

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA RESTAUROVÁNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2024

Vojtěch Mrověc

Univerzita Pardubice

Fakulta restaurování

Ateliér restaurování nástěnné malby a sgrafita

I.

Teoretická část diplomové práce:

Porovnání konsolidantů na bázi křemičitých solů pro konsolidaci vápenných omítek

II.

Praktická část diplomové práce:

Dokumentace restaurátorského průzkumu a zásahu

Restaurování části nástěnné malby „Obrácení sv. Augustina“ v kostele sv. Lamberta v Subenu
(Rakousko)

Vypracoval: BcA. Vojtěch Mrovč

Vedoucí práce: Mgr. art. Jan Vojtěchovský, Ph.D.

Odborný konzultant: Ing. Karol Bayer

Diplomová práce

2024

Univerzita Pardubice
Fakulta restaurování
Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **BcA. Vojtěch Mrovč**
Osobní číslo: **R21019**
Studijní program: **N0222A310001 Restaurování a konzervace děl hmotného kulturního dědictví**
Specializace: **Nástěnná malba, sgrafito, mozaiky a polychromie omítek a kamene**
Téma práce: **Porovnání konsolidantů vápenných omítek na bázi vodních křemičitých solí; Restaurování části nástěnné malby Obrácení sv. Augustina v Subenu v Rakousku**
Zadávající katedra: **Ateliér restaurování malby a sgrafita**

Zásady pro vypracování

Diplomová práce je prací, ve které student dokládá, že je schopen samostatně a tvůrčím způsobem provést komplexní restaurátorský zásah a zároveň teoreticky prostudovat, invenčně a samostatně řešit dané teoretické téma.

Teoretickou část vypracuje diplomant na téma *”Srovnání konsolidantů vápenných omítek na bázi vodních křemičitých solí”*. Do srovnání zahrne diplomant také další anorganické zpevňovače jako estery kyseliny křemičité a vápenné nanosuspenze, prozkoumá i možnosti jejich vzájemných kombinací. Diplomant nejprve shromáždí potřebnou literaturu k tématu, na jejímž základě připraví podrobnou metodiku experimentu. Metodika bude zahrnovat přípravu omítkových vzorků, nastavení vhodných podmínek jejich zrání i způsob nanášení konsolidantů. Dále student vypracuje také metodiku vyhodnocení konsolidačních účinků i vizuálních dopadů na vzorky omítek. Následně provede experiment, u kterého se zaměří na správnou aplikaci konsolidačních prostředků v porovnatelných koncentracích za dodržení stejných podmínek aplikace a zajištění jejich vhodného a porovnatelného stárnutí. Následně provede všechna potřebná měření a další hodnocení vzorků po zpevnění. Získané hodnoty a informace přehledně porovná a v rámci diskuse vyhodnotí. Na závěr navrhne další směr bádání.

V rámci praktické práce byl diplomantovi přidělen úsek nástěnné malby *”personifikace boží moudrosti s dvojicí andělů”*, který je součástí nástěnné malby Obrácení sv. Augustina v klenbě nad kruchtou klášterního kostela sv. Lamberta v rakouském Subenu. Na tomto úseku diplomant provede restaurátorský průzkum. V jeho závěru vyhodnotí všechna zjištění provedená in situ, uměleckohistorická bádání i laboratorní průzkumy. Po odsouhlasení postupu provede komplexní restaurátorský zásah. Průběh prací bude konzultován s vedoucím praktické práce, s vedoucím diplomové práce, se zástupcem investora i se zástupci BDA. Nedílnou součástí magisterské práce je vyhotovení restaurátorské dokumentace přiděleného úseku malby. Tato dokumentace musí obsahovat všechny nezbytné údaje a kapitoly.

Po formální stránce dodrží diplomant pravidla psaní diplomových prací, stanovená na FR UPCE.

Textová podoba diplomové práce včetně všech fotografií, grafických zákresů a dalších vyobrazení bude vedoucí/mu práce předložena ke korektuře nejpozději tři týdny před oficiálním odevzdáním diplomové práce.

Rozsah pracovní zprávy:

Rozsah grafických prací:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- Paolo Mora – Laura Mora – Paul Philippot, *Conservation of Wall Paintings*. London 1984.
- Bohuslav Slánský, *Technika malby I a II*. Praha 2003
- Ivan Vaněček, *Nástěnné malby*. VŠCHT Praha 1997.
- Jiří Zelinger a kolektiv, *Chemie v práci konzervátora a restaurátora*. Praha 1987.
- Jaroslav Herout, *Slabikář návštěvníků památek*. Středisko památkové péče a ochrany přírody Středočeského kraje, Praha, 1980
- Ziegenbalg G., Piaszczyński E., *The combined application of calciumhydroxide nano-sols and silicic acid ester – a promising way to consolidate stone and mortar*, sborník -12th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone, New York 2012
- Černý A., *Srovnání možností strukturální konsolidace vápenných omítek různými typy křemičitých solí*, Litomyšl 2003, Bakalářská práce, Institut restaurování a konzervačních technik Litomyšl, o.p.s.
- Šrámková E., *Srovnání možností strukturální konsolidace vápenných omítek různými typy křemičitých solí*, Bakalářská práce, Institut restaurování a konzervačních technik Litomyšl, o.p.s., Litomyšl 2003,
- Brus J., *Studium chování směsných konsolidantů kamene*, Diplomová práce., Vysoká škola chemicko-technologická, Praha 1994
- Dunajská, J., *Tests on sustainability of consolidation treatments with CaLoSil nanosuspensions on plaster reference samples*, Diplomová práce, Fakulta restaurování Univerzity Pardubice, Litomyšl 2012
- Vojtěchovský, J., *Povrchová konsolidace nástěnných maleb pomocí vápenno-alkoholových suspenzí a jejich směsí s estery kyseliny křemičité*, Disertační práce, Fakulta stavební, České vysoké učení, Praha 2017
- Antoš P., Burian A., *Vodní sklo. Výroba, struktura, vlastnosti a použití*, Ústí nad Labem 2002
- Kuneš, P., *Vliv hydroxidu vápenatého na zpevnění vápenné malty organokřemičitým esterem*. Praha, 2012. Disertační práce. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze.
- Diplomant dohledá a použije i další literaturu potřebnou ke zdárnému dokončení práce

Vedoucí diplomové práce:

Mgr. art. Jan Vojtěchovský, Ph.D.

Ateliér restaurování malby a sgrafita

Datum zadání diplomové práce:

30. listopadu 2023

Termín odevzdání diplomové práce:

14. srpna 2024

L.S.

Mgr. BcA. Radomír Slovík
děkan

MgA. Zuzana Wichterlová
vedoucí ateliéru

V Litomyšli dne 13. srpna 2024

Prohlášení

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 21. 8. 2024

BcA. Vojtěch Mrověc

Název

Porovnání konsolidantů na bázi křemičitých solů pro konsolidaci vápenných omítek; restaurování části nástěnné malby „Obrácení sv. Augustina“ v kostele sv. Lamberta v Subenu (Rakousko).

Anotace

Práce je rozdělena do dvou hlavních částí, teoretické a praktické. První část se zaměřuje na problematiku konsolidace degradované vápenné omítky pomocí nanomateriálů a roztoků. Je zde představena základní problematika, stručná historie vývoje konsolidantů a vysvětlení základních pojmů. Experiment je zaměřen především na použití křemičitých solů. Pro porovnání jsou do práce zahrnuty konsolidanty na bázi esteru kyseliny křemičité a vápenné nanosuspenze. Práce dále rozšiřuje poznatky o samotných gelech a v experimentální části zkoumá hybridní systémy ve formě možných kombinací křemičitých solů s vápennou nanosuspenzí. Cílem práce a experimentu je průzkum trhu, výběr konkrétních prostředků a následné podrobné zkoumání vlastností těchto materiálů, jejich účinnost při konsolidaci vápenných omítek a možnosti jejich aplikace.

Druhá část práce představuje restaurátorskou dokumentaci, která zahrnuje restaurátorský a umělecko-historický průzkum. Restaurátorský zásah je proveden na konkrétním historickém uměleckém díle. Dokumentace se zabývá zejména částí nástěnné malby nad varhanní kruchtou v kostele svatého Lamberta v Subenu v Horním Rakousku. Restaurátorský zásah byl proveden na malbě, jejímž autorem je tyrolský malíř Johann Jakob Zeiller. Figurální barokní malba datovaná rokem 1768 nese námět „Obrácení svatého Augustina“. Restaurátorské práce probíhaly ve spolupráci se studenty Fakulty restaurování Univerzity Pardubice, pod vedením Jörga Riedela a Zuzany Wichterlové.

Klíčová slova

restaurování, konzervace, nástěnná malba, konsolidanty, křemičité soly, hybridní konsolidační systémy, vápenné omítky, degradace, nanomateriály, historické památky, Obrácení sv. Augustina, klášter, Johann Jakob Zeiller, vápenná freska, freska, památková péče, restaurátorský průzkum, dokumentace

Title

Comparison of consolidants of lime plasters based on aqueous silica sols; Restoration of part of the wall painting of the Conversion of St. Augustine in Suben, Austria

Annotation

The thesis is divided into two main parts, theoretical and practical. The first part focuses on the consolidation of degraded lime plaster using nanomaterials and solutions. The basic issues, a brief history of the development of consolidants and an explanation of the basic concepts are presented. The experiment is mainly focused on the use of nanosilica sols. The thesis includes consolidants based on silica ester and lime nanosuspensions for comparison. The thesis further extends the knowledge of the gels themselves and in the experimental part investigates hybrid systems in the form of possible combinations of silica sols with lime nanosuspension. The aim of the work and the experiment is to research the market, select specific products and then to investigate in detail the properties of these materials, their effectiveness in the consolidation of lime plasters and the possibilities of their application. The second part of the thesis presents the conservation documentation, which includes restoration and art historical research. Restoration is an intervention carried out on a specific work of art. The documentation deals in particular with a part of the wall painting above the organ choir in the church of St. Lambert in Suben, Upper Austria. The restoration work was carried out on the wall painting by the Tyrolean painter Johann Jakob Zeiller. The figurative Baroque painting, which dates from 1768, has the theme „The Conversion of St. Augustine“. The restoration work was carried out in cooperation with students of the Faculty of Restoration at the University of Pardubice, under the supervision of Jörg Riedel and Zuzana Wichterlová.

Keywords

restoration, conservation, mural painting, wall painting, consolidants, nanosilica sols, hybrid consolidation systems, lime plasters, degradation, nanomaterials, historical monuments, Conversion of St. Augustine, monastery, Johann Jakob Zeiller, lime fresco, fresco, heritage care, restoration survey, documentation

Poděkování

Rád bych na tomto místě vyjádřil své upřímné poděkování všem, kteří mě podporovali během tvorby této diplomové práce i během celého mého studia. V první řadě děkuji svým rodičům a blízkým za jejich nepřetržitou podporu, trpělivost a víru ve mne, která pro mě byla v průběhu studia neocenitelná. Mé poděkování patří také vedoucímu diplomové práce panu Janu Vojtěchovskému za jeho odborné vedení a cenné rady, které mi poskytoval po celou dobu práce.

Velké díky patří panu Karolu Bayerovi za jeho pomoc, konzultace a odborné vedení při experimentální části mé práce. Dále bych chtěl poděkovat všem z katedry chemické technologie za jejich pomoc při sběru dat a vyhodnocování výsledků, jmenovitě Renatě Tišlové a Elišce Bečkové.

Zvláštní poděkování náleží paní Zuzaně Wichterlové za to, že mi umožnila získat cenné zkušenosti v zahraničí a zprostředkovala mi praktickou stáž v rakouském Subenu. V neposlední řadě bych chtěl vyjádřit vděčnost restaurátorovi Jörgu Riedelovi za jeho důvěru a za to, že nás přijal do svého realizačního týmu. Protože mluvím v množném čísle, nesmím opomenout celý restaurátorský tým v Subenu, který vytvořil příjemné a inspirativní pracovní prostředí.

Všem vám patří mé srdečné díky!

I. Obsah teoretické části

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Úvod do problematiky | 14 |
| 2 | Současný stav poznání..... | 61 |
| 2.1 | Degradace..... | 16 |
| 2.2 | Konsolidace..... | 17 |
| 2.3 | Materiály pro strukturální konsolidaci omítek a malt | 19 |
| 2.3.1 | Křemičité soly | 20 |
| 2.3.2 | Konsolidanty na bázi esteru kyseliny křemičité..... | 24 |
| 2.3.3 | Vápenné nanosuspenze | 25 |
| 2.3.4 | Porovnání křemičitých solů s organokřemičitany a vápennou suspenzí | 27 |
| 2.3.5 | Hybridní konsolidační systémy..... | 29 |
| 2.3.6 | Vliv relativní vlhkosti na vlastnosti křemičitého gelu..... | 31 |
| 3 | EXPERIMENT | 32 |
| 3.1 | Konsolidační prostředky..... | 32 |
| 3.2 | Charakteristika testovaných konsolidantů..... | 34 |
| 3.2.1 | Produkty Levasil® | 34 |
| 3.2.2 | Ludox® PX30 · | 41 |
| 3.2.3 | Porosil® ZTS | 42 |
| 3.2.4 | Primer® Hydro Silicatfestiger | 43 |
| 3.2.5 | Sebosil® S | 44 |
| 3.2.6 | SioXaL® | 45 |
| 3.2.7 | Produkty typu KSE® | 47 |
| 3.2.8 | CaLoSiL E25® | 48 |
| 3.3 | Příprava vzorků..... | 49 |
| 3.3.1 | Gely na Petriho miskách | 49 |
| 3.3.2 | Příprava vzorků imitace degradované vápenné omítky..... | 50 |
| 3.4 | Aplikace konsolidantů na vzorky degradované vápenné omítky a zrání vzorků..... | 54 |
| 3.4.1 | Aplikace samostatných konsolidantů | 54 |
| 3.4.2 | Kondicionace konsolidovaných vzorků..... | 56 |
| 3.5 | Metodika testování | 57 |
| 3.5.1 | Stanovení pH křemičitých solů | 57 |
| 3.5.2 | Stanovení obsahu sušiny | 59 |
| 3.5.3 | Studium změn gelů v závislosti relativní vzdušné vlhkosti | 60 |
| 3.5.4 | Kvantitativní složení vytvrdnutých gelů | 61 |
| 3.5.5 | Množství vyloučeného gelu, či pevné složky v tělesech..... | 62 |
| 3.5.6 | Kolorometrie..... | 64 |
| 3.5.7 | Měření kapilární nasákavosti..... | 67 |
| 3.5.8 | Ultrazvuková transmise..... | 70 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 3.5.9 | Pevnost v tlaku..... | 72 |
| 3.6 | Výsledky a diskuse..... | 74 |
| 3.6.1 | Vlastnosti konsolidantů - pH a obsah sušiny..... | 74 |
| 3.6.2 | Vzhled gelů..... | 79 |
| 3.6.3 | Kombinace křemičitých solů s CaLoSiLem E25 na Petriho miskách..... | 80 |
| 3.6.4 | Studium změn gelů v závislosti na relativní vzdušné vlhkosti..... | 82 |
| 3.6.5 | Kvantitativní složení vytvrdnutých gelů..... | 87 |
| 3.6.6 | Výsledky množství vyloučeného gelu/pevné složky v dusaných vzorcích..... | 88 |
| 3.6.7 | Vyhodnocení kolorometrie..... | 92 |
| 3.6.8 | Měření nasákavosti..... | 98 |
| 3.6.9 | Ultrazvuková transmise..... | 101 |
| 3.6.10 | Pevnost v tlaku..... | 106 |
| 3.7 | Shrnutí výsledků diskuze..... | 109 |
| 4 | Seznam literatury a pramenů..... | 113 |
| 5 | Fotografická příloha..... | 117 |

