



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

**INTERAKTIVNÍ TERMOCITLIVÉ NÁTĚROVÉ
SYSTÉMY PRO BEZPEČNOSTNÍ ÚČELY**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

AUTOR PRÁCE:

Bc. Jakub HELLER

VEDOUCÍ PRÁCE:

Ing. Jan KUDLÁČEK, Ph.D.

PRAHA 2018

Anotační list

Jméno autora:	Bc. Jakub Heller
Název BP:	Interaktivní termocitlivé nátěrové systémy pro bezpečnostní účely
Anglický název:	Interactive thermosensitive painting systems for safety purposes
Akademický rok:	2017/2018
Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Vedoucí DP:	Ing. Jan Kudláček, Ph.D.
Konzultant:	Ing. Zuzana Tatíčková, Ing. Michal Zoubek
Bibliografické údaje:	HELLER J. <i>Interaktivní termocitlivé nátěrové systémy pro bezpečnostní účely</i> . Praha: České vysoké učení technické v Praze. Fakulta strojní. 2018. 109 s. Vedoucí práce Ing. Jan Kudláček, Ph.D.
Klíčová slova:	Termochromické, Termocitlivé, Nátěr, Pigment, Interaktivní nátěrové systémy, Vývoj, Tepelně citlivý, Barva, Molekulární transformace, Interakce s prostředím, Povrchová úprava, Chemická reakce, Bezpečnost, Varování
Keywords:	Thermochromic, Thermosensitive, Coating, Pigment, Interactive painting systems, Development, Heat-sensitive, Paint, Molecular transformation, Interaction with the environment, News, Surface treatment, Chemical reaction, Safety, Warning

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Heller** Jméno: **Jakub** Osobní číslo: **409603**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní a materiálové inženýrství**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Interaktivní termocitlivé nátěrové hmoty pro bezpečnostní účely

Název diplomové práce anglicky:

Interactive thermosensitive painting systems for safety purposes

Pokyny pro vypracování:

1. Rozbor problematiky nátěrových hmot.
2. Návrh NH a zhodnocení jejich vlastností.
3. Vyhodnocení experimentální části práce.
4. Technicko-ekonomické zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

dle pokynů vedoucího

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Jan Kudláček, Ph.D., ústav strojírenské technologie FS


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

Datum zadání diplomové práce: **23.04.2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **10.08.2018**

Platnost zadání diplomové práce: **10.08.2018**


Ing. Jan Kudláček, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce


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


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

22. 5. 2018

Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Prohlášení

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

V Praze dne

.....

Bc. Jakub Heller

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Kudláčkovi, Ph.D. za cenné rady, odbornou pomoc a konzultace při řešení praktické části této práce. Dále bych rád poděkoval Mgr. Františku Matasovi ze společnosti VITON s.r.o. za vyhotovení vzorků pro praktickou část. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat konzultantům Ing. Zuzaně Tatíčkové a Ing. Michalu Zoubkovi za odbornou informovanost a pomoc při vyhodnocení experimentální části. Závěrem bych chtěl poděkovat mé rodině jak za stálou podporu při vypracování této práce, tak při celém studiu.

Tato práce byla vypracována s finanční podporou TA ČR v rámci projektu Centra kompetence CVPÚ (Centrum výzkumu povrchových úprav) – aktivita WP2 TE02000011V018.

Anotace

Cílem této diplomové práce byla formulace nátěrové hmoty s měnícím se odstínem umožňující vytvoření souvislého povlaku požadovaných specifických vlastností (mechanicky odolný povlak využitelný v prostorech nebo na součástech exponovaných teplotnímu zatěžování). Cílem experimentů bylo nalezení vhodného podílu jednotlivých složek nátěrové hmoty a dále stanovení vhodné technologie dispergace termocitlivého pigmentu pro dosažení optimálních funkčních a specifických vlastností nátěrové hmoty a povlaku (rozliv, aplikační vlastnosti, přilnavost atd.). V této části byly porovnávány metody dispergace zubovým míchadlem a míchadlem typu rotor – stator. Dále byly v rámci práce testované povlaky podrobeny celé řadě zkoušek pro stanovení jejich funkčních a ochranných vlastností. Jako základ byl použit pigment ze série pigmentů Apex TH, což je řada barevných termocitlivých pigmentů britského výrobce Capricorn Speciality Chemicals. Apex TH 50 jsou pigmenty práškového charakteru, které reagují v určitém rozmezí teplot (mezi teplotami 50 – 55°C), a v rámci teplotního působení se stávají téměř bezbarvé. Jakmile se teplota vrátí na teplotu okolí, pak se barva znovu vrátí do původního odstínu. Pro naše účely byl použit pigment červené barvy.

Annotation

The aim of this diploma thesis was the formulation of the coating system with a changing color shade to create a continuous coating of required specific properties (Mechanically resistant coating usable in the spaces or on the components subjected to thermal loading). The aim of the experiments was to find a suitable proportion of the individual components of the coating material and to determine the suitable technology of dispersion of the thermosensitive pigment to achieve optimal functional and specific properties of the paint and coating (expansion, application properties, adhesion, etc.). In this part, dispersion methods were compared with a toothed stirrer and a rotor-stator stirrer. In addition, the tested coatings were subjected to a whole set of tests to determine their functional and protective properties. As a basis, pigment from the Apex TH pigment series was used, which is a range of colorful thermosensitive pigments from the British manufacturer Capricorn Specialty Chemicals. Apex TH 50 are powdery pigments that react in a temperature range (between 50-55 °C) and become almost colorless under the temperature effect. When the temperature returns to ambient temperature, the color returns to the original shade. For our purposes, a red pigment was used.

Obsah

1. Úvod	9
2. Nátěrové hmoty	10
2.1 Systémy z nátěrových hmot	11
2.2 Složení běžných nátěrových hmot.....	12
2.2.1 Filmtvorné látky	12
2.2.2 Pigment	13
2.2.3 Těkavé složky – rozpouštědla	14
2.2.4 Plniva.....	14
2.2.5 Aditiva	15
2.3 Druhy nátěrových hmot	15
2.3.1 Dle základních vlastností.....	15
2.3.2 Dle účelu použití	16
2.3.3 Dle funkce v nátěrovém systému	16
2.3.4 Dle surovinové báze.....	16
2.4 Dělení nátěrů dle ČSN EN ISO 12944:2007.....	18
2.4.1 Všeobecné typy nátěrových hmot.....	18
2.4.2 Alkydové nátěrové hmoty.....	18
2.4.3 Epoxidové nátěrové hmoty.....	18
2.4.4 Chlorkaučukové nátěrové hmoty	19
2.4.5 Polyuretanové nátěrové hmoty.....	19
2.4.6 Vodou ředitelné nátěrové hmoty	20
3. Míchání	20
3.1 Disperzní soustavy	21
3.2 Dispergace	21
3.3 Míchadla	22
3.4 Míchadla rotačního typu	22
3.4.1 Pomaloběžná míchadla.....	24
3.4.2 Rychloběžná míchadla	24
3.4.3 Míchadla typu rotor – stator	25

3.4.4	Ultrazvukový homogenizátor.....	26
4.	Termocitlivé nátěrové hmoty	27
4.1	Podstata změny barevného odstínu.....	27
4.2	Látky používané jako termopigmenty	28
4.2.1	Kompozitní termochromní pigmenty	29
4.3	Barevný prostor CIE XYZ	30
4.3.1	Definice standardního pozorovatele	30
4.3.2	CIE L* a * b *	31
4.3.3	Barevná odchylka ΔE^*	32
5.	Použití termochromických nátěrových hmot v praxi	34
5.1	Termochromické povlaky nanášené plasmou pro kosmický průmysl	34
5.2	Použití TCH povlaku v čelistní náhradě ze silikonového elastomeru	36
5.3	Vývoj a testování termochromických nátěrů budov a městských staveb.....	37
6.	Experimentální část	39
6.1	Termocitlivý pigment.....	39
6.2	Návrh systémů.....	41
6.3	Prvotní formulace firmy Viton	42
6.3.1	Tepelně reaktivní nátěrová hmota IP02	42
6.3.2	Tepelně reaktivní nátěrová hmota IP03	43
6.3.3	Tepelně reaktivní nátěrová hmota IP 04	44
6.4	Příprava vzorků	47
6.5	Metody dispergace pigmentů do základní NH – podstata experimentu	48
6.5.1	Dispergace zubovým míchadlem	48
6.5.2	Dispergace míchadlem typu rotor – stator.....	49
6.6	Aplikace nátěrových hmot a vytvrzení povlaku	50
6.7	Výsledné systémy 1. série a 2.série	51
6.7.1	IP02	52
6.7.2	IP03	52
6.7.3	IP04	53
6.8	Zkoušky termocitlivých nátěrových hmot	54

6.8.1	Tloušťka nátěrové vrstvy	55
6.8.2	Cyklické zkoušky teplotního zatěžování.....	56
6.8.3	Zkouška změny odstínu metodou CIE L*a*b*	59
6.8.4	Odtrhová zkouška přilnavosti	61
6.8.5	Zkouška přilnavosti mřížkovým řezem	64
6.8.6	Zkouška ohybem na kónickém trnu.....	65
6.8.7	Zkouška hloubením – Cupping test.....	66
6.9	Zkoušky odolnosti vůči povětrnostním vlivům.....	67
6.9.1	Zrychlené zkoušky odolnosti vůči UV záření.....	67
6.9.2	Zkoušky odolnosti proti UV záření v přirozených podmínkách	69
6.9.3	Zrychlené korozní zkoušky v neutrální solné mlze	72
7.	Technicko - ekonomické zhodnocení	78
8.	Závěr	81
9.	Seznam použitých zdrojů	83
10.	Seznam obrázků	87
11.	Seznam tabulek	91
12.	Seznam grafů	92
13.	Seznam použitých zkratk	93
14.	Seznam použitých jednotek	94
15.	Přílohy	95
	Seznam příloh.....	95

1. Úvod

Interaktivní nátěrové hmoty představují v současné době vývojový trend plynoucí především z rozvoje nanotechnologií a nanomateriálů. Organické nátěrové hmoty jsou nejběžnější známý typ povlaků, k jejichž hojnému využívání přispívá především výborná dostupnost, jednoduchost aplikace a vysoký ochranný účinek. Funkcionalizace povrchu je známa již po několik staletí, a to vždy s cílem zlepšit konkrétní vlastnosti materiálu při interakci s okolním prostředím. V současné době umožňuje vývoj v oblasti povlakového inženýrství, nanotechnologie a nanomateriálů manipulací se složením nátěrových hmot na úrovni jednotlivých molekul. Povrchy mnoha materiálů mohou být funkcionalizovány za použití interaktivních povlaků. Původ funkčních povlaků je zakotven v historické potřebě lidstva o zlepšení funkčních vlastností používaného materiálu. Příkladem jsou například ochrana prvních kovových nástrojů (železo, mosaz, stříbro) živočišným tukem, včelím voskem, želatinou, rostlinnými oleji a různými druhy jílovitých minerálů, dále voděodolnost, vodotěsnost, lesk, jas, ochrana proti korozi, ochrana proti opotřebení a snížení tření funkčních ploch. To jsou příklady vlastností, které si člověk žádal již od starověku. Koncept funkčního povlaku si prošel velmi dlouhým vývojem a dnes existuje mnoho cest pro to, jak přidat povrchu užité funkční vlastnosti. Některé z těchto dávných modifikátorů povrchu se po správné úpravě a vývoji využívají díky svým vynikajícím vlastnostem dodnes. Funkční povlaky (ať už organické, anorganické nebo hybridní) jsou skupinou povlaků, které mohou být přizpůsobeny pro mnoho aplikací. Od nábytkářství přes těžký a automobilový průmysl, citlivou elektroniku, mobilní telefony, solární energetiku, nebo náročnější aplikace, jakými jsou zdravotnické prostředky a ortopedické implantáty. O spolehlivosti, životnosti, ale i o atraktivitě výrobku dnes velkou měrou rozhoduje právě její povrchová úprava, která díky použití progresivních technologií a materiálů může vykazovat dodnes nevídané užité či bezpečnostní vlastnosti. Koncept "inteligentních" povlaků je v dnešní době zaměřen na systémy, které mohou reagovat na určité podněty generované vnitřními nebo vnějšími vlivy. [1]

Mezi tyto systémy můžeme zařadit hmoty, které svými vlastnostmi zabraňují jejich vlastnímu poškození (samohojivé nátěry), nátěry zlepšující jejich aplikovatelnost (změnou barvy detekují průběh zasychání), UV citlivé nátěry, antigrafiti nátěry, ale také termocitlivé neboli termochromní nátěry, které svými vlastnostmi mohou zvýšit bezpečnost v rizikových prostředích. [2]

2. Nátěrové hmoty

Ochrana povrchu součásti organickými povlaky před nepříznivými vlivy okolního prostředí je uskutečněna především bariérovým způsobem ochrany. Nátěrová hmota (systém nátěrových hmot), představuje způsob sloužící k vytvoření souvislé vrstvy (filmu), kterýžto ošetřenému povrchu propůjčuje své ochranné a funkční vlastnosti. Ve skriptech Korozí a technologie povrchových úprav docenta Kreibicha je nátěrová hmota definována následovně: „Nátěrovými hmotami nazýváme tekuté až pastovité hmoty, které, jsou-li naneseny na povrch předmětu, vytvářejí souvislý film.“ rovněž norma ČSN EN ISO 4618:2007, která je zaměřena na Nátěrové hmoty - Termíny a definice, poskytuje jednoznačnou představu o pojmu nátěrová hmota a její vztah k tvorbě funkčního povlaku: „Nátěrová hmota je pigmentovaný materiál, určený k povlakování (natírání), který poté, co byl nanesen na podklad, vytváří neprůhledný film, vyznačující se ochrannými, dekorativními nebo jinými vlastnostmi.“ [4] [5] Organické povlaky lze vytvářet nejen pomocí tekutých nátěrových hmot, ale i formou práškových hmot, které umožňují vytvoření plastového či gumového (pryžového) povlaku. Vzhledem k nízkým nárokům na aplikační technologii a dostatečným ochranným vlastnostem představují organické povlaky nejrozšířenější povrchovou úpravu funkčních konstrukcí a součástí. Požadované vlastnosti povlaku definují charakter a složení nátěrové hmoty. Tyto požadavky plynou jednak z materiálu povlakovaného předmětu, tak i z povahy korozní agresivity prostředí (interiéry budov, chemické provozy, aj.), ve kterém se bude chráněný předmět nebo konstrukce nacházet. [3] [4]

Předmětem otázky dále může být fakt, zdali bude konstrukce nebo součást vystavena abrazivnímu opotřebením, její požadované funkce a vlastnosti, ale i požadavky koncového zákazníka (speciální funkce, struktura, nebo snížení bezpečnostního rizika). Mezi požadavky na organické povlaky obecně patří korozní odolnost, odolnost proti povětrnostním vlivům, UV záření, chemikáliím, či vzhledové požadavky (odstín, lesk, struktura). Požadavky, jež jsou kladeny především na samotnou nátěrovou hmotu, mohou plynout například z hlediska ekologičnosti procesu, možností aplikační technologie, zpracovatelnosti materiálu, reologických vlastností a v neposlední řadě finanční dostupnosti. [6] [7]

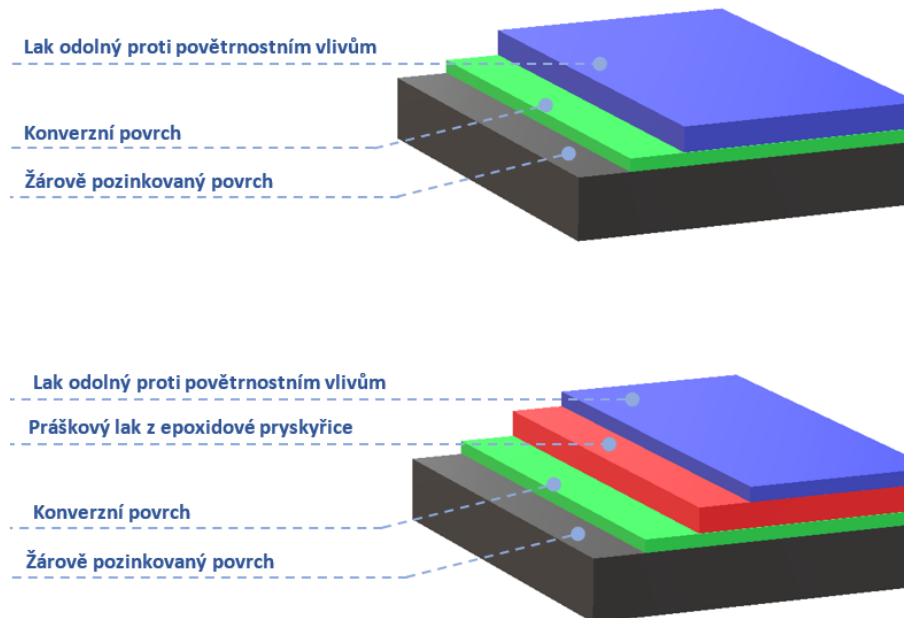
2.1 Systémy z nátěrových hmot

V předchozí kapitole bylo uvedeno, že nátěrová hmota představuje prostředek ke zhotovení samotného povlaku. Systém z těchto nátěrových hmot pak představuje soubor vlastností, které jsou definovány charakterem jednotlivých nanesených povlaků (anorganické, organické), jejich počtem a tloušťkou jednotlivých vrstev. Z této definice plyne základní rozdělení systémů z nátěrových hmot na:

- nátěrové systémy jednovrstvé,
- nátěrové systémy vícevrstvé,
- nátěrové systémy kombinované (duplexní nebo triplexní).

Kombinace nátěrových hmot představuje velmi účinnou povrchovou úpravu ocelových konstrukcí. S ohledem na porezitu a propustnost organických nátěrových hmot, která s časem vlivem degradace narůstá, je chráněný předmět navíc opatřen anorganickým povlakem, který představuje galvanickou ochranu povrchu součásti. Systém se tak skládá z několika vrstev (kovový povlak substrátu tvoří základní vrstvu), přičemž tloušťka a počet jednotlivých povlaků jsou odvozeny od účelu použití konstrukce, požadované životnosti a agresivity prostředí, v němž se bude nacházet. V případě duplexního systému ošetření ocelové konstrukce jsou jednotlivé povlaky řazeny následovně: ocelový substrát – zinkový povlak – pasivační vrstva – organický povlak.

Z hlediska životnosti duplexního systému je běžně udávaná hodnota 1,5 až 2,3 násobku součtu životností jednotlivých vrstev. [8][9]



Obr. 1: Duplexní/Triplexní nátěrové systémy.

2.2 Složení běžných nátěrových hmot

Základní složky nátěrového systému jsou látky filmotvorné, pigmenty, plniva, těkavé složky (ředidla, rozpouštědla) a další přísady dodávající užité vlastnosti (aditiva). Pigmentované hmoty se schopností zakrýt základní materiál jsou označovány jako barvy, kdežto bezbarvé nebo kolorované nátěry, které nezakrývají základní materiál, se označují jako laky.

2.2.1 Filmotvorné látky

Základní filmotvorné přísady složené z pojiv a změkčovadel umožňují vznik souvislého tuhého filmu (vrstvy) různých tloušťek. Jsou to anorganické netěkavé látky, které mají svými vlastnostmi vliv na základní ochranu a životnost systému složeného z nátěrových hmot. Chemické vazby látek obsažených ve filmotvorné složce společně s okolním

prostředím určují především odolnost nátěru. Přílnavost a další obdobné vlastnosti povlaku jsou ovlivněny fyzikální a chemickou povahou polární skupiny filmotvorných látek. [3][4] Filmotvornou složku v nátěrových hmotách mohou představovat vysychavé oleje (lněný, kokosový), přírodní pryskyřice (kalafuna, šelak, kopály), deriváty celulózy (nitrocelulóza, acetylcelulóza), deriváty kaučuku (chlorovaný, cyklizovaný kaučuk), asfalty (přírodní, ropné) či syntetické pryskyřice (alkaloidy, epoxidy, vinylové polymery). [10][4] Do skupiny filmotvorných látek jsou dále řazena změkčovadla, která sama o sobě nezasychají a nevytvářejí tuhý souvislý film. Rozpouštěním nebo naopak nabobtnáváním filmotvorné složky změkčovadly dochází k modifikaci nátěru, a to především jeho křehkosti, tvrdosti, vláčnosti a pružnosti. [4]

2.2.2 Pigment

Pigmenty se dělí dle jejich charakteru a chemické povahy. Jedná se o kolorované prášky organického, anorganického nebo směsného původu nerozpustné v rozpouštědlech a pojivech. Pigmenty nátěrovým hmotám dodávají barevný odstín a ovlivňují jejich krycí schopnost (schopnost povlaku zakrýt chráněný podklad). [3][4]

Dle funkce při ochraně předmětu proti korozi jsou pigmenty děleny do následujících tří skupin:

- inhibiční pigmenty (zpomalující korozi),
- stimulační pigmenty (urychlující průběh koroze),
- neutrální pigmenty (bez vlivu na průběh koroze).

V porovnání složení jsou anorganické pigmenty naproti organickým (syntetickým) více odolné proti působení chemikálií a povětrnostním vlivům. Vyznačují se ovšem vyšší hustotou, menší barvicí silou a menší čistotou výsledných odstínů. [3]

Železité pigmenty

V současné době je z přírodních železitých pigmentů používán pouze okr, ostatní jsou získávány synteticky ze solí železa. Tyto pigmenty dobře odolávají atmosférickým vlivům a alkáliím, a vyznačují se vysokou kryvostí a plností odstínu. Mezi další anorganické pigmenty se řadí např.: grafit, saze, kovové bronzy, pigmenty ze slitin mědi, železitá slída, oxidy hliníku a upravené hliníkové prášky. [3]

2.2.3 Těkavé složky – rozpouštědla

Rozpouštědla – ředidla nebo jejich směsi slouží k úpravě tekutosti (viskozity) nebo celkové konzistence nátěrové hmoty. Ředěním nátěrové hmoty výrobcem doporučeným ředidlem dle technického listu ve vhodném poměru dochází k úpravě viskozity pro danou technologii nanášení, a tím i dosažení lepších aplikačních a pohledových vlastností. Další přítomnost těchto látek ve výsledném nátěru není žádoucí. V případě setrvání i nepatrných pozůstatků těchto těkavých složek v nátěrovém systému dochází ke zhoršení jeho odolnosti, zejména v případě styku s agresivním kapalným prostředím. [4] Rozpouštědla se volí podle rozpustnosti filmotvorných složek, a v závislosti na rychlosti odpařování jsou dělena na lehká, střední a těžká. Nejběžněji používané jsou rozpouštěcí technické benziny (benzinové frakce), lakový benzin (ropná frakce), aromatické uhlovodíky (toluen, xylen), alkoholy (etylalkohol, butylalkohol), estery, (etylacetát, butylacetát), ketony (aceton), glykolétery a terpentýnové silice. [3] [4]

2.2.4 Plniva

Plniva se vyznačují podstatně nižším indexem lomu a nižší cenou v porovnání například s pigmenty. Proto při potřebě snížit cenu a kde je to technicky možné, tvoří plniva základ nátěrových hmot. Pevnými částicemi ve formě plniva je podstatně zesilována struktura povlaku. V případě plniv je kladen vyšší důraz na jejich chemickou stálost, což dostatečně splňují chemické sloučeniny jako například síran barnatý, síran vápenatý, křemičitan hořečnatý (mastek), vápenec, dolomit nebo křída. [3] [4]

2.2.5 Aditiva

Vysoké požadavky kladené na vlastnosti nátěrových hmot způsobily užívání dalších pomocných látek označovaných jako ostatní přísady (aditiva). Aditiva tvoří přibližně jedno procento látek zastoupených v nátěrovém systému, avšak jejich účinek je podstatně významnější. Aditiva umožňují například rychlejší dispergaci pigmentů a jejich stabilizaci v nátěrové hmotě či zamezení jejího pění. Dále se aditivity zlepšuje rozliv, odolnost proti povětrnostním vlivům nebo napadení mikroorganismy. Pro zlepšení pružnosti, ohebnosti a tažnosti nátěru se přidávají zvláčňovadla. Sušidla neboli sikativa se do nátěrových hmot přidávají pro urychlení doby zasychání. Mezi aditiva dále řadíme například stabilizátory, emulgátory nebo inhibitory koroze. [4] [10] [11]

2.3 Druhy nátěrových hmot

Vzhledem ke značnému rozvoji chemického průmyslu a s ním i velkého množství změn v oblasti nátěrových hmot, prošla základní i rozšířená terminologie používaná v tomto odvětví řadou změn, a to hlavně z nutnosti přizpůsobit se mezinárodním normám, a dále odbouráním názvů používaných v příbuzných oborech. Jednotlivé pojmy a definice z oblasti nátěrových hmot uvádí v současnosti norma ČSN EN ISO 4618:2007 – Nátěrové hmoty – Termíny a definice. [3] [5]

2.3.1 Dle základních vlastností

Vzhledem k základním vlastnostem je možné nátěrové hmoty rozdělit do těchto kategorií:

- laky – nátěrový systém, který na ošetřovaném povrchu vytváří průhlednou, respektive průsvitnou vrstvu.
- pigmentové nátěrové systémy – na povrchu tvoří neprůhlednou vrstvu.

2.3.2 Dle účelu použití

V závislosti na účelu použití je možné nátěrové hmoty dělit na:

- vnitřní – které zpravidla neodolávají účinkům okolního prostředí (především slunečnímu záření),
- venkovní – poměrně odolné vůči působení slunečního záření (UVa a UVb) a účinkům povětrnostních vlivů,
- speciální – zahrnují skupinu nátěrových hmot, které jsou vhodné pro ochranu před působením např. ropných látek, kyselin, alkálií apod.

2.3.3 Dle funkce v nátěrovém systému

Podle použití a pořadí při tvorbě nátěrového systému dělíme nátěrové hmoty na:

- napouštěcí (v případě aplikace na savé podklady),
- základní,
- vyrovnávací,
- podkladové,
- svrchní,
- maskovací.

2.3.4 Dle surovinové báze

Z hlediska dělení nátěrových hmot podle surovinové báze výrobku je určující pojivová složka. Takto lze jednotlivé nátěrové hmoty rozdělit například podle počátečního písmene, jenž udává pojivovou bázi (neplatí v případě lihových, vodou ředitelných a nátěrových hmot skupiny N, kdy je pro označení užitá těkavá látka).

Dle počátečního písmene dělíme nátěrové hmoty na:

- A – asfaltové nátěrové hmoty,
- B – polyesterové nátěrové hmoty,
- C – celulózové nátěrové hmoty,
- E – práškové nátěrové hmoty,
- H – chlorkaučukové nátěrové hmoty,
- K – silikonové nátěrové hmoty,
- L – lihové nátěrové hmoty,
- N – nátěrové hmoty pro povrchovou úpravu plastů,
- S – syntetické nátěrové hmoty,
- U – polyuretanové nátěrové hmoty,
- V – vodové a emulzní nátěrové hmoty,
- P – pomocné přípravky.

