

Univerzita Pardubice

Fakulta restaurování

Ateliér restaurování kamene

Jiráskova 3, 570 01 Litomyšl

Restaurování polychromované štukové plastiky Adama
z kaple sv. Isidora v obci Křenov

BcA. Bronislav Studeník

Vedoucí práce: doc. Jiří Novotný, akad. sochař

Diplomová práce

2014

1

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bronislav Studeník**
Osobní číslo: **R11017**
Studijní program: **N8206 Výtvarná umění**
Studijní obor: **Restaurování a konzervace děl nástěnné malby, sochařských děl a povrchů architektury**
Název tématu: **Komplexní restaurování štukové, polychromované plastiky Adama v kapli sv. Isidora v Křenově.**
Zadávací katedra: **Ateliér restaurování kamene**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Komplexní restaurátorský zásah na polychromované, štukové plastice Adama. Součástí zásahu bude podrobná fotodokumentace stavu před restaurováním, v průběhu jednotlivých pracovních úkonů a po ukončení restaurování, dále restaurátorský průzkum, jehož cílem bude co nejexaktnější poznání dochovaného stavu díla. Všechny použité metody, techniky a technologie budou předem otestovány a konzultovány s odborníky. Na závěr bude zhotovena restaurátorská zpráva včetně průzkumové zprávy, vyhodnocení průzkumu, koncepce zásahu, podrobného chronologického popisu postupu prací, seznamu použitých materiálů a chemikálií, doporučeného režimu díla, grafické, textové a obrazové přílohy. Průzkumová část bude rozšířena o experimentální část zabývající se možnostmi stabilizace železných výztuží ve výrobcích z armovaného štku. Na vzorcích vápenného štku budou testovány komerčně dostupné inhibitory koroze. Cílem experimentální části je vytvoření metodiky, která by mohla pomoci při stanovení nezbytných opatření pro ochranu korodujících ocelových výztuží u historických objektů z minerálních materiálů v interiéru. Tato práce může být v budoucnu využita jako podklad pro další průzkum.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

T. A. SOYLEV, M. G. RICHARDSON, Corrosion inhibitors for steel in concrete: State-of-the-art report, Construction and Building Materials 22 (2008)609-622

G. S. DUFFÓ, M. REINOSO, C. P. RAMOS, S. B. FARINA, Characterization of steel rebars embedded in a 70-year old concrete structure, Cement and Concrete Research 42 (2012) 111-117

SHAHZMA J. JAFFER, CAROLYN M. HANSSON, Chloride-induced corrosion products of steel in cracked-concrete subjected to different loading conditions, Cement and Concrete Research 39 (2009) 116-125

MARCO ORMELLESE, LUCIANO LAZZARI, SARA GOIDANICH, GABRIELE FUMAGALLI, ANDREA BRENNNA, A study of organic substances as inhibitors for chloride-induced corrosion in concrete, Corrosion Science 51 (2009) 2959-2968

H. SARICIMEN, M. MOHAMMAD, A. QUDDUS, M. SHAMEEM, M. S. BARRY, Effectiveness of concrete inhibitors in retarding rebar corrosion, Cement and Concrete Composites 24 (2002) 89-100

Vedoucí diplomové práce: **doc. Jiří Novotný, akad. sochař**
Ateliér restaurování kamene

Datum zadání diplomové práce: **31. října 2013**

Termín odevzdání diplomové práce: **27. srpna 2014**

L.S.

Ing. Karol Bayer
děkan

Mgr. art. Jakub Ďoubal, Ph.D.
vedoucí ateliéru

V Litomyšli dne 25. srpna 2014

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice (Dislokované pracoviště – Fakulta restaurování, Litomyšl).

V Litomyšli dne 26. 8. 2014.

BcA. Bronislav Studeník

Poděkování

Děkuji všem, kteří se podíleli na vzniku této práce. Děkuji vedoucímu práce doc. Jiřímu Novotnému, akademickému sochaři. Zvláštní dík patří Ing. Renatě Tišlové Ph.D. a Mgr. Marii Vavrečkové.

Anotace

Tato práce dokumentuje restaurátorský zásah provedený na polychromované štukové plastice Adama nacházející se v kapli sv. Isidora v obci Křenov. V jednotlivých bodech je popsána historie, tvarosloví kaple a restaurovaného objektu, dále chemicko-technologický průzkum, koncepce restaurátorského zásahu, zamyšlení nad možnostmi finálního řešení barevných úprav a postup prací. Nakonec je připojena grafická a obrazová příloha dokumentující kompletní zákrok na této památce.

Práce je rozšířena o experimentální část zabývající se možnostmi ochrany vnitřní železné, či ocelové výztuže v historických objektech vytvořených ze štuky. Pozornost byla věnována především metodě ochrany pomocí inhibitorů koroze. Nakonec je zařazena grafická a obrazová příloha dokumentující experimentální část.

Klíčová slova

Armatura - dokumentace - experimentální část - inhibitor koroze - kaple sv. Isidora - Křenov - ocel - plastika Adama - polychromie - restaurování - štuk - železo

Title

Complex restoration of the stucco, polychrome sculpture of Adam in the chapel St Isidora in Křenov.

Annotation

This work captures restoration of polychrome stucco sculptures of Adam, which is located in the chapel st. Isidor in Křenov. At each point describes the history, morfology of chapel

and restored monument, chemical- technological research, the concept of restoration work, consideration of the possibilities of the final solutions of color editing and process works. Finally, connected graph and picture attachments documenting the entire procedure on this monument.

Work is extension of the experimental part exploring the scope of protection of the internal steel or iron reinforcement in historical objects made of stucco. Attention was paid to the method of protection using corrosion inhibitors. Finally, the included graphical and pictorial enclosure documenting the experimental part.

Keywords

Reinforcement - Documentation - Experimental part -
Corrosion inhibitor – Chapel st. Isidor - Křenov - Steel -
Sculpture of Adam - Polychrome - Restoration – Stucco - Steel

OBSAH

1. Část diplomové práce

1. Úvod	10
2. Základní údaje o památce	11-12
2.1 Lokalizace památky.....	11
2.2 Údaje o památce.....	11
2.3 Údaje o akci.....	11-12
3. Popis památky	12-15
3.1 Kaple sv. Isidora.....	12-14
3.2 Sochařská výzdoba přízemního prostoru kaple.....	14
3.3 Plastika Adama.....	14-15
4. Průzkumová zpráva	15-36
4.1 Cíle průzkumu.....	15-16
4.2 Neinvazivní průzkum.....	16-19
4.3 Invazivní průzkum.....	19-36
5. Vyhodnocení průzkumu	37-42
6. Koncepce restaurátorského zásahu	42-45
7. Zamyšlení nad možnostmi finálního řešení barevných povrchových úprav	45-46
8. Navrhovaný postup prací	46
9. Postup prací	47-51
9.1 Fotodokumentace.....	47
9.2 Čištění.....	47
9.3 Fixáž fragmentů polychromie a odkryv sekundárních povrchových úprav.....	48
9.4 Konsolidace polychromie niky.....	48-49
9.5 Injektáž prasklin a dutin.....	49
9.6 Antikorozní povrchová úprava kovových prvků.....	50
9.7 Plastická retuš.....	50-51
9.8 Barevná retuš.....	51
9.9 Pasivace korodující vnitřní kovové výztuže.....	51
10. Použité technologie a materiály	52-54
11. Doporučený režim památky	54

12. Závěr.....	55
Seznam vyobrazení.....	56
2. Část diplomové práce	
14. Úvod.....	99-103
15. Principy koroze.....	103-106
16. Historická železa a oceli.....	107
17. Možnosti řešení.....	107-110
18. Metody aplikace.....	110-112
19. Problémy <i>in-situ</i>.....	112-115
20. Diskuze nad výhodami a nevýhodami metod ve vztahu k historickým objektům.....	115-118
21. Cíle.....	118
22. Metodika experimentální části.....	119-130
22.1 Příprava vzorků.....	119-120
22.2 Použité materiály.....	120-122
22.3 Aplikační metody inhibitorů koroze.....	123-124
22.4 Sledované vlastnosti inhibitorů koroze.....	124-130
23. Výsledky.....	131-146
23.1 Charakteristické vlastnosti substrátů.....	131
23.2 Charakteristika testovaných inhibitorů koroze.....	132
23.3 Viskozita.....	132
23.4 Měření pH inhibitorů koroze.....	132-133
23.5 Stanovení spotřeby inhibitorů koroze.....	133
23.6 Hloubka penetrace inhibitorů koroze štukem..	134-136
23.7 Absorpce inhibitorů kor. kapilárním vzlínáním.	136-137
23.8 Rastrovací elektronová mikroskopie.....	137-138
23.9 Vzhled štuků po aplikaci inhibitorů.....	138-140
23.10 Ochranný účinek inhibitorů koroze.....	140-143
23.11 Zkoušky dlouhodobého stárnutí ochrany.....	143-146
24. Závěr.....	147-149
Seznam použité literatury a pramenů.....	150
Seznam tabulek.....	151
Seznam grafů.....	152
Seznam textových příloh.....	153

1. ČÁST DIPLOMOVÉ PRÁCE

1. ÚVOD

Tato práce se zabývá komplexním restaurátorským zásahem, který byl proveden na štukové polychromované plastice Adama, přilehlé niky s festonem a andílkem. Restaurovaný objekt se nachází v interiéru barokní kaple sv. Isidora v obci Křenov. Cílem restaurátorské části diplomové práce je podrobně dokumentovat všechny restaurátorské zásahy, postupy, metody a metodiky provedené na výtvarném díle, se všemi sounáležitostmi, které mají být součástí restaurátorské zprávy (popis památky, restaurátorský průzkum, vyhodnocení průzkumu, koncepce restaurátorského zásahu, popis pracovních postupů, metod a metodik, použité technologie a materiály, doporučený režim památky, grafická, obrazová a textová příloha).

2. ZÁKLADNÍ ÚDAJE O PAMÁTCE

2.1 Lokalizace památky

1. Kraj: Pardubický
2. Obec: Křenov
3. Adresa: kaple sv. Isidora stojí na stavební parcele č. 37
4. Název objektu, jehož součástí je restaurované dílo: Kaple sv. Isidora
5. Bližší určení místa popisem: plastika se nachází v severozápadní části centrálního prostoru v přízemí kaple sv. Isidora
6. Rejstříkové číslo objektu v ÚSKP: 28066 / 6 – 3094
7. Název památky: Štuková plastika Adama

2.2 Údaje o památce

1. Autor: neznámý
2. Sloh / Datování: baroko / r. 1707 – vznik kaple, do r. 1713 - dekorativní výzdoba kaple
3. Materiál: vápno-sádrový štuk
4. Předchozí známé restaurátorské zásahy: Do výtvarné struktury restaurovaného díla bylo v minulosti několikrát zasahováno. Jednalo se zejména o zásahy do barevných povrchových úprav plastiky Adama, andílka a festonu.

2.3 Údaje o akci

1. Vlastník: Obec Křenov, Křenov 26, 569 22 Křenov
2. Zhotovitel: Fakulta restaurování Univerzity Pardubice

3. Termín započetí a ukončení akce: říjen 2012 – srpen 2014
4. Zhotovitel průzkumu: Fakulta restaurování Univerzity Pardubice, BcA. Bronislav Studeník
5. Pedagogický dohled: doc. Jiří Novotný, akad. sochař, Mgr. art. Jan Vojtěchovský, Mgr. art. Jakub Ďoubal, Ph.D.
6. Památkový dohled: Václav Paukert, PhDr.
7. Restaurátor: BcA. Bronislav Studeník

3. POPIS PAMÁTKY

3.1 Kaple sv. Isidora

Jedná se o hřbitovní kapli, v těsném sousedství kaple se dodnes nachází hřbitov.

Kaple je umístěna na oválném půdorysu. Jedná se o centrálně orientovanou stavbu. Podélná osa půdorysu (kúr – oltář) směřuje od jihu na sever. Na severovýchodní straně se nachází sakristie. Vnitřní prostor kaple je výrazně členěný plastickými dekorativními prvky s monochromní a polychromní povrchovou úpravou. Prostor kaple je ve směru od kamenné podlahy výše členěn hladkým neprofilovaným soklem, pilastry s akantovými hlavicemi nesoucími kladí a niky s mírně podživotními plastikami. Na vrcholcích nik jsou usazeny menší postavy andílků. Nad nimi se nacházejí hladké plochy stěn členěné okenními otvory oválného tvaru. Rytmus střídání pilastrů a nik s plastikami je 2 (pilastry) : 1 (nika). Ústřední plastikou kaple je patronátní postava sv. Isidora, která je umístěna v nice nad hlavním oltářem.

Kladí je složeno z architrávu, na nějž navazuje reliéfní vlys. Nad ním se nachází mohutná, výrazně profilovaná korunní římsa. Na ní jsou usazeny postavy andílků s hudební tematikou. Většina drží hudební nástroje. Hlavní (korunní) římsa respektuje půdorysný tvar kaple, obíhající vnitřní obvod pateční čáry zděné centrální kupole. Štukové reliéfy vlysu jsou vymodelovány ve vysokém reliéfu. Motivy jednotlivých reliéfů vycházejí z různých obměn festonů (např. feston s květy růží, feston s ořechy, atd.) a rostlinných rozvilin. Ve vnitřním prostoru kaple byly rozpoznány minimálně dva rukopisy, jež v minulosti vytvořily akantové hlavice. Pod korunní římsou se nachází zdařile provedené hlavice (vyšší míra plasticity a jemnost detailů). V oblasti kůru byl rozpoznán odlišný rukopis akantových hlavic, vykazující práci odlišných rukou (nižší plasticita, technické provedení na nižší úrovni). Korunní římsa má v současné době polychromní povrchovou úpravu imitující mramory (převažující barvou je modrá). Vlysy jsou v současné době polychromovány (bílá, okrová barva). Plastické prvky jsou pojednány okrovou barevnou povrchovou úpravou, hladké plochy jsou bílé. Architráv je také barevně pojednán. Podobně jako korunní římsa, tak i architráv má polychromní povrchovou úpravu imitující mramor (převažující barvou je modrá). Interiér kaple završuje klenba s nástěnnou malbou a štukovým věncem (rostlinný ornament). Malba znázorňuje téma Andělských kůrů. Ústřední postavou nástropní malby je Panna Maria. Malby v klenbě jsou doplněny drobnou štukatérskou výzdobou. Jedná se o okřídlené tváře andílků, dále páskový ornament a rostlinné rozviliny. Klenba prostoru sakristie je členěna štukovým nízkým reliéfem s páskovým ornamentem. Zde se nenachází stopy po polychromiích.

Na základě formální analýzy plastické figurální výzdoby interiéru kaple je možné předpokládat, že autory této výzdoby je dílenský okruh okolo Baltazara Fontany (1661-1733). Shodné modelační rysy postav nebo obličejů andělů z kaple sv. Isidora byly nalezeny například na štukové výzdobě knihovny na Klášterním Hradisku v Olomouci (autorem výzdoby je Baldassare Fontana). Velmi podobný rukopis byl objeven zejména na hlavičkách andělů.

3.2 Sochařská výzdoba přízemního prostoru kaple

V přízemní části kaple se nachází celkově pět nik, do nichž jsou vsazeny plastiky v mírně podživotní velikosti. Sochařské zpracování plastik lze vyjádřit tak, že se jedná spíše o vysoký reliéf nežli o prostorovou plastiku (plastiky na několika místech těsně přiléhají ke stěně niky). Plastiky v nikách odkazují k zemědělské činnosti, respektive k patronu kaple (sv. Isidor je patron zemědělců, dobré úrody atd.). Niky, které obklopují plastiky, jsou zdobeny festony. Tento ornament má segmentový závěs a je složen z listů a plodů (jablka). Ve vrchlících nik se nacházejí lastury. Orámování nik je tvořeno taženou profilací, která je zpravidla ve spodních partiích nik mírně deformovaná. Velikost nik a figurativních plastik není u všech stejná (rozdíly v řádech jednotek cm).

3.3 Plastika Adama

Jedná se o mírně podživotní figurální plastiku, která stojí na soklu. Je situována po pravici plastiky sv. Isidora. Postava vzhlíží nahoru nad prostor hlavního oltáře. Tělo je oděno do drapérie (kožešiny). Levé rameno je odhalené, přes pravé rameno je přehozen pás drapérie. Oděv je v pase přepásán

a končí nad koleny v podobě suknice. Pravá paže je v lokti ohnutá a směřuje směrem od hrudníku k prostoru hlavního oltáře. Pravá ruka svírá jablko. Levá paže je ohnuta v lokti a ruka spočívá na násadě rýče, který končí u chodidel. Pravá noha nese váhu celého těla. Levá noha je mírně zakročená. Adamova tvář má hustý plnovous. Ikonografický i prostorový protějšek plastice Adama tvoří figura Evy.

4. PRŮZKUMOVÁ ZPRÁVA

V březnu roku 2012 byl Fakultou restaurování Univerzity Pardubice vypracován komplexní restaurátorský průzkum sochařských i malířských prvků interiéru kaple sv. Isidora, na nějž v následujícím roce navázal rozšiřující průzkum plastiky Adama, niky a andílka. Jeho stěžejním bodem bylo podrobné zkoumání a dokumentování vývojových fází barevných povrchových úprav prostřednictvím sondážního a stratigrafického průzkumu.

4.1 Cíle průzkumu

Cílem průzkumu bylo zjistit dochovaný stav výtvarného díla. Pozornost byla zaměřena na odhalení rozsahu a lokalizace poškození, stupně poškození, příčin i mechanismů poškození. Zásadním bodem bylo získání podkladů pro studium původní polychromie a sekundárních povrchových úprav. Důležité bylo zvážit možnosti restaurátorského zásahu a na základě vyhodnocení průzkumu zvolit vhodné metody, materiály a postupy pro restaurování.

Na díle byl proveden neinvazivní průzkum (vizuální, kulturně-historický, UV záření) i invazivní průzkum (sondážní, stratigrafie povrchových úprav).

4.2 Neinvazivní průzkum

4.2.1 Vizuelní průzkum

Vizuální průzkum byl proveden před začátkem restaurátorského zásahu a před cíleným odběrem vzorků. Cílem bylo seznámení se s dílem, určení stavu památky před restaurováním, určení druhu degradace a odhad pravděpodobných příčin, které ji způsobují.

4.2.2 Současný stav - stav před restaurováním

Na postavě Adama, přilehlé nice a andělovi bylo rozpoznáno několik druhů poškození. Nejvýznamnější defekty představovaly úbytky plastické modelace a ztráty tvarů. Nejčastěji se vyskytovaly na pažích, dlaních, chodidlech a obličeji plastiky Adama nebo andílka. Drobnější ztráty byly objeveny také na festonu a na rámování niky. Na postavě Adama chybí prst na pravé dlani a část prstu na dlani levé. V okolí loktu pravé paže došlo k hloubkové ztrátě štku. U andílka došlo ke ztrátám modelace v oblasti obličeje (nos), prsty na pravé a levé dlani zcela chybí. Objevují se zde korodující kovové dráty. Na pravém předloktí došlo k výrazné ztrátě štukového materiálu, resp. modelovaného tvaru. Také zde došlo k obnažení kovové výztuže. Levé chodidlo anděla zcela chybí. Jedná se o mechanická poškození a pravděpodobně je způsobila vandalská činnost. Poškození mechanického původu představují

také celoplošné vrypy, které se nacházejí na plastice Adama a další stopy po hrubých nástrojích. Tato poškození pochází zřejmě z předchozích zásahů. Na postavě Adama, anděla i nice se dále nachází rozsáhlé množství prasklin a dutin, způsobené pravděpodobně dlouhodobým působením degradačních vlivů zatékající srážkové vody na svislou konstrukci stěny. Některé části plastik jsou odděleny a drží pouze vzájemným propojením pomocí ocelové výztuže (pravá paže Adama a anděla). Na restaurovaném objektu se lokálně vyskytují obnažené ocelové výztuže, které korodují. Další druh výztuže, který byl na plastice Adama objeven, jsou zuhelnatělé dřevěné špalky (pravé chodidlo Adama). Povrch štuku je plošně pokrytý deposity prachu, sazí a jiných nečistot (ptačí trus). V místech, kde v minulosti došlo k odstranění povrchových úprav a k obnažení povrchu štuku se nachází silně ulpělé nečistoty, které vytvářejí ztmavlá místa.

Povrchové úpravy na plastice Adama a anděla se dochovaly ve fragmentárním stavu. Jednotlivé vrstvy povrchových úprav jsou degradované. Vykazují nízkou vnitřní kohezi a velmi nízkou adhezi k podkladu, čímž v minulosti docházelo k samovolnému odpadávání dochovaných souvrství polychromie. Ze sekundárních přemaleb prostupuje starší barevnost nesouvislými fragmenty. Barevnost niky se jeví jako dobře zachovalá. Zachovala se téměř v kompletním stavu. Přesto i zde se nachází poškození lokálního charakteru. Jedná se o zatekliny neznámého původu, které způsobují barevné kontrasty. Ve vnitřním prostoru niky se nacházejí lokální ztráty barevné vrstvy a tenké vrstvy podkladu (štuk).

4.2.3 Historie objektu

¹ Kaple sv. Isidora je součástí barokního komplexu čtyř sakrálních staveb, které byly vystavěny mezi lety 1705 a 1733. Součástí komplexu je kaple sv. Isidora (r. 1705), farní kostel sv. Jana Křtitele (r. 1729), budova fary (r. 1732), špitál a chudobinec (r. 1733 - zbourán v 50. letech 20. století). Iniciátorem těchto významných objektů byl jezuitský farář P. Johann Benedikt Rustic Schindler (1664 - 1736). Za jeho působení a za patronátu Josefa Johanna Adama z Lichtensteina byl v rámci barokizace a šíření katolické víry komplex vystavěn.

V minulosti byly v interiéru provedeny více, či méně rozsáhlé úpravy, které mohly mít vliv i na plastiky v přízemí kaple.

² Archivním průzkumem bylo objeveno, že interiér kaple byl v minulosti několikrát bílen (r. 1748, r. 1749, r. 1813, r. 1852). Další objevené záznamy pochází z r. 1803 (nespecifikované drobné opravy) a r. 1866 (nespecifikované plánované opravy).

¹ webové stránky, <http://www.farakrenov.cz/index.php/historie>

² archivní pramen, *kniha počtů svatoisidorského bratrstva se zápisy od r. 1744-1872*

4.2.4 Průzkum v UV světle

Průzkum v UV světle se používá ke zjištění sekundárních zásahů na povrchu díla, dále může sloužit k identifikaci některých pigmentů a k odhalení mikrobiologického napadení. Některá místa na restaurovaném díle, zejména v hloubkách modelace, ale také na soklu a nohou plastiky Adama, silně luminovala. Tato luminiscence může být vysvětlena přítomností organických látek (plošný nátěr).

4.3 Invazivní průzkum

V rámci vizuálního průzkumu byla vytvořena strategie odběru vzorků s cílem minimalizovat množství odběrů a při nejnižším možném počtu odebraných vzorků zachovat efektivitu jejich analýz. Před odběrem vzorků pro analýzu stratigrafie povrchových úprav byl proveden sondážní průzkum, který byl zaměřen na seznámení se s množstvím vývojových fází povrchových úprav, stupněm a mírou jejich dochování.

4.3.1 Sondážní průzkum

Před stratigrafickým průzkumem povrchových úprav byl proveden rozsáhlý sondážní průzkum. Průzkum byl zaměřen zejména na objevení a základní popis nejstarších barevných povrchových úprav. Dalšími cíly průzkumu bylo seznámení se s dochovanými povrchovými úpravami, jejich počtem, vývojovými fázemi barevných úprav, lokalizací polychromie a stavem jejího dochování. Sondážním průzkumem byl získán základní materiál pro studium vrstev polychromie, který byl dále rozšířen o stratigrafický průzkum. V rámci sondážního průzkumu bylo na plastice Adama

a andílka a také festonu vytvořeno celkem 18 sondážních vzorků, avšak vzhledem k výrazné degradaci podkladových vrstev polychromie nebylo možné vždy vytvořit reprezentativní sondážní pole.

4.3.2 Stratigrafie povrchových úprav

Součástí rozšiřujícího průzkumu plastiky Adama, andílka a niky byl cílený odběr vzorků pro stratigrafii povrchových úprav. Stěžejními body této analýzy bylo zjištění původních podkladových vrstev, původní polychromie a jejich složení. Tento průzkum rozšířil a ujasnil poznatky získané sondážním průzkumem.

Chemicko-technologický průzkum

**Štuková plastika Adama
(kaple sv. Isidora, Křenov)**



Zadavatel průzkumu: Obec Křenov, Křenov 26, 569 22 Křenov

Zpracoval: Ing. Renata Tišlová, PhD. Katedra chemické technologie, Fakulta restaurování, Univerzita Pardubice

Datum zpracování: červenec 2014

Údaje o objektu

Objekt: polychromovaná štuková plastika Adama

Lokalita původu památky: kaple sv. Isidora, Křenov

Stručný popis: jedná se o polychromovanou plastiku Adama, která se nachází v přízemí, severozápadní části centrálního prostoru kaple. Povrch je opatřen barevnými úpravami.

Datace objektu: baroko, 1707 – vznik kaple, do r. 1713 – dekorativní výzdoba kaple

Průzkum – zadání a použité metody

- Popis a stratigrafie barevných úprav

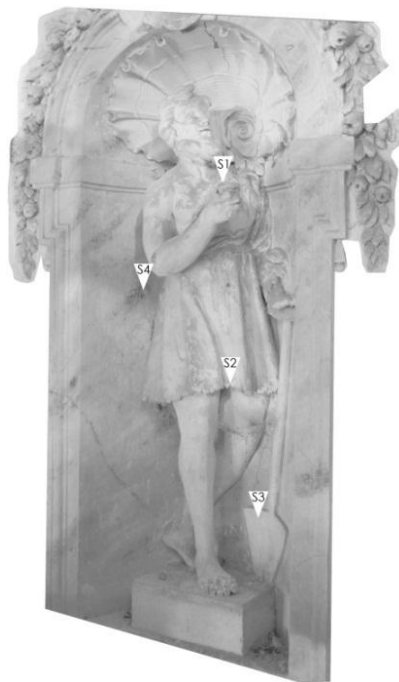
Metody průzkumu:

- i) *Optická mikroskopie v dopadajícím bílém světle, UV* pro určení optických vlastností a charakteristik povrchových úprav (stratigrafii). Analýza byla provedena na optickém mikroskopu Nikon Eclipse LV-100 na příčných řezech vzorky v bílém, UV a modrém odraženém světle.
- ii) *Skenovací elektronová mikroskopie* - prvková analýza vrstev byla provedena na nábrusech připravených pro optickou mikroskopii pomocí mikroskopu Tescan3 Mira s EDX analyzátořem v odraženém modu elektronů (BSE). Vzorky byly analyzovány ve vysokém napětí 20-25kV, před analýzou pouhličeny.



Odběr a popis vzorků



Počet vzorků k analýze: 4 (stratigrafie a popis barevných úprav (viz. Obr. 1, Tab. 1))

Vzorky pro stratigrafii byly odebrány ve formě úlomku povrchových úprav z různých částí plastiky. Místa odběru jsou součástí restaurátorské dokumentace a jsou uvedeny v *Tabulce 1*. Vzorky souvrství byly pro optickou mikroskopii připraveny zalitím do akrylátové pryskyřice Spofacryl (SpofaDental, a.s.), po vytvrzení byly vybroušeny a vyleštěny.



Obr. 1: Lokalizace míst odběru vzorků.

