

# Interaktivní termocitlivé nátěrové systémy pro bezpečnostní účely

Jakub Heller<sup>1</sup>, Jan Kudláček<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav strojírenské technologie, Technická 4, 166 07 Praha 6, Česká republika

## Abstrakt

Tento článek je zaměřen na testování nátěrových systémů pro použití v teplotně exponovaných prostředích a na teplotně namáhaných součástech. Cílem práce bylo ověření fyzikálně-mechanických a ochranných vlastností těchto systémů, jejich funkčnost na základě technologických specifikací a odolnost vůči teplotnímu zatěžování. Výsledky byly interpretovány a konzultovány s výrobcem, který navrhl pokračování v testování nových a stávajících nátěrových systémů s upraveným způsobem přípravy.

*Klíčová slova:* Termochromické, Termocitlivé, Nátěr, Pigment, Interaktivní nátěrové systémy, Vývoj, Tepelně citlivý, Barva, Molekulární transformace, Interakce s prostředím, Povrchová úprava, Chemická reakce

## 1. Úvod

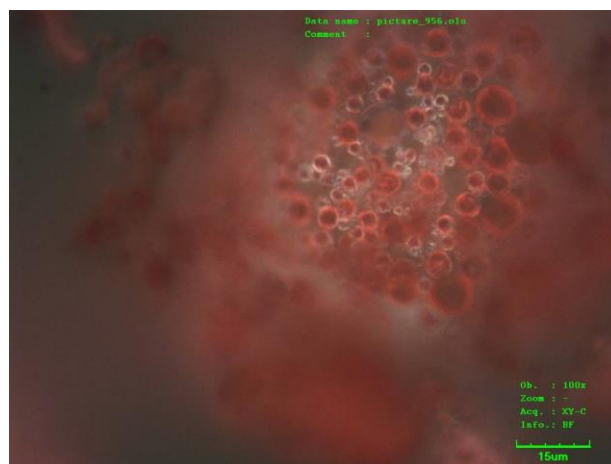
V programu dílčího řešení vývoje nových typů interaktivních nátěrových hmot termocitlivého typu pro bezpečnostní účely v rámci aktivity Centra výzkumu povrchových úprav, byla v roce 2017 na FS ČVUT v Praze ve spolupráci s firmou VITON s.r.o. realizována řada experimentů s cílem formulace nátěrové hmoty s měnícím se odstínem umožňující vytvoření souvislého povlaku požadovaných specifických vlastností (mechanicky odolný povlak 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.). [1] [2]

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 7µm.

### 1.1. Termocitlivé nátěrové systémy

Termocitlivé nebo také termochromické nátěrové systémy jsou speciální povlaky, které jsou schopné změnit odstín barvy díky změně teploty okolního prostředí. Termocitlivé nátěrové systémy mohou být

použity pro měření teploty nebo jako indikátory zvýšené teploty. Jako indikátory je lze aplikovat na vybrané plochy, kde slouží 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 reverzibilní (vratné), částečně reverzibilní (částečně vratné) a nevratné barvy. V našem případě byl použit termocitlivý reversibilní pigment červené barvy. [3] [4]



*Obr. 1. Velikost částic termocitlivého pigmentu TH50.*

### 1.2. Základní podstata změny 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. [5]

\* Kontakt na autora: Jakub.Heller@fs.cvut.cz

Hlavní nevýhodou termocitlivých nátěrových systémů je závislost teploty barevného přechodu na okolním tlaku. Chemická podstata těchto látek určuje jejich vlastnosti. 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 se zvyšuje 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 vzdušného kyslíku. Změny okolního tlaku mají vliv na nevratné a částečně reverzibilní barvy. Reversibilní systémy jsou nepropustné pro tlakové změny okolí. Zvýšení tlaku však ovlivňuje teplotu přechodu barev. [5][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 bezpečnostnímu použití tohoto nátěrového systému a vlastnostem termocitlivého pigmentu bylo dodatečně navrženo vmíchání běžného žlutého pigmentu do základní složky systému. Výsledné chování systému při teplotním zatěžování je tedy následující:

Tabulka 1. Testovaná barevná kombinace

TESTOVANÁ BAREVNÁ KOMBINACE			
Termo pigment	„Klasický pigment“	Chování při nízké teplotě	Chování při vysoké teplotě
Červená	Žlutá	Oranžová	Žlutá

První testovaný systém 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. Jejich přesné složení je uvedeno v následující tabulce. Procentuální složení je uvedeno na celkovou hmotnost systému.