II. Obsah praktické části

| | | |
|---------|--|-----|
| 1 | Úvod | 131 |
| 2 | Úvodní údaje | 132 |
| 2.1 | Lokalizace památky | 132 |
| 2.2 | Údaje o památce..... | 132 |
| 2.3 | Údaje o akci..... | 134 |
| 2.4 | Údaje o dokumentaci | 135 |
| 3 | PRŮZKUM DÍLA..... | 137 |
| 3.1 | Cíle a metody průzkumu..... | 137 |
| 3.2 | Uměleckohistorický průzkum..... | 138 |
| 3.2.1 | Historie objektu..... | 138 |
| 3.2.2 | Historie díla a předchozí restaurátorské zásahy | 140 |
| 3.2.3 | Popis kostela..... | 141 |
| 3.2.4 | Popis výmalby kostela..... | 142 |
| 3.2.5 | Popis díla určeného ke komplexnímu restaurátorskému zásahu..... | 142 |
| 3.2.6 | Popis a ikonografie výjevu | 142 |
| 3.2.7 | Předlohy a analogie díla | 144 |
| 3.3 | Restaurátorský průzkum..... | 145 |
| 3.3.1 | Vizuální průzkum v rozptýleném světle | 145 |
| 3.3.1.1 | Druhotné zásahy zjištěné vizuálním průzkumem..... | 145 |
| 3.3.1.2 | Stav malby a popis poškození zjištěné vizuálním průzkumem | 146 |
| 3.3.2 | Vizuální průzkum v ostrém bočním nasvícení | 146 |
| 3.3.3 | Průzkum v ultrafialovém světle a pomocí technické fotografie | 147 |
| 3.3.4 | Perkusní průzkum (poklepem) | 148 |
| 3.4 | Přírodovědný (chemickotechnologický) průzkum | 148 |
| 3.4.1 | Konkrétní cíle průzkumu | 148 |
| 3.4.2 | Výsledky přírodovědného průzkumu..... | 149 |
| 3.5 | Komplexní vyhodnocení průzkumu..... | 149 |
| 3.5.1 | Historie objektu..... | 149 |
| 3.5.2 | Popis a námět díla určeného k provedení komplexního restaurátorského zásahu .. | 150 |
| 3.5.3 | Předlohy a analogie díla | 150 |
| 3.5.4 | Historie díla a druhotné zásahy na restaurovaném díle..... | 151 |
| 3.5.4.1 | Původní technika malby | 151 |
| 3.5.5 | Stav díla (poškození a jeho příčiny)..... | 152 |
| 4 | Zkoušky čištění | 154 |
| 4.1 | Cíle a lokalizace provedených zkoušek | 154 |
| 4.2 | Použité metody a materiály | 154 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 4.2.1 | Výsledky zkoušek čištění | 155 |
| 5 | Návrh restaurátorského zákroku..... | 156 |
| 5.1 | Koncepce restaurování..... | 156 |
| 5.2 | Návrh postupu restaurátorských prací | 157 |
| 6 | Dokumentace restaurátorského zásahu | 158 |
| 6.1 | Postup restaurátorských prací..... | 158 |
| 6.1.1 | Čištění | 158 |
| 6.1.2 | Přelepy..... | 158 |
| 6.1.3 | Odstranění nevyhovujících druhotných tmelů..... | 158 |
| 6.1.4 | Strukturální konsolidace..... | 159 |
| 6.1.5 | Tmelení | 159 |
| 6.2 | Retuš | 160 |
| 6.3 | Použité materiály..... | 160 |
| 6.4 | Doporučený režim památky (pokyny pro údržbu) | 162 |
| 6.5 | Nová zjištění o památce..... | 162 |
| 7 | Závěr | 163 |
| 8 | Seznam literatury a pramenů..... | 164 |
| 9 | Fotografická a obrazová dokumentace | 167 |
| 10 | Grafická dokumentace | 227 |
| 11 | Textové přílohy..... | 233 |

I.

Teoretická část diplomové práce:
Porovnání konsolidantů na bázi křemičitých solů pro
konsolidaci vápenných omítek

1 Úvod do problematiky

Konzervace degradované vápenné omítky je jeden z důležitých aspektů v oblasti památkové péče a restaurování. Cílem konzervace je provedení takových opatření, které by prodloužily životnost degradovaného materiálu. Nejvýznamnějším degradačním faktorem je vliv vlhkosti, rekristalizace rozpustných solí, atmosferické polutanty, případně biologické napadení. V důsledku působení těchto činitelů dochází ke změnám vlastností omítek včetně porušení jejich pevnosti.

Konsolidace má za účel nejen zlepšit vlastnosti toho degradovaného materiálu, ale zároveň by neměla představovat potenciální riziko do budoucna, či měnit vlastnosti konsolidovaného materiálu. Z tohoto důvodu se klade důraz na výběr vhodného konsolidantu a kompatibilitu s původním konsolidovaným materiálem. V posledních letech pozorujeme rozvoj nanomateriálů, u kterých se předpokládá dobrá schopnost penetrace a zpevnění porézních struktur. V této souvislosti je důležité provádět systematické výzkumy a testování různých konsolidantů, aby bylo možné optimalizovat postupy a technologie, které se používají při obnově a konzervaci vápenných omítek.

V průběhu 20. století, zejména od jeho druhé poloviny, se v oblasti restaurování a konzervování uměleckých a umělecko-řemeslných děl začíná zvyšovat důraz na dopady konzervačních metod a prostředků i možných rizik pro restaurovaná díla v dlouhodobém časovém horizontu. Jedním z důsledků tohoto přístupu bylo i kritické posouzení využívání zpevňovacích prostředků. Konsolidanty na organické bázi, používané pro zpevňování anorganických porézních materiálů, které byly dříve běžně využívány, začaly být zpochybňovány kvůli výraznému vlivu na řadu vlastností zpevňovaného materiálu (např. pórovitost, paropropustnost, optické vlastnosti...) a také negativním zkušenostem z praxe. Výsledkem těchto výzkumů bylo rozšíření používání přírodních materiálů, jako je vápenná voda, ale také využití nových syntetických materiálů.

Alternativou na neúspěchy s organickými konsolidanty bylo zaměření na prostředky, které jsou svým složením a na to navazujícími vlastnostmi bližší zpevňovanému materiálu, jsou odolnější vůči stárnutí etc. Jedním z prvních syntetických minerálních konsolidantů, který byl vyvinut, bylo vodní sklo. Tento materiál byl z mnoha důvodů považován za velmi vhodnou možnost zpevňování degradovaných anorganických porézních materiálů jako jsou právě omítky, či horniny. Nicméně, i přes své rozsáhlé užívání mělo vodní sklo své nevýhody, jako např. vysoký lesk, tvorbu filmu a krust na povrchu a vnášení volných alkálií do materiálu, což mělo za následek tvorbu vodou rozpustných solí. Tyto aspekty činí vodní sklo nezpůsobivé pro konsolidaci historických omítek či kamene.

Postupem času se však začalo vyrábět vodní sklo s výrazně sníženým obsahem alkálií tzv. dezalkalizované vodní sklo. To přineslo na tuto problematiku a použití nový pohled a v průběhu let bylo dezalkalizované vodní sklo testováno pro konzervaci degradovaných vápenných omítek. Tento typ vodního skla byl následně opět poměrně hojně užíván v praxi. Mnohokrát se však objevily také limity tohoto materiálu, které jsou v některých ohledech podobné limitům původního,

tedy alkalického vodního skla. Míněna je především problematická penetrace a z toho plynoucí přezpevnění povrchů ošetřovaných materiálů. Na téma zpevnování dezalkalizovanými vodními skly byly publikovány dílčí experimenty a studia, stejně jako vznikaly v oboru restaurování a jeho technologie závěrečné práce pokoušející se odpovědět na některé z neujasněných otázek. Tato práce na předešlé navazuje, avšak s tím, že na trhu se mezitím objevily nové produkty jak v oblasti křemičitých solů a nanosolů, tak zejména v oblasti vápenných nanosuspenzí, se kterými se nabízí nejen srovnání, ale také výzkum jejich možné vzájemné kombinace. Tato práce si kladla za cíl přispět k současným poznatům možnosti využití konsolidantů na bazi křemičitých solů a zkoumat jejich případnou kombinaci s hydroxidem vápenatým.

2 Současný stav poznání

2.1 Degradace

Podle standardů ČSN EN 1990 a ČSN ISO 13822¹ je degradace charakterizována jako proces, který ovlivňuje funkčnost a spolehlivost materiálů v čase. Tento proces může být způsoben přirozenými chemickými, fyzikálními a biologickými faktory, opakovaným zatížením, nepříznivými podmínkami prostředí, opotřebením v důsledku užívání nebo chybnou údržbou.

Degradace omítky a stavebních materiálů je složitý proces, který se skládá z různých dílčích mechanismů a dějů. Tyto mechanismy zahrnují mechanické, mineralogické, fyzikální, chemické a biologické faktory. Hlavními příčinami degradace jsou vlastnosti samotných stavebních materiálů a vnější prostředí, v němž se omítka nachází.

Existují čtyři hlavní typy degradace omítky:

- 1) **Fyzikální degradace:** Je způsobena teplotními a vlhkostními vlivy, mechanickým napětím, hydratačními a krystalizačními tlaky vodorozpustných solí. Tyto faktory mohou narušit kohezi i adhezi omítky a podkladu.
- 2) **Chemická degradace:** Vzniká působením agresivních kapalin a plynů, které se transportují do materiálu. Toto může ke změnám složení omítky a následně i její vlastností např. změny rozpustnosti, vytváření povrchových krust atd.
- 3) **Biologická degradace:** Zahrnuje působení rostlin, živočichů a mikroorganismů, které mohou narušit strukturu a vlastnosti omítky.
- 4) **Působení člověka:** zahrnuje nevhodné zásahy, jako je použití nesprávných materiálů a technik při opravách a údržbě, vandalismus, znečištění ovzduší způsobené průmyslovou činností, a další antropogenní faktory, které mohou urychlit degradaci omítky a její podkladové struktury.

Vnější i vnitřní prostředí mohou ovlivňovat stav omítky různými způsoby, například změnami teploty, vlhkosti, chemickými a biologickými účinky a UV zářením. Tyto faktory spolu s opotřebením vedou ke stárnutí a ztrátě schopnosti plnit požadované funkce.

1 TECHNICKÉ NORMY. ČSN ISO 13822 - *Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení stávajících konstrukcí* [online]. [cit. 2024-08-06]. Dostupné z: <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-iso-13822-730038-221300.html#>

2.2 Konsolidace

Obnova historických omítek zahrnuje několik základních cílů, mezi něž patří konsolidace, stabilizace a zlepšení fyzikálně-mechanických vlastností. Cílem je také zmírnění důsledků degradačních procesů, vyplnění dutin, zacelení trhlin a zvýšení koheze i adheze k podkladu. Konsolidace omítkových vrstev vyžaduje komplexní přístup, který je individuální pro každý objekt a závisí na různých faktorech, včetně stavu, složení a vlastností konsolidovaného materiálu.

Při restaurování je důležité zachovat původní vzhled a respektovat původní složení omítky. Omítka po konsolidaci by měla co nejvíce odpovídat původním chemickým a fyzikálním, tedy mechanickým a optickým vlastnostem originálu.

Konsolidační prostředek by měl být stabilní, mít vysokou odolnost vůči stárnutí, disponovat vysokou penetrační schopností a neměl by ovlivňovat vzhled materiálu. Stupeň zpevnění by neměl převýšit pevnost původního materiálu, aby nedošlo k jeho poškození, a difuzní odpor by se neměl zvýšit, aby se neomezila paropropustnost omítky. Konzervační prostředky by měly být kapaliny s nízkou viskozitou, což usnadňuje jejich aplikaci. Aktivní látky v monomerní, nízkomolekulární formě usnadňují do materiálu. Ideální konzervační prostředky jsou právě roztoky, nikoli disperze nebo emulze, které by se mohly při penetraci porézními materiály rozdělit jako při filtraci.

Konzervační látka se musí vyloučit uvnitř porézního materiálu a nesmí vytvořit krustu, či zapříčinit vznik vedlejších škodlivých produktů. Důležité je také, aby konzervační složka byla z upravovaného materiálu odstranitelná, což by umožnilo případné budoucí zásahy a údržbu.^{2,3} V minulosti se kladl důraz na princip „reverzibility“ konsolidačních prostředků, tedy možnost odstranění nebo navrácení do původního stavu, aniž by došlo k poškození originálu. Avšak praxe ukázala, že tento aspekt se zdá být nenaplnitelný, proto se v současnosti klade důraz na kompatibilitu a možnost opakované konzervace bez negativních dopadů tzv. „re-treatability“ (znovušetření). Pokud vezmeme v potaz všechny tyto aspekty, výběr ideálního konsolidantu je prakticky nemožný a my musíme při hledání vhodného konsolidantu dělat kompromisy.

Nanášení zpevňovače na omítky se provádí nejčastěji postříkem nebo poléváním, či štětcem. Aplikace se provádí obvykle do nasycení omítky konzervantem. Protože nanesením zpevňovače omítka ztěžkne, je třeba ke zpevnění přistoupit vždy až po záchranném zajištění omítek.⁴

2 RATHOUSKÝ, Jiří. *Konzervační prostředky pro kámen i jiné stavební materiály*. Příloha časopisu *Zprávy památkové péče*, ročník LIV, 1994, číslo 6, s. 41-48.

3 MORA, P., MORA L., PHILIPPOT, P. *Conservation of Wall Paintings*. London 1984, s. 216-222.

4 GIRSA, Václav a MICHOLINOVÁ, Dagmar. *Tradiční vápenné omítky: poznání a praktické postupy*. Praha: IC ČKAIT, 2015, s. 96. ISBN 978-80-87438-72-5.

V minulosti se často aplikoval k sycení narušených omítkových vrstev kaseinátem vápenatým (ve starší literatuře se setkáváme s pojmem vápenný kaseinový klíž), a to přes řadu nevýhod, jako je nízká odolnost vůči mikrobiálnímu napadení, časem tmavnul a byl velmi špatně rozpustný.⁵

V současné době se restaurátoři zaměřují na odstranění předešlých nevhodných zásahů. Pokud je druhotný zásah těžko odstranitelný za cenu ztrát originálu, pak se druhotný zásah respektuje. Zatímco v 19. století se restaurování především zaměřovalo na estetické aspekty, na začátku 20. století se péče o památky začala také více soustředit na zachování původního povrchu včetně všech známek stárnutí (patiny). První signály k tomuto směřování byly vyjádřeny na prvním mezinárodním kongresu dějin umění ve Vídni v roce 1873, kde byl zdůrazněn princip „konzervace místo restaurování“. V rozporu s duchem doby historismu byly zavrženy jakékoli dodatky a poprvé byl formulován často citovaný princip „reverzibility“ viz výše.^{6,7}

Ve 30. letech 20. století se v oblasti konzervace nástěnných maleb objevily první významné vědecké studie, které kriticky zhodnotily dosavadní přístup k používání různých zpevňovačů. Tyto studie vedly k důkladnému přehodnocení používání přírodních organických konsolidantů, které byly doposud běžně využívány. Namísto toho se začaly upřednostňovat syntetické materiály a pojiva, které byly navrženy tak, aby měly podobné vlastnosti jako původně používané materiály.

To vedlo k objevu a rozvoji nových syntetických minerálních pojiv, jako například vodní sklo. Na počátku 20. století se rozšířilo použití vodního skla především v Rakousku, jak můžeme pozorovat i v rámci praktické restaurátorské části diplomové práce viz II. Restaurování části nástěnné malby Obrácení sv. Augustina v Subenu v Rakousku. Vodní sklo bylo známé dávno předtím (viz kapitola 1.3.2 Křemičité soly – Vodní sklo) a bylo využíváno v jiných oblastech. Kvůli nadšení z nového materiálu brzy došlo k jeho použití také na památky, a to především díky víře, že je tento materiál o mnoho účinnější (tedy lepší), než dříve známé zpevňovače na bázi přírodních pojiv. K aplikaci tak došlo v nejlepší víře, že nové je lepší. Některé prostředky se však v dlouhodobém horizontu ukázaly jako problematické. Nešlo tedy o aplikaci na základě vědeckého zkoumání původních materiálů a vyvinutí konsolidantu speciálně pro ně. Popularitu si vodní sklo získalo především díky své relativní stabilitě vůči žloutnutí, které bylo častým problémem u jiných materiálů. Nicméně, i přesto, že vodní sklo poskytovalo určité výhody, stále se potýkalo s některými nevýhodami, jako byl vznik nežádoucího lesku, přezpevnění a tvorba krust na povrchu, což omezovalo jeho efektivitu při konzervaci.

5 KUBIČKA, Roman a ZELINGER, Jiří. *Výkladový slovník: malířství, grafika, restaurátorství*. Praha: Grada, 2004, s. 122. ISBN 80-247-9046-6.

