

Akademie výtvarných umění v Praze

Studijní program Výtvarná umění

Ateliér restaurování sochy

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Teoretická práce – Technologické postupy při restaurování pískovcových a
mramorových soch, jejich rozdíly a specifikace**

**Theoretical thesis – Technological procedures for the restoration of
sandstone and marble statues, their differences and specifications**

Vypracovala: Františka Černochová Hausdorfová

Vedoucí diplomové práce: MgA. Jan Kracík

Oponent diplomové práce: MgA. Jan Korecký

Akademický rok 2023/2024

avu

AKADEMIE VÝTVARNÝCH UMĚNÍ
ATELIÉR RESTAUROVÁNÍ SOCHY

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem proces restaurování a restaurátorskou zprávu vypracovala samostatně pod odborným vedením MgA. Jana Kracíka ak. soch. rest. a asistentů ateliéru restaurování výtvarných děl sochařských na Akademii Výtvarného umění v Praze. V práci jsou uvedené použité literární a jiné odborné zdroje.

V Praze dne

Františka Černochová Hausdorfová

MgA. Jan Kracík

avu

AKADEMIE VÝTVARNÝCH UMĚNÍ
ATELIÉR RESTAUROVÁNÍ SOCHY

Poděkování

Děkuji celému týmu vedoucích ateliéru, MgA. Janu Kracíkovi, MgA. Eva Míčková, za pomoc a metodické vedení po celou dobu studia, děkuji za užitečné podněty. Děkuji také za pomoc při zpracování praktické části Ing. Jiřině Přikrylové. V neposlední řadě patří velký dík i mé rodině za veškerou podporu a především trpělivost.

Klíčová slova

sochařské dílo v exteriéru, pískovec, mramor, kamenosochařská práce, restaurování, rekonstrukce

avu

AKADEMIE VÝTVARNÝCH UMĚNÍ
ATELIÉR RESTAUROVÁNÍ SOCHY

Obsah

Úvod ...	9
1. MATERIÁL	10
1.1. PÍSKOVCE	10
1.2. MRAMORY	11
2. KOROZE KAMENNÉHO MATERIÁLU.....	12
2.1. CHEMICKÁ KOROZE.....	12
2.2. FYZIKÁLNÍ KOROZE.....	12
2.3. BOKOROZE.....	13
3. KRUSTA	14
4. PŘEDZPEVNĚNÍ	16
5. ČIŠTĚNÍ.....	17
5.1. ČIŠTĚNÍ KAMENE	18
5.2. ČIŠTĚNÍ KRUSTY	19
5.3. ODSTRANĚNÍ NEVHODNÝCH DRUHOTNÝCH VYSPRÁVEK A PŘETĚRŮ	20
5.4. NEČISTOTY.....	22
5.4.1. OBVYKLÉ NEČISTOTY – ZVÍŘECÍ TRUS, PRACH, MASTNOTA	22
5.4.2. BIOLOGICKÉ NAPADENÍ – ROSTLINY, MECHY, ŘASY, LIŠEJNÍKY ČÍ PŘÍBYTKY DROBNÉHO HMYZU A ŽIVOČICHŮ	22
5.4.3. NEVHODNÉ ZÁSAHY – TMELY, NÁTĚRY	23
5.5. ČIŠTĚNÍ VODNÍ PAROU.....	23
5.6. ČIŠTĚNÍ TLAKOVOU VODOU	24
5.7. MIKROTRYSKÁNÍ JEMNÉHO ABRAZIVA.....	24
6. ZPEVNĚNÍ.....	25
6.1. ESTERY KYSELINY KŘEMIČITÉ	26
6.2. VÁPENNÁ VODA.....	26
7. TRHLINY.....	27
8. LEPENÍ.....	28

9.	ARMATURY.....	29
10.	TMELENÍ	30
10.1.	ZÁKLADNÍ SLOŽKY UMĚLÉHO KAMENE.....	30
10.2.	PLNIVO	30
10.3.	POJIVO.....	30
10.4.	PIGMENTY	31
10.5.	PLASTIFIKÁTORY.....	31
10.6.	SPECIÁLNÍ ADITIVA.....	32
11.	LOKÁLNÍ BAREVNÉ RETUŠE.....	33
12.	HYDROFOBIZACE	34
13.	PRAKTICKÁ ČÁST	35
13.1.	POSTUP PRÁCE	35
13.2.	KOMORA SIMULUJÍCÍ STÁRNUTÍ MATERIÁLŮ VLIVEM SVĚTLA A ZVÝŠENÉ TEPLoty Q-SUN	38
13.2.1.	ODOLNOST PROTI UV ZÁŘENÍ	38
13.2.2.	PARALOID B72	39
13.2.3.	AKEPOX 5010	40
13.2.4.	BLITZ TRANSPARENT.....	41
13.2.5.	ARALDITE 2028-1.....	42
13.2.6.	EPOX RAPIDO	43
13.2.7.	BÍLÝ CEMENT	44
13.2.8.	SPOFA DENTAL MRAMORIT TYPE 3 – MODEL DENTAL STONE	45
13.2.9.	ACRYSTAL PRIMA + BASIC	46
13.2.10.	HXTAL NYL-1.....	47
13.2.11.	KREMENIT.....	48
13.2.12.	PLATINUM	49
13.2.13.	MAPEI ULTRACOLOR PLUS	50
13.2.14.	SÁDRA ALMOND	51
13.2.15.	ACRYSTAL AQUA	52

13.2.16.	HINRISTONE	53
13.3.	OPTICKÉ SROVNANÍ VZORKŮ VYSTAVENÝCH EXPOZICI UV S VZORKY NEVYSTAVENÝMI UV ZÁŘENÍ.	54
13.4.	VYHODNOCENÍ PRAKTICKÉ ČÁSTI	55
14.	ZÁVĚR	56
15.	ZDROJE	57
16.	TECHNICKÉ LISTY	58

Úvod

Kámen patří k jednomu z nejpoužívanějších přírodních materiálů. Člověk jej v historii, stejně tak jako dnešní době, využíval především jako stavební materiál, ale významnou roli hrál vždy také jako materiál výtvarný. Je to především díky jeho dostupnosti, opracovatelnosti a stálosti. Kámen je bohužel neustále ovlivňován vnějšími a vnitřními faktory, a to vede k jeho nezvratnými změnám. Tento proces nelze zastavit, ale s péčí a vytrvalostí jej můžeme zpomalit. S vývojem lidského poznání se dozvídáme stále více o probíhajících chemicko-fyzikálních procesech a jejich přímé vazbě na trvanlivost kamene. Tyto znalosti a zkušenosti se snažíme využít v praxi. Předkládaná Teoretická část diplomové práce se proto zaměřuje na odlišnosti pískovcového a mramorového materiálu při jeho restaurování.

1. Materiál

Pro efektivní ochranu uměleckých děl z kamene je důležité studovat jejich materiálový základ. Díky znalosti těchto výsledků zkoumání může být zvolen správný restaurátorský postup.

1.1. Pískovce

Pískovec je sedimentární hornina, která vznikala usazováním vulkanických úlomků nebo již existujících sedimentárních zbytků. Zrna jsou nejčastěji tvořena křemenem o velikosti 0,05 až 2 mm. Podle velikost zrn se rozděluje pískovec na jemnozrnný, střednězrnný a hrubozrnný. Prostor mezi zrny bývá vyplněn pojivem. Pojivem chápeme strukturně odlišný materiál, jemnozrnnou složku sedimentární horniny, která dodává kameni větší soudržnost. Vyloučením minerálních látek nebo roztoku vzniká tmel, který tvoří výplň prostoru mezi zrny. Vlastnosti pískovce určuje množství a složení tmelu. Množství tmelu a distribuce zrnitosti částic udává pórovitost horniny a významně tak ovlivňuje její mechanické vlastnosti.

Odolnost pískovce proti zvětrávání je závislá na chemickém složení tmelu mezi zrny. Jestliže tmel obsahuje uhličitany, je citlivější na agresivní látky z ovzduší. Díky větší porositě materiálu může voda a vodní roztoky pronikat hlouběji do kamenné hmoty, což má za následek rychlejší korozi kamene. Za vhodných podmínek pak vzniká povrchová krusta, která dříve či později odpadne a opět obnaží kamenný materiál. Zpočátku krusta zachovává tvar původního povrchu, ale po čase dochází k úbytku povrchového reliéfu. Koroze způsobená většinou zpevněnou povrchovou krustou postupuje plynule a od začátku je viditelná.

Specifickým typem pískovce jsou pískovce arkóзовé. Obsahují více než 20 % živců, případně úlomky jiných minerálů a méně než 20 % jílové hmoty. Některé jílové minerály ochotně



Obrázek č. 1: Klasifikační schéma klastických sedimentárních hornin

bobtnají, a proto je kámen vystavený vnějšímu prostředí méně soudržný. Barva arkózového pískovce může být béžová či šedá. Přítomnost železa indikuje rezavá až červenohnědá barva.

1.2. Mramory

Mramory vznikaly rekrytalizací vyvřelých nebo usazených uhličitánových hornin za vyššího tlaku a teplot. Vzniklá hornina má velmi podobný chemický základ jako původní horniny. Rekrytalizací vzniká stabilnější forma krystalů, proto mají metamorfované horniny zpravidla lepší fyzikální a mechanické vlastnosti. Mramory jsou kompaktní a mají obvykle malou pórovitost s nízkou nasákavostí. V kyselém prostředí jsou málo stabilní. Jemnozrnné struktury mramoru podléhají díky většímu aktivnímu povrchu korozivním vlivům snadněji než struktury hrubozrnné. Mramory jsou v exteriéru napadány exhalacemi, především oxidy síry a dusíku. Odolnost materiálu významně závisí na hrubosti povrchu a porositě materiálu. Pórovitější materiál je napadán více do hloubky a rychleji tak koroduje a ztrácí cennou povrchovou modelaci. Na povrchu vzniká obzvláště v místech dešťových stínů poměrně silná, převážně sádrovcová krusta. Mramor pod krustou je ochuzován o pojivou složku, to má ve výsledku za následek odpadávání krusty spolu s kamenem. Okem viditelná koroze mramoru se projevuje ztrátou lesku a barvy.



Obrázek č. 3: Mramorová podlaha v kostele Santa Maria in Cosmedin v Římě



Obrázek č. 2: Vitrína se vzorky mramorů

2. Koroze kamenného materiálu

Koroze vzniká působením přírodních vlivů. Koroze nejprve vede ke zhoršování vlastností daného materiálu, postupně však dochází k rozpadu základního materiálu neboli zvětrávání. Korozní procesy neprobíhají izolovaně, ale odehrávají se najednou a navzájem se ovlivňují či doplňují. V praxi se snažíme co možná nejvíce zpomalit korozní procesy, nebo je úplně zastavit.

2.1. Chemická koroze

(Do této skupiny řadíme – chemické rozpouštění, oxidaci, reaktivitu prvků či sloučenin)

Změna chemického složení materiálu reakcí s okolím prostředím, např. s látkami obsaženými v ovzduší, kontaminovanou vzlínající, srážkovou či odstříkující vodou, nevhodnými restaurátorskými procesy a materiály atp. Výsledkem chemické koroze může být např. změna objemu materiálu, barvy, ale tyto procesy významně ovlivňují také rozpustnost materiálu.