Za písmenem udávané čtyřmístné číslo udává informace o druhu nátěrové hmoty:

- 1000 – fermeže a bezbarvé, popř. transparentně obarvené laky,
- 2000 – nátěrové hmoty pigmentované,
- 3000 – pasty,
- 4000 – nástřikové a vyrovnávací hmoty,
- 5000 – tmely,
- 6000 – ředidla,
- 7000 – sušidla, tvrdidla, katalyzátory,
- 8000 – pomocné přípravky,
- 9000 – pryskyřice.

Běžné je značení nátěrových hmot dané výrobcem, popřípadě zvyklostmi dané země, ze které výrobce pochází. Pro identifikaci barevných odstínů v globálním měřítku je užívána především stupnice RAL. Vzorník barev RAL představuje čtyřmístné číselné označení jednotlivých barevných odstínů. [3]

2.4 Dělení nátěrů dle ČSN EN ISO 12944:2007

2.4.1 Všeobecné typy nátěrových hmot

Běžný uživatel i odborná veřejnost má dnes k dispozici nepřeberné množství nátěrových hmot. Při rozhodování o vhodnosti dané nátěrové hmoty mohou být brána v úvahu různá kritéria jako například aplikační možnosti, doba zasychání, potřeba ředění, obsah organických těkavých látek či uživatelská náročnost (dvou a více složkové nátěrové hmoty). Níže jsou popsány charakteristiky nejběžnějších typů nátěrových hmot.

2.4.2 Alkydové nátěrové hmoty

Alkydové pryskyřice jsou syntetické polyesterové pryskyřice vznikající polykondenzační reakcí mastných kyselin nebo triglyceridů (olejů), polykyselin a vícesytných alkoholů. Vlastnosti alkydových nátěrových hmot závisí na množství a druhu modifikující složky. Modifikace se provádí přidavkem jiného druhu pryskyřice (amonová pryskyřice, epoxydová pryskyřice, aj.), kyseliny či oleje. Používány jsou kyselina monokarboxylová, polykarboxylová, izofalová, z alkoholů glycerol, trimethylpropan, dále například styren, izokyanáty či polyamidy. Alkydové nátěrové hmoty představují jednu z nejrozšířenějších skupin rozpouštědlových nátěrových hmot. Alkydové pryskyřice jsou děleny podle podílu mastných kyselin či olejů na krátké alkydy (<40 % hm.), střední alkydy (40 – 60 % hm.) a dlouhé alkydy (> 60 % hm.). Jednotliví výrobci nabízejí celou řadu produktů alkydových pryskyřic, mimo jiné i bezrozpouštědlové a vysoko sušivé. Modifikované alkydové pryskyřice a alkydové nátěrové hmoty nacházejí uplatnění jako základní nátěry, protikorozní nátěry, impregnace, laky atd. [12] [13]

2.4.3 Epoxidové nátěrové hmoty

Epoxidové pryskyřice představují skupinu polymerů (reaktoplastů), které přecházejí z lineárního stavu do stavu zesíťovaného nevratnou chemickou reakcí po smísení s tvrdidly. Monomery sloužící pro výrobu epoxidových pryskyřic jsou nejčastěji bisfenol A

(2,2- bis – p – hydroxyfenilpropan), dichlorhydrin a epichlorhydrin. Vytvrzování epoxidových pryskyřic představuje proces, kdy látky tvrdidla reagují s epoxidovými či hydroxylovými skupinami přítomnými v pryskyřici a vytváří trojrozměrnou strukturní síť. Tvrdidla epoxidů lze rozdělit na polyadiční a polymerační dle toho, zda se při vytvrzování stávají nebo nestávají součástí sítě. Polyadiční tvrdidla jsou například polyaminy, polykyseliny, polysulfidy a polyfenoly. Jak je patrné, tak epoxidovou nátěrovou hmotu je nutné před samotnou aplikací smísit s tvrdící složkou ve výrobcem stanoveném poměru. Při přípravě těchto nátěrových hmot je nutné dbát na dokonalé promíchání obou složek a při aplikaci na dobu její zpracovatelnosti. Epoxidové dvousložkové nátěrové hmoty nachází uplatnění v aplikacích protikorozi bariérové ochrany, základních nátěrů, podlahových nátěrů. Povlaky získávají požadované vlastnosti především volbou vhodného tužidla. Vynikají vysokou tvrdostí, přilnavostí a odolností alkáliím a vodě. Dále jsou epoxidové pryskyřice používány jako zalévací tmely, lepidla či matrice kompozitu. [14] [15]

2.4.4 Chlorkaučukové nátěrové hmoty

Pro výrobu chlorkaučukových filmotvorných složek se používá přírodní kaučuk rozpuštěný v chloridu uhličitém. Vzniklé kopolymery vinylchloridu a vinylacetátu se dále modifikují změkčovadly a pryskyřicemi ke zlepšení mechanických vlastností nátěrového filmu. Chlorkaučukové nátěrové hmoty vynikají zejména vysokou chemickou odolností. Z hlediska korozní odolnosti vykazují značnou pórovitost a nutnost většího počtu vrstev. Dále se chlorkaučukové nátěrové hmoty používají v kombinaci se zinkovým práškem, který jako plnivo slouží ke zvýšení protikorozi ochrany povlaku. [3]

2.4.5 Polyuretanové nátěrové hmoty

Polyuretanové nátěrové hmoty mohou být jednosložkové nebo dvousložkové. Polyuretany jsou polymerní látky, které vznikají polyadičními reakcemi vícefunkčních izokyanátů s látkami obsahujícími aktivní vodík. Tyto dvě reakční složky jsou pak spojeny uretanovou vazbou. Jednosložkové polyuretanové nátěrové hmoty se vytvrzují vzdušnou

vlhkostí, kdy molekuly vody reagují s volnými izokyanátovými skupinami filmotvorné látky. Dvousložkové nátěrové hmoty obsahují v jedné složce pryskyřice s obsahem hydroxylových skupin, případně pigment, a ve druhé složce je obsažena polyizokyanátová pryskyřice (tužidlo). Obě složky se před zpracováním mísí v poměru daném výrobcem nátěrové hmoty. Povlaky z polyuretanových nátěrových hmot vykazují vysokou odolnost proti UV záření a chemikáliím. [16]

2.4.6 Vodou ředitelné nátěrové hmoty

Vodou ředitelné nátěrové hmoty zaznamenávají značný rozmach daný především snahou o snížení obsahu organických těkavých látek (VOC) v nátěrových hmotách a šetrností k životnímu prostředí. Voda v těchto nátěrech představuje médium, do kterého jsou rozptýleny částice polymeru. Jedná se tak o disperze, případně emulze. Vzniku homogenního filmu je docíleno použitím vhodných aditiv. Proces vzniku povlaku zjednodušeně spočívá ve spojení jednotlivých částic polymeru vlivem odpařování vody a přítomnosti rozpouštědla. Částice se během odpařování vody přibližují a vlivem působení povrchového napětí a vnitřních sil deformují na mnohostěny. Homogenní nátěrový film tak vzniká několik dní. Mezi hlavní výhody vodou ředitelných nátěrových hmot patří nízký obsah VOC (< 5 %) a relativně krátká doba schnutí. Mezi nejpoužívanější disperze patří styren akrylátové, acetátové, alkydové, polyuretanové a epoxidové. S vodou ředitelnými nátěrovými hmotami je spojena problematika bleskové koroze (tj. vznik korozních skvrn po nanesení vodou ředitelné nátěrové hmoty na podklad ze železných kovů). [5] [17]

3. Míchání

Pro vznik povlaku dobrých ochranných, funkčních a mechanických vlastností má zásadní vliv dispergace funkčních částic pigmentu do matrice, kterou představuje základní nátěrová hmota. Rovnoměrné rozptýlení pevných částic v matrici znamená jejich dokonalé rozložení ve výsledném povlaku a splnění funkčních požadavků na ošetřené ploše. Dispergací vhodným zařízením při optimálních podmínkách lze dále

vhodně modifikovat rozměr použitých mikročástic, případně překonat silové účinky nanočástic a odstranit nežádoucí shluky plniva. Naopak nedostatečné rozptýlení či nevhodný rozměr plniva (cca > 25 μm) může zcela znehodnotit finální produkt a jeho požadované vlastnosti.

3.1 Disperzní soustavy

Disperzní soustava představuje systém složený nejméně ze dvou složek. Jedna ze složek představuje disperzní prostředí, ve kterém je rozptýlena (dispergována) druhá látka v podobě malých částic. [18]

3.2 Dispergace

Dispergace pevných částic představuje v kapalném prostředí fyzikální proces, kde pevné částice a jejich shluky jsou rozptylovány pomocí procesů míchání v tekutině k dosažení homogenní suspenze. Proces míchání má v soustavě kapalina – pevná fáze vliv na přenos hmoty, vznos pevných částic, začlenění plovoucích částic, dispergaci shluků částic a modifikaci rozměru částic smykovým třením. Na výslednou povahu suspenze má vliv cirkulace vsádky, způsob dodávání jednotlivých složek, jejich vlastnosti a velikost, geometrie nádoby, geometrie míchadla a parametry procesu (obvodová rychlost, teplota soustavy). Nutnou podmínkou pro vytvoření optimálních podmínek při míchání je velikost obvodové rychlosti míchadla. Obvodová rychlost míchadla musí být větší než pádová rychlost částic. Velikost dispergovaných částic má vliv na kvalitu suspenze.

U částic <100 nm je účinek gravitační síly na částice zanedbatelný a převládají koloidní síly mezi povrchy částic. V technické praxi se při tvorbě suspenzí – nátěrových hmot používají rychloběžná rotační míchadla, vibrující míchadla, pneumatická či hydraulická míchadla, zařízení na principu rozprašování směsi tryskami, případně vytváření suspenzí a emulzí pomocí ultrazvuku. [18]

3.3 Míchadla

Při použití rotačních míchadel je charakter proudění v kapalině odvozen od průměru míchadla a jeho frekvence otáčení pomocí Reynoldsova čísla – Re_M (1). Pro $Re_M < 10$, dochází k promíchávání laminárně proudící kapaliny. Při $Re_M > 100$ se významným způsobem projevuje setrvačnost tekutiny - je rozháněna odstředivou silou po vsádce za přítomnosti turbulentního proudění. K zabránění tomuto jevu a zefektivnění procesu zvýšením účinnosti proudění se nádoby opatřují narážkami. Průměr míchadla (d) a průměr nádoby (D) se navrhuje v poměru $d/D = 0,1$ až $0,5$. Při vysokých rychlostech a příkonu míchadla může docházet k přeměně dodané energie na teplo, a tím docházet k nepříznivému ovlivnění jednotlivých složek soustavy. [18]

$$Re_M = \frac{\pi \cdot d \cdot \rho}{\mu} [-] \quad (1)$$

Re_M – Reynoldsovo číslo, ρ – hustota média, μ - viskozita média

$$\mu_s = \mu_v \cdot (1 + k \cdot c_v) [Pa \cdot s] \quad (2)$$

μ_s - viskozita suspenzí, μ_v – viskozita čisté kapaliny, k – konstanta tvaru částice
(= 2,5 ... koule, > 2,5 ... obecný tvar), c_v – objemová koncentrace

3.4 Míchadla rotačního typu

Rotační míchadla představují skupinu nejvíce rozšířených dispergačních zařízení. Rozdělení těchto míchadel je založeno na druhu proudu, jenž vytvářejí v tekutině, a to na míchadla s axiálním charakterem proudění, radiálním charakterem proudění a tangenciálním charakterem proudění. [19]

Proudění s axiálním charakterem

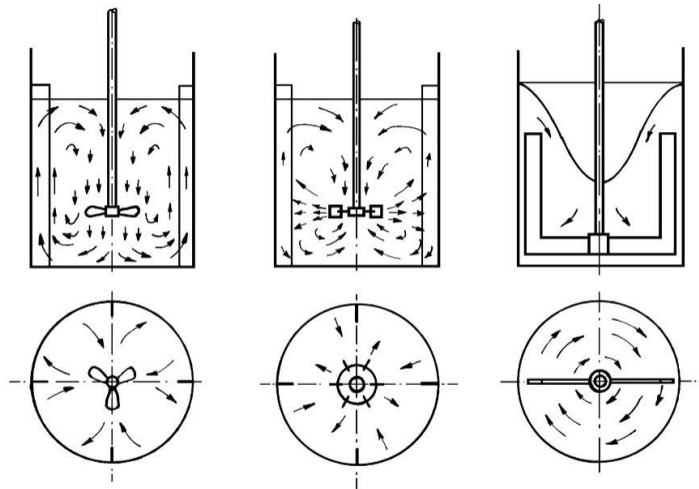
Charakter proudění vytváří proudnice převážně rovnoběžně s osou nádoby. Hlavními představiteli jsou míchadla vrtulová, šroubová.

Proudění s radiálním charakterem

Charakter proudění vytváří proudnice převážně rovnoběžně kolmé na osu míchadla. Jedná se o míchadla turbínová.

Proudění s tangenciálním charakterem

Charakter proudění vytváří tangenciální proudnice v rovinách kolmých k ose míchadla. Hlavními představiteli jsou pomaloběžná míchadla lopatková a kotvová.



Obr. 2: Vlevo – axiální proudění, uprostřed – radiální proudění, vpravo – tangenciální proudění [19]

3.4.1 Pomaloběžná míchadla

Mezi hlavní typy pomaloběžných míchadel se řadí míchadlo kotvové, šroubové, pásové, listové a lopátkové. Jak již bylo uvedeno v kapitole 3.2 má zásadní vliv na kvalitu procesu dispergace obvodová rychlost. Z tohoto důvodu jsou jako dispergační ústrojí volena míchadla rychloběžná. [19]



Obr. 3: Pomaloběžné míchadlo šroubové (vlevo) a kotvové (vpravo) [20] [21]

3.4.2 Rychloběžná míchadla

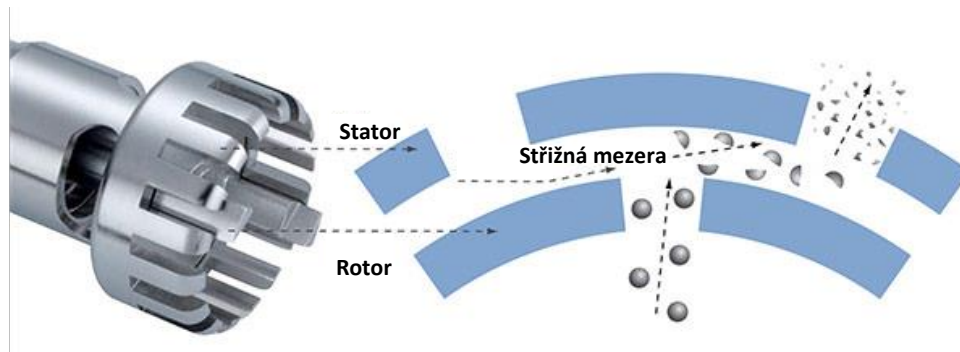
Mezi hlavní představitele rychloběžných míchadel patří míchadlo turbinové, se šikmými lopatkami, vrtulové a zubové. Zubové míchadlo bylo použito jako jedno ze dvou porovnávaných zařízení v praktické části této diplomové práce. Zubové míchadlo disperguje směs pomocí vzniku vysokého smykového napětí, čímž je vytvořena suspenze i za přítomnosti velmi malých částic. Míchadlo je vhodné do hladké nádoby vložit excentricky mimo osu nádoby tak, aby bylo zamezeno přisávání vzduchových bublin vlivem středové víru. [19]



Obr. 4: Zubové míchadlo (vlevo), turbinové míchadlo (uprostřed) a vrtulové míchadlo (vpravo) [22]

3.4.3 Míchadla typu rotor – stator

Míchadlo rotor – stator představuje vysoce účinné zařízení pro výrobu emulzí a suspenzí. Tato zařízení jsou díky svému konstrukčnímu provedení vhodná pro míchání, emulgaci a dispergaci volně proudících kapalných médií. Vysoká obvodová rychlost rotoru vytváří smykové síly, které jsou nezbytné k redukci pevných částic nebo kapek. Díky konstrukčnímu provedení vzniká uložení mezi rotorem a statorem úzká střižná mezera, ve které navíc dochází k extrémně vysoké turbulenci. Rotor i stator jsou opatřeny zuby, jimiž při procesu dispergace proudí kapalina, která je tak vystavena působení velmi vysokého tlaku, stříhu a tření. Kapalina je nasávána axiálně směrem do dispergačního ústrojí a následně vytlačena mezerou mezi rotorem a statorem. Vlivem vysokých otáček rotoru dochází k cirkulaci směsi, a tedy k rovnoměrnému rozptýlení částic do celého objemu vsádky. Princip zařízení rotor – stator firmy IKA je vyobrazen na obrázku 5. Tento typ míchadla byl v mé práci použit pro vylepšení vlastností systémů, které byly původně míchány na míchadle zubovém. [23]



Obr. 5: Míchadlo typu rotor-stator výrobce IKA a podstata rozptylu částic do matrice. [24]

3.4.4 Ultrazvukový homogenizátor

Ultrazvukový homogenizátor generuje ultrazvukové pole o vysoké intenzitě a amplitudě, které je do kapaliny přenášeno pomocí vysokofrekvenční sondy. Ultrazvukové homogenizátory nacházejí uplatnění v celé řadě aplikací od extrakce buněčných komponent, vytváření emulzí, homogenizaci a dispergaci látek či urychlování chemických reakcí. Díky vysoké energii dodané do směsi se dají velmi dobře uplatnit při dispergaci nanoobjektů. Nejdůležitějším parametrem ultrazvukové homogenizace je amplituda vyzařujícího povrchu sondy, objem vsádky a nastavený výkon zařízení. [25]



Obr. 6: Ultrazvukový homogenizátor výrobce IKA [26]

4. Termocitlivé nátěrové hmoty

Termocitlivé nebo také termochromické nátěrové systémy jsou speciální povlaky, které jsou schopné změnit odstín barvy v závislosti na změně teploty okolního prostředí. Termocitlivé nátěrové systémy mohou být použity pro měření teploty nebo jako indikátory změny teploty. Jako indikátory je lze aplikovat na vybrané plochy, kde mohou sloužit jako prostředek varování před potenciálním nebezpečím. Termochromické systémy se dělí do několika skupin na základě jejich typu, počtu možných přechodů barev a reverzibility změny odstínu. Existují systémy reverzibilní (vratné), částečně reverzibilní (částečně vratné) a nevratné. V tomto případě byl použit termocitlivý reversibilní pigment červeného odstínu. Termokolory fungují na podstatě změny odstínu určité chemické látky, která je způsobena fázovou přeměnou mezi krystaly nebo také díky molekulární přestavbě látky. Velký vliv na změnu odstínu má kromě teploty také tlak okolního prostředí. [27] [28]



Obr. 7: Chování termocitlivého pigmentu při zvyšování teploty. Vlevo pokojová teplota, vpravo zvýšená teplota nad teplotu přechodu chemické sloučeniny. [43]

4.1 Podstata změny barevného odstínu

Změna odstínu barvy termocitlivých pigmentů je spojena s transformací chemických sloučenin. Změny jsou způsobeny přechodem krystalové fáze nebo transformací molekulární struktury. Existuje široká škála látek, které vykazují toto chování při různých teplotách přechodu.

Hlavní nevýhodou termocitlivých nátěrových systémů je závislost teploty barevného přechodu na okolním tlaku. Chemická podstata těchto látek určuje jejich vlastnosti a chování. Soli v termokolorech, které obsahují v molekule těkavé látky (vodu, čpavek, oxid uhličitý, aminy a jiné), vytvářejí při určité teplotě rovnoměrný tlak odpovídající disociaci, což vede k odchodu některých složek. Tento tlak roste se zvýšením teploty a při dosažení hodnoty tlaku okolního prostředí dochází k rychlé disociaci, což je doprovázeno značnou změnou zbarvení. Existují některé další mechanismy teplotní změny indukované barvy, například změna parciálního tlaku atmosférického kyslíku. Změny okolního tlaku mají vliv na nevratné a částečně reverzibilní barvy. Reverzibilní systémy jsou nepropustné pro tlakové změny okolí. Zvýšení tlaku však ovlivňuje teplotu přechodu. [27]

4.2 Látky používané jako termopigmenty

Látkou používanou jako termopigment pro vratné termokolory jsou v největší míře upravené hliníkové prášky. Tento typ termopigmentu byl použit i v této práci. Tyto prášky se většinou upravují kyselinou tříslovou (taninem) pro zlepšení reakční doby. Dále je možné použít sloučeniny na bázi arsenu, antimonu, látky na bázi fero-kyanidů a různé kombinace sloučenin na bázi olova, které je schopno měnit odstín při různých teplotách. Pro nevratné termopigmenty se využívají směsi několika látek nebo jednosložkové chemické sloučeniny, například Octan kobaltnatý ($\text{Co}(\text{C}_2\text{H}_3\text{COO})_2$) nebo fosforečnan nikelnat-amonný ($\text{Ni}.\text{NH}_4.\text{PO}_4.6\text{H}_2\text{O}$). Při zahřívání těchto termokolorů se často vyvíjí čpavek (NH_3), oxid uhličitý (CO_2) a jiné plyny. Anorganické sloučeniny kobaltu a olova vykazují při zahřívání změnu složení, což se u mnohých projevuje změnou barvy. Nevratné termokolory většinou poskytují jen jeden teplotní přechod. Některé druhy jsou schopné tento přechod absolvovat několikrát. Jako termopigmenty pro částečně reverzibilní termokolory se používají hlavně sloučeniny na bázi kobaltu a niklu s hexametylentetraminem (komplexní sloučenina chloridu kobaltnatého s hexametylentetraminem a jiné sloučeniny).

Při zahřátí na určitou teplotu se tyto sloučeniny zbavují krystalové vody a mění svůj odstín. Při následném snížení teploty pohlcují vodu ze vzduchu a získávají původní odstín. Zpětná přeměna na původní odstín ale probíhá mnohem pomaleji nežli přeměna u vratných termopigmentů. [29] [30] [31]

4.2.1 Kompozitní termochromní pigmenty

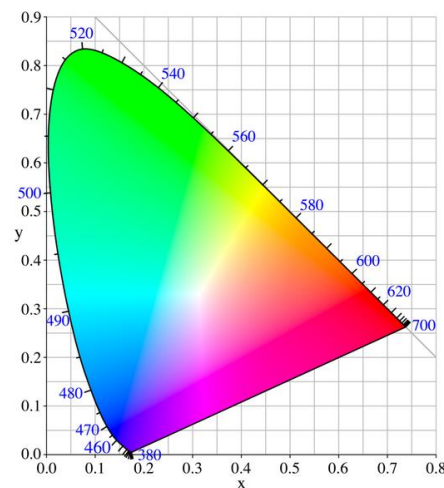
Kompozitní termochromní pigmenty obsahují 3 základní komponenty:

- pH senzitivní barvivo,
- protonový donor, který působí jako barevná vývojka,
- hydrofobní netěkavé pomocné rozpouštědlo.

Tyto komponenty jsou umístěny v mikrokapslích o průměru cca 20 μm a jsou dispergovány v nízkotuhnoucím vosku. Při nízkých teplotách je vosk v tuhém stavu a vývojka se vyskytuje ve své barevné formě. Po zahřátí na aktivační teplotu dojde k roztavení vosku a roztržení heterocyklického kruhu ve vývojce – ta ztratí barvu. Výhodou těchto pigmentů je změna barvy ve velmi krátkém intervalu a také různé teploty barevné změny, které závisí na pomocném rozpouštědle. Termochromní pigmenty tohoto typu mají možnost aplikací např. v inkoustech, nátěrech a oděvech. Nátěry jsou dostupné pro řadu substrátů včetně kovů, ABS, PP, PE, PVC atd. Inkousty byly vyvinuty pro mnoho typů tiskových procesů (sítotisk, gravurový a flexografický, aplikace pro ofsetovu litografii). [32]

4.3 Barevný prostor CIE XYZ

V roce 1931 vytvořila Mezinárodní komise pro osvětlování barevný prostor CIE XYZ, který umožňuje číselné vyjádření barvy. Ke vzniku barevného prostoru CIE 1931 přispěly experimenty, které nezávisle na sobě ve 20. letech 19. století prováděli prof. W. David Wright (1928) a John Guild (1931). Prostor CIE RGB byl předlohou pro odvození barevného prostoru CIE I^*a^*b a stanovení tzv. CIE standardního pozorovatele. [33]



Obr. 8: Obr. 3 CIE XYZ základní chromatický diagram [34]

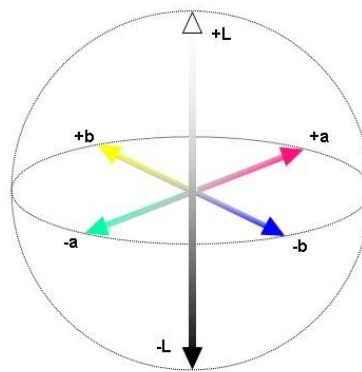
4.3.1 Definice standardního pozorovatele

Roku 1964 byla zkoumána a ověřována dříve prováděná měření, kde byly zjištěny nepřesnosti, týkající se zejména modrozelené oblasti spektra, pokud byly zorné úhly větší než 2° . Ve středu sítnice gamutu uprostřed žluté skvrny je oblast nazývaná fovea. Je to jediná oblast na sítnici, kde množství barevných fotoreceptorů čípků významně převyšuje množství nebarevných fotoreceptorů pro noční vidění – tyčinek. Je-li zorné pole větší než 4° , zasahuje barevné vidění i do oblasti s menší koncentrací čípků, což může způsobit mírnou odchylku při tomto vnímání barev. Skutečný rozdíl je velice malý, zřídka pozorovatelný, nicméně je měřitelný.

Ze zasedání komise CIE v roce 1964 byla ustanovena definice doplňkového standardního pozorovatele s 10° zorným polem, která by měla být použita při jakémkoli pozorování se zorným polem větším než 4° . Od tohoto roku by každé měření barev mělo obsahovat informaci, zda odpovídá použití definice 2° standardního pozorovatele z roku 1931 nebo definice 10° doplňkového standardního pozorovatele z roku 1964. Není-li tento údaj uveden, předpokládá se použití definice 2° standardního pozorovatele. [33]

4.3.2 CIE $L^* a^* b^*$

Základní barevný prostor $L^* a^* b^*$ byl definován v roce 1976 na zasedání v Londýně. CIE $L^* a^* b^*$ je snadnou orientací, díky které lze na základě číselných údajů snadno identifikovat příslušnou barvu. Barevný prostor CIE $L^* a^* b^*$ vychází ze systému CIE XYZ. Svislá osa udává světlost (L^*) a nabývá hodnot od 0 (černá) po 100 (bílá). Osy a^* a b^* označují jednotlivé barvy, přičemž červená ($+a$) a zelená ($-a$) jsou oponentní jako žlutá ($+b$) a modrá ($-b$). Jsou-li hodnoty obou os rovny 0, jedná se o neutrálně šedou barvu. [36]



Obr. 9: Model barevného prostoru CIE $L^* a^* b^*$ [36]

Transformační rovnice tohoto systému pro pravoúhlé souřadnice jsou dány vztahy:

$$L^* = 116 \cdot \left(\frac{Y}{Y_0}\right)^{\frac{1}{3}} - 16 \quad (1)$$

$$a^* = 500 \cdot \left[\left(\frac{X}{X_0}\right)^{1/3} - \left(\frac{Y}{Y_0}\right)^{1/3} \right] \quad (2)$$

$$b^* = 200 \cdot \left[\left(\frac{Y}{Y_0}\right)^{1/3} \cdot \left(\frac{Z}{Z_0}\right)^{1/3} \right] \quad (3)$$

Pokud platí, že X/X_0 , Y/Y_0 a $Z/Z_0 > 0,008856$.