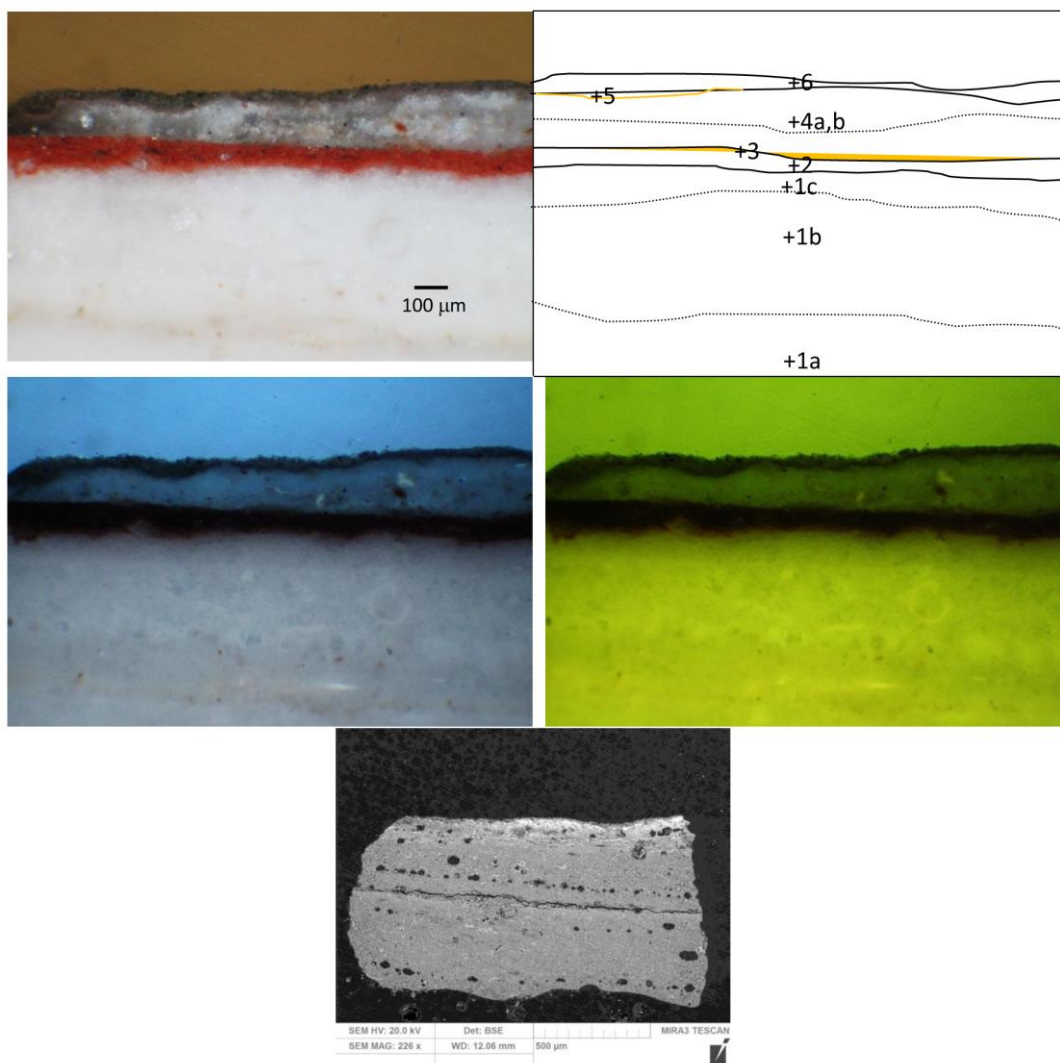
Vzorek	Popis	Místo odběru	Provedená analýza
<p>S1 (7006)</p>	<p>jablko – souvrství se zlacením</p>		<p>stratigrafie, složení nejstarších vrstev</p> <p>Metody analýzy: optická mikroskopie, SEM-EDX</p>
<p>S2 (7008)</p>	<p>drapérie – žlutá, v podkladu červená</p>		<p>stratigrafie, složení nejstarších vrstev</p> <p>Metody analýzy: optická mikroskopie, SEM-EDX</p>

<p>S3 (7072)</p>	<p>rýč - šedá</p>		<p>stratigrafie, složení nejstarších vrstev</p> <p>Metody analýzy: optická mikroskopie, SEM-EDX</p>
<p>S4 (7073)</p>	<p>nika - iluzivní mramorování - červená</p>		<p>stratigrafie, složení nejstarších vrstev</p> <p>Metody analýzy: optická mikroskopie, SEM-EDX</p>

Tab. 1: Popis vzorků k průzkumu povrchových úprav.

Výsledky analýzy – průzkum povrchových úprav

Vzorek S1 (7006): jablko – červená se zlacením (?)



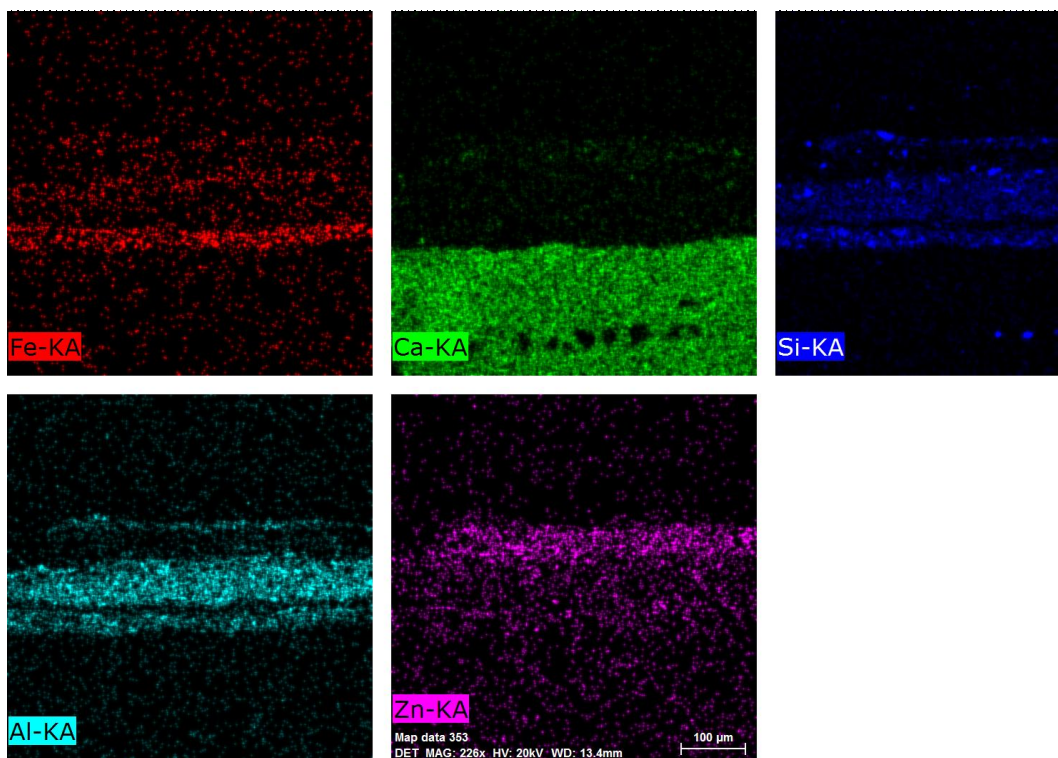
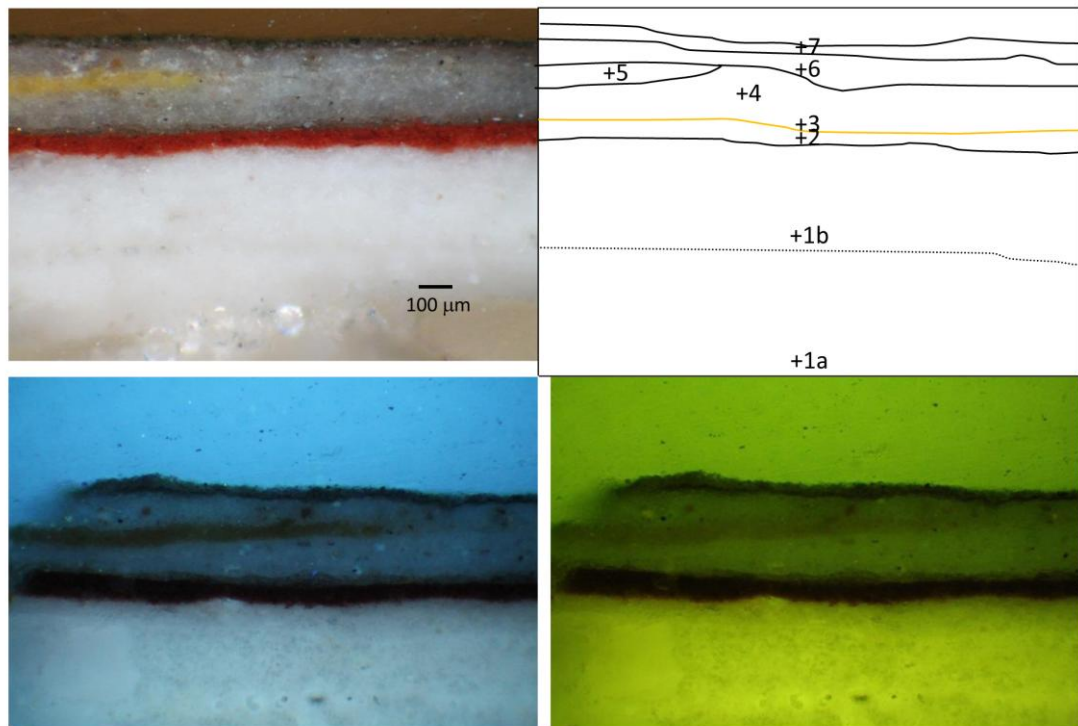
Fotografie z optického mikroskopu v bílém, UV a modrém světle. Fotografováno při zvětšení na mikroskopu 100x. Snímek z elektronového mikroskopu Mira3 Tescan, HV, 20 kV, mod odražených elektronů (BSE) (dole).

Popis vrstev:

Vrstva	Označení	Popis
1a-c	bílá	<p>vrstva křídového podkladu (ve vrstvě patrné fosilní útvary charakteristické pro křídu), na povrchu rozhraní. V UV světle modro-bílá luminiscence vrstvy.</p> <p>složení dle REM-EDX: Ca, (Si, Al, K, S, Zn, Cl)</p>
2	červená	<p>vrstva bolusového podkladu pod zlacení. Obsahuje červenou hlinku (obsahuje znečišťující příměsi), příměs běloby na bázi uhličitanu vápenatého. Vrstva obsahuje vysoký podíl P (z proteinového pojiva?).</p> <p>složení dle REM-EDX: Si, Al, Ca, Fe (Zn, K, Cl, Ng, Ti, P)</p>
3	zlatá	<p>fragmenty zlacení – provedené plátkovým zlatem (charakteristický obsah Sb).</p> <p>složení dle REM-EDX: Au, (Sb)</p>
4a,b	šedá	<p>dvě vrstvy povrchové úpravy nebo podkladu. Obsahuje Zn bělobu, bílou hlinku, příměs běloby na bázi uhličitanu vápenatého nebo křídu (lokálně nezřetelné kulovité útvary). Obsahuje P (může pocházet z černě – apatytu nebo z proteinového pojiva).</p>

		složení dle REM-EDX: Zn , Si, Al, P, S, Cl, Ca
5	zlatá	<p>fragmenty zlacení patrné pouze v elektronovém mikroskopu – provedené plátkovým zlatem.</p> <p>složení dle REM-EDX: Au (velice komplikované určit případné příměsi – ve vrstvě zachyceno spíše složení vrstvy 3).</p>
6	tmavě šedá	<p>Hlinková barevná úprava pigmentovaná země-zelenou, příměs běloby na bázi uhličitanu vápenatého a zinkové běloby. Nelze vyloučit i použití jemnozrnného černého pigmentu (C-černi).</p> <p>složení dle REM-EDX: Si, Al, Ca, Zn (Fe)</p>

Vzorek S2 (7008): drapérie – souvrství s červenou a žlutou



Fotografie z optického mikroskopu v bílém, UV a modrém světle. Fotografováno při zvětšení na mikroskopu 100x. Snímek z elektronového mikroskopu Mira3 Tescan, HV, 20 – distribuce vybraných prvků ve vrstvách. Režim odražených elektronů (BSE) (dole).

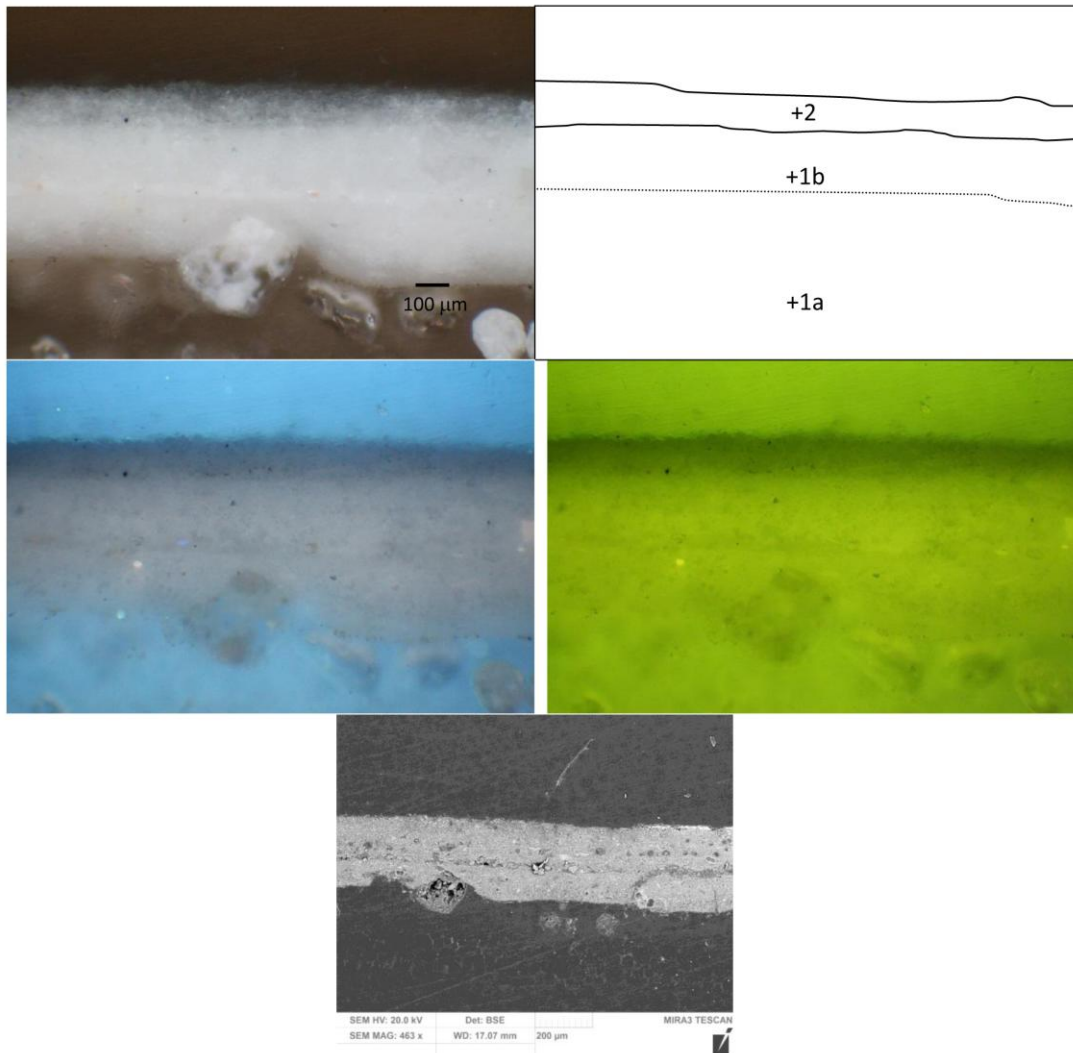
Popis vrstev:

Vrstva	Označení	Popis
1a-c	bílá	<p>vrstva křídového podkladu (ve vrstvě patrné fosilní útvary charakteristické pro křídu), na povrchu rozhraní. V UV světle modro-bílá luminiscence vrstvy.</p> <p>složení dle REM-EDX: Ca, (Si, Al, K, S, Zn, Cl)</p>
2	červená	<p>vrstva bolusového podkladu pod zlacení. Obsahuje červenou hlinku (obsahuje znečišťující příměsi), příměs běloby na bázi uhličitanu vápenatého. Vrstva obsahuje vysoký podíl P (z proteinového pojiva?).</p> <p>složení dle REM-EDX: Si, Al, Ca, Fe (Zn, K, Cl, Ng, Ti, P)</p>
3	zlatá	<p>fragmenty zlacení – provedené plátkovým zlatem (charakteristický obsah Sb).</p> <p>složení dle REM-EDX: Au, (Sb)</p>

4	šedá	<p>dvě vrstvy povrchové úpravy nebo podkladu. Obsahuje bílou hlinku, příměs země zelené, běloby na bázi uhličitanu vápenatého. Obsahuje P (může pocházet z černě - apatytu nebo z proteinového pojiva).</p> <p>složení dle REM-EDX: Si, Al, P, S, Cl, Ca (Fe, Zn, K, Ca)</p>
5	žlutá	<p>hlinkový nátěr pigmentovaný žlutým okrem, s příměsí zinkové běloby, uhličitanu vápenatého. Vrstva charakteristická vysokým obsahem P (z proteinového pojiva)</p> <p>složení dle REM-EDX: Si, Al, Zn, Fe, Ca (K, Cl, P)</p>
6	šedá	<p>vrstva optickým charakterem i složením identická s vrstvou 4, rozdíl spočívá ve vyšším obsahu bělob - Zn běloby a uhličitanu vápenatého.</p> <p>složení dle REM-EDX: viz. vrstva 4</p>
7	tmavě šedá	<p>Hlinková barevná úprava pigmentovaná země-zelenou, příměs běloby na bázi uhličitanu vápenatého a zinkové běloby. Nelze vyloučit i použití jemnozrnného černého pigmentu (C-černi).</p>

složení dle REM-EDX: **Si**, Al, Ca, Zn (Fe)

Vzorek S3 (7072): rýč, šedá

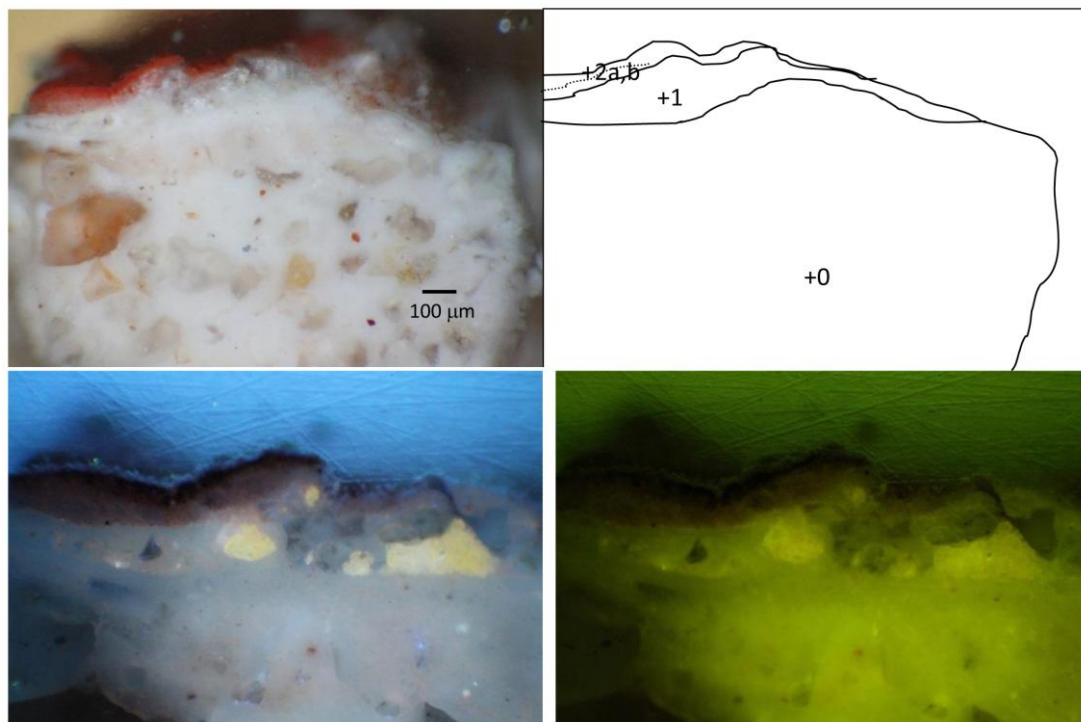


Fotografie z optického mikroskopu v bílém, UV a modrém světle. Fotografováno při zvětšení na mikroskopu 100x. Snímek z elektronového mikroskopu Mira3 Tescan, HV, 20 kV, mod odražených elektronů (BSE) (dole).

Popis vrstev:

Vrstva	Označení	Popis
1a,b	<i>bílá</i>	<p>vrstva křídového podkladu (ve vrstvě patrné fosilní útvary charakteristické pro křídu, vrstva obsahuje více znečišťujících příměsí než u vzorků 7006, 7008), na povrchu rozhraní. V UV světle narůžovělá luminiscence vrstvy (?).</p> <p>složení dle REM-EDX: Ca, Si (Al, K, Mg, Zn, Cl)</p>
2	<i>sv. šedá</i>	<p>vápenný nátěr s malou příměsí zinkové běloby, pro pigmentaci byla použita jemnozrnná C-čerň, jiné pigmenty neprokázány.</p> <p>složení dle REM-EDX: Ca, Si (Cl, Zn, Na, Mg)</p>

Vzorek S4 (7073): nika, mramorování



Fotografie z optického mikroskopu v bílém, UV a modrém světle. Fotografováno při zvětšení na mikroskopu 50x.

Popis vrstev:

Vrstva	Označení	Popis
0	<i>bílá</i>	štuková vrstva s jemnozrnným kamenivem (pod touto vrstvou se nacházela narůžovělá omítka, která tvořila jádro štukových prvků). složení dle REM-EDX: -
1	<i>bílá</i>	nátěr pod barevnou úpravu

		složení dle REM-EDX: -
2a,b	červená	tenké barevné úpravy provedené ve dvou vrstvách. Spodní – světlejší, je se svrchní červenou propojená (fresko technika mramorování?).
		složení dle REM-EDX: -

Shrnutí výsledků

Chemicko-technologický průzkum štukové plastiky Adama z kaple sv. Izidora v Křenově byl zaměřen na zjištění informací, které se týkají barevné úpravy povrchu plastiky. Průzkum dochovaných povrchových úprav byl stanoven na vzorcích fragmentárně dochovaných barevných úprav, které byly odebrány z jablka (7006, S1), drapérie Adama (7008, S2), rýče (7072, S3) a barevné niky (7073, S4), ve které se štuková plastika nachází a která je pojednána iluzivním mramorováním. Průzkum byl zaměřen na zjištění stratigrafie (výstavby) vrstev podkladu a zjištění složení barevných úprav (provedeno u vzorků S1-S3). Výsledky lze shrnout takto:

- **Podklad:** je tvořen dvěma vrstvami křídového podkladu, na které jsou nanесeny barevné úpravy. Pojivo podkladu je na organické bázi (v UV světle modro-bílá luminiscence). V nice je podklad pod barevnou úpravu tvořen bílým nátěrem (pravděpodobně odlišného složení – vrstva není křídová).

- **Stratigrafie a barevnost** – je u všech vzorků velice jednoduchá tvořená 1-3 barevnými úpravami. Nejvíce barevných úprav bylo dochováno na jablku a lemu drapérie (7006) a (7008), jednovrstvé je u vzorku z drapérie, tvořené jednou vrstvou v šedém tónu. Nejstarší dochovanou vrstvou u vzorku 7006, S1 a 7008, S2 je vrstva zlacení provedená na červený hlinkový podklad. Zlacení je ve vzorcích zachováno pouze ve fragmentech a je provedeno zlatým plátkem. Následující vrstvy jsou v šedém (u vzorku 7006 je na ní obnoveno zlacení) a šedo-zeleném tónu. Na rýči je stratigrafie tvořená pouze jedním šedým vápenným nátěrem, v nice (7073, S4) je mramorování provedeno na bílý nátěr a dvěma červeným nátěry (světlejší, následuje tmavší tón).
- **Barevná paleta použitých pigmentů** – je velice strohá, nejstarší vrstvy – červený podklad byl vytvořen červenou hlinkou (nejedná se o bolus, který se vyznačuje vysokým obsahem Fe oproti Si, Al), ostatní příměsi jsou uhličitán vápenatý. Zlacení je provedeno zlatým plátkem.

V Litomyšli, 31. 7. 2014

Zpracoval: Ing. Renata Tišlová, PhD.

Katedra chemické technologie, Fakulta
restaurování Univerzita Pardubice

5. VYHODNOCENÍ PRŮZKUMU

Tato kapitola si klade za cíl vyhodnocení dosažených poznatků získaných restaurátorským průzkumem. Na základě vyhodnocení průzkumu bude navržen postup restaurátorských prací a dále bude zhotovena koncepce restaurátorského zásahu. Poté budou zvoleny konkrétní metody, metodiky, techniky a technologie pro samotné restaurování. Pozornost byla věnována zejména analýze dochovaných barevných povrchových úprav restaurovaného výtvarného díla.

Z celkového pojetí dekorativní složky interiéru kaple sv. Isidora je zřejmé, že architektonická část restaurovaného díla (nika) s jeho sochařskou složkou (plastika Adama a andílka) tvoří organicky ucelený prvek, který je součástí souboru sochařské výzdoby přízemí kaple. Nika s andílkem byla záměrně vytvořena pro umístění figurativního sochařského díla. Z vyhodnocení vizuálního průzkumu se lze domnívat, že nika, feston, plastika Adama a anděl na vrcholu niky byly modelovány *in-situ*, třebaže dílčí části plastik mohly být dovezeny a osazeny na místě.

Výtvarné dílo je vytvořeno z vápenného (bílý vzdušný vápno) štukem s malou příměsí sádry (do 0,5 hm. %). Jádro je tvořeno hrubozrnným štukem s převážně křemenným kamenivem o velikosti zrn okolo 200 μm . Na něj se navazuje jemnější štuk s převážně křemenným kamenivem o velikosti zrn do 150 μm . Na tuto vrstvu štukem byly vystavěny barevné povrchové úpravy.

Stratigrafickým průzkumem bylo zjištěno, že nejstarší analyzovaná barevná povrchová úprava na plastice Adama a andílka se nachází na dvou podkladových vrstvách, které jsou

složeny z křídly s organickým pojivem. Pouze podkladová vrstva ve vnitřním prostoru není křídlová (pravděpodobně vápenná). V nice byla objevena diference mezi pojetím finálního povrchu orámování niky a jejího vnitřního prostoru. Rozdíl spočívá v tom, že povrch tažených profilů orámování niky je ukletovaný. Ve vnitřním prostoru niky byla na ukletovaný povrch štku nanášena navíc tenká vrstva poměrně hrubého štku.

Sondážním průzkumem byly objeveny fragmenty původní polychromie téměř na všech částech restaurovaného díla (vyjma násady od rýče a vlasů Adama). Pro následný stratigrafický průzkum byla vytipována čtyři místa odběrů vzorků. První fáze barevných povrchových úprav pochází z období baroka. Původní polychromie byla stratigrafickým průzkumem analyzována na jablku Adama (červená hlínka se zlacením), lemu draperie (červená hlínka s lokálním zlacením), rýči (révová čern) a na vnitřní ploše niky (viz Chemicko-technologický průzkum). Typické optické vlastnosti uhlíkaté černi způsobují, že jeho výsledný vzhled je posunut do mírně studených odstínů (za určitých světelných podmínek může působit jako temně modrý pigment). Do barokního období pravděpodobně dále patří polychromní úprava niky, červený „bolus“ se stříbřením na festonu, hnědá barevná vrstva ve vlasech andílka, inkarnát andílka i Adama, světle hnědá barevná vrstva draperie, modrá barevná vrstva oblak (obsahuje smalt), šedá povrchová úprava lastury a soklu, šedá vrstva na zornicích Adama i andílka a červená vrstva v ústech.

Fragmentární stav dochování původní polychromie na plastice Adama a andílka i festonu byl způsoben výběrem nevhodného (v podmínkách kaple nestabilního) materiálu použitého při výrobě podkladových vrstev (křída). Tyto vrstvy zcela ztratily vlivem degradace vnitřní kohezi. Fragmentaritě dochování

přispěly také nešetrné zásahy z minulosti, kdy nebyla jevena snaha o konzervaci dochované polychromie, nýbrž bylo provedeno téměř plošné odstranění nejstarších povrchových úprav (včetně křídových podkladů) pomocí hrubých nástrojů (původ vrypů a oděrů na povrchu štuky). Mezi další významná poškození restaurovaného objektu patří prachový depozit, praskliny, povrchové i hloubkové ztráty hmoty a tvarů, místy obnažená korodující kovová výztuž, sprašování některých barevných vrstev (zejména zelený a okrový pigment na nice) a degradace stříbrné folie na festonu (zčernalá vrstva).

