

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

INTERAKTIVNÍ NÁTĚROVÉ SYSTÉMY

Autor: Jakub HELLER

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jan Kudláček, Ph.D.

Akademický rok: 2014/2015

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že bakalářskou práci „Interaktivní nátěrové systémy“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím podkladů a informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu citované literatury na konci práce.

V Praze dne 16. června 2015

.....

Jakub Heller

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

pro **Jakuba HELLERA**

Program: Teoretický základ strojního inženýrství

Obor:

Název: Interaktivní nátěrové systémy

Název anglicky: Interactive painting systems

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor problematiky nátěrových hmot
2. Zhodnocení druhů interaktivních nátěrových hmot
3. Vyhodnocení experimentální části práce



ANOTACE

Cílem této bakalářské práce je zhodnocení a rozbor interaktivních nátěrových systémů a zhodnocení technologických vlastností teplocitlivého nátěrové hmoty vzhledem k interakci s okolním prostředím. Nátěrová hmota byla vytvořena z termocitlivého pigmentu Apex TH série ve třech barvách a podrobena několika zátěžovým zkouškám.

ANNOTATION

The aim of this thesis is the evaluation and analysis of interactive coating systems and evaluation of technological properties of thermo-sensitive coatings due to the interaction with the environment. Coating material was created from heat-sensitive pigment Apex TH Series in three colors and subjected to several stress tests.

Obsah

Obsah	3
1 Úvod	7
2 Nátěrové systémy.....	8
2.1 Druhy nátěrových hmot	8
2.1.1 Dle základních vlastností	8
2.1.2 Dle prostředí.....	9
2.1.3 Dle způsobu aplikace na ošetřovaný povrch.....	9
2.1.4 V závislosti na druhu báze	9
2.2 Pojiva	11
2.3 Plnidla	11
2.4 Pigmenty	11
2.5 Ostatní přísady (Aditiva).....	13
2.6 Technologické vlastnosti nátěrových hmot	14
2.6.1 Tloušťka nátěru	14
2.6.2 Elasticita	15
2.6.3 Tvrdost nátěru.....	15
2.6.4 Adhezivita nátěru	15
2.6.5 Specifické vlastnosti nátěru.....	16
3 Interaktivní nátěrové systémy.....	17
3.1 Historie interaktivních nátěrových systémů	17
3.2 Druhy INS.....	18
3.2.1 Samohojivé nátěry	18
3.2.2 Antigraffiti	18
3.2.3 UV laky.....	18
4 Termochromické nátěrové hmoty	20
4.1 Látky používané jako termopigmenty.....	21
4.1.1 Kompozitní termochromní pigmenty	21
4.2 Termochromické tekuté krystaly	22
4.2.1 Molekulární přestavby	23
4.3 Chromogenní termochromní gely	24
5 Technologické možnosti.....	25
5.1 Nutné vlastnosti termopigmentů.....	25
5.2 Příprava a aplikace termokolorů	26
5.3 Teplotní zatěžování	26

6	Experiment	28
6.1	Příprava vzorků.....	28
6.2	Nátěrová hmota Apex TH 30.....	28
6.3	Tloušťka nátěrové vrstvy	29
6.4	Barevnost a světlost	32
6.5	Teplotní zatěžování	34
6.5.1	Teplotní zatěžování v sušící peci	34
6.5.2	Teplotní zatěžování infračervenou lampou.....	37
6.5.3	Zatěžování maximální dovolenou teplotou.....	38
6.5.4	Cyklické teplotní zatěžování	39
6.6	Morfologie povrchu.....	39
6.7	Zkoušky nátěrových systémů	41
6.7.1	Odrhová zkouška.....	41
6.7.2	Mřížková zkouška	43
7	Závěr	46
8	Seznam použitých zdrojů	47
9	Seznam obrázků	49
10	Seznam Tabulek.....	50
11	Seznam použitých zkratk.....	51
12	Přílohy	52
12.1	Snímky morfologie povrchu	52
12.2	Grafy barevnosti – teplotně nezatížené.....	55
12.3	Grafy barevnosti – teplotně zatížené a ochlazované (sušící pec, sada 1)	57
12.4	Ukázky vzorků před teplotním zatížením	60

1 Úvod

Chemický průmysl po celém světě vyrábí nesčetné množství nátěrových hmot včetně interaktivních nátěrových systémů. O funkcionalizaci povrchu se člověk snaží již mnoho let, a to vždy s cílem zlepšit konkrétní vlastnosti materiálu při konkrétní situaci interakce s okolím.

V současné době pokrok v oblasti povrchového inženýrství, nanotechnologie a nanomateriálů umožňuje manipulaci se složením nátěrových materiálů až na molekulární úrovni. Díky tomuto pokroku jsme schopni zajistit téměř na jakémkoli povrchu přesně dané vlastnosti, které požadujeme. Mezi tyto vlastnosti můžeme zařadit mimo jiné i citlivost na teplotní změny. Takové látky nazýváme termochromické nebo také termocitlivé. Termokolor je specifikován jako speciální barevný nátěr měnící svůj barevný odstín na určitém teplotním rozmezí a jeho využití a technologické vlastnosti jsou obsahem této bakalářské práce.

2 Nátěrové systémy

Nátěrovým systémem se označuje hmota tekutého, emulzního či pastovitého charakteru, která po nanesení na povrch zanechává jednolitý ochranný film. Nátěrovými hmotami chráníme ošetřovaný povrch před vlivy okolního prostředí. Základní funkcí nátěru je ochrana proti korozi, dále můžeme měnit (zlepšovat) funkční vlastnosti, jako je ochrana proti otěru, ochrana proti mikroorganismům (plísně a bakterie) a funkci pohledovou respektive dekorativní.

Nejpoužívanějšími způsobem povrchové úpravy jsou organické nátěrové hmoty. Jejich výborná dostupnost a vysoký ochranný účinek ve spojení s jednoduchým způsobem aplikace jsou hlavními důvody jejich vysoké využitelnosti. Tyto povlaky jsou z větší části nanášeny v tekutém stavu v jedné nebo ve více vrstvách. Při nanesení většího počtu vrstev se zvyšuje ochranná účinnost celého nátěrového systému. Mimo nátěrových hmot lze k vytvoření ochranného povlaku využít práškové barvy. [1]

Díky podstatě organických nátěrových hmot jsou ideálním základem pro vytváření různých druhů interaktivních barev.

2.1 Druhy nátěrových hmot

Kvůli rozvoji chemického průmyslu v odvětví povrchových úprav je jejich terminologie značně pozměněna, a to hlavně v závislosti na mezinárodních normách jako například norma ČSN EN ISO 8044 (03 8001) která pozměňuje základní termíny a definice. Nátěrové hmoty můžeme dělit do několika segmentů. [1]

2.1.1 Dle základních vlastností

Vzhledem k základním vlastnostem je možné nátěrové hmoty rozdělit na:

- Laky – Nátěrový systém, který na ošetřovaném povrchu vytváří průhlednou respektive průsvitnou vrstvu.
- Pigmentové nátěrové systémy – Na povrchu tvoří neprůhlednou vrstvu.

2.1.2 Dle prostředí

Vzhledem k prostředí použití se nátěrové systémy dělí na:

- Vnější – jsou odolné vůči povětrnostním vlivům, většinou barevně i vlastnostmi stálé vzhledem k působení slunečního záření.
- Vnitřní – jejich odolnost vůči přírodním vlivům není tak vysoká jako u nátěrových systému vnější charakteristiky.
- Speciální – do této skupiny je možné zařadit interaktivní nátěrové systémy (např. Antigrafitti) nebo barvy odolné vůči chemickým vlivům.

2.1.3 Dle způsobu aplikace na ošetřovaný povrch

- Napouštěcí (při aplikaci systému na savý povrch jakým je např. dřevo)
- Základní
- Plnicí (vyrovnávací) pro snížení nerovností
- Vrchní
- Zakrývací

2.1.4 V závislosti na druhu báze

Toto dělení se zaměřuje především na složku pojivové báze, kterou označujeme základním písmenem. Takovéto označování je možné užít například u lihových a vodou ředitelných nátěrových hmot:

- A – asfaltové nátěrové hmoty
- B – polyesterové nátěrové hmoty
- C – celulósovité nátěrové hmoty
- E – práškové nátěrové hmoty
- H – chlorkaučukové 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 základním písmenem následuje čtyřmístná číslice udávající informace o druhu nátěrové hmoty:

- 1000 – fermeže a transparentní látky
- 2000 – pigmentové nátěrové hmoty
- 3000 – pasty
- 4000 – nástřikové a vyrovnávací hmoty (plniče)
- 5000 – tmely
- 6000 – ředidla
- 7000 – sušidla a tvrdidla
- 8000 – další pomocné přípravky
- 9000 – pryskyřice

Odstín barvy je určen dle ČSN EN ISO 3668, a udává se čtyřmístným číslem, kde první dvě číslice značí barevný tón a zbylé číslice jeho odstín. Ve světovém měřítku se barevné odstíny určují dle RAL stupnice. [1]

RAL 1000	RAL 1001	RAL 1002	RAL 1003	RAL 1004	RAL 1005	RAL 1006	RAL 1007
RAL 1011	RAL 1012	RAL 1013	RAL 1014	RAL 1015	RAL 1016	RAL 1017	RAL 1018
RAL 1019	RAL 1020	RAL 1021	RAL 1023	RAL 1024	RAL 1027	RAL 1028	RAL 1032
RAL 1033	RAL 1034	RAL 2000	RAL 2001	RAL 2002	RAL 2003	RAL 2004	RAL 2008
RAL 2009	RAL 2010	RAL 2011	RAL 2012	RAL 3000	RAL 3001	RAL 3002	RAL 3003
RAL 3004	RAL 3005	RAL 3007	RAL 3009	RAL 3011	RAL 3012	RAL 3013	RAL 3014
RAL 3015	RAL 3016	RAL 3017	RAL 3019	RAL 3020	RAL 3022	RAL 3027	RAL 3031
RAL 4001	RAL 4002	RAL 4003	RAL 4004	RAL 4005	RAL 4006	RAL 4007	RAL 4008
RAL 4009	RAL 5000	RAL 5001	RAL 5002	RAL 5003	RAL 5004	RAL 5005	RAL 5007
RAL 5008	RAL 5009	RAL 5010	RAL 5011	RAL 5012	RAL 5013	RAL 5014	RAL 5015
RAL 5017	RAL 5018	RAL 5019	RAL 5020	RAL 5021	RAL 5022	RAL 5023	RAL 5024
RAL 6000	RAL 6001	RAL 6002	RAL 6003	RAL 6004	RAL 6005	RAL 6006	RAL 6007
RAL 6008	RAL 6009	RAL 6010	RAL 6011	RAL 6012	RAL 6013	RAL 6014	RAL 6015
RAL 6016	RAL 6017	RAL 6018	RAL 6019	RAL 6020	RAL 6021	RAL 6022	RAL 6024
RAL 6025	RAL 6026	RAL 6027	RAL 6028	RAL 6029	RAL 6032	RAL 6033	RAL 6034
RAL 7000	RAL 7001	RAL 7002	RAL 7003	RAL 7004	RAL 7005	RAL 7006	RAL 7008
RAL 7009	RAL 7009	RAL 7010	RAL 7011	RAL 7012	RAL 7013	RAL 7015	RAL 7016
RAL 7021	RAL 7022	RAL 7023	RAL 7024	RAL 7025	RAL 7026	RAL 7028	RAL 7032
RAL 7033	RAL 7034	RAL 7035	RAL 7036	RAL 7037	RAL 7038	RAL 7039	RAL 7040
RAL 7042	RAL 7043	RAL 7044	RAL 8000	RAL 8001	RAL 8002	RAL 8003	RAL 8004
RAL 8007	RAL 8008	RAL 8011	RAL 8012	RAL 8014	RAL 8015	RAL 8016	RAL 8017
RAL 8019	RAL 8022	RAL 8023	RAL 8024	RAL 8025	RAL 8028	RAL 9001	RAL 9002
RAL 9003	RAL 9004	RAL 9005	RAL 9010	RAL 9011	RAL 9016	RAL 9017	RAL 9018

Obr. 1 Příklad RAL stupnice odstínů barev [20]

2.2 Pojiva

Pojiva neboli filmotvorné látky udávají nátěru základní fyzikálně-mechanické a chemické vlastnosti. Pojivo se po vyschnutí nátěru nevypaří, ale spojí části nátěru dohromady. Mezi pojiva se řadí organické materiály, jakými jsou například fermeže nebo pryskyřice obsahující mastné kyseliny. Dále jimi mohou být upravené přírodní látky (celulózy) a syntetické polymery. Možné použití anorganických materiálů je velmi malé. Můžeme sem zařadit například křemičitany alkalických prvků například vodní sklo (vodný roztok křemičitanu sodného Na_2SiO_3). [2]

2.3 Plnidla

Plnidla neboli nastavovací přísady jsou látky, které se používají k úpravě konzistence barev (snížení barvicí schopnosti) a k vyrovnání mechanických vlastností (vysoký stupeň tvrdosti povrchu). Mají mnohem nižší hodnotu indexu lomu než pigmenty a tvoří matici nátěrových systémů. Jsou to nerozpustné práškovité minerální látky (kaolín nebo mastek). [2]

2.4 Pigmenty

Pigmenty dodávají nátěrové hmotě barevný odstín a ovlivňují krycí mohutnost (schopnost nátěrového filmu zakrýt původní povrch). Jsou rozdělovány podle charakteru a chemické povahy. Jsou jimi barevné prášky, anorganického nebo organického původu, nerozpustné v rozpouštědlech a pojivech. [2]

Pigmenty se řadí vzhledem k jejich funkci při ochranně kovových materiálů proti korozi do třech základních podskupin:

- Inhibiční pigmenty – způsobují pasivaci a zpomalují korozi (zinková žluť, suřík, zinkový prach) Používají se v základních nátěrech.
- Neutrální pigmenty – nemají vliv na průběh koroze, používají se hlavně ve vrchních nátěrech a zpomalují pronikání korozního prostředí do dalších vrstev nátěru (chroman olovnatý, titanová běloba, kysličník železnatý).

- Stimulující pigmenty-urychlují korozi a jsou význačné svojí chemickou netečností (odolnost proti chemickému působení) a dobrou elektrickou vodivostí (grafit, saze, některé oxidy železa).

Anorganické pigmenty v porovnání s organickými (syntetickými) mají větší chemickou netečnost a odolnost vůči okolnímu prostředí. Na druhou stranu mají menší čistotu odstínů a vyšší hustotu. [1]

Anorganické pigmenty pestré:

- železité pigmenty – v poslední době je jako jediný přírodní pigment používán okr, ostatní jsou získávány chemickou cestou z železitých solí. Velmi dobře odolávají vlivům atmosféry a mají vysokou kryvost a barvivost. [3]
 - saze
 - kovové bronzy
 - železitá slída
 - pigmenty získávané ze slitin železa
- chromanové pigmenty – oranže, červeně a zeleně, chromové žlutě. Nejsou v současné době používány z důvodu jejich toxicity.

Anorganické pigmenty bílé [3]

- Titanová běloba (TiO_2 – oxid titaničitý) – abnormálně vysoká kryvost, velmi vysoká barvitost a dobrá odolnost proti atmosférickým vlivům.
- Lipoton – nevhodný pro venkovní použití, užíván hlavně k speciálním účelům (olejové tmely apod.).
- Zinková běloba (ZnO – oxid zinečnatý) zvyšuje tvrdost povlaku a zlepšuje trvalost lesku.