Jestliže platí: X/X_0 , Y/Y_0 , $Z/Z_0 < 0,008856$, pak transformační rovnice mají následující tvar:

$$L^* = 903,3 \cdot \left(\frac{Y}{Y_0}\right) \quad (4)$$

$$a^* = 3893,5 \cdot \left[\left(\frac{X}{X_0}\right) - \left(\frac{Y}{Y_0}\right) \right] \quad (5)$$

$$b^* = 1557,4 \cdot \left[\left(\frac{Y}{Y_0}\right) \cdot \left(\frac{Z}{Z_0}\right) \right] \quad (6)$$

4.3.3 Barevná odchylka ΔE^*

Barevné prostory CIE L^* a^* b^* a L^* u^* v^* umožňují vypočítat hodnotu, která vyjadřuje vzájemnou podobnost pro dvě různé barvy nebo rozdílné barevné odstíny jedné barvy. Tato hodnota se označuje ΔE^* a nazývá se barevná odchylka. V praxi se používá zejména ΔE^* vypočtené v prostoru L^* a^* b^* . V každém zobrazovaném a definovaném prostoru lze odvodit pro jednotlivé polohy barev vzdálenosti, které odpovídají odchylkám v hodnotě jasové složky nebo odchylkám v odstínu a čistotě. [35]

Celková diference, někdy označovaná jako "totální barevná diference", se vypočte v prostoru CIE L^* a^* b^* podle následující rovnice:

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^*_{vzor} - L^*_{standard})^2 + (a^*_{vzor} - a^*_{standard})^2 + (b^*_{vzor} - b^*_{standard})^2} \quad (7)$$

Tato velikost je mírou velikosti barevného rozdílu mezi standardem (předlohou) a zkoumaným vzorkem, nemůžeme však indikovat povahu této difference. Tuto dodatečnou informaci poskytuje rozdělení do tří složek, které můžeme vyjadřovat v prostoru $L^* a^* b^*$. V tomto pracujeme v soustavě pravoúhlých souřadnic.

Vzhledem k tomu, jak jsou tyto barevné prostory definovány, bude vypočtené číslo odpovídat podobnosti barev a je schopné přesně vyjádřit barevnou toleranci. Při reálném použití se rozdíl barev ΔE^* pohybuje v hodnotách 2 - 5. Lidské oko je schopné rozlišit minimální hodnotu $\Delta E^* = 1$. Rozdíl barev $\Delta E^* = 6$ nebo 7 je ještě považován za přijatelný u běžných pigmentů. [35]

5. Použití termochromických nátěrových hmot v praxi

5.1 Termochromické povlaky nanášené plasmou pro kosmický průmysl

Termochromní povlaky hrají důležitou roli v řízení teploty v kosmických lodích tím, že chrání vnitřní součástky proti velkým teplotním změnám. Schopnost řízení teploty je přímo určena tepelně radiačními vlastnostmi povlaku, tj. schopností infračervené emisivity ϵ_{IR} a schopností absorbovat sluneční záření. V uplynulých desetiletích bylo na kosmické lodi aplikováno velké množství kontrolních povlaků s různými specifickými požadavky. Například povlaky ze ZnO na bázi „bílých“ povlaků s vysokou hodnotou emisivity se používají pro odvod přebytečného tepla z kosmických lodí do vesmíru v době přímého kontaktu se slunečním světlem, zatímco nízká emisivita povrchu s povlaky na bázi hliníku se používá, aby se zabránilo průniku tepla z vnitřku kosmické lodi do okolí v době bez slunečního světla. Jejich použití je osvědčené a spolehlivé, ale jejich teplotně fixovaná emisivita ϵ_{IR} je schopná způsobit kolísání teploty v nepřítomnosti pomocných ohřivačů nebo chladičů. Ideální řešení tohoto problému je variabilní emisivita samotných zařízení nebo povlaků. V poslední době je termochromní materiál na bázi perovskitových oxidů manganu $La_{1-x}A_xMnO_3$ ($A = Sr, Ca$ nebo Ba) slibným příkladem kontrolního materiálu řízení teploty pro použití v kosmickém průmyslu s ohledem na svou variabilní emisivitu. Při nízkých teplotách má kovovou strukturu a nízkou hodnotou emisivity. Při zvýšení teploty se stane nekovovým a vykazuje vysokou emisivitu. [37]

Pokud je materiál aplikován na kosmické lodi, je emitující přenos tepla z kosmické lodi automaticky upravován pomocí tepelných rozsahů vycházejících z okolního prostředí. Na základě tohoto výzkumu byl materiál implementován do keramických dlaždic s tloušťkou v dílčím rozsahu milimetrů, aby bylo docíleno co nejnižší hmotnosti. Ve skutečnosti je to nezbytným předpokladem pro hmotnostní omezení pro malé kosmické lodi s ohledem na nízkou tepelnou kapacitu a omezené rozpočty. Nicméně výroba a aplikace keramických dlaždic je nevyhovující a je velmi obtížné dále snižovat váhu pomocí zmenšování tloušťky těchto desek. Kromě těchto potíží se i velmi sníží mechanická pevnost celého systému, což může vést k zásadnějším problémům. [37]

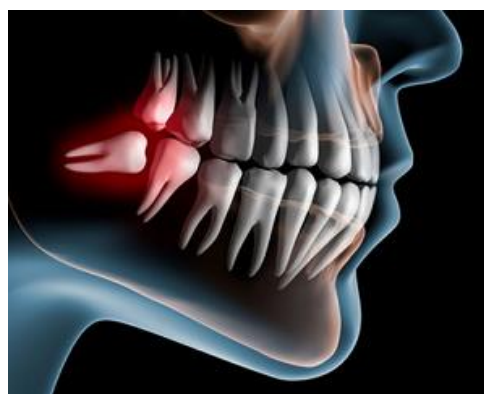
V současné době bylo popsáno několik způsobů nanášení (implementování) termochromních povlaků pro tyto účely (TCC) na bázi stronciem (Sr) dopovaných oxidů manganu, mezi které patří zejména metoda sol-gel, sítotisk (screen printing) a klasický způsob nanášení natíráním. Ve srovnání s výše popsanými způsoby má plazmové stříkání tu výhodu, že je vysoce účinné, ekonomické, jednoduché a flexibilní. Kromě toho se plazmové stříkání používá ve velké míře pro přípravu MnO_3 povlaků pro oxidické palivové články. Avšak tepelné vlastnosti plazmou nanášených TCC dosud nebyly dokonale prozkoumány. [37]



Obr. 10: Kosmická loď Dragon společnosti SpaceX s plazmou naneseným termocitlivým povlakem. [38]

5.2 Použití TCH¹ povlaku v čelistní náhradě ze silikonového elastomeru

Silikonové elastomery jsou používány pro výrobu vnějších čelistních protéz a jsou barevně sladěny s přilehlou pokožkou obličeje. V chladném zimním počasí se ale u některých osob barva kůže mění směrem k červené, což vede k rozdílu barev mezi protézou a okolní exponovanou tkání. Účelem tohoto výzkumu bylo použití termochromní barvy s měnícím se pigmentem v čelistním silikonovém elastomeru a napodobovat změnu barvy pokožky v chladném počasí. Maxilofaciální silikonový elastomer byl kolorován odstínem napodobujícím barvu exponované pleti. Silikonové tělové barvy byly rozděleny do 3 skupin: reálné barvy pleti, reálná barva kůže, ke kterému se přidá 0,2 % termochromního barviva a základní pigment napodobující barvu kůže s 0,6 % termochromního pigmentu. Rozdíly změny barvy byly vypočteny podle CIELAB-systému a změny hodnot L^* , a^* a b^* barevnými souřadnicemi byly analyzovány pomocí lineárního modelování pro opakovaná měření. Když se barva vzorků při pokojové teplotě ve srovnání s barvou po skladování v mrazničce změnila, změna barvy z obou termochromních pigmentů byla statisticky velmi významná ($p < 0,001$) pro L^* a^* b^* (+ 0,6 %). Změna směrem k zarudnutí po skladování v chladničce se objevila na přirozeně barevných vzorcích s 0,2 % termochromní barviva. Změna barvy vzorků s 0,6 % termochromního barviva byla příliš výrazná pro další klinické použití. [39]



Obr. 11: Čelistní implantáty ze silikonového elastomeru s termochromickou úpravou. [39]

¹ TCH – termochromní

5.3 Vývoj a testování termochromických nátěrů budov a městských staveb

Základní vlastností materiálu, které ovlivňují povrchové teploty, jsou odrazivost slunečního záření a vyzařování infračerveného záření, tedy zvýšené hodnoty odrazivosti nebo emitance za nižších povrchových teplot. Co se týče tepelné náročnosti budovy, nižší povrchové teploty snižují teplo pronikající do budovy, a proto snižují chladicí zatížení klimatizovaných budov, nebo jsou schopny vytvořit komfortnější teplotní podmínky v neklimatizovaných budovách. Aplikací světlých povlaků na vnější povrchy budov můžeme snížit nutnost chlazení klimatizacemi v letním období. V zimním období je však za účelem snížení spotřeby energie na vytápění zapotřebí zvýšení absorpce slunečního záření. Použití vysoce reflexních vrstev například na střeše budovy může způsobit problémy s vytápěním v místech, kde je nutnost vytápění velmi důležitá. Proto existují požadavky pro vývoj technologie, která může změnit optické vlastnosti materiálu v závislosti na venkovní teplotě a úrovni slunečního záření. [40]

Barevně proměnlivé sloučeniny se stávají v posledních letech stále důležitějšími, obzvláště při studiu a produkci termochromních povlaků, tedy povlaků, které reagují na teplotní změny okolního prostředí tím, že vratně mění jejich barvu z tmavších odstínů na světlejší. Přejít je dosaženo tepelně reverzibilní transformací molekulární struktury pigmentů, které produkují spektrální změny viditelného spektra barev. Hlavním principem změn těchto povlaků na bázi organických směsí, jehož tři hlavní složky jsou: odstínovná látka, obvykle cyklický ester, který určuje barvu finálního výrobku v jeho ustáleném nezátíženém stavu, vývojka (obvykle slabá kyselina, která udílí reverzibilní změnu barvy termochromního materiálu a je zodpovědná za intenzitu barvy konečného produktu) a rozpouštědla, nejčastěji alkoholy nebo estery, jejichž teplota tání reguluje teplotu přechodu, při které dochází ke změně barvy. Aby se udržely termochromní vlastnosti tohoto systému, je směs zapouzdřena v mikrokapslích menších než 15 μm . Mikrokapsulace slouží jako bariéra mezi termochromním systémem a chemikálií kolem ní, jako jsou např. základní podkladové nátěrové hmoty, ochrany systému před povětrnostními vlivy a oxidací atp. [40]

Termochromní pigmenty byly vyvinuty jako tříložkové směsi organických sloučenin a byly začleněny do běžných světlých povlaků. Měření odrazivosti slunečního spektra termochromních povlaků používaných na budovách ukázala, že absorpce sluneční energie začíná pod 20 °C a končí kolem 30 °C. Po hodině působení slunečního záření a pro teploty nižší než 20 °C se termochromní vrstva byla schopna absorbovat téměř stejné množství sluneční energie jako obyčejný barevný povlak, ale když teplota narostla nad 20 °C povlak měl svoje garantované vlastnosti. [40]



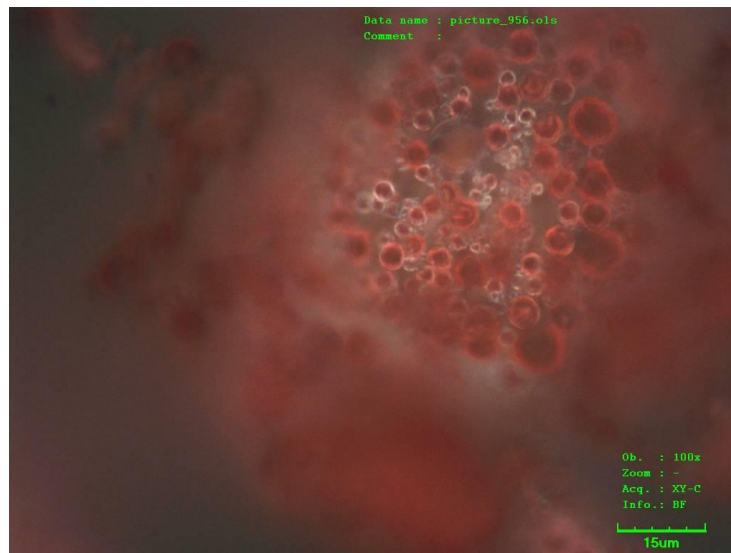
Obr. 12: Ukázka termocitlivého povlaku naneseného na skleněných plochách nákupního centra a její chování v různých denních dobách. [40]

6. Experimentální část

V experimentální části této diplomové práce byla díky programu Centra výzkumu povrchových úprav zabývajícím se vývojem nových typů interaktivních nátěrových hmot termocitlivého typu mezi roky 2017 a 2018 na FS ČVUT v Praze, a ve spolupráci s firmou VITON s.r.o., realizována řada experimentů s cílem formulace nátěrové hmoty s měnícím se odstínem umožňující vytvoření souvislého povlaku požadovaných specifických vlastností (mechanicky odolný povlak), který by mohl být využit jako bezpečnostní prvek v teplotně ovlivněných prostorech nebo na teplotně zatížených součástech. Cílem těchto experimentů bylo nalezení vhodného podílu jednotlivých složek nátěrové hmoty a dále stanovení vhodné technologie dispergace termocitlivého pigmentu pro dosažení optimálních funkčních a specifických vlastností nátěrové hmoty a finálního povlaku (rozliv, aplikační vlastnosti, přilnavost atd.). Dále pak byly zkoumány vlastnosti samotného termocitlivého pigmentu, jeho chování v teplotně ovlivněném prostředí a jeho reakce na povětrnostní vlivy.

6.1 Termocitlivý pigment

Jako základ byl použit termocitlivý pigment červené barvy ze série pigmentů Apex TH, což je řada barevných termocitlivých pigmentů britského výrobce Capricorn Speciality Chemicals. Apex TH 50 jsou pigmenty práškového charakteru, které reagují v určitém rozmezí teplot, a v rámci teplotního působení se stávají téměř bezbarvé. Jakmile se teplota vrátí na teplotu okolí, pak se odstín znovu vrátí do původního stavu. Přechodová teplota změny barevného odstínu je u této série v rozmezí 47 – 52 °C. Velikost jednotlivých částic pigmentu se pohybuje okolo 7 μ m.



Obr. 13: Mikroskopický snímek použitého pigmentu, na kterém je vidět barva, rozložení a tvar částic.

Pigmenty APEX TH série mohou být začleněny do většiny nátěrových systémů na vodní bázi nebo na bázi rozpouštědel, a to poměrně snadno za mírného míchání. Mletí, vysoká rychlost míchání a protlačování, to vše jsou aspekty, které mohou mít vliv na měnící schopnosti barvy, a dokonce může pigment nenávratně zničit. APEX TH může být vmícháván do nátěrové hmoty v objemu asi 25 až 40 % pigmentu na celek. Je-li nutné přidání dalšího pigmentu, pak by neměl být obsah termochromického pigmentu vyšší než 2,5 % na celkový obsah nátěrového systému.



Obr. 14: Mikroskopický snímek pigmentu, na kterém je vidět rozmanitost velikostí jednotlivých částic.

Průměrná velikost se pohybuje okolo $7\mu\text{m}$, udávaných jako standard.

6.2 Návrh systémů

Ve spolupráci s firmou VITON, s.r.o. byly pro testování vyvinuty celkově tři nátěrové systémy s označením IP02, IP03 a IP04, s přidáním rozdílných základních složek a stejným množstvím termocitlivého pigmentu. Vzhledem k požadavkům pro bezpečnostní použití tohoto nátěrového systému a vlastnostem termocitlivého pigmentu, který po zahřátí na teplotu přechodu změní svůj odstín na bezbarvý, bylo dodatečně navrženo vmíchání běžného žlutého pigmentu do základní složky systému. Výsledné chování systému při teplotním zatěžování je uvedeno v následující tabulce:

Tabulka 1: Testovaná barevná kombinace

TESTOVANÁ BAREVNÁ KOMBINACE			
Termocitlivý pigment	„Běžný“ pigment	Chování při nízké teplotě (okolo 20 °C)	Chování při zvýšené teplotě
ČERVENÁ	ŽLUTÁ	ORANŽOVÁ	ŽLUTÁ

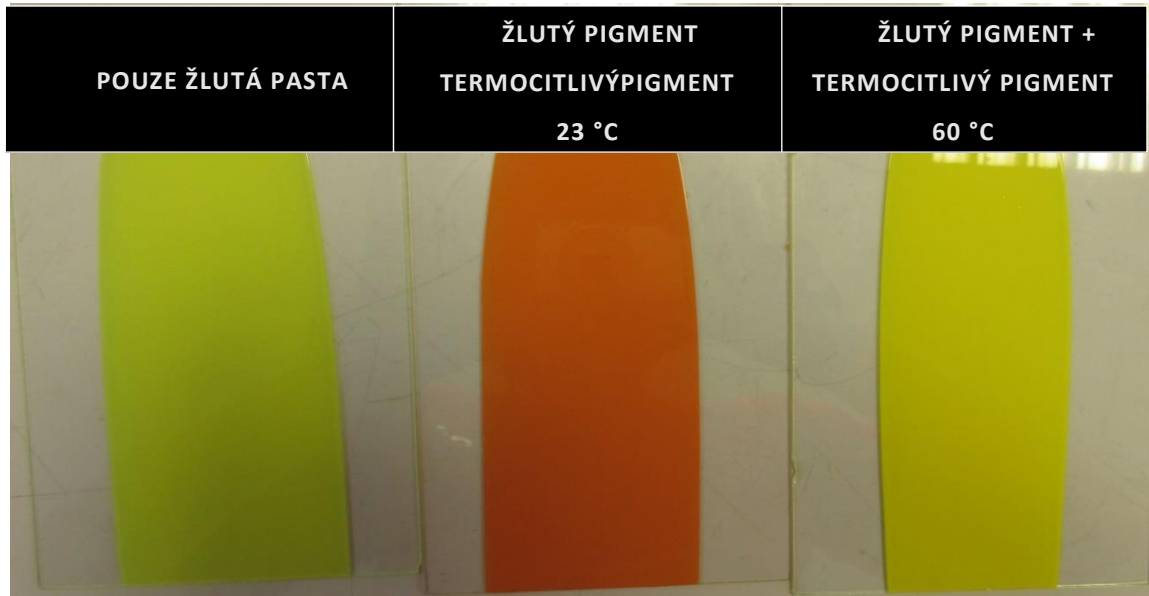
Navržený systém se tedy při nízké teplotě, pohybující se okolo běžné pokojové teploty, tedy kolem 20 °C, chová stabilně a má oranžový odstín. Při zahřátí na teplotu přechodu chemické sloučeniny obsažené v pigmentu se úplně odbarví a vznikne tak transparentní film, který odkryje běžný, teplotou neovlivnitelný pigment žluté barvy. První testovaný systém, tedy IP02 byl referenční, v poměru míchání, jaké doporučuje technologický list výrobce termocitlivého pigmentu s úpravou technologických možností firmy Viton. Následující dva systémy byly vytvořeny s výrobcem na základě předchozích zkušeností s referenčním systémem, publikovaných v bakalářské práci „Interaktivní nátěrové systémy“.

V dalším kroku bylo nutné zabývat se přesným poměrem jednotlivých složek, obzvláště termocitlivého a běžného pigmentu. Termocitlivý pigment vykázal v prvních namíchaných vzorcích velmi špatnou kryvost, kterou bylo následně nutné nastavovat běžným žlutým pigmentem. Tyto prvotní formulace jsou zobrazeny na následujících několika stránkách.

6.3 Prvotní formulace firmy Viton

6.3.1 Tepelně reaktivní nátěrová hmota IP02

5 % žluté pasty



Obr. 15: Prvotní formulace nátěrové hmoty, pigmentováno 5 % žlutého pigmentu, systém IP02.

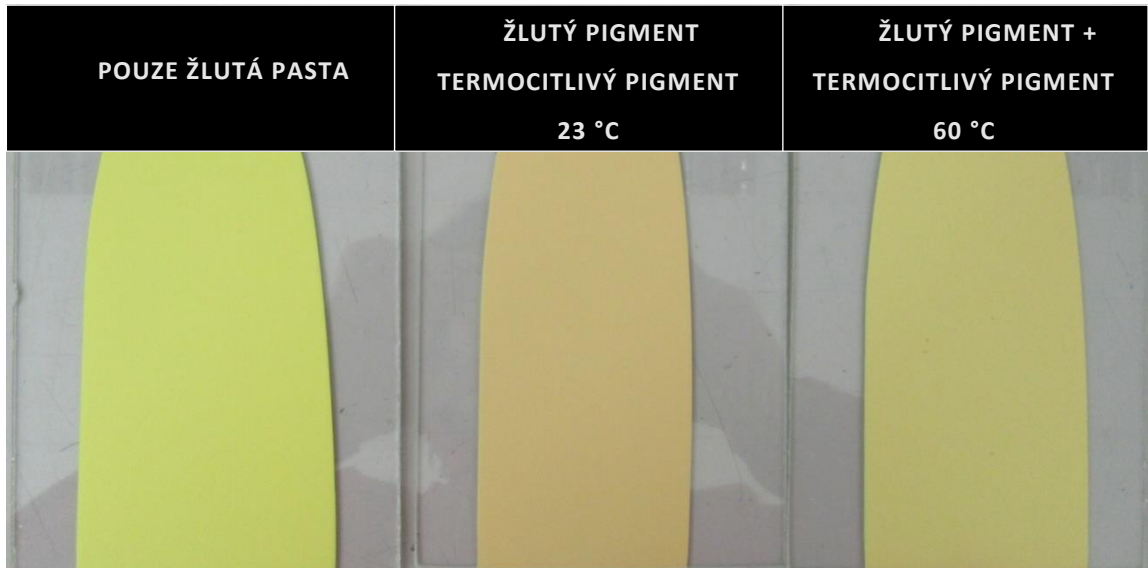
10 % žluté pasty



Obr. 16: Prvotní formulace nátěrové hmoty, pigmentováno 10 % žlutého pigmentu, systém IP02.

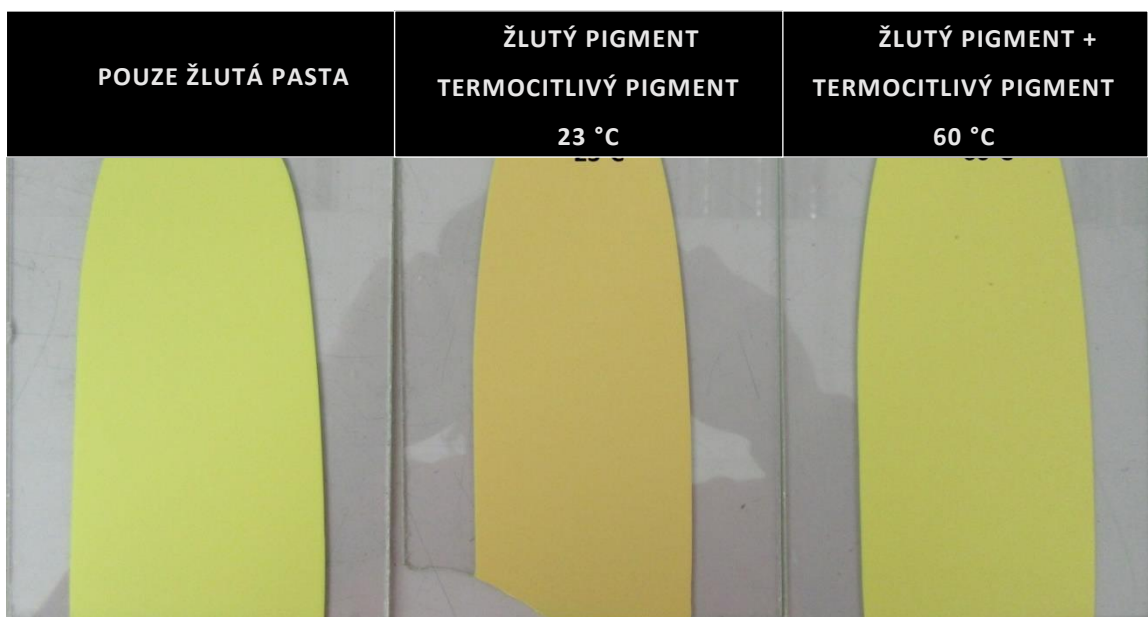
6.3.2 Tepelně reaktivní nátěrová hmota IP03

5 % žluté pasty



Obr. 17: Prvotní formulace nátěrové hmoty, pigmentováno 5 % žlutého pigmentu, systém IP03.

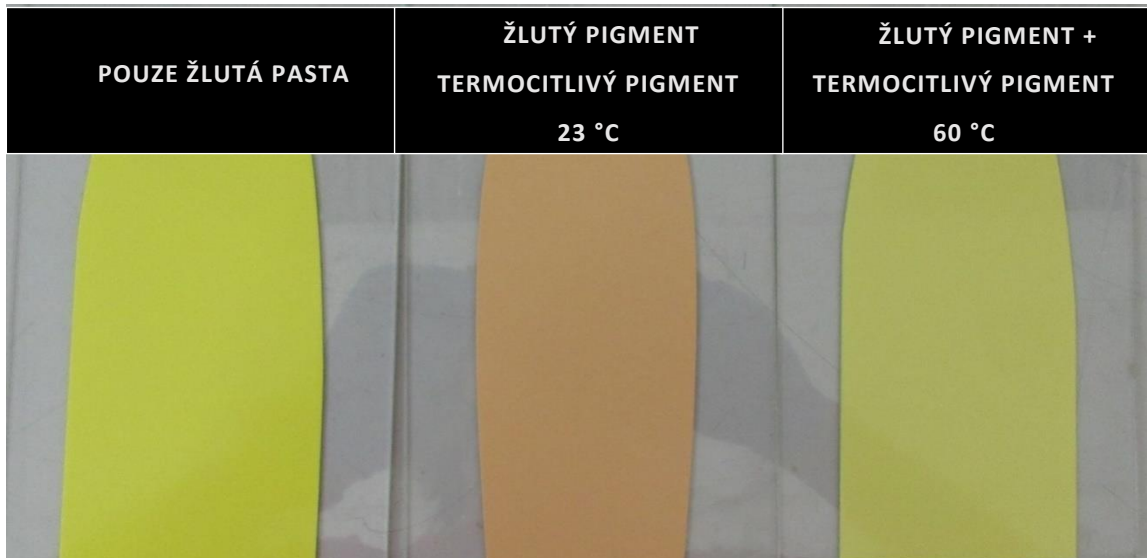
10 % žluté pasty



Obr. 18: Prvotní formulace nátěrové hmoty, pigmentováno 10 % žlutého pigmentu, systém IP03.