Pigment byl do základních systémů dispergován jednoduchým zubovým míchadlem kdy v systému IP02 pro velmi malé rozměry pigmentu nedošlo k úplnému rozptýlení, což se projevuje barevnou nestálostí a odchylkami odstínu v celé ploše. U zbylých dvou systémů se tento problém vyskytl jen v malé míře. Pro další testování bylo navrženo dispergování pigmentu do systému míchadlem typu rotor-stator.

Tabulka 2. Složení testovaných nátěrových systémů

NÁZEV SÉRIE	TCH PIGMENT	ZÁKLADNÍ NH
IP 02	APEX TH 50 RED 5 %	Akrylátová <b>Setalux 1182</b> (10 % žlutý pigment)
IP 03	APEX TH 50 RED 5 %	Akrylátová sa- mozákladující <b>Viton HAE 30</b> (10 % žlutý pigment)
IP 04	APEX TH 50 RED 5 %	Polyuretanová <b>Viton PD 53</b> (10 % žlutý pigment)

### 2.1. Výsledné systémy

Namíchané systémy byly na testovací vzorky aplikovány nanášecím pravítkem v tloušťce 1,5 mm a následně ponechány k zaschnutí a vytvrzení na vzduchu. Testovacími vzorky byly plechy o rozměrech 100 x 150 x 4 mm pro testování adhezních vlastností a korozní odolnosti, a tenké plechy typu Q-panel pro zkoušku odolnosti proti UV záření.



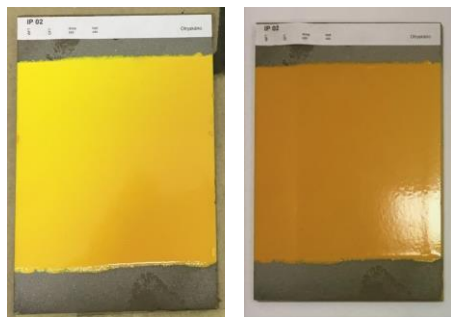
Obr. 2. Výsledné formulace. Zleva nahoře: IP02, IP 03 a dole IP 04, vlevo po ohřátí na teplotu přechodu.

## 3. Experimentální testování

### 3.1. Teplotní zatěžování, cyklické zatěžování NH

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 totožné. Vzorky byly zatíženy teplotou 65 °C po dobu 5 minut a následně 10 minut ochlazovány proudem studeného vzduchu z trysky. Do dnešního dne bylo provedeno

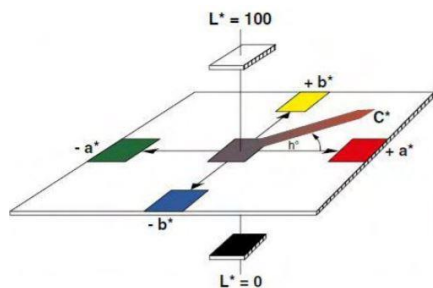
celkem 80 cyklů. Vzorky nátěrového systému IP02 vykazují po uvedeném počtu cyklů velmi výraznou degradaci odstínu. Po zahřátí a následném prudkém ochlazení prakticky nedochází k reversibilní změně odstínu. U nátěrového systému IP03 se degradace objevila také ale v mnohem menší míře. Odstín tohoto nátěrového systému vykazuje velmi malou odchylku od odstínu počátečního (etalonového). U posledního ze zkoumaných nátěrových systémů (IP04) s polyuretanovým základem se degradace neprojevila vůbec.



**Obr. 3.** Nátěrový systém IP02 po prudkém ochlazení po 37. cyklu. Na obrázku je vidět silná degradace odstínu v levé části vzorku. V pravém dolním rohu je vidět částečná reversibilita. Vpravo je etalonový odstín IP02.

### 3.2. 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 červeno-zeleném a b ve směru modro-žlutém. Tento trojrozměrný barevný prostor je udáván vzájemně kolmými osami.



