit zkušební tělíčko. Poté se nanese lepidlo na povrch zkušebního tělíčka a přilepení tělíčka na zkoušený vzorek. Následně se vyčká na zaschnutí lepidla. Dobu schnutí udává výrobce lepidla. Nakonec se provede oříznutí kolem

zkušební tělíska až na základní materiál a odstranění přebytečného lepidla okolo tělíska. [37]



Obrázek 16: Odtrhoměr ELCOMETER 510 [foto autora práce]



Obrázek 17: Vzorky s termosetovým povlakem po provedení zkoušky odtrhem [foto autora práce]



Obrázek 18: Vzorky s termoplastovým povlakem po provedení zkoušky odtrhem [foto autora práce]

7.8.1. Průběh měření

Ke zdrsnění povrchu byl použit brusný papír s drsností P600. K odmaštění byl použit přípravek ISOPROPANOL 99,80 %. Poté bylo nanášeno epoxidové lepidlo UHU Plus Endfest 300.

Na samotné odtrhnutí byl použit odtrhoměr ELCOMETER 510. Jedná se o hydraulický přístroj, který měří tahovou sílu. Přesnost přístroje je ± 1 %. Zkušební tělíska měly průměr 20 mm, u nichž dokáže odtrhoměr měřit tahovou sílu až 25 MPa.

7.8.2. Vyhodnocení měření

V této kapitole jsou shrnuty a vyhodnoceny zkoušky přilnavosti odtrhovou zkouškou dle normy ČSN EN ISO 4624 pro termosetový a termoplastový povlak.

Tabulka 19: Síla odtrhu termosetového povlaku

Číslo vzorku	1	2	3	4	5
Napětí tělíška č.1 [MPa]	4,26	4,89	3,24	3,16	2,92
Napětí tělíška č.2 [MPa]	4,1	4,21	4,67	2,86	2,08
Napětí tělíška č.3 [MPa]	3,59	4,69	4,49	4,98	2,29
Průměr [MPa]	3,98	4,60	4,13	3,67	2,43

Tabulka 20: Síla odtrhu termosetového povlaku

Číslo vzorku	6	7	8	9	10
Napětí tělíška č.1 [MPa]	3,04	3,68	2,78	2,69	1,98
Napětí tělíška č.2 [MPa]	2,26	3,07	2,04	2,77	2,78
Napětí tělíška č.3 [MPa]	1,6	2,51	2,12	2,56	2,14
Průměr [MPa]	2,30	3,09	2,31	2,67	2,30

U termosetových vzorků byla průměrná síla odtrhu 3,15 MPa. Maximální síla odtrhu byla 4,98 MPa. Minimální síla odtrhu byla 1,6 MPa.

Tabulka 21: Síla odtrhu termoplastového povlaku vytvrzovaného 2 minuty

Číslo vzorku	11	12	13	14	15
Napětí tělíška č.1 [MPa]	2,62	2,73	4,44	2,22	2,25
Napětí tělíška č.2 [MPa]	2,36	2,62	2,28	3,64	2,42
Napětí tělíška č.3 [MPa]	2,41	2,9	3,58	2,6	3,3
Průměr [MPa]	2,46	2,75	3,43	2,82	2,66

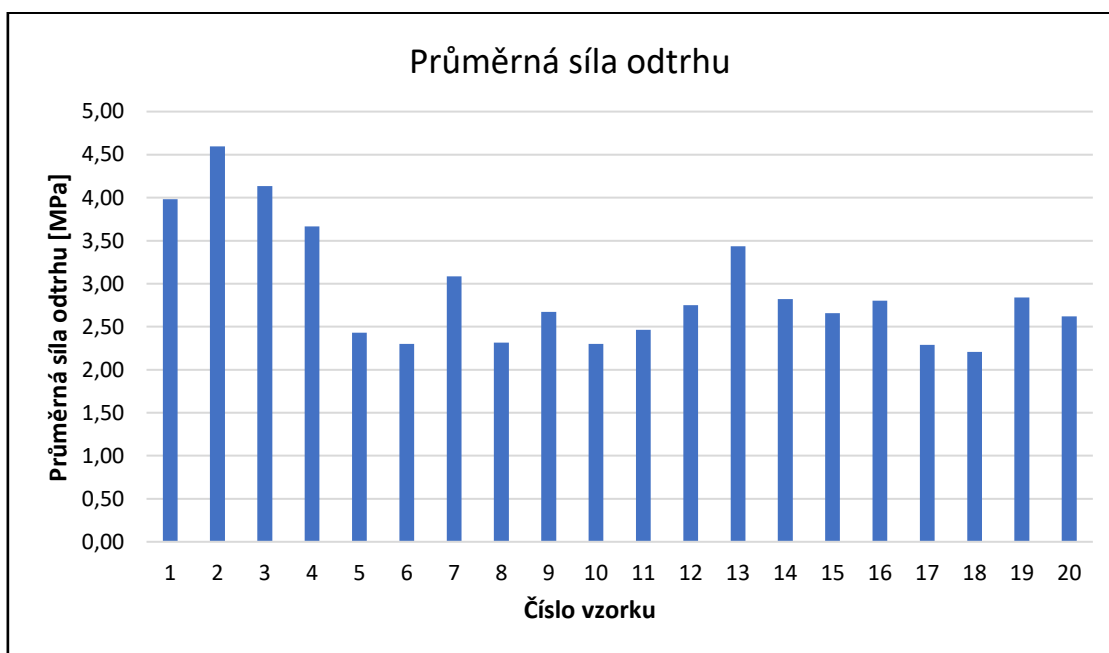
Termoplastové povlaky vytvrzované 2 minuty nebyly od základního materiálu odtrženy, takže lze usoudit odolnost povlaku proti průměrné síle 2,82 MPa a maximální síle odtrhu, která byla 4,44 MPa. Minimální síla odtrhu byla 2,22 MPa.

Tabulka 22: Síla odtrhu termoplastového povlaku vytvrzovaného 4 minuty

Číslo vzorku	16	17	18	19	20
Napětí tělíška č.1 [MPa]	2,68	2,87	2,17	2,89	2,97
Napětí tělíška č.2 [MPa]	2,65	4	2,5	3,1	2,32
Napětí tělíška č.3 [MPa]	3,08	-*	1,95	2,53	2,57
Průměr [MPa]	2,80	3,44	2,21	2,84	2,62

*U tělíška číslo 17 nedošlo k odtrhu kvůli poškozené uchycovací části.

Termoplastové povlaky vytvrzované 4 minuty taktéž nebyly odtrženy, takže lze usoudit odolnost povlaku proti průměrné síle 2,52 MPa a maximální síle odtrhu, která byla 4 MPa. Minimální síla odtrhu byla 1,95 MPa.



Obrázek 19: Graf průměrné síly odtrhu každého vzorku

Tabulka 23: Typ odtrhu termosetového povlaku

Vzorek	1	2	3	4	5
Tělísko 1	A/B 90 %	A/B 90 %	A/B 40 %	A/B 80 %	A/B 0 %
	B/Y 10 %	B/Y 5 %	B/Y 30 %	B/Y 15 %	B/Y 5 %
	Y/Z 0 %	Y/Z 5 %	Y/Z 30 %	Y/Z 5 %	Y/Z 95 %
Tělísko 2	A/B 80 %	A/B 85 %	A/B 80 %	A/B 90 %	A/B 5 %
	B/Y 20 %	B/Y 10 %	B/Y 10 %	B/Y 10 %	B/Y 10 %
	Y/Z 0 %	Y/Z 5 %	Y/Z 10 %	Y/Z 0 %	Y/Z 85 %
Tělísko 3	A/B 95 %	A/B 75 %	A/B 90 %	A/B 50 %	A/B 5 %
	B/Y 5 %	B/Y 15 %	B/Y 10 %	B/Y 5 %	B/Y 0 %
	Y/Z 0 %	Y/Z 10 %	Y/Z 0 %	Y/Z 45 %	Y/Z 95 %

Tabulka 24: Typ odtrhu termosetového povlaku

Vzorek	6	7	8	9	10
Tělísko 1	A/B 5 %	A/B 25 %	A/B 50 %	A/B 0 %	A/B 0 %
	B/Y 0 %	B/Y 0 %	B/Y 5 %	B/Y 0 %	B/Y 0 %
	Y/Z 95 %	Y/Z 75 %	Y/Z 45 %	Y/Z 100 %	Y/Z 100 %
Tělísko 2	A/B 0 %	A/B 60 %	A/B 10 %	A/B 0 %	A/B 10 %
	B/Y 0 %	B/Y 15 %	B/Y 10 %	B/Y 5 %	B/Y 15 %
	Y/Z 100 %	Y/Z 25 %	Y/Z 80 %	Y/Z 95 %	Y/Z 75 %
Tělísko 3	A/B 0 %	A/B 85 %	A/B 0 %	A/B 0 %	A/B 0 %
	B/Y 0 %	B/Y 10 %	B/Y 0 %	B/Y 5 %	B/Y 0 %
	Y/Z 100 %	Y/Z 5 %	Y/Z 100 %	Y/Z 95 %	Y/Z 100 %

U vzorků s termosetovým povlakem došlo k odtrhu podstatné části povlaku u vzorků číslo 1, 2, 3, 4, 7, 8. Ve zbytku případů došlo k odtrhu mezi lepidlem a testovacím tělískem (viz. přílohy 1-10).

Zároveň při porovnání tabulky síly a typu odtrhu lze usoudit, že skutečná síla potřebná k odtržení povlaku se dá určit spíše z vyšších hodnot, tedy těch přesahujících 3 MPa.