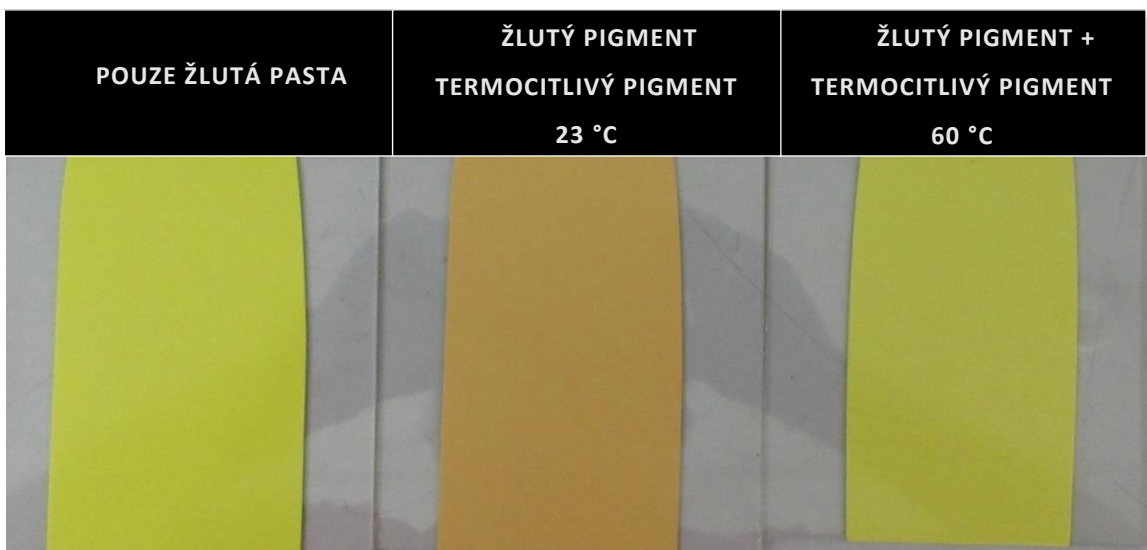
6.3.3 Tepelně reaktivní nátěrová hmota IP 04

5 % žluté pasty



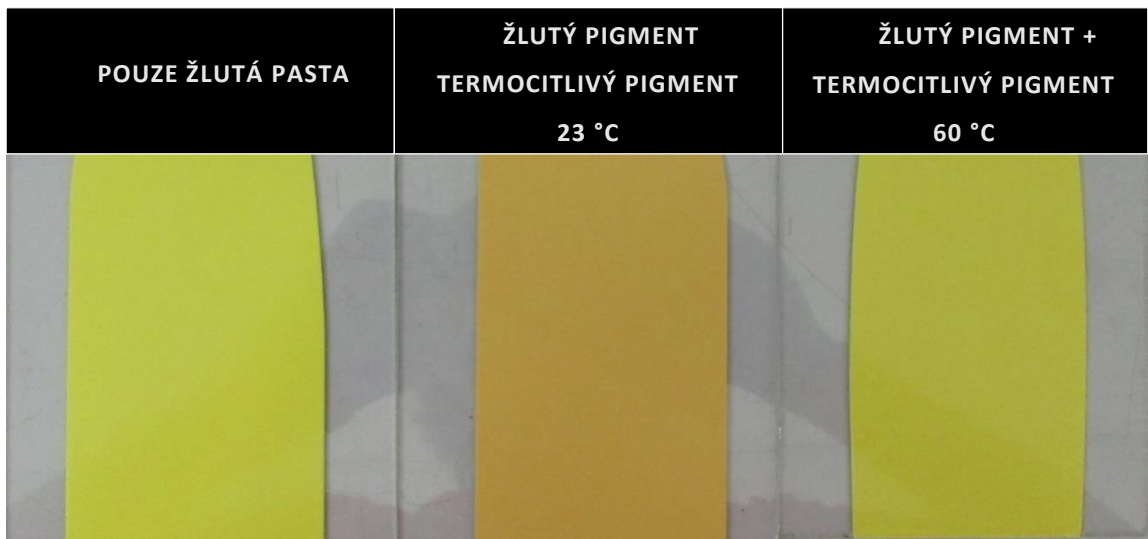
Obr. 19: Prvotní formulace nátěrové hmoty, pigmentováno 5 % žlutého pigmentu, systém IP04.

10 % žluté pasty



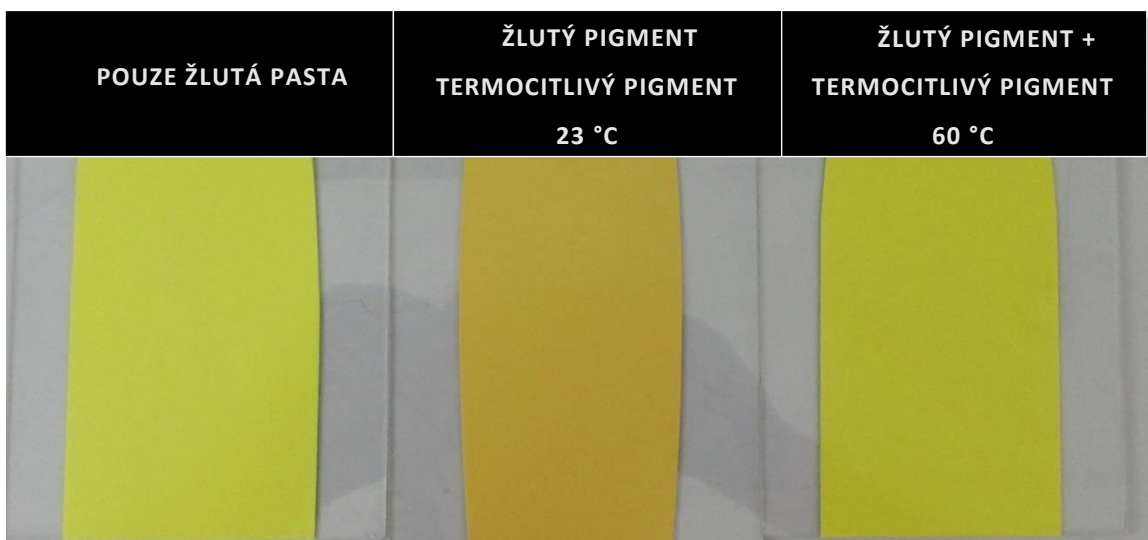
Obr. 20: Prvotní formulace nátěrové hmoty, pigmentováno 10 % žlutého pigmentu, systém IP04.

15 % žluté pasty



Obr. 21: Prvotní formulace nátěrové hmoty, pigmentováno 15 % žlutého pigmentu, systém IP04.

25 % žluté pasty



Obr. 22: Prvotní formulace nátěrové hmoty, pigmentováno 25 % žlutého pigmentu, systém IP04.

Z poznatků z primárních formulací byly pro jednotlivé systémy vybrány následující poměry. Ty jsou pro všechny tři typy NH shodné. Pro zvýšení kryvosti celého systému, která se u prvních formulací ukázala jako nevyhovující, bylo do systému přidáno větší množství termocitlivého pigmentu, které ač minimálně, překračují doporučené dávkování výrobcem. V nadcházející tabulce jsou tyto poměry uvedeny i se základní složkou, do které byly oba pigmenty dispergovány.

Tabulka 2: Složení testovaných nátěrových systémů

NÁZEV SÉRIE	TCH PIGMENT	ZÁKLADNÍ NH
IP 02	APEX TH 50 RED 5 %	Akrylátová Setalux 1182 (10 % žlutý pigment)
IP 03	APEX TH 50 RED 5 %	Akrylátová samozákladující Viton HAE 30 (10 % žlutý pigment)
IP 04	APEX TH 50 RED 5 %	Polyuretanová Viton PD 53 (10 % žlutý pigment)

6.4 Příprava vzorků

V experimentální části byly použity celkově tři typy zkušebních vzorků. Jedná se o broušené ocelové plechy firmy Q – panel (provedení standard, materiál S235JRG1), plechy z konstrukční oceli S235 a skleněné vzorky bez dané specifikace.

Přehled použitých typů vzorků:

- Q – panel (102 mm x 102 mm x 0,5 mm),
- Plech (100 x 150 x 4 mm),
- Skleněný vzorek o přibližných rozměrech 100 x 200 x 2 mm,

Vzorky Q – panely byly před aplikací nátěrové hmoty zbaveny konzervačního olejového filmu pomocí technického benzínu. Plechy byly předupraveny technologií tryskání drtí z umělého korundu. Stav předúpravy těchto vzorků odpovídal dle ISO 8501-1 stupni Sa 3 (okuje, rez a cizí látky byly odstraněny a povrch měl jednotný kovový vzhled). Skleněné vzorky byly před nanesením NH předupraveny pouze odstraněním mastnoty technickým benzinem.



Obr. 23: Tryskací zařízení S.A.F. Praha a ukázka otryskaného vzorku z konstrukční oceli S235.

6.5 Metody dispergace pigmentů do základní NH – podstata experimentu

Cílem experimentu bylo stanovení a porovnání vhodné metody a parametrů procesu dispergace. Podstatou experimentu je to, který ze zvolených procesů dispergace a jejich parametrů bude pro termocitlivý pigment, který je vysoce citlivý na mechanické poškození, vhodnější a zachová tak jeho funkční vlastnosti. Další otázkou bylo, jakou roli v procesu dispergace hrají časy jednotlivých procesů a zdali není vhodnější volbou vysokých otáček vytvořit v suspenzi takové podmínky, které by vedly ke zkrácení doby procesu dispergace a dosažení výrazně lepších výsledků v chování a vlastnostech výsledné nátěrové hmoty. Porovnávány byly metody dispergace zubovým míchadlem a míchadlem rotor – stator. Nátěrové systémy nebyly před dispergačním procesem temperovány.

6.5.1 Dispergace zubovým míchadlem

Dispergaci do 1. série provedla firma VITON s.r.o. Pigment byl do základních systémů dispergován zubovým míchadlem o průměru 50 mm. Frekvence otáček byly zvoleny pro všechny nátěrové hmoty shodně – $3\ 000\ \text{min}^{-1}$. Zubová hlava byla do nádoby vložena excentricky, aby nedocházelo k nasávání vzduchu vlivem osového víru.

Zubovým míchadlem byly dispergovány nátěrové hmoty s následujícími parametry:

Tabulka 3: Parametry dispergace 1. série zubovým míchadlem

Systém	Doba dispergace t [min]
IP02	5
IP03	2
IP04	3

V systému IP02 nedošlo pro velmi malé rozměry pigmentu k úplnému rozptýlení i přes nejdelší čas míchání, což se projevuje barevnou nestálostí a odchylkami odstínu v celé ploše. U zbylých dvou systémů se tento problém vyskytl jen v malé míře.

6.5.2 Dispergace míchadlem typu rotor – stator

Série číslo 2 byla v rámci komparace vytvořena pomocí zařízení IKA T25 Digital, osazené míchadlem SR – 25G. Proces míchání byl proveden v laboratořích Ústavu procesní a zpracovatelské techniky, ČVUT. Tento přístroj umožňuje dosažení velmi vysokých obvodových rychlostí míchadla a tvarem dispergačního ústrojí též vynikající předpoklady pro vytvoření homogenní funkční směsi.

Míchadlem rotor – stator byly nátěrové hmoty připraveny při těchto parametrech míchání:

Tabulka 4: Parametry dispergace 2. série míchadlem typu rotor – stator

Systém	Frekvence otáček [min^{-1}]	Doba dispergace t [min]
IP02	10000	2
IP03	10000	2
IP04	10000	2



Obr. 24: Zleva: proces navažování pigmentu do základního systému a hotové vzorky po procesu dispergace. Na systému IP02 je patrný rozdílný barevný odstín, který je zapříčiněn špatnou rozpustností pigmentu v základním systému. Úplně vlevo je fluorescenční nátěrový systém, který nebyl z časových důvodů testován.

Vzhledem k velkému časovému odstavu obou dispergačních procesů došlo k degradaci základního systému IP02. Ten se při samotném procesu vysoce zahříval. Kvůli tomu došlo i k nenávratné degradaci termocitlivého pigmentu a tak nebylo možné tento systém pro další testování využít.

6.6 Aplikace nátěrových hmot a vytvrzení povlaku

Aplikace nátěrových hmot 1. série byly provedeny firmou VITON s.r.o. Jednotlivé nátěrové hmoty byly po dispergaci nanášeny s časovým odstavem 24 hodin technologií nanášení natahovacím pravítkem. Proces aplikace probíhal za teploty 20 °C a relativní vlhkosti vzduchu 45 %. K aplikaci bylo použito válcového aplikátoru VF2147 se čtyřmi aplikačními stranami filmu o různé předdefinované tloušťce nátěru 50/100/150/200 µm. Pro naše účely byla použita strana s tloušťkou vrstvy filmu 150 µm. Vytvrzení probíhalo volně na vzduchu, přičemž první zkoušky byly provedeny týden po aplikaci nátěru.



Obr. 25: Použité natahovací pravítko typu Baker. [41]

Nátěrové hmoty 2. série byly po dispergaci taktéž nanášeny s časovým odstavem 24 hodin, technologií pneumatického stříkání. Proces aplikace probíhal za teploty 22 °C a relativní vlhkosti vzduchu 48 %. K aplikaci byla použita stříkácí pistole EST 116 českého výrobce EST+ (průměr trysky 1,8 mm) s vrchním plněním. U všech nanášených nátěrů byly výchozí parametry procesu nastaveny shodně (pracovní tlak 3,8 - 4 bar), přičemž bylo zaznamenáváno chování nátěrové hmoty (potřeba zvýšení pracovního tlaku, rozstřík, rozliv a vzhled). Vytvrzení probíhalo volně na vzduchu, přičemž první zkoušky byly stejně jako u první série provedeny týden po aplikaci nátěru.



Obr. 26: Proces aplikace nátěrové hmoty IP04 pneumatickým stříkáním.

6.7 Výsledné systémy 1. série a 2.série

Na následujícím obrázku jsou zobrazeny výsledné formulace 1. série před započítím testování, které splnily požadované vizuální vlastnosti.



Obr. 27: Výsledné systémy 1.série před testováním. Zleva nahoře: IP02; IP03 a IP04. Vlevo je vzorek vždy ohřátý na teplotu přechodu barevné změny.



Obr. 28: Výsledné systémy 2. série před testováním. Zleva IP04 a IP03. Vlevo je vzorek vždy ohřátý na teplotu přechodu barevné změny.

6.7.1 IP02

Systém IP02 byl vytvořen dle technického listu výrobce termocitlivého pigmentu. Tento systém, jehož vlastnosti jsou nám již známé z předchozího testování, byl využit jako etalonová nátěrová hmota pro kontrolu vlastností nově vytvořených systémů IP03 a IP04. Termocitlivý a běžný pigment byly vmíchány zubovým míchadlem do základní nátěrové hmoty Setalux 1182, což je akrylový polyol s 1,8% obsahem hydroxidu. V kombinaci s alifatickými polyisokyanáty by měl vykazovat vynikající přilnavost ke kovům, jako je hliník, ocel, pozinkovaná ocel, nerezová ocel, vynikající mechanické vlastnosti, dobrou trvanlivost vůči vlivům vnějšího prostředí a rychlé sušení. Tyto vlastnosti však nebyly v předchozím testování prokázány.

6.7.2 IP03

Systém IP03 byl vytvořen ve spolupráci s firmou VITON s.r.o. na bázi samozákladující nátěrové hmoty s označením VITON HAE 30. Jedná se o rychleschnoucí základní a vrchní akrylátovou nátěrovou hmotu, která se používá k nátěrům středně mechanicky zatěžovaných povrchů (podlah a různých minerálních podkladů). Možnost aplikace je vysokotlakým airless nebo vzduchovým stříkáním, štětcem nebo válečkem.

Tento systém byl vytvořen primárně z důvodu zlepšení mechanických vlastností a odolnosti proti vlivům okolního prostředí. Systém je navíc svou bází velmi podobný doporučenému systému výrobce termocitlivého pigmentu, kde je zaručena jeho funkčnost a stálost teplotního rozmezí změny odstínu.

6.7.3 IP04

Systém IP04 byl stejně jako IP03 vytvořen s firmou VITON s.r.o. a to s mnohem větší dávkou experimentálního přístupu. Pigment byl v tomto případě dispergován do základní nátěrové hmoty s označením PD 53, což je dvousložková polyuretanová nátěrová hmota. Tato hmota, jak udává výrobce, je rychleschnoucí vrchní barva s velice širokým univerzálním použitím. Je vhodná pro venkovní nátěry ocelových konstrukcí, výrobních linek, strojů a zařízení, zásobníků, potrubí i minerálních podkladů. Tato nátěrová hmota navíc výborně odolává povětrnostním vlivům, je stálobarevná, má výbornou přilnavost, mechanickou a chemickou odolnost. Odolává zvýšené vlhkosti, ropným látkám, olejům, tukům, alkoholu. Možnosti aplikace jsou stejné jako u systému IP03, a to vysokotlakým airless nebo vzduchovým stříkáním, štětcem nebo válečkem. U tohoto systému však kvůli jeho velmi nízké teplotní vodivosti nebyla zaručena funkčnost teplotně citlivého pigmentu.

6.8 Zkoušky termocitlivých nátěrových hmot

Nátěrové systémy byly podrobeny zkouškám uvedeným v následujících tabulce. Kromě provedených zkoušek jsou zde zmíněny i sledované vlastnosti.

Tabulka 5: Zkoušky povlaků termocitlivých nátěrových hmot.

Název metody	Norma	Sledované vlastnosti
Tloušťka povrchové vrstvy	ČSN EN ISO 2808	Tloušťka povrchové vrstvy po nanesení
Cyklické zkoušky teplotního zatěžování	--	Degradace odstínu barvy nátěrové hmoty v závislosti na počtu cyklů teplotního zatížení
Zkouška změny odstínu metodou CIE $I^*a^*b^*$	ČSN EN ISO 11664-4	Změny odstínu barvy v závislosti na teplotním zatěžování
Odrhová zkouška přilnavosti	ČSN EN ISO 4624:2004	Přilnavost
Mřížková zkouška	ČSN EN ISO 2409	Přilnavost
Zkouška ohybem na kónickém trnu	ČSN EN ISO 6860:2006	Odolnost proti odlupování a praskání
Cupping test	ČSN ISO EN 1520	Odolnost proti odlupování a praskání – dynamická zkouška
Stanovení odolnosti vůči UV záření	ČSN EN ISO 16474-3	Odolnost vůči UVa a UVb záření
Zkouška korozní odolnosti	ČSN EN ISO 9227	Protikorozní odolnost

Zkoušky odolnosti proti UV záření byly provedeny firmu VITON s.r.o. Všechny ostatní zkoušky byly provedeny v laboratořích Fakulty Strojní, ČVUT v Praze.

6.8.1 Tloušťka nátěrové vrstvy

Měření tloušťky nátěrové vrstvy bylo provedeno dle normy ČSN EN ISO 2808 neinvazivním tloušťkoměrem Elcometer 456, pracujícím na principu vířivých proudů, a to vždy na pěti jednoznačně určených místech, ze kterých bylo přístrojem vyhodnoceno minimum, maximum, průměrná hodnota a rozptyl. Tyto hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce.



Obr. 29: Neinvazivní tloušťkoměr Elcometer 456.

Tabulka 6: Výsledky měření tloušťek povrchové vrstvy na vzorcích 1. série.

Tloušťka povrchové vrstvy 1. série				
č. vzorku	Ø [μm]	max. [μm]	min. [μm]	σ
IP02(1)	122,0	130	109	8,40
IP02(2)	142,4	149	134	5,94
IP02(3)	134,2	149	111	14,30
IP03(1)	121,4	135	115	8,38
IP03(2)	121,8	131	110	8,64
IP03(3)	108,8	114	103	3,96
IP04(1)	119,6	131	111	8,29
IP04(2)	120,2	131	114	6,46
IP04(3)	117,6	131	107	9,42

Tabulka 7: Výsledky měření tloušťek povrchové vrstvy na vzorcích 2. série.

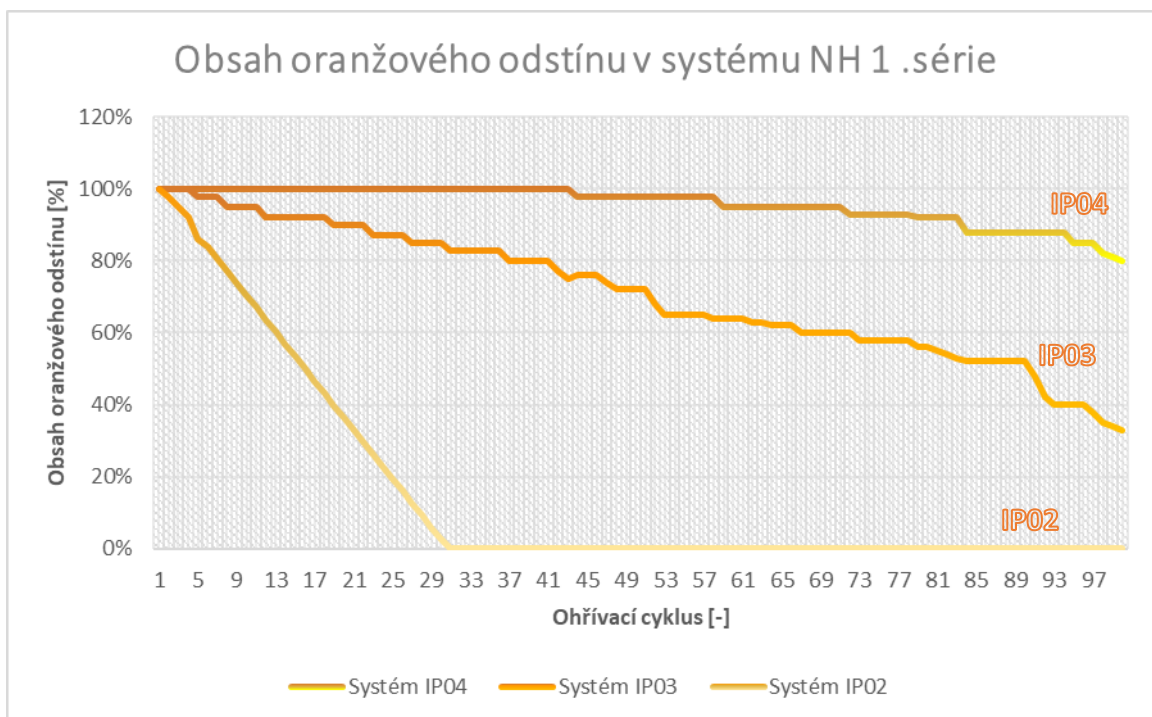
Tloušťka povrchové vrstvy 2. série				
č. vzorku	Ø [μm]	max. [μm]	min. [μm]	σ
IP03(1)	77,38	84,1	66,6	7,19
IP03(2)	76,46	84,9	69,8	6,84
IP03(3)	76,22	83,4	69	6,29
IP04(1)	98,8	111	85,4	9,17
IP04(2)	104,2	110	90,9	7,9
IP04(3)	110,6	122	98,1	11,4

Z výše uvedených tabulek měřených tloušťek můžeme konstatovat následující: Nanášení termocitlivé nátěrové hmoty pneumatickým stříkáním nám umožňuje vytvoření jednolitého filmu menších tloušťek, které vykazují menší rozptyl a s tím spojené lepší mechanické vlastnosti.

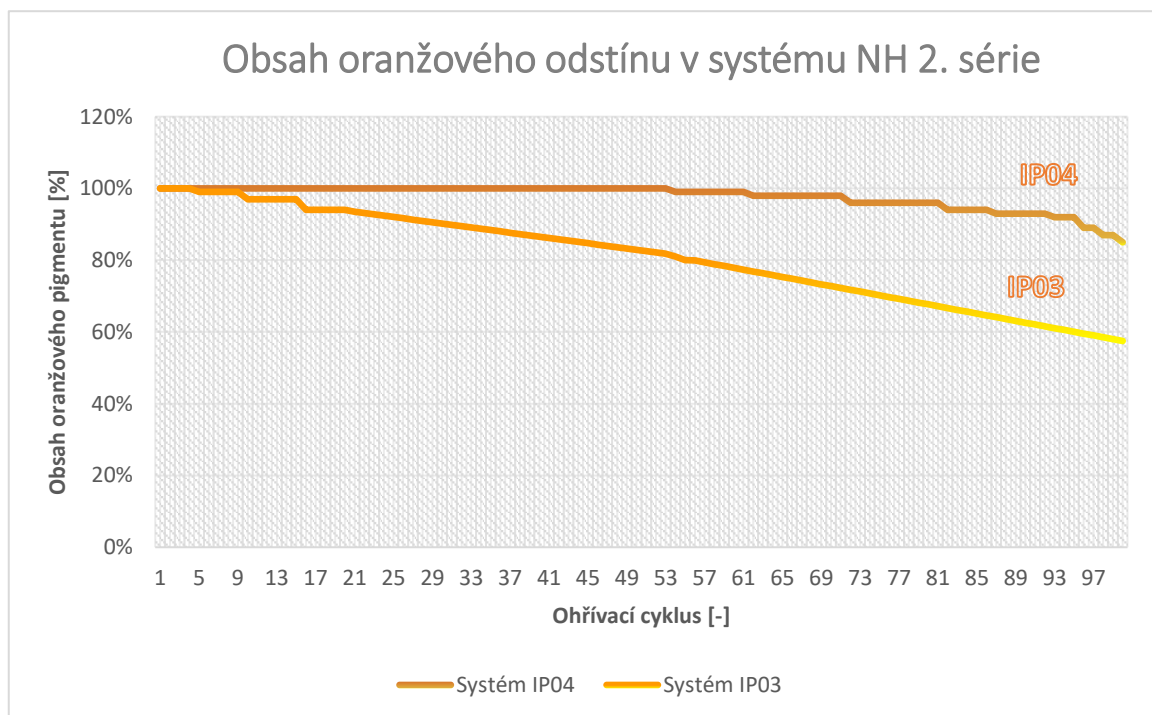
6.8.2 Cyklické zkoušky teplotního zatěžování

Pro zjištění stálosti odstínu po opakovaném teplotním zatěžování byly vzorky zkoumaných nátěrových hmot podrobeny cyklickému zatěžování v sušící peci ThermoScientific Haratherm OMH 400. Parametry cyklů byly pro všechny typy nátěrového systému i obě série totožné. Vzorky byly zatíženy teplotou 65 °C po dobu 5 minut a následně 10 minut ochlazovány proudem studeného vzduchu z trysky. Celkem bylo na vzorcích provedeno 100 cyklů. Stálost barevného odstínu byla při této zkoušce kontrolována spektrofotometrickým přístrojem BYK Gardner. Změny barevného odstínu, respektive degradace termocitlivého pigmentu, byly zaznamenávány pomocí úbytku oranžového odstínu v celkovém systému.