6 LINKE, Robert. *Materials used for the Conservation of Mural Paintings in Austria: Past – Present – Future*. In: HEČKOVÁ, Petra, HORÁK, Petr, MACHAČKO, Luboš, eds. *Interdisciplinarita v péči o kulturní dědictví: sborník z konference*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2013, s. 159-170. ISBN 978-80-7395-594-6.

7 HORÁK, Petr a Vratislav NEJEDLÝ. *Základní pojmy v péči o kulturní dědictví*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2013.

V souvislosti s jeho širokým uplatněním je pozoruhodné, že sám A. W. Keim, který v roce 1878 připravil pojivo barev na bázi vodního skla a následně po něm byla pojmenována dodnes fungující firma vyrábějící barvy na bázi vodního skla varoval před jeho použitím ke konzervaci nástěnných maleb.⁸

S vodním sklem pro konzervaci nástěnných maleb se experimentovalo i v Čechách od pol. 19. stol. až do začátku 20. stol. kdy byly nahrazeny tehdy moderními fluáty.⁹ V současné době je v konzervátorské praxi běžné používání různých typů modifikovaných materiálů a syntetických pryskyřic, které jsou navrženy tak, aby minimalizovaly škody na malbách a zajišťovaly jejich dlouhodobou ochranu a zachování. Při výběru vhodného konsolidantu je nutné pamatovat na relativně komplexní kritéria která by měl splňovat v krátkodobém i dlouhodobém horizontu.

2.3 Materiály pro strukturální konsolidaci omítek a malt

Jak již bylo výše rozebráno viz kapitola 2.2 Konsolidace, materiály pro strukturální konsolidaci omítek by měl být stabilní, odolné vůči stárnutí, dobře pronikat do materiálu a neovlivňovat jeho vzhled. Je důležité, aby zpevnění nepřekročilo pevnost původního materiálu, nezvýšil se difuzní odpor a zachovala paropropustnost omítky. Konzervační prostředky by měly být nízkoviskózní kapaliny, které se snadno aplikují a nevytvářejí krustu ani škodlivé vedlejší produkty. Výběr ideálního konsolidantu je náročný a vyžaduje kompromisy.

Vzhledem k tomu, že konsolidanty se aplikují ve formě kapalin, je důležité charakterizovat jednotlivé typy, s nimiž se můžeme u různých konsolidantů setkat. Většinu aktuálně používaných konsolidantů lze zařadit mezi disperzní soustavy. Disperze jsou to vícesložkové soustavy látek, z nichž jedna vytváří spojitě prostředí (kontinuální fázi, disperzní prostředí), v něm jsou rozptýleny (dispergovány) další látky (dispergované látky).¹⁰

Disperzní soustavy se rozdělují podle velikosti dispergovaných částic do tří kategorií: hrubé disperze, koloidní disperze a pravé roztoky. Pravé roztoky jsou homogenní směsi, ve kterých jsou částice rozpuštěné látky na molekulární nebo iontové úrovni, obvykle menší než 1 nanometr. Díky této malé velikosti jsou částice v pravých roztocích zcela rozptýlené a nejsou viditelné ani

8 LINKE, Robert. *Materials used for the Conservation of Mural Paintings in Austria: Past – Present – Future*, s. 166. In: HEČKOVÁ, Petra, HORÁK, Petr, MACHAČKO, Luboš, eds. *Interdisciplinarita v péči o kulturní dědictví: sborník z konference*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2013. ISBN 978-80-7395-594-6.

KEIM, Adolf Wilhelm. Anmerkungen zu dem Beitrag „Über die Konservierung altertümlicher Wandmalereien“. In: *Technische Mitteilungen für Malerei* 4 (69), 39, 1889.

9 NEJEDLÝ V., *Historické prostředky na zpevnování a ochranu kamene*, in: *Organokřemičitany v české památkové praxi*, Praha 2008. s. 11–18.

10 KUBIČKA, Roman a ZELINGER, Jiří. *Výkladový slovník: malířství, grafika, restaurátorství*. Praha: Grada, 2004. ISBN 80-247-9046-6.

pod ultramikroskopem. Tyto částice se neusazují a procházejí běžnými filtračními materiály, což znamená, že roztok zůstává stabilní a homogenní v každé své části. Na rozdíl od koloidních soustav nevytváří gely.

Koloidní soustavy jsou specifické typy disperzních soustav, kde velikost dispergovaných částic se pohybuje většinou v rozmezí 1 nm až 100 nm. Tyto částice jsou větší než molekuly pravých roztoků, ale menší než částice hrubých disperzí. Mohou být stabilní nebo nestabilní v závislosti na interakcích mezi částicemi a rozpouštědlem.¹¹

Vlastnosti koloidních roztoků jsou určovány strukturou dispergovaných částic. Molekuly některých organických látek, jako jsou bílkoviny, polysacharidy nebo syntetické polymery, mají rozměry větší než 10^{-9} m, což vede k tvorbě molekulárních koloidů při molekulární disperzi. Dispergované částice mohou rovněž zahrnovat micely, tedy větší agregáty malých molekul anorganických látek, které tvoří fázové koloidy. Stabilita těchto dispergovaných částic je zajištěna jejich solvátovým (solvatačním) nebo hydrátovým (hydratačním) obalem, případně elektrickým nábojem na jejich povrchu. Tento náboj vzniká adsorpcí kationtů nebo aniontů z disperzního prostředí na povrch částic (u fázových koloidů). Adsorpci lze v podstatě posílit přidávkem látek, které mají s dispergovanými částicemi společný ion. K nevratné (ireverzibilní) koagulaci fázového koloidu dochází již při malém množství elektrolytu, kdy je stabilizující náboj micel kompenzován ionty elektrolytu, čímž micely ztrácejí svůj ochranný obal.¹²

2.3.1 Křemičité soly¹³

Obecně se jedná o koloidní roztok křemičitanů ve vodě či ethanolu ve formě solu. V literatuře se setkáváme také s pojmem vodní sklo. Vodní sklo můžeme vnímat jako disperzní soustavu, tedy sol, nebo jako přechodovou soustavu, tedy gel.

Soly jsou specifické tím, že obsahují částice, mezi kterými existuje velký počet ohraničených povrchů. Lze je dále rozdělit na fázově disperzní soustavy a molekulární koloidy. Vodní sklo patří mezi fázově disperzní soustavy, kde jsou částice samostatnou fází oddělenou od disperzního prostředí. Tyto soustavy mají velký povrch fázového rozhraní, což jim dodává značnou povrchovou energii a vede k jejich termodynamické nestabilitě. To znamená, že je lze snadno destabilizovat, a to například tím, že je převedeme z formy solu přes přechodnou formu gelu až do pevné látky.¹⁴

11 VACÍK, Jiří. Přehled středoškolské chemie. 4. vyd., v SPN – pedagogickém nakl. 2. vyd. Praha: SPN – pedagogické nakladatelství, 1999, s. 40-43. ISBN 80-7235-108-7.

12 Ibidem, s. 43.

13 ANTOŠ, Petr. *Pojivové systémy na bázi syntetických silikátů*. Disertační práce. Ústí nad Labem: Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická, 2003, s. 28-30.

14 Ibidem.

Sol vodního skla je specifický tím, že obsahuje elektrolyt v roztoku. Ionty z tohoto elektrolytu, zejména sodné ionty (Na^+) ovlivňují vlastnosti solu. Tyto sodné ionty významně snižují pohyblivost molekul vody a zvětšují solvatační sféru kolem částic.

Gely jsou koloidně disperzní systémy, kde disperzní podíl nevytváří samostatné částice schopné pohybu, ale spíše vytváří souvislou strukturu, která prostupuje celým disperzním prostředím. Vlastnosti gelu jsou ovlivněny jak vlastnostmi výchozího solu, tak způsobem, jakým je vázána tekutá složka. Pokud vznik gelu je důsledkem chemické reakce, vytváří síťovitou strukturu, která je ireversibilní. Naopak při působení fyzikálních mezimolekulárních sil vznikají často reversibilní gely.

V rámci křemičitých solů se ve stavebnictví setkáváme s pojmem vodní sklo. Tento pojem vyjadřuje koloidní roztoky křemičitanu alkalického kovu, komerční roztoky mají sušinu 35-45 % hm., pro sodná vodní skla, 30-40 % hm. pro draselná vodní skla a 25-30 % hm. pro lithná vodní skla.¹⁵

Připravuje se tavením oxidu křemičitého s příslušným uhličitanem (většinou sodným či draselným), jedná se tedy o tzv. alkalické tavení. Výsledná látka se podobá sklu, která se rozpouští ve vodě na bezbarvý vodní roztok.¹⁶ Obsahuje asi 30 % pevné složky a má silně alkalické $\text{pH} > 10$. Vodní sklo bylo objeveno 1818 Johannem Nepomukem von Fuchs.¹⁷ Jedná se o v minulosti oblíbený konsolidační prostředek zejména pro kámen a zdivo, ale můžeme se s ním setkat i u konsolidace omítek či barevných vrstev. Stalo se také pojivem tzv. silikátových barev. Roztok křemičitanu sodného či draselného byl pro konsolidaci použit poprvé v roce 1861.¹⁸ Použití ke konzervaci nástěnných maleb bylo populární především ve 20. století, avšak jeho použití bylo zdrojem mnoha problémů.¹⁹

V průběhu let došlo k různým modifikacím pro zabránění rychlé tvorbě gelu a zvýšení elasticity gelu. Jejich popularitu oproti jiným konsolidantům přináší snadná aplikace, vysoká účinnost bez nutnosti dlouhých technologických pauz. Nevýhodami je naopak nízká penetrační

15 Ibidem, s. 18.

16 KUBIČKA, Roman a ZELINGER, Jiří. *Výkladový slovník: malířství, grafika, restaurátorství*. Praha: Grada, 2004, s. 270. ISBN 80-247-9046-6.

17 FUCHS, Johann, Nepomuk. *Bereitung, Eigenschaften und Nutzenanwendung des Wasserglasses mit Einschluss der Stereochromie*. München, 1857.

18 RATHOUSKÝ, Jiří. *Konzervační prostředky pro kámen i jiné stavební materiály*. Příloha časopisu Zprávy památkové péče, ročník LIV, 1994, číslo 6, s. 42.

19 LINKE, Robert. *Materials used for the Conservation of Mural Paintings in Austria: Past – Present – Future*. In: HEČKOVÁ, Petra, HORÁK, Petr, MACHAČKO, Luboš, eds. *Interdisciplinarita v péči o kulturní dědictví: sborník z konference*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2013, s. 166. ISBN 978-80-7395-594-6.

schopnost, nerovnoměrné zpevnění a tvorba krusty. Přestože velikost částic je velmi malá, tyto nežádoucí efekty může způsobit rychlá reakce ve struktuře materiálu a vytvoření amorfního hydrogelu oxidu křemičitého.²⁰



Rozkladem vodního skla vznikají kromě gelu kyseliny křemičité i rozpustné sodné a draselné uhličitany. Draselné vodní sklo je častěji používané než sodné, protože má menší destruktivní účinky. Sodné uhličitany způsobují solné výkvěty a hygroskopicitu draselných uhličitánů zas tmavnutí.²¹ Navíc mohou tyto produkty reagovat s atmosférickými exhaláty, vylučují se na povrchu materiálu a stávají se tak zdrojem nežádoucích změn ošetřeného materiálu. Z těchto a mnoha dalších dalších důvodů se od jejich použití postupně v druhé polovině 20. století upouštělo. Z uvedených důvodů je poslední aplikace popisována v roce 1965.²²

Později se setkáváme s tzv. dezalkalizovaným vodním sklem. Tento pojmem používaný ve stavebnictví většinou označuje koloidní disperzi oxidu křemičitého ve vodě, která se vyrábí iontovou výměnou ze zředěného vodního skla. Jedná se o takovou modifikaci, po které mohlo být znovu využito pro konsolidaci v památkové péči, přičemž se snížily jeho negativní dopady. Alkalická složka často není odstraněna, ale pouze redukována. Alkalickými složkami v dosud dostupných komerčních produktech jsou sloučeniny alkalických kovů sodíku, draslíku případně lithia, které vytváří křemičitany alkalických kovů, tedy vodní skla sodná, draselná a lithná.²³ Tyto složky jsou klíčové pro chemické a fyzikální vlastnosti vodního skla, včetně jeho reaktivity a stability. Dezalkalizovaná vodní skla byla testována v různých absolventských pracích v oboru konzervování, restaurování historických omítek a kamene. Některé z nich vznikly také na Fakultě restaurování Univerzity Pardubice v Litomyšli (dříve Institut restaurování).

Například experimentální část bakalářské práce Adama Černého z roku 2002 se zabývá možnostmi konsolidace vápenných omítek dezalkalizovaným vodním sklem.²⁴ K laboratornímu zkoumání byl vybrán dříve prodávaný domácí komerční produkt Tosil A (křemičitý sol stabilizovaný amonnými kationty). Konsolidant byl aplikován v několika koncentracích získaných ředěním vodou či ethanolem. Jako testovací substrát byly použity vzorky připravené z chudé vyzrálé vápenné omítky. U vzorků však byly pozorovány negativní výsledky zpevnění v podobě

20 RATHOUSKÝ, Jiří. *Konzervační prostředky pro kámen i jiné stavební materiály*. Příloha časopisu *Zprávy památkové péče*, ročník LIV, 1994, číslo 6, s. 42.

21 *Ibidem*.

22 *Ibidem*.

23 ANTOŠ, Petr. *Pojivové systémy na bázi syntetických silikátů*. Disertační práce. Ústí nad Labem: Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická, 2003, s. 149.

24 ČERNÝ, Adam. *Bakalářská práce: Možnosti konsolidace vápenných omítek dezalkalizovaným vodním sklem*. Institut restaurování a konzervačních technik Litomyšl, o.p.s. 2003.

ostrého rozhraní mezi zpevněnou a nezpevněnou vrstvou a snížení paropropustnosti, ale v rámci práce nebyly porovnány s jinými konsolidanty. Na základě provedených zkoušek také nemůžeme odhadnout, jak by se konsolidant choval na skutečně degradované omítce.

Z tohoto hlediska jsou pro nás přínosnější poznatky z bakalářské práce Evy Šrámkové z roku 2003, která navazuje na předešlý výzkum.²⁵ V práci je porovnáno více dříve užívaných konsolidačních prostředků Tosil, Tosil A, Syton X30, Aida Silicatifestiger a lithné vodní sklo. Problém imitace degradované vápenné omítky byl řešen tentokrát poměrovým snížením vápenného hydrátu v omítce. Oproti předešlé práci, kde pro vzorky byla použita vápenná kaše s pískem v objemovém poměru 1:3, byl tentokrát použit hmotnostní poměr vápenného hydrátu ku kamenivu 1:5. Z tohoto důvodu nelze tyto výsledky mezi sebou porovnat. U jednotlivých konsolidantů nebyly zkoumány pouze mechanické a fyzikální vlastnosti, ale i porovnání množství vyloučeného gelu, který výrazně ovlivňuje vlastnosti konsolidantu. Práce konstatovala, že penetrace dezalkalizovaných vodních skel je poměrně dobrá vzhledem k velikosti částic (10^{-9} m). Vyzdvihla také materiálovou příbuznost vzhledem k substrátu, nikoliv k původnímu pojivu. Po konsolidaci se neměnily optické vlastnosti omítky a lze také předpokládat dlouhodobou stabilitu. Výhodou použití vodních skel v nízkých koncentracích je také jejich hydrofilita. Negativně byla však ovlivněna paropropustnost a kapilární nasákavost. Pro úplné zjištění chování konsolidantů bylo doporučeno zkoumat migraci vodního skla v porézním systému při impregnaci, distribuci vyloučeného gelu, neboť naměřené hodnoty mohou být ovlivněny vznikem vrstvy SiO_2 , která částečně uzavírá povrch. Na základě zjištění nebylo možné jednoznačně vybrat vhodný typ vodního skla pro konsolidaci vápenných omítek. Pouze lithné vodní sklo bylo označeno jako nevhodné.

Ilona Kociánová ve své diplomové práci testovala také konsolidanty na křemičité a vápenné bázi. Nejednalo se však o konsolidaci vápenné omítky, ale o konsolidaci barevné vrstvy. První testovanou skupinou byly vápenné nanomateriály v organických rozpouštědlech. Druhou testovanou skupinou byly konsolidanty na křemičité bázi – prostředek KSE 300 HV, Sebosil S a Syton X30.²⁶ Závěrem diplomové práce byl jako nejvhodnější konsolidant vybrán KSE 300HV, avšak z důvodu lepší compatibility se zpevňovaným materiálem byla na objektu restaurovaném v rámci této diplomové práce konsolidace provedena nanosuspenzí hydroxidu vápenatého. Práce konstatovala, že testované křemičité soly na zpevnění barevné vrstvy mají v porovnání s organokřemičitými konsolidačními prostředky slabší penetrační schopnost a ovlivňují barevnost, zato se mohou aplikovat bez dlouhých technologických pauz.