Tabulka 25: Typ odtrhu termoplastového povlaku vytvrzovaného 2 minuty

Vzorek	11	12	13	14	15
Tělísko 1	A/B 0 %	A/B 0 %	A/B 0 %	A/B 0 %	A/B 0 %
	B/Y 0 %	B/Y 0 %	B/Y 0 %	B/Y 0 %	B/Y 0 %
	Y/Z 100 %	Y/Z 100 %	Y/Z 100 %	Y/Z 100 %	Y/Z 100 %
Tělísko 2	A/B 0 %	A/B 0 %	A/B 0 %	A/B 0 %	A/B 0 %
	B/Y 0 %	B/Y 0 %	B/Y 0 %	B/Y 0 %	B/Y 0 %
	Y/Z 100 %	Y/Z 100 %	Y/Z 100 %	Y/Z 100 %	Y/Z 100 %
Tělísko 3	A/B 0 %	A/B 0 %	A/B 0 %	A/B 0 %	A/B 0 %
	B/Y 0 %	B/Y 0 %	B/Y 0 %	B/Y 0 %	B/Y 0 %
	Y/Z 100 %	Y/Z 100 %	Y/Z 100 %	Y/Z 100 %	Y/Z 100 %

Tabulka 26: Typ odtrhu termoplastového povlaku vytvrzovaného 4 minuty

Vzorek	16	17	18	19	20
Tělísko 1	A/B 0 %	A/B 0 %	A/B 0 %	A/B 0 %	A/B 0 %
	B/Y 0 %	B/Y 0 %	B/Y 0 %	B/Y 0 %	B/Y 0 %
	Y/Z 100 %	Y/Z 100 %	Y/Z 100 %	Y/Z 100 %	Y/Z 100 %
Tělísko 2	A/B 0 %	A/B 0 %	A/B 0 %	A/B 0 %	A/B 0 %
	B/Y 0 %	B/Y 0 %	B/Y 0 %	B/Y 0 %	B/Y 0 %
	Y/Z 100 %	Y/Z 100 %	Y/Z 100 %	Y/Z 100 %	Y/Z 100 %
Tělísko 3	A/B 0 %	A/B -*	A/B 0 %	A/B 0 %	A/B 0 %
	B/Y 0 %	B/Y -*	B/Y 0 %	B/Y 0 %	B/Y 0 %
	Y/Z 100 %	Y/Z -*	Y/Z 100 %	Y/Z 100 %	Y/Z 100 %

* U tělíška číslo 17 nedošlo k odtrhu kvůli poškozené uchycovací části.

U žádných termoplastových vzorků nedošlo k odtržení povlaku, ale pouze k odtržení lepidla. U zbytku došlo k porušení mezi lepidlem a zkouškovým tělískem (viz. přílohy 11-20). U všech tělísek, kde k tomuto došlo se tedy přesná přilnavost nedá určit, lze pouze potvrdit, že je vyšší, než 2 MPa.

7.9 Technicko-ekonomické zhodnocení

Energie spotřebovaná na předúpravy a nanášení byla u obou druhů prášku stejná. Lišila se energie potřebná k jejich vytvrzení. Jako průměrná cena energie byla použita spotová cena ke dni 12.12. 2023. Je třeba poznamenat že skutečná cena, kterou platí podniky je výrazně vyšší než spotová cena. Pro tento výpočet však spotová cena stačí.

Průměrná cena energie $\approx 2,28$ Kč/kWh [6]

Příkon = 630 W

Náběh vytvrzovací teploty = 43 minut

$$Cena\ náběhu = \frac{příkon[W] * čas[min]}{1000 * 60} * cena = \frac{630 * 43}{1000 * 60} * 2,28 = 1,029\ Kč$$

Termoplast vytvrzovaný 2 minuty

$$Cena\ vytvrzení = \frac{příkon[W] * čas[min]}{1000 * 60} * cena = \frac{630 * 2}{1000 * 60} * 2,28 = 0,048\ Kč$$

Celková cena vytvrzení = Cena náběhu + Cena vytvrzení

$$Celková\ cena\ vytvrzení = 1,029 + 0,048 = 1,077\ Kč$$

Termoset vytvrzovaný 20 minut

$$Cena\ vytvrzení = \frac{příkon[W] * čas[min]}{1000 * 60} * cena = \frac{630 * 20}{1000 * 60} * 2,28 = 0,479\ Kč$$

Celková cena vytvrzení = Cena náběhu + Cena vytvrzení

$$Celková\ cena\ vytvrzení = 1,029 + 0,479 = 1,508\ Kč$$

Termoplastové vzorky, které byly vytvrzovány 4 minuty, nebyly brány v potaz, protože se jedná o příliš dlouhý čas.

Z výpočtů tedy vyplývá, že cena elektrické energie, která byla potřebná k vytvrzení termosetového prášku byla o 39,5 % vyšší než vytvrzení termoplastového prášku.

7.9.1. Porovnání elektřiny a plynu

Jak již bylo zmíněno v kapitole o energetických úsporách, v technické praxi se zpravidla používá plyn. Spotová cena zemního plynu v době provedení

zkoušky byla 0,18 Kč/kWh. Stejně jako u předchozího výpočtu bude reálná cena plynu vyšší, ale pro tento výpočet stačí spotová cena.

Při teoretickém porovnání energií za stejných parametrů, tedy pokud by plynová pec měla stejnou účinnost, jako použitá elektrická pec, náběhová doba by byla 43 minut a vytvrzovací doba by byla 20 minut pro termoset a 2 minuty pro termoplast. [6]

$$Cena\ náběhu = \frac{příkon[W] * čas[min]}{1000 * 60} * cena = \frac{630 * 43}{1000 * 60} * 0,18 = 0,081\ Kč$$

Termoplast vytvrzovaný 2 minuty

$$Cena\ vytvrzení = \frac{příkon[W] * čas[min]}{1000 * 60} * cena = \frac{630 * 2}{1000 * 60} * 0,18 = 0,004\ Kč$$

$$Celková\ cena\ vytvrzení = Cena\ náběhu + Cena\ vytvrzení$$

$$Celková\ cena\ vytvrzení = 0,081 + 0,004 = 0,085\ Kč$$

Termoset vytvrzovaný 20 minut

$$Cena\ vytvrzení = \frac{příkon[W] * čas[min]}{1000 * 60} * cena = \frac{630 * 20}{1000 * 60} * 0,18 = 0,038\ Kč$$

$$Celková\ cena\ vytvrzení = Cena\ náběhu + Cena\ vytvrzení$$

$$Celková\ cena\ vytvrzení = 10,081 + 0,038 = 0,119\ Kč$$

Z výpočtů vyplývá, že vytvrzení v plynové peci by za stanovených podmínek bylo o 78 % levnější než vytvrzení v elektrické peci. Tento výpočet vychází z předpokladu, že plynová pec má stejnou spotřebu, jako elektrická pec. Zároveň je třeba poznamenat, že reálná cena plynu i elektřiny je odlišná, a proto by v praxi byl tento rozdíl jiný.

7.9.2. Porovnání rychlosti vytvrzení termoplastu a termosetu

Cílem porovnání je demonstrovat ušetření energie použitím termoplastu, pokud by se povlakovalo 1000 výrobků. Předpokladem je, že by povlakovací proces probíhal za stejných podmínek, za jakých probíhal experiment. Předúprava a nanášení každé várky by probíhalo během vytvrzování předchozí várky. Uvedené časy jsou ilustrační pro 20 vzorků, což je zároveň zvolená kapacita pece. Hodnoty vycházejí z předchozích měření.

Celkový počet vzorků=1000

Kapacita pece=20 vzorků

Náběh vytvrzovací teploty= 43 minut

Doba vytvrzování termoplastu= 2 minuty

Doba vytvrzování termosetu= 20 minut

Znovudosažení vytvrzovací teploty= 27,5 minut

Pracovní směna= 8 hodin = 480 minut

Doba povlakování 1000 výrobků termoplastem

Doba vytvrzení prvních dvaceti vzorků = náběh + vytvrzování = 43 + 2 = 45 min

Doba vytvrzení dvaceti vzorků = znovudosažení vytvrzovací teploty + vytvrzování

Doba vytvrzení dvaceti vzorků = 27,5 + 2 = 29,5 min

Počet várek za směnu = první várka + $\frac{\text{směna} - \text{vytvrzení dvaceti vzorků}}{\text{vytvrzení dvaceti vzorků}}$

Počet várek za směnu = $1 + \frac{480 - 45}{29,5} = 15,7 \Rightarrow 15 \text{ várek}$

*Počet vzorků za směnu = počet várek * kapacita pece = 15 * 20 = 300 kusů*

Potřebný počet směn = $\frac{\text{počet vzorků}}{\text{vzorky za směnu}} = \frac{1000}{300} = 3,33 \Rightarrow 4 \text{ směny}$

Doba povlakování 1000 výrobků termosetem

Doba vytvrzení prvních dvaceti vzorků = náběh + vytvrzování = 43 + 20 = 63 min

Doba vytvrzení dvaceti vzorků = znovudosažení vytvrzovací teploty + vytvrzování

Doba vytvrzení dvaceti vzorků = 27,5 + 20 = 47,5 min

Počet várek za směnu = první várka + $\frac{\text{směna} - \text{vytvrzení dvaceti vzorků}}{\text{vytvrzení dvaceti vzorků}}$

Počet várek za směnu = $1 + \frac{480 - 63}{47,5} = 9,7 \Rightarrow 9$ várek

*Počet vzorků za směnu = počet várek * kapacita pece = 9 * 20 = 180 kusů*

Potřebný počet směn = $\frac{\text{počet vzorků}}{\text{vzorky za směnu}} = \frac{1000}{180} = 5,56 \Rightarrow 6$ směn

Z výpočtu vyplývá, že při jednosměnném provozu by použití termoplastového prášku zvýšilo rychlost produkce přibližně o 40 %. Zároveň by díky vyšší produkci šlo vytvrdit 1000 vzorků za 4 směny, což znamená že 2 směny by se nemusela vůbec roztápet pec a zároveň možnost využít ušetřený čas na jinou práci.