Zkoumáním vzorku pro stratigrafii povrchových úprav, který byl odebrán z červené barevné vrstvy vnitřního prostoru niky, bylo zjištěno, že barevná vrstva je složena ze dvou tenkých vrstev, které jsou vzájemně propojeny. Spodní vrstva červené je světlejší nežli vrchní. Lze předpokládat, že se jednalo o fresko techniku mramorování. Tato souvrství podkladových vrstev a barevných úprav byla na nice analyzována jako nejstarší dochovaná.

Na festonu byly analyzovány křídové podkladové vrstvy. Na podkladové vrstvě listů a plodů byl analyzován červený pigment (opět železitá hlinka). Na jejím povrchu se nachází zčernalá vrstva pokovení analyzovaná jako zcela degradovaná stříbrná folie. Jako podklad pro stříbření byl použit vysychavý olej. Bohužel se nepovedlo objasnit, zda nejstarší dochované barevné vrstvy, analyzované na plastikách Adama a andílka, pocházejí ze stejné fáze barevných povrchových úprav, jako nestarší dochované barevné vrstvy analyzované na nice a festonu.

Na plastice Adama, andílka a také na festonu byly objeveny sekundární povrchové úpravy. Tyto zásahy měly plošný charakter. V minulosti byly provedeny minimálně ve dvou fázích.

Nejzachovalejší souvrství povrchových úprav se dochovalo na jablku Adama. Na fragmentech zlacení (jablko Adama) se podařilo analyzovat dvě kompaktní vrstvy šedé barvy (sloužili zřejmě jako podklad, ale mohlo se jednat i o barevnou úpravu), kterou tvořila zejména zinková běloba (dále bílá hlinka, běloba na bázi uhličitanu vápenatého a křída). Na této vrstvě byly elektronovou mikroskopií objeveny fragmenty zlacení (plátková zlatá folie), což se před tím nepodařilo zjistit. Nejmladší analyzovanou úpravu, a tedy poslední vývojovou fázi, představuje tmavě šedá vrstva složená z barevné hlinky (země zelená) s příměsí běloby na bázi uhličitanu vápenatého a zinkové běloby, nelze vyloučit příměs jemnozrnného černého pigmentu. Vzorek odebraný z lemu draperie kopíruje výstavbu nejstarší polychromie analyzovanou na jablku Adama. Na vzorku, který byl odebrán z lemu draperie, byla objevena sekundární okrová barevná vrstva, která byla pozorována již vizuálním a sondážním průzkumem na plochách draperie. Tato barevná vrstva je hlinkový nátěr pigmentovaný žlutým okrem, s příměsí zinkové běloby a uhličitanu vápenatého. Vrstva je charakteristická vysokým obsahem fosforu (zřejmě z proteinového pojiva). Žádné sekundární úpravy nebyly stratigrafickým průzkumem zjištěny na vzorku pocházejícího z násady rýče. Původní barevná vrstva se nachází na dvou křídových vrstvách podkladu. Jedná se o vápenný nátěr s malou příměsí zinkové běloby, pro pigmentaci byla použita jemnozrnná čern.

Na plastice Adama byly dále analyzovány sekundární barevné úpravy inkarnátu a soklu.

Na nejstarší barevné úpravě vlasů andílka byla analyzována vrstva vápenného nátěru, na něhož navazuje tmavě hnědá barevná vrstva. Jedná se o přírodní hlinku. Je to druhá vývojová

fáze barevných úprav na plastice andílka. Souvisí pravděpodobně s druhou vývojovou fází barevných úprav na plastice Adama. Dále byly na těle andílka objeveny sekundární barevné úpravy inkarnátu a oblak.

Na nejstarší barevné úpravě jablka festonu niky byla analyzována okrová vrstva. Na nejstarší barevné úpravě listu rostlinného dekoru niky byla analyzována zelená vrstva měďnatého pigmentu. Tyto úpravy jsou druhou vývojovou fází barevných úprav na rostlinném dekoru niky.

V lastuře byly analyzovány dvě barevné úpravy. Pravděpodobně původní polychromii představuje šedá barevná vrstva, která byla v minulosti přetřena vrstvou bílého nátěru.

Třetí (nejmladší) vývojová fáze barevných úprav na plastice Adama a andílka je vápenná vrstva s podílem organického pojiva.

Po vyhodnocení sondážního a stratigrafického průzkumu lze říci, že téměř všechny původní barevné vrstvy jsou vystavěny na dvou podkladových křídových vrstvách. Polychromie vnitřního prostoru niky byla vystavěna na jedné podkladové vrstvě, ale barevné pojednání tažených profilů orámování niky bylo provedeno přímo do kletované omítky.

Pomocí laboratorního průzkumu se nepodařilo prokazatelně analyzovat lazurní stínování na povrchu nejstarších barevných úprav. Stínování nesporně souvisí s nejstarší vývojovou fází polychromie. Jedná se o autorský zásah, který byl vizuálním průzkumem analyzován na několika dochovaných fragmentech nejstarší polychromie (zejména na těle andílka).

Nejmladší povrchovou úpravu mohl představovat plošný nátěr organickým prostředkem, který mohl sloužit jako konsolidant. Stratigrafickým průzkumem byla zjištěna přítomnost blíže

nespecifikované organické látky (protein?) v sekundárních vrstvách (transport skrze defekty).

6. KONCEPCE RESTAURÁTORSKÉHO ZÁSAHU

Předmětem restaurátorského zásahu je plastika Adama, přilehlá nika s rostlinným dekorem (festonem) a andílek na vrcholu niky, které jsou součástí bohatě zdobeného interiéru kaple. Souběžně probíhá komplexní restaurátorský zásah na dalších dekorativních složkách interiéru kaple (tektonické prvky, malířská a sochařská výzdoba). Metody, metodiky, techniky a technologie vycházejí ze společné koncepce restaurování, která byla stanovena po vyhodnocení restaurátorského průzkumu (březen 2012) a v průběhu rozšiřujícího průzkumu byla upřesňována do současné podoby. Interiér kaple je bohatý a poměrně složitý soubor dekorativních prvků. Po vyhodnocení průzkumu z roku 2012 a zejména pak po vyhodnocení rozšiřujícího průzkumu bylo zřejmé, že soubor pěti figurálních plastik v přízemí kaple vykazuje výrazně nižší míru dochování barevných povrchových úprav na rozdíl od ostatních polychromovaných prvků interiéru kaple. Zpracováním a vysokou mírou dochování barevných povrchových úprav se pak z tohoto souboru vymyká centrální plastika sv. Isidora.

Restaurátorské práce budou mít spíše konzervační charakter. Po ukončení prací musí socha s nikou a andílkem působit jako celistvé, harmonické výtvarné dílo. Před započítím restaurátorských prací bude provedena podrobná fotodokumentace zachycující stav výtvarného díla před restaurováním s přiloženou šedou škálou s barevnou tabulkou. Po provedení celkových snímků

i snímků detailů bude přistoupeno k redukování množství nečistot z povrchu výtvarného díla. Čištění bude provedeno velmi citlivě v minimální nutné míře tak, aby nedocházelo ke ztrátám polychromie. Metoda čištění bude mechanická s použitím jemných štětců a houbiček (odstranění slabě lpících nečistot). Z vyhodnocení průzkumu vyplývá, že některé fragmenty polychromie se oddělují od svého podkladu. Tato místa je nutné fixovat, čímž bude obnovena adheze povrchových úprav k podložce (štuku). Fixační látka bude vycházet z celkového pojetí koncepce restaurování interiéru kaple a bude provedena nízko koncentrovanou akrylátovou disperzí. Následně bude provedena plošná konsolidace polychromní úpravy v nice. Materiál pro zpevnění bude vycházet z celkového pojetí koncepce restaurování interiéru kaple a bude provedena nanosuspencí uhličitanu vápenatého v etanolu. Následně bude provedeno suché dočištění polychromie niky. Další krok bude představovat odkryv sekundárních a nevhodných povrchových úprav ve snaze odkrýt nejstarší dochovanou polychromii. Nalezené barevné fragmenty budou respektovány a konzervovány. Odkryv bude prováděn mechanicky za pomoci skalpelů případně skelných vláken. Zkouška mokrého čištění polychromie niky nebyla vyhodnocena jako uspokojivá (okem nepozorovatelný čistící efekt), tedy mokré čištění nebude provedeno. Další práce budou směřovat k zajištění kompaktnosti všech částí výtvarného díla, praskliny budou injektovány. Z povrchu korodujících ocelových prvků bude zredukováno množství korozních produktů (rzi) a jejich povrch bude zakonzervován tak, aby nedocházelo k dalším korozním procesům. Ocelová výztuž ve hmotě štku bude pasivována pomocí vhodného inhibitoru koroze. Plastické rekonstrukční retuše budou použity na doplnění všech významných detailů (například ruka a chodidlo andílka, ruka Adama), kde v minulosti došlo k závažným poškozením. Plastické retuši bude předcházet provedení testů

tmelících směsí. Vhodný tmel se svými optickými a fyzikálně-mechanickými vlastnostmi musí podobat originálnímu materiálu. Při tmelení bude provedeno totálnímu doplnění chybějících tvarů a pozornost bude věnována také zpracování povrchu nových tmelů. Optické vlastnosti povrchu nových tmelů by měly korelovat s okolím tmelu. Problematickým bodem plastické retuše je zcela chybějící pravé křídlo anděla. Vzhledem k tomu, že křídlo bylo v minulosti bezesporu součástí anděla a s ohledem na to, že by celková kompozice postavy anděla bez rekonstrukce křídla byla výrazně narušena, bude přistoupeno k jeho doplnění. Jako vzor mohou posloužit křídla dalších tří andělů umístěných na vrcholcích nik. V rámci plastické retuše budou provedeny také konzervační tmely na okrajích fragmentů polychromie tak, aby přechod povrchu štuku a těchto fragmentů netvořil ostrou hranici. Po ukončení plastické retuše budou všechna opticky (barevně) rušivá místa upravena lokální lazurní barevnou retuší. Rušivá (ztmavlá) místa štuku budou zesvětlena lazurní vápennou retuší. Lazurní barevná retuš na nových tmelech bude provedena práškovými pigmenty. Nejprve bude provedena neutrální barevná retuš nových tmelů ve slabě koncentrované akrylátové disperzi. Následně bude provedena nápodobivá barevná retuš nových tmelů práškovými pigmenty v arabské gumě. Tato kombinace vzešla z posouzení negativního vlivu poměrně vysoké relativní vzdušné vlhkosti interiéru kaple na biologicky méně stabilní arabskou gumu. Lazurní barevná retuš na originální barevné vrstvě bude vycházet z celkového pojetí koncepce restaurování interiéru kaple a bude provedena v nízko koncentrované arabské gumě. V případě, že se prokáže nedostatečný konsolidační efekt nanosuspenze uhličitanu vápenatého na barevnou vrstvu niky, tak bude provedena lokální konsolidace pomocí prostředku na bázi esteru kyseliny křemičité (organokřemičitany).

Případné retuše bude možno provést až v rámci dokončovacích prací v celém interiéru kaple.

7. ZAMYŠLENÍ NAD MOŽNOSTMI FINÁLNÍHO ŘEŠENÍ BAREVNÝCH POVRCHOVÝCH ÚPRAV

Vzhledem k velkoryse pojaté barevnosti všech plastických prvků interiéru kaple bude finálové řešení barevných povrchových úprav na plastice Adama a andílka a také festonu náročným koncepčním bodem.

Niky s plastikami byly zřejmě vždy vnímány jako součást komplexní výtvarné struktury - dekorativní složky, interiéru kaple. Jejich barevná povrchová úprava byla bezesporu stejně důležitou složkou vnímání jako jejich plastické vyjádření. Od bohatě používaných barevných tónů na dekorativních prvcích interiéru se barevnost plastik v nikách přece jen trochu odlišovala. Tóny barev pravděpodobně nebyly syté a bohatost škály barev zřejmě nebyla vysoká jako na ostatních polychromovaných plochách interiéru kaple. Přesto tyto odlišnosti nevyčleňovaly figurativní plastiky, umístěné v přízemí, z celkového vnímání dekorativní složky interiéru kaple.

Restaurátorskými pracemi by neměla být kontinuita vnímání a posuzování prostoru narušena.

Jednou z možností, kterou restaurátorská praxe za současného stavu poznání nabízí, je konzervace dochovaných fragmentů nejstarších barevných vrstev, separace těchto vrstev a provedení rekonstrukce barevných povrchových úprav. Avšak po vyhodnocení dochovaného stavu polychromie figurativních plastik v přízemí je zřejmé, že rekonstrukce

barevnosti by v tomto případě byla spíše hypotetická. Další možností je konzervace dochovaných fragmentů nejstarších barevných vrstev a následné využití lokálních lazurních barevných retuší. Z hlediska kulturně-historického a výtvarného bohužel nedojde k obnovení celkové barevnosti, avšak z hlediska restaurátorského se může jednat o vhodnější metodu finálního řešení barevných úprav a snáze obhajitelnou (nežli provedení hypotetické rekonstrukce barevnosti).

Další metodu by mohla představovat konzervace dochovaných fragmentů nejstarších barevných vrstev, jejich separace a provedení monochromního plošného nátěru na plastice Adama a andílka. Výhodu této metody může představovat vytvoření ochranné konzervační vrstvy bez využití hypotetických rekonstrukcí barevnosti. Nevýhodou této metody by mohlo být úplné vytržení plastik v přízemí z celkového kontextu vysoce umělecky ceněného dekorativního centrálního prostoru kaple.

Důležitý je také subjektivní názor restaurátora a nakonec také názor laika. Je tu velký prostor pro odbornou debatu. Všechny výše zmíněné metody finálního řešení barevných úprav plastik v přízemí byly při utváření koncepce restaurování relevantní.

8. NAVRHOVANÝ POSTUP PRACÍ

Postup prací bude rozdělen do několika hlavních kroků. Nejprve bude nutné šetrné odstranění slabě lipících povrchových nečistot. Po čištění bude nutné přikročit k lokální fixaci a konsolidaci polychromie, jak vyplývá ze stavu materiálu. Poté bude možné provést restaurátorský zásah. Zvolené

technologie a materiály budou v průběhu prací konzultovány s odborníky, odzkoušeny a vybrány ty nejvhodnější.

9. POSTUP PRACÍ

9.1 Fotodokumentace

Před započítím restaurátorských prací byla provedena podrobná fotodokumentace stavu výtvarného díla před restaurováním. Na celkových pohledech (s přiloženou šedou škálou s barevnou tabulkou) i detailech byly dokumentovány zejména druhy a stupně poškození charakteristické pro stávající stav restaurovaného díla.

9.2 Čištění

Čištění bylo prováděno suchou cestou, za pomoci jemných štětců. Nejdříve byly odstraněny slabě lpící prach a jiné nečistoty. Jednalo se o selektivní čištění, které se záměrně vyhnulo místům, kde podkladové vrstvy vykazovaly vyšší stupeň degradace.

Čištění povrchových nečistot v nice a jejím rámování bylo nutné provést až po konsolidaci polychromie. V tomto případě bylo zvoleno opět suché čištění s jemnými štětci a houbami. Následně byla provedena zkouška mokrého čištění. Čistícím médiem byl roztok celulózy ve vodě s přídavkem tenzidu. Aplikace byla prováděna štětcem. Aby nedocházelo k přímému kontaktu štětin s polychromními úpravami, bylo čištění štětcem prováděno přes list japonského papíru. Následně byl opakovaným

přetíráním čištěného místa, pomocí houby, vyplavován čistící roztok.

9.3 Fixáž fragmentů polychromie a odkryv sekundárních povrchových úprav

Před započítím odkryvu sekundárních povrchových úprav byla provedena fixáž uvolněných souvrství povrchových úprav s cílem obnovit jejich adhezi k podložce (štuku). Fixace byla prováděna pomocí injekční stříkačky. Fixační látka (akrylátová disperze) byla dopravena pod oddělující se fragment povrchových vrstev pomocí injekční stříkačky. Vatovým tampónem byl fragment barevnosti přitlačen k podložce (štuku). Po odpaření rozpouštědla fixačního prostředku byla obnovena adheze uvolněných souvrství povrchových vrstev k podložce.

Odkryv sekundárních povrchových úprav byl proveden za pomoci skalpelů (různých tvarů čepelí) a dočištění bylo provedeno pomocí skelného vlákna. Při práci bohužel docházelo k oddělování dalších fragmentů souvrství povrchových úprav. Prakticky ve všech případech došlo ke ztrátě adheze mezi první podkladovou vrstvou (křída) a povrchem štuky. Odkryv byl v těchto případech přerušen a byla provedena fixáž. Při odkryvu bylo použito několika tvarů čepelí skalpelů. Důležitá byla také vysoká kvalita ostří (časté výměny čepelek).

9.4 Konsolidace polychromie niky

Pro zpevnění byla použita nanosuspenze hydroxidu vápenatého v etanolu (10g/1l). Aplikace byla provedena formou

postřiku speciálním rozprašovačem, který maximalizuje rovnoměrnou distribuci konsolidantu. Zpevňující prostředek byl nanesen plošně ve dvou cyklech (pauza mezi jednotlivými cykly byla cca 20 minut). Třetí aplikační cyklus byl proveden pouze na zeleném a okrovém pigmentu polychromie, jejichž koheze byla v porovnání s červenou hlinkou nižší. Ihned po každé aplikaci nanosuspenze bylo pomocí antiadhezivního tampónu provedeno stlačení barevných povrchových úprav k podložce. Cílem tohoto postupu bylo zvýšit předpoklad obnovení adheze barevných vrstev k podložce.

9.5 Injektáž prasklin a dutin

V místech, kde byla kompaktnost štku narušena prasklinami, nebo dutinami bylo provedeno strukturální zpevnění pomocí injektáží. K tomuto účelu byla vybrána speciální injekční restaurátorská maltovina – na vápenné bázi s obsahem pucolánů.

Lomové plochy prasklin byly před každou injektáží smočeny technickým lihem. K samotné injektáži bylo použito několik velikostí jehel tak, aby se uzpůsobily šíři prasklin.

Před smícháním s vodou byla injektážní směs přesáta jemným sítem, což snížilo riziko vzniku hrudek. Aplikace injekční maltoviny probíhaly vždy v několika na sebe navazujících cyklech. Přebytky maltoviny na okrajích prasklin byly setřeny zvlhčeným buničínovým papírem.

9.6 Antikoroziční povrchová úprava kovových prvků

Z povrchu obnažených korodujících kovových prvků bylo revidováno množství produktů koroze (rzi). Následně byl aplikován antikoroziční nátěr v několika tenkých vrstvách. Poslední nátěr byl vytvořen jako adhezní můstek.

9.7 Plastická retuš

Všechny plastické defekty povrchového i hloubkového charakteru byly doplněny tmelem na minerální bázi. Předně byly provedeny testy několika tmelících směsí - pro plastickou retuš hloubkových defektů (hrubší, podíl větších zrn kameniva) a plastickou retuš povrchových defektů (jemnější). Jejich odlišnost spočívala jednak v poměru kamenivo/pojivo, ve frakčním složení zrn kameniva a jednak v typu pojiva (vzdušné vápno - vápenný hydrát/vápenná kaše).

Receptury tmelů byly převzaty z bakalářské práce Václava Douši a z průzkumové zprávy BcA. Petry Zítkové. Nejvhodnější vlastnosti jádrového tmelu prokázala směs kameniva s podílem hrubších frakčních zrn v kombinaci s jemnými písky, které byly pojeny vápennou kaší. Touto směsí byla doplněna všechna místa s úbytkem materiálu, sahající cca 1 cm pod povrch šuku. Tato plastická retuš byla provedena pod tvar, resp. pod líc. Na jádrový štuk byl nanesen jemnější tmel, který obsahoval jemné písky, mramorovou moučku a vápennou kaši.

V rámci plastické retuše bylo doplněno celé pravé křídlo anděla. Na archivních snímcích nebyla podoba křídla zachycena. Bylo tedy přistoupeno k hypotetické rekonstrukci křídla. Křídlo bylo vytvořeno separovaně od těla anděla. Základní hmota křídla byla tvořena

hrubším jádrovým štukem, na jehož povrch byla nanesena tenká finální vrstva jemného štuku. Proporce, anatomie a modelace křídla byly vypořádovány zejména na andělovi, který se nachází po pravici. K tělu anděla bylo křídlo bodově přilepeno epoxidovou pryskyřicí. Spára byla injektována speciální injektážní směsí na vápenné bázi (Ledan TA1). Ke svislé konstrukci stěny bylo křídlo zafixováno nerezovou závitnicovou tyčí, která byla zalita speciální injektážní směsí (opět Ledan TA1).

9.8 Barevná retuš

Po vyzrání nových tmelů (3-4 týdny) byla provedena lokální barevná retuš, která se zaměřila zejména na nové tmely, ale také bylo nutné provést lokální barevnou retuš na originálních barevných vrstvách a to v minimální nutné míře. Nejprve byla ztmavlá místa štuku retušována pomocí lazurného vápenného nátěru. Nové tmely byly retušovány pomocí práškových pigmentů rozpuštěných v akrylátové disperzi tak, aby byly zapojeny do celkového vnímání díla. Lokální lazurní barevná retuš, na originálních barevných vrstvách, byla provedena práškovými pigmenty pojených v arabské gumě.

9.9 Pasivace korodující vnitřní kovové výztuže

Na lokální partie štuku, kde se nacházela obnažená korodující kovová armatura, byl aplikován inhibitor koroze s cílem pasivovat povrch korodujícího kovu uvnitř štuku. Aplikace byla provedena formou pozvolného zkrápění povrchu. Inhibitor byl nanesen ve třech cyklech (časový interval byl 30 minut).

10. POUŽITÉ TECHNOLOGIE A MATERIÁLY

Čištění

- suché čištění:
- štětce s jemným vláknem
- čisticí houby (Domol MAGIC PAD, Wishab, Wallmaster)
- zkouška mokrý čištěním:
- štětce s jemným vláknem
- tenzid a tylóza (Triton X 100, Tylose MH 300)
- teplá voda

Fixace fragmentů polychromie

- injekční stříkačka a jehla
- vatový tampon
- akrylátová disperze (K9), koncentrace 3%

Konsolidace polychromie

- speciální, plynem sycená, rozprašovací nádoba
- nanosuspenze uhličitanu vápenatého v etanolu, koncentrace 10g / 1l
- antiadhezní tampón

Odkryv sekundárních povrchových úprav

- skalpely (různé velikosti a tvary čepelek)
- skelné vlákno

Injektáž prasklin

- injekční stříkačky a jehly (různé velikosti)
- technický líh
- speciální restaurátorská injektážní směs na vápenné bázi (Ledan TA1)

Antikorozi povrchová úprava kovových prvků

- štětec
- antikorozi nátěr

Plastická retuš

- kovové modelační špachtle (různé velikosti)
- směs kameniva (zámělský písek, sklopísek Střeleč) a mramorové moučky
- poměr kameniva a mramorové moučky: 1:1:1
- vápenná kaše
- poměr kameniva a pojiva 2:1

Barevná retuš

- syntetické štětce (Koh-i-noor)
- vápenná kaše
- práškové pigmenty
- akrylátová disperze (Medium for Conservation), koncentrace 0,5 %
- arabská guma, koncentrace 4 %

Pasivace vnitřní korodující kovové výztuže

- injekční stříkačka a jehla
- inhibitor koroze (Sika Ferrogard -903+)

11. DOPORUČENÝ REŽIM PAMÁTKY

Doporučený režim stanovuje podmínky prezentace restaurovaného objektu, za nichž lze stav památky dlouhodobě udržovat. Na základě zjištěných skutečností a poznání stavu výtvarného díla se domnívám, že bude vhodné řešit dodatečné retuše festonu v rámci dokončovacích prací v celém interiéru kaple.

Předpokladem dlouhodobější udržitelnosti stavu objektu je pravidelná kontrola stavu památky. Zejména v jarních měsících je vhodné kontrolovat stav štuky, dále adhezi polychromie k podkladu a vnitřní kohezi fragmentů polychromie, adhezi a kohezi i optické vlastnosti plastických i barevných retuší a současně kontrolovat technický stav konstrukce kaple a monitorovat klimatické podmínky v jejím interiéru (teplota a RH). V suchých dnech je možné oprašovat povrch výtvarného díla pomocí jemných štětců. Z provedených kontrol lze monitorovat chování použitých materiálů v jejich přirozeném prostředí.

12. ZÁVĚR

Tato práce podrobně zachycuje restaurátorský zásah na štukové plastice Adama, přilehlé niky s festonem a andílkem. Práce obsahuje všechny nezbytné součásti restaurátorské zprávy s rozšiřující kapitolou *Zamyšlení nad možnostmi finálního řešení barevných povrchových úprav*. Přílohy obsahují podrobnou fotodokumentaci, která zachycuje stav výtvarného díla před restaurováním, dále v průběhu prací a na závěr zachycuje stav po restaurování, dále jsou v příloze zobrazeny grafické zákresy charakteristických poškození a zákresy, lokalizující místa odběrů vzorků.

13. SEZNAM VYOBRAZENÍ

13.1 Seznam grafických příloh

Obr. 1: Plastika Adama, nika, feston: grafický zakres charakteristických poškození.

Obr. 2: Anděl: grafický zakres charakteristických poškození.

Obr. 3: Plastika Adama, nika, feston: sondážní průzkum, lokalizace sondáží.

Obr. 4: Anděl: sondážní průzkum, lokalizace sondáží.

Obr. 5: Plastika Adama: rekonstrukce vývojových fází polychromie, zleva: 1. fáze, 2. fáze, nejmladší fáze.

Obr. 6: Anděl: rekonstrukce vývojových fází polychromie, zleva: 1. fáze, nejmladší fáze.


Obr. 1: Plastika Adama, nika, feston: grafický zákres charakteristických poškození.




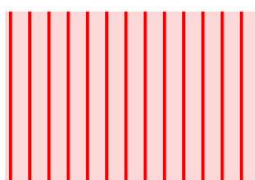
Obr. 2: Anděl: grafický zákres charakteristických poškození.





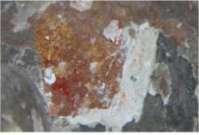








**legenda
k zákresu
poškození**


- depozit prachu
a jiných nečistot








- praskliny

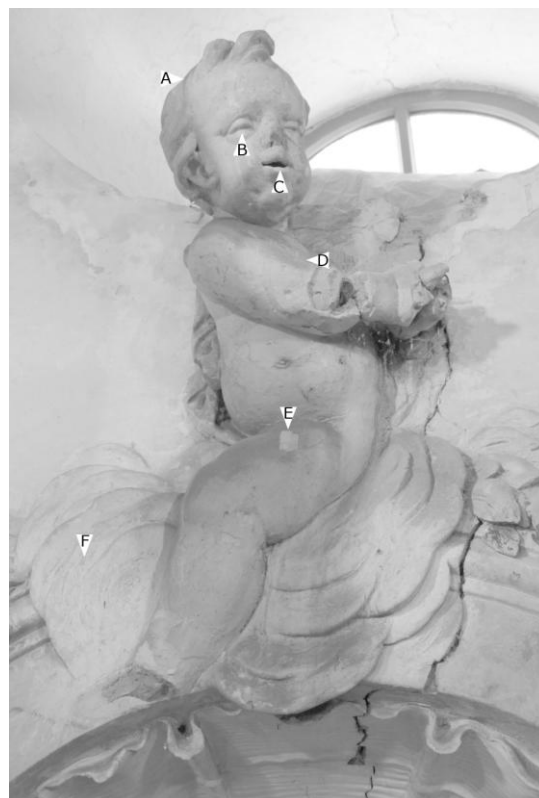

- mechanická
poškození
(lomové plochy)

Obr. 3: Plastika Adama, nika, feston: sondážní průřezum, lokalizace sondáží.