25 ŠRÁMKOVÁ, Eva. Bakalářská práce: *Srovnání možnosti strukturální konsolidace vápenných omítek různými typy křemičitých solů*. Institut restaurování a konzervačních technik Litomyšl, o.p.s. 2003.

26 KOCIÁNOVÁ, Ilona. Diplomová práce: *Restaurování centrálního výjevu na klenbě kaple sv. Isidora v Křenově*. Univerzita Pardubice Fakulta restaurování, 2013.

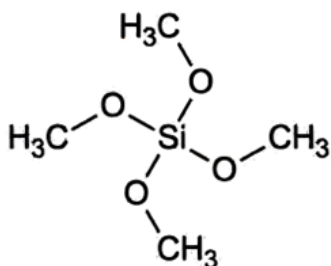
2.3.2 Konsolidanty na bázi esteru kyseliny křemičité

Estery kyseliny křemičité patří mezi organokřemičité sloučeniny, které lze charakterizovat jako chemickou sloučeninu, která obsahuje křemík a organické skupiny. Tyto sloučeniny se často používají v různých aplikacích, včetně konzervace a restaurování historických materiálů, jako jsou omítky a přírodní kámen. Organokřemičitany se vyznačují dobrou adhezí k minerálním materiálům, nízkou viskozitou a schopností pronikat do porézních materiálů, což je činí vhodnými pro konsolidaci a zpevnění porézních struktur.

Základní jednotka organokřemičitanů je tetraethylortosilikát či tetraethoxysilan (TEOS) viz. [Obr. 01]. Zpevňující účinek organokřemičitých konsolidantů je založen na schopnosti esterů kyseliny křemičité při běžné teplotě a v přítomnosti vhodného katalyzátoru a malého množství vody chemickou reakcí přecházet na amorfni gel oxidu křemičitého SiO_2 . Ten funguje jako pojivo. Jako neutrální organokovový katalyzátor jsou používány organokovové sloučeniny (například dibutylcín-dilaurát). Protože tento katalyzátor lze přidávat v bezvodém stavu, jsou tyto typy konsolidantů jednosložkové. Voda potřebná pro chemickou reakci se získává z ošetřovaného materiálu, okolního vzduchu nebo jiných zdrojů. Konsolidanty se dodávají buď bez rozpouštědel, nebo ve směsi s vhodným rozpouštědlem, například alkoholem, častěji však ketonem, jako je methylethylketon.²⁷

Chemická reakce probíhá podle následujících rovnic:²⁸

1. Hydrolyzáza: $n \text{Si}(\text{OR})_4 + 2n\text{H}_2\text{O} \rightarrow n \text{Si}(\text{OH})_4 + 4n$
2. Kondenzace: $n \text{Si}(\text{OH})_4 \rightarrow \text{SiO}_2 \cdot n \text{aq} + 2n \text{H}_2\text{O}$



Obr. 01: Vzorec tetraethoxysilanu (TEOS)

27 KOTLÍK, Petr. *Konsolidanty kamene – historie a současnost*. In: HEČKOVÁ, Petra, HORÁK, Petr, MACHAČKO, Luboš, eds. *Interdisciplinarita v péči o kulturní dědictví: sborník z konference*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2013, s. 187. ISBN 978-80-7395-594-6.

28 BODANSKÁ, Magda. II. Teoretická část (Praktické srovnání různých typů konsolidantů historických omítek) in: *Bakalářská práce: Restaurování části maleb v kupoli baziliky Nanebevzetí Panny Marie na Svatém kopečku u Olomouce*. Univerzita Pardubice Fakulta restaurování, 2012, s. 42.

V kontextu památkové péče jsou organokřemičitanové sloučeniny oblíbené pro jejich nízké riziko poškození ošetřovaných materiálů a pro schopnost zlepšit mechanické vlastnosti historických omítek a stavebních materiálů. Nevýhodou je naopak jejich ireverzibilita. Jejich použití je spojeno s dodržováním určitých pravidel, jako je vhodné rozmezí teplot a vlhkosti ošetřovaného materiálu.²⁹

První organokřemičitá sloučenina tetraetoxysilan (etylsilikát) byla připravena v roce 1845, avšak průmyslová výroba byla zahájena až během 2. světové války. Historie použití organokřemičitanů v restaurování sahá až do 50. let 20. století, kdy byly poprvé aplikovány na památkových objektech.³⁰ První významná aplikace tohoto typu produktu v Čechách proběhla v roce 1959 na pískovcovém zábradlí Letohrádku královny Anny v Královské zahradě v Praze.³¹ V následujících letech a desetiletích se organokřemičitany staly běžně používanými prostředky v restaurátorské praxi, zejména v oblasti restaurování kamene, přičemž nejvíce se uplatnily při konzervaci pískovcových materiálů. Teprve po roce 1990 došlo k širšímu rozšíření těchto látek v českém prostředí, a to i v oblasti restaurování omítek, i když zkušenosti s jejich použitím v této oblasti nejsou tak rozsáhlé.³²

2.3.3 Vápenné nanosuspenze

Vodní vápenné suspenze jsou disperze hydroxidu vápenatého ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), kde disperzním prostředím je voda. Mezi nejznámější suspenze patří vápenná kaše a vápenné mléko. Ty se od nanosuspenzí liší především velikostí částic a jejich chováním v disperzním médiu. Vápenná kaše vzniká hašením páleného vápna s přebytkem vody, má velikost částic srovnatelnou jako vápenné mléko, a proto vykazuje podobné vlastnosti v rámci chování v disperzním médiu.³³ Vápenné mléko

29 KOTLÍK, Petr. *Konsolidanty kamene – historie a současnost*. In: HEČKOVÁ, Petra, HORÁK, Petr, MACHAČKO, Luboš, eds. *Interdisciplinarita v péči o kulturní dědictví: sborník z konference*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2013, s. 183-194. ISBN 978-80-7395-594-6.

30 RATHOUSKÝ, Jiří. *Konzervační prostředky pro kámen i jiné stavební materiály*. Příloha časopisu *Zprávy památkové péče*, ročník LIV, 1994, číslo 6, s. 42.

31 BÁRTA, Jan a RATHOUSKÝ Jiří. *Z historie českých organokřemičitých konzervantů*. In: *Organokřemičitany v české památkové praxi*, Praha 2008, s. 21.

32 VOJTĚCHOVSKÝ, Jan. *Disertační práce: Povrchová konsolidace nástěnných maleb pomocí vápenno-alkoholových suspenzí a jejich směsí s estery kyseliny křemičité*. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, 2017, s. 11.

33 BAYER, Karol, Dana MACOUNOVÁ a Luboš MACHAČKO. *Nanosuspenze hydroxidu vápenatého jako konsolidanty porézních vápenců a vápenných omítek – od laboratorních testů k praktické aplikaci*. In: *Sborník 4. mezioborové konference ALMA*. Praha, 21.-22.11. 2012. Litomyšl: Fakulta restaurování Univerzita Pardubice, 2012.

je suspenze hašeného vápna ve vodě. Vzniká směs vápenné kaše s vodou.³⁴ Částice se obvykle pohybují o velikosti kolem 10 mikrometrů, což je přibližně 60krát více než částice obsažené v nanosuspenzích. Vápenná voda, která je roztokem hydroxidu vápenatého ve vodě, má velmi malé částice, ale i velmi nízkou koncentraci, což ji činí problematicky využitelnou v konzervátorskorestaurátorské praxi.

Naproti tomu nanosuspenze hydroxidu vápenatého, které byly vyvinuty pro konsolidaci porézních materiálů, obsahují velmi jemné částice, jejichž velikost se pohybuje v rozmezí 50 až 300 nm. Střední velikost částic je přibližně 150-160 nm.³⁵ Díky této menší velikosti mají nanosuspenze lepší schopnost pronikat do porézních materiálů, což zvyšuje jejich účinnost jako konsolidantů. Tyto nanosuspenze jsou často dispergované v alifatických alkoholech, jako je ethanol, n-propanol nebo isopropanol. Mají nižší viskozitu, což přispívá k lepší penetraci a hlubšímu zpevnění materiálů. Nanosuspenze jsou citlivé na přítomnost vody, což může vést k aglomeraci částic a sedimentaci, snižující penetrační schopnosti. Stabilita disperzí je omezena a závisí na výrobním procesu. Po uplynutí doby expirace mohou nanočástice začít sedimentovat nebo tvořit aglomeráty, což může měnit vlastnosti materiálu.

Jejich účinky byly studovány v rámci řady mezinárodních projektů jako například STONECORE, NANOforART či Nano-Cathedral.³⁶ Byla provedena celá řada zkoušek a testů zaměřených na možnosti aplikace nanosuspenzí hydroxidu vápenatého v alkoholech pro konsolidaci porézních vápenců a vápenných omítek. Konsolidace pomocí vápenné nanosuspenze je dvoustupňový proces zahrnující odpařování rozpouštědla a chemickou přeměnu hydroxidu vápenatého na uhličitán vápenatý. Tento proces vede ke zpevnění substrátu podobně jako u vápenných malt nebo vápenné vody, s tím rozdílem, že se odpařuje alkohol místo vody.

Přestože nanosuspenze nabízejí mnoho výhod, je důležité vzít v úvahu jejich omezení, jako je citlivost na vodu a omezená stabilita v případě dlouhého skladování.

Jejich vlastnosti, jako je malá velikost částic, nízká toxicita a schopnost penetrace do porézních struktur, je činí užitečným nástrojem pro ochranu a restaurování historických a kulturních artefaktů. Nicméně je nezbytné pečlivě zvážit jejich aplikaci, aby se minimalizovaly potenciální nevýhody a maximalizovaly výhody pro konzervaci.

34 KUBIČKA, Roman a ZELINGER, Jiří. *Výkladový slovník: malířství, grafika, restaurátorství*. Praha: Grada, 2004, s. 173. ISBN 80-247-9046-6

35 BAYER, Karol, Dana MACOUNOVÁ a Luboš MACHAČKO. *Nanosuspenze hydroxidu vápenatého jako konsolidanty porézních vápenců a vápenných omítek – od laboratorních testů k praktické aplikaci*. In: Sborník 4. mezioborové konference ALMA. Praha, 21.-22.11. 2012. Litomyšl: Fakulta restaurování Univerzita Pardubice, 2012.

36 Stone Conservation for the Refurbishment of Buildings; projekt v rámci 7.RP (NMP-SE-2008-213651). Nano-materials for the conservation and preservation of movable and immovable artworks; project number 282816; FP7-ENV-NMP-2011. Distribution depth of stone consolidants applied on-site, Pisa; projekt Nano-Cathedral. Dostupné z: <https://www.nanocathedral.eu>

Díličí výsledky výzkumu v této oblasti přinesly i některé závěrečné práce vzniklé na Fakultě restaurování Univerzity Pardubice. Například bakalářská práce Jany Dunajské zkoumá konsolidační vlastnosti konsolidantů z řady CaLoSiL na bázi nanočástic hydroxidu vápenatého rozptýlených v alkoholu na připravených laboratorních dusaných vzorcích.^{37, 38} Své poznatky poté rozšiřuje ve své diplomové práci podobně jako Dana Macounová.³⁹ Z těchto prací můžeme čerpat inspiraci pro vytvoření referenčních vzorků pro testování konsolidace, které poměrně dobře imitují degradovanou vápennou omítku. Jedná se o dusané vzorky z křemičitého písku a vápencové drtě pouze s vodou bez přidání jakéhokoliv dalšího pojiva. Přípravou vzorků stejným způsobem je pak do určité míry možné porovnat výsledky laboratorních testů mezi sebou.

2.3.4 Porovnání křemičitých solí s organokřemičitany a vápennou suspenzí

V rámci rešerše bylo dohledáno několik prací, které se přímo zabývají konsolidací vápenné omítky či vápenného štku právě konsolidanty na bázi křemičitých solí.

Na experimentální část Evy Šrámkové (viz. výše kapitola 1.3.2 Křemičité soly) navazuje bakalářská práce Marka Běťáka z roku 2003, který si připravil modelové vzorky omítky stejným způsobem, proto je mohl porovnat s výsledky práce Evy Šrámkové.⁴⁰ Pro konsolidaci si připravil řadu konsolidantů na bázi dezalkalizovaného vodního skla a esteru kyseliny křemičité (konkrétně Tosil, Tosi A, a Funcosil® Steinfestiger 300, Funcosil® Steinfestiger 100, Funcosil® Steinfestiger 510, Porosil RZ, Ifest OH, Syton X30, Aida a Lithné vodní sklo). Věnuje se tedy konsolidaci organokřemičitými prostředky v porovnání s křemičitými soly. Práce konstatuje, že míra zpevnění a další parametry jsou u organokřemičitých prostředků a křemičitých solí téměř ekvivalentní. Celkově organokřemičité prostředky dosahují o něco vyšší míry zpevnění než křemičité soly. Co se týče hloubky penetrace, mezi jednotlivými typy prostředků nebyly pozorovány výrazné rozdíly. Žádný z použitých konsolidantů nevytvořil výrazný gradient při pronikání do materiálu. Po provedené konsolidaci došlo u všech vzorků ke snížení propustnosti pro vodní páry. Konsolidace také vedla ke snížení koeficientu nasákavosti u silně nasákové vápenné omítky, i přesto však všechny vzorky po konsolidaci zůstaly nadále nasákové.

37 DUNAJSKÁ, Dana. Bakalářská práce: *Zhodnocení současných možností konsolidace vápenných omítek konsolidanty na bázi hydroxidu vápenatého*. Univerzita Pardubice, Litomyšl 2009.

38 MACOUNOVÁ, Dana. Diplomová práce: *Restaurování vápencové sochy světice č. 1 s využitím nanosuspenzí na bázi Ca(OH)₂ / Zhodnocení možnosti využití nanosuspenzí na bázi Ca(OH)₂ pro konsolidaci organodetrického vápence v porovnání s běžně používanými prostředky na bázi TEOS; Rozšířená restaurátorská zpráva*. Univerzita Pardubice Fakulta restaurování, 2012..

39 DUNAJSKÁ, Jana. Diplomová práce: *Tests on sustainability of consolidation treatments with CaLoSil nanosuspensions on plaster reference samples*. Univerzita Pardubice Fakulta restaurování, 2012.

40 BĚŤÁK, Marek. Bakalářská práce: *Srovnání možností konsolidace vápenného štku křemičitými soly a organokřemičitými prostředky*. Institut restaurování a konzervačních technik Litomyšl, o.p.s. 2003.

Diplomová práce Aleny Hladíkové, vzniklá na půdě VŠCHT⁴¹ v Praze, se taktéž věnovala porovnání účinnosti konsolidantů při zpevňování vápenných malt.⁴² Zkoumán byl jednosložkový organokřemičitý prostředek s neutrálním katalyzátorem Porosil RZ, jednosložkový křemičitý sol ve vodném médiu Porosil ZTS a vápenná voda. Testovací tělesa byla připravena z chudé vápenné omítky. Porosil ZTS pronikal do materiálu relativně dobře, ale na povrchu vzorků vytvořil film, což bylo pravděpodobně způsobeno zhoršenou penetrační schopností a rychlejší gelací. Po aplikaci křemičitého solu se zvýšila pevnost vzorků a snížila nasákavost. U vzorků konsolidovaných pouze vápennou vodou došlo k vytvoření zpevněné vrstvy uhličitanem vápenatím pouze na povrchu a celková pevnost se nezlepšila. Naopak byl zaznamenán mírný pokles pevnosti způsobený opakovaným zavlhčením materiálu.