Je nutné brát v potaz, že tento výpočet nezahrnuje mnoho faktorů, které v praxi ovlivňují rychlost výroby, takže se dá očekávat podstatně menší zvýšení produkce. Faktem však zůstává, že nahrazení termosetového prášku termoplastovým práškem může vést ke značným úsporám času a elektrické energie.

8. ZÁVĚR

Cílem teoretické části bylo vytvoření rešerše problematiky práškových plastů. Zahrnuje popis druhů práškových plastů, předúprav, vytvrzování a možností energetických úspor ve výrobním procesu.

Cílem praktické části bylo porovnání dvou prášků, termoplastového a termosetového. Srovnání se týkalo zkoušek přilnavosti, tedy mřížkové zkoušky, zkoušku křížovým řezem a odtrhová zkouška. Dále se srovnávala spotřeba energie při vytvrzování.

Pro nanesení prášků bylo použito 20 ocelových vzorků, které byly tryskány a odmaštěny. Použitý termoplastový prášek byl Plastcoat 571, použitý termosetový prášek byl CPC-20 RAL 9003 ING 3. Oba prášky byly na vzorky nanесeny elektrokinetickým způsobem. Následně se vzorky vytvrzovaly v horkovzdušné peci při teplotě 180 °C. Byla změřena doba vytvrzení termoplastového a termosetového povlaku a z těchto hodnot byla vypočítána teoretická cena vytvrzení. Porovnáním těchto cen byla zjištěna úspora 39,5 %, která by vznikla při použití termoplastového prášku.

Úspory energie jsou významné i při vytvrzování infračerveným zářením, které však nevytvrzuje plochy, na které záření nedopadá. Stejný problém existuje i při vytvrzování ultrafialovým zářením. U tvarově složitých výrobků je horkovzdušné vytvrzování nutností a v takovýchto případech jsou termoplastové povlaky technologií, která umožňuje úspory elektrické energie.

U použitého termoplastu nebyla známa doba vytvrzování, proto byly vzorky rozděleny na skupinu vytvrzovanou 2 minuty a skupinu vytvrzovanou 4 minuty. Déle vytvrzované termoplastové vzorky měly na povrchu kráterky. Z tohoto důvodu byla doba 2 minuty brána jako referenční doba vytvrzování pro termoplastový povlak.

Porovnáním mechanických vlastností povlaků bylo zjištěno, že termoplastový povlak byl přibližně dvakrát tlustší a měl menší drsnost než termosetový povlak. Mřížková zkouška i zkouška křížovým řezem ukázaly dobrou adhezi mezi povlakem a povrchem na všech vzorcích.

Bibliografie

- [1] V. KOLESKE, Joseph. *Paint and Coating Testing Manual*. 15. ASTM International, 2012, s. 957-961. Dostupné z: https://app.knovel.com/web/view/khtml/show.v/rcid:kpPCTMFEG1/cid:kt00B7Y8N2/viewerType:khtml//root_slug:paint-coating-testing/url_slug:paint-coat-powder-coating?kpromoter=Summon&page=1&view=collapsed&zoom=1. [cit. 2022-10-31].
- [2] KUCHAR, Jiří a KREIBICH, Viktor. Příčiny defektů a vad povlaků z práškových plastů. online. *Povrcháři*. roč. 2020, č. 1, s. 15-17. Dostupné z: http://www.povrchari.cz/kestazeni/202001__povrchari.pdf. [cit. 2024-01-15].
- [3] REN, Yilong; CHEN, Hao; XU, Wenhui; GUO, Dan a LUO, Jianbin. A review on tribology of polymer composite coatings. online. In: *Friction*. 2021. Tsinghua University Press & Springer, 2021, pages429–470. ISBN 2223-7704. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40544-020-0446-4>. [cit. 2022-10-31].
- [4] UTECH, Bob. *A Guide to High-Performance Powder Coating*. 1. vydání. Dearborn, Michigan: Society of Manufacturing Engineers, 2002. ISBN 0-87263-547-3.
- [5] KREIBICH, Viktor. Povlaky z práškových plastů bezchybně. online. *MM Průmyslové spektrum*. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/povlaky-z-praskovych-plastu-bezchybne>. [cit. 2022-10-31].
- [6] *Kurzy.cz, spol s.r.o.* online. ISSN 1801-8683, 2023. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/komodity/cena-elektriny-graf-vyvoje-ceny/>. [cit. 2023-03-05].
- [7] STRATIL, Jaroslav. *Povrchové úpravy ve strojírenství: Kurz*. 1. vydání. Praha, Centrum pro povrchové úpravy a centrum technologických informací a vzdělávání FS ČVUT v Praze, 2016.

- [8] JEŽEK, Josef. Efektivita stříkání práškových barev. online. *MM průmyslové spektrum*. 2012, roč. 2012, č. 4, s. 1-4. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/efektivita-strikani-praskovych-barev>. [cit. 2023-01-22].
- [9] JINBAO, Huang; YANG, Marshall; XIAN, Chengquian; NOËL, James; HEDBERG, Yolanda et al. Synergistic Effect of Nanoclay and Barium Sulfate Fillers on the Corrosion Resistance of Polyester Powder Coatings. online. *MDPI*. roč. 2023, s. 13101680. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/coatings13101680>. [cit. 2023-12-26].
- [10] MAZUREK, Pavel. Práškové barvy a jejich odlupování. online. *MM průmyslové spektrum*. 2005, roč. 2005, č. 9, s. 1-4. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/praskove-barvy-a-jejich-odlupovani>. [cit. 2023-01-22].
- [11] *Fakulta Chemicko-Technologická: Předúprava povrchu*. online. In: Univerzita Pardubice. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2023. Dostupné z: <https://fcht.upce.cz/sites/default/files/public/luva3059/mater-vstrojar-vyrobe.pdf>. [cit. 2023-02-24].
- [12] HANSEL, Dave. *Abrasive blasting systems, Metal Finishing*. online. Burlingame: Clemco Industries Corp., 1999. ISBN 0026-0576. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0026-0576\(99\)80758-2](https://doi.org/10.1016/S0026-0576(99)80758-2). [cit. 2024-01-15].
- [13] KREIBICH, Viktor. Optimalizace procesu mechanického čištění povrchu materiálu. online. *Povrcháři*. roč. 2021, č. 2, s. 18-26. ISSN 1802-9833. Dostupné z: http://www.povrchari.cz/kestazeni/202102__povrchari.pdf. [cit. 2023-03-04].
- [14] FLÍDR METAL S.R.O. *Kruhové omílací stroje*. online. 2024. Dostupné z: <https://flidr.cz/kruhove-omilaci-stroje/evp-ra>. [cit. 2024-01-09].
- [15] XIANGYONG, Zeng; MENG, Shaoxin; LIU, Jianben a CHEN, Naichao. Tribological and Grinding Properties of Spherical Diamond Grown on a Rough Discontinuous Surface. online. *MDPI*. roč. 2023, s. 13101735.

Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/coatings13101735>.
[cit. 2023-12-26].

- [16] VÁŇA, Pavel. Moření v kyselině solné. online. *Povrcháři*. roč. 2020, č. 5, s. 2-10. ISSN 1802-9833. Dostupné z: http://www.povrchari.cz/kestazeni/202005__povrchari.pdf. [cit. 2023-03-04].
- [17] ARTHUR, Valbon; XAVIER, Neubi a CARLOS, Mariano. The Corrosion Inhibition Performance of Eco-Friendly bis-Schiff Bases on Carbon Steel in a Hydrochloric Solution. online. *MDPI*. roč. 2023. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/surfaces6040034>. [cit. 2023-12-26].
- [18] ZHANG, Lijie; HE, Bing; WANG, Shengnan a YUAN, Xiaoming. Ecofriendly Ultrasonic Rust Removal: An Empirical Optimization Based on Response Surface Methodology. online. *MDPI*. roč. 2021, s. 1191127. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/coatings11091127>. [cit. 2023-12-26].
- [19] YANG, Shuai; HUANG, Jinbao; CHEN, Jian; BARKER, Ivan; NOËL, James et al. A Comparative Study on the Anti-Corrosive Performance of Zinc Phosphate in Powder Coatings. online. *MDPI*. 2022, s. 122217. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/coatings12020217>. [cit. 2023-12-26].
- [20] SZELAG, Petr a CHOCHOLOUŠEK, Jaroslav. Železnaté fosfátování. online. *MM průmyslové spektrum*. roč. 2008. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/zeleznate-fosfatovani>. [cit. 2023-12-31].
- [21] SHUZHEN, Zhang; JIN, Jiongde; WU, Shijie; JIA, Lun a MA, Xujie. Paint Film Formation Characteristics on Conical Surfaces for Electrostatic Air Spray Painting. online. *MDPI*. roč. 2023, s. 13101808. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/coatings13101808>. [cit. 2023-12-26].
- [22] KREIBICH, Viktor. *POVLAKY Z PRÁŠKOVÝCH PLASTŮ*. online. Dostupné z: <https://www.kreibichpovrchy.cz/>. [cit. 2023-02-27].