2.5 Ostatní přísady (Aditiva)

Ostatní přísady neboli aditiva tvoří přibližně jedno procento látek, které jsou zastoupeny v nátěrovém systému. Jejich účinek je ale podstatně významnější. Zlepšují vlastnosti nátěrové hmoty a slouží k usnadnění její přípravy a následného způsobu nanášení. Mezi aditiva patří tvrdidla, absorbéry UV záření, inhibitory, retardéry hoření (zpomalovače), odpěňovače, matovadla a také látky způsobující tixotropní vlastnosti některých nátěrových hmot. (Tixotropie je schopnost nanášet nátěrové hmoty ve svislé poloze). [1]

- Inhibitory koroze – poskytují dočasnou ochranu před korozí, nemění vlastnosti ani strukturu materiálu. Inhibitory vytváří molekulární vrstvu na povrchu železných i neželezných kovů a velmi dobře je tak chrání před korozními vlivy vlhkosti, SO₂, H₂S.
- Odpěňovače – aditiva zabraňující vzniku mikropěny, která vzniká při míchání a má za následek především póry v nátěru. Nejpoužívanějšími jsou látky na bázi oxidu křemičitého, které jsou vhodné i pro vodu ředitelné barvy.
- Sikativa – urychlovače schnutí, sušidla. Přidávají se do některých olejových barev a laků. Běžně nanesená vrstva olejových barev zasychá po 2 až 14 dnech (dle obsaženého pigmentu). Přidáním sikativa lze schnutí barev podstatně urychlit (na 24 hodin po přidání 5% sikativa). [4]

2.6 Technologické vlastnosti nátěrových hmot

Pro zajištění správné ochranné funkce nátěru a splnění technologických vlastností musí být splněno několik následujících požadavků:

- Vhodné a dokonalé provedení předúpravy povrchu.
- Zajištění požadovaných vlastností nátěrové hmoty před nanesením.
- Použití vhodných technik aplikace při ideálních podmínkách (správná teplota, vlhkost).
- Dostatečná doba zasychání (vyzrání) nátěrové hmoty.

Technologickými vlastnostmi nátěrové hmoty se rozumí především tloušťka nátěru, vláčnost, tvrdost a adhezivita povlaku k chráněnému povrchu. [5] [1]

2.6.1 Tloušťka nátěru

Tloušťka nátěru ovlivňuje velké množství vlastností organického povlaku. Mezi nejpodstatnější patří korozivzdornost a životnost povlaku. Při aplikaci nátěru je stanovena spodní i horní přípustná hranice tloušťky nátěrového systému. Při znalostech úbytku povrchové vrstvy lze přibližně určit životnost jednotlivých vrstev v daném prostředí, ve které se chráněný materiál používá (například úbytek epoxidového nátěru je roven $4-7 \mu\text{m}\cdot\text{rok}^{-1}$). Postupy měření tloušťky povlaku udává norma ČSN EN ISO 2808 (673061). [5]

2.6.2 Elasticita

Elasticita je vlastnost povlaku charakterizující jeho odolnost proti mechanickému namáhání. Stanovení elasticity je možné několika způsoby:

- Stanovení odolnosti nátěru hloubením dle normy ČSN EN ISO 1520 (673081)
- Stanovení odolnosti proti úderu dle normy SN EN ISO 6272-1 (673018)
- Ohybovou zkouškou na kónickém trnu dle normy ČSN EN ISO 1520 (673081)
- Ohybovou zkouškou na válcovém trnu dle normy ČSN EN ISO 1519 (673079)

2.6.3 Tvrdoost nátěru

Požadovaná tvrdoost nátěru bývá ve velmi častých případech rozhodujícím kritériem pro volbu nátěrového systému, který zajistí požadované vlastnosti. Ke stanovení tvrdoosti se používá několik normami určených zkoušek: [5]

- Povrchová tvrdoost tučkami dle normy ČSN 67 3075
- Tvrdoost kyvadlovým přístrojem dle normy ČSN 67 6076
- Odolnost proti vrypu (Buchhlozův způsob) dle normy ČSN EN ISO 2815 (673072)

2.6.4 Adhezivita nátěru

Adhezivita neboli přilnavost je jedním ze základních faktorů ovlivňujících životnost a účinnost ochrany nátěrového systému. Opět má velmi významnou roli předúprava povrchu, a to především odstranění nečistot, mastnoty, okují případně zbytků starého nátěru dalších nežádoucích aspektů ovlivňujících přilnutí nátěrové hmoty k povrchu a zpomalují zasychání. K určení přilnavosti nátěru existuje několik set metod (přibližně 350). Nejznámější z těchto metod je mřížková zkouška prováděná podle normy ČSN EN ISO 2409, kde je na povrch působeno silou rovnoběžnou s povrchem (laterální síla). Dalšími běžně používanými zkouškami povrchu jsou: [5]

- Zkouška křížovým řezem dle normy ASTM D 3359-83 nebo dle ČSN EN ISO 16276-2 (67 3202)
- Odrhová zkouška přilnavosti dle normy ČSN EN ISO 246224 (673077)
- Mřížková zkouška dle normy ČSN EN ISO 2409

2.6.5 Specifické vlastnosti nátěru

Předchozí technologické vlastnosti zaschlých nátěrových hmot lze rozšířit o specifické vlastnosti. Ty mohou být vyžadovány ve specifických aplikacích. Těmito aplikacemi může být například odolnost proti otěru, odolnost vůči kapalinám, pórovitost, nasákavost, teplotní odolnost, vysoký lesk a stálost odstínu barvy. [5]

Zkoušky těchto specifických vlastností je možné rozdělit na několik kategorií. Nejnáročnější kategorií zkoušek je zkoumání korozní odolnosti vzhledem k atmosférickým podmínkám a životnosti nátěru. Jsou jimi například: [5] [6]

- Zkouška odolnosti ve vlhkostní komoře dle ČSN EN ISO 6270-1 (6731082)
- Zkouška v neutrální solné mlze dle normy ČSN EN ISO 7253 (683092)
- Zkouška v atmosféře s kondenzací vlhkosti s obsahem SO₂ (oxidu siřičitého) dle normy ČSN EN ISO 323 (673096)

3 Interaktivní nátěrové systémy

3.1 Historie interaktivních nátěrových systémů

Funkcionalizace povrchu je známa již mnoho let, a to vždy s cílem zlepšit konkrétní vlastnosti materiálu při interakci s okolím. V současné době pokrok v oblasti povrchového inženýrství, nanotechnologie a nanomateriálů umožňuje manipulaci se složením nátěrových materiálů až na molekulární úrovni.

Povrchy mnoha materiálů mohou být funkcionalizovány za použití interaktivních povlaků. Původ funkčních povlaků je zakotven v historickém dědictví lidstva. Znamé příklady jsou ochrana prvních kovových nástrojů (železo, mosaz, stříbro) živočišným tukem, včelím voskem, želatinou, rostlinnými oleji a různými druhy jílovitých minerálů. Vodotěsnost, jas, ochrana proti korozi, ochrana proti opotřeбенí a mazání jsou příklady vlastností, které si člověk žádal již od starověku. Koncept funkčního povlaku si prošel velmi dlouhým vývojem a dnes existuje mnoho cest pro funkcionalizaci povrchu. Nicméně, některé z těchto dávných modifikátorů povrchu se po správné úpravě a vývoji kvůli svým vynikajícím vlastnostem používají dodnes. [7]

Funkční povlaky (ať už organické, anorganické nebo hybridní) jsou skupinou povlaků, které mohou být přizpůsobeny pro mnoho aplikací. Od nábytku přes auta, notebooky, mobilní telefony, solární panely, nebo náročnější aplikace, jako jsou zdravotnické prostředky a ortopedické implantáty. Koncept "inteligentních" povlaků je v dnešní době zaměřen na systémy, které mohou reagovat na určité podněty generované vnitřními nebo vnějšími vlivy. Mezi tyto systémy můžeme zařadit hmoty, které svými vlastnostmi zabraňují jejich vlastnímu poškození (samohojivé nátěry), UV citlivé nátěry, nátěry zlepšující jejich aplikovatelnost (změnou barvy detekují průběh zasychání) antigrafitní nátěry ale také teplocitlivé nátěry které svými vlastnostmi mohou zvýšit bezpečnost v rizikových prostředích. [7]

3.2 Druhy INS

3.2.1 Samohojivé nátěry

Samohojivé nátěry jsou nátěry obsahující inhibitory koroze většinou v podobě mikro nebo nanoaditiva. Mezi ně patří různé systémy, jako jsou porézní kapsle, anorganické mikročástice, vrstevnaté dvojité hydroxidy, jakož i směsi kapslí s různými verzemi kinetického uvolňování, které mohou dodat inhibitor inteligentním způsobem na poškozené místo. Inteligentní uvolnění inhibitoru koroze z kapsle vyžaduje vnější podnět. Obaly mohou být aktivovány šířením trhliny v povlaku nebo zvýšenou koncentrací kovových kationtů v blízkosti elektrochemicky aktivních oblastí. Tyto povlaky se osvědčily obzvláště na hliníku a ocelových součástech. [7]

3.2.2 Antigrafitti

Odstranění spreje pomocí tradičních (chemických a mechanických) metod sebou nevyhnutelně nese změnu povrchových vlastností původního materiálu. Proto dopady způsobené graffiti na památkách vedly k vývoji a uplatňování preventivních systémů v podobě antigraffiti nátěrů (které brání barvě v prosakování do pórů materiálu a usnadňují čištění). Pro řadu stavebních materiálů jako je beton, umělý nebo přírodní kámen, pískovec, žula, cihla apod. se používá antigraffiti nátěr pracující na principu sebezničující vrstvy. To znamená, že při odstraňování graffiti je odstraněn ochranný nátěr a je nutno ho v daném místě obnovit. Nejpoužívanějšími antigraffiti nátěry jsou: Fluoralkyl siloxan, Protectosil a hybridní organicko-anorganická látka Ormosil. [8]

3.2.3 UV laky

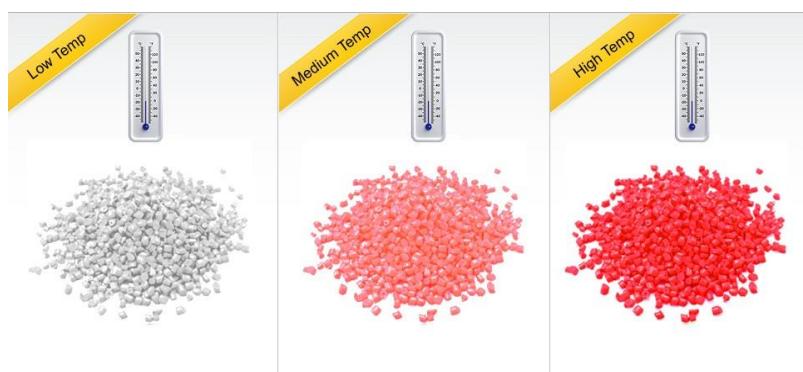
Nanášení laků vytvrzovaných UV zářením patří k technologiím, které se v posledních letech rychle rozvíjejí. Výhodou jejich aplikace je výrazné zkrácení doby vytvrzení vrstvy laku, snížení energetické náročnosti, nižší prostorové nároky na instalaci technologie, možnost použití UV laků na různé podklady, nízký nebo nulový obsah těkavých organických látek a tedy výrazné snížení emisí do ovzduší a úspora nákladů na jejich likvidaci. UV laky našly uplatnění v různých průmyslových odvětvích (automobilový průmysl, ocelové trubky, spotřební průmysl) a jejich používání se neustále rozšiřuje. UV laky můžeme dělit na:[9]

- UV laky na bázi organických rozpouštědel
- UV laky na vodní bázi
- UV laky bez obsahu rozpouštědel

4 Termochromické nátěrové hmoty

Termochromická nátěrová hmota (termocitlivá nebo také termokolor) je speciální nátěrová hmota, měnící intenzitu barvy v závislosti na určité teplotě. Tyto nátěry je možné používat buď přímo pro měření teploty (termochromické teploměry) nebo jako bezpečnostní prvek detekující nebezpečně se zvyšující teploty na exponovaných místech. Termokolory je možné rozdělit do několika skupin dle principu jejich fungování a podle reversibility (vratnosti) barevných změn. Termochromické NH se dělí na vratné, nevratné a částečně vratné termokolory.

- Reversibilní termokolory (vratné) – při zvýšení teploty se mění jejich odstín, při ochlazení se odstín vrací na původní hodnotu.
- Nereversibilní termokolory (nevratné) – při zvýšení teploty dochází ke změně odstínu, při ochlazení již ale nedochází k návratu k odstínu původnímu.
- Částečně reversibilní termokolory - při zvýšení teploty na teplotu přechodu odstínu se mohou postupně působením vlhkosti vzduchu regenerovat a při dalším zahřátí změnit odstín. Mohou tak být použity vícekrát.



Obr. 2 Změna odstínu reversibilního termokoloru po zahřátí [17]

Termokolory fungují na podstatě změny barvy určité chemické látky, která je způsobena fázovou přeměnou mezi krystaly nebo také díky molekulární přestavbě látky. Velký vliv na změnu barvy má kromě teploty také tlak okolního prostředí.

4.1 Látky používané jako termopigmenty

Látkou používanou jako termopigment pro vratné termokolory bývají hlavně upravené hliníkové prášky. Tyto prášky se většinou upravují tanininem (kyselinou tříslovou). 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 buď využívají směsi několika látek, nebo jednosložkové chemické sloučeniny, například Octan kobaltnatý $\text{Co}(\text{C}_2\text{H}_3\text{COO})_2$ nebo Fosforečnan nikelnatý-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. 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 reversibilní 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. [10] [11]

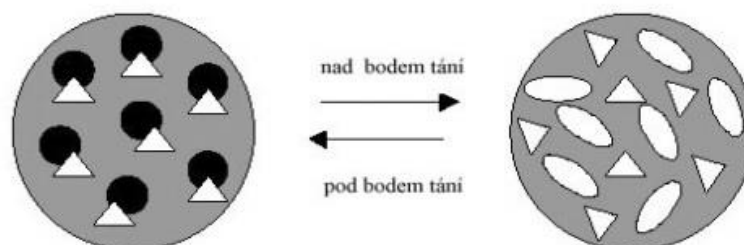
4.1.1 Kompozitní termochromní pigmenty

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 průměr 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.