**Obr. 4.** Systém zobrazení gamutu CIE L\*a\*b

### $\Delta E^*_{ab}$ CIELAB barevný rozdíl

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2] \cdot 1/2$$

### $\Delta L^*$ CIELAB rozdíl světlosti

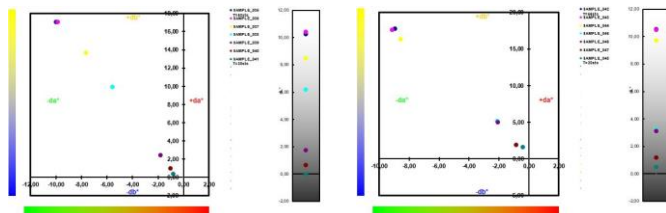
(1)

$$\Delta L^* = L^*_1 - L^*_0$$

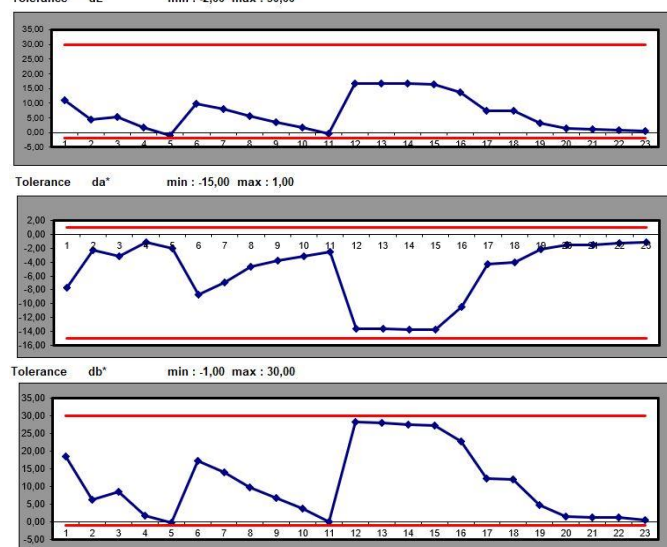
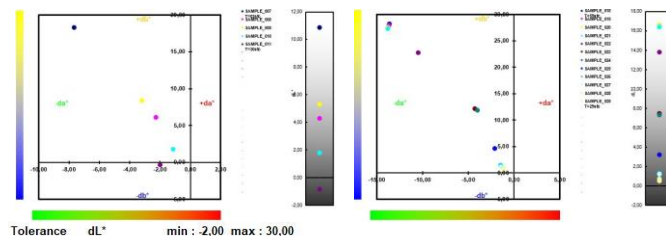
### $\Delta a^*$ , $\Delta b^*$ CIELAB rozdíl a\*, b\*

$$\Delta a^* = a^*_1 - a^*_0, \Delta b^* = b^*_1 - b^*_0$$

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. 5.** Změny složek gamutu při ochlazení nátěrového systému IP02. Vlevo po prvním cyklu, vpravo po cyklu číslo 18.



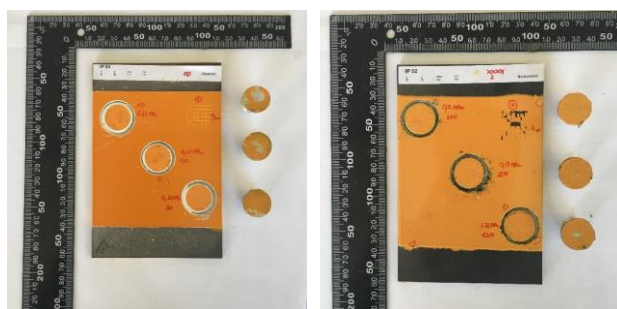
**Obr. 6** Změny jednotlivých složek gamutu L\*a\*b se stanovenými tolerancemi u nátěrového systému IP04.

První třetina grafu na předchozí straně ukazuje ochlazení při prvním cyklu, druhý pokles je cyklus číslo 15, poslední pokles je cyklus číslo 35, kde byla teplota navýšena na 70°C. Z grafů uvedených na předchozí straně je patrné, že u nátěrového systému IP04 nedochází k degradaci barevného odstínu. Systém IP02 degradoval již po cyklu číslo 15. Tolerance jednotlivých složek gamutu byly stanoveny pozorováním etalonového vzorku a následných změn odstínu u prvních 5 cyklů.