- [23] *Powder Coater's Manual*. online. The Powder Coating Institute. Document PCI 021909 Rev. 1. [cit. 2023-03-02].
- [24] MISIOWIEC, Krzysztof. *Práškové povlaky*. prezentace. FS ČVUT v Praze, 2021.
- [25] CZACHOR-JADACKA, Dominika a PILCH-PIERA, Barbara. Progress in development of UV curable powder coatings. online. *Progress in Organic Coatings*. 2021, roč. 2021, č. 158. ISSN 0300-9440. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2021.106355>. [cit. 2023-02-28].
- [26] TEHSEEN, Akhtar; REHMAN, Asif a GILANI, Syed. Impact of an Energy Monitoring System on the Energy Efficiency of an Automobile Factory: A Case Study. online. *MDPI*. roč. 2020, s. 13102577. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/en13102577>. [cit. 2023-12-26].
- [27] HOLEČEK, Václav. Vliv práškového nátěru na ekonomiku lakovny. online. *Povrcháři*. roč. 2019, č. 8, s. 5-9. ISSN 1802 - 9833. Dostupné z: http://www.povrchari.cz/kestazeni/201908__povrchari.pdf. [cit. 2023-12-26].
- [28] KOHUT, VOJTĚCH. *VÝROBA STLAČENÉHO VZDUCHU: Energetické parametry kompresorů*. online. Technická 2896/2: VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ, ENERGETICKÝ ÚSTAV, 2010. Dostupné z: https://kke.zcu.cz/export/sites/kke/about/projekty/enazp/projekty/14__Strojirenska-technologie__35-37/35__IUT/070__Vyroba-stlaceneho-vzduchu---Kohut---P1.pdf. [cit. 2023-02-27].
- [29] JENÍK, Filip. Efektivní výroba kvalitního stlačeného vzduchu pro technologie povrchových úprav. online. *Povrcháři*. roč. 2022, č. 7, s. 13. ISSN 1802-9833. Dostupné z: http://www.povrchari.cz/kestazeni/202207__povrchari.pdf. [cit. 2023-12-26].
- [30] JÖRG, Andres a ČERNÝ, Vít. Správná energie ve správný okamžik. online. *Povrcháři*. 2022, roč. 2022, č. 7, s. 10-11. ISSN 1802 - 9833. Dostupné z:

http://www.povrchari.cz/kestazeni/202207__povrchari.pdf. [cit. 2023-12-26].

- [31] ZHENJUN, Ma; BILAL AWAN, Muhammad; LU, Menglong; LI, Shengteng; AZIZ, Muhammad et al. An Overview of Emerging and Sustainable Technologies for Increased Energy Efficiency and Carbon Emission Mitigation in Buildings. online. roč. 2023, s. 13102658. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/buildings13102658>. [cit. 2023-12-26].
- [32] SEDLÁČEK, Alexander. Nové tryskáčské zařízení s metacím kolem ve vybavení Ústavu strojírenské technologie, Fakulty strojní, ČVUT v Praze. online. *Povrcháři*. roč. 2021, č. 2, s. 8-11. ISSN SSN 1802 - 9833. Dostupné z: http://www.povrchari.cz/kestazeni/202102__povrchari.pdf. [cit. 2023-12-21].
- [33] ČSN EN ISO 21920-2. *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Struktura povrchu: Profil - Část 2: Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. 06/2023. Evropský výbor pro normalizaci.
- [34] ČSN EN ISO 2808. *Nátěrové hmoty - Stanovení tloušťky nátěru*. 05/2020. Evropský výbor pro normalizaci.
- [35] ČSN EN ISO 2409. *Nátěrové hmoty - Mřížková zkouška*. 05/2021. Evropský výbor pro normalizaci.
- [36] ČSN EN ISO 16276-2. *Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy - Hodnocení a kritéria přijetí, adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku - Část 2: Mřížková zkouška a křížový řez*. 01/2008. Evropský výbor pro normalizaci.
- [37] ČSN EN ISO 4624. *Nátěrové hmoty - Odtrhová zkouška přilnavosti*. 12/2016. Evropský výbor pro normalizaci.

Seznam tabulek

Tabulka 1: Drsnost vzorků před tryskáním	41
Tabulka 2: Drsnost vzorků po tryskání	42
Tabulka 3: Drsnost termoplastového povlaku	43
Tabulka 4: Drsnost termosetového povlaku vytvrzovaného 2 minuty	43
Tabulka 5: Drsnost termosetového povlaku vytvrzovaného 4 minuty	44
Tabulka 6: Tloušťka termosetového povlaku	46
Tabulka 7: Tloušťka termosetového povlaku	47
Tabulka 8: Tloušťka termoplastového povlaku vytvrzovaného 2 minuty	47
Tabulka 9: Tloušťka termoplastového povlaku vytvrzovaného 4 minuty	48
Tabulka 10: Klasifikace mřížkové zkoušky na termosetovém povlaku	49
Tabulka 11: Klasifikace mřížkové zkoušky na termoseovém povlaku	49
Tabulka 12: Klasifikace mřížkové zkoušky na termoplastovém povlaku vytvrzovaném 2 minuty	50
Tabulka 13: Klasifikace mřížkové zkoušky na termoplastovém povlaku vytvrzovaném 4 minuty	50
Tabulka 14: Hodnocení zkoušky křížovým řezem dle ČSN EN ISO 16276-2 [36]..	51
Tabulka 15: Klasifikace křížového řezu na termosetovém povlaku	52
Tabulka 16: Klasifikace křížového řezu na termosetovém povlaku	52
Tabulka 17: Klasifikace křížového řezu na termoplastovém povlaku vytvrzovaného 2 minuty	52
Tabulka 18: Klasifikace křížového řezu na termoplastovém povlaku vytvrzovaného 4 minuty	52
Tabulka 19: Síla odtrhu termosetového povlaku	55
Tabulka 20: Síla odtrhu termosetového povlaku	55
Tabulka 21: Síla odtrhu termoplastového povlaku vytvrzovaného 2 minuty	55
Tabulka 22: Síla odtrhu termoplastového povlaku vytvrzovaného 4 minuty	56
Tabulka 23: Typ odtrhu termosetového povlaku	57
Tabulka 24: Typ odtrhu termosetového povlaku	57
Tabulka 25: Typ odtrhu termoplastového povlaku vytvrzovaného 2 minuty	58
Tabulka 26: Typ odtrhu termoplastového povlaku vytvrzovaného 4 minuty	58

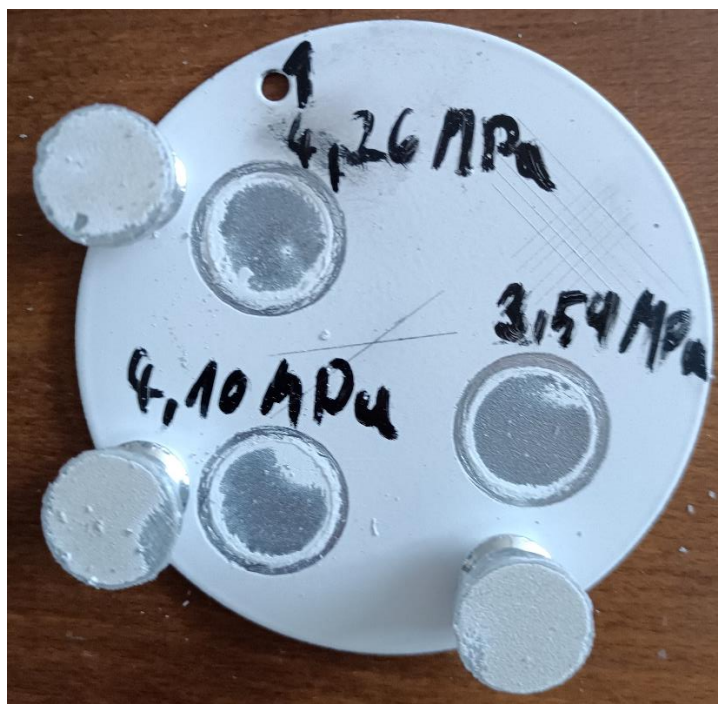
Seznam obrázků

Obrázek 1: Kruhový omílací stroj EVP RA [14].....	19
Obrázek 2: Vývoj ceny elektřiny od roku 2021 [6]	29
Obrázek 3: Otryskaný vzorek [foto autora práce].....	34
Obrázek 4: Tryskací stroj RT 1D1000/HK [foto autora práce].....	35
Obrázek 5: Odmašťovací prostředek [foto autora práce]	36
Obrázek 6: Nanášecí kabina [foto autora práce].....	37
Obrázek 7: Elektrická komorová pec Heratherm OMH400 [foto autora práce]	38
Obrázek 8: Vytvrzený termoplastový povlak [foto autora práce]	38
Obrázek 9: Vytvrzený termosetový povlak [foto autora práce]	39
Obrázek 10: Graf popisující čas a teplotu potřebnou pro vytvrzení povlaků	40
Obrázek 11: Měřicí hlavice [foto autora práce].....	44
Obrázek 12: Měřicí přístroj Mitutoyo SJ-301 [foto autora práce].....	45
Obrázek 13: Průběh měření tloušťky povlaku [foto autora práce].....	46
Obrázek 14: Průběh mřížkové zkoušky [foto autora práce]	49
Obrázek 15: Průběh zkoušky křížovým řezem [foto autora práce]	51
Obrázek 16: Odtrhoměr ELCOMETER 510 [foto autora práce].....	53
Obrázek 17: Vzorky s termosetovým povlakem po provedení zkoušky odtrhem [foto autora práce].....	53
Obrázek 18: Vzorky s termoplastovým povlakem po provedení zkoušky odtrhem [foto autora práce].....	54
Obrázek 19: Graf průměrné síly odtrhu každého vzorku	56