V teoretické části bakalářské práce Magdy Bodanské z roku 2012 jsou přehledně shrnuty dosavadní poznatky konsolidace vápenných omítek.⁴³ Pro experimentální část si vybrala řadu konsolidantů: vápennou vodou, nanosuspenzi na bázi hydroxidu vápenatého CaLoSiL[®] E25, organokřemičité prostředky Funcosil Steinfestiger[®] 300 a Funcosil[®] Steinfestiger 500 a křemičitý sol ve vodě Tosil A. Referenční vzorky však nebyly připravené v laboratoři, ale odebrány z historického objektu. V případě vápenné vody a křemičitého solu došlo ke zpevnění jen na povrchu. Jako nejvhodnější konsolidant byl vyhodnocen ester kyseliny křemičité a nanosuspenze hydroxidu vápenatého. Toto zjištění se liší od výsledku práce Marka Běťáka, kde měření těles pevněnými křemičitými vyšlo porovnatelně s estery kyseliny křemičité. Práce se však liší v přípravě vzorků modelové omítky.

Ve studii z roku 2015 od Zuzany Slížkové a Dity Frankeové byly zkoumány následující konsolidační prostředky:

- vápenná voda
- nasycený roztok hydroxidu vápenatého v destilované vodě
- disperze nanočástic hydroxidu vápenatého v alkoholech (CaLoSiL IP 15)
- koloidní roztok SiO₂ ve vodě
- roztok esteru kyseliny křemičité (na bázi TEOS)
- koloidní SiO₂ a vápenná voda (kombinace)
- koloidní SiO₂ a CaLoSiL IP 15 (kombinace)
- TEOS a vápenná voda (kombinace)
- TEOS a CaLoSiL IP 15 (kombinace)
- baryová voda

41 Vysoká škola chemicko-technologická

42 HLADÍKOVÁ, Alena. Diplomová práce: *Porovnání účinnosti konsolidantů při zpevňování vápenných malt*. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Fakulta chemické technologie, Ústav chemické technologie restaurování památek, 2006.

43 BODANSKÁ, Magda. II. Teoretická část (Praktické srovnání různých typů konsolidantů historických omítek) in: Bakalářská práce: *Restaurování části maleb v kupoli baziliky Nanebevzetí Panny Marie na Svatém kopečku u Olomouce*. Univerzita Pardubice Fakulta restaurování, 2012.

- nasycený roztok hydroxidu barnatého v destilované vodě
- roztok šřavelanu amonného v destilované vodě.

Předložená studie navázala a výrazně rozšířila publikované výsledky výrobce.⁴⁴ Byla zaměřena na prokázání konsolidačních účinků zmíněných skupin konsolidantů s různými druhy kameniva.⁴⁵

Poznatky jsou dále shrnuty v habilitační práci Zuzany Slížkové.⁴⁶ Zkoumání účinnosti různých konsolidantů, včetně vápenné vody a nano-vápenných disperzí, ukázalo, že technologie stříkání vápenné vody může poskytnout přijatelné výsledky. V experimentálních studiích bylo prokázáno, že opakované aplikace konsolidantů, jako je vápenná voda, mohou výrazně zlepšit mechanické vlastnosti degradované omítky, avšak bylo nutné provést až 160 aplikací pro dosažení uspokojivých výsledků. Všechny testované konsolidanty vykázaly pozitivní účinek na zpevnění chudých vápenných malt, přičemž výsledky se lišily v závislosti na typu použitého agregátu.

Dále práce upozorňuje na problematiku aplikace nanosolů. Během odpařování rozpouštědla může docházet k migraci částic zpět k povrchu, což vede k nerovnoměrné distribuci konsolidantu v materiálu.⁴⁷ V případě alkoholových vápenných nanosuspenzí popisuje metodu pro dosažení homogenní distribuce konsolidantu v porézní struktuře, která zahrnuje aplikaci vody ihned po aplikaci konsolidantu.⁴⁸

2.3.5 Hybridní konsolidační systémy

V rámci různých prací bylo zkoumáno zvýšení efektivity konsolidantů jejich kombinací na různých bázích. Například, aby se zrychlila reakce esterů kyseliny křemičité, byla aplikace kombinována s vápennou vodou či suspenzí hydroxidu vápenatého. Podobný postup byl uplatněn i u křemičitých solů společně se suspenzí hydroxidu vápenatého. Cílem je urychlit gelaci produktu a zefektivnit konsolidační účinek.

V příspěvku na téma zpevňování historických vápenných omítek od Jana Bárty jsou popisovány kombinace křemičitanů s napouštěním omítek vápennou vodou. Byl zmíněn Porosil ZTS v kombinaci s vápennou vodou. Na hradě Bauska v Lotyšsku, byla pro dosažení účinnějšího zpevnění vápenná voda kombinována s Porosilem ZTS. Uvedené aplikace realizoval restaurátor

44 ZIEGENBALG, Gerhard a Ewa PIASZCZYNSKI. *The combined application of calcium hydroxide nano-sols and silicic acid ester – a promising way to consolidate stone and mortar*. In: Proceedings of the 12th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone, New York, 2012, s. 1-8.

45 SLÍŽKOVÁ, Zuzana, FRANKEOVÁ, Dita. *Strengthening of Weak Historic Renders with Traditional and Innovated Consolidation Treatment*. In: 21st International Conference ENGINEERING MECHANICS 2015. Svratka, Czech Republic, May 11–14, 2015. s. 282-283.

46 SLÍŽKOVÁ, Zuzana. *Performance Evaluation of Consolidants for Friable Inorganic Building Materials*. Praha: Česká technická univerzita v Praze, 2018. 170 s. ISBN 978-80-01-05229-7.

47 Ibidem, s. 77.

48 Ibidem, s. 61.

Miloš Gavenda. Podobný postup byl aplikován na jedné ze sgrafitových fasád ve Slavonicích, prekonsolidace Porosil ZTS (křemičitý sol ve vodě), následně vápenná voda a dokončení Porosil Z (organokřemičitan).⁴⁹

Mimo jiné i to sloužilo jako inspirace ke zkoumání kombinace křemičitých solů s vápennou nanosuspenzí.

Ve výše zmiňované studii z roku 2015 od Zuzany Slížkové a Dity Frankeové bylo zjištěno, že jak vápenná voda, tak nano-disperze hydroxidu vápenatého jsou při konsolidaci vápenné malty účinnější, pokud jsou aplikovány v kombinaci s konsolidantem na bázi esteru kyseliny křemičité nebo křemičitých solů.

Porovnání kombinací vápenné nanosuspenze a křemičitého solu bylo testováno a odzkoušeno také v rámci projektu Nano-Cathedral na vzorcích mramoru z katedrály v Pise. Byl postupně aplikován nejprve CaLosil E25 a následně křemičitý sol ZG12.⁵⁰

Testy ukázaly, že schopnost penetrace konsolidantu je omezena. Konsolidanty měly problém proniknout do jemných trhlin v hloubce větší než 100 nm. Jeden ze závěrů výzkumu bylo zjištění, že při zvoleném systému aplikace prostředek CaLoSiL E25 pravděpodobně brání penetraci konsolidantu ZG12. Vysvětlení souvisí pravděpodobně s reakcí křemičitého solu s alkalickým prostředím a vede k rychlé gelaci. Proto byla doporučena technologická pauza mezi jednotlivými kroky, aby se k takovéto reakci předešlo. Experimentální část této diplomové práce v tomto ohledu naváže na tento výzkum, a vzorky se ponechají dostatečně vyzrát.

O použití křemičitého solu Sebosil S jako konsolidantu hliněných omítek pojednává studie Annetty Richter, která porovnává účine výše zmiňovaného solu s estery kyseliny křemičité.⁵¹

Byly testovány tři hlavní typy konsolidantů: klasický ester kyseliny křemičité (KSE 300), elastifikovaný (KSE 300E), Sebosil S a hybridní systém modifikovaného Sebosilu S. Konsolidant Sebosil S byl modifikován akrylátovou pryskyřicí Paraloid B76. Výzkum ukázal, že klasický silikátový ester penetruje do hliněného materiálu, zatímco elastifikovaný silikátový ester vykazuje pomalejší pronikání. Sebosil S, na druhé straně, vykazuje výrazné smrštění po vysušení, což může být problematické. Modifikovaný Sebosil S naopak vykazoval dobré výsledky smržitelnosti vzhledem k problematice hliněných materiálů. Všechny testované vzorky vykazaly dvojnásobné zvýšení pevnosti v ohybu ve srovnání s nezpevněnými vzorky. Nicméně, KSE 300 vykazuje nevýhodu v podobě nadměrného smrštění při vysokých teplotách, což může vést k napětí v materiálu. Na

49 BÁRTA, Jan. Obnova historických omítek – praktické zkušenosti.

50 BAN, Matea; ALIOTTA, Laura; GIGANTE, Vito; MASCHA, Elisabeth; SOLA, Antonella; LAZZERI, Andrea (2020). *Distribution depth of stone consolidants applied on-site: Analytical modelling with field and lab cross-validation*. Construction and Building Materials, 259, 120394. Dostupné z: <https://www.elsevier.com/locate/conbuildmat>

51 RICHTER, Annett. *Untersuchung ausgewählter Festigungsmittel für Lehmbauten in aridem Klima*. 2004. [online] Dostupné z: https://www.iglehm.ch/application/files/8115/4256/9672/lehm2004_b_richter-festigungsmittel.pdf [cit. 2023-10-03].

základě těchto zjištění bylo doporučeno provádět další výzkum zaměřený na hybridní systémy konsolidantů, které by mohly nabídnout slibné vlastnosti pro stabilizaci anorganických materiálů. (v tomto případě hliněných staveb).

2.3.6 Vliv relativní vlhkosti na vlastnosti křemičitého gelu

V rámci rešerše byla dohledána studie, která se zaměřuje na zkoumání vlivu relativní vlhkosti vzduchu na proces gelace a vznik prasklin v křemičitém gelu, který je využíván jako konsolidant pro zpevňování degradovaných stavebních památek. V tomto případě se však jednalo o gely konsolidantů na bázi esteru kyseliny křemičité (organokřemičitanů).⁵² Cílem práce bylo zjistit, jak různé úrovně vlhkosti ovlivňují dobu gelace a vlastnosti výsledného gelu při použitých katalyzátorech.

Testování probíhalo pomocí experimentálního nastavení, kde byly udržovány definované úrovně relativní vlhkosti vzduchu pomocí nasycených roztoků solí. Byly použity různé katalyzátory (dibuthylcindiacetát a dibuthylcindilaurát) a sledovány čtyři stavy systému: sol, gelace, gel a vznik první praskliny v gelu. Doba gelace a vznik prasklin byly měřeny a analyzovány.

Výsledky ukázaly, že vyšší relativní vlhkost vzduchu zkracovala dobu vzniku gelu a zvyšovala smrštění výsledného gelu. Naopak, nižší relativní vlhkost vzduchu zpomalila proces gelace, což umožnilo lepší penetraci konsolidantu do ošetřovaného materiálu. Vliv relativní vlhkosti na vznik prasklin nebyl jednoznačný, přičemž některé gely vytvořené při vyšší vlhkosti nepraskly během pozorování, zatímco jiné vykazovaly značné rozdíly v časech vzniku prvních prasklin.

Celkově studie přispívá k porozumění vlivu na průběh gelace a na vlastnosti křemičitého gelu při použití různých katalyzátorů organokřemičitých prostředků.

52 PETEROVÁ, Ing. Adéla; KOTLÍK, doc. Ing. Petr, CSc. *Vliv relativní vlhkosti na vlastnosti křemičitého gelu*. Praha: Ústav chemické technologie restaurování památek, VŠCHT Praha, 2014, s. 129-134. In: Muzea, památky a konzervace 2014.

Studie vznikla v rámci projektu č. DF11P01OVV012, který se zaměřuje na nové materiály a technologie pro konzervaci materiálů památkových objektů a preventivní památkovou péči. Tento projekt je součástí programu Ministerstva kultury NAKI.

3 EXPERIMENT

3.1 Konsolidační prostředky

Pro experimentální část byla zvolena základní řada konsolidantů na bázi křemičitých solí. Cílem výběru byla analýza trhu a porovnání komerčně dostupných konsolidantů a rozšíření o produkty, které nejsou primárně používány pro konsolidaci omítek, ale například jako pojiva barev a jiné. Jejich vlastnosti však odpovídají produktu s dobrými předpoklady pro konsolidaci. Určující byla velikost částic, čistota, neutralita a viskozita. Většina je dispergována ve vodě, jeden pak v ethanolu. Jejich účinek byl zkoumán společně v kombinaci s konsolidantem na bázi hydroxidu vápenatého. Pro srovnání byly do experimentu zařazeny i konsolidanty na bázi hydroxidu vápenatého a esteru kyseliny křemičité.

Tab. 01: Přehled zvolených produktů, údaje vychází z technických listů poskytnutých dodavatelem.

| Název produktu | Výrobce/Distributor | Charakteristika | Velikost částic | Materiálová charakteristika (dle technického listu) |
|-------------------------------|---------------------------|--|-------------------|---|
| CaLoSiL® E25 | IBZ-Freiberg | Suspenze Ca (OH) ₂ v ethanolu | ø 150nm | (Ca (OH) ₂ , ethanol) |
| KSE® 300HV | Remmers | Ester kyseliny křemičité | neuve den o | (alkoxilan modifikovaný primery) |
| KSE® 300 | Remmers | Ester kyseliny křemičité | neuve den o | (nemodifikovaný alkokilan) |
| Sebosil® S | Kallies Feinchemie | Křemičitý sol v ethanolu | neuve den o | (ethanol) |
| Primer® Hydro Silicatfestiger | Remmers | Křemičitý sol ve vodě | neuve den o | (neuve deno) |
| Ludox® PX30 (Syton® X 30) | Kremer (Deffner & Johann) | Křemičitý sol ve vodě | neuve den o | (Na ₂ O, s.-Na, nově etylenglykol) |
| SioXaL® A8 | IBZ-Freiberg | Křemičitý sol ve vodě | 8 nm | (NaCl, CaCl ₂ , MgCl ₂) |
| SioXaL® A10 | IBZ-Freiberg | Křemičitý sol ve vodě | 10 nm | (NaCl, CaCl ₂ , MgCl ₂) |
| Porosil® ZTS | Aqua Bárta | Křemičitý sol ve vodě | neuve den o | (neuve deno) |
| Levasil® CS15-450 | Nouryon | Křemičitý sol ve vodě | 5 nm | (Na ₂ O) |
| Levasil® CS25-436P | Nouryon | Křemičitý sol ve vodě | 8 nm | (s.-Na, m.-Al) |
| Levasil® CC301 | Nouryon | Křemičitý sol ve vodě | 7 nm | (m.-epoxisilan, ethanol) |
| Levasil® CC401 | Nouryon | Křemičitý sol ve vodě | 12 nm | (m.-epoxisilan, ethanol) |
| Levasil® CS30-616P | Nouryon | Křemičitý sol ve vodě | 9 nm | (s. NH ₃) |
| Levasil® CS34-720 | Nouryon | Křemičitý sol ve vodě | 14 nm | (neuve deno) (kyselá) |

3.2 Charakteristika testovaných konsolidantů

3.2.1 Produkty Levasil®⁵³

Levasil je obchodní značka pro řadu koloidních roztoků oxidu křemičitého (koloidní siliky), které vyrábí a distribuuje společnost Nouryon Chemicals B.V. Tyto produkty jsou určeny pro široké spektrum průmyslových aplikací, zahrnujících například povrchovou úpravu, výrobu nátěrových hmot, stabilizaci materiálů, katalyzátorů, povrchové úpravě textilu, izolacích proti vlhkosti a další specializované použití.

Levasil produkty jsou koloidní roztoky obsahující jemně rozptýlené částice oxidu křemičitého (SiO_2) ve vodní suspenzi. Tyto částice mají obvykle sférický tvar a jsou rovnoměrně distribuovány. Levasil produkty mají různé koncentrace oxidu křemičitého (15-40 %), pH hodnoty, viskozity a povrchové úpravy. Stabilita produktů je způsobena elektrostaticky, sterickeky či pomocí různých přísad, jako jsou sodík, hliník, amoniak, epoxysilan nebo chlorid.

53 TONASO Holding, a.s. Koloidní oxid křemičitý [online]. [cit. 2024-08-08]. Dostupné z: <https://vodnisklo.cz/product/koloidni-oxid-kremicity/>
Nouryon Chemicals B.V. *Levasil CC301: Product Data Sheet*. 2023. Dostupné na: <https://www.nouryon.com>

Levasil® CC301⁵⁴

Jedná se o neutrální vodnou koloidní disperzi oxidu křemičitého s obsahem přibližně 30 % sušiny. Částice oxidu křemičitého jsou stéricky stabilizované. Amorfnní částice mají záporný povrchový náboj a jsou povrchově modifikovány epoxysilanem.