2.2. Fyzikální koroze

(Do této skupiny řadíme – mechanické namáhání materiálu způsobené změnou skupenského stavu vody, namáhání materiálu krystalizací solí či teplotní roztažnost.)

Kamenný materiál čelí mechanickému namáhání. Vzhledem k heterogenní povaze kamenného materiálu je jeho odezva na fyzikální namáhání taktéž heterogenní. Například při změnách teploty vzniká díky tepelné roztažnosti odlišné pnutí uvnitř i vně materiálu a dochází tak ke vzniku mikroskopických trhlin. Rozdílnou teplotní roztažnost mohou mít například i jednotlivá zrna s ohledem na barvu a přednostní krystalografickou orientaci.

2.3. Biokoroze

(Do této skupiny řadíme – bakterie, mechy, lišejníky, vyšší rostliny, metabolické produkty živočichů.)

Biologické napadení povrchové vrstvy díla, bývá obvykle způsobeno plísněmi, řasami, mechy, a lišejníky. Živé organismy vylučují metabolické produkty, které se významně podílí na chemické korozi. V případě růstu biologického napadení, a obzvláště pak vyšších rostlin, napadá kořenový systém kamenný materiál hlouběji pod povrch a podílí se i na fyzikální korozi. Biologické napadení výrazně urychluje proces koroze kamenného materiálu.

3. Krusta

Samostatným, a v případě kamenného materiálu významným termínem je povrchová krusta. Krusta je obvykle šedá až zčernalá vrstva, která se vytváří na povrchu kamenného materiálu. Vlivem času se krusta utváří ve velice soudržnou hmotu, která je v některých případech i odolnější než samotný kamenný podklad. Krusta je nejčastěji tvořena převážně sádrovcem, sazemí a prachovými částicemi. Nejčastěji vzniká vlivem okolního prostředí na kamenný materiál, tedy srážkami a látkami obsaženými ve vzduchu. Krusta je tvořena jak látkami z okolního prostředí, tak i látkami obsaženými v kamenném materiálu, které jsou při jeho vysychání unášeny k povrchu. Silná povrchová krusta je obvykle vnímána jako nevhodná a poškozující, naopak tenká krusta bývá ceněna pro svůj ochranný účinek. Důležitou roli ve vzniku a působení krust hrají pochopitelně i materiály, které byly na povrch kamenného materiálu naneseny autory či byly v historii použity v některém z opravných procesů.

Povrchovou korozi je možno v souvislosti s krustami rozdělit na nereaktivní, která je vůči vnějším vlivům poměrně odolná, a reaktivní, která povrchovou korozi naopak urychluje.

Z pohledu ochoty kamenného materiálu tvořit či netvořit povrchovou krustu, respektive ochotně či neochotně reagovat s okolním prostředím, je možné rozdělit také horniny na nereaktivní a reaktivní. Nereaktivní horniny jsou obecně málo porézní, a zpravidla vulkanického či metamorfovaného původu (ryolit, ryolitové tufy, žula a pískovce s křemičitým pojivem). Přirozeně vytváří tenkou tvrdou vrstvu krusty, která pokrývá nenarušený kámen.

Mezi reaktivních horniny řadíme vápence, mramory a pískovce pojené uhličitánovým a jílovým tmelem. Charakteristickým projevem povrchové koroze reaktivních hornin je vznik velkých černých sádrovcových krust. Od zdravého kamene jsou odděleny vrstvou materiálu, který je ochuzen o pojivo. Obzvláště pro mramory a vápence je v místech tzv. dešťových stínů charakteristická souvislá vrstva vzniklá oplachováním nečistot a korozních produktů z míst, které jsou omývány dešťovou vodou. Hlavní součástí takto vytvořené krusty je reakcí s okolním prostředím vzniklý síran vápenatý a jeho malá, ale přesto významná rozpustnost.



Obrázek č. 4: Ukázka krusty

4. Předzpevnění

V případě poškození soudržnosti originální hmoty kamene je vhodné provést prekonsolidaci (předzpevnění). Provádíme jí před etapou čištění v případě, že je materiál velmi nestabilní, ať už z důvodu degradace či značné míry zasolení. Při čištění by mohlo dojít k úbytku autentické modelace, ztráty originálního povrchu a znehodnocení estetických kvalit díla. Pro zachování zbytků polychromie je vhodné provést jejich fixaci, aby při čištění nedošlo k jejich odstranění. K fixování můžeme u použít organokřemičitanový zpevňovač, akrylátovou disperzi nebo roztok Paraloidu B72.



Obrázek č. 5: Předzpevnění nestabilní části před čištěním

5. Čištění

V rámci čištění jsou z povrchu kamenného materiálu odstraňovány nežádoucí depozity. Tento proces je vždy doprovázen větším či menším úbytkem původní hmoty kamene. Tyto ztráty jsou přímo závislé na použité technologii a dovednosti restaurátora. Na základě provedených zkoušek čištění se snažíme vybrat vhodnou metodu a materiály, a minimalizovat tak v průběhu čištění úbytek originálního materiálu.

U komerčních výrobků je vždy důležité se řídit instrukcemi výrobce, podrobně si přečíst bezpečnostní a technický list. Použitím pH papírku si ověřit pH přípravku. U směsí, které připravujeme sami z jednotlivých chemikálií, si můžeme v případě potřeby pH v dané oblasti dle potřeby regulovat.



Obrázek č. 6: Použití chemického přípravku a následné mechanické očištění

5.1. Čištění kamene

Pro ochranu kamenného materiálu, nejen z estetického, ale i funkčního hlediska, je nutné očistit svrchní vrstvu kamenného materiálu. Čištění kamenného materiálu je nevratný proces. Je zapotřebí vždy postupovat obezřetně a s úctou ke stáří díla. Unikátnost každého objektu je hlavní faktorem. Musíme brát v potaz jeho stav a povrchové úpravy. Rozsah čištění by měl být takový, aby byly odstraněny nečistoty, které by mohly kámen nadále ničit a nápadně narušit jeho původní vzhled. S narůstajícím časem čištění se pozměňuje materiál, který mění zabarvení, skladbu a strukturu původního vlastnosti materiálu. Přeměna u porézních materiálů vzniká postupně od povrchu do hloubky materiálu. U mramorů vzniká ostrá hranice mezi primárním materiálem a sekundární krustou. Rozsah čištění bývá zvolen v minimálním rozsahu pro úspěšné použití dalších technologických kroků. Zároveň se musí postupovat tak, aby z povrchu sochy nebyly odstraněny stopy patiny stáří. Při výběru postupu k očištění povrchu musí být zváženy postupy a kombinace restaurátorských technik, které vyústí v nejlepší volbu procesu a použitých látek. Vždy je volena míra čištění tak, aby bylo zachováno nejvíce autentické hmoty. Vzhled finálního kamenného materiálu závisí na dohodě restaurátora, památkáře a majitele.

Při použití chemických látek pro čištění je potřeba zvážit chemické a mineralogické složení čištěného materiálu včetně složek tmelů a povrchových úprav. Před použitím vody pro čištění materiálu je nezbytné zhodnotit rozpustnost složek materiálu ve vodě a smáčivost povrchu. Materiál může obsahovat nálezy vodorozpustných solí. Tento problém je potřeba co nejdříve vyřešit, jelikož soli mohou výrazně ztížit proces čištění.

Při čištění je možné použít kyseliny a zásady. Před nanesením musí být kámen velmi dobře zamokřen, aby nedocházelo k nežádoucímu pronikání chemických látek do hloubky. Před použitím chemikálií k čištění kamene musí být provedeny kontrolní zkoušky, aby nedošlo k nežádoucím účinkům nebo poškození kamene. Vždy je nutné dodržovat předpisy, které jsou zapsané v technických listech. V případě nedostatečného účinku je proces čištění nutno opakovat.

5.2. Čištění krusty

Metody čištění závisí na vlastnostech kamene a typu krusty. Zásadní je znát zdroj krusty, protože se tím zcela mění postup při jejím čištění.

Tenké mladé krusty na mramorech a vápencích stačí mechanicky očistit plastovým kartáčkem s použitím vody. Je potřeba se rozhodnout, kterou vodu lze na daný materiál použít, abychom nezpůsobili naopak nové poškození. Pro mramor i vápenec je vhodná nasycená tvrdá voda. S narůstající tloušťkou krusty narůstá i náročnost čištění.

Pro usnadnění procesu odstranění krust na bílém mramoru je možné nanést na povrch zábal z buničiny a vápenné vody. Neměkčená vrchní vrstva krusty jde pak snáze mechanicky očistit. Opakováním tohoto procesu lze z povrchu sejmut i značně silné krusty.

Efektivní volbou jsou pro čištění krust taktéž komerčně dodávané čisticí prostředky. Při použití těchto prostředků je vždy nezbytné kontrolovat hodnotu pH s ohledem na daný kamenný materiál. Správným použitím roztoků můžeme dosáhnout vysoké efektivity a maximální šetrnosti k památce. Pro mramory a vápence jsou určeny roztoky v zásadité oblasti pH. Kyselé roztoky jsou použitelné pro pískovce, ale pochopitelně ne ty s uhličitánovým tmelem.



Obrázek č. 7: Proces čištění po vyhodnocení nejlepšího postupu



Obrázek č. 8: Proces čištění před vyhodnocením nejlepšího postupu

Další technikou, kterou lze využít při čištění krust na mramoru, je využití rozdílných vlastností tepelné roztažnosti mramoru a krusty v kombinaci se zvýšením rozpustnosti krusty při použití horké páry. Aplikací této přístrojové metody lze docílit i samovolného odpadnutí nesoudržné krusty. Tato metoda se dá využít pouze na neleštěné mramory.

U pískovců je možné použít stejné metody, jen se budou lišit v intenzitě a použití chemických roztoků. Ke zvýšení účinku roztokových čističů může být přípravek zahuštěn do gelové konzistence. Takto připravený gel nevniká do hloubky kamenného materiálu, ale reaguje především na jeho povrchu. Aplikaci gelu je také možné provést přes japonský papír a tím usnadnit jeho následné odstranění. Po aplikaci chemického čištění je vždy nezbytné z kamenného materiálu zcela odstranit čistící roztoky či gely, aby reakce nemohla dále nekontrolovaně probíhat.

5.3. Odstranění nevhodných druhotných vysprávek a přetěrů

Esteticky nevhodné a nesoudržné druhotné vysprávký a přetěry se zpravidla odstraňují mechanicky kamenickými nástroji, mikrodlátky, brousky apod. Tyto vysprávký se obvykle nacházejí v oblastech, kde je již koroze povrchu kamenného materiálu značně rozšířena a použité tmely a přetěry ji měly většinou už jen zakrývat. Pro tyto účely byly v nedávné minulosti převážně využívány materiály na minerální bázi. Většinou se tedy jednalo o tmely a přetěry na bázi cementu, který svou vysokou pevností a malou prodyšností situaci povrchu kamenného materiálu spíše zhoršoval, a při dalším restaurátorském zásahu byl povrch kamenného materiálu pod druhotným zásahem shledán opět více nesoudržným. Pro změkčení vysprávek lze při jejich odstranění použít vodu, aby nedošlo k úbytku autentické hmoty. V některých případech je nutné také předzpevnění nesoudržného kamenného materiálu.