1		- štuk - bílá - černá - bílá (+ nečistoty)	
2		- štuk - bílá - inkarnát - bílá (+ nečistoty) - v ústech červená	
3		- štuk - bílá - červená - zlato - bílá - žlutá - bílá - černá	
4		- štuk - bílá - červená - bílá - žlutá - bílá - černá	
5		- štuk - bílá - červená - bílá - černá	
6		- štuk - bílá - žlutá	
7		- štuk - bílá - červená - bílá - žlutá - bílá - černá	
8		- štuk - bílá - červená - bílá - žlutá	
9		- štuk - bílá - červená - bílá - žlutá - bílá - černá	
10		- štuk - bílá - červená - černá (stříbrná folie)	
11		- štuk - bílá (+ nečistoty)	
12		- štuk - bílá - inkarnát	

Obr. 4: Anděl: sondážní průřez, lokalizace sondáží.

A		<ul style="list-style-type: none"> - štuk - bílá - hnědá - bílá (+ nečistoty)
B		<ul style="list-style-type: none"> - štuk - bílá - bílá (+ nečistoty)
C		<ul style="list-style-type: none"> - štuk - bílá - bílá (+ nečistoty) - v ústech červená
D		<ul style="list-style-type: none"> - štuk - bílá - inkarnát - bílá (+ nečistoty)
E		<ul style="list-style-type: none"> - štuk - bílá - inkarnát - bílá (+ nečistoty)
F		<ul style="list-style-type: none"> - štuk - bílá - modrá - bílá (+ nečistoty)



Obr. 5: Plastika Adama: rekonstrukce vývojových fází polychromie, zleva: 1. fáze, 2. fáze, nejmladší fáze.



Obr. 6: Anděl: rekonstrukce vývojových fází polychromie, zleva: 1. fáze, nejmladší fáze.



13.2 Seznam obrazových příloh

Obr. 1: Archivní snímek z roku 1964 (fotoarchiv NPÚ), celkový pohled.

Obr. 2: Celkový pohled, stav před restaurováním.

Obr. 4: Detail, anděl, stav před restaurováním.

Obr. 5: Detail, plastika Adama, stav před restaurováním (lze vidět prachový depozit, mechanická poškození, degradaci povrchových úprav, praskliny).

Obr. 6: Detail, anděl, stav před restaurováním (lze vidět výrazné ztráty hmoty, korodující kovovou výztuž, prachový depozit, praskliny).

Obr. 7: Detail, plastika Adama, stav před restaurováním (lze vidět prachový depozit, degradaci povrchových úprav).

Obr. 8: Detail, anděl, stav před restaurováním (lze vidět ztráty hmoty, prachový depozit, degradaci povrchových úprav).

Obr. 9: Detail, lastura, plastika Adama, stav před restaurováním (lze vidět praskliny, prachový depozit, degradaci povrchových úprav).

Obr. 10: Detail, plastika Adama, stav před restaurováním (lze vidět degradaci povrchových úprav, prachový depozit).

Obr. 11: Detail, feston, nika, lastura, stav před restaurováním (lze vidět degradaci povrchových úprav, prachový depozit, praskliny).

Obr. 12: Detail, nika, stav před restaurováním (lze vidět degradaci povrchových úprav, praskliny).

Obr. 13: Detail, plastika Adama, stav před restaurováním (lze vidět ztráty hmoty, degradaci povrchových úprav, zčernalou vrstvu stříbra, prachový depozit).

Obr. 14: Detail, lastura, stav před restaurováním (lze vidět statickou prasklinu).

Obr. 15: Detail, anděl, feston, průběh snímání sekundárních povrchových úprav.

Obr. 16: Detail, anděl, průběh snímání sekundárních povrchových úprav.

Obr. 17: Detail, plastika Adama, stav po ukončení snímání sekundárních povrchových úprav.

Obr. 18-21: Detail, anděl, snímky zachycují stav po odkryvu (A), stav po provedení antikorozičního nátěru a injektáži prasklin (B), průběh plastické retuše (C) a stav po plastické retuši (D).

Obr. 22: Detail, anděl, průběh plastické retuše.

Foto 23: Detail, anděl, stav po ukončení plastické retuše.

Obr. 24: Detail, plastika Adama, nika, stav po ukončení plastické retuše.

Obr. 25: Detail, plastika Adama, stav po ukončení plastické retuše.

Obr. 26: Detail, nika, stav po ukončení plastické retuše.

Obr. 27: Detail, nika, plastika Adama, stav po ukončení barevné retuše.

Obr. 28: Detail, nika, stav po ukončení barevné retuše.

Obr. 29: Celkový pohled, stav po restaurování.

Obr. 30: Detail, anděl, stav po restaurování.

Obr. 31-32: Detail, plastika Adama, srovnání stavu před restaurováním (nahore) a po restaurování (dole).

Obr. 33-34: Detail, anděl, srovnání stavu před restaurováním (nahore) a po restaurování (dole).

Obr. 35-36: Detail, plastika Adama, srovnání stavu před restaurováním (vlevo) a po restaurování (vpravo).

Obr. 37-38: Detail, anděl, srovnání stavu před restaurováním (vlevo) a po restaurování (vpravo).

Obr. 39-40: Detail, lastura, plastika Adama, srovnání stavu před restaurováním (nahore) a po restaurování (dole).

Obr. 41-42: Detail, lastura, plastika Adama, srovnání stavu před restaurováním (nahore) a po restaurování (dole).

Obr. 43-44: Detail, nika, srovnání stavu před restaurováním (vlevo) a po restaurování (vpravo).

Obr. 45-46: Detail, plastika Adama, srovnání stavu před restaurováním (vlevo) a po restaurování (vpravo).

Obr. 47-48: Celkový pohled, srovnání stavu před restaurováním (vlevo) a po restaurování (vpravo).

Obr. 49-50: Detail, anděl, srovnání stavu před restaurováním (vlevo) a po restaurování (vpravo).

Obr. 51-52: Ilustrační snímky pocházející z rtg záření.

Obr. 53: Barevnost testovaných inhibitorů koroze, zleva: Ferrogard -903+, Ebol LMM, Indakor LAM.

Obr. 54-56: Barevný odstín sušin inhibitorů, zleva: Ebol LMM, Indakor LAM, Ferrogard -903+.

Obr. 57-58: Soubor ocelových vzorků pro zkoušky přirozeného stárnutí, stav před abrazivním čištěním (vlevo), po abrazivním čištěním (vpravo).

Obr. 59: Soubor ocelových vzorků vsazený do cihly připravený pro zkoušky dlouhodobého stárnutí, zleva: Ebol LMM (3ks),

Indakor LAM (3ks), Ferrogard -903+ (3ks), neošetřené vzorky zleva:1., 4. a 7.

Obr. 60-63: Hloubka penetrace testovaných inhibitorů koroze 1 minutu po aplikaci 1. cyklu, zleva: Indakor LAM, Ebol LMM, Ferrogard -903+, voda.

Obr. 64: Snímek porézni struktury štku ošetřeného inhibitorem koroze Ferrogard -903+, „pýchavkovité“ útvary inhibitoru koroze.

Obr. 65: Změny barevnosti štukových vzorků po aplikaci inhibitorů koroze, zleva: Ferrogard -903+, Indakor LAM, Ebol LMM, neošetřený vzorek.

Obr. 66: Soubor ocelových vzorků, stav po aplikaci inhibitorů, zleva: Indakor LAM (2ks), Ebol LMM (2ks), Ferrogard -903+ (2ks), neošetřené (2ks).

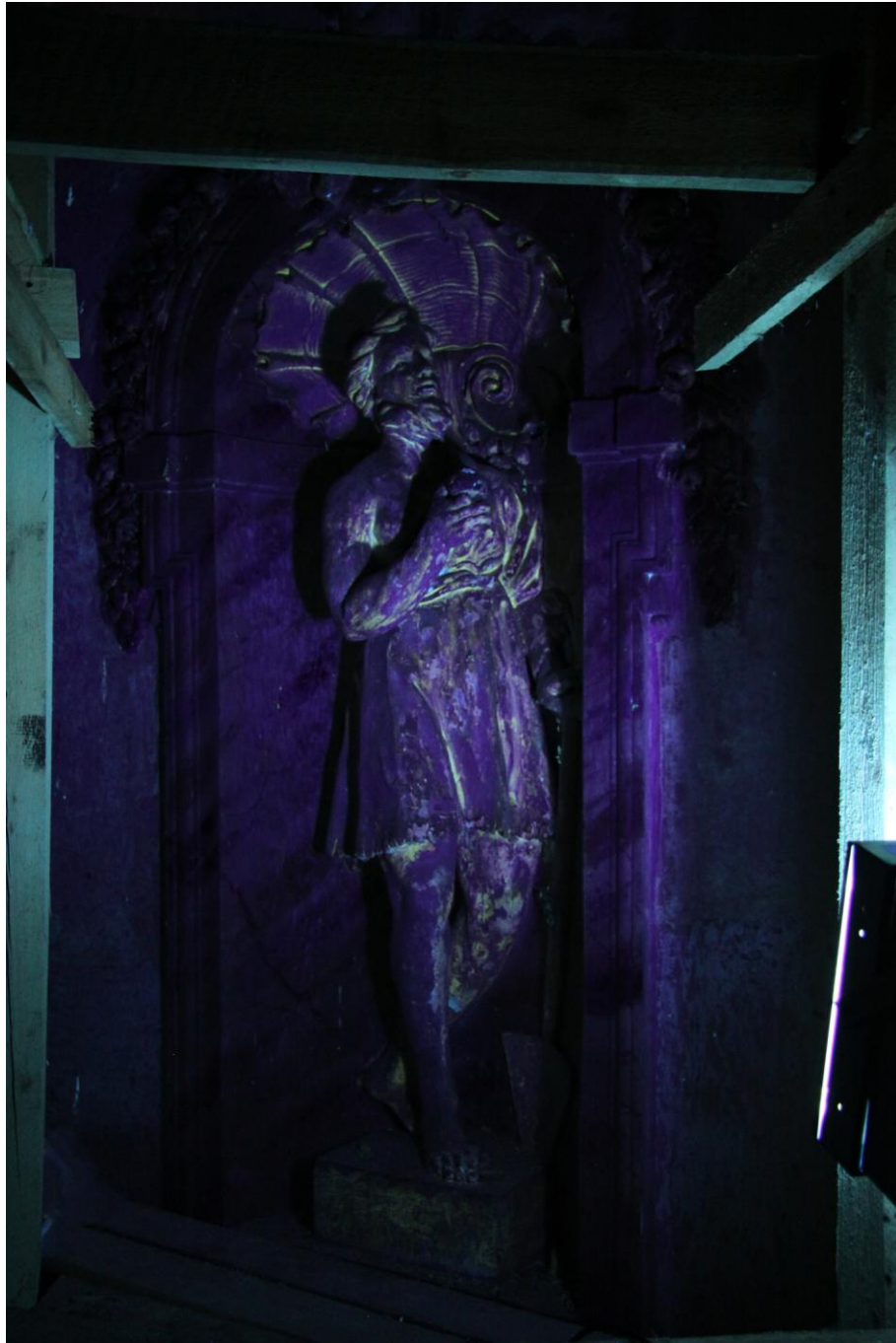
Obr. 1: Archivní snímek z roku 1964 (fotoarchiv NPÚ), celkový pohled.



Obr. 2: Celkový pohled, stav před restaurováním.



Obr. 3: Detail, plastika Adama, nika, feston, průzkum v UV světle.



Obr. 4: Detail, anděl, stav před restaurováním.



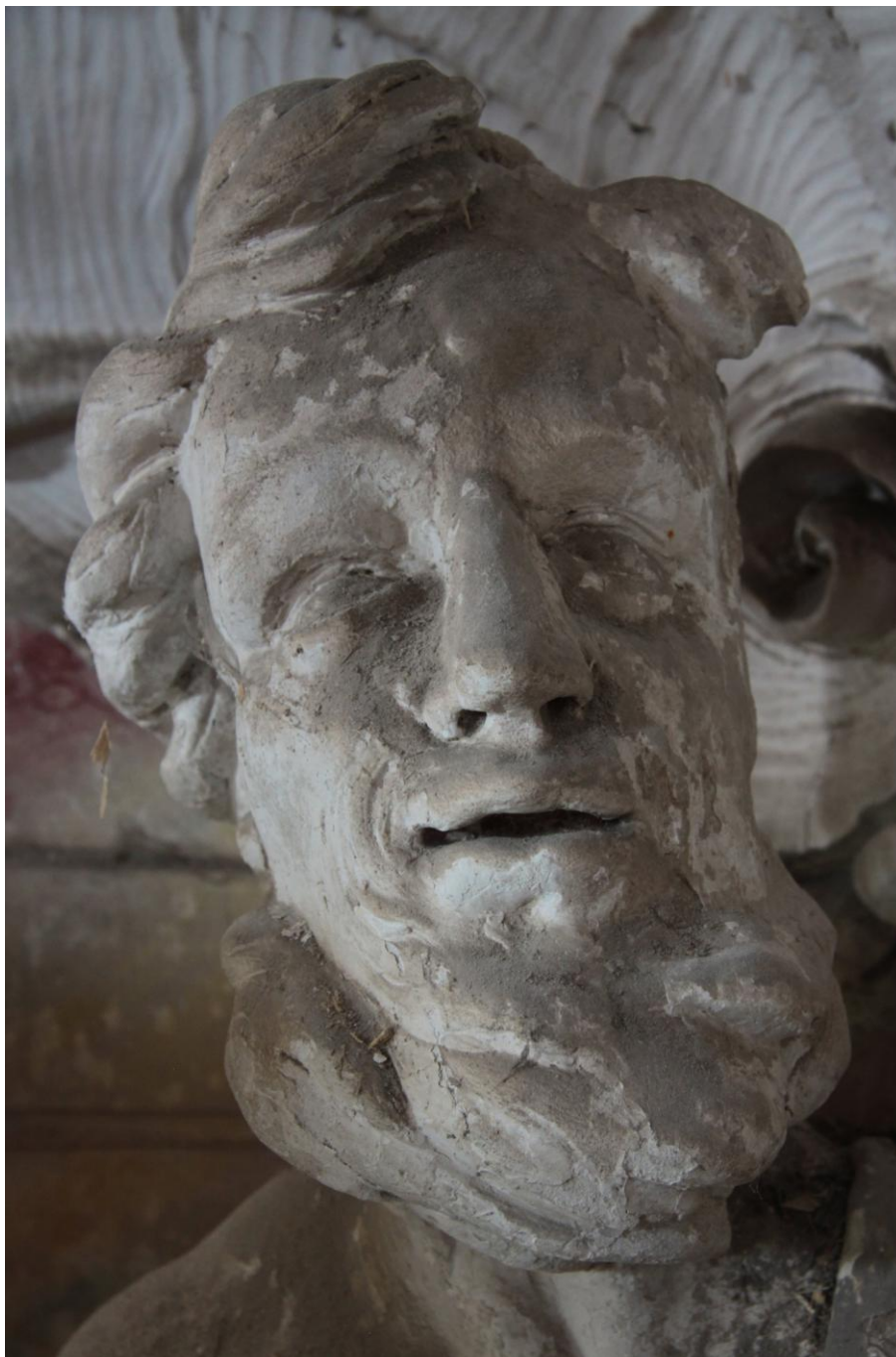
Obr. 5: Detail, plastika Adama, stav před restaurováním (lze vidět prachový depozit, mechanická poškození, degradaci povrchových úprav, praskliny).



Obr. 6: Detail, anděl, stav před restaurováním (lze vidět výrazné ztráty hmoty, korodující kovovou výztuž, prachový depozit, praskliny).



Obr. 7: Detail, plastika Adama, stav před restaurováním (lze vidět prachový depozit, degradaci povrchových úprav).



Obr. 8: Detail, anděl, stav před restaurováním (lze vidět ztráty hmoty, prachový depozit, degradaci povrchových úprav).



Obr. 9: Detail, lastura, plastika Adama, stav před restaurováním (lze vidět praskliny, prachový depozit, degradaci povrchových úprav).



Obr. 10: Detail, plastika Adama, stav před restaurováním (lze vidět degradaci povrchových úprav, prachový depozit).



Obr. 11: Detail, feston, nika, lastura, stav před restaurováním (lze vidět degradaci povrchových úprav, prachový depozit, praskliny).



Obr. 12: Detail, nika, stav před restaurováním (lze vidět degradaci povrchových úprav, praskliny).



Obr. 13: Detail, plastika Adama, stav před restaurováním (lze vidět ztráty hmoty, degradaci povrchových úprav, zčernalou vrstvou stříbra, prachový depozit).



Obr. 14: Detail, lastura, stav před restaurováním (Ize vidět statickou prasklinu).



Obr. 15: Detail, anděl, feston, průběh snímání sekundárních povrchových úprav.



Obr. 16: Detail, anděl, průběh snímání sekundárních povrchových úprav.



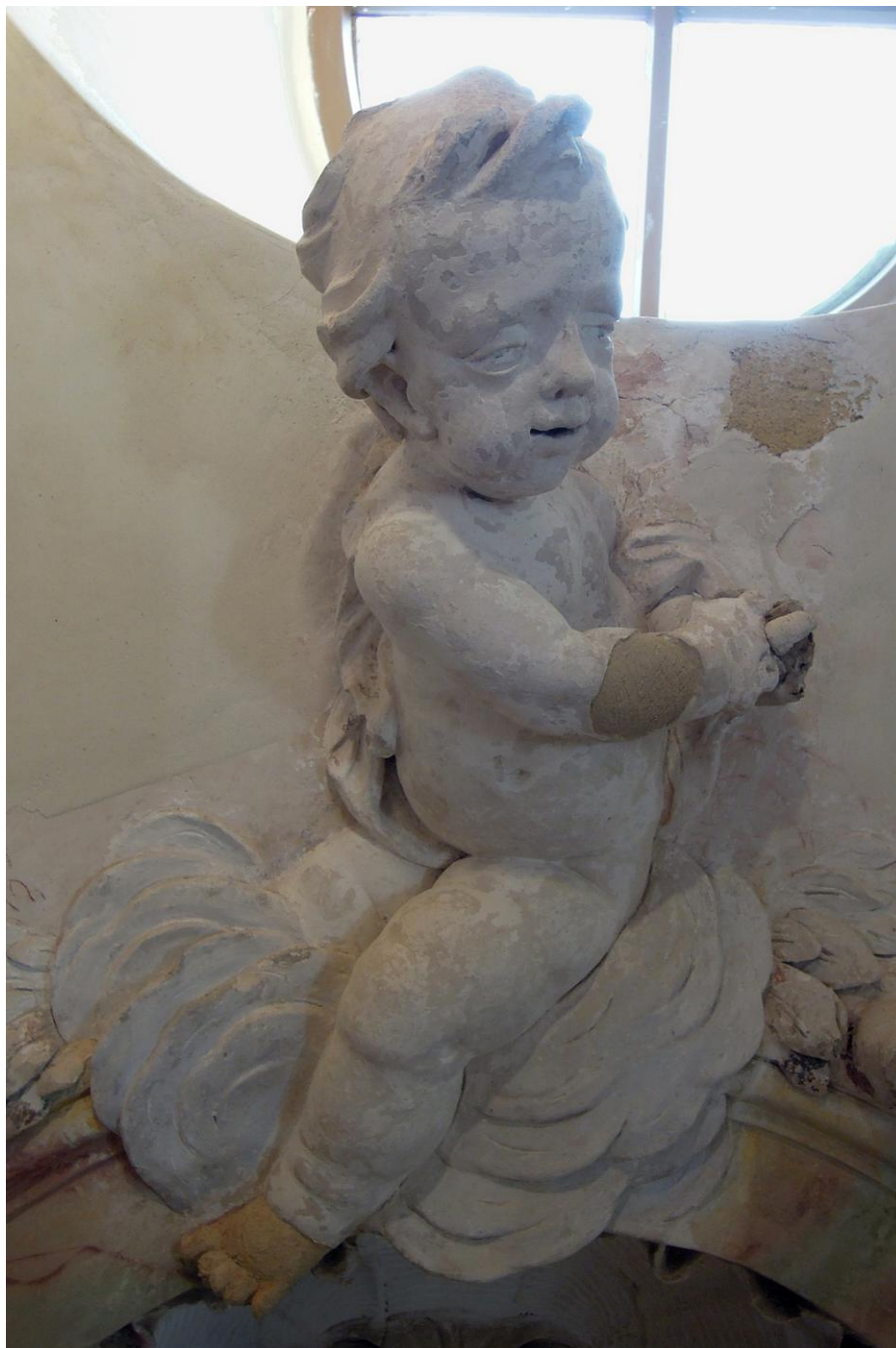
Obr. 17: Detail, plastika Adama, stav po ukončení snímání sekundárních povrchových úprav.



Obr. 18-21: Detail, anděl, snímky zachycují stav po odkryvu (A), stav po provedení antikoroziního nátěru a injektáži prasklin (B), průběh plastické retuše (C) a stav po plastické retuši (D).



Obr. 22: Detail, anděl, průběh plastické retuše.



Obr. 23: Detail, anděl, stav po ukončení plastické retuše.



Obr. 24: Detail, plastika Adama, nika, stav po ukončení plastické retuše.



Obr. 25: Detail, plastika Adama, stav po ukončení plastické retuše.



Obr. 26: Detail, nika, stav po ukončení plastické retuše.



Obr. 27: Detail, nika, plastika Adama, stav po ukončení barevné retuše.



Obr. 28: Detail, nika, stav po ukončení barevné retuše.



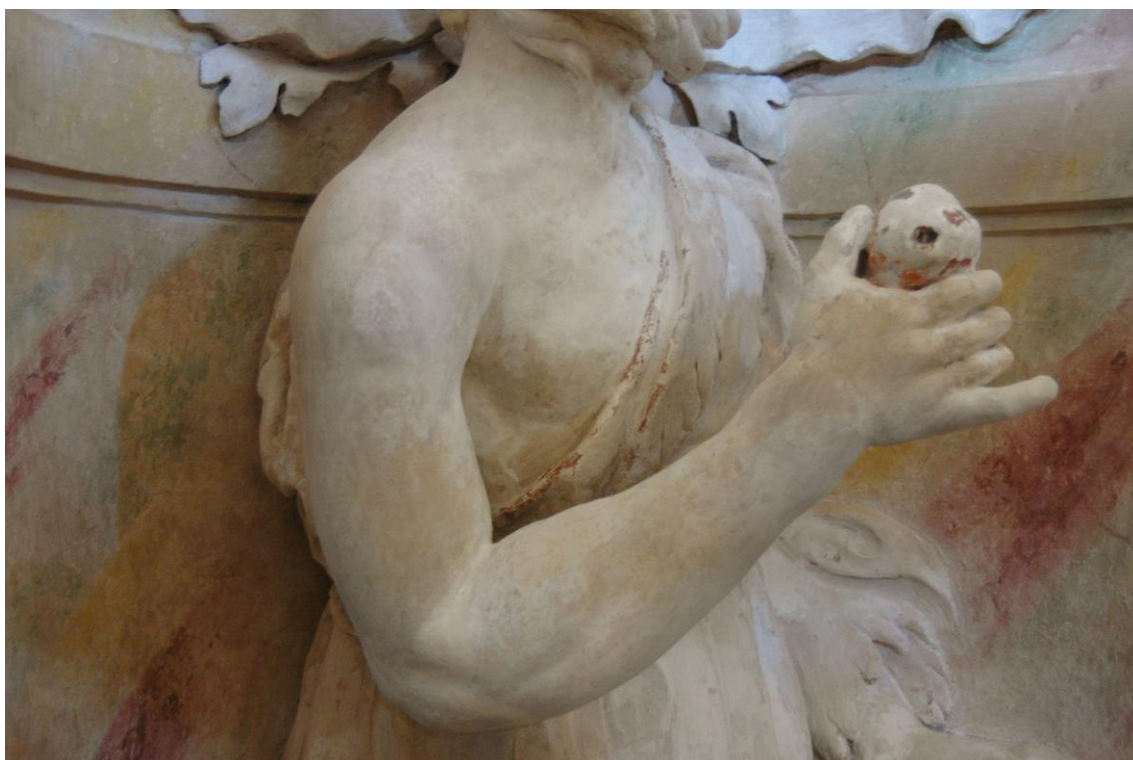
Obr. 29: Celkový pohled, stav po restaurování.



Obr. 30: Detail, anděl, stav po restaurování.



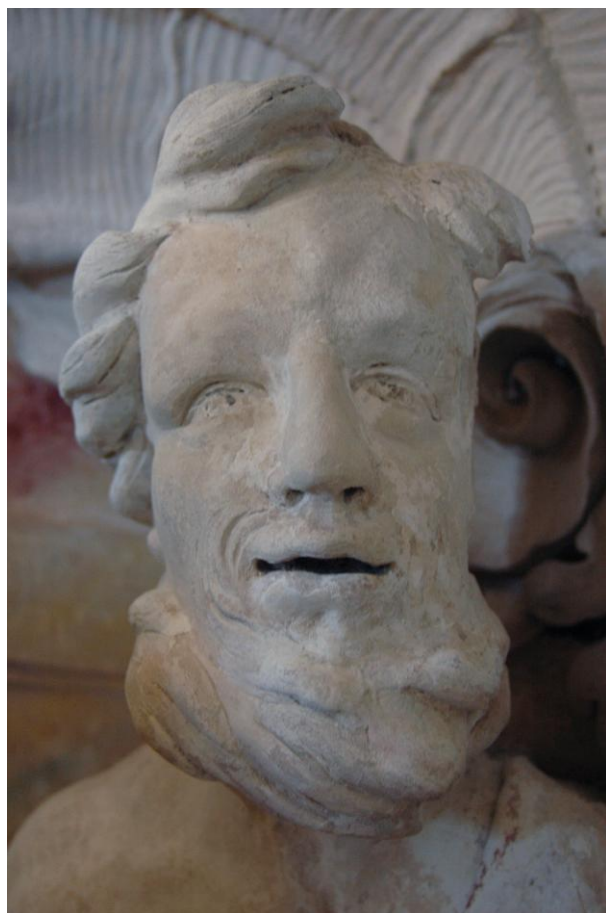
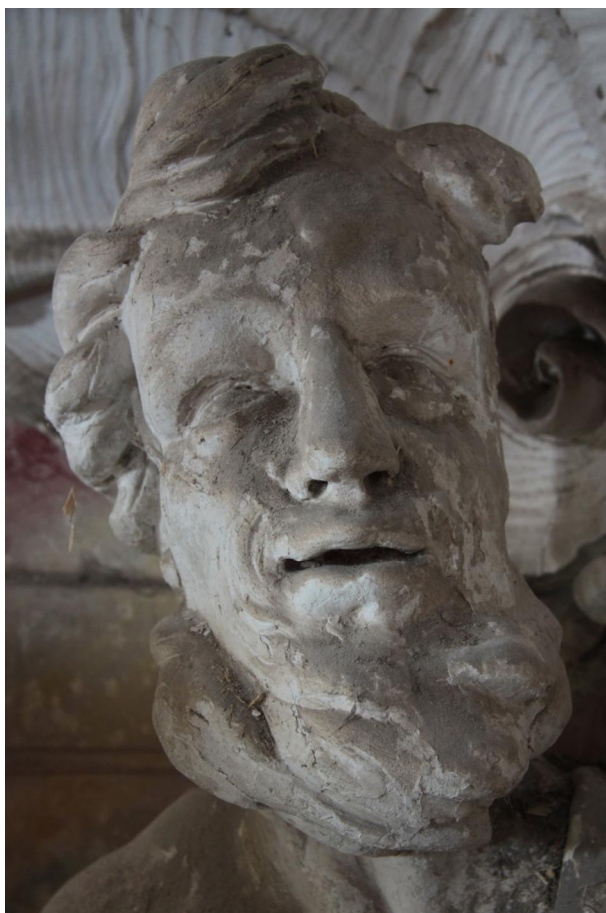
Obr. 31-32: Detail, plastika Adama, srovnání stavu před restaurováním (nahore) a po restaurování (dole).



Obr. 33-34: Detail, anděl, srovnání stavu před restaurováním (nahore) a po restaurování (dole).



Obr. 35-36: Detail, plastika Adama, srovnání stavu před restaurováním (vlevo) a po restaurování (vpravo).



Obr. 37-38: Detail, anděl, srovnání stavu před restaurováním (vlevo) a po restaurování (vpravo).