Specifikace

| Levasil® CC301 | dle technického listu | Vlastní měření |
|------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Hydroxylové číslo | 0,45 mol OH/kg produktu | |
| Hustota při 20 °C | 1,172-1,205 g/cm ³ | |
| pH při 20 °C | 5,0-9,0 | 7,5/7,27 pH papírek/pH metr |
| Obsah SiO ₂ | 26-30 % hm. | 32,38 % hm. |
| Viskozita při 20 °C | ≤8cP | |

| | | |
|--------------------------|---------------|--|
| Ethanol | 2,5 % hm. | |
| Průměrná velikost částic | 7 nm | |
| Vzhled, barva | Čirá kapalina | |

54 TONASO Holding, a.s. *Koloidní oxid křemičitý* [online]. [cit. 2024-08-08]. Dostupné z: <https://vodnisklo.cz/product/koloidni-oxid-kremicity/>
Nouryon Chemicals B.V. *Levasil CC301: Product Data Sheet*. 2023. Dostupné na: <https://www.nouryon.com>

Levasil® CC401⁵⁵

Jedná se o neutrální vodnou koloidní disperzi oxidu křemičitého s obsahem přibližně 40% sušiny. Částice oxidu křemičitého jsou stéricky stabilizované. Amorfni částice mají záporný povrchový náboj a jsou povrchově modifikovány epoxy silanem. Produkt má podobné specifikace jako Levasil CC301, z důvodu větší velikosti částic byl v průběhu testování vyřazen a pokračovalo se pouze s produktem Levasil CC301.

Specifikace

| Levasil® CC401 | dle technického listu | Vlastní měření |
|---|-------------------------------|--------------------------------|
| Hydroxylové číslo | 0,45 mol OH/kg | |
| Hustota při 20 °C | 1,243-1,280 g/cm ³ | |
| pH při 20 °C Obsah Na ₂ O | 5,0-9,0 | 7,5/7,27 pH papírek/pH metr |
| Obsah SiO ₂ | 35-39 % hm. | 39,3 % hm. |
| Viskozita při 20 °C | ≤25 cP | |

Charakteristika

| | | |
|--------------------------|----------------------|--|
| Ethanol | 2,5 % hm. | |
| Průměrná velikost částic | 12 nm | |
| Vzhled částic | Hladký kulovitý tvar | |
| Vzhled, barva solu | Čirá kapalina | |

55 Nouryon Chemicals B.V. *Levasil CC401: Product Data Sheet*. 2023. Dostupné na: <https://www.nouryon.com>

Levasil® CS15-450 ⁵⁶

Jedná se o alkalickou vodnou koloidní disperzi oxidu křemičitého s obsahem přibližně 15% sušiny. Částice oxidu křemičitého jsou stabilizované sodíkem. Amorfni částice mají záporný povrchový náboj a jsou povrchově modifikovány hliníkem.

Specifikace

| | | |
|------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| Levasil® CS15-450 | dle technického listu | Vlastní měření |
| Hustota při 20°C | 1,09-1,1 g/cm ³ | |
| pH při 20°C | 9,0-10 | 8,5/ 9,7 pH papírek/pH metr |
| Obsah SiO ₂ | 13,7-15,1 % hm. | 16,2 % hm. |
| Viskozita při 20°C | ≤10cP | |
| Na ₂ O | 0,4 % hm. | |
| Průměrná velikost částic | 5 nm | |
| Vzhled, barva | Čirá kapalina | |
| Specifická povrchová plocha částic | 525 m ² /g | |

56 Nouryon Chemicals B.V. *Levasil CS15-450: Product Data Sheet*. 2023. Dostupné na: <https://www.nouryon.com>

Levasil® CS25-436 P ⁵⁷

Jedná se o alkalickou vodnou koloidní disperzi oxidu křemičitého s obsahem přibližně 25% sušiny. Částice oxidu křemičitého jsou stabilizovány sodíkem. Amorfni částice mají záporný povrchový náboj a jsou povrchově modifikovány hliníkem. Z důvodů podobných specifikací, jako Levasil® CS15-450 bylo v průběhu experimentu především v kombinaci s vápennou nanosuspenzí pokračováno pouze s Levasil® CS15-450.

Specifikace

| Levasil® CS25-436 P | dle technického listu | Vlastní měření |
|------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Hustota při 20°C | 1,165-1,176 g/cm ³ | |
| pH při 20°C | 9,7-10,3 | 10/10,19 pH papírek/pH metr |
| Obsah SiO ₂ | 23,8-25,2 % hm. | 26% hm. |
| Viskozita při 20°C | ≤7 cP | |

Charakteristika

| | | |
|------------------------------------|-----------------------|--|
| Na ₂ O | 0,6 % hm. | |
| Průměrná velikost částic | 8 nm | |
| Specifická povrchová plocha částic | 360 m ² /g | |
| Vzhled, barva solu | Čirá kapalina | |

57 Nouryon Chemicals B.V. *Levasil CS25-436 P: Product Data Sheet*. 2023. Dostupné na: <https://www.nouryon.com>

Levasil® CS30-616P⁵⁸

Jedná se o alkalickou vodnou koloidní disperzi oxidu křemičitého s obsahem přibližně 30 % sušiny. Částice oxidu křemičitého jsou stabilizovány amoniakem. Amorfnní částice mají záporný povrchový náboj.

Specifikace

| Levasil® CS30-616P | dle technického listu | Vlastní měření |
|------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Hustota při 20°C | 1,204-1,212 g/cm ³ | |
| pH při 20°C | 9-10 | 9,5/9,39 pH papírek/pH metr |
| Obsah SiO ₂ | 30,5-31,5 % hm. | 31,51% hm. |
| Viskozita při 20°C | ≤10 cP | |

Charakteristika

| | | |
|--------------------------|-------------------------|--|
| NH ₃ | 0,15-0,20 % hm. | |
| Průměrná velikost částic | 9 nm | |
| Vzhled, barva solu | Mírně zakalená kapalina | |
| Vzhled částic | Hladký kulovitý tvar | |

58 Nouryon Chemicals B.V. *Levasil CS30-616 P: Product Data Sheet*. 2023. Dostupné na: <https://www.nouryon.com>

Levasil CS34-720⁵⁹

Jedná se o kyselou vodnou koloidní disperzi oxidu křemičitého s obsahem přibližně 34 % sušiny. Částice oxidu křemičitého jsou stabilizovány absencí elektrolytů a jsou bez náboje.

Specifikace

| Levasil® CS34-720 | dle technického listu | Vlastní měření |
|------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Hustota při 20°C | 1,224-1,240 g/cm ³ | |
| pH při 20°C | 2,3-3,3 | 3/3,08 pH papírek/pH metr |
| Obsah SiO ₂ | 33-34,9 % hm. | 34,9 % hm. |
| Viskozita při 20°C | ≤11 cP | |

59 Nouryon Chemicals B.V. *Levasil CS34-720: Product Data Sheet*. 2023. Dostupné na: <https://www.nouryon.com>

3.2.2 Ludox® PX30^{60, 61}

Koloidní oxid křemičitý Ludox® PX-30 FS obsahuje syntetický amorfní oxid křemičitý. Obsahuje 29 % oxidu křemičitého.

Dříve se komerčně prodával pod názvem Syton® X30. Při porovnání technických listů Syton® X30 a Ludox® PX30 byl rozdíl především obsahem etylenglykolu u Ludoxu® PX30, který umožňuje částečnou odolnost vůči mrazu. Pokud dojde k přemrznutí Sytonu® X 30, oxid křemičitý dojde k nevratné tvorbě gelu. Distributorem pro ČR jsou Johann&Deffner a Kremer pigmente GmbH.

Specifikace

| Ludox® PX30 | dle technického listu | Vlastní měření |
|------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Hustota při 20 °C | 1,196-1,206 g/cm ³ | |
| pH při 20 °C | 9,8-10,4 | 9-10/9,82 pH papírek/pH metr |
| Obsah SiO ₂ | 28,5-29,2 % hm. | 29,88 % hm. |
| Viskozita při 20 °C | ≤8 mPa.s | |
| Na ₂ O | 0,26-0,37 % | |
| Ethylenglykol | 5,0 % m/m | |
| Specifická povrchová plocha částic | 230-290 m ² /g | |
| Vzhled, barva solu | Čirá kapalina | |

60 Grace Materials Technologies. *Technical Data Sheet Ludox PX-30*. [s.l.]: Grace Materials Technologies, 2020. Dostupné z: <https://www.deffner-johann.de/>

61 Syton® X 30. Aichstetten: Kremer Pigmente GmbH & Co. KG, [rok vydání neuveden]. Dostupné z: www.kremer-pigmente.com

3.2.3 Porosil® ZTS ⁶²

Koloidní roztok oxidu křemičitého ve vodném médiu. Výrobce v technickém listu doporučuje před ošetřením Porosilem ZTS aplikovat na povrch postřík (rovnoměrné zvlhčení) vápennou vodou.

Podle údajů v technickém listu neobsahuje soli ani žádné jiné škodlivé vedlejší složky, nevniká do ošetřeného materiálu žádné cizorodé látky, nezhoršuje difuzní vlastnosti omítky a nemění vzhled povrchu. Prostředek je hydrofilní. Distributorem je AQUA Bárta obnova staveb s.r.o.

| Specifikace | | |
|------------------------|-----------------------|------------------------------|
| Porosil® ZTS | dle technického listu | Vlastní měření |
| Hustota | 1,16 g/mol | |
| pH při 20 °C | 9 | 9/9,41 pH papírek/pH metr |
| Obsah SiO ₂ | neuveďeno | 29,94 % hm. |
| Viskozita při 20 °C | neuveďeno | |
| Charakteristika | | |
| Vzhled, barva solu | Čirá kapalina | |

62 *Technický list – pokyny pro aplikaci Porosil / ZTS*. Dobrovíz: AQUA obnova staveb s.r.o., 2021. [online]. Dostupné z: https://www.aquabarta.cz/4_stahuj/tech_listy/Porosil_ZTS.pdf.

3.2.4 Primer® Hydro Silicatfestiger⁶³

Jedná se o alkalický zpevňovací prostředek, vodnou koloidní disperzi oxidu křemičitého s obsahem sušiny přibližně 25 %. Výrobce doporučuje jako zpevňovací prostředek starého zdiva a cihel bez hydrofobního účinku, nebo jako urychlovač tuhnutí betonu či malt. Spotřeba při povrchovém zpevnění impregnací se pohybuje od 0,5 do 1,0 kg/m², zatímco injektáž dutin vyžaduje 30–50 kg/m³ zdiva. Výrobce je firma Remmers.

Specifikace

| Specifikace | | |
|-------------------------------|------------------------|--------------------------------|
| Primer® Hydro Silicatfestiger | dle technického listu | Vlastní měření |
| Hustota | 1,15 g/cm ³ | |
| pH při 20 °C | 11,5 | 12/11,36 pH papírek/pH metr |
| Obsah SiO ₂ | - | 25,24% hm. |
| Viskozita dle DIN53211 | | |
| Tryska 2 s | 68 | |
| Tryska 4 s | 12 | |
| Tryska 4 s | 4 | |
| Charakteristika | | |
| Vzhled, barva solu | Čirá kapalina | |

63 *Technický list*. Říčany u Prahy: Remmers s.r.o., 2016. 2 s. Číslo výrobku 1072. Dostupné na: www.remmers.cz.

3.2.5 Sebosil® S ⁶⁴

Jedná se o křemičitý sol v ethanolu, který se používá ke konsolidaci porézního přírodního kamene a minerálních stavebních materiálů.

Sebosil S je etanolový křemičitý sol, který se používá ke zpevnění porézních přírodních kamenů a minerálních stavebních materiálů. Dle technického listu je určen pro použití v interiéru. Sebosil obsahuje nanodisperzní oxid křemičitý dispergovaný v etanolovém roztoku. Rozpouštědlo umožňuje Sebosilu lépe proniknout do porézního systému než voda. Odpařováním rozpouštědla dochází k agregaci nanodisperzního oxidu křemičitého a tvorbě gelu, který postupem času síťuje. Struktura se mineralizací nemění; hloubka penetrace a koncentrace oxidu křemičitého určují stupeň zpevnění. Úplná impregnace je možná pouze tlakovou nebo vakuovou impregnací. Výrobce je firma Kallies Feinchemie AG.

Vlastnosti:

- snadné zpracování
- čistě minerální zpevňující látka
- bez aromatických a chlorovaných rozpouštědel

| Specifikace | | |
|------------------------|------------------------------|------------------------------------|
| Sebosil® S | dle technického listu | Vlastní měření |
| Hustota | 1,15 g/cm ³ | |
| pH při 20 °C | 5-6 | 12/11,36 pH papírek/PH metr |
| Obsah SiO ₂ | 5% hm. 10% hm. 20% hm. | 6,1% hm. 10,9% hm. 21,5% hm. |
| Viskozita při 20 °C | 3-5 mPa.s | |
| Charakteristika | | |
| Vzhled, barva solu | Čirá kapalina | |

64 Kallies Feinchemie AG. (2017). TECHNISCHES MERKBLATT: *Steinverfestiger SEBOSIL S*. [online] Dostupné z: http://www.feinchemie.de/media/download_gallery/Technisches%20Merkblatt_SEBOSIL_S.pdf [cit.28.9.2023]

3.2.6 SioXaL[®] ⁶⁵

Produkty SioXaL jsou disperze koloidního oxidu křemičitého obsahující nanočástice SiO₂ ve vodě. Stabilita je způsobena elektrostatickým odpuzováním. Produkty SioXaL jsou mírně alkalické čiré stabilní disperze. Jsou ředitelné demineralizovanou vodou, to však může mít za následek snížení stability. Proces gelace probíhá v kontaktu s elektrolyty, jako je NaCl, CaCl₂ nebo MgCl₂. Produkty neobsahují žádné organické přísady.

Možnosti použití dle technického listu:

- Konsolidace zbroušených a zpráškovatělých povrchů.
- Pojivo barev.
- Konsolidace sypkých sedimentů.
- Pojivo malt pro tmelení.
- Přísada do betonu a cementu.
- Přísada do barev, zejména do barev na silikátové bázi.
- Příprava hmot nahrazujících kámen.
- Impregnace kamene, malty, omítky.
- Impregnace dřeva.

65 IBZ-Salzchemie GmbH & Co. KG. *Technisches Datenblatt SioXaL*. Halsbrücke: IBZ-Salzchemie GmbH & Co. KG, 2020. Dostupné z: <http://www.ibz-freiberg.de/>

SioXaL® A8

Aniontová, vodná disperze koloidního oxidu křemičitého.

| Specifikace | | |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| SioXaL® A8 | dle technického listu | Vlastní měření |
| Hustota | neuveдено | |
| pH při 20 °C | 9-10 | 9,5-10/10,2 pH papírek/PH metr |
| Obsah SiO ₂ | 30 % hm. | 30,03 hm. |
| Viskozita při 20 °C | 6 mPa.s | |
| Charakteristika | | |
| Vzhled, barva solu | Čirá kapalina | |
| Průměrná velikost částic | 8 nm | |
| Specifická povrchová plocha částic | 286 m ² /g | |

SioXaL® A10

Aniontová, vodná disperze koloidního oxidu křemičitého.

| Specifikace | | |
|------------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| SioXaL® A10 | dle technického listu | Vlastní měření |
| Hustota | neuveдено | |
| pH při 20 °C | 9-10 | 9/9,74 pH papírek/PH metr |
| Obsah SiO ₂ | 30 % hm. | 30,72 hm. |
| Viskozita při 20 °C | 5 mPa.s | |
| Charakteristika | | |
| Vzhled, barva solu | Čirá kapalina | |
| Průměrná velikost částic | 10 nm | |
| Specifická povrchová plocha částic | 240 m ² /g | |

3.2.7 Produkty typu KSE®⁶⁶

Jako referenční konsolidanty ze skupiny esterů kyseliny křemičité byly vybrány organokřemičité látky od firmy Remmers s názvem KSE 300 a KSE 300 HV. Při gelaci produkty reagují s kapilární vodou a vzdušnou vlhkostí. Při této reakci se vylučuje amorfni křemičitý gel ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Vedlejší produkt reakce je unikající ethanol. Katalyzátor reakce je neutrální.