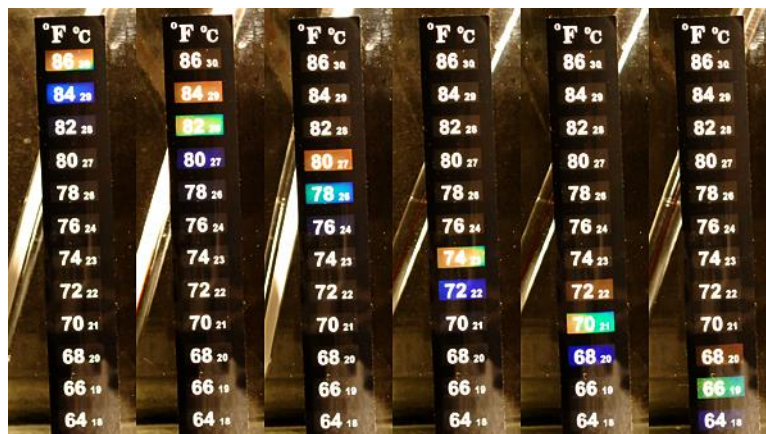
Výhodou těchto pigmentů je změna barvy ve velmi krátkém intervalu a také různé teploty barevné změny, které závisí na pomocném rozpouštědle. [11]



Obr. 3 Schéma vnitřní přeměny kompozitního pigmentu pod vlivem teploty [11]

4.2 Termochromické tekuté krystaly

Jako termochromické tekuté krystaly se používají látky na bázi cholesterolů, které jsou vysoce teplotně citlivé. Obecně se dá říci, že tekuté krystaly se vyskytují u látek, které mají nesymetrické, protáhlé molekuly, tedy u látek organických. Takové dlouhé molekuly lze uspořádat tak, že jsou uloženy v trojrozměrné krystalové mřížce, uspořádané ve všech třech směrech (pak se jedná o pevnou fázi). Dále je lze uspořádat ve dvou směrech, nebo v jednom směru (to se jedná o tekuté krystaly). Jsou-li neuspořádané, mají strukturu typických kapalin. Díky světlu, které prochází krystalem dochází k difrakci v jednotlivých vrstvách a vlnová délka s největším číslem konstruktivní interference se odrazí zpět. Ta je pak vnímána jako spektrální barva. Změna teploty krystalu má za následek změnu vzdálenosti mezi vrstvami, díky čemuž se mění odražené vlnové délky. Barva termochromního tekutého krystalu se tedy může plynule měnit v rozsahu od nereflexní černé barvy prostřednictvím spektrálních barev zpět na černou v závislosti na teplotě. [12] [13]

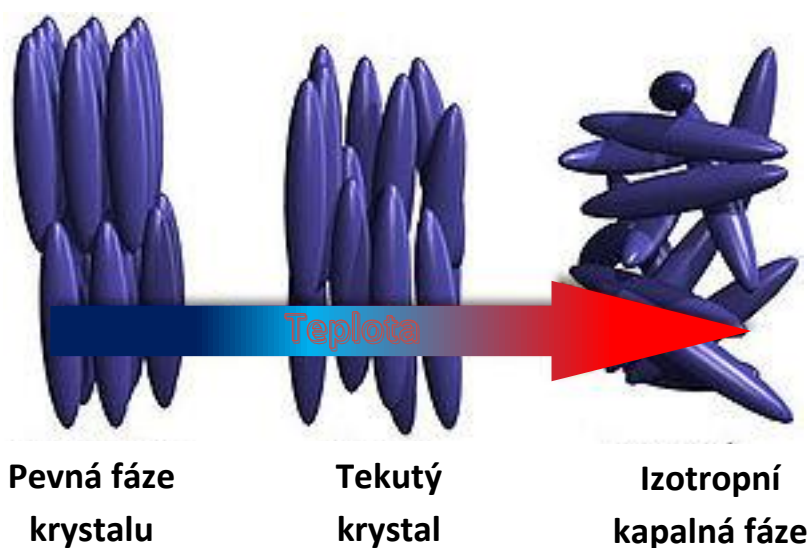


Obr. 4 Použití tekutých krystalů – venkovní teploměr [18]

4.2.1 Molekulární přestavby

Hlavním mechanismem přechodů je změna na tzv. meso fázi kdy je materiál ve stavu mezi tekutou a pevnou fází. U tekutých krystalů se tato fáze vyskytuje díky teplotním vlivům a to buď při zahřátí izotropní kapalně fáze, nebo při zahřátí krystalické pevné fáze.

Nevýhodou tekutých krystalů je velmi krátká doba použitelnosti a s tím související rychlé vyčerpání barevných přechodů a také nestabilní barevná stálost v určitých teplotních rozmezech. [12]



Obr. 5 Schéma mechanismu přeměny tekutých krystalů za vlivu teploty [19]

I když molekuly vykazují termochromismus je zde silná závislost na jejich krystalických strukturách. V případě Schiffových bází (bazické sloučeniny aldehydů nebo ketonů) s rovinným uspořádáním molekul dochází k omezení termochromního efektu, a to tehdy, když je tautomerní rovnováha posunuta směrem k formě, která absorbuje v oblasti dlouhých vlnových délek. Změny barvy v tomto uspořádání většinou probíhají ze žluté na oranžovou případně slabě červenou. [12]

4.3 Chromogenní termochromní gely

Termochromní gely jsou materiály s vratnou změnou z transparentní na průsvitnou formu nebo spíše odrazivou formu v závislosti na specifickém rozmezí teplot. Tyto gely se vyrábí rozpouštěním bezbarvých anorganických solí ve směsi vody a vodou mísitelného polymeru, jako například polyvinylchloridu. Změna v průhlednosti těchto gelů nastává díky tvorbě kapalně krystalické fáze. Termochromní gely je možné použít jako teplotní senzory nebo jako světelné filtry. Nejčastěji jsou používány jako světelné filtry na výškových budovách. [11]

5 Technologické možnosti

Termokolory všech typů obsahují čtyři základní složky. Jsou to termopigmenty, pojiva, rozpouštědla a plnidla. Doplnkovou úlohu plní ředidla, tvrdidla a plastifikátory. Používané termopigmenty jsou práškového charakteru a v konečném důsledku plní funkci základní složky celého systému. S ohledem na jejich strukturu je nelze použít bez pojiva. Pojivo zaručuje dobrou přilnavost termokoloru k podkladu a nesmí vykazovat poškození jako je praskání a odlupování povlaků od podkladu, vznik puchýřků, bublinek a dalších vad. V tomto případě musí pojivo a tedy i samotný povlak vykazovat vhodný teplotní koeficient délkové roztažnosti. Pojivo nesmí ovlivňovat teplotu přechodu a barvu termokoloru. Vhodná pojiva jsou pryskyřice rozpustné v lihu, olejové laky, silikony, alkydy, modifikované alkydy, kopolymery, vodní sklo a nespočetné množství dalších. Termoindikátory na bázi polyakrylátových pojiv vykazují dobré vlastnosti jako například metakrylové kyseliny označovány jako BMK. Při výrobě termokoloru se používá vosk, parafín, cerezín, stearin. Použitá rozpouštědla zajišťují základní vlastnosti připravených směsí a mají stejné uplatnění jako v případě nátěrových hmot a z nich hotovených nátěrů. Nesmí ovlivňovat pracovní charakteristiky termokolorů a podkladů, na které jsou nanášeny termokolory. Plnidla nesmí ovlivňovat vlastnosti termokolorů, obdobně jako v oboru nátěrových hmot plní pomocnou plnicí funkci. [15]

5.1 Nutné vlastnosti termopigmentů

- 1) Musí vykazovat jasný barevný odstín při libovolné pracovní teplotě.
- 2) Musí mít dostatečně úzký teplotní interval změny barvy - u nově vyráběných typů nejvíce 1 – 2 °C.
- 3) Teplota přechodu a barva nesmí záviset na okolním prostředí a podmínkách ohřevu.
- 4) Musí vykazovat ostrou hranici přechodu jedné barvy do druhé.
- 5) Musí vykazovat krátkou dobu pro změnu barvy.
- 6) Nesmí vykazovat negativní vliv na měřený objekt a organismus člověka.
- 7) Nesmí měnit pracovní vlastnosti při dlouhodobém skladování.

5.2 Příprava a aplikace termokolorů

Problémem při výrobě termochromických nátěrových hmot je omezená možnost rozpustnosti pigmentů ve vodných roztocích. Proto jsou nátěrové systémy téměř výhradně na syntetické bázi nebo na bázi modifikovaných silikonů. Práškové termochromické pigmenty slouží většinou jako výchozí produkt pro zhotovování jiných typů produktů. Je téměř nemožné používat pigmenty samostatně. Termochromická nátěrová hmota je tvořena suspenzí sloučenin, které reagují na změnu teploty (termochromické pigmenty), plnidly, pojivy a rozpouštědly. Po zaschnutí nátěr plní svou funkci indikátoru citlivého na změny teploty. Podobného charakteru jsou laky, pasty, tužkové typy, tabletové typy a tiskové inkousty. Termochromické nátěrové hmoty mohou být nanášeny všemi konvenčními technologiemi – natíráním, máčením, stříkáním.

Termochromické nátěrové systémy na bázi tekutých krystalů se v současné době nepoužívají z důvodu rychlého vyčerpání barevných přechodů. Aplikace by byla problematická, proto se tyto systémy aplikují pouze ve formách pásků s krystaly, které po přiložení měří teplotu. [14]

5.3 Teplotní zatěžování

Teplota přechodu termokolorů nezávisí na materiálu na kterém je nanesen a nesmí mezi ním a podkladem docházet k vzájemné interakci. V případě termokolorů u kterých se zbarvení mění následkem chemických reakcí má okolní prostředí (tlak, klimatické podmínky, záření, doba ohřevu) zřetelný vliv na teplotu přechodu. V případech, kde je povrch objektu zahříván hlavně zářením může pohlcené záření ovlivnit změnu barvy tak, že ukazuje odlišnou teplotu, než je teplota částí povrchu objektu. Tento rozdíl v jednotlivých případech může být velmi markantní.

Vzhledem k tomu, že změna odstínu termochemických indikátorů souvisí se změnami jako je dehydratace, změna pH a jinými pochody, závisí teplota přechodu na vnějších podmínkách, při kterých se provádí měření. Největší vliv na přesnost měření (určení změny odstínu) má okolní prostředí, tlak a radiace.

Také je vhodné poznamenat, že skladování termopigmentů po dobu několika let při běžných klimatických podmínkách a při teplotě nižší než 20 °C nemá na termokolory kapalné a pastovité v hermeticky uzavřených a chráněných obalech před působením světla žádný vliv. Většina termotužek, termotabletek a podobných termokolorů chráněných v lepenkových krabicích po dobu několika let vykazují snížení teploty přechodu a mohou částečně změnit barevný odstín. Na změnu odstínu termokolorů má vliv teplota (rychlost ohřevu a postup ohřevu). Předběžné zahřátí termokoloru na teplotu nižší, než je kritická teplota snižuje teplotu přechodu o 5 °C až 25 °C. Vysvětluje se to tím, že při zvýšení teploty ve filmu termokoloru začínají probíhat fyzikálně-chemické přeměny, které mají vliv na teplotu přechodu. [14]

6 Experiment

Experimentální část této bakalářské práce je věnována sledování technologických vlastností termochromických nátěrových hmot při teplotním zatěžování okolním prostředím. V rámci této práce bylo vytvořeno a zkoumáno dvanáct vzorků, vždy čtyři stejné barvy, ale jiné počáteční předúpravy rozdělené do dvou sad. Nátěrová hmota byla na vzorky nanášena natahovacím pravítkem. Dále byla u vytvrzených vzorků zkoumána tloušťka nátěrové vrstvy a jejich morfologie. Následně byly vzorky podrobeny teplotnímu zatížení a na závěr zkoušce přilnavosti a odolnosti.

6.1 Příprava vzorků

V experimentální části byli použity dva typy vzorků. Jedná se o standardní testovací plechy typu RST 37-2 z konstrukční oceli. Jedna sada (6 vzorků) byla otryskána drtí z umělého korundu na požadovanou drsnost a zbytek vzorků byl ponechán v surovém stavu bez počáteční předúpravy. Přípravu nátěrové hmoty a její následné nanesení bylo provedeno firmou Viton s.r.o. Veselí nad Lužnicí v řádné koncentraci dle technického listu.

6.2 Nátěrová hmota Apex TH 30

Série Apex TH je řada barevných termocitlivých pigmentů britského výrobce Capricorn Speciality Chemicals. Apex TH 30 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 barva znovu vrátí do původního odstínu.

Produktová řada:

Tabulka č. 1: Typy termocitlivých pigmentů řady TH

Typ pigmentu	Barvy	Rozmezí teplot
TH 30	Červená, Modrá, Žlutá, Černá	26 - 31°C
TH 40	Černá, Tyrkys	37 - 42°C
TH 60	Černá, Tyrkys	54 - 62°C

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 může mít vliv na měnící schopnosti barvy a dokonce může pigment zničit.

APEX TH může být použit v systémech na bázi rozpouštědel a vodní bázi a to na úrovni přídatku 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.

6.3 Tloušťka nátěrové vrstvy

Měření tloušťky nátěrové vrstvy bylo provedeno tloušťkoměrem pracujícím na principu vířivých proudů a to vždy na pěti jednoznačně určených místech, 3 krát po sobě na každém jednotlivém vzorku. Z tohoto měření byla vypočtena průměrná tloušťka vrstvy na každém vzorku a jeho směrodatná odchylka.



Obr. 6 Schéma měření tloušťky

Tabulka č. 2: Měření tloušťky (sada č.1 - nepředupravené vzorky)

Neotryskaná černá 1		body měření tloušťky [μm]					Průměr	S. O.
		1	2	3	4	5		
číslo měření v bodě	1	69,9	53,5	111,9	187,3	93,6	103,75	45,63
	2	74,7	57,8	114,9	180,4	89		
	3	73,1	61	116,6	181,6	90,9		
Neotryskaná černá 2		body měření tloušťky [μm]					Průměr	S. O.
		1	2	3	4	5		
číslo měření v bodě	1	83,1	64,8	103	162,4	100,7	102,85	36,34
	2	82,4	58,4	113,7	169,9	94,2		
	3	83,5	59,8	109,1	163,5	94,3		
Neotryskaná žlutá 1		body měření tloušťky [μm]					Průměr	S. O.
		1	2	3	4	5		
číslo měření v bodě	1	44,2	43,9	41,4	48,4	50,8	45,58	3,56
	2	42,4	44	44,8	47,1	47,4		
	3	42,1	44,4	42,2	46,3	54,3		
Neotryskaná žlutá 2		body měření tloušťky [μm]					Průměr	S. O.
		1	2	3	4	5		
číslo měření v bodě	1	39,8	37,7	38	39,4	36,1	38,07	1,59
	2	38,9	38	39,2	40,6	35,8		
	3	39,1	38,4	37,2	38,1	34,7		
Neotryskaná modrá 1		body měření tloušťky [μm]					Průměr	S. O.
		1	2	3	4	5		
číslo měření v bodě	1	47,3	50	47,2	73	72,4	57,97	12,54
	2	48,2	45,3	49,3	74	72,9		
	3	48,5	46,4	51,4	74,4	69,2		
Neotryskaná modrá 2		body měření tloušťky [μm]					Průměr	S. O.
		1	2	3	4	5		
číslo měření v bodě	1	47,2	44,5	69	74,7	62,1	58,81	11,66
	2	49,3	47,4	63	77,8	59,5		
	3	48,3	43,9	59,8	74,9	60,8		

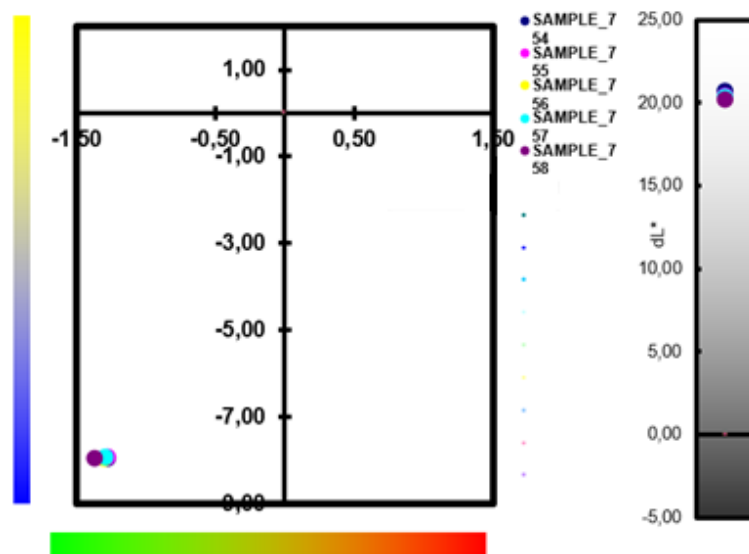
Pozn.: S. O. – Směrodatná odchylka

Tabulka č. 3: Měření tloušťky (sada č.2 - otryskané vzorky)