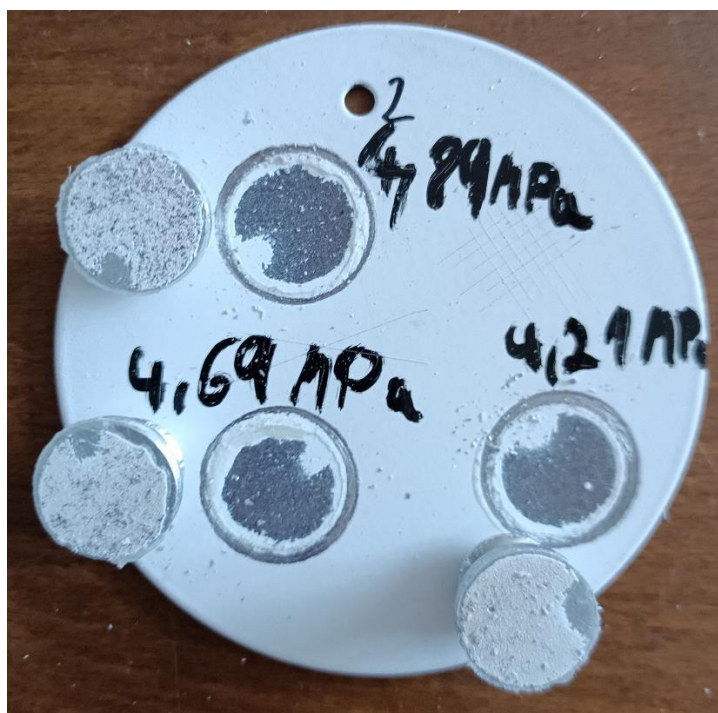
Seznam příloh

Příloha 1: Vzorek 1 po provedení odtrhové zkoušky	72
Příloha 2: Vzorek 2 po provedení odtrhové zkoušky	72
Příloha 3: Vzorek 3 po provedení odtrhové zkoušky	73
Příloha 4: Vzorek 4 po provedení odtrhové zkoušky	73
Příloha 5: Vzorek 5 po provedení odtrhové zkoušky	74
Příloha 6: Vzorek 6 po provedení odtrhové zkoušky	74
Příloha 7: Vzorek 7 po provedení odtrhové zkoušky	75
Příloha 8: Vzorek 8 po provedení odtrhové zkoušky	75
Příloha 9: Vzorek 9 po provedení odtrhové zkoušky	76
Příloha 10: Vzorek 10 po provedení odtrhové zkoušky	76
Příloha 11: Vzorek 11 po provedení odtrhové zkoušky	77
Příloha 12: Vzorek 12 po provedení odtrhové zkoušky	77
Příloha 13: Vzorek 13 po provedení odtrhové zkoušky	78
Příloha 14: Vzorek 14 po provedení odtrhové zkoušky	78
Příloha 15: Vzorek 15 po provedení odtrhové zkoušky	79
Příloha 16: Vzorek 16 po provedení odtrhové zkoušky	79
Příloha 17: Vzorek 17 po provedení odtrhové zkoušky	80
Příloha 18: Vzorek 18 po provedení odtrhové zkoušky	80
Příloha 19: Vzorek 19 po provedení odtrhové zkoušky	81
Příloha 20: Vzorek 20 po provedení odtrhové zkoušky	81
Příloha 21: Kráterky na vzorku 18 vytvrzovaného 4 minuty.....	82
Příloha 22: Technické specifikace pece OMH400.....	82
Příloha 23: Technické specifikace tloušťkoměru Elcometer 456 IPC.....	83
Příloha 24: Technické specifikace odtrhoměru Elcometer 510.....	84
Příloha 25: Technické specifikace povlaku CPC 20.....	86
Příloha 26: Technické specifikace povlaku PPA 571	88

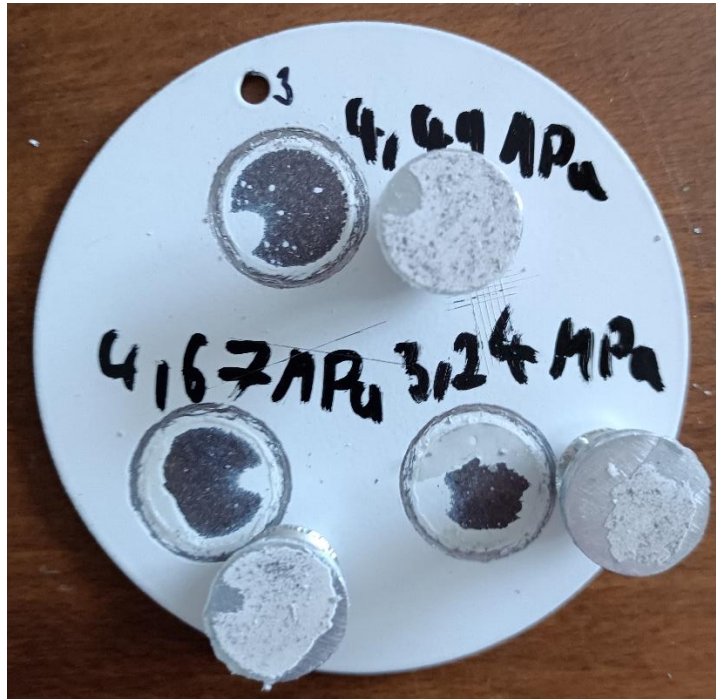
Přílohy



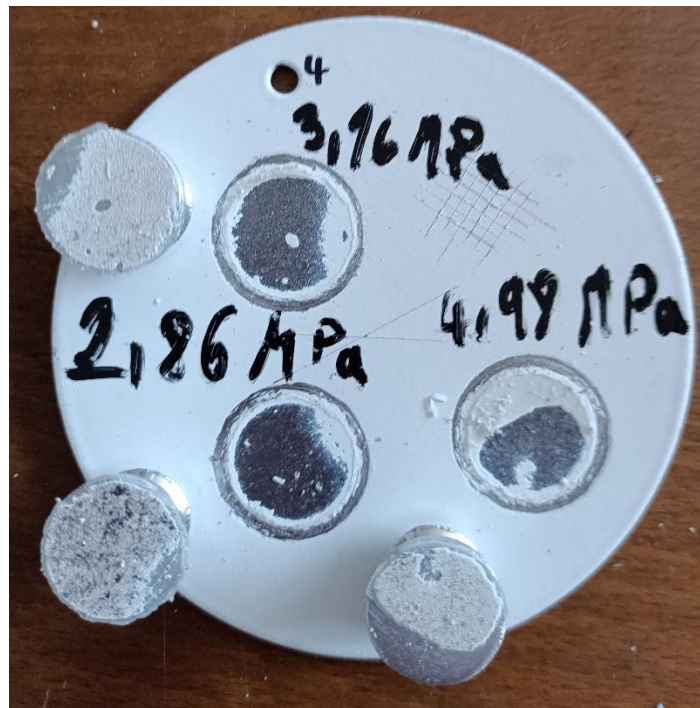
Příloha 1: Vzorek 1 po provedení odtrhové zkoušky



Příloha 2: Vzorek 2 po provedení odtrhové zkoušky



Příloha 3: Vzorek 3 po provedení odtrhové zkoušky



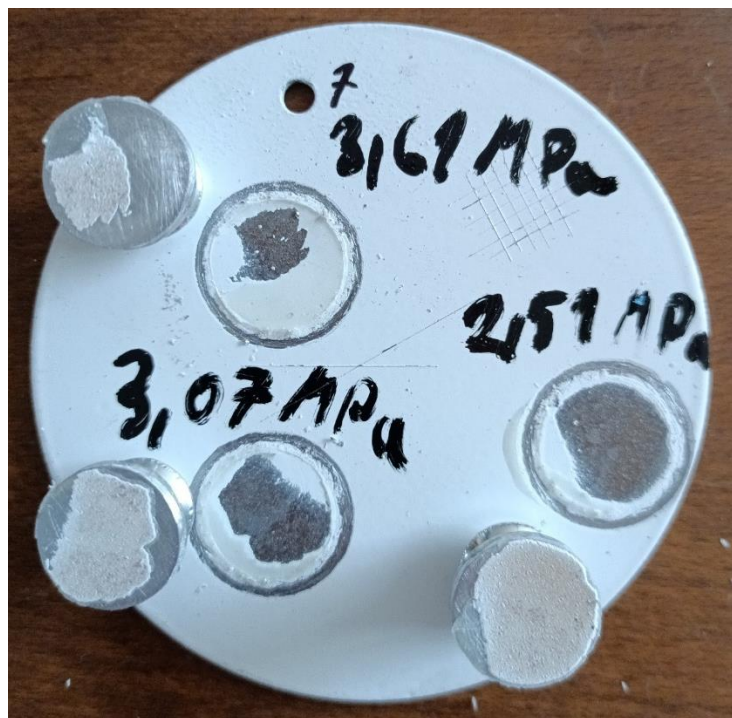
Příloha 4: Vzorek 4 po provedení odtrhové zkoušky