Po odstranění druhotných vysprávek je většinou nutné provést zpevnění původního kamenného materiálu.



Obrázek č. 9: Ukázka špatného zpracování výspravků a přetěrů

5.4. Nečistoty

5.4.1. Obvyklé nečistoty – zvířecí trus, prach, mastnota



Obrázek č. 10: Obvyklé nečistoty 1



Obrázek č. 11: Obvyklé nečistoty 2

5.4.2. Biologické napadení – rostliny, mechy, řasy, lišejníky či příbytky drobného hmyzu a živočichů



Obrázek č. 13: Biologické napadení 1



Obrázek č. 12: Biologické napadení 2

5.4.3. Nevhodné zásahy – tmely, nátěry



Obrázek č. 15: Nevhodné zásahy 1



Obrázek č. 14: Nevhodné zásahy 2

5.5. Čištění vodní parou

Zařízením na výrobu horké vodní páry je možné šetrně očistit kamenný materiál. Pára díky své teplotě a velkému aktivnímu povrchu jemných kapek vodní páry účinně odstraňuje mastné depozity a usnadní i odstraňování disperzních nátěrů. Tato metoda, na rozdíl od omývání vodou, zajišťuje minimální zavlhčení čištěného materiálu. Minimalizuje se tak riziko migrace vodorozpustných solí či ve vodě rozpustných látek. Horká vodní pára přispívá k jednorázové likvidaci aktivního biologického napadení a má i dezinfekční účinky.



Obrázek č. 16 : Ukázka čištění vodní parou

5.6. Čištění tlakovou vodou

Čištění tlakovou vodou se používá zejména při odstranění biologického napadení a polétavého prachu ze soudržného povrchu. Proud vody je aplikován směrem seshora dolů tak, aby postupně omýval deposity. Tlak vody a vzdálenost k čištěnému povrchu je nutné regulovat, aby nedošlo k narušení hmoty památky. Pro lepší efektivitu čistícího procesu lze před aplikací použít například roztoky povrchově aktivních látek, které zlepší smáčení čištěného povrchu. Použité chemické látky musí být vždy po etapě čištění omyty vodou, aby dále nedocházelo k nežádoucí reakci.



Obrázek č. 17: Ukázka čištění tlakovou vodou

5.7. Mikrotryskání jemného abraziva

Mikrotryskání je vhodnou metodou zejména pro odstranění krusty a povrchových nečistot z materiálů, které mohou být ohroženy kapalnými čistícími prostředky. Proud vzduchu s velmi jemným inertním abrazivem (obecně s menší tvrdostí, než je tvrdost čištěného materiálu např. korund, balotina, ořechové skořápky) jsou za použití relativně nízkého tlaku schopny ztenčit povlak, který uzavírá povrch kamene a znemožňuje jeho konsolidaci. Čištění mikrotryskáním se dá optimálně přizpůsobit konkrétní situaci a měnit nastavení i v průběhu čištění. Často je mikrotryskání použito pouze lokálně na ztenčení silných depositů v místech dešťových stínů.



Obrázek č. 18: Ukázka čištění mikrotryskáním jemného abraziva

6. Zpevnění

Cílem zpevňování je zlepšení soudržnosti degradovaného materiálu. Soudržnost materiálu je nutné posoudit přímo na objektu pomocí pohmatu či skalpelem. Výsledky odhalí, za je materiál potřeba zpevnit či nikoliv. Na odebraném kusovém vzorku je možné v laboratoři stanovit základní charakteristiky materiálu včetně jeho pórovitosti a porovnat s daty nezvětralého materiálu.

Před konsolidací by porézní části materiálu neměly obsahovat vodorozpustné soli v množství přesahující 15 % pórového prostoru ani vodu ve formě kapaliny pórový prostor vyplňující. Díky přítomnosti těchto faktorů může být negativně ovlivněn výsledek zpevnění materiálu. Výběr vhodného konsolidačního prostředku je dán především chemickým a mineralogickým složením zpevňovaného materiálu. Použitý konsolidant by měl mít stejné nebo podobné chemické složení jako pojivo zpevňovaného materiálu. Důležitým parametrem konsolidantu je také jeho penetrační schopnost a velikost molekuly (molární hmotnost) obsažené účinné látky.

Konsolidační ošetření degradovaného materiálu je založeno na dodání nového pojiva. Toto pojivo by mělo být rovnoměrně rozptýleno v ošetřované vrstvě materiálu. Kamenný materiál může být v případě sedimentárních hornin značně heterogenní, a proto může obsahovat místa, kde je materiál více degradovaný, tudíž musí být v takovém místě použito více konsolidačního prostředku. Dodáním konsolidačního prostředku se částečně vyplní póry kamenného materiálu. Při aplikaci konsolidačního materiálu hrozí také riziko úplného uzavření pórového prostoru. To nastává při nesprávné aplikaci konsolidačního prostředku především v přípovrchové vrstvě a vede k zadržování vody a vodných roztoků solí pod konsolidovanou vrstvou. Bariéra transportu vody a vodních par může vést k poškození materiálu hromadícími se solemi a mrazovými cykly. Zpevňováním dochází k nárůstu soudržnosti a změně mechanických i fyzikálních vlastností degradovaného kamenného materiálu, to má však jasné limity a při jejich překročení je ve svém důsledku pro kamenný materiál přezpevnění ohrožující.

6.1. Estery kyseliny křemičité

Zpevňovače na bázi esterů kyseliny křemičité jsou primárně určeny ke zpevnění ještě stále soudržného materiálu.

K zaplňování velkých i vlasových trhlin je vhodné použít estery kyseliny křemičité, které je možné modifikovat plnivy dle potřeby velikosti trhlin. Modifikováním jemným pískem či moučkami můžeme docílit podobných vlastností, jaké má originální materiál. Povrch kamenného materiálu musí být před aplikací suchý. Zpevňovací prostředek je na povrch kamene obvykle nanášen štětcem.



Obrázek č. 19: Použití zpevňovače na bázi esterů kyseliny křemičité

6.2. Vápenná voda

Jako zpevňující prostředek pro strukturní zpevnění neleštěného mramoru je vhodné použít vápennou vodu. Vápenná voda musí být aplikována na materiál jemným nátěrem či ponorem. Takto ošetřený materiál musí po aplikaci vždy řádně vysušen, aby mohla proběhnout karbonatizace hydroxidu vápenatého. Vzhledem k malé rozpustnosti hydroxidu vápenatého ve vodě, a tedy malé koncentraci účinné látky ve zpevňovacím prostředku, je nezbytné, aby se tento postup v případě nátěrů i ponoru prováděl opakovaně a dostavil se tak požadovaný efekt zpevnění.



Obrázek č. 20: Použití vápenné vody

7. Trhliny

Pokud se koroze včas neřeší, může časem dojít až k odlomení části kamene a ztrátě autentické hmoty. Trhlinu charakterizuje vznik vady při vysokých teplotách (zejména v určitém teplotním rozsahu v oblasti solidu), prasklina značí vadu vzniklou při nízkých teplotách. Jak trhlina, tak prasklina se mohou postupně šířit, prodlužovat a může růst jejich velikost. Těmito otvory může pronikat voda do hmoty kamenného materiálu. To vede k rychlejší degradaci materiálu, nejvíce pak při změně skupenského stavu vody, kdy dochází k dalšímu trhání materiálu a dalšímu šíření prasklin. Při restaurování je nezbytné trhliny uzavřít a zaplnit injektáží.

Pro pískovce se nejčastěji používají anorganické materiály na bázi bílého cementu či organokřemičitanové zpevňovače umožňující modifikaci plnivem.

Pro mramory je vhodné použití například Paraloidu B72, který je průhledný, a lze ho i plnit a dobarvovat.



Obrázek č. 22: Trhliny na mramoru



Obrázek č. 21: Trhliny na pískovci

8. Lepení

Lepení oddělených částí provádíme, pokud došlo k samovolnému neřízenému odlomení fragmentu. Lepení je možno provádět pouze vhodným lepidlem (adhezivem), které musí být reverzibilní v průběhu restaurování i po něm. Lepený spoj především nesmí omezit paropropustnost kamenného materiálu, v takovém případě by mohlo dojít k nežádoucímu zvětrávání materiálu v okolí lepeného spoje a jeho rychlejší korozi. Stabilita lepidla může v průběhu času ovlivnit ochranu samotné památky a bezpečnost v jejím okolí.

Samotné lepení nemusí pro zajištění kamenného fragmentu stačit. Obzvláště v případech, kdy lepíme objemnější fragmenty kamene, nemusí samotné lepidlo fragment udržet. Takovéto velké a hmotné fragmenty podpoříme v jejich stabilitě konstrukcí či čepem.

Pro výběr a použití adheziva jsou rozhodujícími faktory doba zpracování, doba tuhnutí, barva, viskozita a výsledná struktura. V historii používané cementové zalévací směsi jsou z dnešního pohledu problematické. Cement je příliš tvrdý a málo propustný, u méně kvalitních cementů může docházet ke kontaminaci kamenné hmoty vodorozpustnými solemi. Zásadní nevýhodou cementových spojů je jejich špatná reverzibilita.



Obrázek č. 24: Příprava k lepení odpadlé části sochy 1



Obrázek č. 23: Příprava k lepení odpadlé části sochy 2

9. Armatury

Armatura sloužící k posílení lepeného spoje či provázání jednotlivých částí sochařského díla má být jednoduchá a v materiálu dobře ukotvená. Klasickým způsobem instalace armatury je využití stávajících otvorů po starších armaturách. Pokud je nutné vytvořit nové kotvení, je preferováno navrtání otvorů a osazení drátu do druhotného tmelu či lepidla. Armatura se musí v kameni upevnit tak, aby nepružila. Tloušťka armatury se obvykle volí od 2 do 5 mm podle užití armatury. Vhodné jsou dráty s povrchovým reliéfem, aby měly při lepení větší styčnou plochu. Jedná se například o závitovou tyč s drážkováním. Kovová armatura se dá tvarovat a ohýbat podle potřeby. Armatura by neměla zasahovat mimo objem kamenného materiálu a měla by být ukončena relativně daleko od povrchu, aby okolní vlivy například rozdílná teplotní roztažnost negativně neovlivnily natmelený doplněk. Materiál armatury nesmí korodovat. V praxi je nejpoužívanější nerezová ocel. Nerezová ocel nekoroduje a její teplotní roztažnost se blíží roztažnosti kamene.



Obrázek č. 26: Armatura 1



Obrázek č. 25: Armatura 2

10. Tmelení

Tmelení a doplňování chybějící hmoty kamenného materiálu je postup, který navrácí památce celistvost a estetickou hodnotu. Ideální opravná směs pro tmelení je méně pevná než originální materiál díla, přitom však dostatečně trvanlivá. Rozsah doplnění je velice individuální, a u každé z památek jiný. Může oscilovat od ryze konzervačního přístupu sloužícího k zabezpečení stavu památky až po kompletní rekonstrukci chybějících tvarů do nejmenších detailů, včetně barvy a struktury povrchu. Rozsah doplnění je určený ve spolupráci se zástupci památkové péče a majitelem památky.