Graf1: Ukázka degradace termocitlivého pigmentu v jednotlivých systémech 1. série, znázorněna úbytkem oranžového odstínu.



Graf 2: Ukázka degradace termocitlivého pigmentu v jednotlivých systémech 2. série, znázorněna úbytkem oranžového odstínu.



Diskuse výsledků cyklického zatěžování

Vzorky 1. série nátěrového systému IP02 vykazují po uvedeném počtu cyklů velmi výraznou degradaci odstínu. Po zahřátí a následném prudkém ochlazení prakticky nedochází k reversibilní změně už u 18. cyklu. V následujících cyklech již vykazuje úplnou degradaci termocitlivého pigmentu. U nátěrového systému IP03 se degradace objevila také, ale v mnohem menší míře. Odstín tohoto nátěrového systému vykazuje velmi malou odchylku od odstínu počátečního (etalonového) a to přibližně do 80. cyklu. Poté nastává degradace. Teplota přechodu odstínu u těchto dvou NH se pohybovala v rozmezí stanoveném výrobcem. U posledního ze zkoumaných nátěrových systémů (IP04) s polyuretanovým základem se degradace projevila jen v malé míře. Nutno podotknout, že díky polyuretanovému základu se nepatrně zvýšila teplota přechodu, a to na rozmezí ± 2 °C okolo teploty 60 °C. Tato degradace začala být pozorovatelná až okolo 90. cyklu.



Obr. 30: Vzorek systému IP02 1.série po 18. cyklu zatížení při pokojové teplotě. V pravém dolním rohu jsou viditelné zbytky nedegradovaného pigmentu.

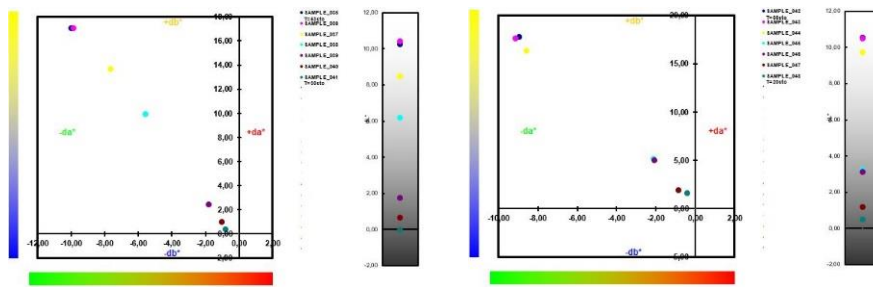
U 2.série nebyly vzorky systému IP02 testovány z důvodů uvedených v kapitole Metody dispergace pigmentů. Zbylé dvě série vykazují při stejných podmínkách testování výrazně lepší chování, a to hlavně z důvodu menšího poklesu obsahu oranžového pigmentu. U systému IP04 dochází k poklesu až mezi 55. cyklem.

U systému IP03 je degradační chování podobné, nikoliv však skokového charakteru jako tomu bylo u stejného systému.

Vzhledem k výsledkům tohoto testování můžeme konstatovat, že dispergace přístrojem typu rotor – stator poškozují částice termocitlivé látky obsažené v pigmentu razantně méně než klasické míchání zubovým míchadlem. Celkový systém je stabilnější a k degradaci dochází později. Výhodou je také nanesení systému pneumatickým stříkáním, kdy díky menším tloušťkám povlaku dochází ke změně odstínu (zvláště u systému IP04) v teplotním rozmezí, které je definované výrobcem pigmentu.

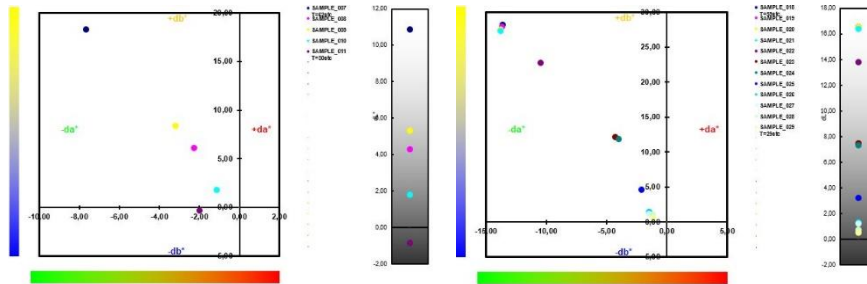
6.8.3 Zkouška změny odstínu metodou CIE L*a*b*

Zkoušky změny odstínu byly provedeny spektrofotometrem BYK, a následně vyhodnoceny v systémovém software. Změna barevného odstínu byla vypočítána dle normy ČSN EN ISO 11664-4 ze soustavy CIELAB z roku 1976 neboli CIE 1976 L*a*b* (1). Tento barevný model byl definován, jelikož klasické barevné modely (CMYK nebo RGB) jsou omezené použitím pouze primárních barev, a tak nemohou dosáhnout celého rozsahu barev (gamutu), které vidí lidské oko. Složka L je tzv. Luminance s hodnotami od 0 do 100 % (0 % = černá, 100 % = bílá). Složky *a* a *b* popisují barvu bodu, přičemž *a* ve směru červenozeleném a *b* ve směru modrožlutém. Tento trojrozměrný barevný prostor je udáván vzájemně kolmými osami. Každý vzorek byl měřen na pěti různých místech, aby bylo dosaženo jednoznačného výsledku. Dále byl pozorován rozptyl změny odstínu od etalonového odstínu. Vzorky byly vždy ohřáty na teplotu 65 °C a následně přirozeně ochlazovány na vzduchu. V intervalu poklesu teploty o 4 °C byl změřen lesk a změny jednotlivých složek gamutu L*a*b*. Dále byl pozorován rozptyl změny odstínu od etalonového odstínu Tyto změny byly měřeny do 20. cyklu, proto změny odstínu při samotné degradaci nejsou v grafech zaneseny.



Obr. 31: Změny složek gamutu při ochlazování nátěrového systému IPO2.

Vlevo po prvním cyklu, vpravo po cyklu číslo 18.



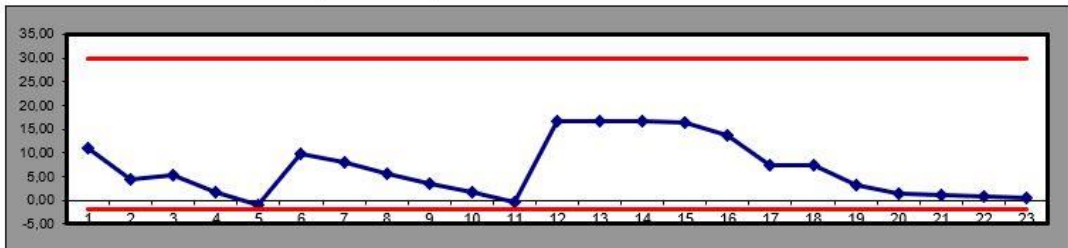
Obr. 32: Změny složek gamutu při ochlazování nátěrového systému IPO4. Vlevo po prvním cyklu,

vpravo po cyklu číslo 18.

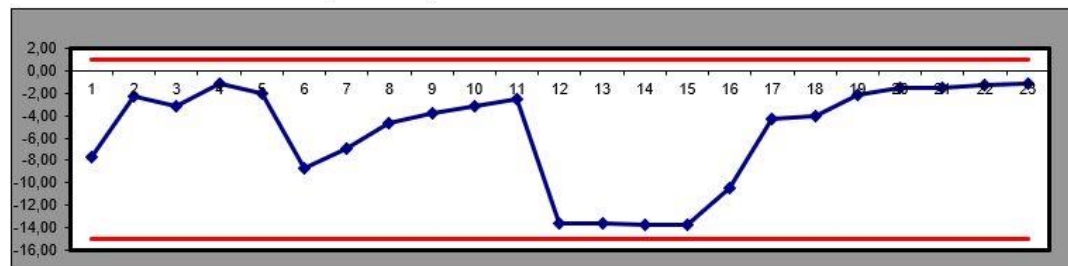
Graf 3: Změny jednotlivých složek gamutu L^*a^*b se stanovenými tolerancemi u nátěr. systému

IPO4 při 18. cyklu, zobrazeném na předchozím obrázku.

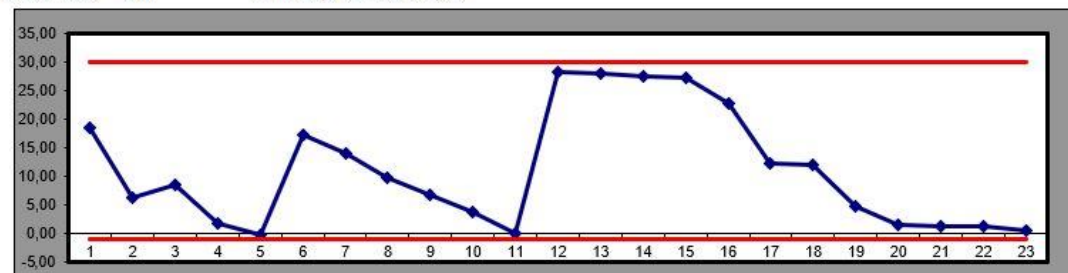
Tolerance dL^* min : -2,00 max : 30,00



Tolerance da^* min : -15,00 max : 1,00



Tolerance db^* min : -1,00 max : 30,00



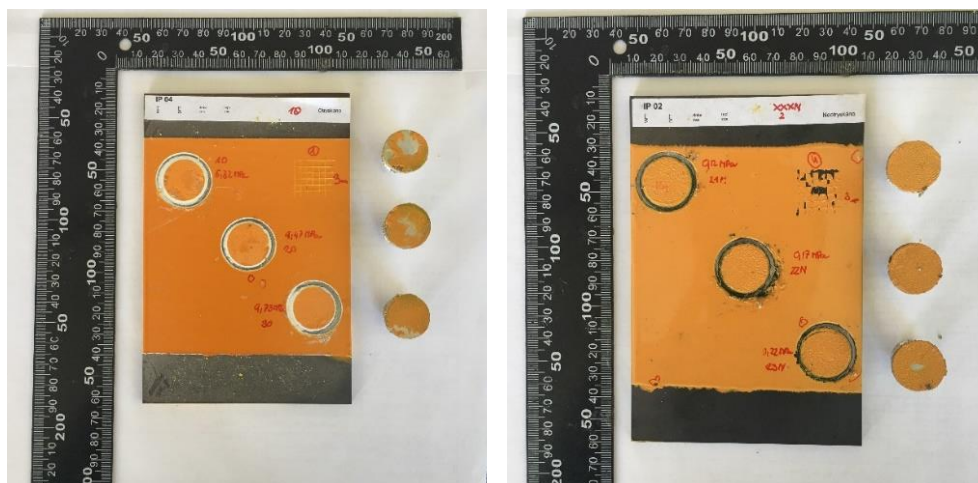
První třetina grafu na předchozí straně ukazuje ochlazování při prvním cyklu, druhý pokles je cyklus číslo 15, poslední pokles je cyklus číslo 35, kde byla teplota navýšena na 70°C. Z grafů je patrné, že u nátěrového systému IP04 nedochází k degradaci barevného odstínu. Systém IP02 1.série degradoval již po cyklu číslo 18, jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole. Tolerance jednotlivých složek gamutu byly stanoveny pozorováním etalonového vzorku a následných změn odstínu u prvních 5 cyklů. Zkoušky 2. série vykazovaly prakticky stejné výsledky jako u 1.série. Zbylé výsledky měření jsou uvedeny v přílohách.

6.8.4 Odtrhová zkouška přilnavosti

Zkouška přilnavosti nátěrové hmoty k substrátu byla provedena odtrhovou zkouškou dle ČSN EN ISO 4624:2004. Veškeré odtrhy byly realizovány na nátěrových hmotách nanesených na tryskané ocelové vzorky. Úprava povrchu tryskáním nejenže odstraňuje z povrchu veškeré nečistoty (korozní produkty, mastnotu atd.), ale přispívá i ke zvýšení přilnavosti organických nátěrových hmot k povrchu chráněné součásti. Odtrhová zkouška je definována nalepením zkušebního tělíska o průměru 20 mm zvoleným lepidlem na nátěr, a po jeho zaschnutí v odtržení tělíska odtrhoměrem. Během odtrhu je zaznamenáván nárůst tahového napětí, které dosáhne maximální hodnoty s odtrhem tělíska. Odtrhové napětí je následně spolu s typem lomu určující hodnotou k vyhodnocení zkoušky. Při odtržení může dojít k lomu adheznímu nebo koheznímu. Při testování přilnavosti termocitlivých nátěrových systémů bylo použito dvousložkové lepidlo 3M ScotchWeld SF100 a odtrhové zařízení Elcometer 510, s automatickým hydraulickým pohonem. Hodnoty odtrhových napětí pro jednotlivé systémy jsou uvedeny v tabulce (aritmetický průměr ze tří měření pro každý typ povlaku a předúpravu).

Tabulka 8: Výsledky odtrhové zkoušky 1. série (ČSN EN ISO 4624:2004)

Odrhové napětí vzorků 1. série [MPa]						
Systém + předúprava povrchu	IP02 NO	IP02 O	IP03 NO	IP03 O	IP04 NO	IP04 O
Odrhové napětí [MPa]	0,17	0,83	3,497	3,267	8,19	10,06
Typ lomu						
Systém + předúprava povrchu	IP02 NO	IP02 O	IP03 NO	IP03 O	IP04 NO	IP04 O
Typ lomu	100% B	100% B	100% A/B	10% Z/Y, 90% B	100% Z/Y	100% Z/Y

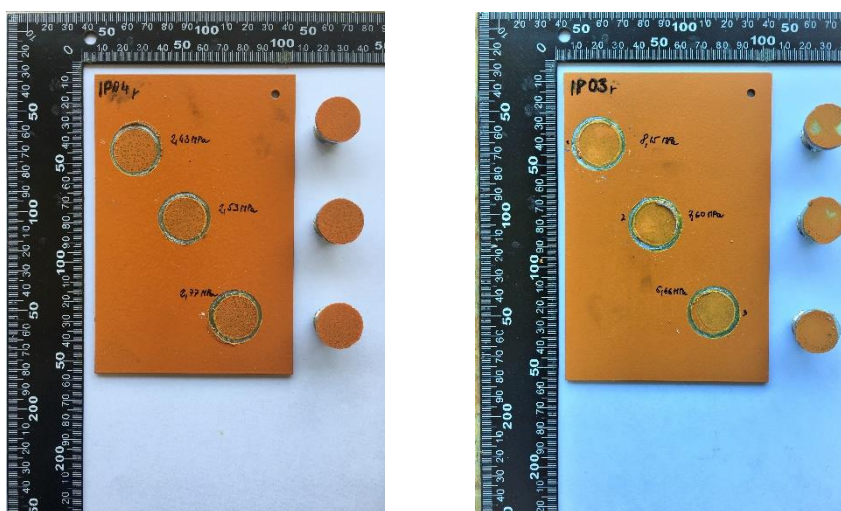


Obř. 33: Ukázka porovnání nátěrového systému IP04 1.série na otryskaném povrchu (vlevo) a IP02 na neotryskaném povrchu po odtržení zkušebního tělíska.

Z odtrhové zkoušky můžeme konstatovat, že nátěrový systém IP04 1. série jak na otryskaném, tak neotryskaném povrchu zkoušce vyhověl, zatímco zbylé dva materiály můžeme označit jako nevyhovující. U systému IP04 došlo vždy ke koheznímu lomu v lepidle, zatímco u zbývajících systémů IP03 a IP04 k lomům kohezního nebo adhezního typu v nátěru nebo mezi nátěrem a podkladem.

Tabulka 9: Výsledky odtrhové zkoušky 2. série (ČSN EN ISO 4624:2004)

Odtrhové napětí vzorků 2. série [MPa]		
Systém + předúprava povrchu	IP04 O	IP 03 O
Odtrhové napětí [MPa]	2,58	7,13
Typ lomu		
Systém + předúprava povrchu	IP04 O	IP03 O
Typ lomu	10 % Z/Y, 90 % B	15 % Z/Y, 85 % B



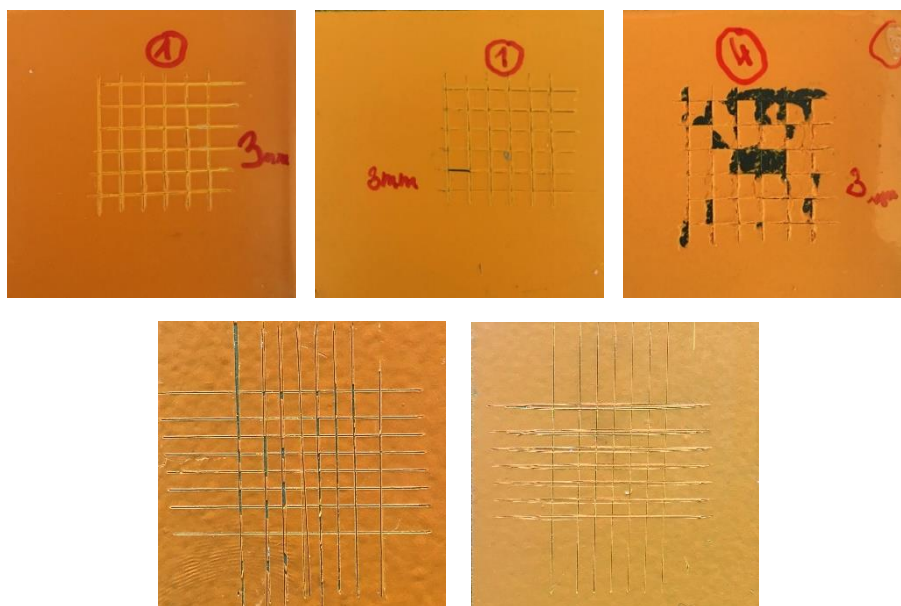
Obr. 34: Porovnání nátěrového systému IP04 2. série na otryskaném povrchu (vlevo) a IP03 stejné předúpravy povrchu po odtržení zkušebního tělíska.

Diskuse výsledků zkoušky přilnavosti

K odtržení tělíska došlo ve většině případů v nátěrové hmotě nebo na pomezí nátěrové hmoty a jejího podkladu. Jak je patrné z průměrných hodnot odtrhových napětí z tabulky 8 a 9, klesající tloušťka nátěru na vzorcích IP04 2. série zásadně snížila odtrhové napětí a změnila lomové chování. Toto je pravděpodobně způsobeno nedostatečnou tloušťkou polyuretanové vrstvy. Pro další testování by bylo vhodné systém nanášet v minimálních tloušťkách 150 μm suchého filmu. Systém IP03 naopak k povrchu díky tomuto způsobu nanášení přilnul výrazně lépe. Lze předpokládat, že oba tyto systémy budou v dostatečných tloušťkách vykazovat výrazně lepší chování než systémy 1. série, dispergované zubovým míchadlem.

6.8.5 Zkouška přilnavosti mřížkovým řezem

Zkouška přilnavosti mřížkovým řezem byla provedena dle normy ČSN ISO 2409 na všech zkoumaných termocitlivých nátěrových systémech. Zkouška spočívá ve vyříznutí mřížkového obrazce do vytvrzeného nátěru, kde rozestupy jednotlivých řezů odpovídají tloušťce nátěrové hmoty, a následném odtržení samolepící pásky z tohoto řezu. Rozestupy řezů pro všechny systémy byly 3 mm. Po odtržení se hodnotí poškození plochy v místě, kde se jednotlivé řezy kříží.



Obr. 35: Mřížková zkouška pro jednotlivé NS - zleva nahoře: 1.série IP04, IP03, IP02;
zleva dole: 2.série IP04, IP03.

Z obrázku 35 je patrné, že systémy IP04 a IP03 obou sérií vykazují po zkoušce jen malé poškození, odpovídající klasifikaci 1, tedy nepatrné poškození po celé délce řezu. Systém IP02 naopak vykazuje v některých částech řezu poškození odpovídající klasifikaci 4, tedy poškození několika čtverečků v řadě. Systémy IP04 a 03 zkoušce vyhověly, systém IP02 nikoliv.

6.8.6 Zkouška ohybem na kónickém trnu

Ohybová zkouška byla realizována na vzorcích typu Q-Panel pomocí kónického trnu dle normy ČSN EN ISO 6860:2006. Podstata zkoušky odolnosti nátěrového filmu při ohybu je schopnost nátěrového systému odolávat deformaci, nevytvářet trhlinky a neodlupovat se při dynamické deformaci. Při ohybu podkladu s nátěrem se zjišťuje nepřímo vláčnost filmu a jeho přilnavost. Zkouška byla provedena bez opatření povlaku podélným řezem.

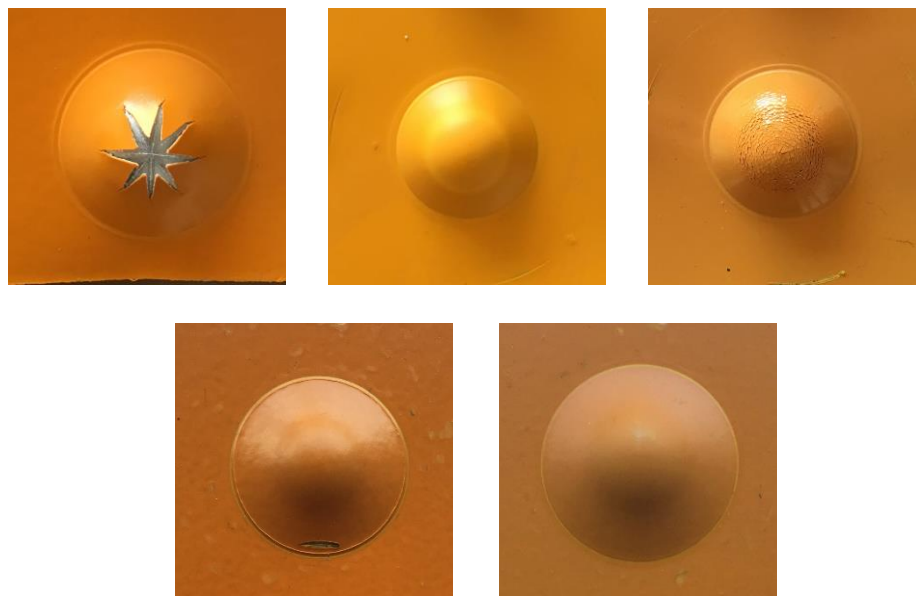


Obr. 36: Zkouška ohybem 1. série na kónickém trnu – zleva: IP04, IP03, IP02

Po provedení testu na 1. sérii se na povlaku IP03 nevyskytlo prakticky žádné poškození, namáhaná část pouze vykázala změnu odstínu barvy. Na povlaku IP04 se vyskytly podélné trhliny, povlak se místy odlupoval od podkladu. Systém IP02 vykázal poškození největší. Došlo nejen k narušení povlaku v místech ohybu, ale i v místech zkouškou nezatížených (postupující trhliny kvůli zbytkovému napětí, úplné odlupování substrátu od povrchu v místech podpor). Povlaky byly dále testovány ohybem na ohýbacích kleštích dle stejné normy. Tyto testy prokázaly naprosto stejné výsledky jako na kónickém trnu. Systémy 2. série vykazovaly po provedení zkoušky o poznání lepší výsledky. Testované hmoty IP04 a IP03 nevykazovaly po provedení zkoušky žádné poškození. U nátěrů nedocházelo k viditelnému odlupování od substrátu, praskání povlaku či porušení soudržnosti vlivem vyvolaného napětí. Na rozdíl od první série nedocházelo v místě ohybu ani k výrazné změně odstínu.

6.8.7 Zkouška hloubením – Cupping test

Zkouškou dle normy ČSN ISO EN 1520 se stanoví odolnost nátěrů vůči prasknutí nebo odloupení od kovového podkladu, při vystavení odstupňované deformaci hloubením. Erichsenova přístroje se původně používalo k určování tažnosti plechu. Principem přístroje je ocelová koule o průměru 20 mm, která se plynule vtlačuje do podkladového plechu s nátěrem. Nastává deformace – protahování. Při hloubení se plech a film neprotahuje plynule rovnoměrně, deformace je nejvyšší po okrajích vytlačené deformované polokoule. Po provedení zkoušky se povrch prohlíží zrakem nebo lupou zvětšující 10x, zda nedošlo k prasknutí nebo odloupení od podkladu. Podklad nesmí vykazovat známky prasknutí.



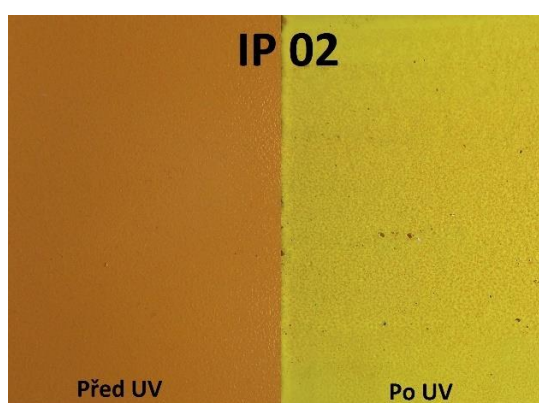
Obr. 37: Cupping test. Zleva nahoře: 1. Série – IP02, IP03 a IP04; Zleva dole: 2. série - IP04 a IP03

Z výše uvedených obrázků výsledku zkoušky je patrné, že odolnost proti vniknutí tělesa je u všech testovaných nátěrových hmot totožná s výsledky testu ohybu na kónickém trnu. Nátěrové hmoty IP02 a IP04 1. série vykazují výrazné trhliny a částečné odlupování povlaku od povrchu. V tomto případě je odlupování výraznější u nátěrového systému IP04. Nátěrový systém IP03 v místě největších napětí pouze změnil odstín barvy. U systémů 2. série došlo opět k výraznému zlepšení odolnosti a oba testované systémy jsou nepoškozené.