### 3.3. Zkoušky přilnavosti

#### 3.3.1. Zkouška odtrhem

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 i netryskané ocelové vzorky. Úprava povrchu tryskáním nejenže odstraňuje z povrchu veškeré nečistoty (korozní produkty, mastnotu apod.), ale přispívá i ke zvýšení přilnavosti organických nátěrových hmot k substrátu. Odtrhová zkouška spočívá v nalepení 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, jenž dosáhne maximální hodnoty s odtrhem tělíska. Hodnota tohoto napětí je následně spolu s typem lomu určující k vyhodnocení zkoušky. Při odtržení může dojít k lomu adhezivnímu nebo koheznímu. Při testování přilnavosti termocitlivých nátěrových systémů bylo použito dvousložkové lepidlo 3M ScotchWeld SF100 a odtrhového zařízení Elcometer 510, s automatickým hydraulickým pohonem. Hodnoty odtrhových napětí pro jednotlivé systémy jsou uvedeny v tabulce 3 (aritmetický průměr ze tří měření pro každý typ povlaku a předúpravu).



**Obr. 7.** Ukázka porovnání nátěrového systému IP04 na otryskaném povrchu (vlevo) a IP02 na netryskaném povrchu po odtržení zkušebního tělíska.

**Tabulka 3.** Výsledná odtrhová napětí pro jednotlivé nátěrové hmoty a typy lomů mezi nátěrem a podkladem.

Odtrhové napětí jednotlivých nátěrových systémů [MPa]						
Systém + předúprava	IP02 NO	IP02 O	IP03 NO	IP03 O	IP04 NO	IP04 O
Odtrhové napětí [MPa]	0,17	0,83	3,497	3,267	10,06	8,19
Druhy lomů jednotlivých vzorků						
Systém + předúprava	IP02 NO	IP02 O	IP03 NO	IP03 O	IP04 NO	IP04 O
Druh lomu	B	B/C	B/C	A/B	-/Y	-/Y

Z odtrhové zkoušky můžeme konstatovat, že nátěrový systém IP04 jak na otryskaném, tak netryskaném povrchu zkoušce vyhověl, zatímco zbylé dva materiály můžeme označit jako nevyhovující.

#### 3.3.2. Zkouška 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. 8.** Mřížková zkouška pro jednotlivé NS (zleva IP04, IP03, IP02)

Z obrázku 8 je patrné, že systémy IP04 a IP03 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 jsou tedy vyhovující.

### 3.3.3. 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, netvořit trhlinky a neodlupovat se. Při ohybu podkladu s nátěrem se zjišťuje nepřímo vláčnost filmu a jeho přilnavost. Zkouška byla provedena bez opatření povlaku podélným řezem.

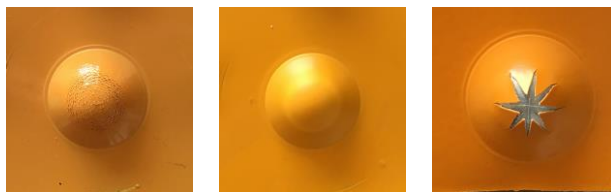


**Obr. 9.** Zkouška ohybem na kónickém trnu pro systémy IP04 a IP02, kde je vidět výrazné poškození.

Po provedení testu se na povlaku IP03 nevyskytlo prakticky žádné poškození, namáhaná část pouze vykázala změnu odstínu barvy. Na povlaku IP04 se vyskytly podélné trhlinky, povlak se místy odlupoval od podkladu. Systém IP02 vykázal poškození největší. Došlo nejen k narušení povlaku v místech ohybu ale i v místech zkouškou nezátížených (postupující trhlinky díky 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. Poškození je demonstrováno na níže uvedených obrázcích.

### 3.3.4. 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 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. 10.** Cupping test. Zleva: IP02, IP03 a IP04

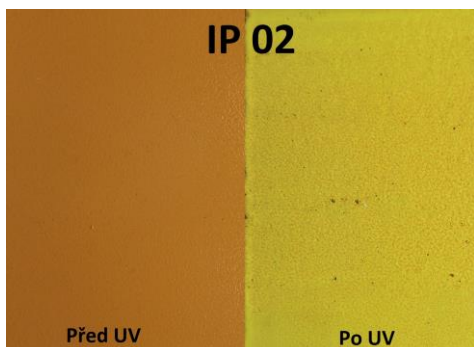
Z výše uvedených obrázků výsledku zkoušky je patrné, že odolnost proti vniknutí tělesa je u všech testovaných nátěrových hmot totožná s výsledky testu ohybu na kónickém trnu. Nátěrové hmoty IP02a IP04 vykazují výrazné trhlinky a částečné odlupování povlaku od povrchu. V tomto případě je odlupování výraznější u nátěrového systému IP02. Nátěrový systém IP03 v místě největších napětí pouze změnil odstín barvy.