Při tmelení a doplňování je třeba mít jasně vytýčený záměr k dosažení výsledného vzhledu památky po restaurování. Nejvíce bývá kladen důraz na maximální přiblížení vlastnostem kamenné hmoty, zároveň musí být splněn požadavek, aby použité materiály neohrožily původní materii sochy. Tmelicí materiál by měl být vizuálně co nejpodobnější originálnímu materiálu (struktura, barva).

10.1. Základní složky umělého kamene

	PLNIVO	POJIVO	VODA
Poměr	3 nebo 4 díly	1 díl	10 %

10.2. Plnivo

Jako plnivo lze použít přírodní drcený kámen či sklářské písky. Vzhled i vlastnosti umělého kamene výrazně ovlivňuje typ plniva a jeho frakce.

10.3. Pojivo

Tvárné směsi je možno rozdělit do dvou velkých skupin: materiály s pojivem anorganickým a organickým.

Anorganická pojiva jsou materiály s hydraulickými pojivy, portlandským cementem, hydraulickým vápnem a sádrou (v interiérech se jedná o směsi pojené sádrou). Výhodou anorganických pojiv je využití přítomnosti vody, která tu není na závadu. K nevýhodám anorganických pojiv patří horší adheze k podkladu. Anorganické pojivo esmí předčasně vyschnout a je nutné vlhčit minimálně týden až do vytvrdnutí směsi. Má menší odolnost vůči kyselému prostředí. Toto pojivo je vhodné pro pískovce či vápence.

Organická pojiva – syntetické pryskyřice se vytvrzují přidáním různých tvrdicích přísad nebo katalyzátorů (epoxidové pryskyřice, polyesterové pryskyřice, akrylátový kopolymer – Paraloid B 72). Výhody organických pojiv jsou dobrá adheze k podkladu. Nevýhodou organických pojiv je zvýšené riziko přítomnosti vody. Vytvrzení může být zpomaleno či úplně zastaveno v přítomnosti vlhkosti. Vlhkost může být obsažena v písku nebo nedostatečně suchém podkladu. Zásadní je i teplota zpracování organického pojiva. Některá pojiva mohou mít nedostatečnou odolnost proti UV záření. Specifické vlastnosti pronikání světla v mramoru lze využít k iluzivní imitaci pronikání světla materiálem.

10.4. Pigmenty

Pigmenty přidáváme přímo do tmelící směsi, aby se barevnost přiblížila k původnímu kamennému materiálu. Tmel by měl být barven shodně s vnitřní hmotou kamenného materiálu. Při použití přírodních pigmentů musíme brát zřetel na to, že nemusí být stálý. Na rozdíl od syntetických pigmentů, které jsou stálé i v nehostinném prostředí. Látky jsou odolné vůči alkalickému prostředí. Pigmenty se dále používají pro barevné retuše.

10.5. Plastifikátory

Do této kategorie látek řadíme látky zlepšující adhezi maltové směsi k podkladu. Plastifikátory jsou látky, které po přidání do maltové směsi modifikují její reologické vlastnosti v plastickém stavu a tím usnadňují práci při nanášení plastických doplňků. S takto upravenou směsí se lépe pracuje, a při stejné konzistenci obsahuje o poznání menší podíl vody. Tím můžeme docílit lepších mechanických vlastností tmelu. Do druhé kategorie patří především polymerní

disperze, které zlepšují adhezi umělého kamene k tmelenému místu. Do zásaditých maltových směsí musí být použita disperze stabilní v daném rozsahu pH. Standardně je k těmto účelům používaná styrenakrylátová disperze SOKRAT 2802 A, jejíž podíl v tmelech bývá maximálně 10 hmotnostních procent.

10.6. Speciální aditiva

Speciální aditiva zdokonalují vizuální působení tmelící směsi. Mezi tyto aditiva řadíme například drcenou slídu. V případě umělého kamene se setkáváme s různými struskami či schránkami živočichů imitujícími specifický charakter struktury originálního povrchu materiálu.

11. Lokální barevné retuše

Lokální barevná retuš je často finální etapou restaurátorského zásahu. Památce se barevným sjednocením navrácí povrchová kompaktnost a tím se podtrhne i estetická hodnota celistvého vnímání památky. Retuš a případná rekonstrukce autentické barevné povrchové úpravy se řeší hlavně na nových doplňcích.

Pro retuši a barevným úpravám povrchu je třeba primárně zvolit vhodný materiálový systém. Výběr pojiva a pigmentů je vždy závislý na podmínkách, ve kterých bude památka instalována. Techniku retuše je nezbytné zvolit podle charakteristiky originálního povrchu památky a požadovaného výsledného estetického působení. Proto se k retušování a barevné úpravě povrchu přistupuje až ve chvíli, kdy je jasně specifikován požadovaný výraz (vzhled) artefaktu po restaurování.

Pro retuš lze použít stálé anorganické pigmenty pojené například 2,5 % styren akrylátovou disperzí Sokrat 2802 A či jinými komerčními přípravky, například na bázi esterů kyseliny křemičité.

12. Hydrofobizace

Korozní procesy probíhají nejčastěji v přítomnosti kapalné vody. Z toho důvodu v závěrečné fázi restaurátorského procesu bývá obvykle povrch kamenných památek ošetřen hydrofobním přípravkem. Principem hydrofobizace je vytvoření tenkého, paropropustného, vodoodpudivého filmu na povrchu ošetřeného kamenného materiálu. Vzniklá hydrofobní vrstva zamezí průniku vody z povrchu do kamene, a tím výrazně ovlivní transport vodorozpustných solí, či podmínky pro biologické napadení. Aplikace hydrofobní vrstvy je limitována u památek, kde není vyřešena problematika vzlínající vlhkosti z podzákladí. Účinnost provedené hydrofobní úpravy se hodnotí snížením nasákavosti exponovaných míst artefaktu.

Hydrofobizovaný povrch nemění lesk ani barvu kamene. Jedině v tomto spojení může dojít k maximálnímu účinku celého restaurátorského procesu.



Obrázek č. 27: Ošetření hydrofobním přípravkem

13. Praktická část

Hlavním cílem této praktické části teoretické diplomové práce bylo získat co možná nejvhodnější materiál na tmelení bílého mramoru. Vytvořením vzorků připravených z různých pojiv a jejich namáháním v komoře simulující stárnutí materiálů vlivem světla a zvýšené teploty *Q-SUN* (s Xe výbojkou) byla spolu s vyhodnocením aplikačních vlastností zkoušených směsí vybrána ta nejvhodnější.

13.1. Postup práce

Před samotným experimentem bylo potřeba připravit jednotlivé vzorky. Byla vytvořena silikonová forma tak, aby všechny vzorky byly rozměrově stejné. Výsledkem byly obdélníkové destičky o rozměrech 20 x 60 x 6 mm.

Jednotlivé vzorky vznikaly za stejných podmínek, a to smícháním pojiva a plniva v daném poměru, aby byl co nejvěrněji imitován bílý mramor.

Plnivo bylo připraveno z vybraného bílého mramoru carrarského typu, který byl nadrcen na jemnou drť. Na laboratorní prosévačce Retsch AS200 byla drť rozdělena do frakcí – 1 mm, 500 μm , 250 μm , 125 μm a prach <125 μm . Pro rozdělení frakcí bylo použito nastavení 40-70 % z maximální amplitudy 3 mm po dobu 10 minut.

Z vyrobeného plniva a vybraných pojiv byly připraveny tmelící směsi. Směsi byly naplněny do připravené silikonové formy, po zatvrdnutí byly vzorky vyjmuty z formy a ponechány dva týdny ve stabilním tmavém prostředí. Poté byly vzorky částečně povrchově opracovány. Jedna sada vzorků byla vložena do komory simulující stárnutí materiálů vlivem světla a zvýšené teploty, druhá referenční sada byla ponechána pro srovnání v tmavém prostředí za laboratorní teploty.

Tabulka č.1: Použitá pojiva.

Materiál	Typ pojiva	Výrobce
Araldite 2028-1	polyuretan	Huntsman Advanced Materials
Epox Rapido	epoxid	Bellinzoni srl
Akepox 5010	epoxid	Akemi
Paraloid B72	kopolymer	Kremer Pigmente GmbH & Co. KG
Platinum	epoxid	Akemi
Blitz Transparent	epoxid	Bellinzoni srl
HXTal Nyl-1	epoxid	Kremer Pigmente GmbH & Co. KG
Spofa Dental Mramorit Type 3 – Model dental stone	vzdušné	SpofaDental a.s.
Bílý cement	hydraulické	CEMEX Czech Republic, s.r.o.
Acrystal Prima + Basic	hydraulické	ACRYSTAL Srl
Kremenit	vzdušné	Kremer Pigmente GmbH & Co. KG
Mapei ultracolor plus	hydraulické	Mapei, spol. s r.o.
Sádra Almod	vzdušné	Saint-Gobain Formula GmbH
Acrystal Aqua	hydraulické	ACRYSTAL Srl
Hinristone	vzdušné	rnst Hinrichs



Obrázek č. 29: Laboratorní prosévačka Retsch AS200



Obrázek č. 28: Jednotlivé frakce drti, vlevo nahoře nejhrubší, vpravo dole nejjemnější

13.2. Komora simulující stárnutí materiálů vlivem světla a zvýšené teploty Q-SUN

Komora pro sluneční simulaci a testy odolnosti UV záření Q-SUN XE 1B (výrobce: firma Q-Lab Corporation)

Testovací komora je určena pro simulaci vlivu slunečního záření na vzorky, zdrojem záření je xenonová lampa o výkonu 1800 W. Nastavené parametry testu: teplota 60°C, výkon 0,68 W/m².nm (kalibrace zařízení je prováděna na vlnovou délku 340nm). Celková doba osvitu vzorků imitaci mramoru činila 763 hodin, celková dávka záření 1865 kJ/m².

Vzorky byly dle propočtu zohledňujícího dávku slunečního záření v našich zeměpisných podmínkách stárnutý v testovací komoře cca o 36 let.

13.2.1. Odolnost proti UV záření

V současné době neexistuje žádná norma, která by vymezila zkušební postup pro stanovení odolnosti tmelů proti UV záření. Je proto nutné si ověřit odolnost používaných materiálů.