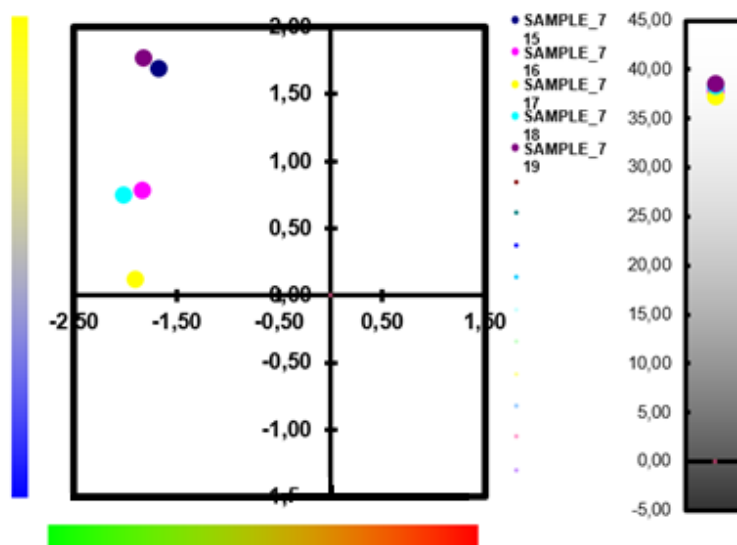
Otryskaná černá 1		body měření tloušťky [μm]					Průměr	S. O.
		1	2	3	4	5		
číslo měření v bodě	1	66,6	56,3	86,6	136,7	87,4	86,92	27,72
	2	69,9	56,9	85,9	132,2	90		
	3	67,9	56,2	89,1	135,6	86,5		
Otryskaná černá 2		body měření tloušťky [μm]					Průměr	S. O.
		1	2	3	4	5		
číslo měření v bodě	1	86,4	77	106,1	149,2	88,8	103,82	26,85
	2	94,1	79,2	111,9	154,3	86,7		
	3	93,2	80,8	112,1	150,5	87		
Otryskaná žlutá 1		body měření tloušťky [μm]					Průměr	S. O.
		1	2	3	4	5		
číslo měření v bodě	1	48,5	43,9	52,9	44,8	43,1	45,62	2,95
	2	41,7	43,7	46,2	47	44,6		
	3	41,8	44,4	48,4	45,6	47,7		
Otryskaná žlutá 2		body měření tloušťky [μm]					Průměr	S. O.
		1	2	3	4	5		
číslo měření v bodě	1	41,1	38,4	39,5	40,2	35,9	38,65333	1,88
	2	41,8	36,2	37,8	38,4	40,1		
	3	41	36,3	38,1	37,5	37,5		
Otryskaná modrá 1		body měření tloušťky [μm]					Průměr	S. O.
		1	2	3	4	5		
číslo měření v bodě	1	48,5	52,2	76,2	108,8	82,4	74,89333	22,53
	2	51,3	54,4	75,5	110,7	82,3		
	3	49,6	58,4	77,8	112,1	83,2		
Otryskaná modrá 2		body měření tloušťky [μm]					Průměr	S. O.
		1	2	3	4	5		
číslo měření v bodě	1	72,2	54,1	97,5	117,8	110,7	88,58	26,28
	2	64,7	55,8	90,4	119,7	110,5		
	3	58,2	53,5	92,2	121,1	110,3		

6.4 Barevnost a světlost

Barevnost a světlost nátěrového systému byla měřena spektrofotometrem BYK-Gardner, a to metodou CIE L*a*b. 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. Každý vzorek byl měřen na pěti různých místech, aby bylo dosaženo jasného výsledku. Barevnost v teplotně nezatíženém stavu značně kolísala a to hlavně u světlejších barev (modrá a žlutá). Naopak barva černá byla barevně velmi stálá. Z těchto výsledků vyplývá, že největší vliv na barevnost má tloušťka nátěrové vrstvy. Ta obzvláště u žluté barvy velmi kolísala a tak ani kryvost nebyla úplně ideální.



Obr. 7 Výsledek měření černé barvy na neotryskaném povrchu



Obr. 8 Výsledek měření žluté barvy na neotryskaném povrchu

Z grafů je velmi patrné jak vliv tloušťky barvy ovlivnil výsledek a tak i barevnost vzorků. Díky špatnému nanesení žluté barvy byly v určitých místech šedivé mezery, které se v grafu projevují jako velmi vysoké odchylky od původní barvy. Na celkovou barevnost měla vliv i předúprava povrchu. Viditelná byla obzvláště u žluté barvy, kdy na otryskaném povrchu působil odstín tmavším dojmem, zatímco na neotryskaném byl mnohem světlejší. U ostatních barev se tento vliv projevil minimálně. Výsledky celého měření a fotodokumentace se nacházejí v přílohách.

6.5 Teplotní zatěžování

Abychom byli schopni sledovat barevné změny vzorků, bylo nutné vzorky nátěrových hmot teplotně zatížit. Na každé sadě vzorků byl proveden jiný druh teplotního zatěžování. Sada 1 byla ohřívána v sušící peci, zatímco sada 2 byla teplotně zatěžována infračervenou lampou.

6.5.1 Teplotní zatěžování v sušící peci

Celkové zatížení v sušící peci bylo provedeno systematicky dle následujícího postupu. Do pece byli vkládány vždy dva vzorky jedné barvy s rozdílnou předúpravou povrchu a ponechány na potřebnou dobu. Po následném vytažení bylo měřeno jejich barevné spektrum a lesk v závislosti na ochlazování povrchu. Toto měření bylo provedeno opět spektrofotometrem BYK-Gardner, a to vždy s pětistupňovým teplotním odstupem.

Tabulka č. 4: Přehled měření při zahřívání sušící peci

Typ nátěrového systému	Typ předúpravy [Otrysk/Neotrysk]	Délka teplotního zatížení [min]	Zatěžovací teplota [°C]	Odstup měření barevnosti [°C]
Žlutá TH 30	Otryskáno	10	50	5
Žlutá TH 30	Neotryskáno	10	50	5
Modrá TH 30	Otryskáno	10	55	5
Modrá TH 30	Neotryskáno	10	55	5
Černá TH 60	Otryskáno	15	66	5
Černá TH 60	Neotryskáno	15	66	5

Dle technického listu měly tyto barvy mít teplotu přechodu mezi 26-31°C, což se ovšem prokázalo pouze u dvou barev. Černá barva vykazovala teplotu přechodu mnohem vyšší, blíží se k 62°C. Tato skutečnost byla ale nakonec objasněna tím, že jde o jiný typ nátěrového systému.



*Obr. 9 Ukázka změny barvy po teplotním zatížení 50°C (Neotrysk. modrá),
Vlevo maximální teplota, uprostřed teplota přechodu 35°C, vpravo teplota okolí 25°C*

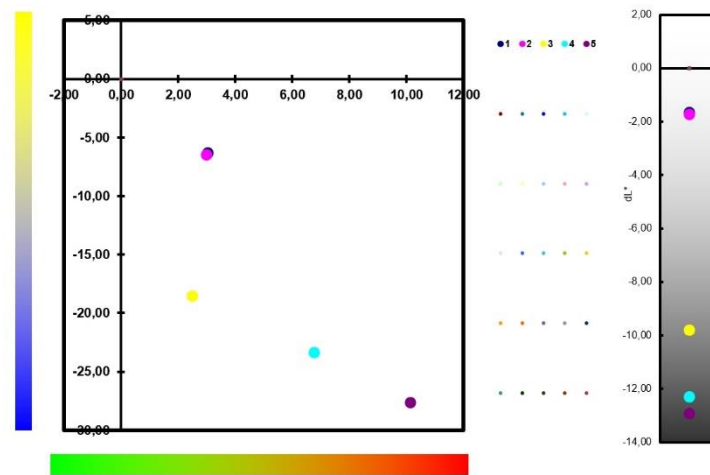


*Obr. 10 Ukázka změny barvy po teplotním zatížení 50°C (Otryskaná žlutá),
Vlevo maximální teplota, uprostřed teplota přechodu 35°C, vpravo teplota okolí 25°C*



*Obr. 11 Ukázka změny barvy po teplotním zatížení 70°C (Otryskaná černá),
Vlevo maximální teplota, uprostřed teplota přechodu 60°C, vpravo teplota okolí 25°C*

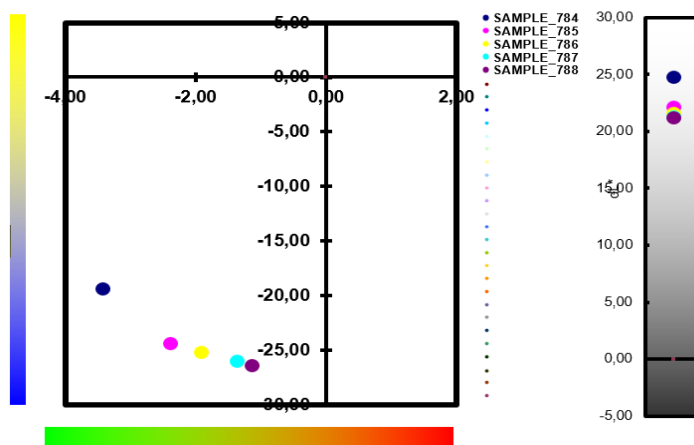
Velkou výhodou zahřívání vzorků v peci bylo celoplošné ohřátí a tak na povrchu nátěru nevznikaly žádné teplotní mapy. Barva vzhledem k ochlazování byla na všech místech stejná. Pouze u žluté barvy byla nutnost měřit barevnost v jednom stejném místě, jelikož barevnost kolísala. Tato chyba byla způsobena nesouměrnou tloušťkou nátěru po celém povrchu.



Obr. 12 Graf změny barevnosti po teplotním zatížení 50°C (Neotrysk. Modrá 1)

6.5.2 Teplotní zatěžování infračervenou lampou

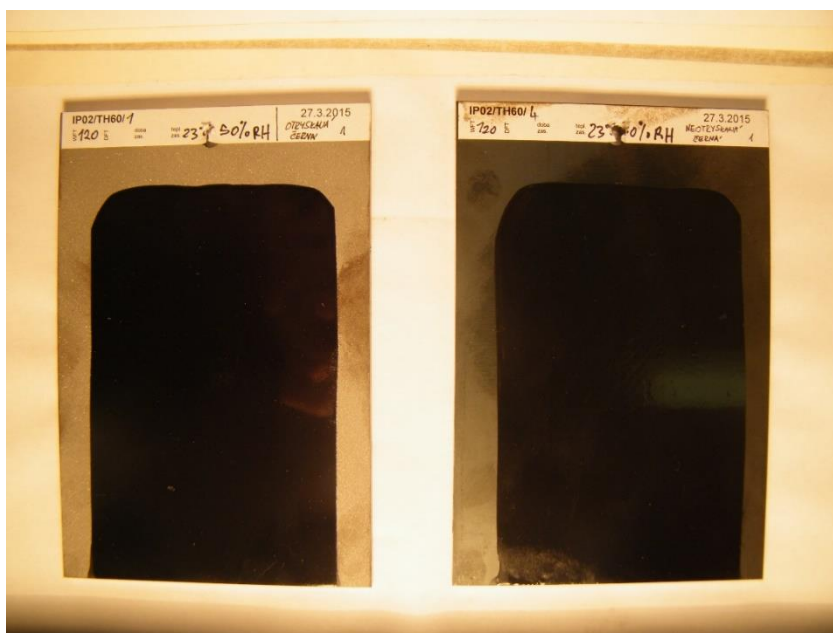
Teplotní zatěžování infračervenou lampou proběhlo na sadě číslo 2. Ohříván byl vždy jeden vzorek lampou ze vzdálenosti 10 cm od povrchu nátěru po dobu pěti minut. Po dosažení teploty přechodu a změny barvy byla na vzorcích měřena barevnost a lesk v závislosti na ochlazování povrchu spektrofotometrem BYK a to vždy pětistupňových odchylkách. Velkou nevýhodou teplotního zatěžování infračervenou lampou bylo pouhé místní ohřátí povrchu vzorku. Barevná struktura byla tak narušena pouze v určitém místě a na povrchu se tvořili teplotní mapy. Měření barevnosti díky tomu muselo probíhat v předem přesně definovaném místě. Výsledky těchto měření jsou srovnatelné s měřením, které probíhalo po zatěžování v sušící peci na předchozí sadě. Jediný rozdíl mezi těmito měřeními se projevil na černé barvě, která má vyšší teplotu přechodu a tak nebylo možné nátěr úplně odbarvit. Proběhla zde pouze malá barevná změna.



Obr. 13 Graf změny barevnosti po teplotním zatížení 50°C infralampou

6.5.3 Zatěžování maximální dovolenou teplotou

Nátěrová hmota tohoto typu má kromě teploty přechodu předepsanou také maximální možnou teplotu přímého zatěžování, při které se po určitém čase začínají měnit celkové technologické vlastnosti nátěru. Tento experiment byl proveden opět v sušící peci. Vybraný vzorek (Neotryskaná černá ze sady 1) byl teplotně zatížen teplotou 200 °C po dobu deseti minut. Při prvním zkoumání po vytažení z pece byly vidět výrazné rozdíly proti zatěžování v rozmezí dovolených hodnot. Nátěr při maximální teplotě nebyl transparentní, nýbrž mléčně bílý. Na spodní hraně vzorku došlo k degradaci vrstvy nátěru zvlněním a zmenšením celkové tloušťky. Při ochlazování barva do teploty přechodu (62 °C) nezměnila svůj odstín a stále zůstávala ve stejném stavu jako po vytažení z pece. První změna nastala až při 50 °C na tmavě šedou a to pouze u okrajů. Při 44 °C barva získává svůj konečný odstín, který se s dalším ochlazováním již nezměnil. Toto měření prokázalo, že extrémní teplotní zatížení tohoto nátěrového systému pozmění veškeré technologické vlastnosti a nátěr je dále nepoužitelný.