Obr. 39-40: Detail, lastura, plastika Adama, srovnání stavu před restaurováním (nahore) a po restaurování (dole).



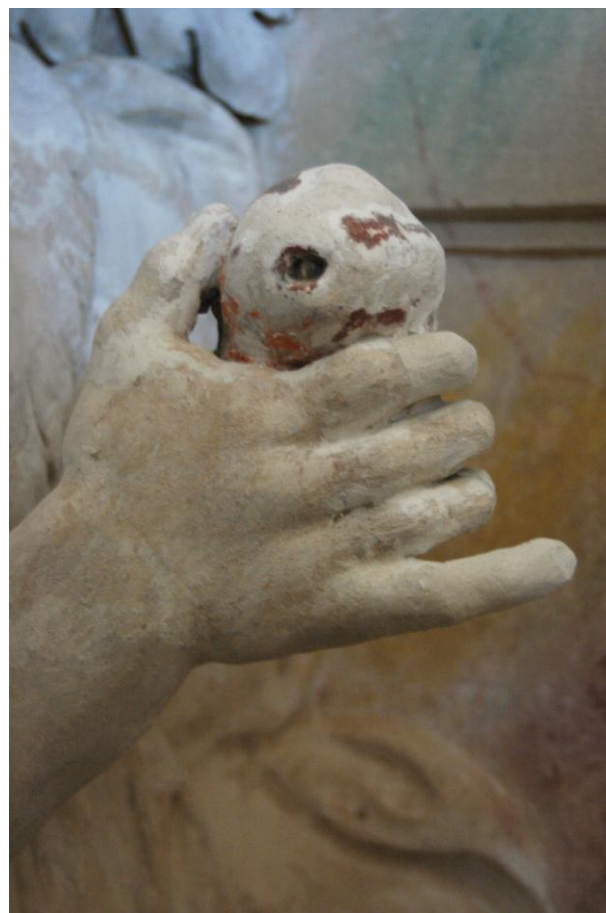
Obr. 41-42: Detail, lastura, plastika Adama, srovnání stavu před restaurováním (nahore) a po restaurování (dole).



Obr. 43-44: Detail, nika, srovnání stavu před restaurováním (vlevo) a po restaurování (vpravo).



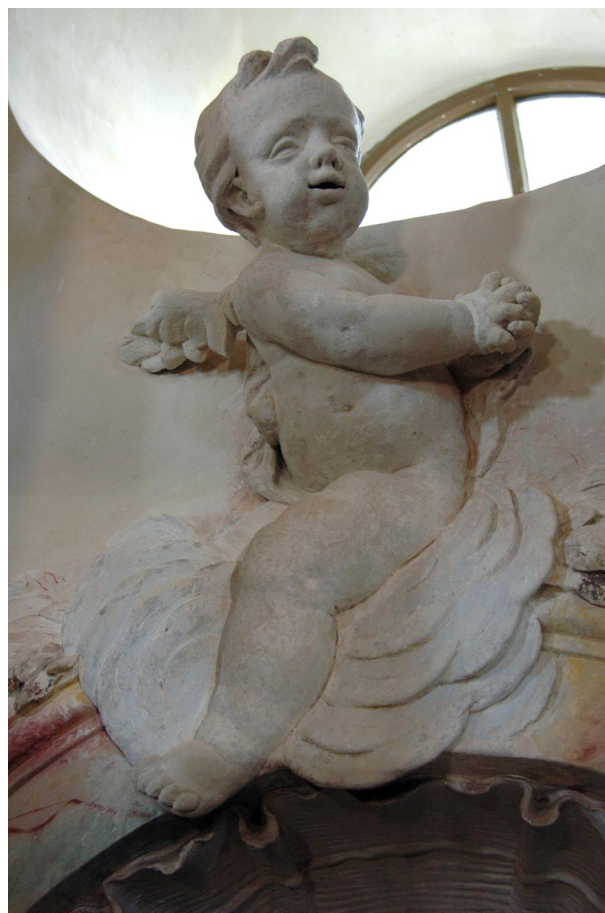
Obr. 45-46: Detail, plastika Adama, srovnání stavu před restaurováním (vlevo) a po restaurování (vpravo).



Obr. 47-48: Celkový pohled, srovnání stavu před restaurováním (vlevo) a po restaurování (vpravo).



Obr. 49-50: Detail, anděl, srovnání stavu před restaurováním (vlevo) a po restaurování (vpravo).



2.ČÁST DIPLOMOVÉ PRÁCE

14. ÚVOD

V rámci diplomové práce, zabývající se restaurováním polychromované štukové plastiky Adama, přilehlé niky a andílka v kapli sv. Isidora v Křenově, byla zkoumána problematika koroze vnitřní ocelové, či železné výztuže a její stabilizace vhodnými metodami. Zájem byl zaměřen zejména na pasivaci oceli komerčně dostupnými inhibitory koroze.

V situaci, kdy jsem zjistil, že na několika štukových plastikách výzdoby kaple sv. Isidora jsou poškození způsobená mj. degradací (korozí) ocelové, či železné armatury, bylo nutné tento problém řešit. Negativní vliv koroze kovových armatur na kompaktnost materiálu, v němž jsou vsazeny, je poměrně dobře známý. V mnoha případech mají korodující armatury fatální vliv na stav předmětů kulturního dědictví. Problém nastává ve chvíli, kdy vnitřní nekorozivzdorná kovová výztuž ve hmotě štku začne vlivem koroze zvyšovat svůj objem. Štuk je po vytvrnutí poměrně pevný, ale křehký materiál, který za určitých podmínek není schopen čelit expanzivním tlakům korodující vnitřní výztuže působící na stěny štku v jejím okolí. Poškození způsobená korozí kovových armatur na objektech ze štku, sádry, či umělého kamene vedou ke vzniku prasklin, trhlin, dutin až k výrazným materiálovým a tvarovým ztrátám. V minulosti byly pro armování předmětů ze štku používány další materiály, které byly schopny pohlcovat potencionálně nebezpečné tlaky, pocházející od vnějších vlivů. V historických předmětech lze nalézt opálené kusy dřeva (od větších špalků po drobné uhlíky),

kteře zpravidla nepodlěhají hnilobným procesům, dále slámu, srst atd.

Koroze ocelových, nebo železných výztuží v případě armované štukové výzdoby v kapli sv. Isidora v Křenově způsobuje praskliny, které vedly k nevratným ztrátám materiálu a tvarů. Tento typ poškození se lokálně nacházel na dekorativních štukových hlavicích pilastrů, na štukových plastikách v přízemí, a také na andělech ve vrcholcích nik v kapli sv. Isidora. Jejich technická a výtvarná struktura byla narušena poměrně výraznými úbytky hmoty. Z celkového průzkumu však není možné konstatovat, že tato poškození byla způsobena výlučně korodující ocelovou, či železnou armaturou.

Z důvodu, že stabilizace vnitřních ocelových a železných výztuží není zcela etablovanou součástí české restaurátorské praxe, rozhodl jsem se v teoretické (badatelské) rovině studovat možnosti stabilizace pomocí realkalizace a inhibitorů koroze. Poté jsem se zaměřil na praktické zkoumání jedné z metod – stabilizace (pasivace) oceli pomocí inhibitorů koroze.

Rozhodujícím faktorem pro stávající stav dekorativních štukových prvků interiéru kaple (včetně plastiky Adama) byl mj. špatný technický stav kaple. Díky tomu docházelo k cyklickému zatékání srážkové vody do konstrukce a poškození výzdoby kaple, zasažena byla i štuková výzdoba. Výkyvovým, cyklickým střídáním zavlhčování a vysoušení objektu docházelo ke vzniku pnutí ve hmotě štuku – vznik prasklin (určitý vliv má také výkyvové střídání teplot). Přítomnost vysoké relativní i absolutní vlhkosti zásadně ovlivnila rychlost koroze ocelových výztuží. K nevratným ztrátám materiálu a tvarů tedy vedla bezesporu koroze ocelové výztuže v kombinaci s výkyvovým, cyklickým zavlhčováním a vysoušením štuku a zásadní vliv na dochovaný stav objektu

měla také mechanická poškození. Z toho vyplývá, že koroze kovových materiálů nastává v závislosti na podmínkách prostředí.

Agresivitu prostředí (atmosféry) klasifikuje norma ČSN 03 8203 do pěti stupňů:

1. VELMI MÁLO AGRESIVNÍ – v této atmosféře nedochází k orosení povrchu kovu (např. klimatizovaný prostor s odvlhčením)
2. MÁLO AGRESIVNÍ – atmosféra, v níž je relativní vlhkost obvykle pod kritickou hranicí (např. obývané prostory)
3. STŘEDNĚ AGRESIVNÍ – v této atmosféře dochází k občasné kondenzaci (orosení), znečištění atmosféry výrazně neovlivňuje korozi (např. uzavřené a nevytápěné prostory)
4. SILNĚ AGRESIVNÍ – v této atmosféře dochází k častým kondenzacím, znečištění atmosféry výrazně ovlivňuje korozi
(např. vnější oblasti subtropického pásma, lesní a horská atmosféra, oblasti v blízkosti měst a průmyslových center)
5. VELMI SILNĚ AGRESIVNÍ - v této atmosféře dochází k velmi častým kondenzacím, vysoký stupeň průmyslového znečištění atmosféry (např. přímořské a silně průmyslové oblasti)

Z hlediska rozmístění štukových plastik si lze představit, že většina z nich je umístěna ve středně až silně agresivní atmosféře (3. – 4. stupeň).

Řešení v praxi restaurátora nabízí zásah do vnějšího prostředí poškozeného výtvarného či umělecko-řemeslného díla

- neinvazivní zásah a invazivní zásah – přímý zásah do díla. Vnějšími zásahy by mělo být zamezeno přístupu srážkové vody - pomocí oprav technických konstrukcí a zajištění přijatelných hodnot relativní vzdušné vlhkosti pomocí efektního systému větrání, odvlhčovačů, klimatizací atd. Případně vytvořením konstrukce proti přímému působení srážkové vody u štukových plastik či reliéfů umístěných v exteriéru. Tyto zásahy neprovádí restaurátor, ale měl by je iniciovat. Úpravy vnějšího prostředí jsou dílčím zásahem, který neřeší celkový problém. Ideální stav restaurátorské praxe je v případě, že po úpravách vnějšího prostředí přichází na řadu restaurování samotného díla.

U obnažených ocelových a železných výztuží se standardně využívá následující metoda. Pomocí abrazivních a chemických metod je zredukováno množství produktů koroze (rzi) z povrchu obnažené výztuže. Poté je povrch takto předčištěné výztuže dočištěn technickým lihem (zbavení se mastnot). Příprava podkladu před aplikací antikorozního nátěru je velmi důležitá. Odlupující se produkty koroze (rez), mastnoty a další nečistoty (prach) snižují adhezi a účinek antikorozního nátěru. Současný trh nabízí velké množství barev s antikorozními účinky (alkydové, vodou ředitelné, epoxyesterové, etysilikátové, silikonové, dvousložkové polyuretanové, dvousložkové epoxidové atd.), a také antikorozní barvy s přísadkou inhibitoru koroze (např. Rokoprim S 2102). Finální vrstva nátěru by měla být zpracována tak, aby tvořila adhezní můstek (např. smícháním barvy s jemným pískem). Na závěr je na ošetřenou ocelovou, nebo železnou výztuž aplikován tmel, jehož vlastnosti (struktura, barevnost, fyzikálně-mechanické vlastnosti) jsou velmi podobné originálnímu materiálu. Pro ošetření vnitřní ocelové a železné výztuže, uvnitř štukového prvku, však tento metodický postup nemůže platit.

Korodující vnitřní ocelovou, nebo železnou výztuž nelze ošetřit stejnou metodou. Vyžaduje zásah, jehož cílem je pasivace jejího povrchu. Ani po úspěšné pasivaci tento stav nelze chápat jako totální či trvalé řešení. Přestože je korozní vrstva ocelových výztuží pasivovaná, tak korozní rychlost není nulová, ale jen velmi nízká. V současné restaurátorské praxi jsou k tomuto účelu využívány metody využívající efektu realkalizace, druhou možností je řešení pomocí inhibitorů koroze.

15. PRINCIPY KOROZE

³ Koroze kovů je fyzikálně-chemická interakce kovu a prostředí, vedoucí ke změnám vlastností kovu, které mohou vyvolávat významné zhoršení funkce kovu, prostředí nebo technického systému, jehož jsou kov a prostředí složkami. Ocelové výztuže vložené do štuky, či betonu jsou zpočátku v pasivním stavu, tedy jsou chráněné před korozí tenkou vrstvou oxidu železa, který se tvoří na povrchu oceli a zůstává stabilní ve vysokém alkalickém prostředí štuky a betonu. Pro zahájení procesu koroze musí být tento ochranný film narušen (depasivace). K tomu může dojít dvěma způsoby: jednak napadením povrchu oceli chloridovými solemi a jednak karbonatací krycí vrstvy štuky a betonu v důsledku reakce s oxidem uhličitým, který způsobuje snížení alkality štuky.

³ Kolektiv autorů, *Konzervování a restaurování kovů* (str. 136), Technické muzeum v Brně, Asociace muzeí a galerií ČR, 2011

Po zahájení korozního procesu může elektrochemická koroze pokračovat až do totální ztráty pevnosti štukového, či betonového substrátu. Za přístupu vlhkosti a oxidu uhličitého probíhá samovolný proces karbonatace. Alkalické složky štuku jsou tímto procesem nahrazovány.

Při poklesu pH stavebního materiálu pod hranici 10 pH dochází k aktivaci (depasivaci) kovové výztuže. Při vzdušné vlhkosti označované jako kritická korozní vlhkost (asi 60 %) vzniká kondenzací vody na povrchu kovu tenká vrstva elektrolytu. Toto jsou vhodné podmínky pro začátek elektrochemické, atmosférické koroze kovové armatury.

Rychlost korozního procesu atmosférické koroze je v rozhodující míře závislá na přítomnosti plynných nebo rozpustných tuhých nečistot (agresivní jsou zejména oxid siřičitý, chlorid sodný, chlór, sirovodík, chlorovodík, oxidy dusíku, průmyslový prach atd.).

⁴ V přítomnosti vody probíhají na povrchu železa anodické i katodické korozní děje. Nejběžnější reakce, které zde probíhají, lze popsat takto:

- Na anodě se rozpustí železo: $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$
- Na katodě reaguje kyslík: $\frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^-$
(redukce kyslíku v neutrálním prostředí)

Elektrony jsou přesouvány z anody na katodu skrze ocelovou výztuž a hydroxidové ionty jsou přesouvány z katody na anodu skrze roztok v pórech anorganického stavebního materiálu. Rychlost koroze je tedy řízena jednou nebo více reakcemi.

⁴ Kolektiv autorů, *Konzervování a restaurování kovů* (str. 150), Technické muzeum v Brně, Asociace muzeí a galerií ČR, 2011

Během koroze přechází kov do stabilnějšího oxidovaného stavu. Dochází k jeho přeměně na korozní produkty, které jsou svým vzhledem i složením podobné výchozí surovině pro výrobu kovu – rudě. Koroze vždy vede ke snížení primárních užitných vlastností kovového výrobku (například ocelové a železné výztuže). Jedná se zejména o snížení mechanických vlastností, ale také zhoršení estetických vlastností. Fatálním důsledkem koroze je úplná ztráta funkce a celistvosti kovového výrobku.

Bohužel ve většině případů není možné korozi kovů zcela potlačit. Za přijatelné korozní rychlosti (povolené intenzity koroze) je možné kovový povrch dlouhodobě exponovat v korozním prostředí, aniž by došlo k nepříjemným změnám užitných vlastností kovu nebo kvality prostředí. Korozní rychlost udává sílu kovového materiálu, k jehož úbytku dojde v korozním prostředí za dobu jednoho roku.

⁵ V literatuře se uvádí, že pokud je rychlost, s jakou dochází k úbytkům kovu menší než 0,1 μm za rok, pak je korozní napadení technicky přijatelné téměř vždy. Pro předměty kulturního dědictví platí, že přijatelná korozní rychlost je 0,01 μm za rok. Nulové korozní rychlosti nelze v praktických podmínkách dosáhnout. Důvodem je fakt, že většina kovů je vystavena působení relativní vzdušné vlhkosti – vznik elektrolytu na povrchu kovu.

Koroze kovů může být klasifikována podle druhu korozního prostředí, podle kombinace s vnějšími činiteli, dále podle druhu korozního napadení, a dle vnitřního mechanismu korozního děje.

⁵ Kolektiv autorů, *Konzervování a restaurování kovů* (str. 138), Technické muzeum v Brně, Asociace muzeí a galerií ČR, 2011

Podle druhu korozního prostředí se dělí na korozi atmosférickou, korozi ve vodách a korozi v půdách. Podle kombinace s vnějšími činiteli je koroze dělena na korozi za napětí, vibrační korozi a štěrbinovou korozi.

Podle druhu korozního napadení se jedná o korozi rovnoměrnou, nerovnoměrnou, skvrnitou, důlkovou, bodovou, podpovrchovou, korozi po vrstvách, mezikrystalovou korozi, transkrystalovou korozi a selektivní korozi. Podle vnitřního mechanismu korozního děje se koroze zpravidla rozděluje na chemickou a elektrochemickou.

Kovy jsou elektricky vodivé materiály, na jejichž povrchu často dochází vlivem relativní vzdušné vlhkosti ke vzniku tenké vrstvy vodného elektrolytu. Vodivé prostředí elektrolytu je vhodné pro začátek elektrochemické koroze kovu. Proto je koroze kovu téměř vždy způsobena elektrochemickou přeměnou anodickým rozpouštěním. Proto je nejčastější typ koroze, se kterým restaurátor přichází do kontaktu, koroze elektrochemická (koroze ve vodivém prostředí) a koroze atmosférická (převážně elektrochemický korozivní děj).

Štukové plastiky nalezneme v exteriérech i interiérech. Většina z nich je však umístěna uvnitř sakrálních či světských staveb. V těchto podmínkách panují bezesporu příznivější podmínky pro životnost štku než v exteriéru. Přesto se často jedná o prostředí s vysokou relativní vzdušnou vlhkostí i přítomností atmosférických polutantů. Díky těmto faktorům vznikají podmínky vhodné pro korozi kovových prvků a armatur.

16. HISTORICKÁ ŽELEZA A OCELI

⁶ V současné době se vyrábí velké množství ocelí (slitiny železa, uhlíku a dalších prvků, kde obsah C nepřekračuje 2,1 %) a litin (slitiny Fe, C, Si, Mn a dalších prvků, kde obsah C překračuje 2,14 %).

V historii se vyrábělo zejména svářkové železo s vysokým obsahem strusky (typická vrstevnatost materiálu), která se do kujné hmoty dostávala při pudlování. Výrobní technologie železných slitin (v Evropě) postupovala od přímé výroby svářkového železa (při výrobě není dosaženo tekutého stavu kujné suroviny, vzniká těstovitá hmota) k nepřímé výrobě plávkové oceli (při výrobě se kujná surovina dostává do tekutého stavu) v polovině 19. století.

Pro potřeby experimentální části bude použito novodobé plávkové technické železo, protože vyhovuje soudobým požadavkům a lze jej tak objektivně hodnotit.

17. MOŽNOSTI ŘEŠENÍ

Problém koroze kovů je posledních sto let systematicky zkoumán oborem korozního inženýrství a to zejména v souvislosti s rozsáhlým průmyslovým použitím kovových materiálů. Tento obor mj. zkoumá i různé technologie protikorozní ochrany.

⁶ Kolektiv autorů, *Konzervování a restaurování kovů* (str. 386), Technické muzeum v Brně, Asociace muzeí a galerií ČR, 2011

Při tom je nutné mít na paměti, že obor restaurování pracuje s předměty zcela jiného charakteru, než se většinou zabývá obor korozního inženýrství - hospodářská odvětví (stavebnictví) a průmyslová odvětví (strojírenství, hutnictví, těžební průmysl atd.).

Škála metod a metodik, využitelná pro pasivaci kovových výztuží v předmětech kulturního dědictví resp. v oboru restaurování a památkové péče, je velmi omezená. Limitujícím faktorem je zejména snaha o minimalizaci invazivního zásahu do technických a výtvarných struktur předmětů kulturního dědictví.

V současné době existuje několik metod, kterými lze výrazně zpomalit korozi vnitřní ocelové výztuže (nikoliv zastavit). Tyto metody je možné rozdělit do dvou skupin:

- Metody, které upravují prostředí kolem ocelové výztuže – jedná se o chemickou a elektrochemickou realkalizaci. Při realkalizaci dochází ke stabilizaci, pasivaci oceli díky posunutí oblasti pH okolního materiálu do výrazně alkalické oblasti. V těchto alkalických podmínkách dochází k výraznému snížení korozní rychlosti oceli (aktivace oceli je možná od 10 pH – hodnota 10 pH a vyšší je ideální prostředí pro ocelovou výztuž).
- Metoda, která zasahuje přímo do úpravy vlastností ocelové výztuže a nemá zásadní vliv na prostředí kolem ní – jedná se o inhibitory koroze. Při tomto ději dochází k pasivaci oceli díky vzniku velmi slabě rozpustných oxidů a hydroxidů železa na povrchu korozní vrstvy oceli.

Inhibitory koroze jsou klasifikovány dle různých hledisek: podle aplikačních metod, mechanismů ochrany a jejich složení.

Klasifikace dle aplikačních metod rozděluje inhibitory koroze do skupin:

- Příměs do čerstvé minerální směsi
- Penetrační inhibitor koroze – aplikace na vytvrzený povrch minerální směsi (také migrační inhibitor koroze a povrchově aplikovatelný inhibitor koroze)
- Příměs do tmelů a vysprávkových malt
- Povrchová úprava kovových výztuží před aplikací maltoviny

⁷ Klasifikace inhibitorů koroze podle mechanismů ochrany:

- Anodické inhibitory – tyto látky blokují dílčí anodický děj. Působí na rozpustné složky oceli a snižují rychlost koroze zvýšením korozního potenciálu oceli. Nejčastěji používaným anodickým inhibitorem je dusitan vápenatý ($\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$). Používány byly také dusitan sodný, benzoát sodný a chroman sodný.
- Katodické inhibitory – tyto látky blokují dílčí katodický děj. Působí na oxidační reakci na povrchu oceli a snižují rychlost koroze v důsledku snížení korozního potenciálu. Nejběžněji používané katodické inhibitory jsou hydroxid sodný a uhličitan sodný, které zvyšují hodnoty pH v okolí ocelové výztuže. Na jejím povrchu vytváří tenkou vrstvu, která výrazně sníží přístup kyslíku. Dále se používají také fosfáty, křemičitany a polyfosfáty.

⁷ T.A. Söylev, M.G. Richardson, *Corrosion inhibitors of steel in concrete: State of the art report* (článek), 2006

- Smíšené inhibitory – tyto látky blokují anodický i katodický děj a snižují rychlost koroze bez významné změny korozního potenciálu. Při kontaktu povrchu oceli s inhibitorem dochází pomocí adsorpce ke vzniku tenké ochranné vrstvy. U těchto typů inhibitorů je efektivní hydrofobní, polární skupina obsahující prvky N, S a OH skupinu. Používány jsou také organické polymerní sloučeniny, nejčastěji sloučeniny obsahující funkční skupiny aminu a aminoalkoholu (AMA).

Smíšené inhibitory jsou součástí mnoha komerčně dostupných antikoročních produktů: např. Sika Ferrogard-903+, Chemotex EBOL LMM, Chemotex INDAKOR LAM.

18. METODY APLIKACE

Při realkalizaci je rozhodujícím faktorem distribuování alkalického roztoku v porézní struktuře štku až k povrchu ocelové výztuže. Obecně platí přímá úměra, čím větší koncentrace a rovnoměrnější je distribuce roztoku, tím vyšší je realkalizační efekt. Alkalický roztok lze do porézní struktury štku dopravit několika způsoby. Vzlínací schopností kapilárního systému (částečným ponořením předmětu do nádoby s alkalickým roztokem), plošnou penetrací (smáčení povrchu štku alkalickým roztokem) a injektážní infuzí – v těchto případech bude roztok distribuován od povrchu předmětu směrem k ocelové výztuži a bude se tak vždy jednat o chemickou realkalizaci.

Další způsob představuje elektro-chemická realkalizace, při níž je alkalický roztok distribuován přímo k povrchu ocelové

výztuže. Tato metoda využívá stejnosměrného elektrického proudu, kdy jako katoda slouží alkalický roztok a anodou je obnažená část kovové armatury. Realkalizační roztok je distribuován od povrchu ocelové výztuže směrem k povrchu předmětu. Jako alkalické roztoky se používají poměrně silně koncentrované hydroxidy. Před jejich použitím je nutné zvážit stav šuku či betonu. Použití těchto látek vyžaduje vysokou míru koheze materiálu (beton). Pro šuk je vhodné použít méně agresivní látky (například hydroxid vápenatý ve formě vápenné vody). V současné době se nabízí efektivnější konsolidační prostředek na bázi hydroxidu vápenatého – Nanosuspenze.

Rozhodujícím faktorem, který představuje úspěšnost provedení chemické či elektro-chemické realkalizace, je přítomnost dostatečného a rovnoměrného množství alkalického roztoku u povrchu ocelové výztuže (lze ověřovat fenolftaleinovým testem). Pokud není alkalický roztok v přímém kontaktu s povrchem ocelové výztuže (u chemické realkalizace), tak bude realkalizace neúspěšná.

⁸ Další metodu řešení ochrany kovů před korozi představují inhibitory koroze. Jsou to chemické látky, jejichž přítomnost v korozním prostředí ve vhodné koncentraci výrazně snižuje korozní rychlost, aniž podstatně mění koncentraci kterékoli agresivní složky (stimulátoru koroze). Za určitých podmínek mají schopnost navázat se na korodující povrch ocelové výztuže a vytvořit na něm stabilizační vrstvu, jejíž rozpustnost je velmi nízká.

⁸ Kolektiv autorů, *Konzervování a restaurování kovů* (str. 192), Technické muzeum v Brně, Asociace muzeí a galerií ČR, 2011

Inhibitory koroze lze do porézní struktury štuky dopravit několika způsoby: vztlínací schopností kapilárního systému (částečným ponořením předmětu do nádoby s inhibitorem koroze), plošnou penetrací (smáčením povrchu štuky) a injektážní infuzí. Stejně jako u realkalizace je rozhodujícím faktorem penetrace inhibitoru koroze až k povrchu ocelové výztuže. Při použití inhibitorů koroze nedochází k výrazné změně pH štuky.

19. PROBLÉMY *IN-SITU*

Restaurátor kamene a souvisejících materiálů přichází poměrně často do styku s plastikami vyrobených ze štuky (případně umělého kamene a občas také sádry), které jsou armované kovovou výztuží.

V restaurátorské praxi se obvykle setkává s prostorovými plastikami či reliéfy světců, světic, patronů, andělů, putti, ornamentálních a tektonických prvků atd.

Pokud je zřejmé a prokazatelné, že poškození těchto plastik a reliéfů jsou způsobena mj. korozí ocelových armatur, tak je nutné hledat vhodná řešení, metody ochrany a metodiky zásahu.

V případě obnažených ocelových armatur se standardně používá postup, při němž se povrch obnažených armatur zbaví produktů koroze (rzi), následně je očištěný povrch opatřen antikorozní úpravou, adhezním můstkem a na závěr jsou chybějící materiál a tvar doplněny vhodnou tmelící směsí. Takto je zpravidla možné restaurovat pouze zlomek z celkové plochy ocelové výztuže. Většina z ní se obvykle nachází ve hmotě štuky. Tuto výztuž je nutné pasivovat, čímž se

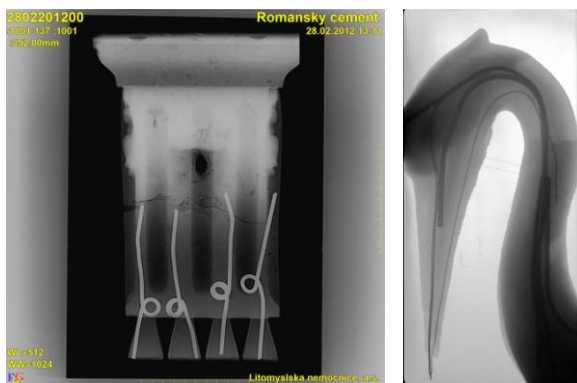
výrazně sníží její korozní rychlost. Zde už neexistuje standardní postup restaurátora. Bohužel se stává, že v místech, kde plastika nejeví známky poškození vlivem korodující vnitřní ocelové armatury, bývá výztuž ponechána v dochovaném stavu bez snahy o její pasivaci (přestože k tomuto poškození pravděpodobně v budoucnu dojde, protože vnitřní ocelová výztuž je v aktivním stavu).