13.2.2. Paraloid B72



Obrázek č. 31: Vzorek před stárnutím



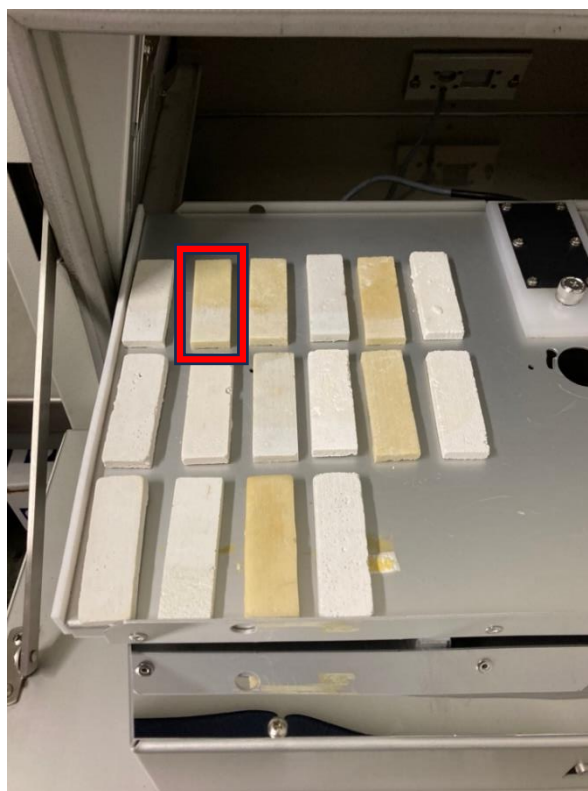
Obrázek č. 30: Vzorek po stárnutí

Report Date: 19.05.2024							Device S/N: 2010004498				
Tolerance Type: CIE LAB D65 10°							Limit: 2.0				
Standard	Date & Time	L*	a*	b*	C*	h°		Pass Rate	ΔE Average		
White A	19.05.2024 20:25:38	85.7	0.4	3.9	3.9	83.7		0.0%	6.1		
Sample	Date & Time	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔC*	ΔH*	ΔE*	P/F	Strength (tristim.)	Gray Scale stain	Gray Scale color
Sample 1	19.05.2024 20:36:33	5.9	-1.4	-0.9	-0.8	1.4	6.1	Fail	41 %	3-4	2
Informace o produktu: Akrylátový kopolymer. Vytváří čirý, transparentní povlak s vynikající tepelnou, chemickou a UV odolností. Povlak je velmi elastický a velmi dobře přilne k mnoha povrchům.											
Práce s tmelem: Není tvárný, je velice drobnivý a tvarově nestálý. Nedá se použít jako modelační tmel. Má velkou smršťivost, extrémně dlouho vytvrzuje do pevného stavu, který vyžaduje formu pro získání tvaru. Po vytvrzení je čirý, UV stabilní, těžko opracovatelný. Čirá barva je výhodou, jelikož dobře imituje mramor a má dobré optické vlastnosti k vytvoření hloubky doplňovaného materiálu.											
Výsledek po stárnutí: Vzorek je neměnný. Barva zůstala stejná. Textura vzorku se též nezměnila. Vzorek prokázal vhodnost přípravku. Vhodný pro injektáž.											

13.2.3. Akepox 5010



Obrázek č. 32: Vzorek před stárnutím



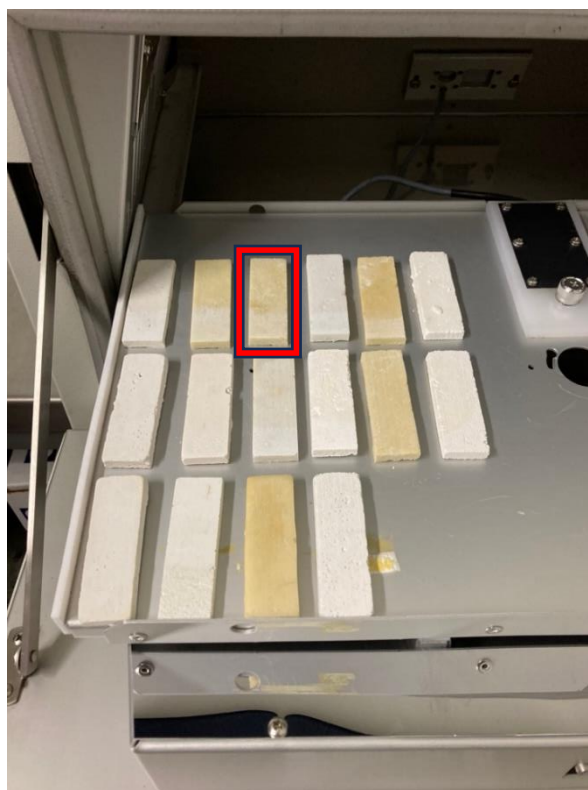
Obrázek č. 33: Vzorek po stárnutí

Report Date: 19.05.2024 Tolerance Type: CIE LAB D65 10°							Device S/N: 2010004498 Limit: 2.0				
Standard	Date & Time	L*	a*	b*	C*	h°		Pass Rate	ΔE Average		
Gray B	19.05.2024 20:21:32	81.1	-0.6	5.0	5.1	97.3		0.0%	12.2		
Sample	Date & Time	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔC*	ΔH*	ΔE*	P/F	Strength (tristim.)	Gray Scale stain	Gray Scale color
Sample 1	19.05.2024 20:23:50	1.5	-0.8	12.1	12.1	0.4	12.2	Fail	156 %	3	1
Informace o produktu: AKEPOX 5010 je čiré transparentní dvousložkové lepidlo na bázi epoxidové pryskyřice s modifikovaným cyklofalitickým polyamidovým tužidlem.											
Práce s tmelem: Je tvárný a dobře plnitelný. Lepidlo je rychlé, po vytvrzení matné, UV nestabilní, umožňuje lepení různorodých materiálů. Imituje mramor a má dobré optické vlastnosti k vytvoření hloubky doplňovaného materiálu. Může být tvrdší než původní materiál i když se naplní. Opracování tohoto materiálu je výrazně těžší ale ne nerealizovatelné. Při doplňování větších celků může být nevýhodou, protože se bortí pod svou vahou. Lze doplňovat ve vrstvách do finálního tvaru.											
Výsledek po stárnutí: Po několika dnech v komoře byly viditelné změny na vzorku. Přípravek není vhodný pro použití na bílém mramoru.											

13.2.4. Blitz transparent



Obrázek č. 34: Vzorek před stárnutím



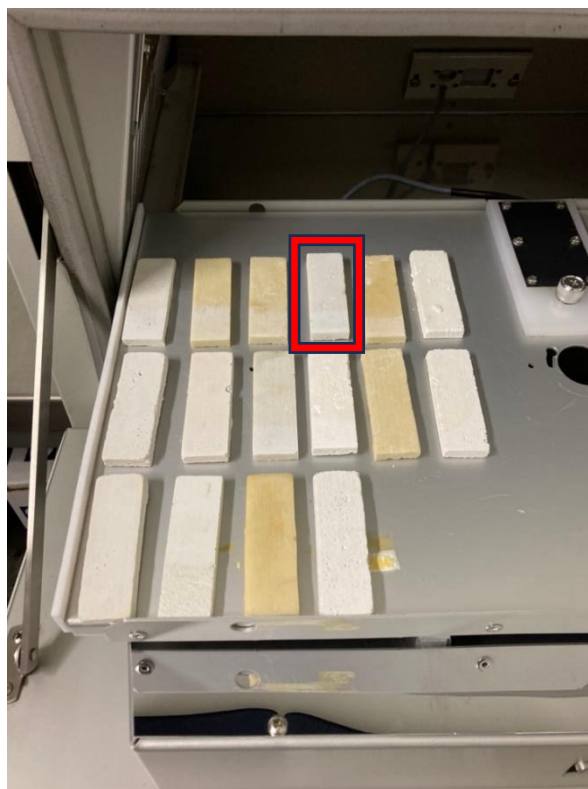
Obrázek č. 35: Vzorek po stárnutí

Report Date: 19.05.2024							Device S/N: 2010004498				
Tolerance Type: CIE LAB D65 10°							Limit: 2.0				
Standard	Date & Time	L*	a*	b*	C*	h°		Pass Rate	ΔE Average		
Gray C	19.05.2024 20:39:10	81.7	-0.4	7.5	7.5	92.8		0.0%	10.5		
Sample	Date & Time	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔC*	ΔH*	ΔE*	P/F	Strength (tristim.)	Gray Scale stain	Gray Scale color
Sample 1	19.05.2024 20:39:59	0.1	0.2	10.5	10.5	0.4	10.5	Fail	184 %	3-4	1-2
Informace o produktu: Dvousložkové lepidlo na bázi epoxidu. Má mechanické a chemické vlastnosti epoxidových pryskyřic a rychlosti tuhnutí polyesterových pryskyřic.											
Práce s tmelem: Je tvárný a dobře plnitelný. Lepidlo je rychlé, po vytvrzení matné, UV nestabilní, umožňuje lepení různorodých materiálů. Imituje mramor a má dobré optické vlastnosti k vytvoření hloubky doplňovaného materiálu. Může být tvrdší než původní materiál i když se naplní. Opracování tohoto materiálu je výrazně těžší ale ne nerealizovatelné. Při doplňování větších celků může být nevýhodou, protože se bortí pod svou vahou. Lze doplňovat ve vrstvách do finálního tvaru.											
Výsledek po stárnutí: Po několika dnech v komoře byly viditelné změny na vzorku. Přípravek není vhodný pro použití na bílém mramoru.											

13.2.5. Araldite 2028-1



Obrázek č. 36: Vzorek před stárnutím



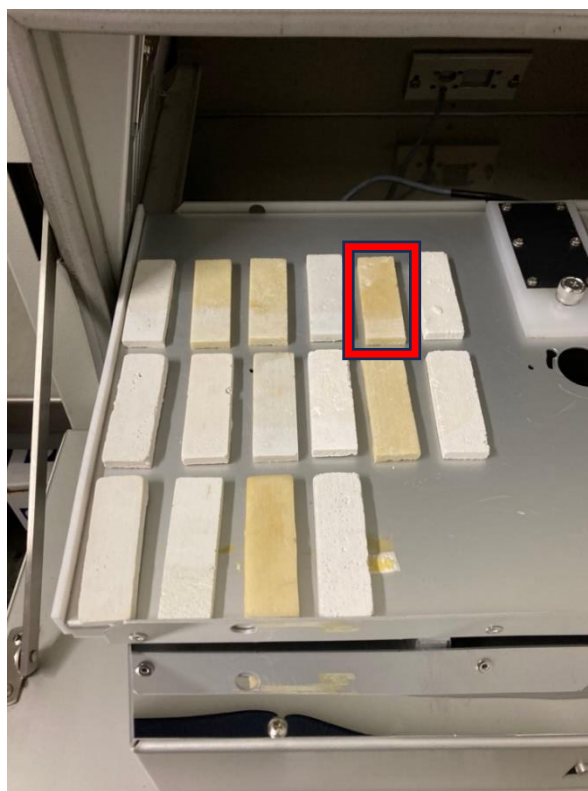
Obrázek č. 37: Vzorek po stárnutí

Report Date: 19.05.2024						Device S/N: 2010004498				
Tolerance Type: CIE LAB D65 10°						Limit: 2.0				
Standard	Date & Time	L*	a*	b*	C*	h°		Pass Rate	ΔE Average	
White D	19.05.2024 20:40:59	86.8	-0.4	1.3	1.3	106.3		100.0%	1.7	
Sample	Date & Time	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔC*	ΔH*	ΔE*	P/F	Strength (tristim.)	Gray Scale stain color
Sample 1	19.05.2024 20:41:44	1.7	-0.3	-0.1	0.0	0.3	1.7	Pass	78 %	4-5 4
Informace o produktu: Araldite 2028 je dvousložkový čirý polyuretanový systém, který má nízkou viskozitu. Přípravek je vhodný pro lepení kovů, plastů a skla, a taktéž pro optické aplikace – čiré zalévání a lepení.										
Práce s tmelem: Je tvárný, dobře plnitelný a lze i korigovat tvrdost doplňku. Lepidlo je středně rychlé, po vytvrzení čiré, UV stabilní (nežloutne), spoj je mírně pružný, což umožňuje lepení i různorodých materiálů. Čirá barva je výhodou, jelikož dobře imituje mramor a má dobré optické vlastnosti k vytvoření hloubky doplňovaného materiálu. Opracování tohoto materiálu je těžší ale ne nerealizovatelné. Při doplňování větších celků může být nevýhodou, protože se bortí pod svou vahou. Lze doplňovat ve vrstvách do finálního tvaru.										
Výsledek po stárnutí: Vzorek je neměnný. Barva zůstala stejná. Textura vzorku se též nezměnila. Vzorek prokázal vhodnost přípravku.										