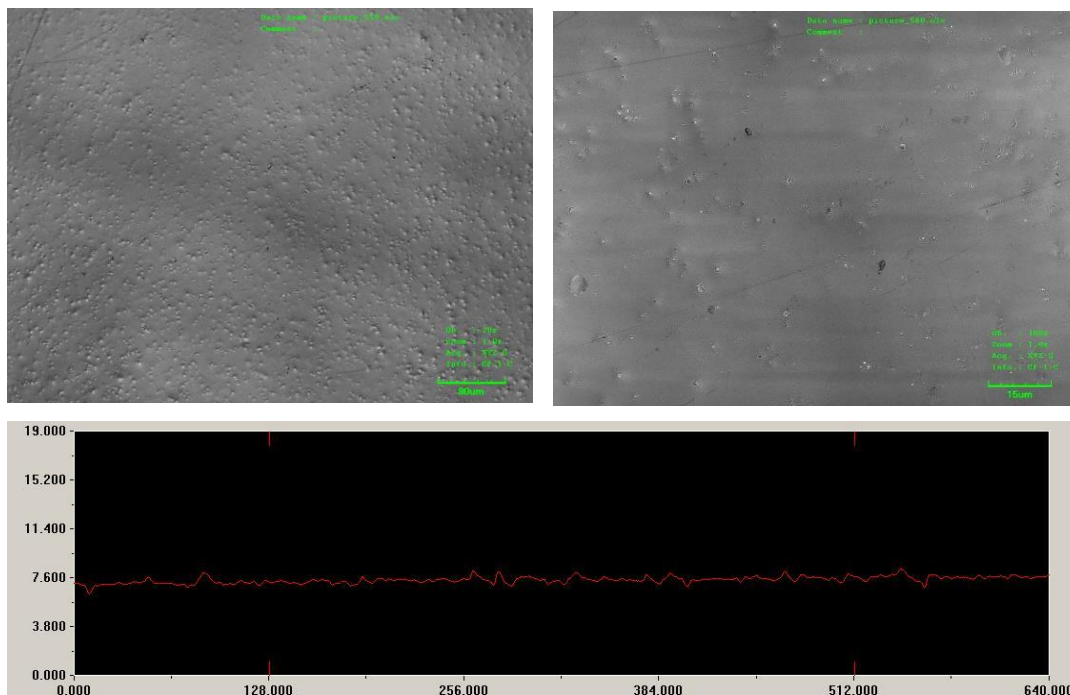
Obr. 14 Porovnání: vlevo otryskaná černá, vpravo netrysk. černá po extrémním zatížení

6.5.4 Cyklické teplotní zatěžování

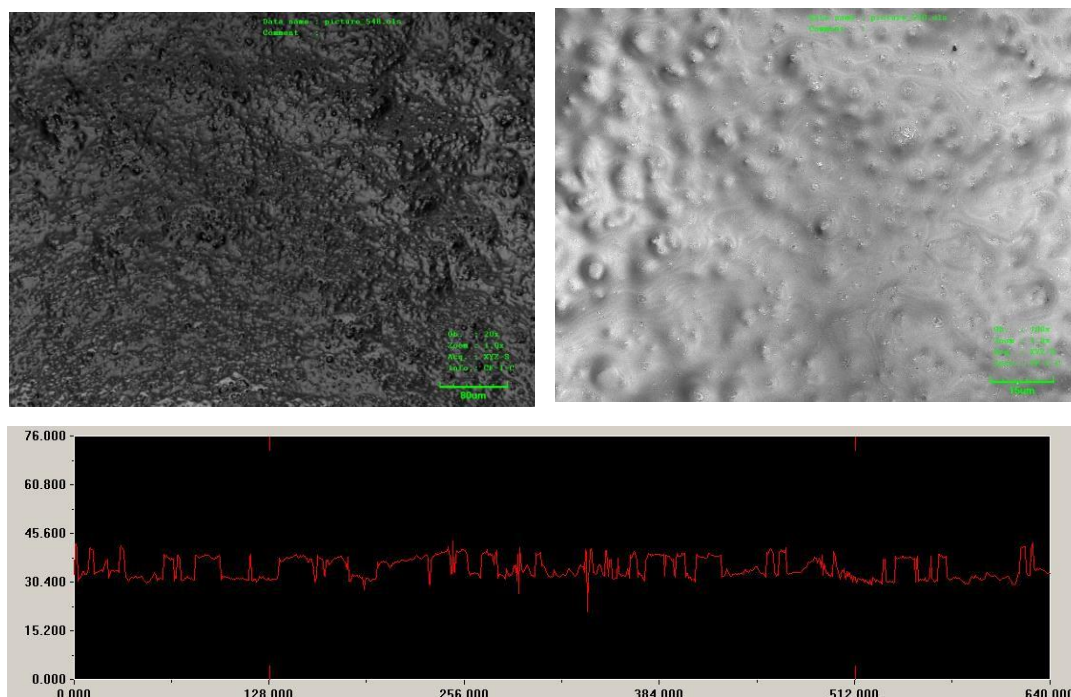
Tato zkouška měla prokázat, kolikrát je možné nátěrový systém ohřát a následně ochladit aniž by změnil svoje vlastnosti. Byli vybrány dva vzorky. Neotryskaná černá ze sady 1, která byla zatížena na maximální dovolenou teplotu a neotryskaná žlutá ze stejné sady. Tyto vzorky byli ohřívány 5x teplotou 70 °C po dobu 10 minut a následně ochlazovány do teploty 28 °C. U extrémně zatížené černé barvy se projevil změny technologických vlastností a po ukončení zkoušky byla degradace povrchu velmi výrazná (zvětšené puchýře a opětovná snížení odstínu). Žlutá barva neprojevila žádné výrazné změny. Z tohoto měření vyplývá, že při dodržení hodnot maximálního teplotního zatížení bylo možné nátěr opětovně zahřívat, aniž by měnil své vlastnosti po celou dobu měření. Předpokládám, že po větším množství zatěžovacích cyklů by zdegradoval i nátěr žluté barvy. Z hlediska časové úspory však tento experiment nebyl proveden.

6.6 Morfologie povrchu

Na konfokálním mikroskopu byl nasnímán jeden vzorek od každé barvy a předúpravy povrchu. Každý vzorek byl snímán objektivem 20x se zvětšením 480 a objektivem 100x se zvětšením 2400. Snímání probíhalo na teplotně nezatížených vzorcích.



Obr. 15 Morfologie povrchu (černá, neotryskaná, vlevo 480, vpravo 2400, dole profil)



Obr. 16 Morfologie povrchu (žlutá, otryskaná, vlevo 480, vpravo 2400, dole profil)

Pro porovnání jsem zde uvedl pouze dva vzorky z celkového snímání, kde jsou vidět rozdíly povrchu nejvíce. Na neotryskaném povrchu, na který byla nanесena černá barva s ideální tloušťkou je vidět minimální poškození krycí vrstvy. Naopak u otryskané žluté je velmi patrné špatné nanесení nátěru, které se projevuje na zobrazeném profilu. Zbytek snímků jsem uvedl v přílohách.

6.7 Zkoušky nátěrových systémů

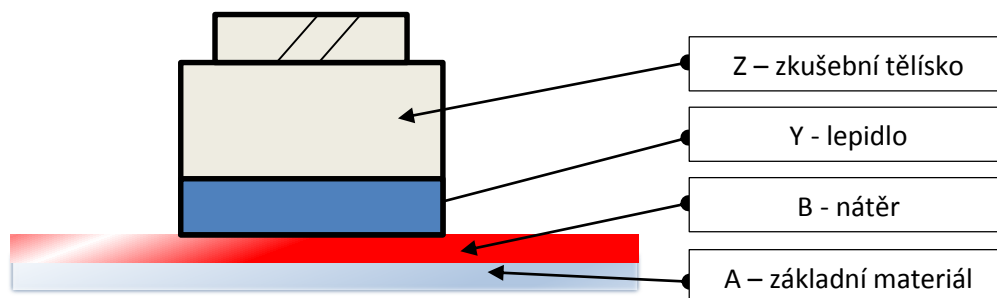
Vzorky s teromocitlivým nátěrem byly podrobeny několika zkouškám pro zjištění a vzájemnému porovnání jejich vlastností. Mezi hlavní sledované vlastnosti patřila přilnavost k základovému materiálu a křehkost vytvrzeného systému při narušení jeho struktury.

Tabulka č. 5: Přehled použitých zkušebních metod

Název zkoušky	Norma	Sledovaná vlastnost
Odtrhová zkouška	ČSN EN ISO 4624	Přilnavost
Mřížková zkouška	ČSN EN ISO 2409	Přilnavost, křehkost

6.7.1 Odtrhová zkouška

Odtrhová zkouška spočívá v nalepení zkušebního tělíska lepidlem na vytvrzený nátěr a po zaschnutí lepidla odtržení tělíska od nátěru odtrhoměrem. Během odtrhu je zaznamenáván nárůst tahového napětí. Nejvyšší napětí nastává v okamžiku úplného odtržení tělíska od povrchu nátěru. Toto napětí a typ vzniklého lomu jsou hodnoty určující vyhodnocení zkoušky. Při tomto odtržení může nastat adhezní nebo kohezní lom. Adhezní lom nastane, pokud dojde k odtržení mezi jednotlivými vrstvami. V případě kohezního lomu dochází k odtržení pouze v jedné vrstvě. V praxi dochází ke kombinaci těchto lomů a z tohoto důvodu probíhá jejich hodnocení procentuálním vyjádřením.



Obr. 17 Vrstvy při vyhodnocování typu lomu odtrhové zkoušky

Odtrhová zkouška ČSN EN ISO 4624 byla provedena vždy na jednom vzorku od každé barvy a předúpravy. Tělísko bylo přilepeno dvousložkovým lepidlem 3M DP460 s dobou úplného zaschnutí 7 dnů. Následně byla provedena zkouška odtrhoměrem Comtest, jejíž výsledky se nacházejí v orientační tabulce.

Tabulka č. 6: Výsledky odtrhové zkoušky (sada 1)

Vzorek Sady 1	Odtrhové napětí [MPa]	Typ lomu	
Otryskaná modrá	4,01	100% A/B	
Neotryskaná modrá	4,85	100% A/B	
Otryskaná černá	6,57	99% A/B	1% B/Y
Neotryskaná černá	2,16	98% A/B	2% B/Y
Otryskaná žlutá	7,94	100% A/B	
Neotryskaná žlutá	Chyba měření	-	-

Tabulka č. 7: Výsledky odtrhové zkoušky (sada 2)

Vzorek Sady 2	Odrhové napětí [MPa]	Typ lomu	
Otryskaná modrá	2,95	100% A/B	
Neotryskaná modrá	2,5	99% A/B	1% B/Y
Otryskaná černá	4,76	100% A/B	
Neotryskaná černá	4,55	98% A/B	2% B/Y
Otryskaná žlutá	6,36	100% A/B	
Neotryskaná žlutá	7,092	100% A/B	

Vyhodnocení:

Z výsledků plynoucích z provedené odtrhové zkoušky jsem usoudil, že nátěr typu TH30 a TH60 má velmi malou přilnavost k povrchu. Po odtržení tělíska vždy vznikl adhezivní lom mezi základním povrchem a nátěrem při velmi malém napětí. U vzorku s neotryskanou žlutou došlo k chybě měření, kdy odtrhové tělíčko odpadlo již při ofrézování povrchu kolem něj.

6.7.2 Mřížková zkouška

Mřížková zkouška byla provedena dle normy ČSN EN ISO 2409. Z předem naměřené tloušťky byla dle normy stanovena velikost rastru mřížky. Prořiznutí bylo provedeno zalamovacím nožem. Na očištěné místo byla následně nalepena adhezivní páska, která byla po 30 sekundách stržena. Vzhled mřížky byl poté porovnán s etalonovým vzhledem udávaným normou. Takto bylo provedeno hodnocení obou sad.

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)

Tabulka č. 8: Hodnocení mřížkové zkoušky dle ČSN EN ISO 2409 [21]

Klasifikace	Popis	Vzhled
0	Řezy zcela hladké, žádný čtverec není poškozen	
1	Nepatrné poškození v místech, kde se řezy kříží. Poškozená plocha nesmí přesahovat 5%	
2	Nátěr nepatrně poškozen podél řezů a při jejich křížení. Povrch mřížky smí být poškozen z více než 5% a méně než 15 % celkové plochy	
3	Nátěr je částečně poškozen v rozích řezů, podél řezných hran částečně, nebo celý, na různých místech mřížky. Poškození mřížky je větší než 15 % a menší než 35 %	
4	Na nátěru velké změny v rozích řezů a některé čtverečky jsou částečně nebo zcela poškozeny. Plocha mřížky je poškozena z více jak 35 % ale méně než 65 %	
5	Změny, které jsou větší než u stupně 4	

Tabulka č. 9: Vyhodnocení mřížkové zkoušky sady č. 1

Vzorek Sady 1	Neotrysk. Modrá	Otryskaná Modrá	Neotrysk. Černá	Otryskaná Černá	Neotrysk. Žlutá	Otryskaná Žlutá
Průměrná tloušťka NH [mm]	57,96	74,89	103,74	86,92	45,85	45,62
s_x^1 [mm]	12,53	22,53	45,63	27,72	3,56	2,94
Velikost rastru [mm]	2	1	2	2	1	1
Klasifikace	2	1	3	2	2	1

Tabulka č. 10: Vyhodnocení mřížkové zkoušky sady č. 2

Vzorek Sady 2	Neotrysk. Modrá	Otryskaná Modrá	Neotrysk. Černá	Otryskaná Černá	Neotrysk. Žlutá	Otryskaná Žlutá
Průměrná tloušťka NH [mm]	58,81	88,58	102,85	103,82	38,06	38,65
s_x [mm]	11,65	26,28	36,34	26,85	1,59	1,88
Velikost rastru [mm]	1	2	2	2	1	1
Klasifikace	2	1	2	2	1	1

Vyhodnocení:

Vzorky obou sad po provedení mřížkové zkoušky prokázaly minimální poškození v místě řezu. Klasifikačně se hodnoty pohybovali mezi poškozením typu 1 nebo 2. Výjimkou byla neotryskaná černá sady jedna, u které bylo poškození viditelně vyšší.

¹ s_x – směrodatná odchylka

7 Závěr

Z dosažených výsledků komentovaných v předchozích kapitolách lze konstatovat, že cíl této bakalářské práce byl splněn. Na dvanáct vzorků, ze kterých bylo 6 předem upraveno tryskáním, byla nanášena teplocitlivá nátěrová hmota. Negativní vliv na celkové vlastnosti měla tloušťka nátěrové vrstvy, která obzvláště u žluté barvy velmi kolísala. Tato chyba měla vliv hlavně na odstín a lesk, který se po celé ploše vzorku lišil. Další vliv na barevnost této nátěrové hmoty měla i předúprava povrchu, která se výrazně projevila u špatně nanášené žluté barvy, kdy na otryskaném povrchu působil odstín tmavším dojmem, zatímco u neotryskané byl výrazně světlejší. U ostatních barev nebyl tento rozdíl tolik znatelný. Dále bylo provedeno několik teplotních zátěžových zkoušek, které prokázaly výrobcem uváděné vlastnosti, obzvláště teplotu přechodu a změnu odstínu při dané teplotě. V počátku se vyskytl problém, jelikož vzorky černé barvy vykazovaly teplotu přechodu mnohem vyšší, než jakou udává výrobce u daného produktu. Tento problém byl ale později vysvětlen tím, že se jednalo o produkt vyšší třídy s teplotou přechodu okolo 62°C. Dále byla na jednom vybraném vzorku (konkrétně neotryskaná černá) provedena teplotní zátěžová zkouška na hraniční teplotě 200°C po dobu zatěžování 10 minut. Tato zkouška prokázala celkovou degradaci povrchu, změnu vlastností a další nepoužitelnost tohoto nátěrového systému. Cyklické zatěžování na teplotu přechodu prokázalo, že je možné systém ohřívat opakovaně. Díky časové tísní bylo otestováno pouze 5 cyklů, při kterých nátěr své vlastnosti neměnil. Nedá se však vyloučit, že nátěr po více jak pěti cyklech nezačne degradovat.

Druhým sledovaným parametrem byla přílnavost nátěrového systému k povrchu. Z výsledků plynoucích z odtrhové zkoušky je zřejmé, že nátěr typu TH30 a TH60 má velmi malou přílnavost k povrchu. Po odtržení tělíška vždy vznikl čistý adhezní lom mezi základním povrchem a nátěrem při velmi malém napětí. Na přílnavost neměla vliv ani předúprava povrchu, jelikož v obou případech byl nátěr odtržen velmi podobným napětím.