6.9 Zkoušky odolnosti vůči povětrnostním vlivům

6.9.1 Zrychlené zkoušky odolnosti vůči UV záření

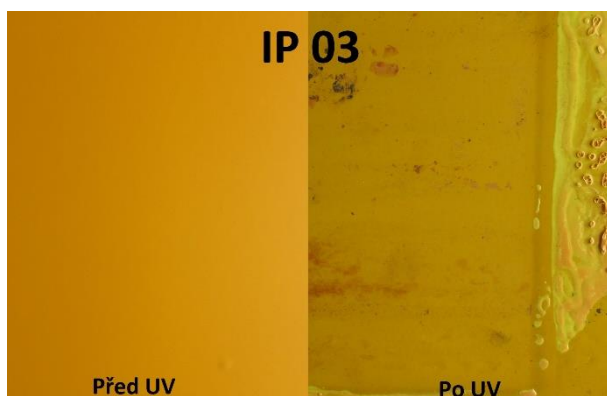
Expozice slunečnímu záření je základní příčina poškození organických povlaků, resp. nátěrových filmů fotodegradací, způsobující rozbití chemických vazeb polymeru, což vede k degradaci povrchových vrstev nátěru. Po degradaci vazeb polymeru jsou exponovány přímo pigmenty, které se mohou vymývat, sprašovat, reagovat s ostatními složkami povětrnosti a podobně. Organické polymery poškozují zejména oblast UV záření, zvláště pak kratší vlnové délky. Slunečnímu svitu odpovídá nejlépe filtrované zařízení xenonové lampy, zatímco spektrální distribuce uhlíkové obloukové lampy vykazuje vzhledem ke slunečnímu světlu velké odchylky. Spektrum zářiče se rtuťovými parami nevykazuje žádný souhlas se slunečním světlem. Hodnocení na povětrnosti je charakterizováno indexem DE, který označuje změnu barevnosti vystavených nátěrových hmot na povětrnosti od standardu. Zatěžování zkoumaných vzorků probíhalo jeden měsíc. Hodnoty změny barevnosti DE byly odečítány první týden a poté poslední den měsíce. Tento proces zkoušení měl za úkol zrychleně simulovat dva roky přímého vystavení nátěrové hmoty slunečnímu záření. Tato zkušební metoda byla provedena firmou VITON s.r.o. a vzhledem k časové náročnosti pouze na vzorcích 1.série. Na následujících obrázcích jsou diskutovány závěry QUV testu.



Obr. 38: Systém IP02 po UV zatížení. Na vzorku je patrná velká degradace termocitlivého pigmentu

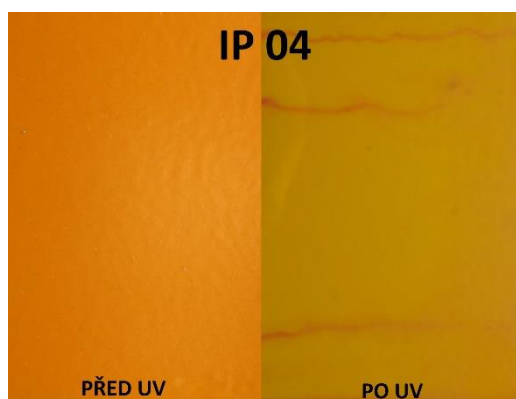
- a) **IP02:** Po týdnu byla průměrná barevná odchylka $DE=11,31$ a po měsíci $DE=23,0$. Po prvním týdnu došlo k výrazné odchylce od etalonového odstínu. Po měsíci

zatěžování ze systému termocitlivý pigment vymizel prakticky úplně a začalo docházet i k silné degradaci přídatného žlutého pigmentu.



Obr. 39: U formulace IP03 je velmi dobře patrná degradace celého systému.

b) **IP03:** Po týdnu byla průměrná barevná odchylka $DE=16,4$ a po měsíci $DE=13,7$. To znamená, že odstín se změnil výrazně v prvním týdnu a nadále již zůstává stejný. Ale i zde to svědčí buď o nevhodnosti systému nebo velké citlivosti termochromického pigmentu na UV záření.



Obr. 40: Systém IP04 z testované série degraduje nejméně. Citlivost TCH pigmentu na UV je ale prokazatelná.

c) **IP04:** Po týdnu byla průměrná barevná odchylka $DE=16,48$ a po měsíci $DE=18,995$. To znamená, že odstín se změnil výrazně v prvním týdnu a nadále se mění již málo. Ale i zde to svědčí buď o nevhodnosti systému nebo velké citlivosti termochromického pigmentu na UV záření.

Diskuse zrychlených zkoušek odolnosti vůči UV záření

Zkoušky v QUV komoře prokázaly, že systém IP02 není odolný ani vůči namáhání UV zářením. Zde je to pravděpodobně způsobené nevhodností systému, jelikož docházelo i k následnému výraznému zhoršení barevného odstínu u běžného pigmentu, který byl použit jako doplňkový, a u kterého je zaručená odolnost proti UV záření výrobcem. U zbylých dvou systémů IP03 a IP04 došlo po týdnu k výraznému zhoršení odstínu, ale po měsíci již změna nebyla tak markantní, jako u systému IP02. Dá se tedy předpokládat, že v těchto případech je to způsobeno citlivostí termochromického pigmentu na UV záření.

6.9.2 Zkoušky odolnosti proti UV záření v přirozených podmínkách

Nátěrové systémy obou testovaných sérií byly kromě zrychlených zkoušek stárnutí podrobeny i zkouškám v přirozeném venkovním prostředí. Podstatou této zkoušky bylo zjistit, jak se systém nátěrové hmoty bude chovat v přirozeném prostředí, kde kromě zatížení UV zářením bude muset čelit i ostatním povětrnostním podmínkám, kterými mohou být například déšť, sníh, mráz, vysoké teploty, ale i například znečištění ovzduší atp.



Obr. 41: Testované vzorky 1.série. Dokumentováno na začátku testování v lednu 2017.

Parametry experimentu byly nastaveny následovně. Všechny systémy 1. série byly na dobu 5 měsíců umístěny na zkušební konstrukci a umístěny do venkovního prostředí. Zkušební období bylo od ledna 2018 do května 2018. Systémy 2.série byly vzhledem k časovému odstupu dispergace tomuto testování podrobeny pouze na dva měsíce, a to v období květen 2018 až červen 2018. Každý týden byly zkoumány a dokumentovány veškeré vizuální změny.



Obr. 42: Testované vzorky 2.série před začátkem testování

Po prvních dvou týdnech testování vykazaly vzorky obou sérií stejný problém, jako při zrychlených zkouškách odolnosti vůči UV záření. Na vzorcích byla patrná vysoká citlivost na záření UV, prokazatelná silnou degradací termocitlivého pigmentu odkrytím žlutého odstínu. Degradace srovnatelná se zrychlenými zkouškami se projevila přibližně po třech měsících testování ve venkovních podmínkách u první série, po dvou měsících u série druhé. Tento fakt ukazuje na velkou citlivost termocitlivého pigmentu na UV záření a jeho nevhodnost pro použití v místech, kde může být tomuto záření vystaven. Možné řešení tohoto problému může být buď svrchní úprava filmu další vrstvou čirého nátěru s UV filtrem, nebo úprava progresivnější metodou modifikací povrchových vlastností plazmatem. Na následujících obrázcích je zobrazeno chování nátěrových hmot po testování. Zbývající detailnější obrázky chování nátěrových hmot jsou uvedeny v přílohách.



Obr. 43: Nahoře: systémy 1. série po půlročním testování s patrnou degradací odstínu termocitlivého pigmentu odkrytím žlutého pigmentovaného základního nátěru. Dole jsou umístěny systémy 2. série před testováním.



Obr. 44: Systémy 2. série po dvouměsíčním testování. Zleva: systém IP04, IP03 a IP04 s větší tloušťkou.

6.9.3 Zrychlené korozní zkoušky v neutrální solné mlze

Zkouška v umělé atmosféře mlhy NaCl v solné komoře dle normy ČSN EN ISO 9227; ČSN EN 671-1 (NSS – neutral salt spray), simuluje prostředí se zvýšeným obsahem chloridů – přímořské oblasti či zimní prostředí zasolených silnic. Zkouška využívá urychlujícího korozního vlivu NaCl, zvýšené vlhkosti vzduchu a zvýšené teploty. Provádí se v komoře z nekorodujícího materiálu, přičemž rozprašovaná mlha se musí udržet do následujícího rozstříkání, nesmí docházet ke stékání roztoku přímo na vzorky.

Zkouška se užívá k exponování vzorků v atmosféře obsahující korozivně působící NaCl se 100 % relativní vlhkostí vzduchu pro zjištění odolnosti vůči korozivním vlivům NaCl a působení vody.

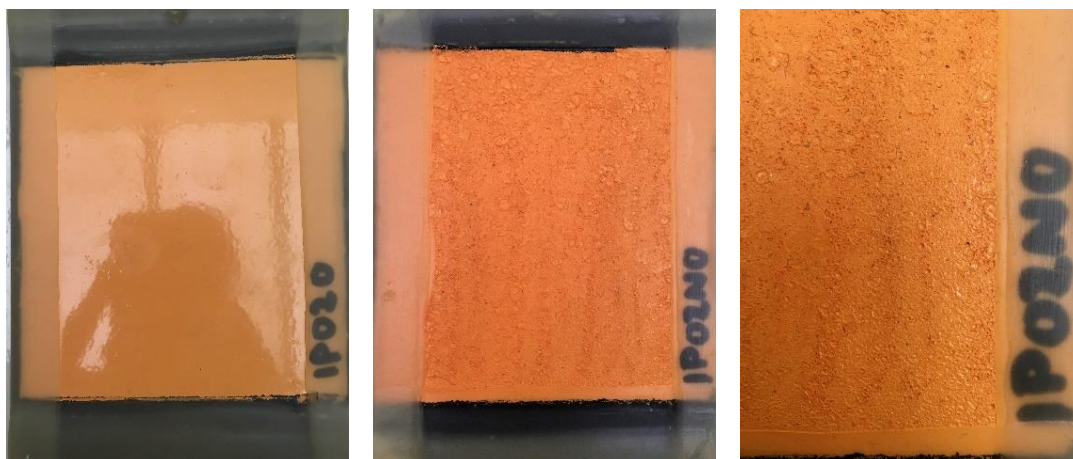
Exponování vzorků a nastavení parametrů solné komory proběhlo v souladu s normou. V komoře byl použit 5 % NaCl roztok v demineralizované vodě. Elektrická vodivost demineralizované vody dosahovala v průběhu testu průměrné hodnoty 23 μS , hodnota pH připraveného roztoku byla zařízením Termo Scientific Orion Star A211 stanovena na hodnotu 6,65. Průměrná rychlost shromažďování mlhy z vodorovné sběrné plochy byla v průběhu testu 1,63 ml·h⁻¹. Při zkoušce solnou mlhou byly exponovány vždy dva vzorky stejného systému a různé předúpravy. Sledovanými parametry byly stupně puchýřkování, praskání a odlupování. Zkouška proběhla v zařízení Liebisch S 400 M-TR. Všechny vzorky byly zatěžovány po dobu 168 h.



Obr. 45: Korozní komora Liebisch S 400 M-TR [42]

Korozní odolnost systémů 1. série

Protokol o zkoušce v NNS dle ČSN EN ISO 4628-(2,3,4,8) č. 1					
Datum	Anomálie	Osvětlení [lx]	Nátěrový systém	Předúprava povrchu – tryskáno	Rozměr vzorku [mm]
30.3.2018	Žádná	500	IP02 O, série 1	Hnědý korund	100 x 150 x 4



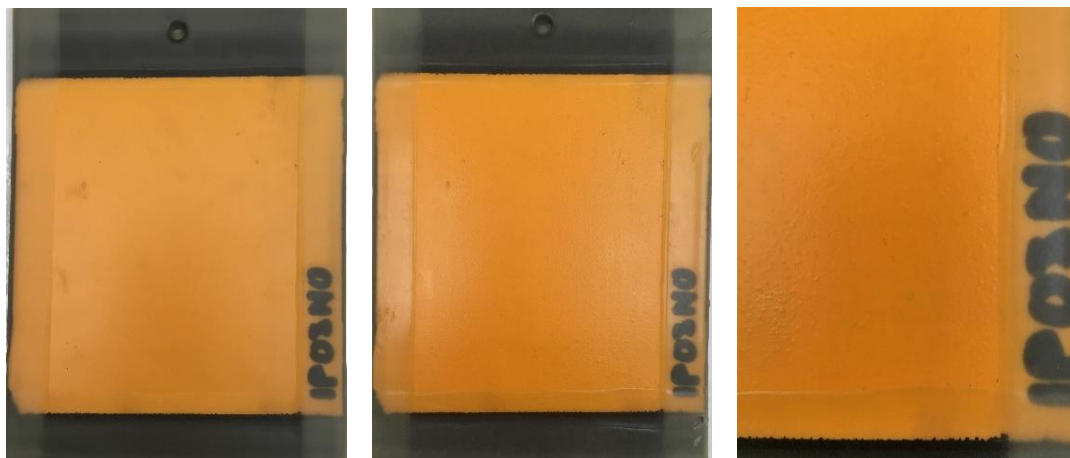
Obr. 46: Systém IP02 před testováním (vlevo) a po ukončení testů po 168 h.

Prorezavění	Koroze	Podkorodování	Praskání	Puchýřkování	Doba expozice
Ri 0	Žádná	1,2	Hustota 5	0-0 (S3)	168 h

Diskuse k protokolu č.1

V první fázi korozních zkoušek systému IP02 první série (expozice 24 hod.) se začalo objevovat praskání nátěru a výrazná změna vzhledu povrchové vrstvy (zmatnění). Po 168 hodinách expozice začal nátěrový systém vykazovat již velké praskání hodnotitelné dle ČSN EN ISO 4628-4 stupněm hustoty 5. Nátěrový systém nebyl nijak zasažen celoplošným puchýřkováním, což vykazuje dobré hodnoty nátěrového systému proti propustnosti nežádoucích látek, avšak jeho povrchová vrstva vykazovala silný stupeň degradace, což ukazuje na nevhodnost použití tohoto systému v silně korozním prostředí.

Protokol o zkoušce v NNS dle ČSN EN ISO 4628-(2,3,4,8) č. 2					
Datum	Anomálie	Osvětlení [lx]	Nátěrový systém	Předúprava povrchu – tryskáno	Rozměr vzorku [mm]
30.3.2018	Žádná	500	IP03 O, série 1	Hnědý korund	100 x 150 x 4



Obr. 47: Systém IP03 před testováním (vlevo) a po ukončení testů po 168 h.

Prorezavění	Koroze	Podkorodování	Praskání	Puchýřkování	Doba expozice
Ri 0	Žádná	1	Hustota 0	1-1 (S3)	168 h

Diskuse k protokolu č.2

V první fázi korozních zkoušek systému IP03 první série (expozice 24 hod.) se začalo objevovat výrazné puchýřkování, ne však velkých rozměrů. Po 168 hodinách expozice zůstaly výše zmíněné hodnoty ustálené. I tento nátěrový systém nebyl nijak zasažen celoplošným puchýřkováním, což vykazuje dobré hodnoty nátěrového systému proti propustnosti nežádoucích látek.

Protokol o zkoušce v NNS dle ČSN EN ISO 4628-(2,3,4,8) č. 3					
Datum	Anomálie	Osvětlení [lx]	Nátěrový systém	Předúprava povrchu – tryskáno	Rozměr vzorku [mm]
30.3.2018	Žádná	500	IP04 O, série 1	Hnědý korund	100 x 150 x 4



Obr. 48: Systém IP04 před testováním (vlevo) a po ukončení zkoušek po 168 h.

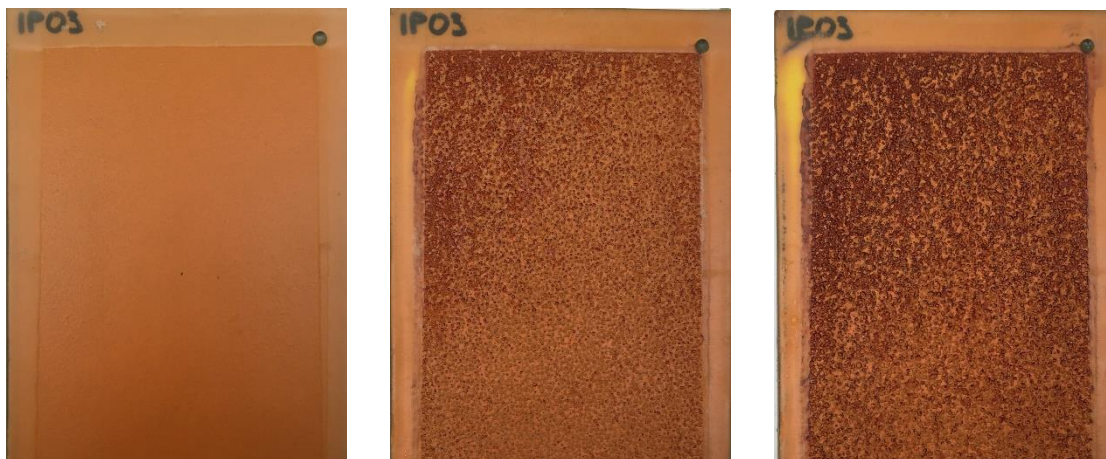
Prorezavění	Koroze	Podkorodování	Praskání	Puchýřkování	Doba expozice
Ri 0	Žádná	0	Hustota 0	0-0 (S3)	168 h

Diskuse k protokolu č.3

V první fázi korozních zkoušek hmoty IP04 první série (expozice 24 hod.) nevykazoval systém s dvousložkovou polyuretanovou bází žádné viditelné změny. Po 168 hodinách zatěžování taktéž nedochází k žádným viditelným systémům degradace a můžeme konstatovat vysokou odolnost této povrchové úpravy vůči koroznímu prostředí.

Korozní odolnost systémů 2.série

Protokol o zkoušce v NNS dle ČSN EN ISO 4628-(2,3,4,8) č. 4					
Datum	Anomálie	Osvětlení [lx]	Nátěrový systém	Předúprava povrchu – tryskáno	Rozměr vzorku [mm]
5.6.2018	Žádná	500	IP03 O, série 2	Hnědý korund	100 x 150 x 4



Obr. 49: Systém IP03 před testováním (vlevo), po 120 h a po ukončení zkoušek po 168 h.

Prorezavění	Koroze	Podkorodování	Praskání	Puchýřkování	Doba expozice
Ri 5	Žádná	3,4	Hustota 2	5-5 (S3)	168 h

Diskuse k protokolu č.4

V první fázi korozních zkoušek nátěrové hmoty IP03 druhé série (expozice 24 hod.) vykazoval systém výrazné známky podkorodování a praskání. Po 120 h expozice došlo k puchýřkování a částečnému odlupování vrchní vrstvy nátěru. Po 168 h byl již systém výrazně prorezavělý, hodnotitelný stupněm Ri 5. Tato velmi výrazná degradace byla pravděpodobně způsobena nedostatečnou tloušťkou filmu, který byl velmi silně porézni a mohli skrz něj pronikat korozní činitele.

Protokol o zkoušce v NNS dle ČSN EN ISO 4628-(2,3,4,8) č. 5					
Datum	Anomálie	Osvětlení [lx]	Nátěrový systém	Předúprava povrchu – tryskáno	Rozměr vzorku [mm]
5.6.2018	Žádná	500	IP04 O, série 2	Hnědý korund	100 x 150 x 4



Obr. 50: Systém IP03 před testováním (vlevo), po 120 h a po ukončení zkoušek po 168 h.

Prorezavění	Koroze	Podkorodování	Praskání	Puchýřkování	Doba expozice
Ri 0	Žádná	0	Hustota 0	0-0 (S3)	168 h

Diskuse k protokolu č.5

V první fázi korozních zkoušek hmoty IP04 druhé série (expoziční 24 hod.) nevykazoval systém žádné viditelné změny. Po 168 h zatěžování taktéž nedochází k žádným viditelným systémům degradace a opět můžeme konstatovat vysokou odolnost této povrchové úpravy vůči koroznímu prostředí.

Závěr korozních zkoušek a porovnání 1. a 2. série

Z výše uvedených korozních zkoušek vyplývá následující: Systém IP04 první i druhé série po 168 h zatěžování v neutrální solné mlze nejeví žádné známky poškození, a to jak po stránce mechanického poškození, tak po stránce vzhledové. U nátěrového systému s označením IP03 první série se po 168 h expozice objevily pouze malé puchýřky hodnotitelné kategorií 1-1 (S3). Podkorodování, praskání nebo odlupování se u tohoto typu nátěru neprojevilo ani u jedné z testovaných předúprav. Systém stejné báze druhé série vykázal po 168 h výrazně horší chování, způsobené primárně malou tloušťkou naneseného filmu a jeho velkou porezitou. Ta zapříčinila kondenzaci vody a chloridu sodného (NaCl) pod filmem, kde vytvořila výrazné korozní produkty, které se dostaly na povrch.

Nejhorší výsledek pak měl systém IP02. U tohoto nátěru došlo k silné degradaci již po prvních 2 hodinách zatěžování. Puchýřky přes silné popraskání a degradaci povrchové vrstvy nebyly viditelné. Praskání a celková degradace nátěru se dá dle normy ČSN EN ISO 4628-4, diskutující praskání, ohodnotit číslem 5. Nátěr tohoto typu je krajně nevhodný pro jakékoliv korozní prostředí.

7. Technicko - ekonomické zhodnocení

Dnešní doba je z hlediska povrchových úprav závislá nejen na kvalitativních a vzhledových vlastnostech, ale i na cenové politice. V posledních letech je znám trend snižování nákladů a šetření, což se ovšem většinou odráží na kvalitě a životnosti upravené součásti.

Nebude tomu jinak ani u takto specifických protikorozních ochran s přidanou hodnotou, jakou je možnost indikace teplotní změny součásti změnou odstínu barvy. Náklady ušetřené například při nedokonalé předúpravě mohou mít za následek zhoršení životnosti, a následná oprava či renovace může snadno vyrovnat, nebo dokonce překročit, vstupní náklady. Důležitou roli v technicko – ekonomickém rozhodování hraje především požadovaná životnost konstrukce a funkčnost daného systému, ať už při výběru základního materiálu, nebo zvolené protikorozní ochraně. Duplexní systémy jsou

z ekonomického hlediska poměrně nákladné zejména v prvotní fázi, ale je zapotřebí brát v úvahu celkovou životnost chráněné konstrukce, která se může pohybovat dle způsobu expozice i okolo 10 let.

Ekonomické parametry při tvorbě termocitlivého nátěrového systému bude tedy nejvíce ovlivňovat:

- cena termochromického pigmentu,
- cena nátěrového systému,
- použitý tryskáč a jeho spotřeba,
- spotřeba stlačeného vzduchu při tryskání a nanášení povlaku,
- druh tryskáčského zařízení,
- mzdové a režijní náklady s tryskáním spojené.

Pro zjednodušený náhled na ekonomickou náročnost termocitlivého nátěrového systému bude brána v potaz plocha 1 m² jak pro spotřebu tryskáčského prostředku, tak pro spotřebu nátěrových hmot. V nákladech na tryskáčský prostředek je zahrnuta i takzvaná recyklace tryskáčského média, kdy projde zrno přes trysku vícekrát. Tato hodnota je pro umělý hnědý korund 5x.

Tabulka 10: Náklady tryskáčského prostředku v balení 25Kg, ceny jsou uvedeny bez DPH

Tryskáčský prostředek	Cena za 1 Kg [Kč]	Spotřeba na 1 m ² [Kg]	Výsledná cena za 1 m ² [Kč]
Hnědý korund umělý	36,3	2,6	94

Tabulka 11: Náklady lehkého tryskání, Ceny jsou uvedeny bez DPH

Předúprava povrchu	Spotřeba vzduchu [m ³ /hod]	Výkon tryskání [m ² /hod]	Výsledná cena lehkého tryskání [Kč]
Hnědý korund umělý	250	50	110

Náklady lehkého tryskání zahrnují:

- spotřebu stlačeného vzduchu z kompresoru,
- mzdové náklady,
- režijní náklady.

Další významný parametr rozhodující o ekonomické náročnosti je tvarová složitost tryskaného výrobku. Pro hodnocení v experimentální části bylo uvažováno tryskání rovinné plochy.

Náklady lehkého tryskání umělým hnědým korundem byly stanoveny na **204 Kč bez DPH/m²**

Náklady na nátěrový systém

Tabulka 12: Náklady na jednotlivé položky zkoumaných nátěrových hmot. Ceny jsou uvedeny bez DPH.

Položka NH	Cena za 1 Kg [Kč]	Spotřeba na 1 m² [Kg]	Výsledná cena za m² [Kč]
Termocitlivý pigment	13000	0,012	156
Žlutá pasta + Setalux 1182	150	0,24	36
Žlutá pasta + Viton HAE 30	200	0,23	46
Žlutá pasta + Viton PD 53	220	0,2	44
Tužidlo Viton PH 93	263	0,062	16,3
Ředidlo	90,9	0,22	20

Mzdové náklady související se zhotovením nátěrového systému = **70 Kč/1 m²**

Výsledné ceny za termocitlivé nátěrové hmoty

- Náklady nátěrového systému IP02: **278,3 Kč**
- Náklady nátěrového systému IP03: **288,3 Kč**
- Náklady nátěrového systému IP04: **306,3 Kč**

8. Závěr

Z výsledků provedených experimentů a zkoušek uvedených v této diplomové práci lze konstatovat, že její cíle byly splněny. Pro využití těchto nátěrových hmot jako bezpečnostního prvku byly navrženy a testovány celkově 3 nátěrové systémy ve 2 sériích, u kterých byl vždy použitý stejný termocitlivý pigment řady TH50 s teplotou přechodu barevného odstínu pohybující se v rozmezí 50 – 60 °C a rozdílné základní pigmentované nátěrové hmoty, do kterých byl tento pigment dispergován. První z těchto systémů (IP02) sloužil jako referenční, který byl zkoumán v mé bakalářské práci „Interaktivní nátěrové systémy“, kde byly prokázány jeho nevyhovující vzhledové a mechanické vlastnosti a jeho náchylnost k degradaci při cyklických teplotních zkouškách. Zbylé dva systémy IP03 a IP04 byly experimentálně navrženy pro zlepšení těchto vlastností a možnosti aplikace nátěrových hmot v reálném prostředí, kde hrozí možnost akutního poranění od teplotně ovlivněných součástí nebo poškození teplotně namáhané strojní součásti. Barevné schéma chování systému bylo navrženo tak, aby odpovídalo chování termocitlivého pigmentu a aby v nebezpečí působilo jako výrazný varovný prvek. Při pokojové teplotě má systém sytě oranžovou barvu, při zahřátí na teplotu přechodu se termocitlivý pigment odbarvil a odkryl výrazný žlutý odstín. Dále byly zkoumány možnosti dispergace termocitlivého pigmentu do základních nátěrových systémů. Bylo zjištěno, že prodlužování doby dispergace při nízké obvodové rychlosti zubového míchadla je neefektivní a nedochází k uspokojivým výsledkům. Naopak se podařilo stanovit podmínky potřebné k urychlení procesu dispergace s velmi dobrými výsledky na homogenitu suspenze a její funkční vlastnosti u systému IP03 a IP04. Bylo zjištěno, že dispergací pomocí míchadla rotor – stator, při obvodové rychlosti míchadla $> 17 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ lze zkrátit čas potřebný pro dispergaci směsi o objemu $\sim 300 \text{ ml}$ na $< 2 \text{ min}$. Tento fakt má význam nejen z časového a ekonomického hlediska, ale i technologický v případě dispergace takto degradabilních materiálů za zvýšených teplot. U systému IP02 došlo naopak kvůli tomuto způsobu dispergace k jeho úplnému zničení z důvodu přehřátí. Z hlediska funkčních vlastností byla u těchto nátěrových hmot primárně zkoumána resistance celého systému při cyklických teplotních zkouškách a jejich barevná stálost. Oba nově navržené systémy, dispergované zubovým míchadlem, vykázaly velice dobrou

odolnost vůči cyklickému teplotnímu zatížení, kdy systém IP03 začal degradovat okolo 30. cyklu a systém IP04 až okolo 60. cyklu. Referenční systém pouze prokázal své špatné vlastnosti, kdy k jeho úplné degradaci došlo již při 18. ohřívacím cyklu. Odolnost vůči cyklickému zahřívání byla markantně vylepšena dispergací pomocí míchadla rotor-stator, kdy u systému IP04 začalo k pozvolné degradaci docházet až v okolí 80. cyklu a u systému IP03 kolem cyklu 60. Barevná stálost byla pomocí spektrofotometru prokázána u obou nově navržených nátěrových hmot a to až do cyklu, kdy začalo docházet k jejich degradaci.