Další problém *in-situ* je dán faktem, že restaurátor kamene zpravidla nedosahuje potřebné úrovně znalostí a zkušeností z oblasti koroze kovů. Úkolem restaurátora kamene a souvisejících materiálů není rozpoznání druhů koroze na kovových prvcích. V rámci interdisciplinarity by měl oslovit odborníky z příslušného oboru (restaurování kovů, korozní inženýrství apod.), kteří odborným stanoviskem výrazně přispějí k úspěšnému provedení pasivace kovu.

Dále by se měl restaurátor snažit získat informace o prostorovém rozložení ocelových výztuží. Čím přesnější metoda bude zvolena, tím efektivnější zásah (pasivace) může být proveden.

Pro tento účel mohou posloužit detektory kovů. Na českém trhu jsou k dispozici profesionální detektory kovů s max. hloubkou detekce oceli až 12 cm. Touto metodou ovšem nelze získat exaktní poznatky o prostorovém rozložení ocelové výztuže. Pro prvotní orientaci je to nezbytný nástroj.

Uspokojivějších výsledků lze dosáhnout pomocí rentgenového záření. Výstupem jsou digitální snímky objektu, kde je zpravidla ocelová výztuž jasně patrná. Problém nastane ve chvíli, kdy se ocelová výztuž nachází hluboko pod povrchem, kde nemají rentgenové paprsky dosah (dle vlastní zkušenosti je možné prozářit tloušťku betonu 20 cm). Nevýhodou této metody je



finanční, časová a technická náročnost a nutnost pořízení mnoha snímků z několika úhlů pro získání přesných informací o rozložení výztuže.

Obr. 51-52: Ilustrační snímky pocházející z rtg záření.

Další metodu představují termokamery (z vlastní zkušenosti méně osvědčená metoda). Pracují na principu digitálního záznamu diferencí v tepelných vodivostech různorodých materiálů (štuk x ocel). Nevýhodou této metody je invazivní zásah do materiálu. Jedná se o razantní zvyšování teploty do doby, kdy se projeví odlišná tepelná vodivost oceli vůči okolnímu materiálu. Lze provést dvěma způsoby:

- přímým napojením zdroje tepla na obnaženou ocelovou výztuž
- anebo zvýšením teploty vnějšího prostředí

Hrozí přitom rizika plynoucí zejména z rozdílné teplotní roztažnosti oceli a štuky (vznik mikroprasklin).

Je zde nutné uvést oblast využití metod pro detekci ocelových výztuží v historických objektech:

- detektory kovů a termokamery lze využít prakticky na všech kulturních památkách
- rentgenové záření má menší oblast využití, lze jej použít pouze na prostorové objekty

20. DISKUZE NAD VÝHODAMI A NEVÝHODAMI METOD VE VZTAHU K HISTORICKÝM OBJEKTŮM

V této kapitole budou diskutovány výhody a nevýhody metod používaných pro ochranu vnitřních ocelových výztuží (realkalizace, inhibitory koroze) řešené v souvislosti s praktickým využitím na historických objektech (solitérní plastiky, soubory plastik, výzdoby fasád, výzdoby interiérů). Je důležité zopakovat zde to, co již bylo řečeno v předchozích kapitolách; při restaurování předmětů kulturního dědictví je nutné, aby restaurátor ve spolupráci s technologi a dalšími odborníky minimalizoval rozsah invazivních zásahů do technické a výtvarné struktury díla.

Důležitým předpokladem pro použití realkalizačních metod a inhibitorů koroze na historických objektech je, aby při nich nedocházelo k nevratným ztrátám materiálu, negativním změnám estetických kvalit díla a negativním změnám fyzikálně-mechanických vlastností materiálu.

Největší výhodou, kterou disponují všechny vytipované metody ochrany, je minimální invazivní zásah do technické struktury historického objektu. Nedochozí přitom k nevratným ztrátám materiálu, což je z restaurátorského hlediska v současné době samozřejmé, ale nebylo tomu tak vždy.

U metod ochrany vnitřní ocelové výztuže pomocí realkalizace a inhibitorů koroze má zásadní vliv fakt, zda jsou aplikovány v exteriéru či interiéru. Realkalizační metody i inhibitory koroze představují zásah dočasného charakteru. Aplikováním těchto metod v podmínkách exteriéru může dojít k výraznému zkrácení pasivačního účinku. Vliv na to mají atmosférické polutanty, vysoká relativní vzdušná vlhkost, vysoká absolutní vlhkost substrátu atd. Relativně stálé klimatické podmínky v interiérech, a co je důležité – možnost úprav klimatických podmínek, životnost účinku prodlužují. Důležité je říci, že tyto metody nepředstavují permanentní ochranu vnitřní ocelové výztuže. Kladou tím požadavek na rekonzervaci – opětovnou aplikaci. Ve vztahu k historickým objektům se může zdát, že dočasná ochrana ocelové výztuže není ideální. Opak může být pravdou. V obecných východiscích české restaurátorské praxe je požadavek rekonzervace aktuální. Nevratné, permanentní zásahy do technických i výtvarných struktur mohou být často nepřijatelné. Výhodou rekonzervace je mj. to, že je spjata s vizuálním průzkumem historického objektu. V případě pravidelných rekonzervací dochází mj. k monitorování stavu předmětu kulturního dědictví, z čehož například lze stanovit životnost aplikované metody ochrany vnitřní ocelové výztuže v daném korozním prostředí. Rekonzervaci tedy lze považovat za výhodu, kterou mají všechny tři metody ochrany vnitřní ocelové výztuže.

Dalším důležitým aspektem je finanční, časová, technická a technologická náročnost aplikací. Je nutné říci, že realkalizační metody a inhibitory koroze se v těchto hlediscích mohou značně lišit. Z výše uvedených metod je zpravidla nejnáročnější elektrochemická realkalizace. Na rozdíl od chemické realkalizace a inhibitorů koroze vyžaduje vyšší technickou vybavenost

restaurátora (zdroj stejnosměrného elektrického proudu, ocelová síť), dále vyžaduje vyšší technologické znalosti a zkušenosti restaurátora z oboru fyziky. Pochopitelně jsou přímým důsledkem vyšší finanční náklady. Výhodou pro chemickou realkalizaci a inhibitory koroze jsou tedy nižší finanční náklady, nižší technická a technologická náročnost.

Při pečlivém výběru inhibitorů koroze se lze vyhnout negativním estetickým změnám. Na trhu je v současné době mnoho výrobků s inhibičními účinky od mnoha firem (Sika, Chemotex, Prokov Morava, Anker technology). Ne všechny však disponují bezbarvým vzhledem.

Neméně důležitým hlediskem posuzování výhod či nevýhod jednotlivých metod je jejich možnost aplikace *in-situ*. Zpravidla jsou podmínky pro restaurování *in-situ* méně vyhovující podmínkám restaurování v ateliéru. Přesto není možné paušálně doporučit, aby všechny transportovatelné historické objekty byly před ochranou vnitřní ocelové výztuže převezeny do ateliéru. Transport je vždy spojen s výraznými technickými riziky, které přímo ohrožují stav objektu. Jeho přemístění je vždy nutné pečlivě zvážit. Výhodou realkalizačních metod i inhibitorů koroze je, že lze tyto metody aplikovat *in-situ*.

Dále je nutné poznamenat, že metody vyvolávající realkalizační efekt působí cíleně na substrát (štuk, beton). V současnosti jsou k tomuto účelu využívány relativně silné koncentráty hydroxidů (např. sodný, draselný). Před samotnou realkalizací je nutné vždy zvážit technický stav objektu (míra koheze, praskliny, dutiny a jiné nehomogenity materiálu). Aby při realkalizaci nedocházelo k negativním změnám fyzikálně-mechanických vlastností štuky, vyžaduje se provedení zkoušek. K účelu realkalizace se nabízí také použití nanosuspenze

hydroxidu vápenatého v etanolu či propylalkoholu. Výhodou této látky vůči silným louhům je citlivost k materiálu a také aditivní konsolidační efekt. Inhibitory koroze, jejichž efektem je inhibice kovu, cílí přímo na ocelovou výztuž. Zpravidla tyto látky nepředstavují riziko pro kvalitu substrátu (vytipované inhibitory jsou vodné roztoky). Experimentální část této práce se mj. zabývala zkoumáním strukturálních změn ve štku vyvolaných inhibitory koroze.

Na závěr této kapitoly je nutné uvést požadavek, který kladou všechny metody ochrany vnitřní ocelové výztuže na restaurátora. Pro úspěšné provedení realkalizace či inhibice je určující, jak přesné má restaurátor informace o prostorovém rozložení ocelové výztuže ve štku (případně betonu). Jednotlivé metody pro její detekci byly popsány v kapitole „Problémy *in-situ*“.

21. CÍLE

Cílem je vytvoření metodiky ochrany vnitřní ocelové výztuže pomocí inhibitorů koroze. V rámci této práce budou zkoumány důležité vlastnosti inhibitorů koroze, jako je penetrace, viskozita, změna barevnosti povrchu po jejich aplikaci.

Na základě vyhodnocení standardizovaného průzkumu budou shrnuty, vyhodnoceny a interpretovány výsledky reflektující schopnost vytipovaných inhibitorů koroze pasivovat kovovou výztuž v daném korozním prostředí.

22. METODIKA EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI

22.1 PŘÍPRAVA VZORKŮ

V rámci testování byly připraveny dva typy vzorků:

- štukové vzorky o rozměrech 4 x 4 x 5 cm³
- ocelové vzorky o rozměrech 1,3 x 4,5 x 0,3 cm³

Štukové vzorky byly použity pro testování vlivu inhibitorů koroze na štuk, z něhož je tvořena plastická výzdoba interiéru kaple sv. Isidora. Vzorky oceli byly použity pro testování inhibice inhibitorů koroze.

Receptura štukových vzorků vychází z laboratorního průzkumu – analýza maltoviny dekorativních štukových prvků v kapli sv. Isidora v Křenově. Maltovinou byla směs několika frakcí kameniva a vápenné kaše, z níž byla pomocí forem připravena zkušební tělesa. Poměr kameniva a pojiva jsou dva díly kameniva a jeden díl pojiva. Takto připravené kvádříky byly exponovány na místě s vysokou relativní vlhkostí a přístupem CO₂ po dobu 54 dnů. Po uplynutí této doby byl proveden fenolftaleinový test pro stanovení míry karbonatů. Na celé lomové ploše štukového vzorku nebylo pozorováno typické růžové zbarvení pro nekarbonatovanou oblast štku. Před aplikováním inhibitorů koroze byl povrch všech štukových vzorků mechanicky upraven (zbroušením), aby došlo ke sjednocení nasákavosti. Před aplikací nebyl povrch vzorků předvlhčován a dále upravován. Aplikace byly prováděny na suchý povrch štukových vzorků. Mimo aplikační plochu byl povrch zkušebních těles oblepen voděodolnou fólií.

Ocelové vzorky byly připraveny z novodobé pásové oceli. Do testovaných inhibitorů byly vzorky ponořeny a to ve dvou

cyklech. Doba jednoho cyklu byla 10s. Ošetřené vzorky byly následně zavěšeny do větraného prostoru. Přebytek inhibitorů byl ze vzorků odstraněn. Následně probíhalo vážení všech vzorků pro zjištění ulpělého množství inhibitorů na povrchu vzorků. Poté byly vzorky opět zavěšeny do větraného prostoru bez přímého kontaktu s okolím a následně byly testovány.

22.2 POUŽITÉ MATERIÁLY

Pro potřeby experimentální části byly vytipovány tři komerčně dostupné inhibitory koroze. Základním kritériem při výběru byla bezbarvost. Všechny spadají do kategorie smíšených inhibitorů koroze blokuující katodický i anodický děj koroze.

- Ferrogard -903+ (fa Sika): nízko viskózní transparentní kapalina, světle hnědá, roztok amino-alkoholu a anorganických látek, medium voda, použití k ochraně železobetonových konstrukcí před korozi
- Ebol LMM (fa Chemotex): nízko viskózní transparentní kapalina, bezbarvá až slabě nažloutlá, roztok kationové kvarterní amonné sloučeniny, koko-alkyltrimethylu a methylsulfátů, medium voda, použití k ochraně železných i neželezných kovů před korozi
- Inhibitor koroze Indakor LAM (fa Chemotex): středně viskózní transparentní kapalina, nažloutlá, roztok aditivovaných aminových sloučenin, medium voda, použití jako antikorozi prostředek pro vodné systémy a pro vodou ředěné nátěrové hmoty

V následující tabulce jsou shrnuty základní vlastnosti převzaté z technických listů (viskozita, chemické složení, medium, množství sušiny, pH a cena).

Tab. 2: Charakterizace použitých inhibitorů.

	viskozita	chem. složení	medium	množství sušiny	pH	cena 1l
Ferrogard -903+	24 mPa.s	roztok amino-alkoholu a anorganických látek	voda	-	10	192 Kč
Ebol LMM	-	roztok kationové kvarterní amonné sloučeniny, koko-alkyltrimethylu a methylsulfátů	voda	28 - 32 %	4 - 8	212 Kč
Indakor LAM	-	roztok aditivovaných aminových sloučenin	voda	-	10	115 Kč

Prostředky Ebol LMM a Indakor LAM je nutné ředit na požadovanou koncentraci, přičemž se zpravidla vychází z informací technických listů o doporučené koncentraci. Důležitou vlastností je obsah sušiny. Pouze u jednoho inhibitoru koroze (Ebol LMM) je obsah sušiny uveden v techn. listu. U ostatních byla stanovena v experimentální části. Původní koncentrace Ebolu LMM je cca 30 hm. % aktivní látky a cca 14 hm. % aktivní látky pro Indakor LAM.

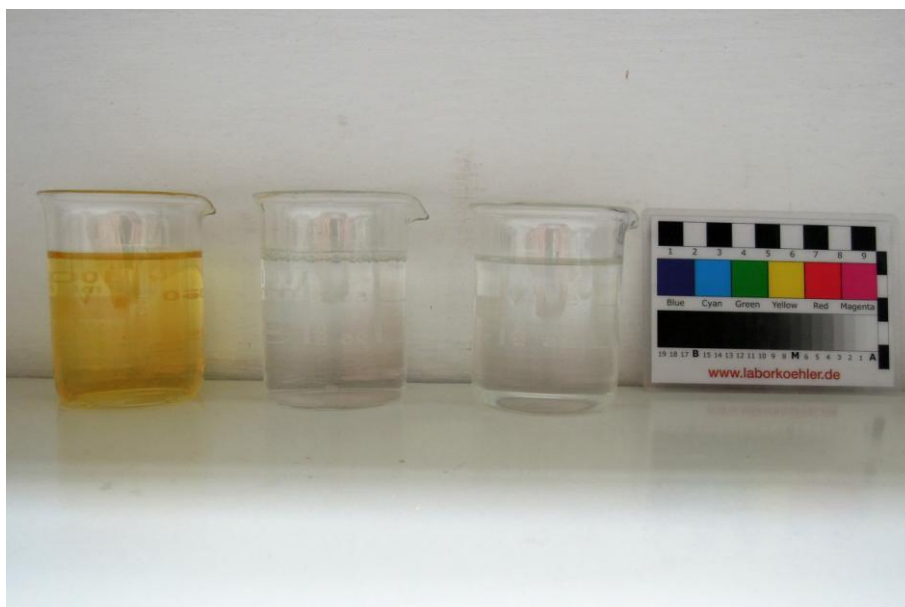
Skupenství sušin testovaných inhibitorů bylo odlišné. Inhibitory Sika Ferrogard -903+ a Chemotex Indakor LAM obsahují aktivní látky v kapalném skupenství (středně viskózní, olejovitá kapalina), což by mohlo mít, zvláště u kapalných

systemů, vliv na barevnost. Inhibitor Chemotex Ebol LMM obsahuje aktivní látky v pevném skupenství.

Pro experimentální část byly připraveny roztoky Ebolu LMM s 1 hm. % aktivní látky (podle technického listu se doporučuje používat roztok o koncentraci 0,1 – 1 %) a Indakoru LAM se 4 hm. % aktivní látky (podle technického listu se doporučuje používat roztok o koncentraci 1 – 4 %). Při stanovení vhodné koncentrace ředěných inhibitorů byla primárně sledována jejich viskozita, která měla být u testovaných systémů podobná.

Na následujícím obrázku je zachycena barevnost testovaných inhibitorů koroze. Pouze Ferrogard -903+ (fa Sika) nemá čirý vzhled. Je to světle hnědá kapalina, což může mít vliv na barevnost ošetřených materiálů.

Obr. 53: Barevnost testovaných inhibitorů koroze, zleva: Ferrogard -903+, Ebol LMM, Indakor LAM.



22.3 APLIKAČNÍ METODY INHIBITORŮ KOROZE

V restaurátorské praxi není možné aplikovat inhibitory koroze přímo na obnažený povrch ocelových výztuží. Tyto prostředky jsou zpravidla aplikovány na povrch šuku (případně betonu)

a ke kovové výztuži musí projít porézním systémem.

Pro šukové vzorky byly zvoleny tři metody aplikace inhibitorů koroze. Každá z metod má jiný vliv na hloubku penetrace šukem a spotřebu inhibitorů. Inhibitory koroze byly aplikovány formou plošného nátěru, zkrápění a kapilárního vzlínání. Nátěry byly prováděny pomocí štětce, zkrápění bylo prováděno injekční stříkačkou. Při kapilárním vzlínání bylo testovací těleso vsazeno do Petriho misky s inhibitorem, na jejíž dno byla umístěna plastová mřížka. Hladina inhibitoru sahala do výšky 0,5 cm zkušebního tělesa. Princip kapilárního vzlínání v praxi restaurátora lze nahradit za infúzi. Zkrápění povrchu a nátěr šukových vzorků byly prováděny ve třech cyklech. Technologická pauza mezi jednotlivými cykly aplikací byla 30 minut (po dosažení matného vzhledu povrchu šuku). Kapilární vzlínání bylo prováděno do doby, kdy došlo k celkovému ztmavnutí šukového vzorku vlivem přijaté kapaliny.

Povrch šukových vzorků, na něž byl aplikován inhibitor koroze Ferrogard -903+, byl po 1 dnu od aplikace opláchnut proudem studené vody pro odstranění přebytku inhibitoru z povrchu (podle údajů v technickém listu). Cílem bylo minimalizovat optické změny šukového podkladu.

Pro ocelové vzorky byla zvolena pouze aplikační metoda celkového ponoření do nádoby s inhibitorem koroze. Ponor vzorků byl proveden ve dvou cyklech (každý cyklus měřil 10s).

Jednotlivé aplikace inhibitorů probíhaly ve standardizovaných podmínkách laboratoře (teplota 20°C, RH 50-60 %).

22.4 SLEDOVANÉ VLASTNOSTI INHIBITORŮ KOROZE

22.4.1 Adsorpce inhibitorů koroze kapilárním vztlínáním

Měřením byla sledována schopnost testovaných inhibitorů pronikat porézní strukturou štukových vzorků. V průběhu měření byla sledována hmotnost inhibitoru koroze, kterou vzorek o definované ploše přijme za odmocninu času. Vážení probíhalo vždy v pravidelných intervalech po dobu 70 minut.

- metodika vychází z normy EN 1015-18, výpočtem byl stanoven koeficient kapilární nasákavosti $C = (\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{hod}^{-1/2})$

22.4.2 Viskozita

Jedná se o fyzikální vlastnost inhibitorů koroze, která ovlivňuje hloubku jejich penetrace, resp. jejich schopnost pronikat porézním systémem šuku. Měření bylo provedeno improvizovanou zkouškou, při které byl sledován čas průtoku definovaného množství inhibitoru (150 ml) definovaným odtokovým otvorem trychtýře (10 mm), každá sada měření roztoků inhibitorů koroze byla měřena 3x. Povrch trychtýře byl před každým měřením smáčen roztokem testovaného inhibitoru. Cílem měření bylo srovnání viskozit testovaných inhibitorů a dosažení podobné viskozity ředěných i neředěných inhibitorů.

22.4.3 Měření pH inhibitorů koroze

Přestože účinnost inhibitorů koroze není založena na realkalizačním efektu a tyto látky se snaží přímo navázat na povrch oceli, pravděpodobně zůstávají dočasně v porézní struktuře štku. Pro ochranu ocelové výztuže uvnitř historických objektů je vhodné prostředí s alkalickým pH (10 pH a více). Inhibitory koroze, které mají acidický charakter snižují schopnost štku chránit ocelovou výztuž před korozí. Aplikace kyselého nebo alkalického roztoku může být problematická, obzvláště v případech přítomnosti olejových složek, které v kyselém nebo alkalickém prostředí mohou podléhat hydrolyze (barevná povrchová úprava).

Testy hodnot pH používaných inhibitorů byly provedeny univerzálními indikátorovými papírky 1–14 pH (fa Fisher Scientific). Cílem bylo ověřit údaje z technických listů.

22.4.4 Rastrovací elektronová mikroskopie (REM) v BSE modu elektronů

Změny mikrostruktury a chování inhibitorů v porézním systému byly studovány pomocí rastrovací elektronové mikroskopie. Pro analýzu byly připraveny dva typy vzorků – nábrusy a kusové vzorky. Porovnány byly neošetřený vzorek se vzorky s inhibitory koroze.

Vzorky byly odebrány ve formě úlomku ze vzorových štukových těles, které byly dříve prosyceny testovanými inhibitory (Vz 1 – 7401, 7402). Poté byl připraven nábrus (příčný řez) zalitím do polyesterové pryskyřice Polylite 32032-00, s peroxidickým tvrdidlem Norpol 1. Po vytvrdnutí byl vzorek vybroušen a vyleštěn.

Na nábrusech byly zkoumány zejména strukturální změny v porézní struktuře štuků způsobené přítomností inhibitorů koroze (identifikace inhibitorů, jejich morfologie a chování v porézním systému). Na úlomcích štuků byly zkoumány zejména změny morfologie porézní struktury štuků a inhibitorů.

Skenovací elektronový mikroskop - mikroskop Tescan Mira s EDX analyzátozem v odraženém modu elektronů (BSE). Vzorke byly analyzovány ve vysokém napětí 20-25kV, před analýzou pouhličeny.

22.4.5 Stanovení spotřeby inhibitorů koroze

Tato vlastnost inhibitorů koroze je spjatá s ekonomickou stránkou využití inhibitorů v praxi. Dá se také předpokládat, že s vyšším obsahem ochranné látky bude dosaženo vyššího ochranného stupně.

V rámci měření spotřeby inhibitorů byly porovnány pouze dvě metody aplikace: nátěr štětcem, zkrápění povrchu. Byla sledována váha přijatého inhibitoru definovanou plochou vzorku po každém ze tří cyklů aplikace. Spotřeba byla vyjádřena v mg/cm². Dílčím cílem bylo potvrzení či vyvrácení domněnky, že aplikace formou zkrápění povrchu je efektivnější nežli aplikace formou nátěru.

22.4.6 Hloubka penetrace inhibitorů koroze štukem

Pro měření byla použita pouze aplikační metoda zkrápění povrchu. Všechny tři inhibitory byly aplikovány v definovaném množství 1ml na plochu 7 cm², hloubka penetrace byla zaznamenána po 1 až 3 cyklech. Sledována byla hloubka

penetrace v závislosti na čase. Hodnoty penetrace byly odečteny po 1, 5 a 30 minutách po aplikaci jednoho cyklu (u inhibitoru Ferrogard -903+ i po 60 minutách, neboť lze předpokládat změnu hloubky penetrace v čase).

22.4.7 Vzhled štuků po aplikaci inhibitorů

Inhibitory používané v experimentální části byly vybrány zejména z důvodu, že pouze minimálním způsobem ovlivňují barevnost substrátu. Při posuzování změn barevnosti byla pozornost věnována vzorkům štuků, které byly prosyceny inhibitorem koroze porovnáním s neošetřeným vzorkem štku. Zároveň byly sledovány změny barevnosti, které u štukových vzorků nastávají po aplikaci inhibitorů koroze a jejich následném vysušení.

Optické vlastnosti byly pozorovány na filmech sušiny (Obr. 54-56).

Obr. 54-56: Barevný odstín sušin inhibitorů, zleva: Ebol LMM, Indakor LAM, Ferrogard -903+.



22.4.8 Ochranný účinek inhibitorů koroze na technickém železe

Analytickou metodou UV-VIS spektroskopie (přístroj Beckman Coulter DU720) byl měřen účinek inhibice testovaných inhibitorů na povrch kovu.

Metoda UV-VIS spektroskopie je založena na měření absorbance. Její hodnota nám říká, jak inhibitor chrání povrch oceli. Vzorky byly připraveny extrakcí ošetřených vzorků v destilované vodě (konstantní množství destilované vody).

Pro měření byly připraveny vzorky tech. železa, jejichž povrch byl pokryt homogenní vrstvou korozních produktů (rzi). K přípravě byla použita novodobé plávkové technické železo, z něhož bylo vytvořeno 8ks vzorků s rozměrem 4,5 x 1,3 cm. Pro každý ze tří testovaných inhibitorů byly připraveny dva vzorky. Pro porovnání byly dále připraveny dva vzorky tech. železa bez ošetření inhibitorem koroze.

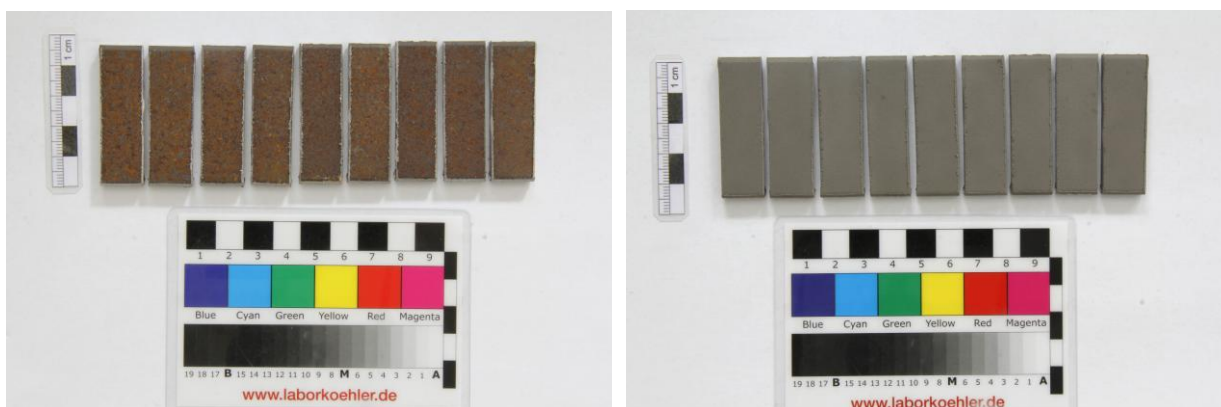
Po aplikaci inhibitoru a vyschnutí filmu (dosažení matného vzhledu) bylo zváženo množství ulpělého inhibitoru na povrchu vzorků.

22.4.9 Zkoušky přirozeného stárnutí ochrany na technickém železe

Byl připraven soubor vzorků z tech. železa (opět s homogenní vrstvou korozních produktů). Pro každý ze tří testovaných inhibitorů byly připraveny 3 ks vzorků. Povrch vzorků byl zbaven korozních produktů (rzi) pomocí abrazivní metody – mikropískování (Miniblaster I, abrazivum hnědý korund, F180). Po aplikaci inhibitoru a vyschnutí filmu (dosažení matného vzhledu) bylo zváženo množství ulpělého inhibitoru na povrchu ocelových vzorků.