8 Seznam použitých zdrojů

- [1] KUBÁTOVÁ, Hana. Nátěry kovů. 1. vyd. Praha: Grada, 2000, 101 s. Profi. ISBN 80-247-9035-1
- [2] Pigmenty a barviva. Institut geologického inženýrství, Vysoká škola báňská, Ostrava. [online]. [cit. 2015-02-17]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/pigmenty_barviva.html>.
- [3] KREIBICH, Viktor a HOCH Karel. Korozie a Technologie Povrchových úprav 1. Vyd. Praha: Ediční středisko Českého vysokého učení technického, 1984. 270 s.
- [4] Aditiva přidávaná do barevných směsí. [online]. s. 5 [cit. 2015-02-22]. Dostupné z:http://www.strojka.opava.cz/UserFiles/File/_sablony/Technologie_grafiky_I/VY_32_INOVACE_A-02-16.pdf
- [5] HERRMAN, František a Marek CHILLER. Zkoušení nátěrových hmot a ochranných povlaků. [online]. [cit. 2015-02-22]. Dostupné z:http://sczl.cz/dokumenty/k06_04.pdf
- [6] BENEŠOVÁ, Jaroslava a Miroslav SVOBODA. Možnost predikce chování nátěrů v atmosférických podmínkách na základě laboratorních urychlených zkoušek: č.3. [online]. [cit. 2015-02-22]. Dostupné z: povrchari.cz/kestazeni/201103_povrchari.pdf
- [7] 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. 2015-03-01]. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2014.06.031. Dostupné z:<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0257897214005428>
- [8] CARMONA-QUIROGA, . Effectiveness of antigrffiti 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. 2015-03-01]. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1296207410000269>
- [9] YOUNG, A.H.a María Teresa BLANCO-VARELA. ULTRAVIOLET (UV) CURE OF MODIFIED STARCH COATINGS AND ADHESIVE BINDERS: A review of recent advances. *Chemistry* [online]. Elsevier, 1977, vol. 11, issue 3, s. 191 [cit. 2015-03-01]. Dostupné z:<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780124322509500162>

- [10] *Interaktivní nátěrové systémy* [online]. [cit. 2015-03-08]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: http://www.povrchari.cz/kestazeni/201404_povrchari.pdf
- [11] VIKOVÁ, M. Chromismus a jeho aplikace II. In: *Textilní fyzika* [online]. [cit. 2015-03-08]. Dostupné z: <http://www.ft.tul.cz/depart/ktc/>
- [12] Introduction to liquid crystals. Centre of molecular materials for photonics and electronics[online]. [cit. 2015-03-08]. Dostupné z: <http://www-g.eng.cam.ac.uk/CMMPE/lcintro.html>
- [13] ABDULLAH, Nadia, Abd. Rahim ABU TALIB, Abdul Aziz JAAFAR, Mohamad Amran MOHD SALLEH a Wen Tong CHONG. The basics and issues of Thermochromic Liquid Crystal Calibrations. *Experimental Thermal and Fluid Science* [online]. 2010, vol. 34, issue 8, s. 1089-1121 [cit. 2015-03-08]. DOI: 10.1016/j.expthermflusci.2010.03.011. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0894177710000683>
- [14] Liquid Crystals. Hallcrest Color Change Technology [online]. 2014 [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: <http://www.colorchange.com/liquidcrystals>
- [15] Benešová, J. Rešerše - termochromické nátěrové systémy. Praha, 2014.
- [16] ČSN EN ISO 2409. Nátěrové hmoty – mřížková zkouška. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [17] *Reversible thermochromic* [online]. [cit. 2015-06-13]. Dostupné z: <http://sky-rad.com/reversible-thermochromic/>
- [18] *Thermochromic liquid crystals* [online]. [cit. 2015-06-13]. Dostupné z: <http://www.rit-mcsl.org/fairchild/WhyIsColor/Questions/2-5.html>
- [19] The Analysis of Liquid Crystal Phases using Polarized Optical Microscopy [online]. [cit. 2015-06-13]. Dostupné z: http://cnx.org/contents/c2639e6c-f9c8-4067-afe5-34c80271eb9f@2/The_Analysis_of_Liquid_Crystal
- [20] RAL Barvy [online]. [cit. 2015-06-13]. Dostupné z: <http://www.manufactura.cz/lakovanekrabice/produkt/krabice-na-kalendar-a3/>
- [21] *Hodnocení přilnavosti nátěru* [online]. [cit. 2015-06-13]. Dostupné z: <http://www.atryx.cz/prakticka-prirucka/hodnoceni-prilnavosti/>

9 Seznam obrázků

Obr. 1 Příklad RAL stupnice odstínů barev [20]	10
Obr. 2 Změna odstínu reversibilního termokoloru po zahřátí [17].....	20
Obr. 3 Schéma vnitřní přeměny kompozitního pigmentu pod vlivem teploty [11]	22
Obr. 4 Použití tekutých krystalů – venkovní teploměr [18]	23
Obr. 5 Schéma mechanismu přeměny tekutých krystalů za vlivu teploty [19].....	23
Obr. 6 Schéma měření tloušťky.....	29
Obr. 7 Výsledek měření černé barvy na neotryskaném povrchu.....	32
Obr. 8 Výsledek měření žluté barvy na neotryskaném povrchu	33
Obr. 9 Ukázka změny barvy po teplotním zatížení 50°C (Neotrysk. modrá),.....	35
Obr. 10 Ukázka změny barvy po teplotním zatížení 50°C (Otryskaná žlutá),.....	35
Obr. 11 Ukázka změny barvy po teplotním zatížení 70°C (Otryskaná černá),	35
Obr. 12 Graf změny barevnosti po teplotním zatížení 50°C (Neotrysk. Modrá 1).....	36
Obr. 13 Graf změny barevnosti po teplotním zatížení 50°C infralampou.....	37
Obr. 14 Porovnání: vlevo otryskaná černá, vpravo netrysk. černá po extrémním zatížení	38
Obr. 15 Morfologie povrchu (černá, neotryskaná, vlevo 480, vpravo 2400, dole profil)	39
Obr. 16 Morfologie povrchu (žlutá, otryskaná, vlevo 480, vpravo 2400, dole profil).....	40
Obr. 17 Vrstvy při vyhodnocování typu lomu odtrhové zkoušky	42
Obr. 18 Černá, neotryskaná, zvětšení: vlevo 480, vpravo 2400, dole profil nátěrové vrstvy	52
Obr. 19 Černá, otryskaná, zvětšení: vlevo 480, vpravo 2400, dole profil nátěrové vrstvy	52
Obr. 20 Modrá, neotryskaná, zvětšení: vlevo 480, vpravo 2400, dole profil nátěrové vrstvy.....	53
Obr. 21 Modrá, otryskaná, zvětšení: vlevo 480, vpravo 2400, dole profil nátěrové vrstvy.....	53
Obr. 22 Žlutá, neotryskaná, zvětšení: vlevo 480, vpravo 2400, dole profil nátěrové vrstvy	54
Obr. 23 Žlutá, otryskaná, zvětšení: vlevo 480, vpravo 2400, dole profil nátěrové vrstvy.....	54
Obr. 24 Černá neotryskaná, vlevo sada 1, vpravo sada2	55
Obr. 25 Modrá neotryskaná, vlevo sada 1, vpravo sada2.....	55
<i>Obr. 26 Černá otryskaná, vlevo sada 1, vpravo sada2</i>	<i>55</i>
Obr. 27 Modrá otryskaná, vlevo sada 1, vpravo sada2.....	56
Obr. 28 Žlutá neotryskaná, vlevo sada 1, vpravo sada2.....	56
Obr. 29 Žlutá otryskaná, vlevo sada 1, vpravo sada2.....	56
Obr. 30 Černá, nahoře neotryskaná, dole otryskaná, zatížená na teplotu 70 °C (bod 1), ochlazováno po pěti stupních	57
Obr. 31 Modrá, nahoře neotryskaná, dole otryskaná, zatížená na teplotu 50 °C (bod 1), ochlazováno po pěti stupních	58
Obr. 32 Modrá, nahoře neotryskaná, dole otryskaná, zatížená na teplotu 50 °C (bod 1), ochlazováno po pěti stupních	59
Obr. 33 Otryskaná žlutá (sada 1 a 2)	60
Obr. 34 Neotryskaná modrá (sada 1 a 2)	60
Obr. 35 Neotryskaná černá (sada 1 a 2).....	60

10 Seznam Tabulek

Tabulka č. 1: Typy termocitlivých pigmentů řady TH	29
Tabulka č. 2: Měření tloušťky (sada č.1 - nepředupravené vzorky)	30
Tabulka č. 3: Měření tloušťky (sada č.2 - otryskané vzorky)	31
Tabulka č. 4: Přehled měření při zahřívání sušící pecí.....	34
Tabulka č. 5: Přehled použitých zkušebních metod	41
Tabulka č. 6: Výsledky odtrhové zkoušky (sada 1)	42
Tabulka č. 7: Výsledky odtrhové zkoušky (sada 2)	43
Tabulka č. 8: Hodnocení mřížkové zkoušky dle ČSN EN ISO 2409 [21]	44
Tabulka č. 9: Vyhodnocení mřížkové zkoušky sady č. 1	45
Tabulka č. 10: Vyhodnocení mřížkové zkoušky sady č. 2	45

11 Seznam použitých zkratk

NH – Nátěrová hmota

UV – Ultra Violet (ultrafialové záření)

s_x – Směrodatná odchylka

°C – Stupeň celsia (jednotka teploty)

Ni – Nikl

N – Dusík

H – Vodík

P – Fosfor

O – Kyslík

Co – Kobalt

C – Uhlík

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)

mm – milimetr (délková jednotka, tisícina metru)

nm – nanometr (délková jednotka, miliardtina metru)

μm – mikrometr (délková jednotka, miliontina metru)

MPa – Megapascal (jednotka tlaku, milion pascalů)

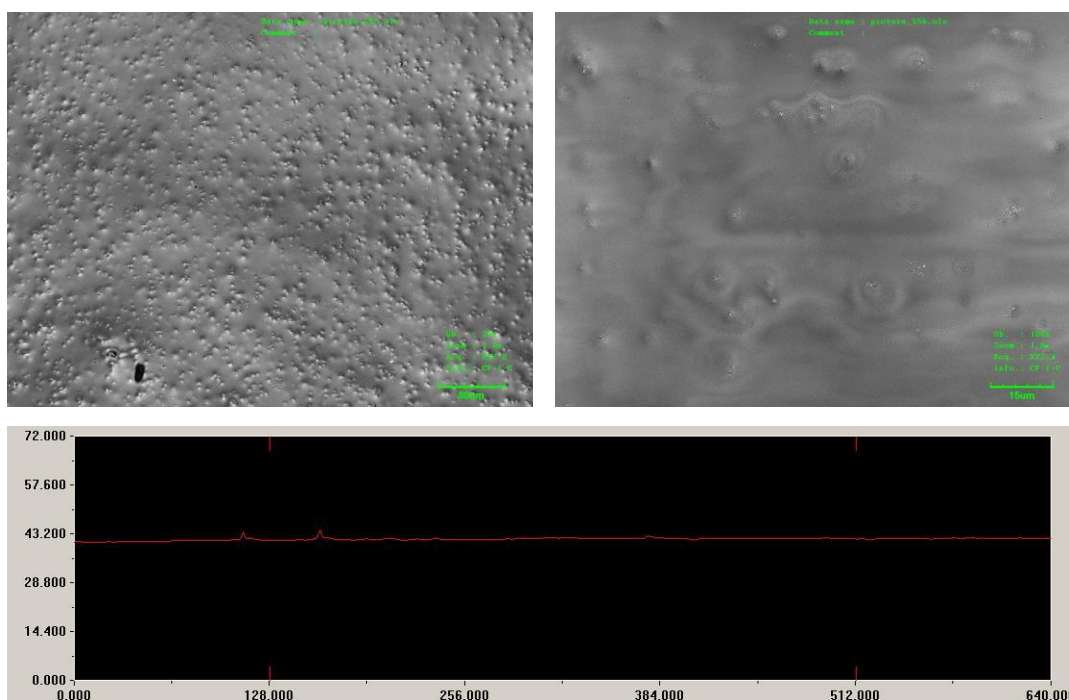
l – litr (jednotka objemu)

min – minuta (jednotka času, 1 minuta = 60 sekund)

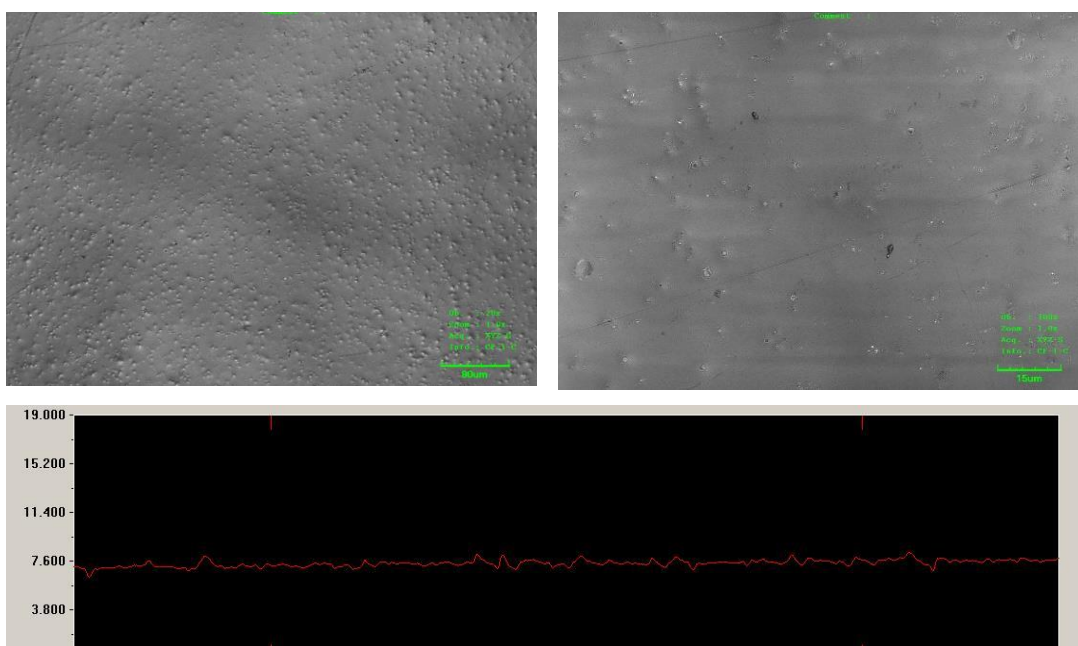
hod – hodina (jednotka času, 1 hodina = 60 minut)