Z hlediska mechanických vlastností nátěru bylo zjištěno, že hlavní vliv na jeho pevnost a houževnatost má primárně tloušťka suchého filmu a sekundárně metoda dispergace. Nově navržené systémy vykazovaly o mnoho lepší mechanickou odolnost než systém referenční. Zvláště pak po dispergaci míchadlem rotor - stator došlo k výraznému zlepšení mechanické odolnosti u systému IP03. IP04 vykázal vlastnosti horší, které byly způsobené nedostačující tloušťkou filmu a jeho provzdušněním. Lze konstatovat, že při doporučené tloušťce, překračující 150 μm suchého filmu, by jeho vlastnosti byly taktéž výrazně lepší.

Zkoušky odolnosti proti povětrnostním vlivům prokázaly dvě skutečnosti. První je velmi dobrá odolnost systému IP04 a IP03 vůči korozním vlivům. Polyuretanový systém IP04 nevykazoval v žádné z provedených zkoušek jediný náznak korozního napadení. U systému IP03 se vyskytl problém v druhé sérii testování, kdy byla nanesena malá tloušťka filmu a s tím spojená jeho vysoká porezita, která napomohla k silnému prorezavění. Systém IP02 pouze opět prokázal svou nevhodnost a degradoval již v první sérii zkoušek. I v tomto případě je tedy nutné doporučit minimální tloušťku suchého filmu pohybující se okolo hodnoty 150 μm . Druhá skutečnost je velká náchylnost termocitlivého pigmentu na UV záření. Tento fakt prokázaly jak zrychlené zkoušky v UV komoře, tak zkoušky v přirozených podmínkách, kdy došlo k silné degradaci již po prvním týdnu testování. Pro další testování těchto systémů by bylo vhodné nátěrový systém upravit buď ochranným filmem obsahujícím UV filtry, nebo ožehem progresivnější metodou modifikací povrchových vlastností plazmatem.

9. Seznam použitých zdrojů

- [1] MONTEMOR, M.F. Functional and smart coatings for corrosion protection: A review of recent advances. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2014, vol. 258, s. 17-37 [cit. 2018-04-01]. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2014.06.031. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0257897214005428>
- [2] CARMONA-QUIROGA, Effectiveness of antigraffiti treatments in connection with penetration depth determined by different techniques: A review of recent advances. *Journal of Cultural Heritage* [online]. 2010, vol. 11, issue 3, s. 297-303 [cit. 2018-04-01]. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1296207410000269>
- [3] KUBÁTOVÁ, Hana. *Nátěry kovů*. 1. vyd. Praha: Grada, 2000, 101 s. Profi & hobby. ISBN 80-247-9035-1
- [4] KREIBICH, Viktor a Karel HOCH. *Koroze a Technologie Povrchových úprav* 1. vyd. Praha: Ediční středisko Českého vysokého učení technického, 1984. 270 s.
- [5] ČSN EN ISO 4618:2007. *Nátěrové hmoty – Termíny a definice*. 2007. Praha: ÚNMZ
- [6] ČSN EN ISO 12944-2:2007. *Nátěrové hmoty – Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy – Část 2: Klasifikace vnějšího prostředí*. 2007. Praha: ÚNMZ
- [7] SEDLÁČEK, Vladimír. *Povrchy a povlaky kovů*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1992, 176 s. ISBN 80-01-00799-5.
- [8] ČESKÁ REPUBLIKA – ŘEDITELSTVÍ VODNÍCH CEST ČR. *Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy*. 2013. In: TKP ŘVC ČR [online]. [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: http://www.rvccr.cz/public/data/downloads/dokumenty/TKPProtikorozn%C3%AD_ochrana_ocelov%C3%BDch_konstrukc%C3%AD.pdf
- [9] KUKLÍK, Vlastimil a Jan KUDLÁČEK. *Žárové zinkování*. 1. vyd. Havlíčkův Brod: Asociace českých a slovenských zinkoven, 2014, 199 s. ISBN 978-80-905298-2-3

- [10] KREIBICH, Viktor. Povrchové úpravy 1. vyd. Praha: Ediční středisko Českého vysokého učení technického, 1981. 149 s
- [11] ČVUT V PRAZE. Studijní text – Organické povlaky [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <http://martin.feld.cvut.cz/~kudlacek/ETP/opovlaky.pdf>
- [12] KALEDOVÁ, Andrea a Petr KALENDA. Technologie povrchových úprav: Pojiva, rozpouštědla a aditiva pro výrobu nátěrových hmot. 1. vyd. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2004. 328 s. ISBN 80-7194-691-5.
- [13] UNIVERZITA JANA EVANGELISTY PURKYNĚ V ÚSTÍ NAD LABEM. Studijní text – Alkydové pryskyřice [online]. [cit. 2018-05-8]. Dostupné z: <http://chemistry.ujep.cz/userfiles/files/POLYESTERY.pdf>
- [14] LIDAŘÍK, M. Epoxidové pryskyřice. Praha: SNTL. 1983
- [15] MACEK, Karel, Petr ZUNA a kol. Nauka o materiálu. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999.
- [16] DUCHÁČEK, Vratislav. Polymery. Výroba, vlastnosti, zpracování, použití. 1. vyd. VŠCHT Praha, 1995. 354 s. ISBN 95-166-34/95.
- [17] ZDENĚK, Tůma. Stav a trendy vývoje průmyslových NH. In: Časopis Transfer. VÝZKUMNÝ A ZKUŠEBNÍ LETECKÝ ÚSTAV, A.S., 2014. Dostupné také z: <http://www.vzlu.cz/download.php?file=902>
- [18] RIEGER, František, Václav NOVÁK a Tomáš JIROUT. Hydromechanické procesy II. Vyd. 1. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2005, 167 s. ISBN 80-01-03302-3.
- [19] JIROUT, Tomáš. Míchání v kapalném prostředí [online]. [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: <http://users.fs.cvut.cz/tomas.jirout/vyuka/hmz/hmz9.pdf>
- [20] TS-tech. Dopravníkové šneky a míchadla [online]. [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: <https://www.ts-tech.cz/dopravnikove-sneky-michadla.html>
- [21] MERCI. Kotvové míchadlo R 1331 [online]. [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: <http://www.mercishop.cz/zbozi/z1221002022400-kotvove-michadlo-r-1331/>
- [22] UJEP FZP. Studijní text – Míchání [online]. [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: http://fzp.ujep.cz/ktv/uc_texty/pt3/9%20Michani.pdf

- [23] IKA. Zkušební a vývojová zařízení [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: http://www.neotec.cz/ika/download/201101_IKA_Pilots_IWS_CZ.pdf
- [24] Laboratory-equipment – T25 Ultra TURRAX dispenser [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://www.laboratory-equipment.com/dispersers/t-25-digital-ultra-turrax-disperser-ika.php>
- [25] ULTRAZVUK. Ultrazvukové homogenizátory [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <http://www.ultrazvuk-sro.cz/produkty/ultrazvuk-laboratoremedicinu/uz-homogenizatory>
- [26] VERKON – Ultrazvukový homogenizátor [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://www.verkon.cz/homogenizator-ultrazvukovy-bandelin-sonopuls/>
- [27] ABRAMOVICH, B.G. a V.F. KARTAVCEV. *Tsvetovyye indikatory temperatury*. 1. Moskva: Energie, 1978.
- [28] Reversible thermochromic [online]. [cit. 2018-03-28]. from: <http://sky-rad.com/reversible-thermochromic>
- [29] Interaktivní nátěrové systémy [online]. [cit. 2015-03-08]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: http://www.povrchari.cz/kestazeni/201404_povrchari.pdf
- [30] HELLER, J., KUDLÁČEK Jan a TATÍČKOVÁ, Zuzana, ed. Interactive thermosensitive painting system for safety purposes. In: *Technological Forum 2018*. Praha: CTU in Prague, 2018, s. 62-68. ISBN 978-80-87583-26-5.
- [31] VIKOVÁ, M. Chromismus a jeho aplikace II. In: *Textilní fyzika* [online]. [cit. 2018-03-05]. Dostupné z: <http://www.ft.tul.cz/depart/ktc/>
- [32] VIKOVÁ, M., a kol.: *Textilní senzory, Průběžná zpráva k dílčímu projektu Speciální textilie*. Liberec: Technická Univerzita v Liberci, 2004
- [33] KOHOUT, Václav. *Fyzika kolem nás: Historie a elementární základy teorie barev III.* [online]. Plzeň: Nakladatelství Fraus, s.r.o. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: http://sf.zcu.cz/data/2013/sf2013_02_8.pdf
- [34] GTS-Colour measurement (CIELAB). [online]. [cit. 2018-03-06]. Dostupné z: <https://www.glass-ts.com/colour-measurement-cielab>

- [35] Vik, Michal. Měření barevnosti a vzhledu v průmyslové praxi. První. Liberec: VÚTS, a.s., 2015. ISBN 978-80-87184-64-6.
- [36] InkjetMall – Blog_L*a*b*. [online]. [cit. 2018-03-06]. Dostupné z: <https://inkjetmall.com/blog/hhotd/lab-color-space/>
- [37] LI, Qiang, Desong FAN a Yimin XUAN. Thermal radiative properties of plasma sprayed thermochromic coating. *Journal of Alloys and Compounds* [online]. 15 January 2014, 516-522 [cit. 2018-03-27]. ISSN 0925-8388. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925838813019890?via%3Dihub#!>
- [38] *SpaceFlight Insider: SpaceX Dragon* [online]. [cit. 2018-07-15]. Dostupné z: <http://www.spaceflightinsider.com/organizations/space-exploration-technologies/spacex-crew-dragon-test-flights-delayed/>
- [39] KANTOLA, Rosita M., Hemmo KURUNMÄKI, Pekka K. VALLITTU a Lippo V.J. LASSILA. *Use of thermochromic pigment in maxillofacial silicone elastomer*. DOI: 10.1016/S0022-3913(13)60382-0. ISBN 0022-3913. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022391313603820>
- [40] KARLESSI, T., M. SANTAMOURIS, K. APOSTOLAKIS, A. SYNNEFA a I. LIVADA. *Development and testing of thermochromic coatings for buildings and urban structures*. DOI: 10.1016/j.solener.2008.10.005. ISBN 0038-092X. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038092X08002569>
- [41] *Proinex Instruments: Natahovací pravítko BAKER VF2145* [online]. Ostrava – Kunčičky, 2018 [cit. 2018-07-12]. Dostupné z: <http://www.proinex.cz/cs/169-natahovaci-pravitko-baker.html>
- [42] *MM Průmyslové spektrum: Korozní komory* [online]. Praha: MM publishing, 2015 [cit. 2018-07-10]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/korozni-komory.html>
- [43] Thermochromic liquid crystals [online]. [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://www.rit-mcsl.org/fairchild/WhyIsColor/Questions/2-5.html>

10. Seznam obrázků

Obr. 1: Duplexní/Triplexní nátěrové systémy.

Obr. 2: Vlevo – axiální proudění, uprostřed – radiální proudění, vpravo – tangenciální [19]

Obr. 3: Pomaloběžné míchadlo šroubové (vlevo) a kotvové (vpravo) [20][21]

Obr. 4: Zubové míchadlo (vlevo), turbinové míchadlo (uprostřed) a vrtulové míchadlo (vpravo) [22]

Obr. 5: Míchadlo typu rotor-stator výrobce IKA a podstata rozptylu částic do matrice. [24]

Obr. 6: Ultrazvukový homogenizátor výrobce IKA [26]

Obr. 7: Chování termocitlivého pigmentu při zvyšování teploty. Vlevo pokojová teplota, vpravo zvýšená teplota nad teplotu přechodu chemické sloučeniny.

Obr. 8: Obr. 3 CIE XYZ základní chromatický diagram [34]

Obr. 9: Model barevného prostoru CIE $L^* a^* b^*$ [36]

Obr. 10: Kosmická loď Dragon společnosti SpaceX s plasmou naneseným termocitlivým povlakem. [38]

Obr. 11: Čelistní implantáty ze silikonového elastomeru s termochromickou úpravou. [39]

Obr. 12: Ukázka termocitlivého povlaku naneseného na skleněných plochách nákupního centra a jejich chování v různých denních dobách. [40]

Obr. 13: Mikroskopický snímek použitého pigmentu, na kterém je vidět barva, rozložení a tvar částic.

Obr. 14: Mikroskopický snímek pigmentu, na kterém je vidět rozmanitost velikostí jednotlivých částic. Průměrná velikost se pohybuje okolo 7 μm , udávaných jako standard.

Obr. 15: Prvotní formulace nátěrové hmoty, pigmentováno 5 % žlutého pigmentu, systém IP02.

Obr. 16: Prvotní formulace nátěrové hmoty, pigmentováno 10 % žlutého pigmentu, systém IP02.

Obr. 17: Prvotní formulace nátěrové hmoty, pigmentováno 5% žlutého pigmentu, systém IP03.

Obr. 18: Prvotní formulace nátěrové hmoty, pigmentováno 10 % žlutého pigmentu, systém IP03.

Obr. 19: Prvotní formulace nátěrové hmoty, pigmentováno 5% žlutého pigmentu, systém IP04.

Obr. 20: Prvotní formulace nátěrové hmoty, pigmentováno 10% žlutého pigmentu, systém IP04.

Obr. 21: Prvotní formulace nátěrové hmoty, pigmentováno 15% žlutého pigmentu, systém IP04.

Obr. 22: Prvotní formulace nátěrové hmoty, pigmentováno 25% žlutého pigmentu, systém IP04.

Obr. 23: Tryskací zařízení S.A.F. Praha a ukázka otryskaného vzorku z konstrukční oceli S235.

Obr. 24: Zleva: proces navažování pigmentu do základního systému a hotové vzorky po procesu dispergace. Na systému IP02 je patrný rozdílný barevný odstín, který je zapříčiněn špatnou rozpustností pigmentu v základním systému. Úplně vlevo je fluorescenční nátěrový systém, který nebyl z časových důvodů testován.

Obr. 25: Použité natahovací pravítko typu Baker. [41]

Obr. 26: Proces aplikace nátěrové hmoty IP04 pneumatickým stříkáním.

Obr. 27: Výsledné systémy 1.série před testováním. Zleva nahoře: IP02; IP03 a IP04. Vlevo je vzorek vždy ohřátý na teplotu přechodu barevné změny.

Obr. 28: Výsledné systémy 2.série před testováním. Zleva IP04 a IP03. Vlevo je vzorek vždy ohřátý na teplotu přechodu barevné změny.

Obr. 29: Neinvazivní tloušťkoměr Elcometer 456.

Obr. 30: Vzorek systému IP02 1.série po 18. cyklu zatížení při pokojové teplotě. V pravém dolním rohu jsou viditelné zbytky nedegradovaného pigmentu.

Obr. 31: Změny složek gamutu při ochlazování nátěrového systému IP02. Vlevo po prvním cyklu, vpravo po cyklu číslo 18.

Obr. 32: Změny složek gamutu při ochlazování nátěrového systému IP04. Vlevo po prvním cyklu, vpravo po cyklu číslo 18.

Obr. 33: Ukázka porovnání nátěrového systému IP04 1.série na otryskaném povrchu (vlevo) a IP02 na neotryskaném povrchu po odtržení zkušební tělíska.

Obr. 34: Porovnání nátěrového systému IP04 2.série na otryskaném povrchu (vlevo) a IP03 stejné předúpravy povrchu po odtržení zkušební tělíska.

Obr. 35: Mřížková zkouška pro jednotlivé NS - zleva nahoře: 1.série IP04, IP03, IP02; zleva dole: 2.série IP04, IP03.

Obr. 36: Zkouška ohybem 1. série na kónickém trnu – zleva: IP04, IP03, IP02

Obr. 37: Cupping test. Zleva nahoře: 1. Série – IP02, IP03 a IP04; Zleva dole: 2. série - IP04 a IP03

Obr. 38: Systém IP 02 po UV zatížení. Na vzorku je patrná velká degradace termocitlivého pigmentu

Obr. 39: U formulace IP 03 je velmi dobře patrná degradace celého systému.

Obr. 40: Systém IP 04 z testované série degraduje nejméně. Citlivost TCH pigmentu na UV je ale prokazatelná.

Obr. 41: Testované vzorky 1.série. Dokumentováno na začátku testování v lednu 2017.

Obr. 42: Testované vzorky 2.série před započítáním testování

Obr. 43: Nahoře: systémy 1.série po půlročním testování s patrnou degradací odstínu termocitlivého pigmentu odkrytím žlutého pigmentovaného základního nátěru. Dole jsou umístěny systémy 2. série před testováním.

Obr. 44: Systémy 2. série po dvouměsíčním testování. Zleva: systém IP04, IP03 a IP04 s větší tloušťkou.

Obr. 45: Korozní komora SKB400ATR [42]

Obr. 46: Systém IP02 před testováním (vlevo) a po ukončení testů po 168 h.

Obr. 47: *Systém IP03 před testováním (vlevo) a po ukončení testů po 168 h.*

Obr. 48: *Systém IP04 před testováním (vlevo) a po ukončení zkoušek po 168 h.*

Obr. 49: *Systém IP03 před testováním (vlevo), po 120 h a po ukončení zkoušek po 168 h.*

Obr. 50: *Systém IP03 před testováním (vlevo), po 120 h a po ukončení zkoušek po 168 h.*

11. Seznam tabulek

Tabulka 1: *Testovaná barevná kombinace*

Tabulka 2: *Složení testovaných nátěrových systémů*

Tabulka 3: *Parametry dispergace 1. série zubovým míchadlem*

Tabulka 4: *Parametry dispergace 2. série míchadlem typu rotor – stator*

Tabulka 5: *Zkoušky povlaků termocitlivých nátěrových hmot.*

Tabulka 6: *Výsledky měření tloušťek povrchové vrstvy na vzorcích 1. série.*

Tabulka 7: *Výsledky měření tloušťek povrchové vrstvy na vzorcích 2. série.*

Tabulka 8: *Výsledky odtrhové zkoušky 1. série (ČSN EN ISO 4624:2004)*

Tabulka 9: *Výsledky odtrhové zkoušky 2. série (ČSN EN ISO 4624:2004)*

Tabulka 10: *Náklady tryskacího prostředku v balení 25Kg, ceny jsou uvedeny bez DPH*

Tabulka 11: *Náklady lehkého tryskání, Ceny jsou uvedeny bez DPH*

Tabulka 12: *Náklady na jednotlivé položky zkoumaných nátěrových hmot. Ceny jsou uvedeny bez DPH.*

12. Seznam grafů

Graf 1: Ukázka degradace termocitlivého pigmentu v jednotlivých systémech 1. série, znázorněna úbytkem oranžového odstínu.

Graf 2: Ukázka degradace termocitlivého pigmentu v jednotlivých systémech 2. série, znázorněna úbytkem oranžového odstínu.

Graf 3: Změny jednotlivých složek gamutu L^*a^*b se stanovenými tolerancemi u nátěr. systému

13. Seznam použitých zkratek

IP - Interaktivní povlak

NH – Nátěrová hmota

RAL - *ReichsAusschuss für Lieferbedingungen* (Říšský výbor pro dodací podmínky – vzorník barev)

UV – Ultra Violet (ultrafialové záření)

VOC - Volatile Organic Compound (těkavá organická látka)

sx/q – Směrodatná odchylka

Ni – Nikl

N – Dusík

H – Vodík

P – Fosfor

O – Kyslík

Co – Kobalt

Mn - Mangan

C – Uhlík

Ca - Vápník

Cu – Měď

Zn – Zinek

Sr – Stroncium

Ba - Barium

ABS – Akrylonitrilbutadienstyren (amorfní termoplast)

PP – Polypropylen

PE – Polyethylen

PVC – Polyvinylchlorid

ČSN – Česká technická norma

ISO – International Organization for Standardization (Mezinárodní organizace pro normalizaci)

EN – Evropská norma

ASTM – American Society for Testing and Materials (Americká společnost pro testování a materiály)

S335 – Konstrukční ocel dle EN10027:2004

ČR – Česká Republika

FS – Fakulta strojní

14. Seznam použitých jednotek

°C – Stupeň celsia (jednotka teploty)

g – gram (jednotka hmotnosti), 1 g = 0,001 kg

m - metr (jednotka délky)

mm – milimetr (jednotka délky), 1 mm = 0,001 m

Pa – Pascal (jednotka tlaku), 100 000 Pa = 100 kPa = 1 bar

l – litr (jednotka objemu), 1 l = 1 000 ml

m. s⁻¹ – metr za sekundu (jednotka rychlosti)

min – minuta (jednotka času)

Re_M – Reynoldsovo číslo (-)

μs - viskozita suspenzí (Pa.s⁻¹)


15. Přílohy

Vzhledem ke značnému počtu fotografií zkušebních vzorků a provedených zkoušek, jsou po dohodě s vedoucím diplomové práce, Ing. Janem Kudláčkem, Ph.D., obrazové přílohy z experimentální části uloženy na přiloženém DVD. Tyto přílohy jsou v seznamu označeny značkou „/DVD“.

Seznam příloh

1. Technické listy nátěrových hmot a termocitlivého pigmentu
2. Detailní výsledky mřížkové zkoušky
3. Fotodokumentace ostatních zkoušek nátěrových hmot /DVD
4. Protokoly měření pomocí firemního software BYK /DVD

Technické listy



6 Faraday Road Business Park, Littleport, Cambridgeshire, CB6 1PE Tel: 01353 863686 Fax: 01353 863990 eMail : sales@capricorn.co.uk
Internet : www.capricorn.co.uk

Product Information

APEX TH SERIES THERMOCHROMIC PIGMENTS

APEX TH series is a range of coloured pigments, which react within a certain temperature range to become almost colourless. Once the temperature returns to ambient then the colour reappears. These thermochromic pigments become paler in colour at the beginning of the temperature range progressing until they become almost colourless. They will remain in this 'colourless' state until the temperature drops to below the range of change.

Physical Properties

- _ Chemical composition: Organic microencapsulated material
- _ Appearance: Coloured powder
- _ Particle Size: <7 microns (average)
- _ Heat resistance: 200 °C (maximum 10 minutes duration)

Product Range:



Pigment Types	Colours	Temperature Band
TH30	Red, Blue, Turquoise, Yellow, Black	26 - 31°C
TH40	Black, Turquoise	37 - 42°C
TH60	Black, Turquoise	54 - 62°C


Dispersion

APEX TH series can be incorporated into most water based or solvent based systems quite easily with gentle stirring. Use of shear should be kept to a minimum. Grinding, high-speed stirring, triple roll milling and extruding can all affect the colour changing ability and even destroy the pigment. The best way to incorporate the pigment into a system that requires such a method is to grind the resin, solvents and other additives together and then add the pigment to this with slow stirring for about 15 minutes.

The pigments have some solubility in certain solvents, which can affect their ability to change colour. These tend to be low boiling point solvents such as alcohols, acetone and ester acetate. If possible these solvents should be replaced with alternatives. Organic solvents will not dissolve the pigments, so solvents such as methylbenzene, dimethylbenzene, kerosene and cyclohexanone can be used

The information contained herein is believed to be accurate and is offered in good faith for the guidance of the consumer. Recommendations and suggestions are, however, made without warranty and shall not be construed to constitute permission or inducement to practice any invention covered by patent without authority from the owner thereof.



6 Faraday Road Business Park, Littleport, Cambridgeshire, CB6 1PE Tel: 01353 863686 Fax: 01353 863990 eMail: sales@capigment.co.uk
Internet: www.capigment.co.uk


Product Information

instead. If solvents such as acetone need to be used then the ink or coating should be used immediately after production.

Applications

APEX TH series pigments can be easily incorporated into printing inks and other coatings as well as plastics. They can be used as novelty effects and also for temperature safety indicators. The colours can be blended to achieve other shades or to create a two step temperature profile. They can also be used over permanent colours as temperature indicators. APEX thermochromic pigments used in coatings or printing inks can be used in both solvent and water based systems, at an addition level of around 25-40%. APEX thermochromic pigments used in plastics, should be added at around 1-3% addition level and ideally should not be mixed with other pigments. If the addition of another pigment is necessary then it should not exceed an addition level of 2.5% on total pigment content.

The information contained herein is believed to be accurate and is offered in good faith for the guidance of the consumer. Recommendations and suggestions are, however, made without warranty and shall not be construed to constitute permission or inducement to practice any invention covered by patent without authority from the owner thereof.



UK is a member of the European Community



HAE 30

Technický list

Popis:

Samozákladující vodouředitelná barva 2v1

Použití:

Rychleschnoucí základní a vrchní (2v1) akrylátová barva. Vhodná pro vnitřní a venkovní nátěry odlištěk, ocelových konstrukcí, palet, přepravků, boxů, plotů, okapů, dveří, zárubní, vrat a bran, oken, parapetů, zábradlí, střech, chat, srubů, zahradního nábytku, pergol, altánů a vybraných druhů plastů (ABS, tvrdé PVC, polystyren). Používá se k nátěrům středně mechanicky zatěžovaných podlah a ostatních minerálních podkladů. Aplikuje se vysokotlakým airless nebo vzduchovým stříkáním, štětcem, válečkem. Případnou druhou vrstvu můžete stříkat po uplynutí 30 minut od nástřiku první vrstvy. Nanašet štětcem/válečkem doporučujeme vždy po 6 hodinách od nanesení předchozí vrstvy.

Certifikáty/Osvědčení/Protokoly:

STO - certifikát výrobku, ochranné nátěry a povlaky kovových prvků, Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p.
Osvědčení č. 17 0049, přímý styk s potravinami při teplotě do 40°C, SZÚ Praha

Podklad:

Ocel, nový i starý zinek, hliník, nerez, dřevo, minerální podklady (podlahy), plasty

Odstíny:

RAL

Hustota: (ČSN EN ISO 2811-1)

1,23

Sušina barvy: (ČSN EN ISO 3251)

hmotnostní 49 %

objemová 36 %

Teoretická vydatnost: (ČSN EN ISO 23811)

neředěné barvy			
při 40 µm DFT	7,4 m ² /kg	9,1 m ² /litru	135,8 g/m ²
při 80 µm DFT	3,7 m ² /kg	4,5 m ² /litru	271,6 g/m ²

Na 40 µm DFT nutno aplikovat 111 µm neředěné barvy. Praktická vydatnost závisí na metodě nanášení, podmínkách při aplikaci, tvaru a drsnosti natíraného povrchu.