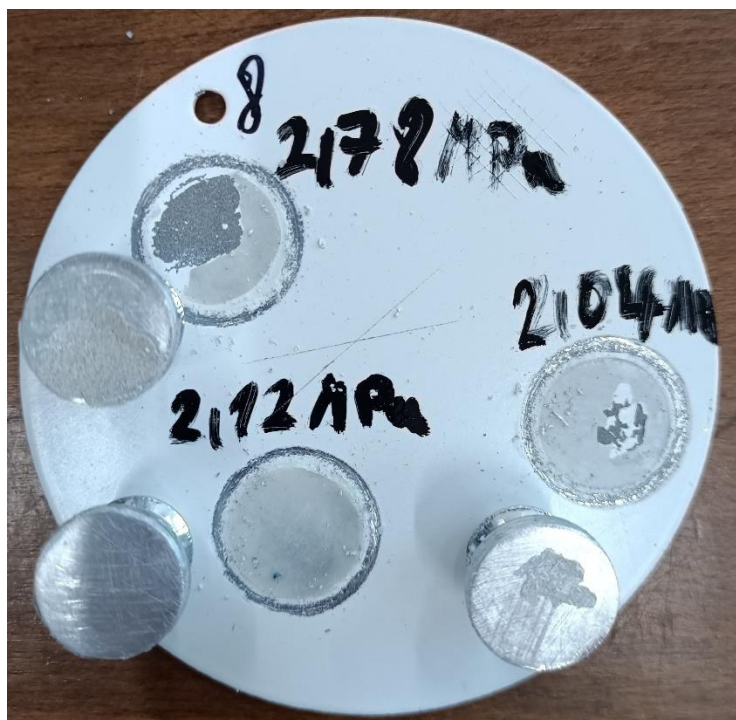
Příloha 5: Vzorek 5 po provedení odtrhové zkoušky



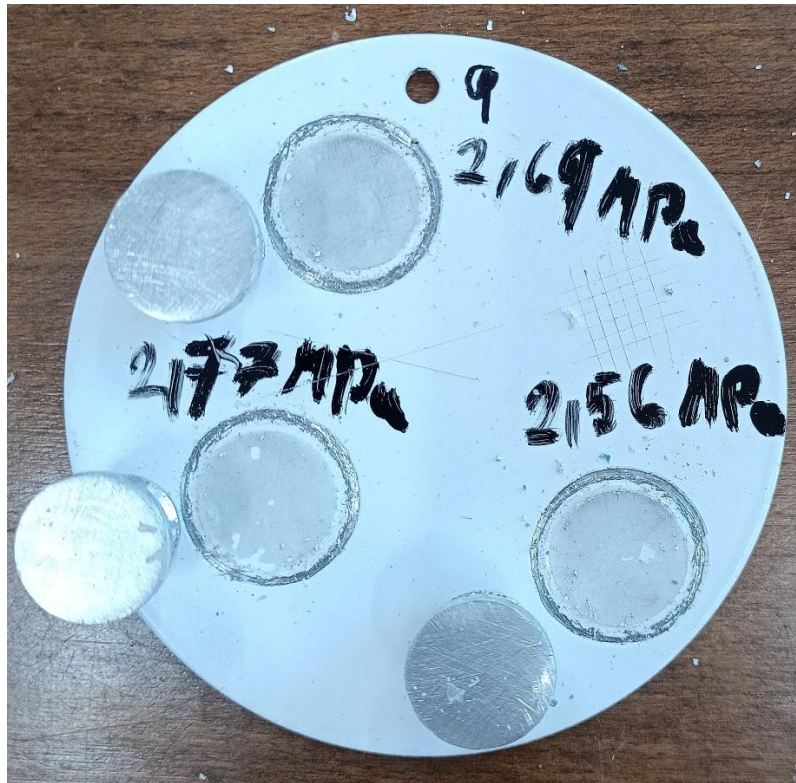
Příloha 6: Vzorek 6 po provedení odtrhové zkoušky



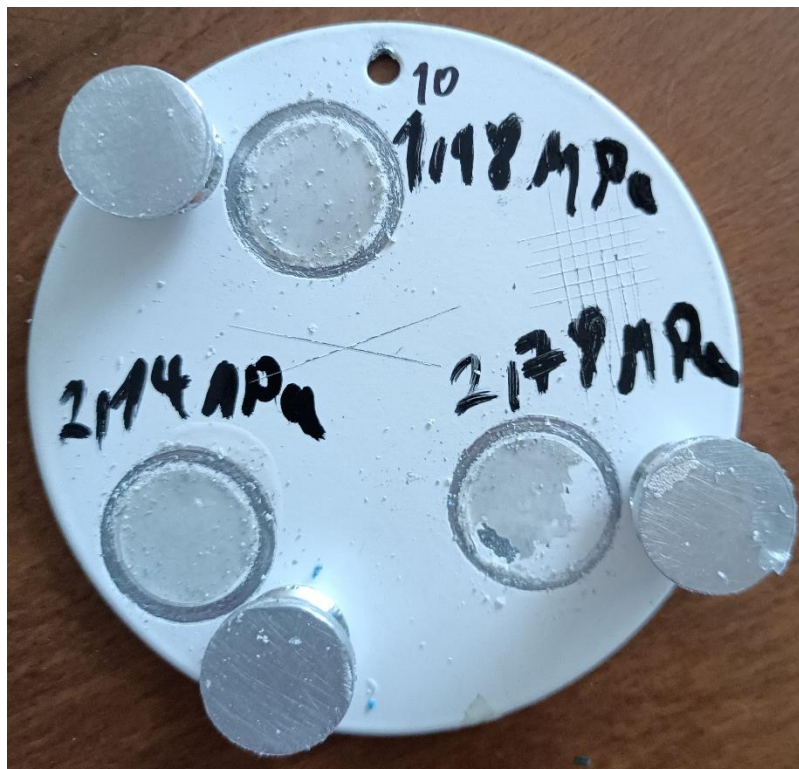
Příloha 7: Vzorek 7 po provedení odtrhové zkoušky



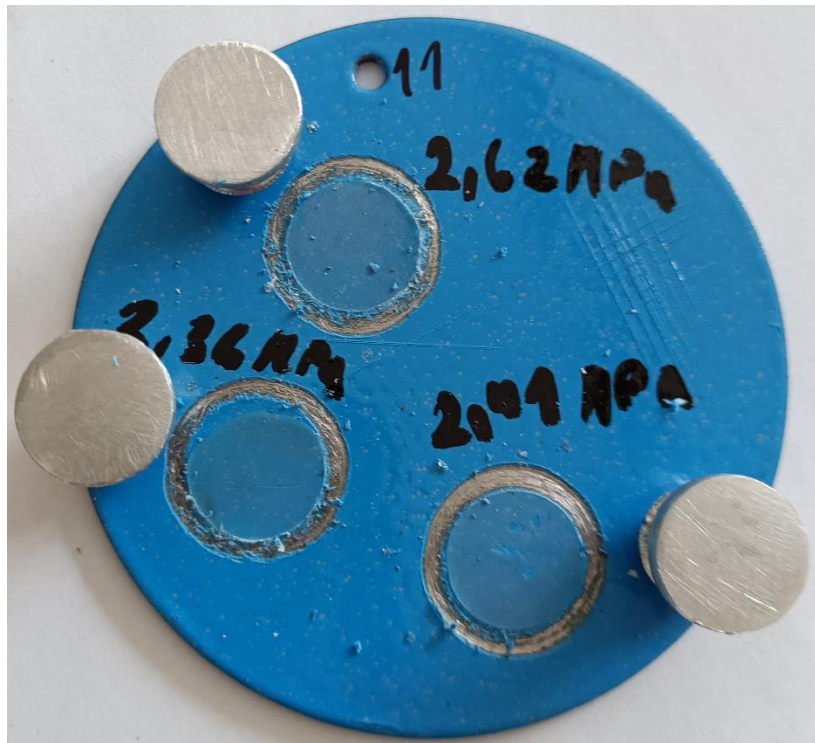
Příloha 8: Vzorek 8 po provedení odtrhové zkoušky



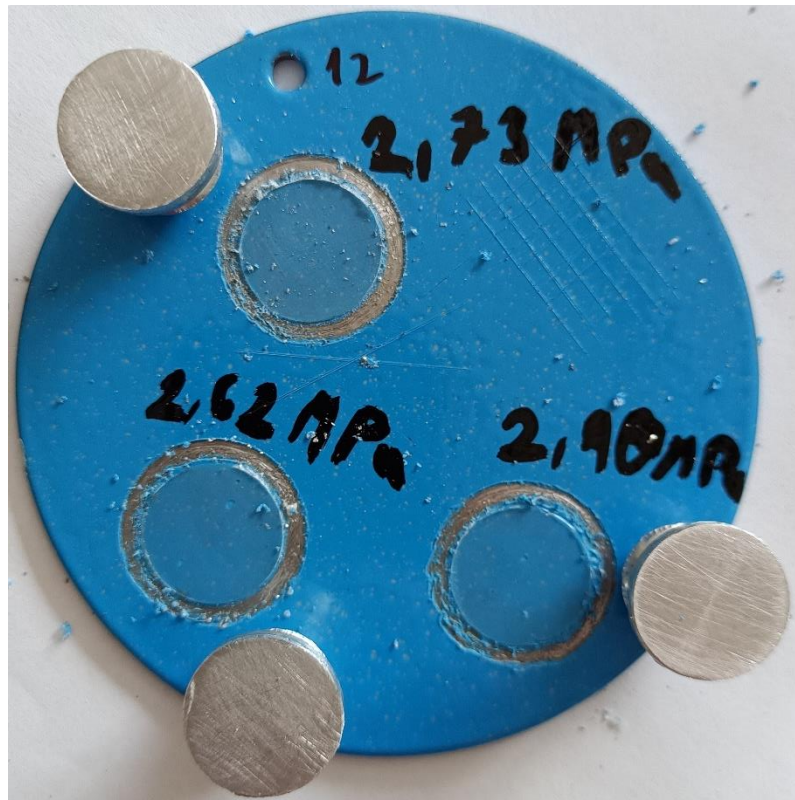
Příloha 9: Vzorek 9 po provedení odtrhové zkoušky