13.2.6. Epox Rapido



Obrázek č. 39: Vzorek před stárnutím



Obrázek č. 38: Vzorek po stárnutí

Report Date: 19.05.2024							Device S/N: 2010004498				
Tolerance Type: CIE LAB D65 10°							Limit: 2.0				
Standard	Date & Time	L*	a*	b*	C*	h°		Pass Rate	ΔE Average		
Pink E	19.05.2024 20:43:27	82.9	-1.5	7.3	7.5	101.2		0.0%	15.8		
Sample	Date & Time	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔC*	ΔH*	ΔE*	P/F	Strength (tristim.)	Gray Scale stain	Gray Scale color
Sample 1	19.05.2024 20:44:21	-3.4	2.3	15.3	15.1	3.0	15.8	Fail	326 %	3	1
Informace o produktu: Rapid epox je dvousložkové transparentní epoxidové lepidlo, které velmi rychle tvrdne. Umožňuje lepení různorodých materiálů.											
Práce s tmelem: Je tvárný a dobře plnitelný. Lepidlo je extrémně rychlé, po vytvrzení čiré, UV nestabilní, spoj není pružný, což umožňuje lepení i různorodých materiálů. Čirá barva je výhodou, jelikož dobře imituje mramor a má dobré optické vlastnosti k vytvoření hloubky doplňovaného materiálu. Opracování tohoto materiálu je těžší ale ne nerealizovatelné. Při doplňování větších celků může být nevýhodou, protože se bortí pod svou vahou. Lze doplňovat ve vrstvách do finálního tvaru. Velikou nevýhodou je extrémně rychlé vytvrzení, které znemožňuje práci s tmelem.											
Výsledek po stárnutí: Již po několika dnech v komoře byly viditelné změny na vzorku. Přípravek není vhodný pro použití na bílém mramoru. Nelze použít pro výsledný tmel.											

13.2.7. Bílý cement



Obrázek č. 40: Vzorek před stárnutím



Obrázek č. 41: Vzorek po stárnutí

Report Date: 19.05.2024						Device S/N: 2010004498					
Tolerance Type: CIE LAB D65 10°						Limit: 2.0					
Standard	Date & Time	L*	a*	b*	C*	h°		Pass Rate	ΔE Average		
White F	19.05.2024 20:45:00	94.9	-1.1	2.7	2.9	112.6		0.0%	2.7		
Sample	Date & Time	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔC*	ΔH*	ΔE*	P/F	Strength (tristim.)	Gray Scale stain	Gray Scale color
Sample 1	19.05.2024 20:45:41	-1.2	-0.9	2.2	2.4	0.0	2.7	Fail	143 %	4-5	3-4

Informace o produktu: Anorganické hydraulické pojivo.

Práce s tmelem: Je tvárný, dobře plnitelný a lze i korigovat tvrdost doplňku. Tmel je velmi pomalý po vytvrzení je UV stabilní, spoj není pružný, neumožňuje spojení různorodých materiálů. Neimituje dobře mramor a nemá dobré optické vlastnosti k vytvoření hloubky doplňovaného materiálu. Opracování materiálu je možné do vytvrzení, poté je těžší ale ne nerealizovatelné. Při doplňování větších celků může být nevýhodou, protože se bortí pod svou vahou. Lze doplňovat ve vrstvách do finálního tvaru.

Výsledek po stárnutí: Vzorek je neměnný. Barva zůstala stejná. Textura vzorku se též nezměnila. Vzorek prokázal vhodnost přípravku.

13.2.8. Spofa Dental Mramorit Type 3 – Model dental stone



Obrázek č. 42: Vzorek před stárnutím



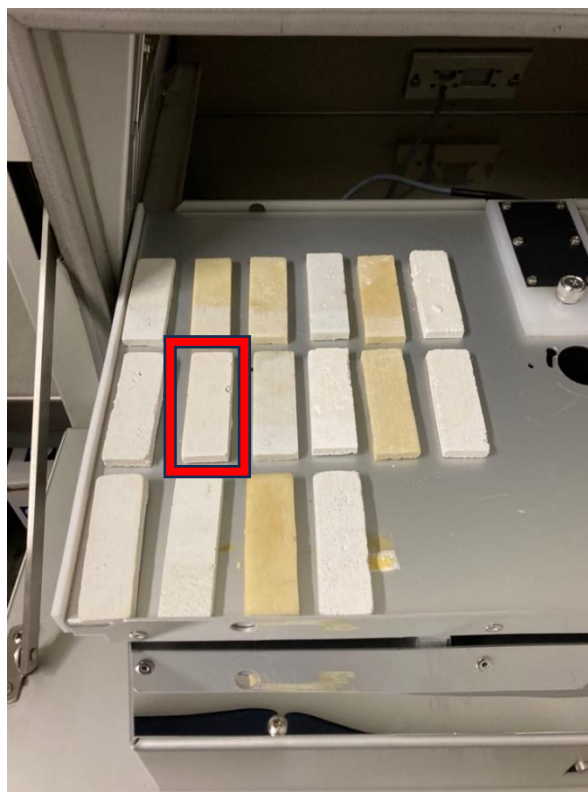
Obrázek č. 43: Vzorek po stárnutí

Report Date: 19.05.2024 Tolerance Type: CIE LAB D65 10°							Device S/N: 2010004498 Limit: 2.0				
Standard	Date & Time	L*	a*	b*	C*	h°		Pass Rate	ΔE Average		
White G	19.05.2024 20:47:43	92.4	0.6	3.7	3.8	81.4		100.0%	2.0		
Sample	Date & Time	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔC*	ΔH*	ΔE*	P/F	Strength (tristim.)	Gray Scale stain	Gray Scale color
Sample 1	19.05.2024 20:49:45	1.7	-0.7	-0.7	-0.8	0.6	2.0	Pass	69 %	4-5	4
Informace o produktu: Tvrdá modelová sádra pro dentální účely.											
Práce s tmelem: Je tvárný, dobře plnitelný a lze i korigovat tvrdost doplňku. Tmel je pomalý, po vytvrzení je UV stabilní, spoj není pružný, neumožňuje spojení různorodých materiálů. Neimituje dobře mramor a nemá dobré optické vlastnosti k vytvoření hloubky doplňovaného materiálu. Opracování materiálu je možné po vytvrzení, je těžší ale ne nerealizovatelné. Při doplňování větších celků může být nevýhodou, protože se bortí pod svou vahou. Lze doplňovat ve vrstvách do finálního tvaru.											
Výsledek po stárnutí: Vzorek je neměnný. Barva zůstala stejná. Textura vzorku se též nezměnila. Vzorek prokázal vhodnost přípravku.											

13.2.9. Acrystal Prima + Basic



Obrázek č. 44: Vzorek před stárnutím



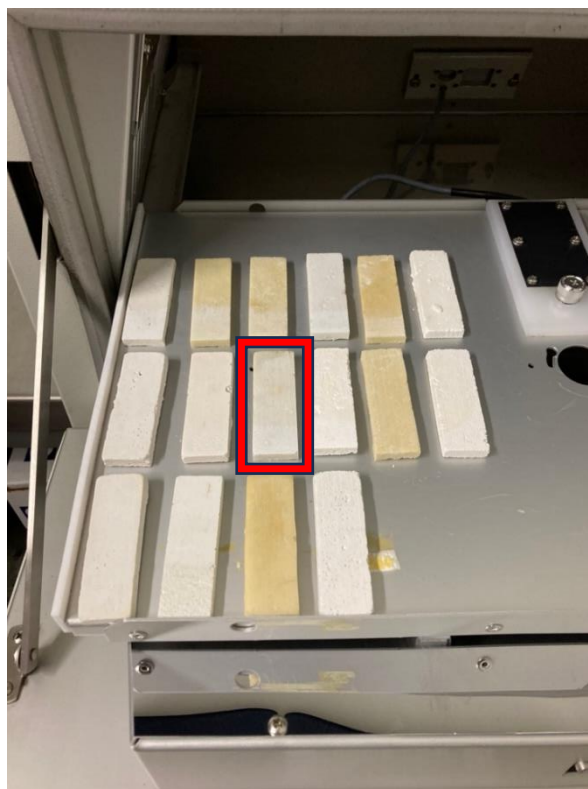
Obrázek č. 45: Vzorek po stárnutí

Report Date: 19.05.2024							Device S/N: 2010004498				
Tolerance Type: CIE LAB D65 10°							Limit: 2.0				
Standard	Date & Time	L*	a*	b*	C*	h°		Pass Rate	ΔE Average		
Pink H	19.05.2024 20:51:56	88.6	1.8	7.9	8.1	77.5		100.0%	1.9		
Sample	Date & Time	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔC*	ΔH*	ΔE*	P/F	Strength (tristim.)	Gray Scale stain	Gray Scale color
Sample 1	19.05.2024 20:53:00	1.2	-0.6	-1.4	-1.5	0.4	1.9	Pass	73 %	4-5	4
Informace o produktu: Směs anorganického hydraulického pojiva, metakaolinu a akrylátové disperze.											
Práce s tmelem: Je tvárný, dobře plnitelný a lze i korigovat tvrdost doplňku. Tmel je pomalý, po vytvrzení je UV stabilní, spoj není pružný, neumožňuje spojení různorodých materiálů. Neimituje dobře mramor a nemá dobré optické vlastnosti k vytvoření hloubky doplňovaného materiálu. Opracování materiálu je možné po vytvrzení, je těžší ale ne nerealizovatelné. Při doplňování větších celků může být nevýhodou, protože se bortí pod svou vahou. Lze doplňovat ve vrstvách do finálního tvaru.											
Výsledek po stárnutí: Vzorek je neměnný. Barva zůstala stejná. Textura vzorku se též nezměnila. Vzorek prokázal vhodnost přípravku.											