Zasychání: (ČSN 673052)

120 µm WFT, teplota 23 ± 2°C, relativní vzdušná vlhkost 50 ± 5%, dodavatelská viskozita	proti prachu (stupeň 1)	na dotek (stupeň 3)	na manipulaci (stupeň 4)
	35 minut	90 minut	5 hodin

Doba zasychání a přetíratelnosti silně závisí na mokré tloušťce naneseného filmu, teplotě, vlhkosti, výměně vzduchu a odstínu. Plně zatěžovat a měřit lze nanesený film po 7 dnech, laboratorně testovat po 3 týdnech zasychání při výše uvedených podmínkách.

Lesk: (ČSN ISO 2813)

Polomat, resp. 30 GU, pod úhlem 60°, dodavatelská viskozita

VITON s.r.o.
Třída Čs. armády 167
391 81 Veselí nad Lužnicí
Česká republika
Vydáno: 01.11.2016



mobíl: +42(0) 724 580 404
tel: +42(0) 381 581 022
objednavky@viton.cz
www.viton.cz

Stránka 1 z 3



HAE 30

Technický list

Dodavatelská viskozita:

Tixotropní kapalina neměřitelná ISO výtokovými pohárky.

Doporučené ředění: (ČSN 673032)

	airless	řetec/valeček
ředidlo	VODA	VODA
hmotnostné	neředí se	2,5 %
objemově	neředí se	3 %

Stékavost: (ČSN EN ISO 16862)

teplota 23 ± 2°C, relativní vzdušná vlhkost 50 ± 5%	
dodavatelská viskozita	nestěká 350 µm WFT

Podmínky nanášení:

Povrch musí být suchý a důkladně odmaštěný. Teplota okolního vzduchu, povrchu a barvy nesmí klesnout během nanášení a sušení pod +10°C. Relativní vzdušná vlhkost nesmí přesáhnout 70%. Teplota natíraného povrchu musí být alespoň 3°C nad teplotou rosného bodu. Za chladného počasí je vhodné provést nejprve jeden velmi tenký nátěr tak, aby rychle zaschl.

Předúprava povrchu:

Vhodným způsobem odstraňte olej, mastnotu, soli a nečistoty podle postupů uvedených v ČSN EN ISO 12944-4. Použijte vysoce účinný ekologický čisticí přípravek CL 07.

Ocelové povrchy: Abrazivně otryskejte na stupeň čistoty Sa 2½ dle ČSN EN ISO 8501-1. Pokud nelze otryskat proveďte ruční nebo strojní očištění minimálně na stupeň St 3 dle ČSN EN ISO 8501-1. Barvu nanášejte minimálně ve dvou vrstvách. Celková doporučená tloušťka suchého nátěru (DFT) je 80-120 µm.

Pozinkované povrchy: K zajištění požadované drsnosti použijte metodu abrazivního ometení (sweeping), např. křemičitým pískem. Pokud nelze tuto metodu použít, zdrsňte povrch ručně a omyjte ekologickým čisticím přípravkem CL 07. Zároveň pozinkované povrchy se doporučují nejprve „poprašit“ hodně naředěnou barvou.

Hliníkové povrchy: K zajištění požadované drsnosti použijte metodu ometení (sweeping) nekovovým abrazivem. Pokud nelze tuto metodu použít, zdrsňte povrch ručně a omyjte ekologickým čisticím přípravkem CL 07.

Povrchy již opatřené nátěrem: Ekologickým čisticím přípravkem CL 07 odstraňte olej a mastnotu, povrch lehce zdrsňte přebroušením. Dodržujte kompatibilitu starých a nových nátěrových hmot.

Dřevěné povrchy: Povrch musí být suchý a očištěný od nečistot, vosku, mastnot, odlupujícího se a nesoudržného materiálu. Vyspravte praskliny a otvory tmelem na dřevo. Zabezpečte, aby všechny tmelené a lesklé plochy byly důkladně přebroušeny. Odstraňte vysavačem prach po broušení. V případě zvýšeného rizika aplikujte nejdříve fungicidní a insekticidní přípravek. Při renovačním nátěru aplikujte 1-2 vrstvy, při nátěrech nového dřeva 2-3 vrstvy ve směru struktury dřeva. Pro dosažení nejvyšší kvality je doporučeno po každém nátěru lehké přebroušení brusným papírem č. 240.

Minerální povrchy: Podklad je třeba zbavit nečistot, mastných skvrn, případně přebrousit nebo otryskat. Následně se odstraní prach zametením nebo odsátím. V případě vysoce namáhaných ploch je nutno předem vyzkoušet, jestli je povrchová pevnost minerálního podkladu dostatečná. Dodržujte kompatibilitu starých a nových nátěrových hmot v případě renovaci již natíraných povrchů.

VITON s.r.o.
Třída Čs. armády 167
391 81 Veselí nad Lužnicí
Česká republika
Vydáno: 01.11.2016



mobil: +42(0) 724 580 404
tel: +42(0) 381 581 022
objednavky@viton.cz
www.viton.cz
Stránka 2 z 3



HAE 30

Technický list

Způsoby nanášení:

Stříkací pistole, štětec, váleček. Při aplikaci vysokotlakým stříkáním použijte trysky \varnothing 0.011" - 0.021", tlak 120 - 180 bar, uhel stříkání přizpůsobte tvaru stříkaného povrchu. Při aplikaci vzduchovým stříkáním použijte trysky 1,5 - 2 mm, tlak 3 - 4 bar. Při aplikaci štětcem/válečkem použijte vhodný typ vzhledem ke složení nátěrové hmoty.

Skladování:

Výrobek uchovávejte v originálním neotevřeném balení při teplotě $+5^{\circ}\text{C}$ až $+25^{\circ}\text{C}$. Nesmí zmraznout!

Spotřebujte do:

24 měsíců ode dne výroby

Balení v kg:

0,7; 3; 10; 22

Balení báze 0100 v kg:

0,7; 3; 10; 22

Balení báze 0000 v kg:

0,63; 2,7; 9; 19,8

Poznámky:

DFT - tloušťka suchého filmuMS - střední sušina

GU - jednotka lesku

WFT - tloušťka mokrého filmuHS - vysoká sušina

KU - Krebsova jednotka viskozity

Informace uvedené v tomto technickém listu se opírají o naše nejlepší znalosti, podložené výsledky laboratorních testů a praktickými zkušenostmi k datu níže uvedenému. Nicméně vzhledem ke skutečnosti, že výrobek je většinou používán v podmínkách mimo rámec naší kontroly, nemůžeme ručit za nic jiného než za kvalitu výrobku jako takového. Jako výrobce nemůžeme zodpovídat za škody způsobené používáním výrobku v rozporu s našimi pokyny nebo použitím pro nevhodné účely. Vyhrazujeme si právo na změnu výše uvedených informací bez předchozího upozornění. Vyžádejte si vždy aktuální verzi technického listu. Tento technický list nahrazuje všechny dříve vydané. Platnost údajů zde uvedených bude po pěti letech od vydání automaticky ukončena.

VITON s.r.o.
Třída Čs. armády 167
391 81 Veselí nad Lužnicí
Česká republika
Vydáno: 01.11.2016



mobil: +42(0) 724 580 404
tel: +42(0) 381 581 022
objednavky@viton.cz
www.viton.cz
Stránka 3 z 3



PD 53

Technický list

Popis:

Vrchní polyuretanová barva

Použití:

Kvalitní rychleschnoucí vrchní dvousložková barva univerzálně použitelná. Vhodná pro venkovní nátěry ocelových konstrukcí, hal, kontejnerů, dopravníků, výrobních linek, strojů a zařízení, zásobníků, potrubí, dřeva i minerálních podkladů. Má výbornou stálobarevnost, přilnavost, mechanickou a chemickou odolnost. Odolává zryšené vlhkosti, ropným látkám, olejům, tukům, alkoholu a běžným čisticím prostředkům. Aplikuje se vysokotlakým airless nebo vzduchovým stříkaním, štětcem, válečkem. První vrstvu lze stříkat na základní barvu ZG 11, ZG 13, ZG 17, ZG 19, KG 13, KG 15 jakmile je suchá na dotek. Případnou druhou vrstvu můžete stříkat po uplynutí 45 minut od nástřiku první vrstvy. Pro dosažení hladkého povrchu nebo při nanášení štětcem/válečkem doporučujeme aplikovat po 16 hodinách od nanesení předchozí vrstvy.

Certifikáty/Osvědčení/Protokoly:

Osvědčení ONS/229/14, ochranný nátěr ocelových mostních konstrukcí ONS 23, SŽDC s.o.
 Prüfbericht PB300/107/12, DIN EN ISO 12944-6 - životnost H pro prostředí C4, Institut für Korrosionsschutz Dresden GmbH
 STO - certifikát výrobku, ochranné nátěry a povlaky kovových prvků, Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p.
 STO - certifikát výrobku, ochranné nátěry a povlaky dřevěných prvků, Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p.
 STO - certifikát výrobku, ochranné nátěry a povlaky minerálních podkladů a zdíva, Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p.
 Protokol T 280/0021-3, ČSN EN ISO 6270-2 - koroziní zkouška v kondenzační komoře, SYNPO a.s.
 Protokol T 280/0021-4, ČSN EN ISO 9227 - koroziní zkouška v solné mlze, SYNPO a.s.
 Protokol T 280/0021-5, ČSN EN ISO 3231 - koroziní zkouška v kondenzační komoře s SO₂, SYNPO a.s.
 Protokol T 280/0021-6, ČSN EN ISO 2409 - mířková zkouška a ČSN EN ISO 4624 - odtrhová zkouška přilnavosti, SYNPO a.s.
 Protokol T 280/0021-7, ČSN EN ISO 2812-1 - zkouška ponorem do NaOH, H₂SO₄, lakového benzínu, SYNPO a.s.
 Protokol T 280/0021-12, ČSN 73 2577 - odtrhová zkouška přidrženosti k podkladu, SYNPO a.s.
 Protokol T 280/0021-13, ČSN EN 1062-3 - rychlost pronikání vody v kapalně fázi, SYNPO a.s.
 Protokol T 280/0021-14, ČSN EN ISO 7783 - propustnost pro vodní páru, SYNPO a.s.
 Protokol T 280/0021-15, ČSN 73 2579 - zkouška mrazuvzdornosti, SYNPO a.s.
 Osvědčení o státní registraci pro vývoz do Ruska, Běloruska a Kazachstánu.

Podklad:

Ocel, nový i starý zinek, hliník, dřevo, minerální podklady

Odstíny:

RAL, VIT

Hustota: (ČSN EN ISO 2811-1)

1,27

Sušina barvy: (ČSN EN ISO 3251)

hmotnostní 62 %
 objemová 45 %

Poměr tužení:

hmotnostně 10 : 1 tužidlem PH 93
 objemově 8 : 1 tužidlem PH 93

VITON s.r.o.
 Třída Čs.armády 167
 391 81 Veselí nad Lužnicí
 Česká republika
 Vydáno: 01.11.2016



mobil: +42(0) 724 580 404
 tel: +42(0) 381 581 022
 objednavky@viton.cz
 www.viton.cz
 Stránka 1 z 4



PD 53

Technický list

Teoretická vydatnost: (ČSN EN ISO 23811)

neředěné barvy			
při 40 µm DFT	8,9 m ² /kg	11,3 m ² /litru	112,2 g/m ²
při 80 µm DFT	4,5 m ² /kg	5,7 m ² /litru	224,5 g/m ²

Na 40 µm DFT nutno aplikovat 89 µm neředěné barvy. Praktická vydatnost závisí na metodě nanášení, podmínkách při aplikaci, tvaru a drsnosti natíraného povrchu.

Zasychání: (ČSN 673052)

120 µm WFT, teplota 23 ± 2°C, relativní vzdušná vlhkost 50 ± 5%, natuženo a naředěno na viskozitu 60s, ISO výtok: poh. 6mm	proti prachu (stupeň 1)	na dotek (stupeň 3)	na manipulaci (stupeň 4)
	45 minut	7 hodin	8 hodin

Doba zasychání a přetiratelosti silně závisí na mokré tloušťce naneseného filmu, teplotě, vlhkosti, výměně vzduchu a odstínu. Plně zatěžovat a měřit lze nanesený film po 7 dnech, laboratorně testovat po 3 týdnech zasychání při výše uvedených podmínkách.

Doba zpracovatelnosti: (ČSN EN ISO 9514)

3 hod., při teplotě 23 ± 2°C, natuženo a naředěno na viskozitu 60s, ISO výtok: poh. 6mm

Dobu zpracovatelnosti výrazně ovlivňuje teplota. Při vysokých teplotách může být až poloviční, naopak při nízkých teplotách i několikrát delší.

Lesk: (ČSN ISO 2813)

Pololesk, resp. 50 GU, pod úhlem 60°, natuženo a naředěno na viskozitu 60s, ISO výtok: poh. 6mm

Dodavatelská viskozita:

Tixotropní kapalina neměřitelná ISO výtokovými pohárky.

Doporučené ředění: (ČSN 673032)

	airless	štětec/valeček
ředidlo	PT 03	PT 03
hmotnostně	3 %	8 %
objemově	4 %	12 %

Stékavost: (ČSN EN ISO 16862)

teplota 23 ± 2°C, relativní vzdušná vlhkost 50 ± 5%	
natuženo a naředěno na viskozitu 60s, ISO výtok: poh. 6mm	nestéká 300 µm WFT

Podmínky nanášení:

Povrch musí být suchý. Teplota okolního vzduchu, povrchu a barvy nesmí klesnout během nanášení a sušení pod +5°C. Relativní vzdušná vlhkost nesmí přesáhnout 80%. Teplota natíraného povrchu musí být alespoň 3°C nad teplotou rosného bodu.

Předúprava povrchu:

VITON s.r.o.
Třída Čs.armády 167
391 81 Veselí nad Lužnicí
Česká republika
Vydáno: 01.11.2016



mobil: +42(0) 724 580 404
tel: +42(0) 381 581 022
objednavky@viton.cz
www.viton.cz
Stránka 2 z 4



PD 53

Technický list

Abrazivně otryskejte na stupeň čistoty Sa 2½ dle ČSN EN ISO 8501-1. Pokud nelze otryskat proveďte ruční nebo strojní očištění minimálně na stupeň St 3 dle ČSN EN ISO 8501-1. Vhodným způsobem odstraňte olej, mastnotu, soli a nečistoty podle postupů uvedených v ČSN EN ISO 12944-4. Použijte ředidlo nebo vysoce účinný ekologický čisticí přípravek CL 07.

Ocelové povrchy: Naneste doporučenou základní antikorozi barvu ve vrstvách a tloušťkách odpovídajících stupni korozního prostředí a požadované očekávané životnosti v souladu s ČSN EN ISO 12944-5. Nátěrová hmota není určena k přímé aplikaci na tento typ povrchu.

Pozinkované povrchy: K zajištění požadované drsnosti použijte metodu abrazivního ometení (sweeping) např. křemičitým pískem. Pokud nelze tuto metodu použít, zdrsňte povrch ručně nebo alespoň omyjte vhodným přípravkem. Zároveň pozinkované povrchy se doporučují nejprve „poprašit“ hodně naředěnou barvou. Při dodržení tohoto postupu není nutné použít základní barvu a nátěrovou hmotu lze nanášet přímo na tento typ povrchu.

Hliníkové povrchy: K zajištění požadované drsnosti použijte metodu ometení (sweeping) nekovovým abrazivem. Pokud nelze tuto metodu použít, zdrsňte povrch ručně nebo alespoň omyjte vhodným přípravkem. Při dodržení tohoto postupu není nutné použít základní barvu a nátěrovou hmotu lze nanášet přímo na tento typ povrchu.

Povrchy již opatřené nátěrem: V případě, že není znám typ starého nátěru, ověřte nejprve testem vzájemnou snášenlivost. Ředidlem nebo čisticím přípravkem CL 07 odstraňte olej a mastnotu, povrch lehce zdrsňte přebroušením. Na malé části aplikujte natuženou a naředěnou nátěrovou hmotu. Pokud nedojde do 30 minut ke zkrabčení povrchu, nátěr poté zcela vytvrdne a je přilnavý, může být nátěrová hmota použita na renovaci. Ošetřete zkorodovaná místa doporučenou základní barvou. Dodržujte kompatibilitu starých a nových nátěrových hmot, pokud neprovedáte test snášenlivosti.

Dřevěné povrchy: Povrch musí být suchý a očištěný od nečistot, vosku, mastnot, odlupujícího se a nesoudržného materiálu. Vyspravte praskliny a otvory tmelem na dřevo. Zabezpečte, aby všechny tmele a lesklé plochy byly důkladně přebroušené. Odstraňte vysavačem prach po broušení. V případě zvýšeného rizika aplikujte nejdříve fungicidní a insekticidní přípravek. Při renovačním nátěru aplikujte 1-2 vrstvy, při nátěrech nového dřeva 2-3 vrstvy ve směru struktury dřeva. Pro dosažení nejvyšší kvality je doporučeno po každém nátěru lehké přebroušení brusným papírem č. 240.

Minerální povrchy: Podklad je třeba zbavit nečistot, mastných skvrn, případně přebrousit nebo otryskat. Následně se odstraní prach zametením nebo odsátím. V případě vysoce namáhaných ploch je nutno předem vyzkoušet, jestli je povrchová pevnost minerálního podkladu dostatečná. Dodržujte kompatibilitu starých a nových nátěrových hmot v případě renovaci již natíraných povrchů nebo proveďte test vzájemné snášenlivosti.

Způsoby nanášení:

Stříkáci pistole, štětec, váleček. Při aplikaci vysokotlakým stříkáním použijte trysky Ø 0.011" - 0.021", tlak 120 - 180 bar, úhel stříkání přizpůsobte tvaru stříkaného povrchu. Při aplikaci vzduchovým stříkáním použijte trysky 1,5 - 2 mm, tlak 3 - 4 bar. Při aplikaci štětcem/válečkem použijte vhodný typ vzhledem ke složení nátěrové hmoty.

Skladování:

Výrobek uchovávejte v originálním neotevřeném balení při teplotě +5°C až +25°C.

Spotřebujte do:

48 měsíců ode dne výroby

Balení v kg:

0,8; 3; 10; 25; 250; 1000

Balení báze 0100 v kg:

0,8; 3; 10; 25; 250; 1000

Balení báze 0000 v kg:

0,7; 2,5; 8; 20; 250; 1000

VITON s.r.o.
Třída Čs. armády 167
391 81 Veselí nad Lužnicí
Česká republika
Vydáno: 01.11.2016



mobil: +42(0) 724 580 404
tel: +42(0) 381 581 022
objednavky@viton.cz
www.viton.cz

Stránka 3 z 4



PD 53

Technický list

Poznámky:

DFT - tloušťka suchého filmu MS - střední sušina

GU - jednotka lesku

WFT - tloušťka mokrého filmu HS - vysoká sušina

KU - Krebsova jednotka viskozity

Informace uvedené v tomto technickém listu se opírají o naše nejlepší znalosti, podložené výsledky laboratorních testů a praktickými zkušenostmi k datu níže uvedenému. Nicméně vzhledem ke skutečnosti, že výrobek je většinou používán v podmínkách mimo rámec naší kontroly, nemůžeme ručit za nic jiného než za kvalitu výrobku jako takového. Jako výrobce nemůžeme zodpovídat za škody způsobené používáním výrobku v rozporu s našimi pokyny nebo použitím pro nevhodné účely. Vyhrazuji si právo na změnu výše uvedených informací bez předchozího upozornění. Vyzýváme si vždy aktuální verzi technického listu. Tento technický list nahrazuje všechny dříve vydané. Platnost údajů zde uvedených bude po pěti letech od vydání automaticky ukončena.

VITON s.r.o.
Třída Čs.armády 167
391 81 Veselí nad Lužnicí
Česká republika
Vydáno: 01.11.2016



mobil: +42(0) 724 580 404
tel: +42(0) 381 581 022
objednavky@viton.cz
www.viton.cz
Stránka 4 z 4



SETALUX 1182 SS-55

an acrylic polyol with 1.8 % OH (calculated on non-volatiles)

Technical features

In combination with aliphatic poly-isocyanates: excellent adhesion on metals such as aluminium, steel, zinc plated steel, stainless steel, excellent mechanical properties, good outdoor durability and quick drying.

Application

Industrial lacquers with excellent elasticity and adhesion on difficult substrates. Lacquers with good adhesion on a number of plastic substrates.

Solvent composition Xylene / butyl acetate (89 / 11)

Specifications

Property	Value	Unit	Method	
			STM*	ISO
Acid value (as such)	1.6 - 3.4	mg KOH/g	303A	3682
Appearance	clear, free of extraneous matter		017A	
Colour APHA (Lico 200)	Max. 50	APHA	008F	6271
Non-Volatiles	54 - 56	%	001G	3251
Viscosity (23 °C at 50 s ⁻¹)	(at 54%) 0.59 - 1.3	Pa.s	012J	3219
Viscosity (23 °C at 50 s ⁻¹)	(at 55%) 0.72 - 1.6	Pa.s	012J	3219
Viscosity (23 °C at 50 s ⁻¹)	(at 56%) 0.90 - 2.0	Pa.s	012J	3219

* STM: Nuplex Resins method of determination (available on request)

Typical properties (not to be used as sales specifications)

Density	0.98	kg/dm ³	DIN 53217
Flash point	29	°C	ISO 1523
OH content	1.8	%	

Remarks:

STM 001G: spreading agent, xylene

Storage conditions:

No specific conditions required.

Updated: 2007-03-20

All information, recommendations and suggestions, concerning the product and its use, are believed to be reliable. However, Nuplex Resins gives no assurance as to the accuracy, completeness, or adequacy for a particular purpose. It is the users responsibility to determine the suitability for its own use of the products. No guarantee (whether expressed or implied) is made by Nuplex Resins as to the results to be obtained from using the described products, nor shall Nuplex Resins be liable for any use by others of the described products. Users are responsible for ensuring compliance with local legislation and for obtaining the necessary certifications and authorizations. All orders are subject to the general conditions of sale of Nuplex Resins which can be downloaded from www.nuplexresins.com. Nuplex Resins owns all copyrights and other intellectual property rights in the contents of this document. Reproduction or redistribution in any form is not allowed.

Nuplex Resins bv, PO Box 79, 4800 AB Bergen op Zoom, The Netherlands Tel. +31 164 276 911 Fax +31 164 276 258



SETALUX 1182 SS-55

Dilutability

Aliphatics	white spirit	not dilutable
Aromatics	xylene	dilutable
Esters	ethyl acetate	dilutable
	butyl acetate	dilutable
Ketones	acetone	dilutable
Alcohols	ethanol	not dilutable
	butanol	partly dilutable

Compatibility

% Setalux 1182 SS-55	90	75	50	25	10	
% of other material	10	25	50	75	90	Supplier
Acrylic polyols						
Setalux 1151 XX-51	+	-	-	+	+	
Setalux 1152 XX-51	+	-	-	+	+	
Setalux 1186 SS-60	+	+	+	+	+	
Setalux 1191 SS-55	+	+	-	-	-	
Short oil alkyd						
Setal 84 XX-70	+	-	-	-	-	
Other materials						
Desmodur N 75	+	-	-			Bayer AG
Desmodur L 75	+	+	+			Bayer AG
Desmodur HL	-	-	-			Bayer AG
Desmodur IL	-	-	-			Bayer AG
CAB 551-0.01	-	-	+			Eastman Chemicals
Ucar vinyl resin VAGH	-	-	-			Union Carbide
Ucar vinyl resin VROH	-	-	-			Union Carbide
Nitrocellulose ½ s	-	-	-			Hagedorn AG

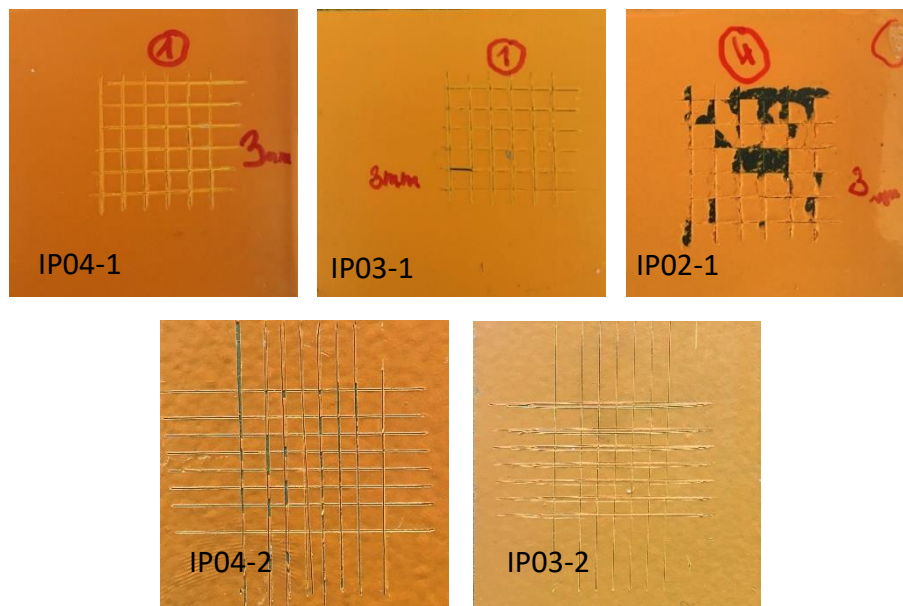
Remark

Suitable mixing proportions (calculated on Non-volatiles) are marked '+'. Combinations in the proportions marked '-' are not recommended.

All information, recommendations and suggestions, concerning the product and its use, are believed to be reliable. However, Nuplex Resins gives no assurance as to the accuracy, completeness, or adequacy for a particular purpose. It is the users responsibility to determine the suitability for its own use of the products. No guarantee (whether expressed or implied) is made by Nuplex Resins as to the results to be obtained from using the described products, nor shall Nuplex Resins be liable for any use by others of the described products. Users are responsible for ensuring compliance with local legislation and for obtaining the necessary certifications and authorizations. All orders are subject to the general conditions of sale of Nuplex Resins which can be downloaded from www.nuplexresins.com. Nuplex Resins owns all copyrights and other intellectual property rights in the contents of this document. Reproduction or redistribution in any form is not allowed.

Nuplex Resins bv, PO Box 78, 4600 AB Bergen op Zoom, The Netherlands Tel. +31 164 276 911 Fax +31 164 276 258

Výsledky mřížkové zkoušky



Volba velikosti rastru mřížky podléhá následujícímu předpisu:

Tloušťka nátěru (μm) = rozestupy mezi řezy:

- 0 – 60 = 1mm (tvrdé podklady)
- 0 – 60 = 2mm (měkké podklady)
- 61 – 120 = 2mm (měkké i tvrdé podklady)
- 121 – 250 = 3mm (měkké i tvrdé podklady)

Systém, Sada	IP04-1	IP03-1	IP02-1	IP04-2	IP03-2
Ø tloušťka filmu [μm]	120,2	121,8	142,4	104,2	76,46
Směrodatná odchylka	6,46	8,64	5,94	7,9	7,19
Velikost rastru [mm]	3	3	3	2	2
Klasifikace	1	1	4	1	1