Příloha 10: Vzorek 10 po provedení odtrhové zkoušky



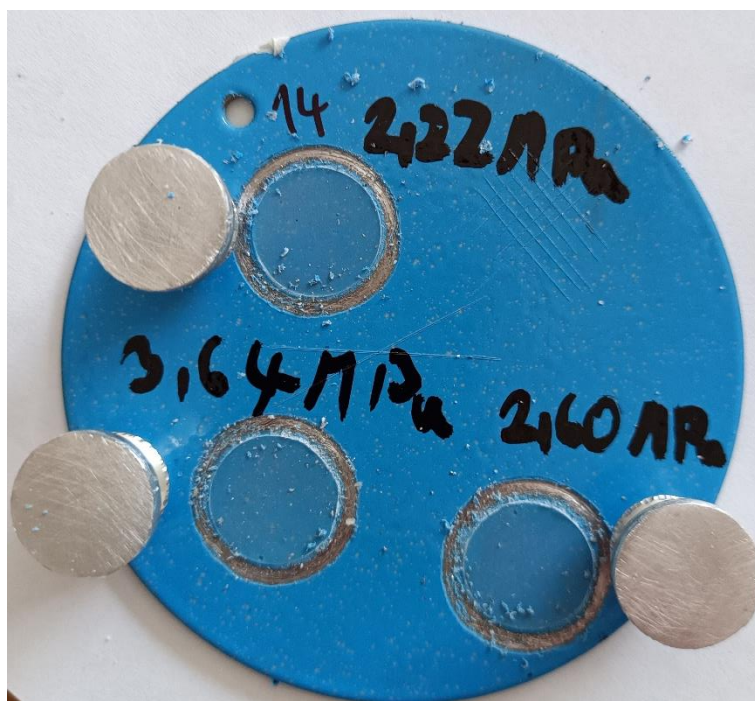
Příloha 11: Vzorek 11 po provedení odtrhové zkoušky



Příloha 12: Vzorek 12 po provedení odtrhové zkoušky



Příloha 13: Vzorek 13 po provedení odtrhové zkoušky



Příloha 14: Vzorek 14 po provedení odtrhové zkoušky



Příloha 15: Vzorek 15 po provedení odtrhové zkoušky



Příloha 16: Vzorek 16 po provedení odtrhové zkoušky



Příloha 17: Vzorek 17 po provedení odtrhové zkoušky



Příloha 18: Vzorek 18 po provedení odtrhové zkoušky



Příloha 19: Vzorek 19 po provedení odtrhové zkoušky



Příloha 20: Vzorek 20 po provedení odtrhové zkoušky



Příloha 21: Kráterky na vzorku 18 vytvrzovaného 4 minuty

Specifications table/order numbers Large Capacity Advanced Protocol Ovens

Order numbers (coated exterior / stainless steel exterior)	51029329 / 51029330	51029343 / 51029344
Model (coated exterior / stainless steel exterior)	OMH400 / OMH400-SS	OMH750 / OMH750-SS
Convection technology	Mechanical convection	Mechanical convection
Temperature range (°C)	+50 °C ¹ - 250 °C	+50 °C ¹ - 250 °C
Spatial temperature deviation at 150 °C	±2.1 °C	±3.1 °C
Temperature deviation over time at 150 °C	±0.3 °C	±0.4 °C
Footprint (m ² / sqft)	0.56 / 6.0	0.91 / 9.8
Chamber volume (L / cuft)	396 / 14	731 / 25.8
Interior Dimensions (mm / in (W x H x D))	544 x 1335 x 545 / 21.4 x 52.6 x 21.5	1004 x 1335 x 545 / 39.5 x 52.5 x 21.5
Exterior ² Dimensions (mm / in (W x H x D))	778 x 1653 x 770 / 30.6 x 66 x 30.3	1261 x 1653 x 770 / 49.6 x 66 x 30.3
Number of shelves (standard / max)	2 / 39	2 / 39
Max. shelf load (kg / lb)	40 / 88	40 / 88
Rated voltage / frequency (V / Hz)	208-240 / 60	208-240 / 60
Rated power / max. current (W / A)	3240 / 13.5	3480 / 14.5
Weight (kg / lb)	135 / 298	185 / 408
Energy consumption at 150° C (W)	630	990

¹ Temperatures as low as ambient +10 °C can be selected – requires open damper and no additional heat in unit² W ith low voltage and open damper max temperature is 235 °C¹ Depth does not include handle/display (65mm / 2.6 in.) and distance spacer at rear (106mm / 4.2 in.); height includes the casters (108mm / 4.3 in.) NOTE: All figures in all tables are typical average values for series devices, based on factory standard following norm Din12880. Please contact us for certification information or IQ/OQ documents.

Příloha 22: Technické specifikace pece OMH400

Digitální tloušťkoměr Elcometer 456 IPC* je předem zkalibrován pro měření tloušťky suché vrstvy na otryskaných ocelových podkladech.

Jednoduché ovládání pomocí menu v několika jazycích

Zobrazuje 3 poslední měření a průměr v μm nebo mils

Zabudovaná sonda pro stabilní, opakovatelná měření na rovném i zakřiveném povrchu



Předem zkalibrován pro 4 profily:

Profil	Metr.	Imper.
Hladký	0-25 μm	0-1 mil
Jemný	25-60 μm	1-2 mils
Střední	60-100 μm	2-3 mils
Drsný	>100 μm	3-4 mils

Kapacita paměti až 150 000 měření uložených v alfanumerických souborech

Přenos dat přes USB nebo Bluetooth® do aplikace ElcoMaster® App nebo vašeho vlastního softwaru



2 LETÁ
ZÁRUKA

* USA patent US6243 661.

Gamin s.r.o.
Heřmanická 45
710 00 Ostrava

tel: +420 596 115 008
gamin@gamin.cz
www.gamin.cz

IČ: 49608045
DIČ: CZ49608045

Společnost je vedená u rejstřík. soudu v Ostravě pod spis. značkou C 11228

Příloha 23: Technické specifikace tloušťkoměru Elcometer 456 IPC

Automatický odtrhoměr

Automatický odtrhoměr Elcometer 510 přesně změní přilnavost nátěrové hmoty k povrchu.

Automatická hydraulická pumpa vyvíjí přesný a stálý tlak, a zajišťuje tak konzistentní, opakovatelné výsledky.

Díky volně nastavitelné tahové síle (0,1 – 1,4 MPa/s = 15 – 203 psi) je přístroj v souladu s mezinárodními i místními normami.

Možnost nastavení limitů uživatelem s jedinečnou funkcí podržení a uvolnění tlaku.

NOVĚ



V souladu s následujícími normami: ASTM C 1583, ASTM D 4541, ASTM D 7234-12, AS/NZS 1580.408.5, BS 1881-207, DIN 1048-2, EN 1015-12, EN 12636, EN 13144, EN 1348, EN 1542, EN 24624, ISO 16276-1, ISO 4624, NF T30-606, NF T30-062.



Možnost nastavení rozsahu měření uživatelem s přesností $\pm 1\%$

Možnost výběru panenky o průměru 10, 14,2, 20 nebo 50 mm.

10mm panenky: 100 MPa/14400 psi
14,2mm panenky: 50 MPa/7200 psi
20mm panenky: 25 MPa/3600 psi
50mm panenky: 4 MPa/580 psi

Intuitivní a uživatelsky příjemné menu v několika jazycích.



Disponuje silným povrchem odolným proti vodě. Stupeň krytí se rovná IP64. Přístroj je snadno přenosný.



Do paměti přístroje lze uložit až 60 000 výsledků měření pod 2 500 různými alfanumerickými pojmenovanými soubory, včetně informací o druhu

kompatibilní s  supplied with ElcoMaster™ 2.0 data management software see page 7

kompatibilní s  compatible with ElcoMaster™ mobile app see page 7

k dispozici s  available with Bluetooth™ wireless technology see page 7

 Vhodný pro Cloud

Android™

Made for iPod iPhone iPad

Gamin s.r.o.
Heřmanická 45
710 00 Ostrava

tel: +420 596 115 008
gamin@gamin.cz
www.gamin.cz

IČ: 49608045
DIČ: CZ49608045

Společnost je vedena u rejstřík. soudu v Ostravě pod spis. značkou C 11228

Příloha 24: Technické specifikace odtrhoměru Elcometer 510



CPC 20

ANTIBACTERIAL POWDER COATINGS

- good weathering resistance
- good mechanical properties
- antibacterial properties

DESCRIPTION

CPC 20 Antibacterial are powder coatings based on polyester resin cured with HAA (Primid). they offer very good application and performance characteristics. The powder is specially developed for exterior applications with combination of good weathering resistance, mechanical and levelling properties. Additionally, due to special ingredients, it prevents growth of bacteria and fungus.