13.2.10. HXTal Nyl-1



Obrázek č. 46: Vzorek před stárnutím



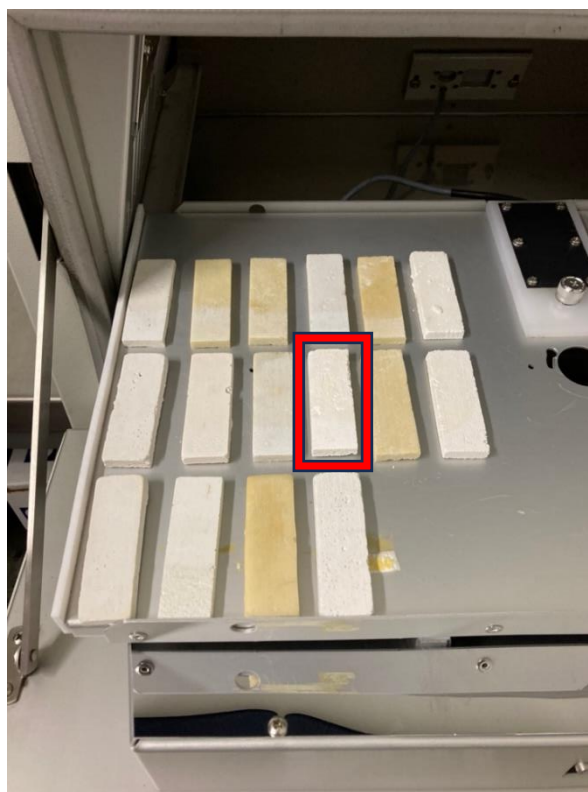
Obrázek č. 47: Vzorek po stárnutí

Report Date: 19.05.2024							Device S/N: 2010004498				
Tolerance Type: CIE LAB D65 10°							Limit: 2.0				
Standard	Date & Time	L*	a*	b*	C*	h°		Pass Rate	ΔE Average		
Gray CH	00.00.0000 00:00:00	81.3	0.1	3.0	3.0	88.2		0.0%	5.4		
Sample	Date & Time	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔC*	ΔH*	ΔE*	P/F	Strength (tristim.)	Gray Scale stain	Gray Scale color
Sample 1	19.05.2024 21:06:24	5.3	-0.8	0.2	0.3	0.8	5.4	Fail	53 %	4	2-3
Informace o produktu: Dvousložkové lepidlo na bázi epoxidové pryskyřice. Na rozdíl od mnoha epoxidů velmi pomalu vytvrzuje.											
Práce s tmelem: Není tvárný, je velice drobivý a tvarově nestálý. Nedá se použít jako modelační tmel. Má velkou smrštivost, nejdéle vytvrzuje ze všech zkoušených vzorků do pevného stavu, který vyžaduje formu pro získání tvaru. Po vytvrzení je čirý, UV stabilní, těžko opracovatelný. Čirá barva je výhodou, jelikož dobře imituje mramor a má dobré optické vlastnosti k vytvoření hloubky doplňovaného materiálu.											
Výsledek po stárnutí: Vzorek je neměnný. Barva zůstala stejná. Textura vzorku se též nezměnila. Vzorek prokázal vhodnost přípravku. Vhodný pro injektáž.											

13.2.11. Kremenit



Obrázek č. 48: Vzorek před stárnutím



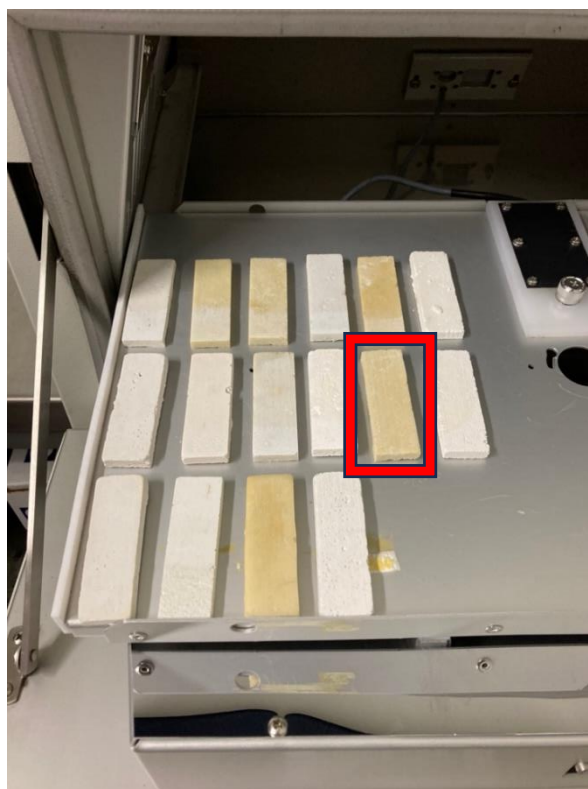
Obrázek č. 49: Vzorek po stárnutí

Report Date: 19.05.2024							Device S/N: 2010004498				
Tolerance Type: CIE LAB D65 10°							Limit: 2.0				
Standard	Date & Time	L*	a*	b*	C*	h°		Pass Rate	ΔE Average		
White I	19.05.2024 21:07:02	92.9	0.6	3.7	3.8	81.0		0.0%	3.2		
Sample	Date & Time	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔC*	ΔH*	ΔE*	P/F	Strength (tristim.)	Gray Scale stain	Gray Scale color
Sample 1	19.05.2024 21:07:51	2.5	-0.5	-1.9	-1.9	0.4	3.2	Fail	53 %	4-5	3
Informace o produktu: Keramický prášek, ze kterého se stane extrémně tvrdá hmota podobná porcelánu. Tuhne při pokojové teplotě.											
Práce s tmelem: Je tvárný, dobře plnitelný a lze i korigovat tvrdost doplňku. Tmel je pomalý, po vytvrzení je UV stabilní, spoj není pružný, neumožňuje spojení různorodých materiálů. Neimituje dobře mramor a nemá dobré optické vlastnosti k vytvoření hloubky doplňovaného materiálu. Opracování materiálu je možné po vytvrzení, je těžší ale ne nerealizovatelné. Při doplňování větších celků může být nevýhodou, protože se bortí pod svou vahou. Lze doplňovat ve vrstvách do finálního tvaru.											
Výsledek po stárnutí: Vzorek je neměnný. Barva zůstala stejná. Textura vzorku se též nezměnila. Vzorek prokázal vhodnost přípravku.											

13.2.12. Platinum



Obrázek č. 50: Vzorek před stárnutím



Obrázek č. 51: Vzorek po stárnutí

Report Date: 19.05.2024 Tolerance Type: CIE LAB D65 10°							Device S/N: 2010004498 Limit: 2.0				
Standard	Date & Time	L*	a*	b*	C*	h°		Pass Rate	ΔE Average		
Gray J	19.05.2024 21:09:00	81.3	0.9	9.2	9.3	84.2		0.0%	17.8		
Sample	Date & Time	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔC*	ΔH*	ΔE*	P/F	Strength (tristim.)	Gray Scale stain	Gray Scale color
Sample 1	19.05.2024 21:09:54	-4.5	0.6	17.2	17.1	0.7	17.8	Fail	358 %	2-3	1
Informace o produktu: Gelovité, matně nažloutlé neprůhledné lepidlo (velmi lehké vlastní zbarvení). Výrobek na bázi nenasycených epoxidových akrylátových pryskyřic rozpuštěných ve styrenu.											
Práce s tmelem: Je tvárný a dobře plnitelný. Lepidlo je extrémně rychlé, po vytvrzení matné, UV nestabilní, spoj je tvrdý, umožňuje lepení různorodých materiálů. Imituje mramor a má dobré optické vlastnosti k vytvoření hloubky doplňovaného materiálu. Opracování tohoto materiálu je extrémně těžké. Lze doplňovat ve vrstvách do finálního tvaru, ale vzhledem k rychlosti vytvrzení je to neefektivní a skoro nerealizovatelné.											
Výsledek po stárnutí: Po několika dnech v komoře byly viditelné změny na vzorku. Přípravek není vhodný pro použití na bílém mramoru.											

13.2.13. Mapei ultracolor plus



Obrázek č. 52: Vzorek před stárnutím



Obrázek č. 53: Vzorek po stárnutí

Report Date: 19.05.2024 Tolerance Type: CIE LAB D65 10°							Device S/N: 2010004498 Limit: 2.0				
Standard	Date & Time	L*	a*	b*	C*	h°		Pass Rate	ΔE Average		
White K	19.05.2024 21:10:26	91.5	-0.0	3.5	3.5	90.2		100.0%	1.1		
Sample	Date & Time	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔC*	ΔH*	ΔE*	P/F	Strength (tristim.)	Gray Scale stain	Gray Scale color
Sample 1	19.05.2024 21:10:58	1.0	-0.4	0.1	0.1	0.4	1.1	Pass	82 %	5	4-5
Informace o produktu: Rychle tvrdnoucí a vysychající, hydrofobní, polymery modifikovaná spárovací malta.											
Práce s tmelem: Je tvárný, dobře plnitelný a lze i korigovat tvrdost doplňku. Tmel je rychlý, po vytvrzení je UV stabilní, spoj není pružný, neumožňuje spojení různorodých materiálů. Neimituje dobře mramor a nemá dobré optické vlastnosti k vytvoření hloubky doplňovaného materiálu. Opracování materiálu je možné do vytvrzení, poté je těžší ale ne nerealizovatelné. Při doplňování větších celků může být nevýhodou, protože se bortí pod svou vahou. Lze doplňovat ve vrstvách do finálního tvaru.											
Výsledek po stárnutí: Vzorek je neměnný. Barva zůstala stejná. Textura vzorku se též nezměnila. Vzorek prokázal vhodnost přípravku.											

13.2.14. Sádra Almond



Obrázek č. 54: Vzorek před stárnutím



Obrázek č. 55: Vzorek po stárnutí

Report Date: 19.05.2024							Device S/N: 2010004498				
Tolerance Type: CIE LAB D65 10°							Limit: 2.0				
Standard	Date & Time	L*	a*	b*	C*	h°		Pass Rate	ΔE Average		
White L	19.05.2024 21:12:05	91.0	0.6	3.6	3.6	79.8		0.0%	2.6		
Sample	Date & Time	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔC*	ΔH*	ΔE*	P/F	Strength (tristim.)	Gray Scale stain	Gray Scale color
Sample 1	19.05.2024 21:13:12	2.5	-0.5	-0.0	-0.1	0.5	2.6	Fail	59 %	4-5	3-4
Informace o produktu: Hemihydrát síranu vápenatého.											
Práce s tmelem: Je tvárný, dobře plnitelný a lze i korigovat tvrdost doplňku. Tmel je rychlý, po vytvrzení je UV stabilní, spoj není pružný, neumožňuje spojení různorodých materiálů. Neimituje dobře mramor a nemá dobré optické vlastnosti k vytvoření hloubky doplňovaného materiálu. Opracování materiálu je možné po vytvrzení, je těžší ale ne nerealizovatelné. Lze ho škrábat, leštit, brousit. Při doplňování větších celků může být nevýhodou, protože se bortí pod svou vahou. Lze doplňovat ve vrstvách do finálního tvaru.											
Výsledek po stárnutí: Vzorek je neměnný. Barva zůstala stejná. Textura vzorku se též nezměnila. Vzorek prokázal vhodnost přípravku.											