Ošetřené vzorky tech. železa i vzorky bez ošetření byly umístěny do prostředí s vysokou hodnotou relativní vzdušné vlhkosti (cca 99 %). Vizuálním průzkumem budou následně hodnoceny chemické, strukturální a estetické změny na povrchu ošetřených a neošetřených vzorků. Hodnocení proběhne v závislosti na projevených změnách (cca 1-2 roky).

Obr. 57-58: Soubor železných vzorků pro zkoušky přirozeného stárnutí, stav před abrazivním čištěním (vlevo), po abrazivním čištění (vpravo).



Obr. 59: Soubor železných vzorků, vsazených do cihly, připravený pro zkoušky dlouhodobého stárnutí, zleva: Ebol LMM (3ks), Indakor LAM (3ks), Ferrogard -903+ (3ks), neošetřené vzorky zleva: 1., 4. a 7.



23. VÝSLEDKY

23.1 Charakteristické vlastnosti substrátů

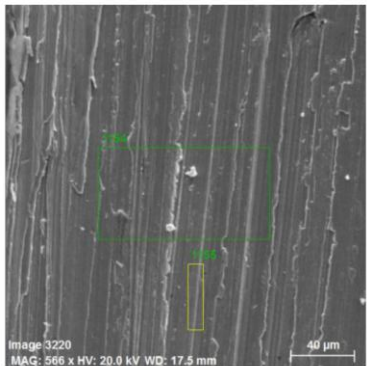
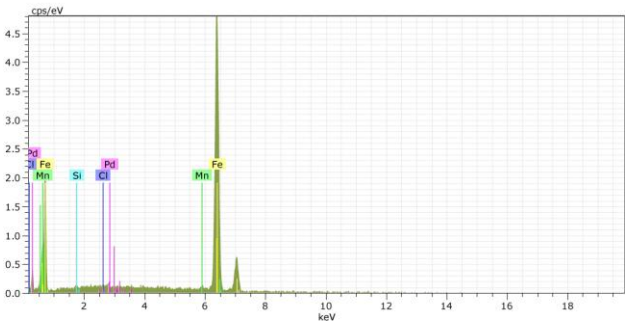
23.1.1 Charakteristické vlastnosti štuky

Tab. 2: Charakterizace testovaného štuky.

	objemová hmotnost (kg/m ³)	pevnost v tahu za ohybu (MPa)	pevnost v tlaku (MPa)
vápenný štuk (směs písků, mramorové moučky, vápenné kaše)	1774,25	0,76	1,28

23.1.2 Charakteristické vlastnosti technického železa

Tab. 3: Charakterizace testovaného kovu.

morfologie a struktura oceli (rastrovací elektronová mikroskopie)	prvkové složení (%)
 <p>Image 3220 MAG: 586 x HV: 20.0 kV WD: 17.5 mm 40 µm</p>	 <p>Obsah Fe: 99,17 Obsah Mn: 0,59 Obsah Si: 0,24</p>

23.2 Charakteristika testovaných roztoků inhibitorů

Tab. 4: Charakterizace testovaných roztoků inhibitorů koroze.

	pH	viskozita s/150 ml	sušina hm. %	vzhled filmů	popis sušiny
Ferrogard -903+	10 - 12	6,2	2 hm. %	světle hnědá	středně viskózní, olejovitá kapalina
Ebol LMM	6 - 7	6,4	1 hm. %	bílá	krystalická látka
Indakor LAM	8 - 9	5,3	4 hm. %	světle hnědá	středně viskózní, olejovitá kapalina

23.3 Viskozita

Podle viskozity neředěného inhibitoru (Ferrogard -903+) byly průběžně testovány viskozity ředěných inhibitorů (Ebol LMM, Indakor LAM). Velmi podobný čas vykazovaly roztoky 1% Ebolu LMM a Ferrogardu -903+. Čas průtoku 4% roztok inhibitoru koroze Indakor LAM se lišil, ale koncentraci roztoku nebylo možné dále zvyšovat (viz technický list).

Tyto informace byly základem pro stanovení požadované koncentrace ředěných inhibitorů.

23.4 Měření pH inhibitorů koroze

Pasivitě ocelových výztuží v historických objektech ze štuky (příp. betonu) prospívá alkalické prostředí. Z tohoto hlediska prokázal nejvhodnější pH inhibitor koroze Ferrogard -903+. Hodnoty pH jsou 10 - 12. Jedná se o alkalický roztok.

Hodnoty pH 4% roztoku inhibitoru koroze Indakor LAM jsou 8 – 9. Jedná se o alkalický roztok.

Méně vhodné hodnoty pH byly naměřeny 1% roztoku inhibitoru koroze Ebol LMM. Jeho hodnoty jsou 6 – 7 pH. Jedná se o neutrální až mírně acidický roztok.

23.5 Stanovení spotřeby inhibitorů koroze

Vyhodnocením spotřeby inhibitorů bylo zjištěno, že aplikační metodou zkrápění je možné docílit vyššího příjmu inhibitorů koroze kapilárním systémem štku v porovnání s aplikační metodou nátěru.

Tab. 5: Spotřeba inhibitorů, která byla naměřena po 1. aplikačním cyklu.

	Ferrogard -903+	Ebol LMM	Indakor LAM
nátěr (mg/cm²)	39	38	35
zkrápění (mg/cm²)	53	49	47

Další aplikační cykly se vždy vyznačovaly sníženým množstvím příjmu inhibitoru koroze do porézní struktury štku. To je způsobeno příjmem kapaliny do pórů porézního systému. Čím vyšší je obsah kapaliny v pórech, tím nižší je její další příjem, resp. spotřeba.

Ze dvou testovaných metod aplikace inhibitorů koroze byla neúčinnější metoda zkrápění.

23.6 Hloubka penetrace inhibitorů koroze štukem

Hloubka penetrace inhibitorů koroze byla měřena na štukových vzorcích standardizovaných rozměrů a definovanou aplikační plochou. Pro aplikaci inhibitorů byla zvolena pouze metoda zkrápění (v rámci srovnání s metodou nátěru vyhodnocena jako neúčinnější).

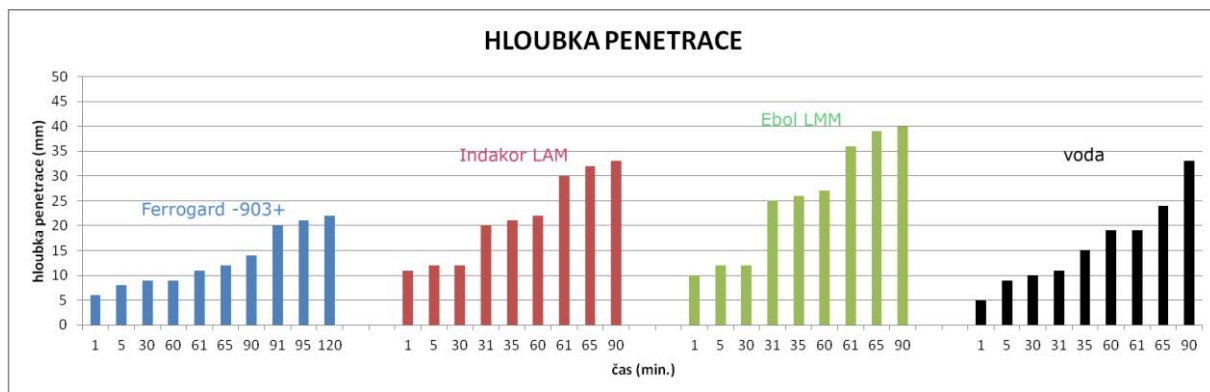
V následující tabulce a grafu jsou uvedeny výsledky měření hloubky penetrace jednotlivých inhibitorů v porovnání s vodou.

Tab. 6: Výsledky měření hloubky penetrace inhibitorů koroze v mm.

Cykly	1. cyklus			2. cyklus			3. cyklus		
	1	5	30	31	35	60	61	65	90
Čas od začátku aplikace (min.)									
1% Chemotex EboI LMM	9-10	11-12	11-12	24-25	25-26	26-27	35-36	38-39	39-40
4% Chemotex Indakor LAM	10-11	11-12	11-12	19-20	20-21	21-22	29-30	31-32	32-33
voda	4-5	8-9	9-10	10-11	14-15	18-19	18-19	23-24	32-33

Cykly	1. cyklus				2. cyklus			3. cyklus		
	1	5	30	60	61	65	90	91	95	120
Čas od začátku aplikace (min.)										
Sika Ferrogard -903+	5-6	7-8	8-9	8-9	10-11	11-12	13-14	19-20	20-21	21-22

Graf 1: Výsledky měření hloubky penetrace inhibitorů koroze, srovnání s vodou.



Obr. 60-63: Hloubka penetrace testovaných inhibitorů koroze 1 minutu po aplikaci 1. cyklu, zleva: Indakor LAM, EboI LMM, Ferrogard -903+, voda.



Z výsledků měření hloubky penetrace vyplývá, že všechny tři testované inhibitory koroze mají rozdílnou schopnost penetrovat porézní strukturou štuků. Největší schopnost penetrace byla naměřena u:

- 1% roztoku inhibitoru koroze EboI LMM. Po ukončení aplikace 90 min. od začátku měření penetroval do hloubky 40 mm štku.
- 4% roztok inhibitoru koroze Indakor LAM po ukončení aplikace 90 min. od začátku měření penetroval do hloubky 33 mm.

Nejmenší schopnost penetrace z testovaných inhibitorů koroze byla naměřena u:

- inhibitoru koroze Ferrogard -903+. Po ukončení aplikace 120 min. od začátku měření penetroval do hloubky 22 mm.

O smáčení kapilárního, porézního systému štuky rozhoduje povrchové napětí (štuk vs. inhibitor). Čím větší je rozdíl povrchových napětí, tím vyšší může být úhel smáčení povrchu štuky, což v důsledku snižuje schopnost smáčení jeho povrchu inhibitorem koroze. Olejovitá sušina inhibitorů koroze Ferrogard -903+ (fa Sika) a Indakor LAM (fa Chemotex) může ovlivňovat smáčivost povrchu štuky.

Měření hloubky penetrace inhibitorů koroze dále prokázalo, že všechny tři testované inhibitory neztrácejí schopnost penetrace po druhém a třetím cyklu aplikace. Lze provádět několikanásobnou aplikaci.

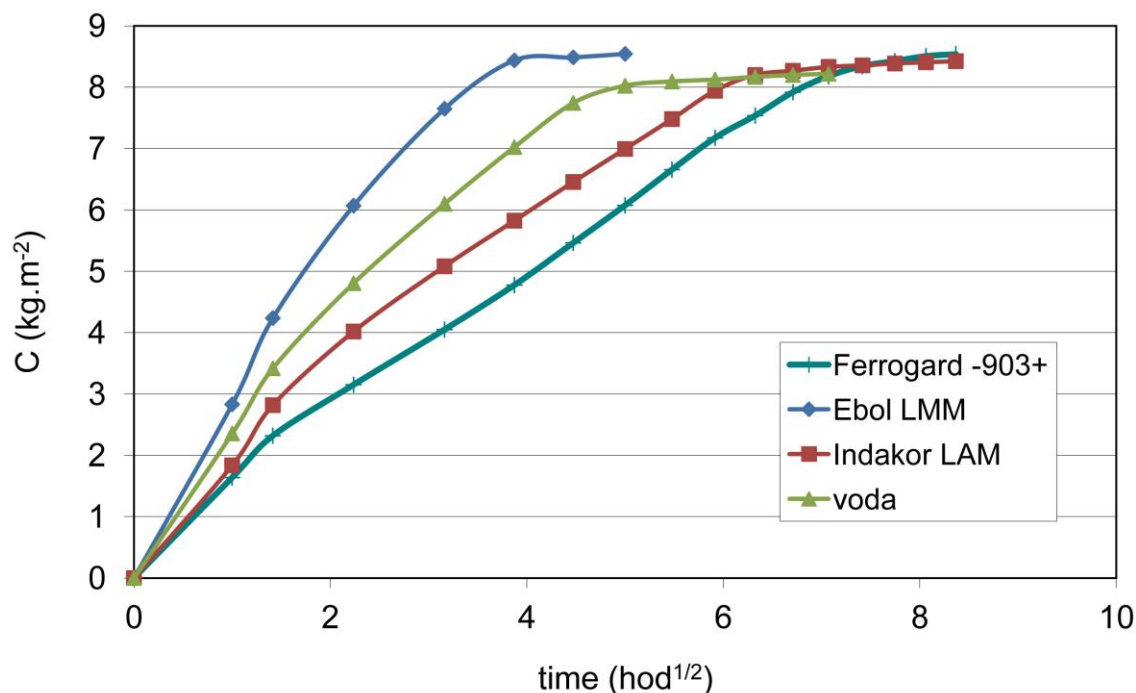
23.7 Absorpce inhibitorů koroze kapilárním vzlínáním

V následující tabulce jsou uvedena měření absorpce a kapilárního vzlínání inhibitorů koroze. Výsledky jsou prezentovány v grafu.

Tab. 7: Součinitel kapilární absorpce.

	součinitel kapilární absorpce
voda	1,41
Ebol LMM	1,71
Indakor LAM	1,18
Ferrogard -903+	1,02

Graf 2: Absorpce inhibitorů koroze testem kapilárního vztlínání.



Z výsledků měření vyplývá, že všechny tři testované inhibitory koroze mají kapilární aktivitu podobnou vodě (viz Graf 2). Mírná odchylka kapilární aktivity byla naměřena u inhibitoru koroze Ebol LMM, který prokázal nepodstatně vyšší kapilární aktivitu, což lze vysvětlit přítomností aditiv v inhibitoru (smáčidel).

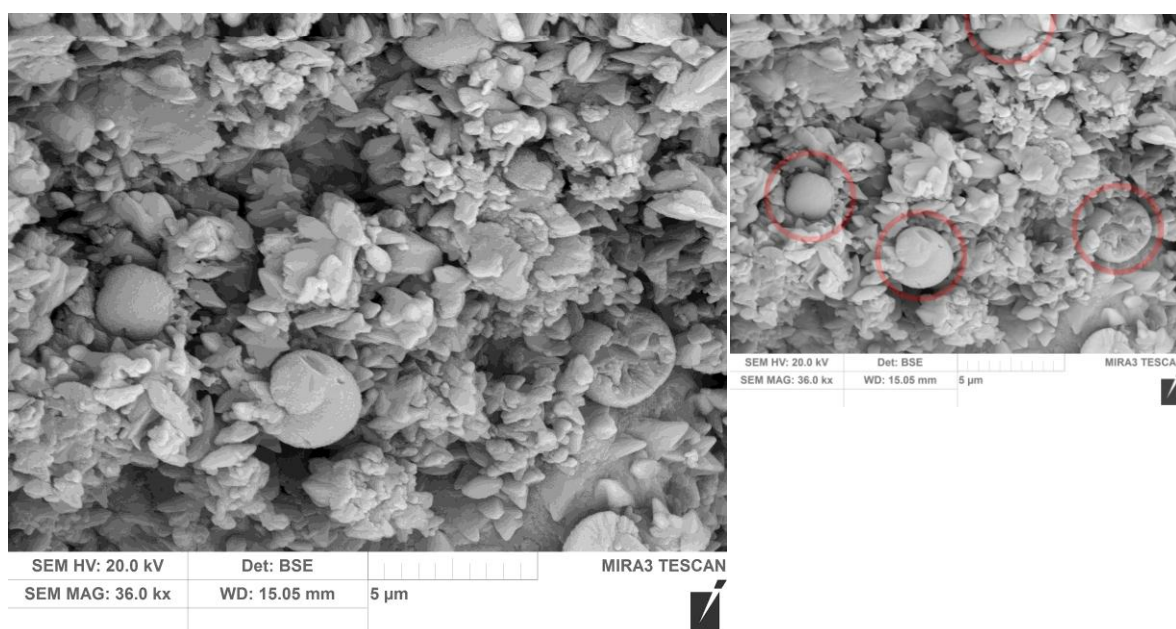
23.8 Rastrovací elektronová mikroskopie (REM-ESE, BSE)

Změny v porézni a povrchové struktuře štukových vzorků způsobené přítomností inhibitoru byly pozorovány pouze u inhibitoru koroze Ferrogard -903+ (fa Sika). V režimu odražených elektronů byly objeveny cizorodé útvary, které lze popsat jako kulovité objekty, jejichž povrch je zdrsňělý

(Ize připodobnit k plodnici Pýchavky obecné). Lokálně vyplňují póry štku. Jejich charakter je zachycen na obrázku.

U vzorků štuků ošetřených inhibitory koroze Ebol LMM a Indakor LAM nebyly v porézni ani povrchové struktuře štuků rozpoznány abnormality.

Obr. 64: Snímek porézni struktury štku ošetřeného inhibitorem koroze Ferrogard -903+, „pýchavkovité“ útvary inhibitoru koroze.



23.9 Vzhled štuků po aplikaci inhibitorů

V souvislosti se zkoumáním změn barevnosti bylo definované množství testovaných inhibitorů vysušeno do konstantní hmotnosti. Získaná aktivní látka byla fotograficky zdokumentována (s měřítkem a šedou škálou s barevnou tabulkou). Z výsledků vyplývá, že aktivní látky inhibitorů Sika Ferrogard -903+ a Chemotex Indakor LAM mají světle hnědý barevný odstín. Barva aktivní látky inhibitoru Chemotex Ebol

LMM je bílá (viz Foto 2 v kapitole Sledované vlastnosti inhibitorů koroze/Vzhled štuků po aplikaci inhibitorů). Pozorování probíhalo na ošetřených štukových vzorcích. Aplikace inhibitorů byla provedena metodou nátěru, zkrápění a kapilárního vzlínání.

Pozorované změny čtrnáct dní od ukončení aplikace:

- metoda nátěru a zkrápění - na štukových vzorcích nebyly vizuálním průzkumem prokázány změny barevnosti
- metoda kapilárního vzlínání - na štukových vzorcích byly vizuálním průzkumem prokázány změny barevnosti.

Vzhledem k relativně nízkým změnám barevnosti byla pro analýzu zvolena fotodokumentace za standardizovaných světelných podmínek s přiloženou barevnou škálou.

Vyhodnocení změn estetických vlastností štuků způsobené inhibitory koroze lze shrnout takto:

- 1% roztok inhibitoru koroze Ecol LMM způsobil pouze minimální změny barevnosti štuku. Povrch zkušebního tělesa získal velmi slabě bílý zákal.
- inhibitor koroze Ferrogard -903+ zanechal na povrchu zkušebního tělesa velmi slabě bílý zákal. Celková barevnost získala jemně žlutý tón.
- 4% roztok inhibitoru koroze Indakor LAM způsobil výraznější změny barevnosti štuku. Povrch zkušebního tělesa v ploše ztmavnul a dostal světle hnědý tón.

Obr. 65: Změny barevnosti štukových vzorků po aplikaci inhibitorů koroze, zleva: Ferrogard -903+, Indakor LAM, Ebol LMM, neošetřený vzorek.



Vzhledem k provádění navazujících analýz nebyla možná delší časová prodleva pro schnutí. Předpoklad je, že v průběhu dalších hodin, dnů a týdnů by mohlo ještě dojít ke snížení barevných změn především v důsledku dalšího vysychání zkušebních těles.

23.10 Ochranný účinek inhibitorů koroze na technické železo

V následující tabulce jsou uvedeny výsledky měření ochranného účinku inhibitorů na oceli naměřené pomocí metody UV-VIS spektrofotometrie, které jsou uvedeny jako hodnoty Absorbance naměřené na extraktech vzorků kovů po jejich uložení ve vodě (24 hodin). Vzhledem k nestejně velikosti vzorků byla hodnota přepočítána na plochu vzorku a v *Tab. 8* je uvedena tzv. relativní hodnota Absorbance.

Pro ilustraci byly vzorky hodnoceny vizuálně a po experimentu byl popsán jejich stav, průběh koroze (viz *Tab. 9*), které byly porovnány s výsledky měření.

Tab. 8: Výsledky měření ochranného účinku inhibitorů koroze na tech. železo.

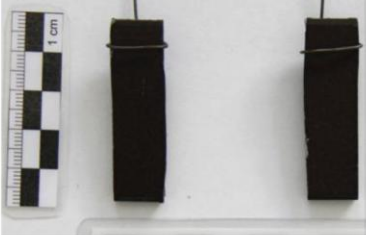





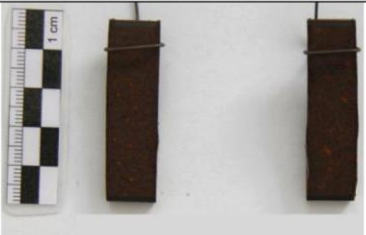





vzorky	plocha vzorku (cm ²)	množství zachyceného inhibitoru (mg)	relativní hodnota Absorbance
Ferrogard -903+ I.	1,28x4,62	24	0,316
Ferrogard -903+ II.	1,43x4,62	25	0,201
Ebol LMM II.	1,31x4,62	18	0,187
neošetřený I.	1,42x4,62	-	0,166
Ebol LMM I.	1,27x4,62	9	0,157
Indakor LAM II.	1,30x4,62	10	0,150
neošetřený II.	1,29x4,62	-	0,131
Indakor S.	1,38x4,62	19	0,129
Indakor LAM I.	1,32x4,62	22	0,116
Ferrogard -903+ S.	1,30x4,62	22	0,115



Obr. 66: Soubor vzorků tech. železa, stav po aplikaci inhibitorů, zleva: Indakor LAM (2ks), Ebol LMM (2ks), Ferrogard -903+ (2ks), neošetřené (2ks).



V následující tabulce je ilustrační srovnání ochranného účinku testovaných inhibitorů koroze na vzorcích z technického železa.

Tab. 9: Srovnání ochranného účinků inhibitorů koroze na vzorcích z technického železa.

	po aplikaci inhibitoru	extrakt (24 hod.)	ochranný účinek
Indakor LAM			
Ferrogard - 903+			
Ebol LMM			
neošetřený			

po aplikaci inhibitoru	ochranný účinek
zleva: Indakor LAM (2ks), Ebol LMM (2ks), Ferrogard -903+ (2ks), neošetřený (2ks)	zleva: Indakor LAM (2ks), Ebol LMM (2ks), Ferrogard -903+ (2ks), neošetřený (2ks)
	

Z výsledků je zřejmý odlišný ochranný účinek všech tří inhibitorů. Optické hodnocení změn povrchu kovových vzorků ukázalo špatný ochranný účinek Ebolu LMM, který je srovnatelný s neošetřeným vzorkem. V případě měření Absorbance se jako nejméně účinný jeví Ferrogard -903+, u nějž však nárůst Absorbance (v porovnání s optickými změnami) spíše souvisí s korozí v místech defektů (korozní produkty narostly na nově vytvořených řezných plochách). Ochranný účinek zde nelze jednoznačně vysvětlit; možností je, že inhibitor se na „čerstvě“ vytvořený povrch nenaváže (nevytvoří se ochranná vrstva) a jeho účinek je tedy na těchto místech zanedbatelný. Z optického posouzení naopak Ferrogard -903+ vycházejí s inhibitorem Indakor LAM jako nejúčinnější. Ostatní výsledky měření jsou srovnatelné s výsledky hodnocení optických změn.

23.11 Zkoušky dlouhodobého stárnutí ochrany na technickém železe

V následující tabulce jsou uvedeny výsledky měření množství ulpělého inhibitoru koroze na definované ploše cca 6 cm² železných vzorků, z jejichž povrchu bylo redukováno množství produktů koroze abrazivním čištěním.

Tab. 10: Množství ulpělého inhibitoru koroze na povrchu železných vzorků pro zkoušky přirozeného stárnutí ochrany.

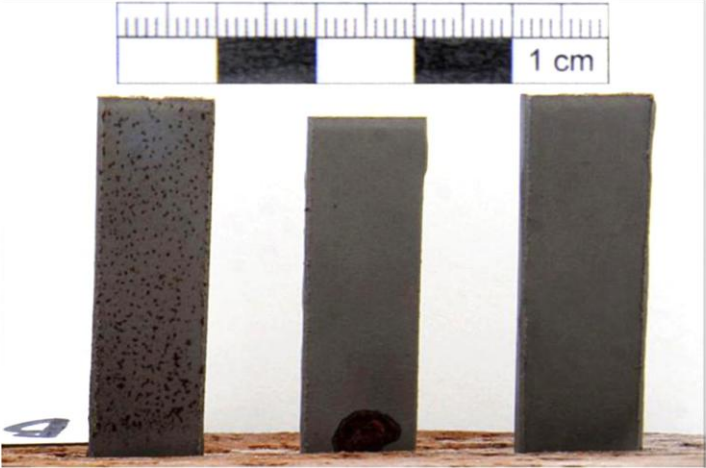
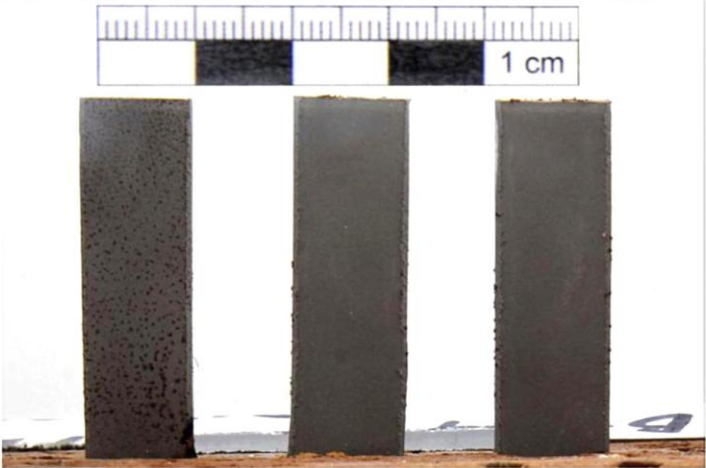
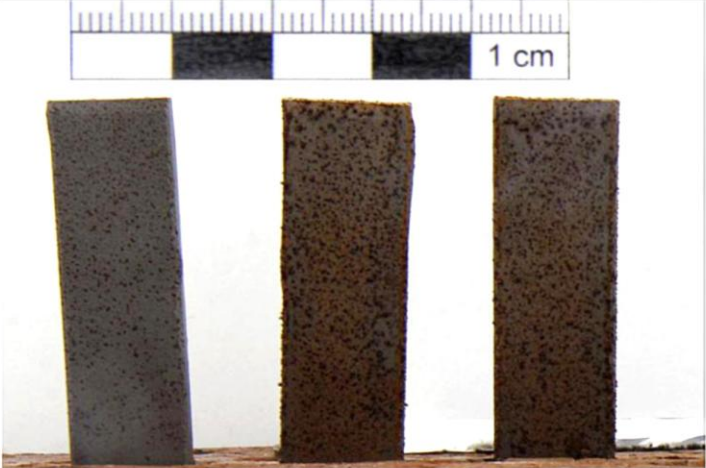
	množství zachyceného inhibitoru (mg)
Ferrogard -903+ I.	12
Ferrogard -903+ II.	17
Indakor LAM I.	7
Indakor LAM II.	8
Ebol LMM I.	4
Ebol LMM II.	6

Měřením množství ulpělého inhibitoru na železných vzorcích vytvořených pro zkoušky přirozeného stárnutí bylo zjištěno, že inhibitor ulpěl na povrchu vzorků v menším množství, nežli na povrchu vzorků určených pro hodnocení ochranného účinku (viz *Tab. 8* a *Tab. 10*). Tento fakt lze vysvětlit tím, že povrch ocelových vzorků, které byly vytvořeny pro zkoušky dlouhodobého stárnutí, měl hladší povrchovou strukturu v porovnání se vzorky vytvořenými pro zkoušky ochranného účinku, jejichž povrch byl hrubší (produkty koroze).

Při praktickém hodnocení ochranného účinku inhibitorů i zkoušek přirozeného stárnutí vzorků ve vodě a prostředí s vysokou relativní vlhkostí lze uvažovat o škále možností použití těchto prostředků i pro ochranu pohledových korodujících kovových prvků, které se běžně chrání antikorozními nátěry. Tyto prostředky, bezbarvé, transparentní, s viskozitou podobnou vodě, s popsáním účinkem, představují alternativní možnost jejich ochrany a prezentace bez použití sekundární úpravy. Avšak vzhledem k citlivosti na vlhkost, která se při experimentu jasně ukázala, však toto řešení není zcela dostatečné. Inhibitory by mohly najít využití spíše v prostředích se stabilně nižší relativní vlhkostí.