## 3.4. Zkoušky odolnosti proti povětrnostním vlivům prostředí

### 3.4.1. Světlo (UV záření)

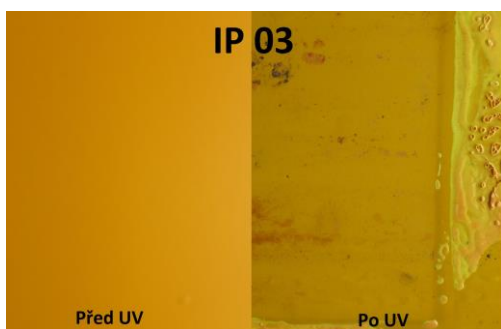
Expozice slunečnímu záření je základní příčina poškození organických povlaků, resp. nátěrových filmů fotodegradací, způsobující rozbití chemických vazeb polymeru, což vede k degradaci povrchových vrstev nátěru. Po degradaci vazeb polymeru jsou exponovány přímo pigmenty, které se mohou vymývat, sprašovat, reagovat s ostatními složkami povětrnosti a podobně. Organické polymery poškozuje zejména oblast UV záření, zvláště pak kratší vlnové délky. Slunečnímu svítu 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. Na následujících obrázcích jsou diskutovány závěry QUV testu.

a) IP 02 Po týdnu byla průměrná barevná odchylka  $DE=11,31$  a po měsíci  $DE=23,0$ .



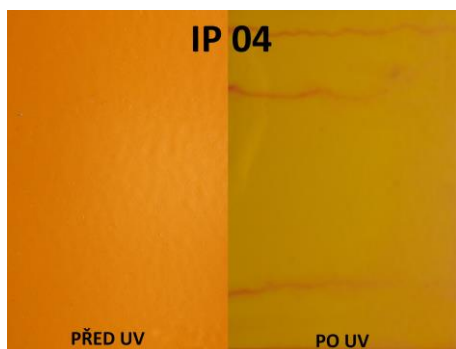
**Obr. 11.** System IP 02 po UV zatížení. Na vzorku je patrná velká degradace termocitlivého pigmentu

b) IP 03 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. 12.** U formulace IP 03 je velmi dobře patrná degradace celého systému.

c) IP 04 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.



**Obr. 13.** System IP 04 z testované série degraduje nejméně. Citlivost TCH pigmentu na UV je ale prokazatelná.

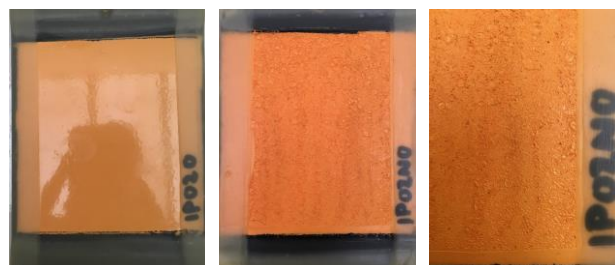
UV komora prokázala, že systém IP 02 není odolný ani vůči namáhání UV zářením, zde je to pravděpodobně způsobené nevhodností systému, jelikož docházelo i k následnému výraznému zhoršení barevného odstínu. U systémů IP 03 a IP 04 došlo po týdnu k výraznému zhoršení odstínu, ale po měsíci již změna nebyla velká, dá se tedy předpokládat, že zde je to způsobeno citlivostí termochromického pigmentu na UV záření.

### 3.4.2. 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 rozstříkávání, nesmí docházet ke stékání roztoku přímo na vzorky.

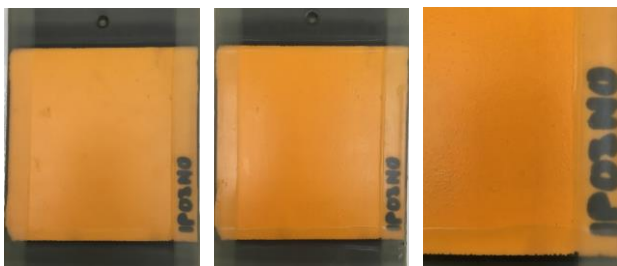
Zkouška se užívá k exponování vzorků v atmosféře obsahující korozivně působící NaCl se 100 % relativní vlhkostí vzduchu pro zjištění odolnosti vůči korozivním vlivům NaCl a působení vody.