12 Přílohy

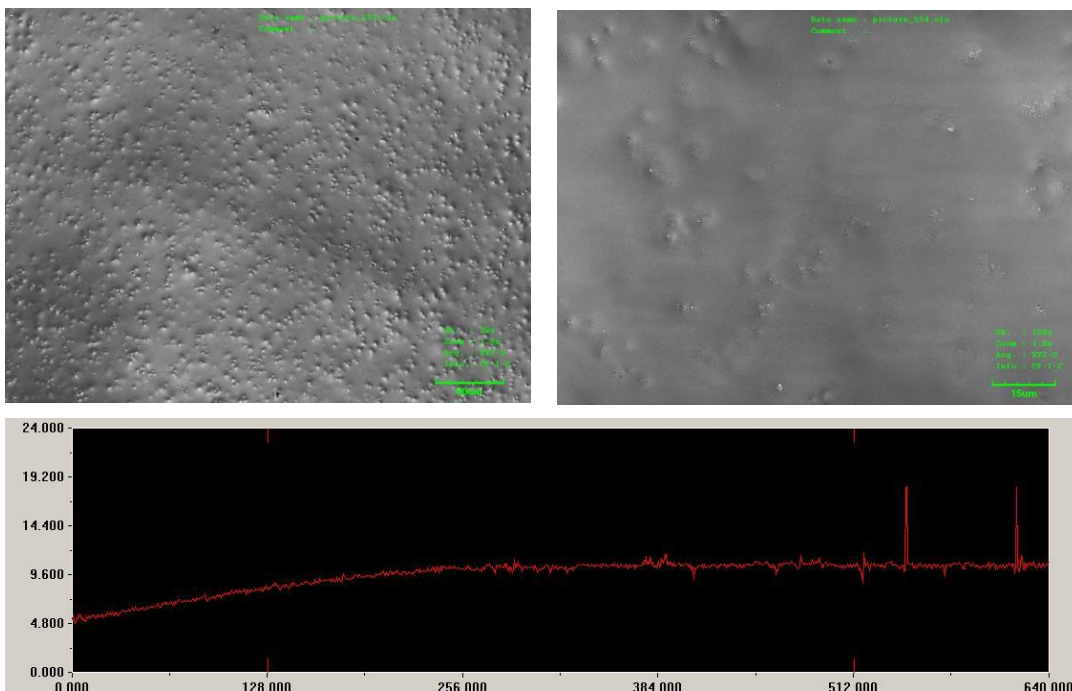
12.1 Snímky morfologie povrchu



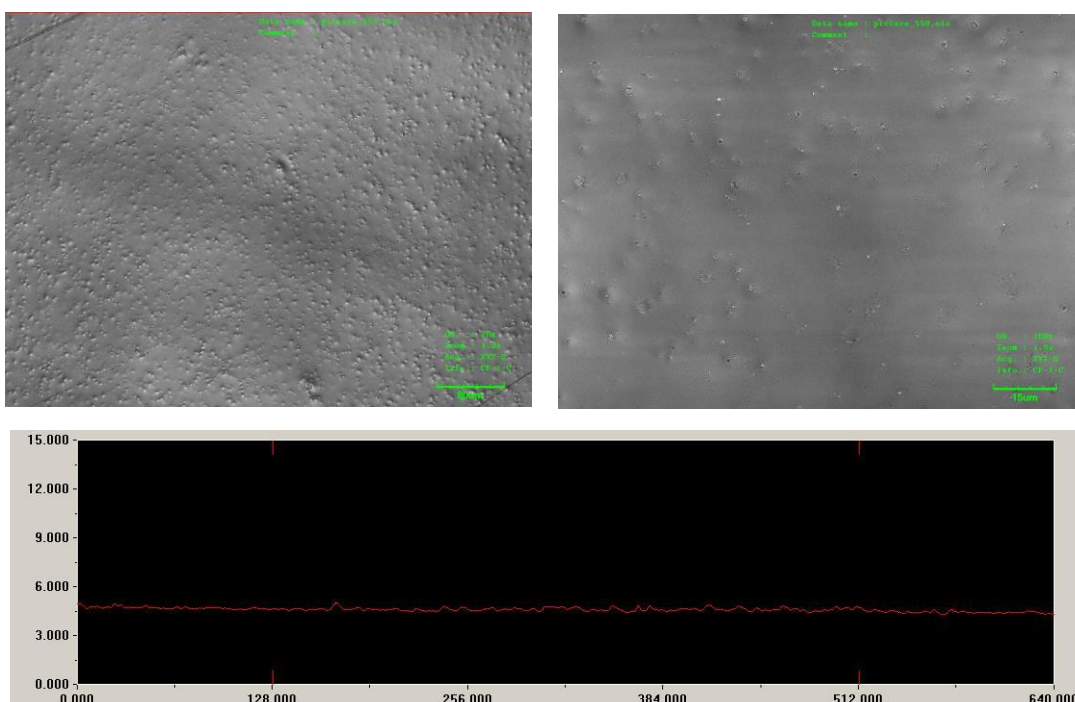
Obr. 18 Černá, neotryskaná, zvětšení: vlevo 480, vpravo 2400, dole profil nátěrové vrstvy



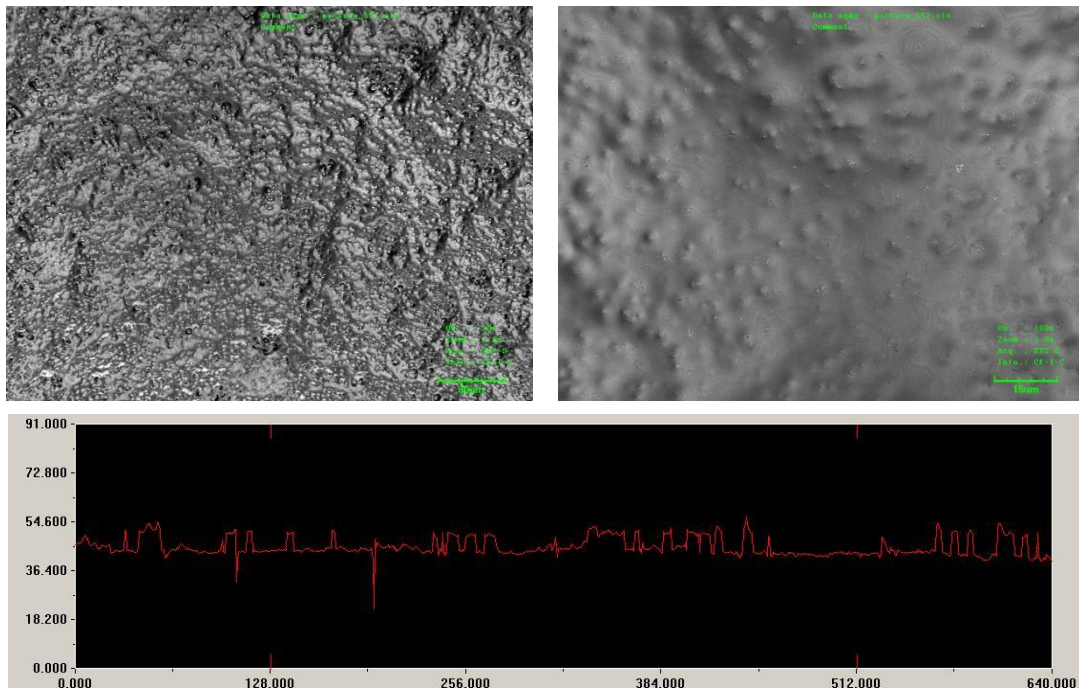
Obr. 19 Černá, otryskaná, zvětšení: vlevo 480, vpravo 2400, dole profil nátěrové vrstvy



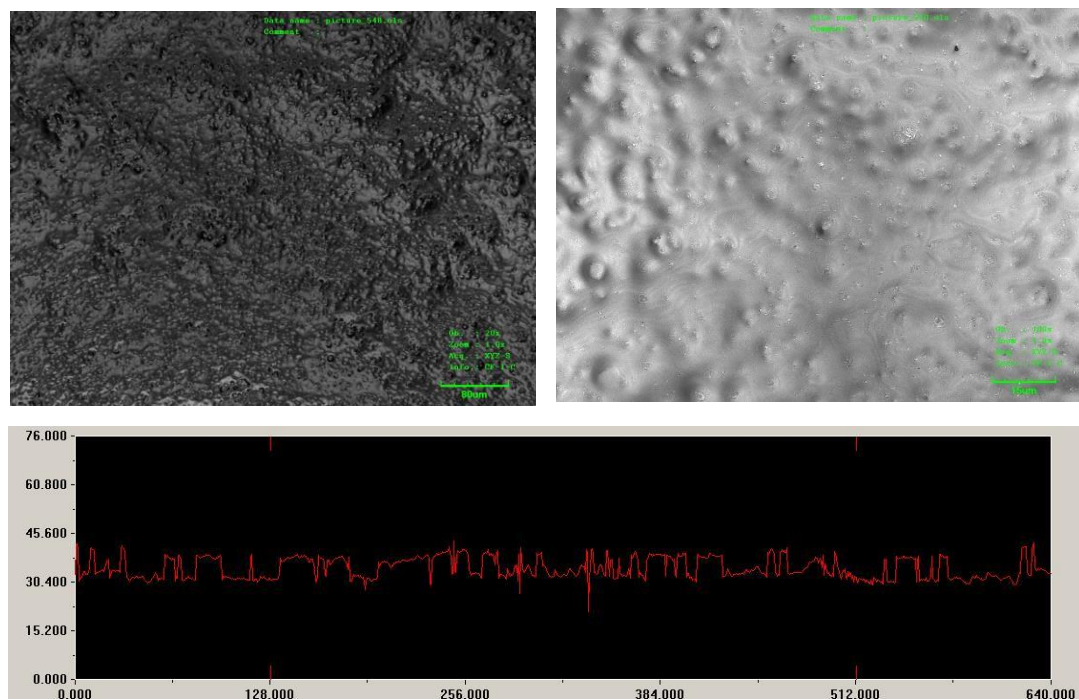
Obr. 20 Modrá, neotryskaná, zvětšení: vlevo 480, vpravo 2400, dole profil nátěrové vrstvy



Obr. 21 Modrá, otryskaná, zvětšení: vlevo 480, vpravo 2400, dole profil nátěrové vrstvy

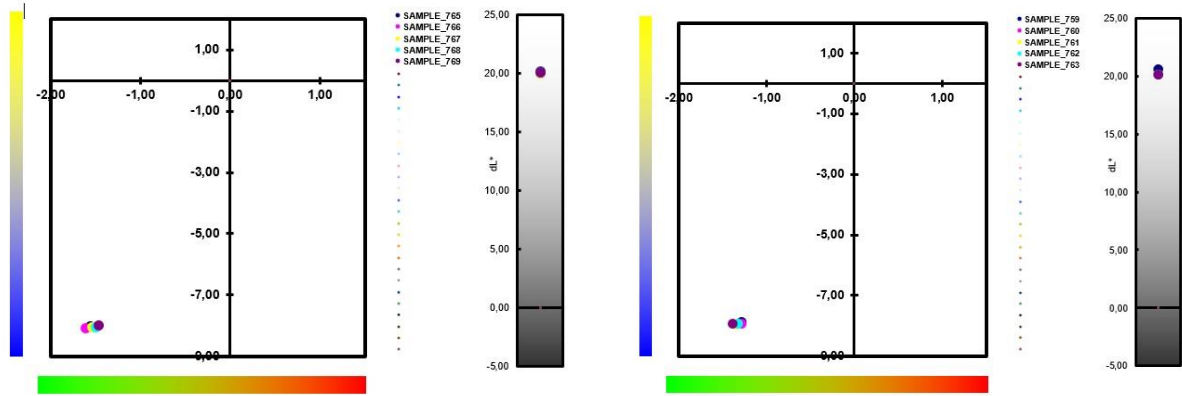


Obr. 23 Žlutá, otryskaná, zvětšení: vlevo 480, vpravo 2400, dole profil nátěrové vrstvy

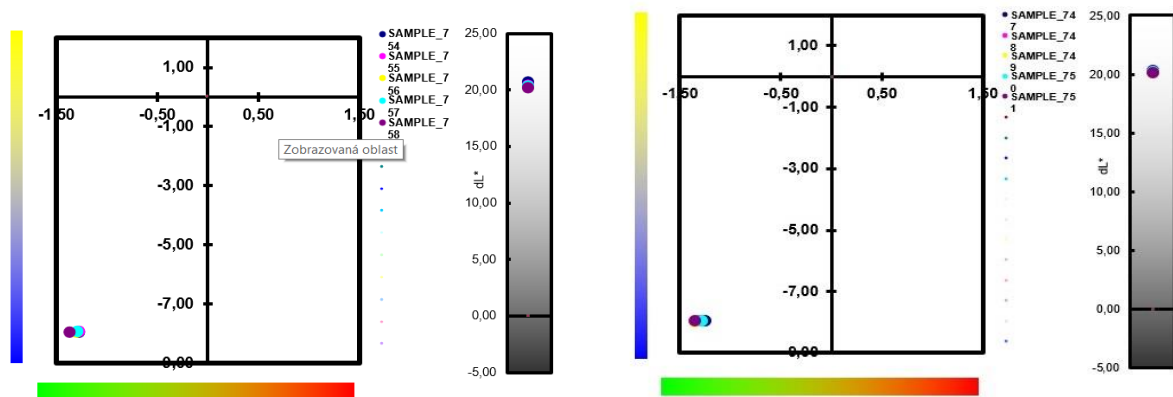


Obr. 22 Žlutá, neotryskaná, zvětšení: vlevo 480, vpravo 2400, dole profil nátěrové vrstvy

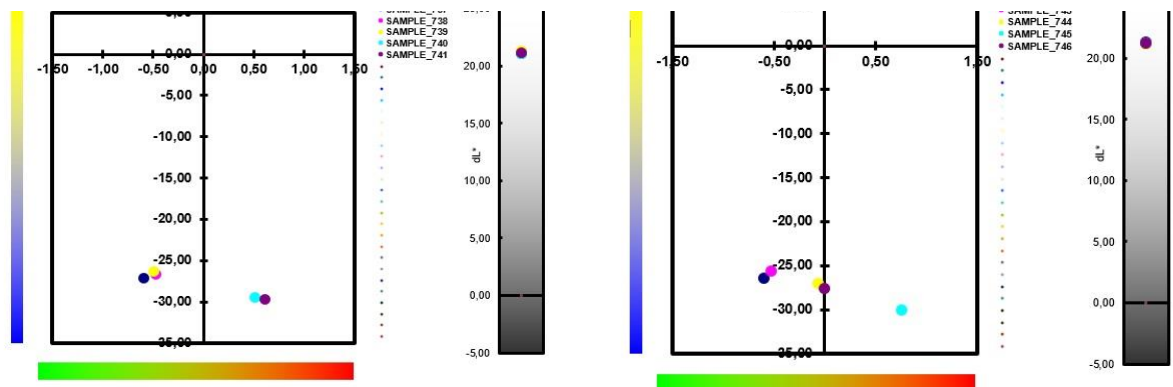
12.2 Grafy barevnosti – teplotně nezatížené



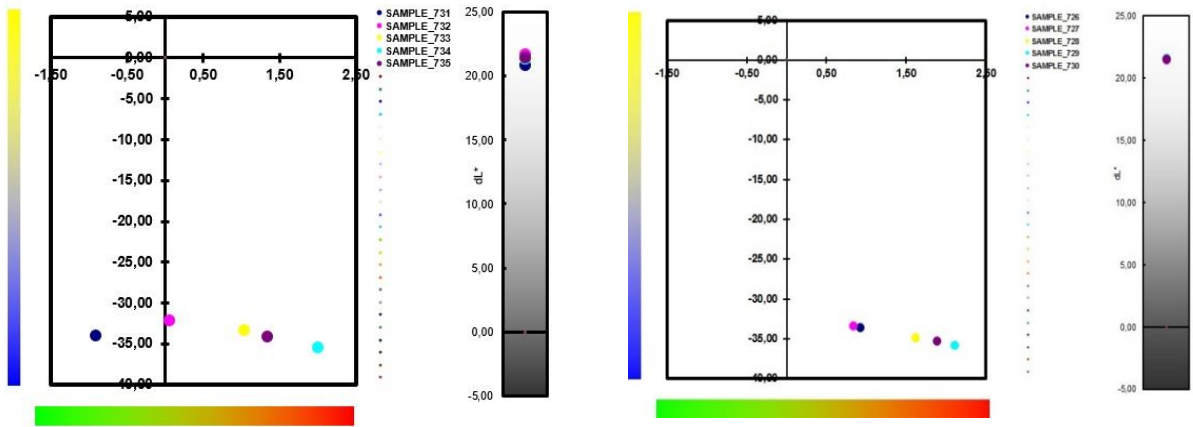
Obr. 24 Černá neotryskaná, vlevo sada 1, vpravo sada2