Applications:

- for outdoor surfaces where we want to prevent growth of bacteria and fungus

SPECIFICATION

Shade:	principally RAL and NCS shades; also special colours are available by arrangement
Surface Appearance:	smooth, rough structure, fine structure
Gloss:	glossy (≥ 80%), semi-glossy (50-70%), matt (20-30%) ∠ 60°
Density:	1400 – 1700 kg/m ³ , depending on colour shade
Coating equipment:	electrostatic, tribo
Spreading Rate:	cca. 7 m ² /kg at 80 μm film thickness
Shelf Time:	24 months
Packaging:	cardboard box – 20 kg and 2 kg
Storage Conditions:	In originally closed boxes in dry place at temperature 5-25°C

ANTIBACTERIAL POWDER COATINGS

TEST RESULTS

*0,8 mm steel panel
**0,7 mm chromated Aluminum

Physical Properties:*	Glossy	Semi glossy	Matt
Cure parameters (object conditions)	10 min / 180°C	10 min / 180°C	20 min / 180°C
Film thickness in μm (ISO 2808)	60-70	60-70	60-80
Gloss, units $\angle 60^\circ$ (ASTM 523, ISO 2813)	≥ 80	50-70	20-30
Adhesion (ISO 2409)	0	0	0
Bend Test (ISO 1519)	≥ 3 mm	≥ 4 mm	≥ 4 mm
Elasticity - Cupping Test (DIN ISO 1520)	≥ 7 mm	≥ 6 mm	≥ 6 mm
Hardness (Bucholz) (ISO 2815)	≥ 91	≥ 91	≥ 91

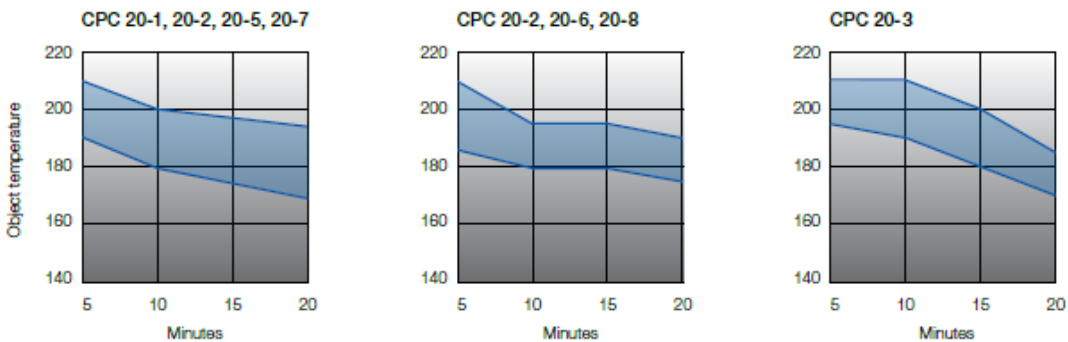
Chemical Properties:**

Salt spray 500 h (ISO 9227) –			
Delamination at cut:	max. 1 mm	max. 1 mm	max. 1 mm
Hum. cabinet 500 h (ISO 6270-2) –			
Delamination at cut:	max. 1 mm	max. 1 mm	max. 1 mm
Weather resistance – QUV test – gloss retention (UV 313 nm + condensation, 200 hours)	> 50 %	> 50 %	> 50 %

SURFACE PRETREATMENT

Aluminium:	yellow or green chromated pretreated
Zn-plated steel:	transparent chromate pretreated
Iron:	zinc phosphate or low-build Iron phosphate or high-build Iron phosphate

CURING



This technical data and suggestions for use in this technical data sheet are currently correct to the best of knowledge based on laboratory work and practical experience but are subject to change without notice. Because application and conditions vary, and are beyond our control, we are not responsible for results obtained in using this product, even when used as suggested. The user should conduct tests to determine the suitability of the product for the intended use. Any liability we may have (including liability for breach of warranty, strict liability in tort, negligence or otherwise) is limited exclusively to replacement of the product or refund of its price. Under no circumstance are we liable for incidental and consequential damages. The quality system conforms to ISO 9001.

390143

Helios TBLUS d.o.o., Količeva 65, 1230 Domžale, Slovenia, www.color-powdercoatings.com, www.helios-group.eu
Member of HELIOS. Part of KANSAI PAINT.



Příloha 25: Technické specifikace povlaku CPC 20



Plascoat® PPA 571

Performance Polymer Alloy Coating

11/2018

General description

Plascoat PPA 571 has been specifically designed to provide a long lasting, tough coating for exterior applications to mild steel, galvanised steel and aluminium. It is resistant to stress cracking, adverse weather conditions, detergents, salt spray and typical airborne pollutants.

Plascoat PPA 571 maintains excellent adhesion to the metal substrate without the need for a separate primer. The material also provides a good degree of electrical insulation, abrasion and impact resistance. Plascoat PPA 571 is based on an alloy of acid modified polyolefins and is Halogen free. The combustion fumes are low in smoke and have a low toxicity index.

Plascoat PPA 571 is normally applied by the Fluidised Bed process, but it can also be applied by Flock Spray.

Typical uses

Fence posts, fencing panels, sign posts, street furniture, balustrading, stadium seating, pipes, fittings, valves & accessories, including those for potable water, cable trays and ducting, garden furniture, gutter brackets and wirework.

Typical properties of the powder

Coverage (100% efficiency)	3 m ² /kg at 350 microns
Particle Size	95% less than 250 microns
Bulk Density (at rest)*	0.40 g/cm ³
Fluidising Characteristics	Excellent
Packaging	20 kg cardboard boxes

*These values may vary from colour to colour

Handling and storage

Stored in a clean dry area at 10-25°C and out of sunlight, the material should not deteriorate. However, in the interest of good housekeeping, old stocks should be used first.

Common to all coating powders, there may be the likelihood of agglomerate formation during transportation and storage. The coating powder can be sieved to break up the agglomerates and therefore return the powder to its original condition; this does not affect the quality of the powder. The accumulation of powder particles is a physical phenomenon and may occur as a result of compaction or when cold powder, below 10°C, is brought into direct contact with warm humid air. In this latter situation the powder, still sealed, should be given time to warm up to the ambient temperature before use.

For Europe:
Plascoat Europe BV
The Netherlands
+31 (0) 18 145 8888
plascoat-salesnl@axalta.com

For UK and Overseas:
Plascoat Systems Ltd
United Kingdom
+44 (0) 1252 733777
plascoat-salesuk@axalta.com

For US:
Plascoat Corp.
United States of America
+1 (844) 752-7262
plascoat-salesus@axalta.com

AXALTA COATING SYSTEMS

www.plascoat.com

Technical Data Sheet



Typical properties of the material

Specific Gravity*		0.93-0.96 g/cm ³
Tensile Strength	ISO 527	14 MPa
Elongation at Break	ISO 527	800%
Brittleness Temperature	ASTM D-746	-78°C
Hardness	Shore A	95
	Shore D	44
Vicat Softening Point	ISO 306	70°C
Melting Point		105 °C
Tear Strength	ASTM D1938	22 N.mm
Environmental Stress Cracking	ASTM D1693	Greater than 1000 hrs
Toxicity Index	NES 713	1.8
Flammability	UL94 3.2mm moulding	Unrated (See also Properties of Coating)
Dielectric Strength	IEC 243 VDE 0303	47.8 kV/mm at 370 microns
Volume Resistivity	IEC 93	3 x 10 ¹⁷ Ohm.cm
Surface Resistivity	IEC 93	8 x 10 ¹⁷ Ohm at 350 microns
Water Absorption	ASTM D570-81	<0.03%

*These values may vary from colour to colour

Typical properties of the coating

The following data applies to a 350 microns coating applied under standard conditions onto 3mm thick steel or aluminium. The pre-treatment consisted of degreasing and grit blasting unless otherwise stated.

Recommended Coating Thickness	300-750 microns	
Appearance	Smooth/Glossy	
Gloss	ISO 2813	70
Impact Strength	Gardner (drop weight) ISO 6272	
	Direct 23°C (0.7mm plate)	Greater than 27 Joules
	Reverse 0°C (0.7mm plate)	Greater than 27 Joules
	Reverse 0°C (3mm plate)	18.0 Joules
	Direct 23°C (3mm plate)	2.7 Joules
Abrasion	Taber ASTM D4060/84	
	H18, 500g load, 1000 cycles	60 mg weight loss
	CS17, 500g load, 1000 cycles	25 mg weight loss
Salt Spray	ISO 9227 and NF 41-002	Results after 1000 hours
	Steel - Scribed	Loss of adhesion less than 10mm from scribe.
	- Unscribed	Under film corrosion 1mm
		No blistering or corrosion after 10,000 hours
Chemical Resistance*	Aluminium - Scribed	No loss of adhesion
	- Unscribed	No loss of adhesion
	- Dilute Acids 60°C	Good
	- Dilute Alkali 60°C	Good
Adhesion	- Salts (except peroxides) 60°C	Good
	- Solvents 23°C	Poor
	PSL, TM 19	A-1
Weathering	QUV ASTM G53-77	2000 hrs - No significant change in colour or loss of gloss.
	Florida 45° facing South	3 years - No significant change in colour or loss of gloss.

For Europe:
Plascoat Europe BV
The Netherlands
+31 (0) 18 14 58888
plascoat-salesnl@axalta.com

For UK and Overseas:
Plascoat Systems Ltd
United Kingdom
+44 (0) 1252 733777
plascoat-salesuk@axalta.com

For US:
Plascoat Corp.
United States of America
+1 (844) 752-7262
plascoat-salesus@axalta.com

AXALTA COATING SYSTEMS

www.plascoat.com

Příloha 26: Technické specifikace povlaku PPA 571