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  $23 \mu S$ , hodnota pH připraveného roztoku byla zařízením Thermo Scientific Orion Star A211 stanovena na hodnotu 6,65. Průměrná rychlost shromažďování mlhy z vodorovné sběrné plochy byla v průběhu testu  $1,63 \text{ ml} \cdot \text{h}^{-1}$ . 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. 14.** System IP04 před testováním (vlevo) a po ukončení testů po 168 h.

#### 4. Závěrečné informace



**Obr. 15.** Systém IP03 před testováním (vlevo), a po ukončení zkoušek po 168 h.



**Obr. 16.** Systém IP04 před testováním (vlevo) a po ukončení zkoušek po 168 h.

Z výše uvedených obrázků vyplývá následující: Systém IP04 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 se po 168 h expozice objevily pouze malé puchýřky hodnotitelné kategorií 4-4 (S3). Podkorodování, praskání, nebo odlupování se u tohoto typu nátěru neprojevovalo ani u jedné z testovaných předúprav.

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 nejsou 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. Zbylé dva nátěry se dají ohodnotit jako vyhovující.

V rámci vývoje nových typů interaktivních nátěrových hmot s využitím obecně velmi málo diskutovaného termocitlivého pigmentu, byla na Fakultě strojní ČVUT započata aktivita s cílem formulovat nátěrovou hmotu reagující na výrazné teplotní změny okolí, ověřit její celkové vlastnosti a vhodnost použití pro daný záměr, kterým je využití takto formulovaných nátěrových systémů pro bezpečnostní účely. Aktivita probíhala v rámci projektu Centra výzkumu povrchových úprav a za podpory společnosti VITON s.r.o.

Vyvinuty a testovány byly celkově tři typy takovýchto systémů. Z dílčích výsledků celkového testování vyplývá následující: Z hlediska mechanických vlastností, korozní odolnosti, vzhledu a požadované funkčnosti systému (reaktivita systému na teplotní změny), vyhovuje nejlépe dvousložkový nátěrový systém s označením IP04. Proto se další výzkum bude zaměřovat především na testování formulací termochromického pigmentu s rozpouštědlovými NH dvousložkového charakteru a interakcím se základovými barvami. Dále pak bude upraven systém dispergace termocitlivého pigmentu do základové hmoty s využitím výkonnějšího dispergačního přístroje typu rotor – stator.

#### Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Janu Kudláčkovi, Ph.D. za cenné rady, odbornou pomoc a konzultace při řešení praktické části této práce. Dále bych také poděkoval Mgr. Františku Matasovi ze společnosti VITON s.r.o. za vyhotovení vzorků pro praktickou část. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat Ing. Zuzaně Tatičkové a Ing. Michalu Zoubkovi za odbornou informovanost při vyhodnocení experimentální části.

Tento výzkum byl financován z projektu "Výzkum a vývoj moderních výrobních technologií" - projekt SGS 13/187 / 0HK2 / 3 T / 12.

## Seznam symbolů

$\Delta E$	barevná odchylka (-)
IP	interaktivní povlak
NS	nátěrový systém
NO	neotryskáno (-)
O	otryskáno (-)
G	elektrická vodivost ( $\mu S$ )
$\sigma_o$	odtrhové napětí (MPa)
$t$	čas (s)

## Literatura

- [1] HELLER, Jakub. Interaktivní nátěrové systémy. Praha, 2014. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní. Vedoucí práce Jan Kudláček.
- [2] Introduction to liquid crystals. Centre of molecular materials for photonics and electronics [online]. 2013 [cit. 2018-03-27]. Dostupné z: <http://wwwg.eng.cam.ac.uk/CMMPE/lcintro.html>
- [3] ABRAMOVIČ, B.G a V.F. KARTAVCEV. Cvětovyje indikátory temperatury. Moskva: Vydavatelství Energie.
- [4] Reversible thermochromic [online]. [cit. 2018-03-28]. from: <http://sky-rad.com/reversible-thermochromic>
- [5] Sijia Zheng, Yi Xu, Qianhong Shen, Preparation of reversible thermochromic building coatings and their properties, Solar Energy, Volume 112, 2015, Pages 263-271, [cit. 2018-03-29] ISSN 0048-092X, (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038082X14005834>)
- [6] 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. 2018-03-30]. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2014.06.031. from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0257897214005428>