V následující tabulce je ilustrační srovnání ochranného účinku testovaných inhibitorů koroze na ocelových vzorcích při dlouhodobém stárnutí (1 měsíc).

Tab. 11: Srovnání stavu železných vzorků při dlouhodobém stárnutí.

stav ocelových vzorků po 1 měsíci stárnutí	
<p>Ferrogard -903+ první vzorek zleva: neošetřený</p>	
<p>Indakor LAM první vzorek zleva: neošetřený</p>	
<p>Ebol LMM první vzorek zleva: neošetřený</p>	

Tab. 12: Srovnání stavu železných vzorků při dlouhodobém stárnutí.



24. ZÁVĚR

Tato práce se zabývala hodnocením možností ochrany kovových prvků, které mohou být součástí uměleckých děl, zejména kamenných a štukových objektů. Práce se zabývala posouzením vlivu jednoho typu ochrany, pomocí tzv. inhibitorů koroze, které představují nejjednodušší řešení daného problému. Jedná se o prostředky, které se používají k ochraně (pasivaci) skrytých ocelových výztuží v interiéru i exteriéru. Aplikují se na povrch porézního substrátu a skrz porézní systém penetrují k povrchu oceli. Pro restaurátora kamene nebo štuků je základní znalost o použití těchto materiálů stěžejní pro provedení komplexního restaurátorského zásahu na objektu. Opomenutí ochrany kovových prvků, pokud je podceněno, může vést ke snížení životnosti restaurátorského zásahu nebo dalšímu poškození objektu.

Vzhledem k zaměření studia a současné praxi v restaurování armovaných objektů, představuje tato práce úvod do dané problematiky. Stanovené cíle práce byly základní – stanovit základní vlastnosti inhibitorů a popsat jejich chování vůči historickému poréznímu maltovému substrátu (tyto materiály jsou primárně určeny pro moderní stavební materiály). Dále bylo cílem ohodnotit jejich ochranný účinek na samotný kov. Dalším cílem, který považuji za zásadní, bylo vytvořit základní text, který popisuje, jak tyto látky *in-situ* účinně aplikovat a ohodnotit jejich předpokládaný účinek.

Experiment byl zaměřen na zkoumání vlastností vytipovaných inhibitorů koroze ve vztahu k poréznímu materiálu (štuk). Přitom byly testovány metody aplikace, provedeno bylo měření pH inhibitorů, měřena byla také hloubka penetrace

inhibitorů štukem, sledovány byly změny optických vlastností způsobené inhibitory koroze. Dále byl hodnocen ochranný účinek inhibitorů na korodující novodobé oceli. Přitom bylo využito analytické metody UV-VIS spektroskopie, ale také jednodušších, v praxi snadno proveditelných, testů. Ošetřené ocelové vzorky byly ponořeny po definovanou dobu 24 hodin do vody. Poté byly hodnoceny optické změny povrchu oceli. Výsledky testů ukazují, že inhibitory koroze lze pro ochranu armovaných výztuží úspěšně využít. Jejich účinek však závisí na několika faktorech, které se týkají jejich vlastností, aplikace a účinku:

- Při prvotním výběru vhodného inhibitoru koroze by si měl dát pozor zejména na jeho optické vlastnosti (transparentnost, bezbarvost), dále pH a viskozitu (čím nižší, tím lepší předpoklad dosažení větší hloubky penetrace a účinnější inhibice). Obvyklá koncentrace se pohybuje kolem 1–4 %.
- K samotné aplikaci by se mělo přistupovat po provedení zkoušek a nejlépe po mokřím procesu čištění (kvůli riziku vymytí inhibitoru). Pro aplikaci je nejúčinnější metoda zkrápění povrchu substrátu před metodou nátěru. Velmi dobře lze využít také infúzi. Jeden aplikační cyklus inhibitoru bývá zpravidla nedostačující (zpravidla se aplikace opakuje 2-3x). Při dalších aplikačních cyklech však roste riziko změn barevnosti substrátu. Z toho důvodu by měly být před dalšími cykly provedeny zkoušky na změny optických vlastností podkladu. Po ukončení aplikace by měl být historický objekt ponechán ve větraném prostoru bez přístupu srážkové vody (po dobu min. 14 dní). Při aplikaci je nutné myslet i na to, že hloubka penetrace těchto látek je omezená. V našem experimentu, při kterém substrát

simuloval omítky v kapli sv. Isidora v Křenově, bylo dosaženo maximální penetrace 4 cm při penetraci inhibitorem (3 aplikační cykly).

- I přesto nelze všechny inhibitory na trhu doporučit, neboť se vyznačují různou mírou ochrany, i když v případě látek se stejným účinkem a podobným složením nelze říci proč. Zde lze doporučit jednoduchý test na armatuře, která se ponoří na několik hodin do vody. V našem případě byly testovány tři inhibitory o podobném chemickém složení. I přes stejné podmínky aplikace jsou výsledky ochrany odlišné, Ebol je zcela nevyhovující, jeho účinek není pozorovatelný, vzorky korodovaly stejně rychle či rychleji jako referenční vzorky bez ochrany (viz Tab. 9 a Tab. 11). Ostatní vzorky poskytují dobrou ochranu, i když při zatížení kapalnou vodou nebo podmínkám s vysokou RH mírně korodují.
- Alternativním využitím inhibitorů koroze je také možnost jejich použití na obnaženou ocelovou výztuž případně na pohledové ocelové prvky. Ne všechny jsou však vhodné pro historické objekty.

25. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A PRAMENŮ

24.1 Seznam použité literatury

- ³ Kolektiv autorů, *Konzervování a restaurování kovů* (str. 136), Technické muzeum v Brně, Asociace muzeí a galerií ČR, 2011
- ⁴ Kolektiv autorů, *Konzervování a restaurování kovů* (str. 150), Technické muzeum v Brně, Asociace muzeí a galerií ČR, 2011
- ⁵ Kolektiv autorů, *Konzervování a restaurování kovů* (str. 138), Technické muzeum v Brně, Asociace muzeí a galerií ČR, 2011
- ⁶ Kolektiv autorů, *Konzervování a restaurování kovů* (str. 386), Technické muzeum v Brně, Asociace muzeí a galerií ČR, 2011
- ⁷ T.A. Söylev, M.G. Richardson, *Corrosion inhibitors of steel in concrete: State of the art report* (článek), 2006
- ⁸ Kolektiv autorů, *Konzervování a restaurování kovů* (str. 192), Technické muzeum v Brně, Asociace muzeí a galerií ČR, 2011

24.2 Seznam použitých pramenů

- ¹ webové stránky, <http://www.farakrenov.cz/index.php/historie>
- ² archivní pramen, *kniha počtů svatoisidorského bratrstva se zápisy od r. 1744-1872*

26. SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Popis vzorků k průzkumu povrchových úprav.

Tab. 2: Charakterizace testovaného šuku.

Tab. 3: Charakterizace testované oceli.

Tab. 4: Charakterizace testovaných roztoků inhibitorů koroze.

Tab. 5: Spotřeba inhibitorů, která byla naměřena po 1. aplikačním cyklu.

Tab. 6: Výsledky měření hloubky penetrace inhibitorů koroze v mm.

Tab. 7: Součinitel kapilární absorpce.

Tab. 8: Výsledky měření ochranného účinku inhibitorů koroze na ocel.

Tab. 9: Srovnání ochranného účinků inhibitorů koroze na ocelových vzorcích.

Tab. 10: Množství ulpělého inhibitoru koroze na povrchu ocelových vzorků pro zkoušky přirozeného stárnutí ochrany.

Tab. 11: Srovnání stavu ocelových vzorků při dlouhodobém stárnutí.

Tab. 12: Srovnání stavu ocelových vzorků při dlouhodobém stárnutí.

27. SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Výsledky měření hloubky penetrace inhibitorů koroze, srovnání s vodou.

Graf 2: Absorpce inhibitorů koroze testem kapilárního vzlínání.

28. SEZNAM TEXTOVÝCH PŘÍLOH

Příloha 1: Technický list inhibitoru koroze Ferrogard -903+.

Příloha 2: Technický list inhibitoru koroze Indakor LAM.

Příloha 3: Technický list inhibitoru koroze Ebol LMM.

Příloha 1: Technický list inhibitoru koroze FerroGard -903+

Technický list

Vydání 06/2011

Identifikační č.:

02 03 03 04 001 0 000001

Sika® FerroGard® -903+

Sika® FerroGard® -903+

Inhibitor koroze – impregnační nátěr

Construction

Popis výrobku

Sika® FerroGard® -903+ je povrchově aplikovaný inhibitor koroze, navržený jako antikorozi impregnace pro železobeton.

Sika® FerroGard® -903+ je na bázi organických sloučenin. Sika® FerroGard® -903+ proniká betonem a ulpívá na povrchu ocelové armatury.

Sika® FerroGard® -903+ se pojí se železem, oddaluje počátek vzniku koroze a redukuje její rychlost. Inhibitor koroze Sika® FerroGard® -903+ zvyšuje provozní životnost a dobu údržby na 15 let při použití jako součást „Ochrany a opravy železobetonu pomocí systémů Sika“.

Použití

Použití Sika® FerroGard® -903+:

- jako preventivní ochrana proti korozi železobetonových staveb v pozemním i podzemním stavitelství
- při opravách železobetonových staveb, k ošetření korodující nebo korozi ohrožené ocelové armatury v místech bez viditelného poškození betonu
- na základě svých vlastností je impregnace Sika® FerroGard® -903+ vhodná zvláště k prodloužení životnosti esteticky hodnotného dekorativního betonu

Vlastnosti / výhody

- splňuje požadavky Zásady 11 normy EN 1504-9 metoda 11.3 (Přidání inhibitorů do betonu)
- nemění vzhled betonové konstrukce
- nemá vliv na propustnost vodních par
- dlouhodobá a trvanlivá ochrana
- lze aplikovat na povrch stávajících sanačních malt a brání vytváření anodických oblastí na výztuži
- chrání jak katodickou (zásada 9 normy EN 1504-9) tak i anodickou oblast (zásada 11 normy EN 1504-9)
- může být aplikován tam, kde jiné opravy / ochrany nejsou možné
- prodlužuje životnost železobetonových staveb
- jednoduchá a ekonomická aplikace, obnovitelný
- může být použit jako část efektivního systému ochrany a opravy betonu
- hloubka průniku může být testována použitím Sika „Kvalitativního analytického testu“ – pro bližší informace kontaktujte technické oddělení

Testy

Zkušební zprávy

BRE, The use of surface applied FerroGard 903+ corrosion inhibitor to delay the onset of chloride induced corrosion in hardened concrete, BRE Client Report No. 224-346, 2005

Mott MacDonald, Evaluation of Sika FerroGard 901 and 903+ Corrosion Inhibitors, Ref. 26'063/001 Rev A, April 1996.

SAMARIS (Sustainable and Advanced Materials for Road Infrastructure) - Final Report, Deliverables D17a, D17b, D21 & D25a, Copenhagen, 2006



Údaje o výrobku

Vzhled / Barva transparentní kapalina

Balení 25 kg kbelík
220 kg sud

Skladování

Podmínky skladování / Trvanlivost 24 měsíců od data výroby v neporušeném originálním balení v suchu a na chladném místě. V případě teplot $< 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ může dojít ke tvoření krystalů. Pokud k tomuto dojde, zahřejte produkt na pokojovou teplotu ($+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$), poté důkladně promíchejte dokud nedojde k rozpuštění vzniklých krystalů.

Technická data

Chemická báze Vodný roztok amino-alkoholu a anorganických látek.

Objemová hmotnost $\sim 1,04\text{ kg/l}$ (při teplotě $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Hodnota pH ~ 10

Viskozita $\sim 24\text{ mPa}\cdot\text{s}$

Rychlost penetrace Měření prokázala, že Sika® FerroGard®-903+ může penetrovat betonem rychlostí až několik mm za den, do hloubky cca 25 až 40 mm během 1 měsíce. Penetrace může být urychlena nebo zpomalena v závislosti na kvalitě a nasákavosti podkladu.

Poznámka:

Pokud bude povrch ošetřený Sika® FerroGard®-903+ přetírán dalšími ochrannými nátěry (na cementové nebo akrylové bázi, popř. impregnací) nebo hydrofobní impregnací, dojde ke zpomalení rychlosti difúze inhibitoru, ale nedojde k úplnému zastavení jako u mechanismu difúze vodní páry.

Pokud se liší kvalita a propustnost betonu, doporučujeme provést předběžnou zkoušku hloubky průniku pomocí „Kvalitativní analýzy“ ke stanovení charakteristické rychlosti penetrace.

Informace o systému

Skladba systému Sika® FerroGard®-903+ je součástí „Ochrany a oprav železobetonu pomocí systémů Sika“:

Oprava: Sika® MonoTop®, Sika® Icoment® nebo SikaTop®

Inhibitor koroze: Sika® FerroGard®-903+

Ochrana betonu: Sikagard® nátěry nebo Sikagard® hydrofobní impregnace

Spotřeba Obvykle $\sim 0,500\text{ kg/m}^2$ ($\sim 0,480\text{ l/m}^2$).

U velmi hutných betonů s nízkou propustností, může být spotřeba Sika® FerroGard®-903+ snížena, ale nesmí být nižší než $0,300\text{ kg/m}^2$ ($0,290\text{ l/m}^2$).

Ke stanovení projektových požadavků, spotřeby a hloubky průniku může být použita Sika „Kvalitativní analýza“ – více informací v příslušných metodických příručkách.

Kvalita podkladu Podklad musí být čistý, pevný, suchý, zbavený veškerých nečistot a prachu jako jsou oleje, mastnoty, tuky, nátěry a povrchové ošetření atd.

Pokud bude podklad opatřen nátěrem, musí podklad vykazovat dostatečnou přidržnost.

Příprava podkladu Na oslabený, poškozený, popř. beton horší kvality mohou být pro opravu použity malty Sika® MonoTop®, SikaTop® nebo Sika® Icoment®.

Na pohledový beton nebo na beton, který bude opatřen dalšími nátěry lze použít tryskání vodním paprskem (s tlakem až do 18 MPa – 180 barů).

Na betonové povrchy, které budou opatřeny cementovými materiály lze použít tryskání nebo vysokotlaký vodní paprsek (s tlakem až do 60 MPa – 600 barů).

Nepoužívat horkou vodu!

Pro dokonalou penetraci Sika® FerroGard®-903+ je dovoleno předem podklad vysušit.

**Aplikační podmínky /
Omezení**

Teplota podkladu +5 °C min. / +40 °C max.

Okolní teplota +5 °C min. / +40 °C max.

Aplikace

Míchání Sika® FerroGard® -903+ je připraven ihned k použití, nesmí být ředěn. Před aplikací neprotřepávejte.

Postup aplikace / Nářadí Výrobek se nanáší v dostatečné vrstvě pomocí štětce s tvrdým vlasem, válečku nebo mechanického rozprašovače.

Po aplikaci poslední vrstvy, jakmile povrch ztratí lesk, provedte beztlaké vodní čištění (vodní hadicí).

Den po aplikaci je vhodné ošetřený povrch omýt tlakovou vodou (~ 10 MPa – 100 barů).

Čištění nářadí Očistěte veškeré použité nářadí ihned po ukončení práce vodou.

**Čekací doba /
Přetíratelnost****Počet nátěrů:**

Závisí na nasákavosti a vlhkosti podkladu a povětrnostních podmínkách.

Svislé povrchy:

Obvykle jsou nutné 2 až 3 nátěry pro dosažení požadované spotřeby. V případě hutného betonu mohou být požadovány další nátěry.

Vodorovné povrchy:

Naimpregnujte podklad 1 - 2 nátěry, vyvarujte hromadění materiálu.

Čekací doba mezi nátěry:

Čekací doba je závislá na nasákavosti povrchu a na povětrnostních podmínkách, obvykle 1 - 6 hodin. Nechte podklad mezi jednotlivými nátěry zaschnout až do dosažení matného vzhledu.

PŘETÍRATELNOST:

Pokud je aplikace provedena dle výše popsaného postupu, není nutné aplikovat další ochrannou vrstvu před nanášením Sikagard® hydrofobní impregnace, Sikagard® prodyšných nátěrů nebo Sikafloor® produktů. (Bližší informace naleznete v příslušných technických listech).

Pokud budou nanášeny nátěry od jiného výrobce, kontaktujte jej pro bližší informace o kompatibilitě se Sika® FerroGard®-903+.

Sika® FerroGard®-903+ lze použít během opravy nebo před aplikací cementových vrstev. Doporučujeme provést obvyklou přípravu podkladu.

Lze použít vyrovnávacích / opravných materiálů na podklad ošetřený Sika® FerroGard®-903+, např. SikaTop®-121, Sikagard®-720 EpoCem® nebo Sika® MonoTop®-107, SikaTop®-Seal 107, Sika® MonoTop®-620 atd. Tyto cementové materiály mohou být použity pouze na dostatečně otevřenou texturu povrchu a na důkladně očištěný podklad od nečistot.

Pokud budou použity jiné Sika produkty, je nejprve třeba provést zkušební testy.

Pokud budou použity materiály od jiného výrobce, je třeba jej kontaktovat a informovat se na kompatibilitu se Sika® FerroGard®-903+.

Důležitá upozornění	<p>Sika® FerroGard®-903+ neaplikujte v mrazu a dešti.</p> <p>Následující materiály chraňte před potřísněním Sika® FerroGard®-903+ během aplikace:</p> <ul style="list-style-type: none"> hliník, měď, galvanicky pokovenou ocel, mramor a další přírodní kámen <p>Viditelná poškození betonu (odlupování, trhliny) musí být opravena běžnými sanačními metodami (odstranění poškozeného betonu, ošetření výztuže, reprofilace atd.).</p> <p>Alternativní metodou výše popsaného může být aplikace Sika® FerroGard® až po aplikaci opravných materiálů (po jejich vytvrdnutí) – u čerstvě nanesených opravných materiálů nemusí dojít k ošetření inhibitorem. Pokud k tomuto přesto dojde, nízká difúze je očekávána v místech opravy.</p> <p>Maximální obsah chloridových iontů je 1,0 %, což odpovídá 1,7 % NaCl (hmotnosti cementu). Při překročení tohoto limitu, v závislosti na podmínkách a rychlosti koroze, může dojít ke zvýšení spotřeby Sika® FerroGard®-903+. Sledováním zkoušek a stupně koroze lze zjistit skutečnou spotřebu a účinnost.</p> <p>Nepoužívejte v zátopových oblastech nebo na podklady nasycené vodou.</p> <p>Neaplikujte za přímého slunečního záření a při silném větru a dešti.</p> <p>Nepoužívejte, je-li beton v přímém kontaktu s pitnou vodou.</p> <p>Podle podkladové plochy může vést ošetření pomocí impregnace Sika® FerroGard®-903+ k nepatrnému ztmavnutí barevného odstínu. Doporučujeme předem provést test.</p> <p>Pro ošetřování betonu používejte pouze pitnou studenou vodu.</p>
Vytvrzující detaily	
Ošetřování	<p>Sika® FerroGard®-903+ nevyžaduje žádné zvláštní ošetření během vytvrzování, pouze je třeba povrch ochránit před deštěm minimálně 4 hodiny po aplikaci.</p>
Platnost hodnot	<p>Hodnoty a data uvedená v tomto technickém listu jsou založena na výsledcích laboratorních testů. Tyto hodnoty se mohou při aplikaci v praxi lišit, což je mimo naši kontrolu.</p> <p>Detailní informace o zdravotní závadnosti a bezpečnosti práce jsou spolu s bezpečnostními informacemi (např. fyzikálními, toxikologickými a ekologickými daty) uvedeny v bezpečnostním listu.</p> <p>Aktuální technické a bezpečnostní listy, Prohlášení o shodě, Certifikáty najdete na internetové adrese www.sika.cz.</p>
Bezpečnostní předpisy	<p>Ochranná opatření</p> <ul style="list-style-type: none"> Při zpracování je nutné dodržovat bezpečnostní pokyny, platné předpisy příslušných úřadů o ochraně zdraví při práci. Při aplikaci používejte ochranný oděv, brýle a rukavice. Podrobnější údaje týkající se hygieny a bezpečnosti práce, ochrany životního prostředí jsou uvedeny v Bezpečnostním listu. Odstraňování odpadu Odpad dle zákona č. 185/2001 Sb. o odpadech. Odpad odvézt na skládku stavebního odpadu nebo předejte odborné firmě k likvidaci Fólie je možné recyklovat.
Místní omezení	<p>V závislosti na specifických místních omezeních se mohou výsledné vlastnosti tohoto výrobku v různých zemích lišit. Vždy se řiďte informacemi uvedenými v platném Technickém listu.</p>
Místní omezení	<p>V závislosti na specifických místních omezeních se mohou výsledné vlastnosti tohoto výrobku v různých zemích lišit. Vždy se řiďte informacemi uvedenými v platném Technickém listu.</p>

Příloha 2: Technický list inhibitoru koroze Indakor LAM.

CHEMOTEX Děčín a. s. Tovární 63 407 11 Děčín 32 - Boletice n. L. Czech Republic	Tel: +420-412-547 461 Fax: +420-412-547 200 E-mail: chemotex@chemotex.cz www.chemotex.cz
---	---

INDAKOR LAM

TECHNICKÝ LIST

TL 170/2001

Datum vydání: 24.10.2002

Datum revize: 28.5.2010

Charakteristika výrobku

INDAKOR LAM je modifikovaná trietanolaminová sůl kyseliny aminokapronové.

Použití

INDAKOR LAM se používá jako inhibitor koroze. určený zejména pro teplosměnné vodné okruhy, krátkodobou ochranu kovových materiálů při venkovním skladování. Dále slouží jako přísada do antikoročních vodou ředitelných barev apod.

Je účinný v koncentraci 0,5 až 4 %. Při této koncentraci se pH pohybuje od 8,5 do 10,5 .

Vlastnosti výrobku

INDAKOR LAM je nažloutlá, středně viskózní kapalina neomezeně mísitelná s vodou.

INDAKOR LAM musí vyhovovat těmto znakům jakosti:

Znak jakosti	Hodnota	Metodika stanovení
Celková alkalita v mg KOH/g	120 až 140	PN-ZM 170/2001
pH 2 % vodného roztoku	max. 10	PN-ZM 170/2001
Pěnovost	vyhovuje předepsané zkoušce	PN-ZM 170/2001
Stálost 10 % roztoku	vyhovuje předepsané zkoušce	PN-ZM 170/2001

Zpracování výrobku

INDAKOR LAM je určený zejména pro teplosměnné vodné okruhy, krátkodobou ochranu kovových materiálů při venkovním skladování.

Příklad dávkování: Do 800 litrové nádrže se dávkuje 20 litrů **INDAKORU LAM**. Během provozu je nutné kontrolovat pH, které se musí pohybovat kolem 8. Pokud pH klesne pod tuto hranici, je nutné přidat další **INDAKOR LAM**.

INDAKOR LAM dále slouží jako přísada do antikoročních vodou ředitelných barev apod.

Je účinný v koncentraci 0,5 až 4 %. Při této koncentraci se pH pohybuje od 8,5 do 10,5.

Balení, skladování

INDAKOR LAM se dodává v PE konvích o objemu 50 litrů nebo v jiných, předem dohodnutých obalech. Skladuje se v uzavřených obalech na místech chráněných před přímými povětrnostními vlivy. Doporučená teplota skladování je +5 až +25 °C.

Krátkodobé působení nižších teplot, např. při přepravě, nemá vliv na aplikační vlastnosti výrobku.

Doprava

INDAKOR LAM se dopravuje krytými dopravními prostředky. Nepodléhá předpisům ADR/RID.

Záruční doba

Je-li výrobek dopravován a skladován dle výše uvedených podmínek, je jeho záruční doba 6 měsíců od data vyskladnění.

Příloha 3: Technický list inhibitoru koroze Ebol LMM.

CHEMOTEX Děčín a.s. Tovární 63 407 11 <u>Děčín XXXII - Boletice n. L.</u> Czech Republic	Tel: +420-412-709 222 Fax: +420-412-547 200 E-mail: chemotex@chemotex.cz www.chemotex.cz
--	---

EBOL LMM

TECHNICKÝ LIST TL 559/2010

Datum vydání: 24.02.2010

Datum revize: -

Charakteristika výrobku

EBOL LMM je vodný roztok kationtové kvarterní amonné sloučeniny, koko-alkyltrimethylu a methylsulfátů.

Použití

EBOL LMM se používá jako inhibitor koroze k ochraně železných i neželezných kovů před korozí (ocel, hliník, měď, mosaz apod.) v širokém rozmezí pH.

EBOL LMM se adsorbuje na povrch kovu, kde tvoří velmi tenkou ochrannou vrstvu. Toto se využívá především ve formulacích kyselých čisticích přípravků, mořících lázní, k ochraně měděných a hliníkových povrchů před ztrátou lesku a k ochraně kovových povrchů před příliš agresivním působením louhů apod. **EBOL LMM** je též odolný vůči působení chlornanových roztoků a nezpůsobuje výrazné snižování obsahu aktivního chlóru během skladování čisticích přípravků na chlornanové bázi.

EBOL LMM se také využívá jako antistatického aditiva, jeho vodoodpudivého efektu lze využít na skle nebo na kovech. **EBOL LMM** má též schopnost emulgovat oleje.

Vlastnosti výrobku

EBOL LMM je bezbarvá až slabě nažloutlá kapalina, neomezeně mísitelná s vodou. Je možné jej kombinovat s jinými vodorozpuštěnými inhibitory koroze k dosažení synergických efektů. Ve vodných roztocích může **EBOL LMM** způsobit zvýšenou pěnovitost, kterou lze eliminovat vhodným odpěňovačem (dodává CHEMOTEX Děčín a.s.).

EBOL LMM musí vyhovovat těmto znakům kvality:

Znak kvality	Hodnota	Metodika stanovení
sušina (%)	28 až 32	PN-ZM 559/2010
pH vzorku	4 až 8	PN-ZM 559/2010
Barva (Gardner)	max. 2	ČSN 67 3011

Zpracování výrobku

Doporučená koncentrace pro obvyklou inhibici koroze kovů se pohybuje v rozmezí 0,1 až 1 % **EBOLu LMM** ve vodném roztoku. Kompatibilitu s ostatními komponenty vodní lázně je nutno předem pečlivě odzkoušet!

Je například možné doporučit kombinaci se silnými anorganickými kyselinami (např. 15% kyselina chlorovodíková) v množství 1 % v čisticím roztoku. Tyto roztoky se používají k odstranění minerálních nánosů (vodní kámen) z povrchů kovů. Mají však vliv na zvýšenou korozivnost povrchů. Přídavek **EBOLu LMM** spolehlivě ochrání kovový povrch před korozivním působením anorganické kyseliny, ale nebrání uvolnění vodního kamene z čištěného kovového povrchu. K urychlení čisticího procesu je možné použít zvýšené teploty čisticího roztoku na 60 až 90 °C a turbulentního proudění čisticího roztoku.

K určení optimální koncentrace dávkování **EBOLu LMM** k ochraně kovů a jejich slitin doporučujeme provést

TL 559/2010 EBOL LMM
Strana 1 (celkem 2)

pečlivé laboratorní zkoušky.

Balení, skladování

EBOL LMM se dodává v PE sudech o objemu 200 litrů nebo v jiných, předem dohodnutých obalech. Skladuje se v uzavřených obalech na místech chráněných před přímými povětrnostními vlivy. Doporučená teplota skladování je +15 až +25 °C. Při teplotách nižších než +6 °C může dojít ke ztrátě povrchově aktivní účinnosti!

Doprava

EBOL LMM se dopravuje krytými dopravními prostředky. Nepodléhá předpisům ADR/RID.

Záruční doba

Je-li výrobek dopravován a skladován dle výše uvedených podmínek, je jeho záruční doba 6 měsíců od data vyskladnění.

Poznámka

Údaje o vlastnostech výrobku a jeho zpracování byly získány laboratorním měřením a aplikačními zkouškami. Tento obchodní list však může jen právně nezávazně poradit, zpracování výrobku je nutno přizpůsobit konkrétním podmínkám.