13.2.15. Acrystal Aqua



Obrázek č. 56: Vzorek před stárnutím



Obrázek č. 57: Vzorek po stárnutí

Report Date: 19.05.2024 Tolerance Type: CIE LAB D65 10°							Device S/N: 2010004498 Limit: 2.0				
Standard	Date & Time	L*	a*	b*	C*	h°		Pass Rate	ΔE Average		
White N	19.05.2024 21:13:58	89.3	-0.6	6.1	6.1	95.2		100.0%	0.3		
Sample	Date & Time	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔC*	ΔH*	ΔE*	P/F	Strength (tristim.)	Gray Scale stain	Gray Scale color
Sample 1	19.05.2024 21:14:31	-0.0	-0.2	-0.2	-0.2	0.2	0.3	Pass	101 %	5	5
Informace o produktu: Akrylový polymer.											
Práce s tmelem: Je tvárný, dobře plnitelný a lze i korigovat tvrdost doplňku. Tmel je pomalý, po vytvrzení je UV stabilní, spoj není pružný, neumožňuje spojení různorodých materiálů. Neimituje dobře mramor, je nazelenalý a nemá dobré optické vlastnosti k vytvoření hloubky doplňovaného materiálu. Opracování materiálu je možné po vytvrzení, je těžší ale ne nerealizovatelné, práci komplikuje skelná vlákna, která jsou součástí sypké směsi. Při doplňování větších celků může být nevýhodou, protože se bortí pod svou vahou. Lze doplňovat ve vrstvách do finálního tvaru.											
Výsledek po stárnutí: Vzorek je neměnný. Barva zůstala stejná. Textura vzorku se též nezměnila. Vzorek prokázal vhodnost přípravku.											

13.2.16. Hinristone



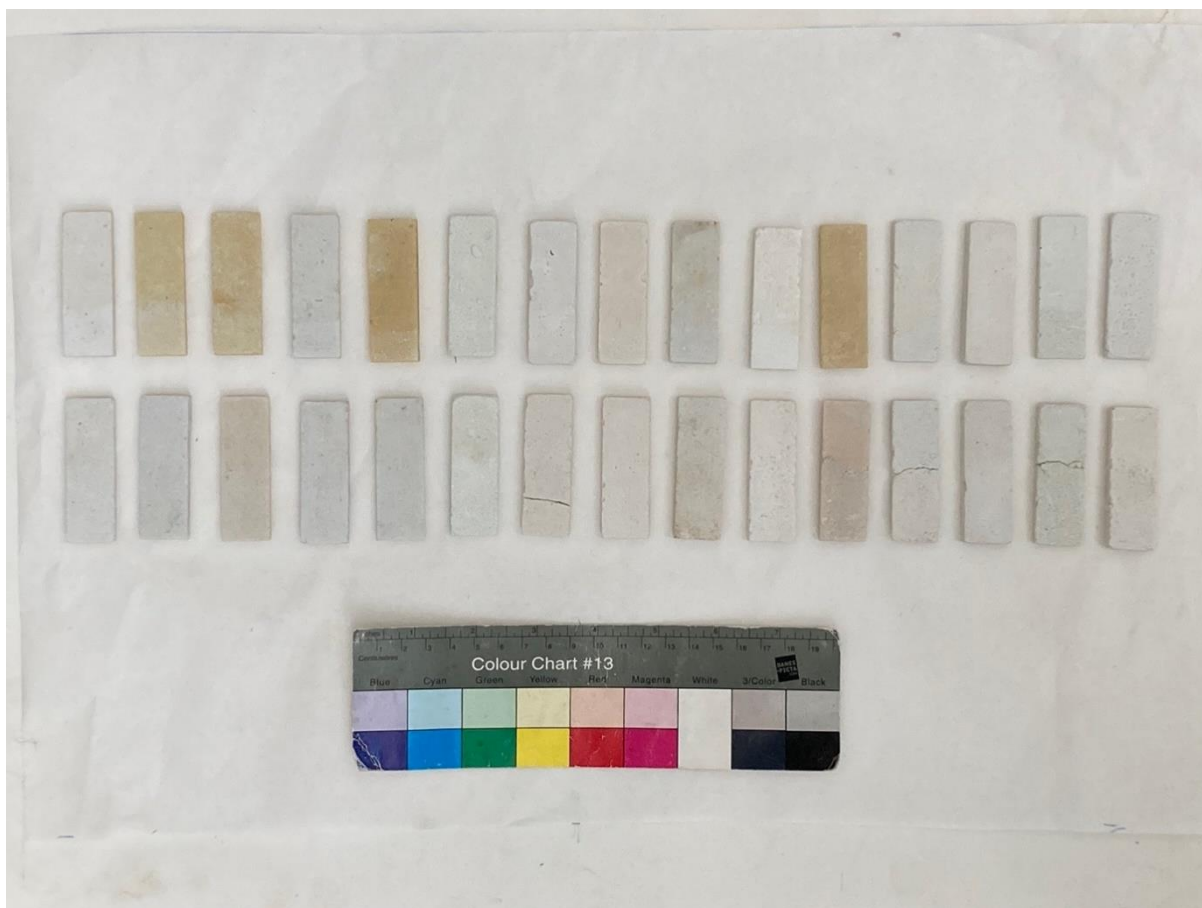
Obrázek č. 58: Vzorek před stárnutím



Obrázek č. 59: Vzorek po stárnutí

Report Date: 19.05.2024							Device S/N: 2010004498				
Tolerance Type: CIE LAB D65 10°							Limit: 2.0				
Standard	Date & Time	L*	a*	b*	C*	h°		Pass Rate	ΔE Average		
White O	19.05.2024 21:15:53	91.1	0.3	4.3	4.3	86.3		0.0%	2.2		
Sample	Date & Time	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔC*	ΔH*	ΔE*	P/F	Strength (tristim.)	Gray Scale stain	Gray Scale color
Sample 1	19.05.2024 21:16:33	2.1	-0.7	-0.4	-0.4	0.8	2.2	Fail	67 %	4-5	3-4
Informace o produktu: Tekutá thixotropní supertvrdá sádra s vynikající stabilitou hran a vysokou pevností a odolností vůči vrypu při velice nízké expanzi.											
Práce s tmelem: Je tvárný, dobře plnitelný a lze i korigovat tvrdost doplňku. Tmel je rychlý, po vytvrzení je UV stabilní, spoj není pružný, neumožňuje spojení různorodých materiálů. Neimituje dobře mramor a nemá dobré optické vlastnosti k vytvoření hloubky doplňovaného materiálu. Opracování materiálu je možné po vytvrzení, je těžší ale ne nerealizovatelné. Při doplňování větších celků může být nevýhodou, protože se bortí pod svou vahou. Lze doplňovat ve vrstvách do finálního tvaru.											
Výsledek po stárnutí: Vzorek je neměnný. Barva zůstala stejná. Textura vzorku se též nezměnila. Vzorek prokázal vhodnost přípravku.											

13.3. Optické srovnání vzorků vystavených expozici UV s vzorky nevystavenými UV záření.



Obrázek č. 60: Porovnání vzorků

Na prvním řádku jsou vzorky vystavené UV záření v komoře simulující stárnutí materiálů Q-SUN XE 1B, na druhém řádku pak vzorky, které nebyly vystavené UV záření v komoře Q-SUN XE 1B.

13.4. Vyhodnocení praktické části

Po vyhodnocení všech sledovaných parametrů byl vybrán vzorek, který nejvěrněji imitoval bílý mramor a nejlépe odolal podmínkám v komoře simulující umělé stárnutí vlivem UV záření a zvýšené teploty.

Jako nejvhodnější a UV nejstabilnější pro použití na imitaci bílého mramoru byl vyhodnocena směs daného plniva a tmelu Araldite 2028-1. Tato směs si v průběhu zkoušek nejvíce zachovala žádoucí podobu bílého mramoru, a to jak po stránce optického charakteru, tak po stránce zpracování. Ostatní vzorky nesplňovaly podmínky pro imitaci mramoru. Bylo to z důvodů zpracování směsi, rychlosti vytvrzení, opracovatelnosti směsi, UV stability nebo věrohodnosti vzhledu a charakteru mramoru.

14. Závěr

Cílem této teoretické části diplomové práce bylo ujasnit si postupy při restaurování pískovcových a mramorových památek. Stěžejním bylo pak především téma doplňování bílých mramorů a stálost nově vytvořených doplňků proti působení UV záření. V rámci předkládané práce bylo toto téma zpracováno také experimentálně v souvislosti se zadaným diplomovým úkolem restaurování sochy Koupající se dívky a dvou mramorových reliéfních portrétů. Pro experimentální část byly připraveny vzorky tmelů na bázi anorganických pojiv a syntetických pryskyřic plněné drceným bílým mramorem a pigmenty. Vybrané tmely byly nejprve hodnoceny na základě specifikací souvisejících s jejich vhodností při restaurátorské práci. Těmito kritérii jsou zpracovatelnost, rychlost tvrdnutí, možnost následného opracování a optické vlastnosti materiálu s ohledem na specifický semitransparentní charakter bílého mramoru carrarského typu. Bylo vybráno celkem 15 pojiv pro imitaci bílé mramoru. Výsledky jednotlivých vzorků jsou podrobně popsány v praktické části práce. Jako nejvhodnější a UV nejstabilnější pro použití na bílý mramor byl vyhodnocen tmel na bázi Araldite 2028-1.

Závěrem je potřeba také konstatovat, že ke každé památce a materiálu je nutné přistupovat individuálně a s ohledem na historickou hodnotu díla. I když se častokrát setkáme se sochami, které mají stejný výchozí sochařský materiál, jejich jedinečné osazení na různých místech znamená i diametrálně rozdílné působení klimatických podmínek, biologického napadení či lidského působení v rámci péče či úmyslné destrukce.

15. Zdroje

1. ZELINGER, J., HEIDINGSFELD, V., KOTLÍK, P., ŠIMŮNKOVÁ, E. *Chemie v práci konzervátora a restaurátora*, 2. vyd. Praha: Academia, 1987
2. RYBAŘÍK, V. *Ušlechtilé stavební a sochařské kameny České republiky*, 1. vyd. Hořice v Podkrkonoší, 1994, ISBN 80-900041-5-6
3. HEIDINGSFELD, V., KOPECKÁ, I., KOTLÍK, P., VANĚČEK, I. *Konzervace a restaurování kulturních památek*, 1 vyd. Praha: VŠCHT, 1993
4. TEPLÝ, B. *Konzervování a restaurování kamene*, 1. vyd. Hořice v Podkrkonoší: Nadace Střední průmyslové školy kamenické a sochařské, 1997, ISBN 9788023808933
5. KOTLÍK, P. *Umělý kámen – materiál pro tmely, doplňky a kopie*, Zpravodaj STOP, 2010, svazek 12, č.1, s. 4-10
6. GLÁSER, P., NEJEDLÝ, V. *Organokřemičitany v české památkové praxi*, 1. vyd. Praha: Národní památkový ústav, 2008, ISBN 978-80-87104-15-6
7. KUBIČKA, R., ZELINGER, J. *Výkladový slovník malířství, grafika, restaurátorství*, 1. vyd. Praha: Grada, 2004, ISBN 978-80-247-9046-6
8. SYROVÝ, B. *Kámen v architektuře a jeho povrchové úpravy*, 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1956
9. BRANDI, C. *Teorie restaurování*, 1. vyd. Kutná Hora: Tichá Byzanc, 2000, ISBN 80-86359-03-4
10. BLAŽÍČEK, O.J. *Slovník památkové péče*, 1. vyd. Praha: Sportovní a turistické nakladatelství, 1962, ISBN 27-065-62
11. BLÁHA, J., DOUBRAVOVÁ, K., et al. *Vápno*, 1. vyd. Praha: STOP – Společnost pro technologie ochrany památek, 2001, ISBN 80-902668-8-6
12. ARDIGO, A. *The Statues of the Loggia Della Signoria in Florence: Masterpieces Restored*, 1. vyd. Florencie: Giunti, 2002, ISBN 88-09-02620-9

16. Technické listy