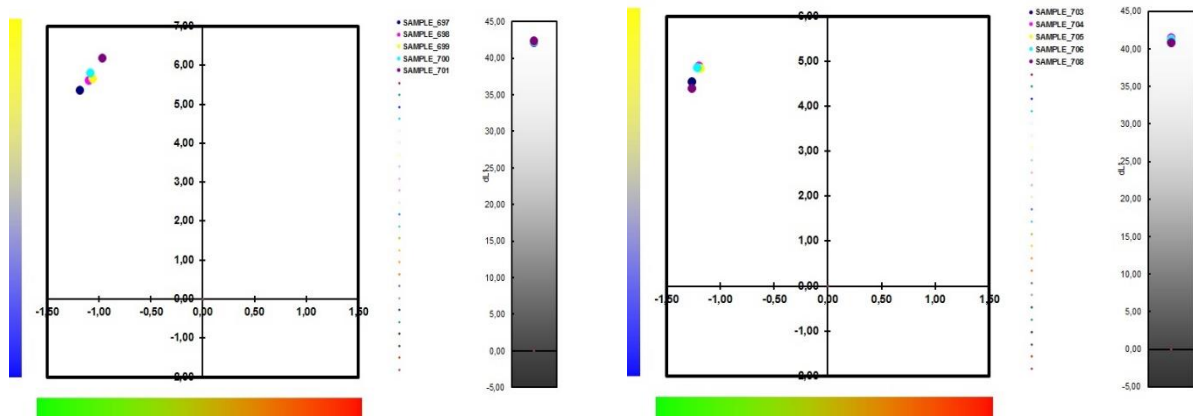
Obr. 26 Černá otryskaná, vlevo sada 1, vpravo sada2



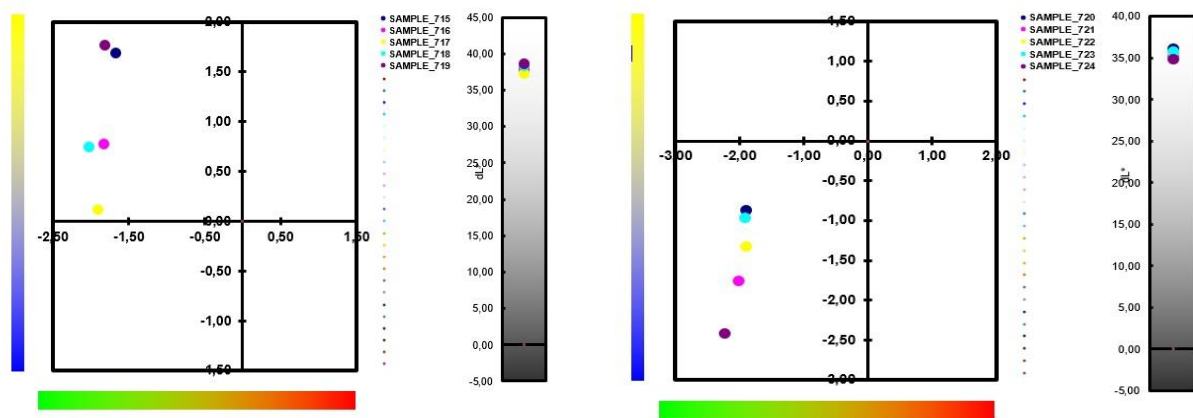
Obr. 25 Modrá neotryskaná, vlevo sada 1, vpravo sada2



Obr. 27 Modrá otryskaná, vlevo sada 1, vpravo sada2

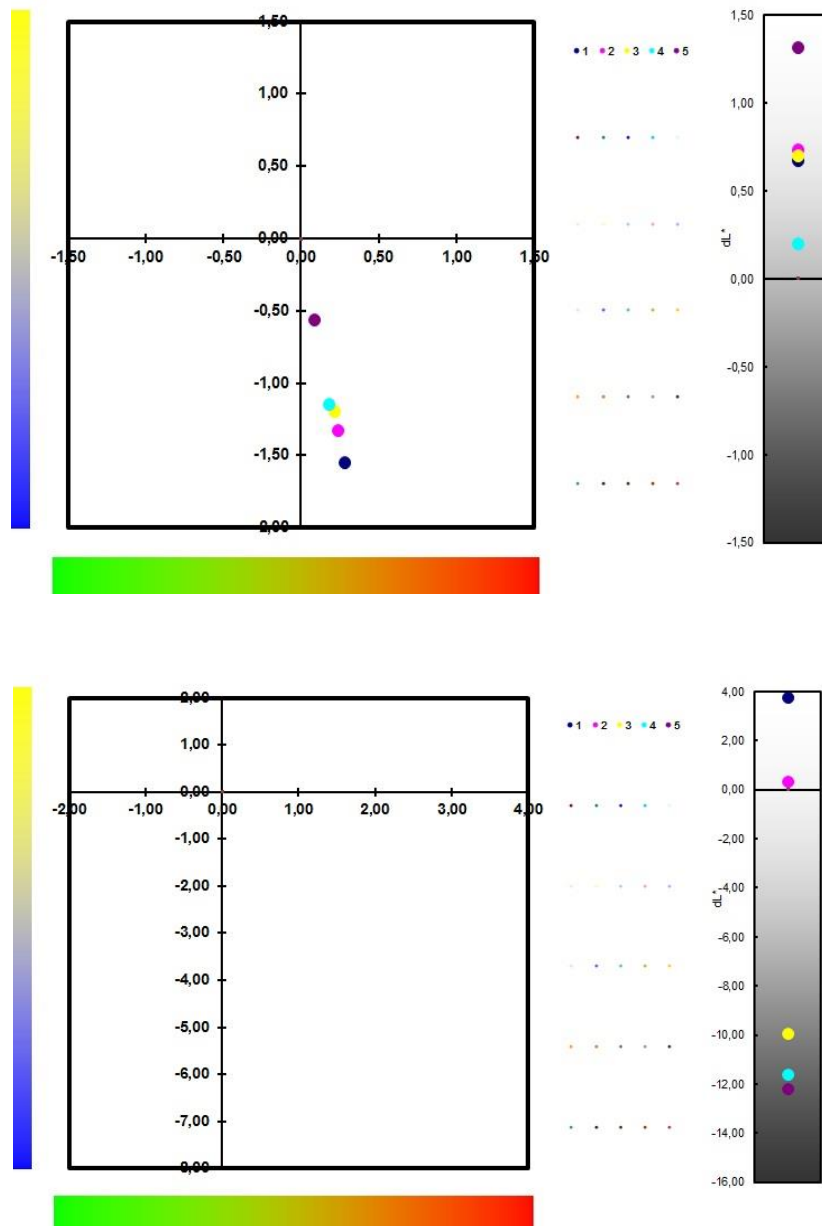


Obr. 28 Žlutá neotryskaná, vlevo sada 1, vpravo sada2

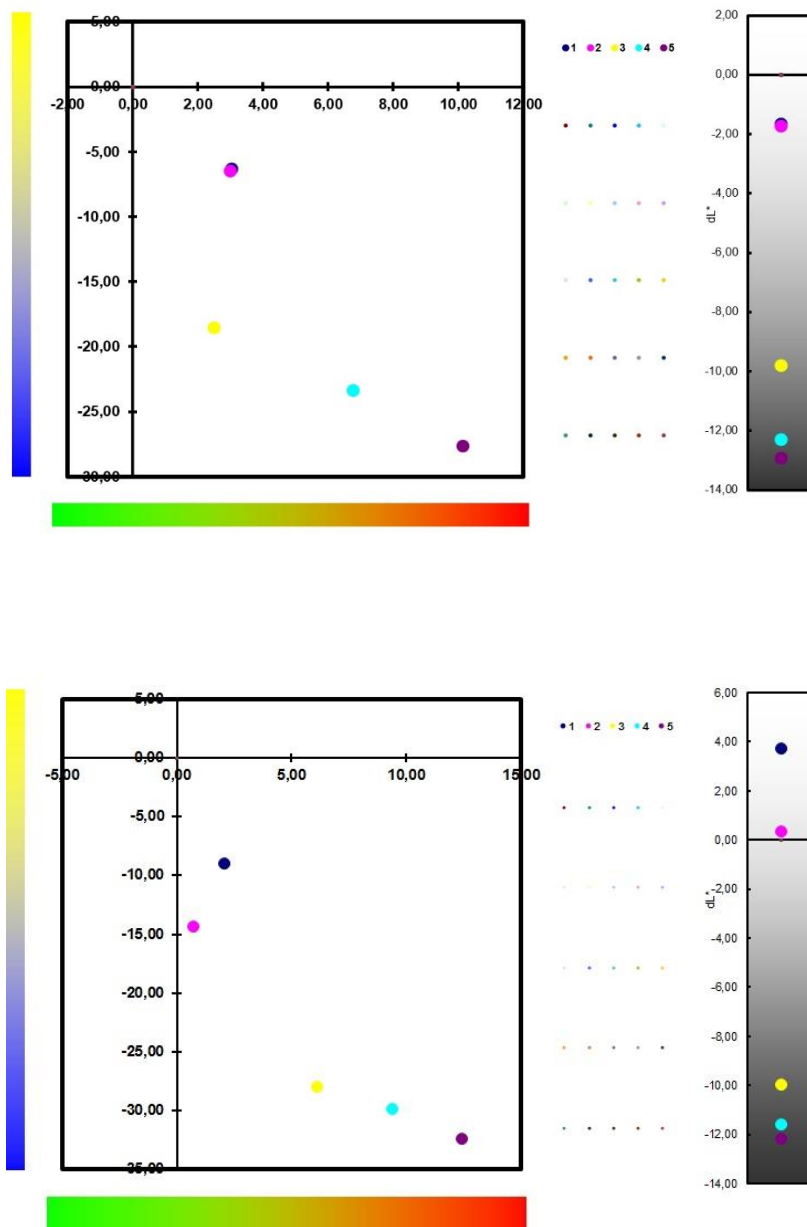


Obr. 29 Žlutá otryskaná, vlevo sada 1, vpravo sada2

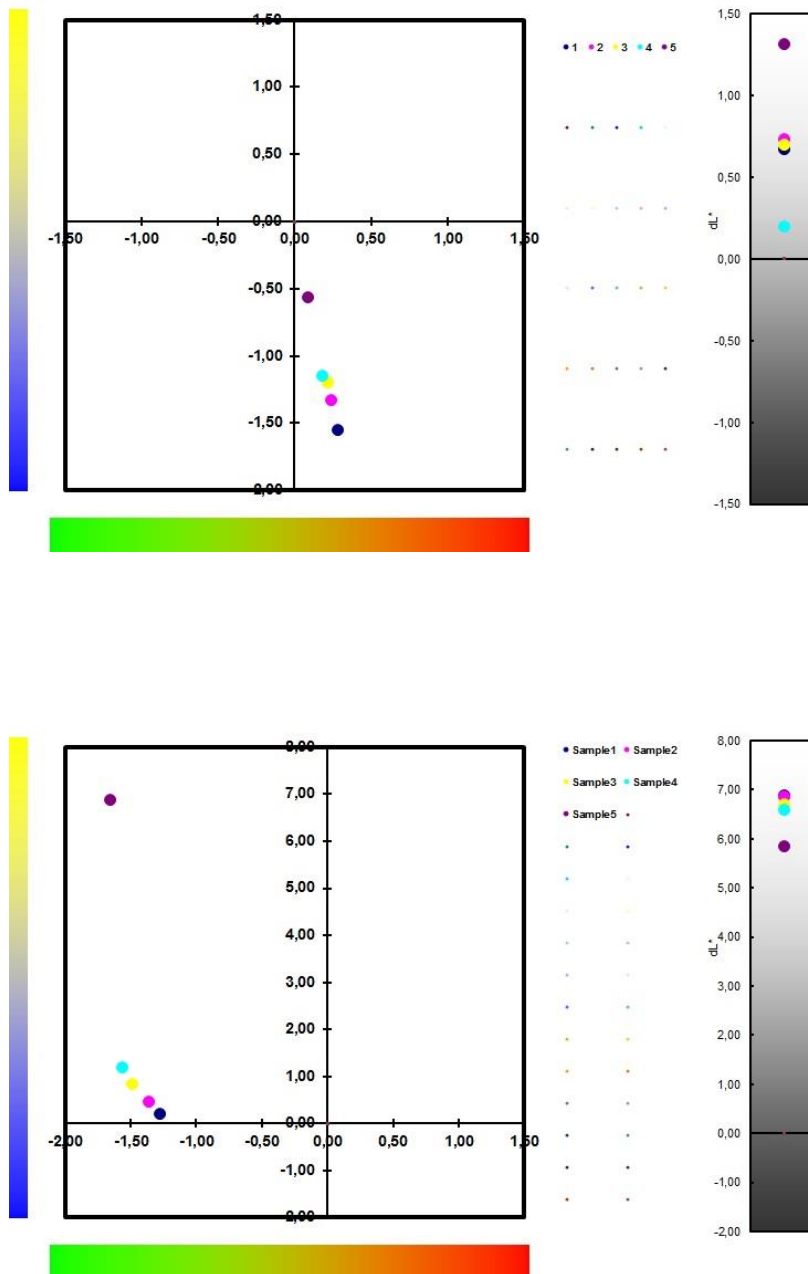
12.3 Grafy barevnosti – teplotně zatížené a ochlazované (sušící pec, sada 1)



Obr. 30 Černá, nahoře neotryskaná, dole otryskaná, zatížená na teplotu 70 °C (bod 1), ochlazováno po pěti stupních

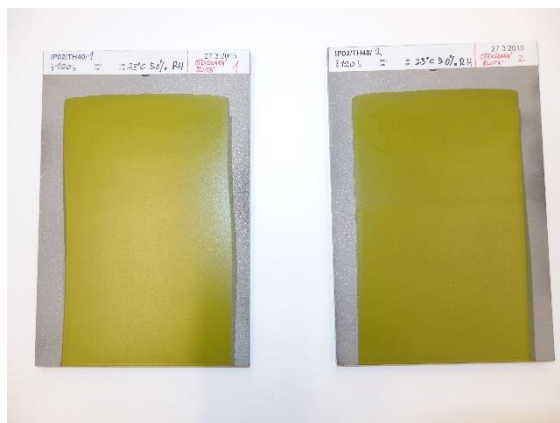


Obr. 31 Modrá, nahoře neotryskaná, dole otryskaná, zatížená na teplotu 50 °C (bod 1), ochlazováno po pěti stupních

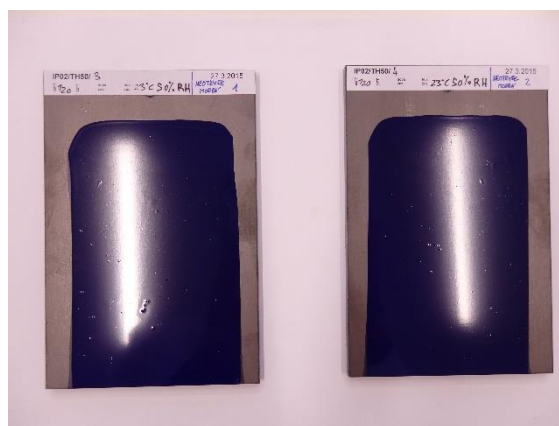


Obr. 32 Modrá, nahoře neotryskaná, dole otryskaná, zatížená na teplotu 50 °C (bod 1), ochlazováno po pěti stupních

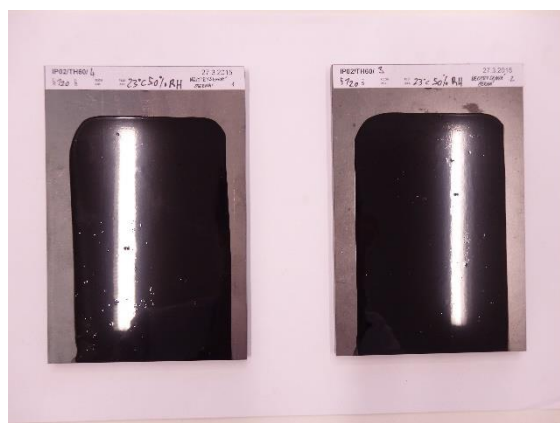
12.4 Ukázky vzorků před teplotním zatížením



Obr. 33 Otryskaná žlutá (sada 1 a 2)



Obr. 34 Neotryskaná modrá (sada 1 a 2)



Obr. 35 Neotryskaná černá (sada 1 a 2)