Působení účinné látky „esteru kyseliny křemičité“ vede po aplikaci k časově omezené hydrofobitě, která se během gelace ztrácí (reakční doba min. 28 dní). Restaurátorská malta, impregnační prostředky Funcosil a nátěry mohou být nanесeny až po ukončení tvorby gelu. Pokud zpevněné podklady vykazují po více než 4 týdnech hydrofobitu (voda se balí do kapiček), může být smáčení povrchu zlepšeno lihем nebo vodou se smáčedlem.⁶⁷

KSE 300 HV se liší v modifikaci speciálními primery, které ho činí vhodným pro zpevňování převážně kalcitických podkladů. Výrobek nabízí hluboký průnik do materiálu a dodatečný polární mechanismus vazby.

| | |
|---|---|
| KSE300, KSE300HV | dle technického listu |
| Hustota | 0,98 g/cm ³ |
| Gelová složka | 30 % hm. |
| Viskozita při 20 °C | 5 mPa.s |
| Vzhled | Čirý lehce zakalený mírně nažloutlý |
| 0,3 l/m ² až několik l/m ² (dle podkladu) | 0,3 l/m ² až několik l/m ² (dle podkladu) |
| Obsah účinných látek | Cca 99% hm. |
| Katalytický systém | neutrální |

66 REMMERS CZ S.R.O., Technický list: KSE 300 HV. Říčany u Prahy. Dostupné z:
<https://www.remmers.cz/cs/ochrana-a-obnova-pamatek/zpevneni/kse-300-hv/p/00000000000065405>
REMMERS CZ S.R.O., Technický list: KSE 300. Říčany u Prahy. Dostupné z:
<https://www.remmers.cz/cs/ochrana-a-obnova-pamatek/zpevneni/kse-300/p/00000000000072005>

67 Ibidem.

3.2.8 CaLoSiL E25⁶⁸

Výrobce: IBZ Freiberg

Nanosuspenze hydroxidu vápenatého s názvem CaLoSiL[®] E25 je založena na nanočásticích hydroxidu vápenatého (Ca(OH)₂), které mají velikost částic v rozmezí 50–250 nm, s průměrnou hodnotou okolo 150 nm. Částice jsou rozptýleny v ethanolu o koncentraci 25 g/l. Tato nanosuspenze je semitransparentní a bílá, s hustotou 0,8 g/cm³. Doporučená teplota skladování je 5 až 25 °C. Hodnota pH >12.

68 *Safety Data Sheet CaLoSiL: products based on Ethanol*. IBZ-Salzchemie GmbH & Co. KG. Halsbruecke, Germany, 2022. Dostupné z: <https://www.calosil.de/files/public/downloads/Englisch/CaLoSiL/MSDS%20CaLoSiL%20mikro-pasty.pdf>

Technical Data Sheet: CaLoSiL[®] - Colloidal nano-particles of lime for stone and plaster consolidation (nanolime). IBZ-Salzchemie GmbH & Co. KG. Halsbruecke, Germany, 2022. Dostupné z: https://www.calosil.de/files/public/downloads/Englisch/CaLoSiL/TDS_CaLoSiL_E_%20IP_%20NP.pdf

3.3 Příprava vzorků

Pro laboratorní část práce byly připraveny dva typy vzorků. Pro sledování tvorby gelu, sledování změn v závislosti na relativní vzdušné vlhkosti a prvkovou analýzu byly připraveny gely konsolidantů na Petriho miskách. Druhou sadu vzorků tvořily dusané vzorky do forem imitující degradovanou vápennou omítku. Na ně se aplikovaly konsolidanty a hodnotil se konsolidační účinek zpevňovacích prostředků.

3.3.1 Gely na Petriho miskách

Na Petriho misky byly konsolidanty aplikovány pro posouzení změn, kterými konsolidanty prochází v průběhu zrání (sol- tuhý gel). Stejně gely byly následně použity při testu, který sledoval změny, jimiž gel prochází při změně okolní relativní vlhkosti (viz kapitola „3.6.4 Studium změn gelů v závislosti na relativní vzdušné vlhkosti“).

Čisté křemičité soly

Postup:

Na předem připravené zvážené Petriho misky se aplikovalo celkem 8 ml od každého konsolidantu. Ty byly zváženy a ponechány v laboratorních podmínkách 23,3 °C a relativní vlhkost 40,2 % po dobu jednoho měsíce dokud se nevytvořil pevný gel a jejich hmotnost se neustálila.

Kombinace křemičitých solů s CaLoSiLem E25 na Petriho miskách

Postup:

Na předem zvážené Petriho misky byl nejprve aplikován CaLoSiL E25. Do čerstvého CaLoSiLu byl následně přidán konkrétní křemičitý nanosol, a to v poměru CaLoSiL : křemičitý sol, 1:1 (objemově).

U vzorků v laboratorních podmínkách byla pozorována rychlost gelace směsi a podobně jako u vzorků čistých křemičitých solů tvorba pevného gelu a jeho kvalita.

3.3.2 Příprava vzorků imitace degradované vápenné omítky

Pro dosažení imitace silně degradované vápenné omítky byly připraveny laboratorní vzorky napodobující silně poškozenou vápennou omítku s pojivem degradovaným na plnivo. Postup přípravy a složení vzorků vycházel z diplomových prací Jany Dunajské a Dany Macounové.⁶⁹

Maltová směs byla vytvořena v poměrech:

- 2 díly – vápencová drť z biodetritického vápence (původ: historický lom poblíž Kutné Hory) (frakce 0-2 mm)
- 4 díly – kopaný křemičitý písek (původ: Pískovna Tasovice, lokalita Znojmo) (frakce 0-2 mm)
- 1 díl – demineralizovaná voda

Celková hmotnost vlhké směsi pro dusání jednoho tělesa činila 117,3g.

Distribuce velikosti částic obou plniv byl stanoven tzv. síťovou analýzou, při které se plnivo přesívá přes sadu sít o dané velikosti. Stanovuje se tzv. záchyt a propad sítím v hm.%, přičemž záchyt je hmotnostní procento plniva zachycené na daném síti a propad je část plniva, která daným sítím propadá a má tudíž menší velikost, než je velikost oka daného síti. Pro naše účely byl zvolen postup síťové analýzy s použitím specifických velikostí síťových ok: >0,063 mm, 0,063 mm, 0,125 mm, 0,25 mm, 0,5 mm, 1 mm, 2 mm a 4 mm.

Výpočet

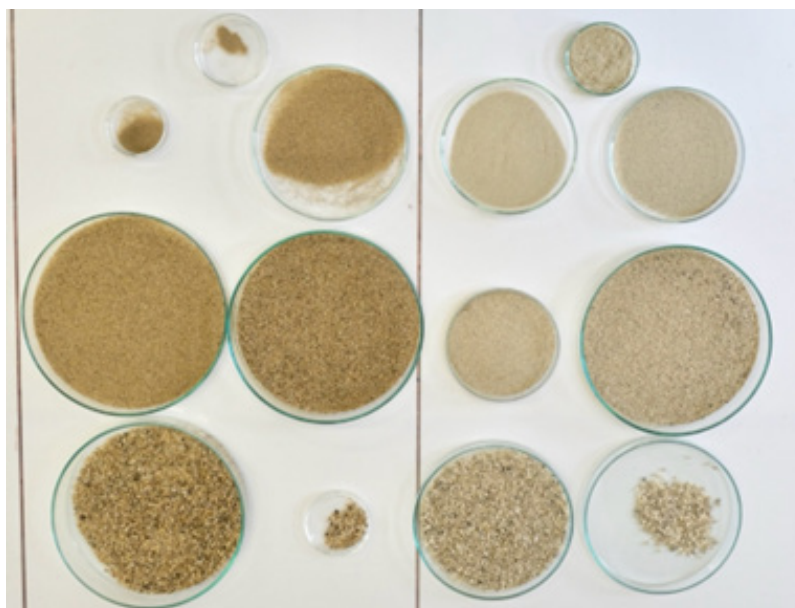
Hmotnostní podíl každé frakce byl vypočítán pomocí následujícího vzorce:

$$\text{Hmotnostní podíl(\%)} = \left(\frac{m_{\text{sítu}}}{m_{\text{celk}}} \right) \times 100$$

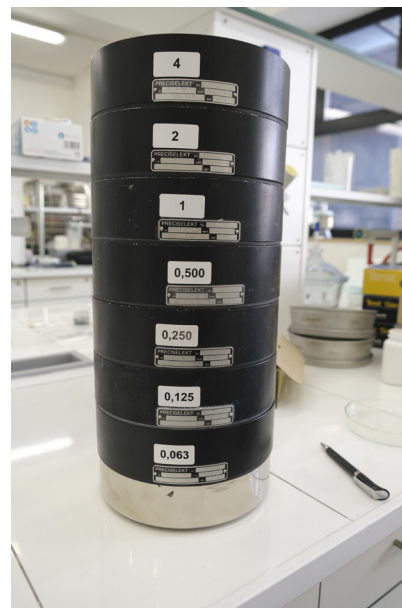
Výsledky byly interpretovány vytvořením distribuční křivky, která ukazuje hmotnostní podíly částic jednotlivých velikostí, čímž byla získána představa o granulometrické distribuci vzorku.

69 DUNAJSKÁ, Jana. Diplomová práce: *Tests on sustainability of consolidation treatments with CaLoSil nanosuspensions on plaster reference samples*. Univerzita Pardubice Fakulta restaurování, 2012.

MACOUNOVÁ, Dana. Diplomová práce: *Restaurování vápencové sochy světice č. 1 s využitím nanosuspenzí na bázi Ca(OH)₂ / Zhodnocení možnosti využití nanosuspenzí na bázi Ca(OH)₂ pro konsolidaci organodetritického vápence v porovnání s běžně používanými prostředky na bázi TEOS; Rozšířená restaurátorská zpráva*. Univerzita Pardubice Fakulta restaurování, 2012.



Obr. 02: Jednotlivé frakce písků provedené v rámci granulometrického rozboru sypkých materiálů.



Obr. 03: Sestava pro síťovou analýzu s velikostí ok: 0,063 - 4 mm.



Obr. 04: Příprava modelových těles

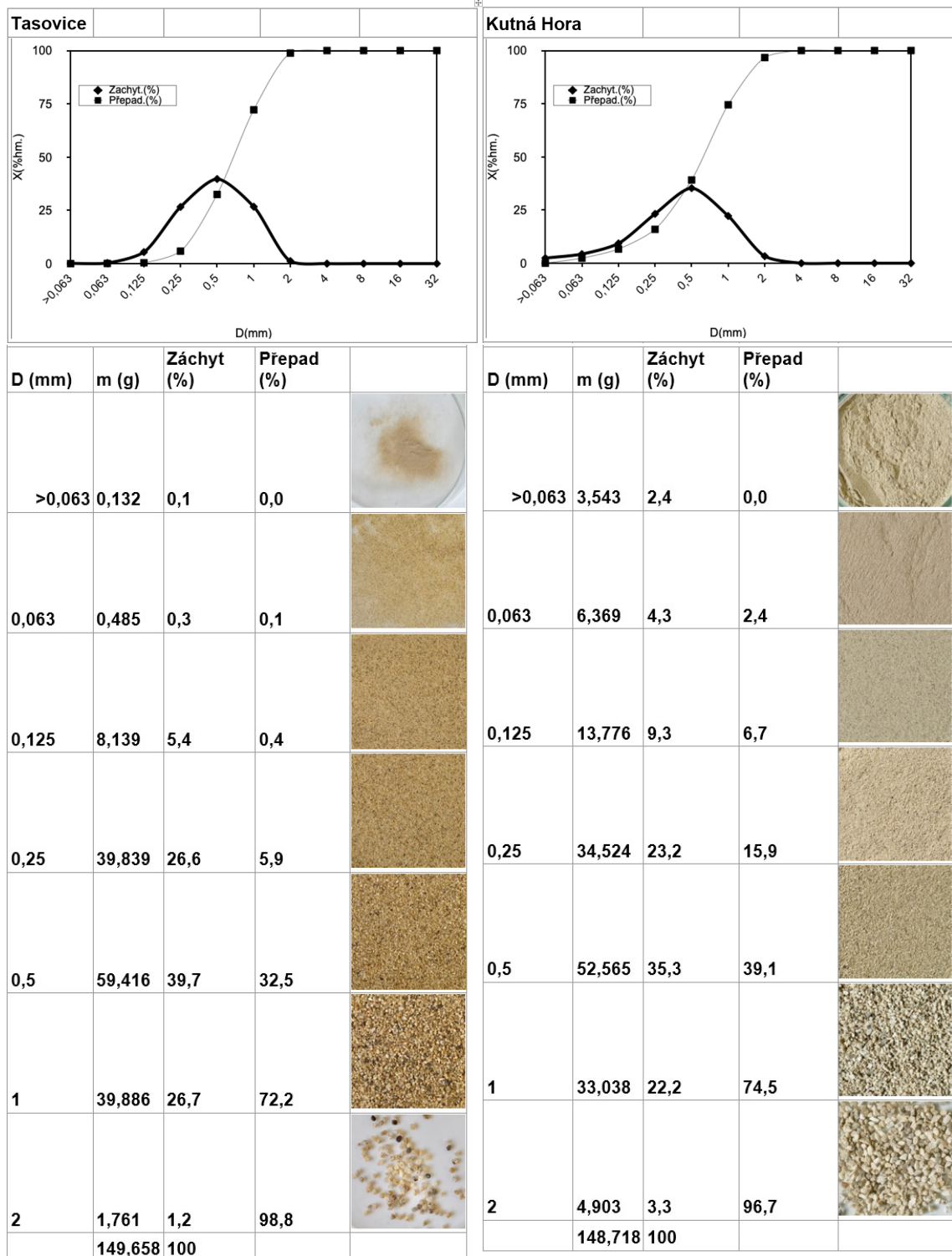


Obr. 05: Homogenní nekonsolidovaná modelová tělesa po výjmutí z forem.

Tab. 04: Granulometrický rozbor použitých sypkých materiálů

Graf č. 1: kopaný křemičitý písek

Graf č. 2: vápencová drť



Postup:

Připravená vlhká směs se ve vrstvách dusala do forem ve tvaru krychle o rozměrech 4 x 4 x 4 cm. Vlhká směs byla nejprve navážena (117,3g) a poté postupně vkládána do formy a rovnoměrně stlačena. [Obr. 04]

Směs písků se dusala po vrstvách [Obr. 06]. Aby se minimalizovaly rozdíly mezi jednotlivými vrstvami, povrch vlhké směsi byl narušen špachtlí. Na celé ploše v každé vrstvě byly z obou stran vytvořeny drážky, které zajistily rovnoměrné propojení vrstev mezi sebou. Vzorky byly poté vysušeny v laboratorních podmínkách po dobu minimálně 7 dnů. Po této době byly vyjmuty z forem a ponechány v laboratoři až do aplikace konsolidantů. Celkem bylo tímto způsobem připraveno 192 dusaných těles, přičemž průměrná hmotnost jednoho činila 105 g. [Obr. 05]

3.4 Aplikace konsolidantů na vzorky degradované vápenné omítky a zrání vzorků

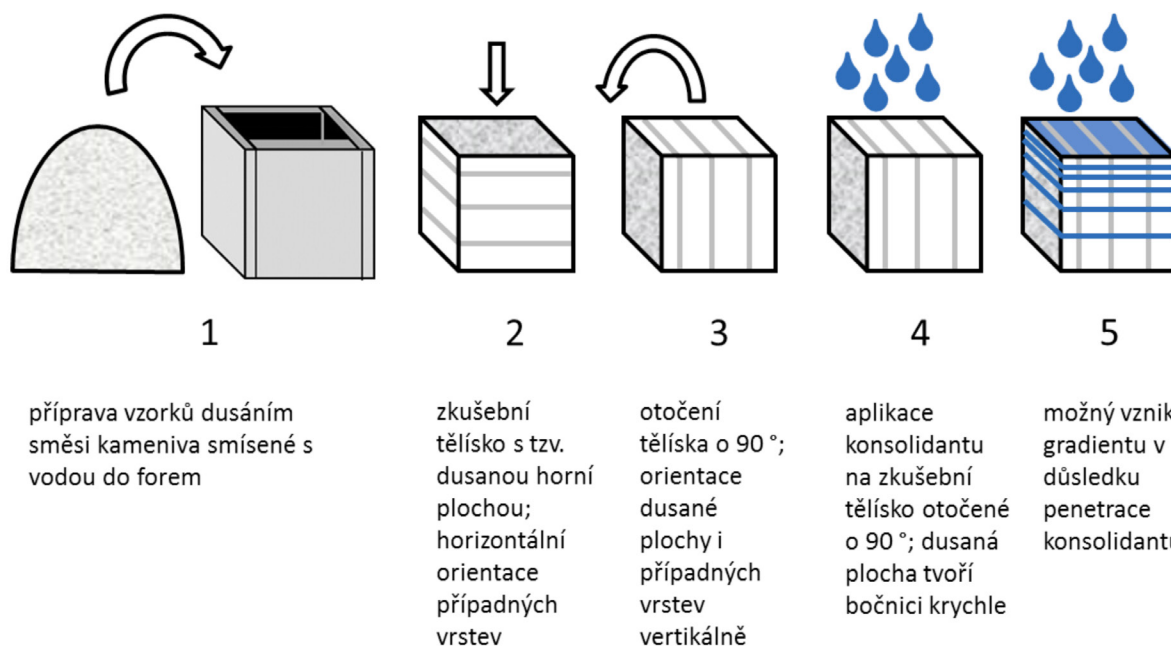
Konsolidanty byly aplikovány na připravená laboratorní tělesa po otočení o 90°. Prostředek tedy nebyl nanesen z dusací či spodní strany, na kterých by se mohl projevit vliv postupu dusání a orientace případných dusacích vrstev [Obr. 06].

Na vzorky byly aplikovány konsolidanty buďto samostatně, nebo ve dvousložkových směsích s cílem zjistit účinek směsí oproti samostatným zpevňovačům. Od každého typu konsolidantu nebo směsi konsolidantů bylo napuštěno vždy 5 těles.

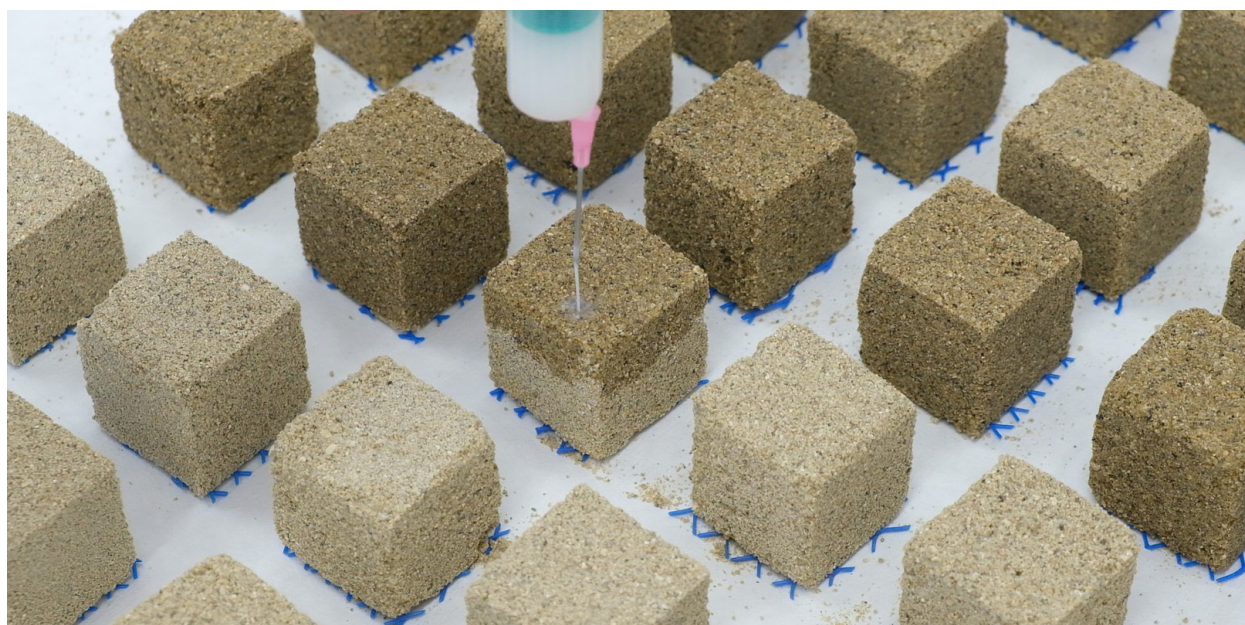
3.4.1 Aplikace samostatných konsolidantů

Při aplikaci samostatných konsolidantů na tělesa bylo množství sušiny u jednotlivých konsolidantů mírně odlišné. Proto v některých případech bylo upraveno aplikované množství, či koncentrace. Cílem bylo to, aby finální přírůstek hmotnosti po konsolidaci byl cca 3 g konsolidační látky (rozuměj v pevném stavu) na jedno těleso. To představuje přibližný nárůst hmotnosti o 2,9 hm.%. Při sjednocení koncentrace křemičitých solů jsme vycházeli ze stanoveného obsahu sušiny (viz kapitola 3.5.2). Koncentrace křemičitých solů byla sjednocena na 5 % ředěním původního solu, což odpovídá nejnižší dostupné koncentraci Sebosilu S, který je v takto nízké koncentraci na trhu. Na modelové vzorky bylo tedy aplikováno vždy 60 ml konsolidantu.

Konsolidanty CaLoSiL E25, KSE 300 a KSE 300HV byly aplikovány v původní koncentraci, bez ředění. Aby mohly být vzorky mezi sebou porovnány, bylo upraveno aplikované množství těchto konsolidantů tak, aby vyloučily taktéž 3 gramy konsolidantu. Podle toho se CaLoSiLu E25 aplikovalo 100 ml na těleso, KSE300 a KSE 300HV byly aplikovány v množství 10 ml (u CaLoSiLu E25 byl finální přírůstek nakonec o něco vyšší viz. "3.5.5 Množství vyloučeného gelu, či pevné složky v tělesech"). Aplikace u všech konsolidantů probíhala postupně v menších dávkách tak, aby se předchozí objem aplikovaný na těleso důkladně vsákl. Při aplikaci byl konsolidant dávkován přibližně po 15 ml, přičemž dávky byly aplikovány po sobě s krátkým časovým odstupem po vsáknutí a vyschnutí předchozího objemu konsolidantu.



Obr. 06: Způsob příbravy laboratorních těles a aplikace konsolidantů. Zdroj obrázku: MACOUNOVÁ, Dana. Diplomová práce: *Restaurování vápencové sochy svěťice č. 1 s využitím nanosuspenzí na bázi Ca(OH)₂ / Zhodnocení možnosti využití nanosuspenzí na bázi Ca(OH)₂ pro konsolidaci organodetrického vápence v porovnání s běžně používanými prostředky na bázi TEOS*; Rozšířená restaurátorská zpráva. Univerzita Pardubice Fakulta restaurování, 2012, s. 110.



Obr. 07: Aplikace konsolidantu CaLoSiL E25 injekční stříkačkou.

Postup:

Při aplikaci kombinace konsolidantů křemičitých nanosolů a vápenné nanosuspenze byl nejprve aplikován CaLoSiL v množství 50 ml. Suspenze byla rovnoměrně nanесena na povrch vzorků. Po aplikaci CaLoSiLu E25 byly vzorky umístěny do prostředí, kde byla relativní vzdušná vlhkost udržována nad 60 % po dobu 14 dní.⁷⁰ Tento krok umožnil, aby vápenná suspenze zreagovala a poskytla první fázi zpevnění.⁷¹ Následně bylo na vzorky aplikováno 30 ml křemičitého solu, přičemž ten byl aplikován v koncentraci 5 %. Prostředek byl nanášen ze stejné strany jako CaLoSiL E25. Vzorky byly ponechány k vyvrání za kontrolovaných podmínek, poté byla testována míra jejich zpevnění.

3.4.2 Kondicionace konsolidovaných vzorků

Vzorky konsolidované vápennou nanosuspenzí a estery kyseliny křemičité byly uloženy minimálně na jeden měsíc v podmínkách s relativní vzdušnou vlhkostí vyšší než 60 % (RH 60-76 %, při teplotě 16-19 °C).

Křemičité soly byly ponechány v laboratorních podmínkách 23,3°C a relativní vlhkost 40,2 %. Po uplynutí měsíce byly vzorky změřeny, zváženy a následně testovány. U organokřemičitanů KSE300 a KSE 300HV byla zjišťována hydrofobita nakápnutím kapky vody na povrch impregnovaných těles. Hydrofobní chování zjištěné u některých vzorků naznačovalo, že vytvrzovací reakce neproběhla úplně a je nezbytné vzorky dále nechat reagovat v kontrolovaných podmínkách s vyšší RH.

70 14 dní bylo stanoveno na základě gravimetrického sledování průběhu karbonatace a z výpočtu teoretického přírůstku hmotnosti v důsledku proměny hydroxidu vápenatého na uhličitán vápenatý. Vážením vzorku bylo zjištěno, že rychlost karbonatace je poměrně vysoká. Po rychlém nástupu karbonatace v prvních dnech po impregnaci a odpaření ethanolu dochází po 10 až 14 dnech k stabilizaci hmotnosti a k dosažení téměř úplné konverze hydroxidu vápenatého na uhličitán vápenatý.

71 BAYER, Karol; MACOUNOVÁ, Dana; MACHAČKO, Luboš. *Nanosuspenze hydroxidu vápenatého jako konsolidanty porézních vápenců a vápenných omítek – od laboratorních testů k praktické aplikaci*. Litomyšl: Fakulta restaurování, Univerzita Pardubice.

3.5 Metodika testování

Metody testování lze rozdělit do tří skupin:

1. Vybrané vlastnosti konsolidantů

U samotných konsolidantů byly stanoveny dodatečné vlastnosti jako pH prostředků, obsah sušiny a složení.

2. Chování gelů

Na Petriho miskách byly měřeny změny hmotnosti gelů s různou relativní vzdušnou vlhkostí (20%, 30%, 60%, 80%, 90%), což pomohlo posoudit vliv vlhkosti na jejich vlastnosti. Dále bylo pomocí pH papírků a pH metru měřeno pH křemičitých solů, aby se ověřily údaje z technických listů produktů. Byly také podrobeny vizuální analýze, která hodnotila optické změny, jako je změna barevnosti a míra rozpraskání gelu.

3. Testování na zkušebních tělesech

Zpevňující efekt konsolidantů byl testován na omítkových tělesech. Zpevnění se vyhodnocovalo na základě měření pevnosti v tlaku a dynamického modulu pružnosti, míra konsolidace i distribuce konsolidantu v tělese byla zjišťována měřením rychlosti ultrazvukové transmise v různých hloubkách směrem od konsolidovaného povrchu, kterým se konsolidanty napouštěly. Na aplikační straně těles na závěr proběhlo orientační měření kapilární nasákavosti. Kromě toho se na tělesech hodnotily optické změny.

3.5.1 Stanovení pH křemičitých solů

Cílem tohoto měření bylo ověřit údaje o pH z technických listů produktů křemičitých nanosolů.

Měření pomocí pH papírků

Pro měření byly použity testovací papírky Ahlstrom na pH v rozmezí 0-14, které jsou napuštěny jedním nebo několika indikátory, které při vystavení určitým podmínkám projeví výraznou barvou. V kyselé oblasti se barví do červena, v zásadité oblasti do modra.

Postup

Nejprve byl aplikován na Petriho misku zkoumaný roztok křemičitého nanosolu. Poté byly použity testovací pH papírky Ahlstrom s rozsahem 0-14. pH papírek byl ponořen do zkoumaného roztoku na několik sekund, aby se indikátor mohl dostatečně zbarvit. Papírek byl vyjmut z roztoku a okamžitě porovnán se změněnou barvou na barevné škále dodané s pH papírky.

Měření pH metrem

Měření pH bylo provedeno laboratorním pH metrem WTW, inoLab pH Level 1 (WTW, GmbH).

Postup

Přístroj byl kalibrován v rozmezí pH 7,00-10,01 s přesností cca 0,005 při provozní teplotě 15-35 °C, v okolí kalibračního bodu cca 0,01. Ve dvou případech byl přístroj překalibrován do nižší oblasti pH. pH konsolidantů se v obou případech stanovovalo na původních koncentracích. Kombinovaná elektroda byla ponořena do zkoumaného roztoku dokud se hodnota pH nestabilizovala. Poté byla hodnota zaznamenána.



Obr. 08: Měření pH konsolidantu pomocí pH metru WTW, inoLab s kalibrací v rozmezí pH 7,00-10,01.

3.5.2 Stanovení obsahu sušiny

Cílem testu bylo stanovit obsah sušiny křemičitých solů, což je klíčové pro přesný výpočet koncentrace konsolidantů a pro sjednocení koncentrace potřebné pro aplikaci na připravená tělíska.

Postup

Na Petriho misky byly aplikovány 4 ml křemičitého solu (neředěno). Misky byly umístěny do sušárny s teplotou 105 °C, kde byly ponechány k vysušení do konstantní hmotnosti (cca 6 hodin).

Hmotnost vzorků byla pravidelně sledována na laboratorní váze v intervalech 2 hodin. Po vyjmutí ze sušárny byly vzorky vloženy do exsikátoru, aby se zajistilo, že vzorky vychladnou na pokojovou teplotu a tím se předešlo vlivu pohlcování případné vlhkosti na hmotnost vzorků. Po ochlazení v exsikátoru byly vzorky zváženy na laboratorní váze. Tento proces vážení a ochlazování byl opakován v intervalech 2 hodin, dokud se hmotnost vzorků neustálila. Konstantní hmotnost byla zaznamenána u všech vzorků po šesti hodinách.

Výpočet

Po dosažení konstantní hmotnosti byl vypočten obsah sušiny pomocí následujícího vzorce:

$$\Delta m\% = \left(\frac{m_0 - m_c}{m_0} \right) \times 100$$

kde:

- m_c konečná hmotnost vzorku po vysušení
- m_0 je hmotnost vzorku před sušením.

3.5.3 Studium změn gelů v závislosti relativní vzdušné vlhkosti

Cílem této zkoušky bylo sledovat změny hmotnosti všech vzniklých křemičitých gelů v závislosti na relativní vlhkosti. Zkouška se provádí na vyzrálých gelech konsolidantů připravených na Petriho miskách. Při zkoušce se kromě změny hmotnosti posuzoval vzhled vytvořených gelů, včetně změny barevnosti a míry rozpraskání.

Materiál a zařízení

Vzorky byly postupně umisťovány do klimakomory s kontrolovanou vlhkostí a teplotou (BMT CLIMACELL model CLC-B2V-M/CLC 404-TV). Hmotnost vzorků byla před a v průběhu zkoušky měřena na přesné analytické váze.

Postup

1. Konsolidanty byly aplikovány na Petriho misky v množství 8 ml a kondicionovány v laboratorních podmínkách 23,3°C a relativní vlhkost 40,2 % po dobu jednoho měsíce. Po této době došlo k tvorbě pevných gelů a ustálení hmotnosti vzorků (m_0). Vzorky byly podrobeny vizuální analýze k posouzení změn barevnosti a míry rozpraskání gelu.

2. Petriho misky s rozpraskanými gely byly postupně vkládány do klimakomory se vzrůstající RH. V průběhu uložení se zaznamenávala změna hmotnosti vzorků. Při ustálení hmotnosti se odečetla hodnota mRH (hmotnost vzorku při dané relativní vlhkosti) a relativní vlhkost v komoře se zvýšila. Relativní vlhkosti v komoře a uložení vzorků bylo následující:

- 20 % (3 dny)
- 30 % (po dobu 5 dní)
- 60 % (po dobu 5 dní)
- 80 % (po dobu 7 dní)
- 90 % (po dobu 7 dní)

Výpočet

Rozdíly v hmotnosti vzorků při různých úrovních RH byly analyzovány a interpretovány s ohledem na vliv vlhkosti na materiál. Pro výpočet změny hmotnosti vzorků v hmotnostních procentech při různých relativních vlhkostech použijeme následující vzorec:

$$\Delta m(\%) = \left(\frac{m_{RH} - m_0}{m_0} \right) \times 100$$

kde:

$\Delta m(\%)$ je procentuální změna hmotnosti.

m_{RH} je hmotnost vzorku při dané relativní vlhkosti

m_0 je počáteční hmotnost vzorku na začátku testu

3.5.4 Kvantitativní složení vytvrdnutých gelů

Součástí hodnocení vlastností studovaných gelů, bylo zjištění jejich prvkového složení pro prvkovou analýzu SEM-EDS (rastrovací elektronová mikroskopie v kombinaci s energodisperzní analýzou).

Pro analýzu byly použity vytvrdnuté čisté gely odebrané z Petriho misek. Analýza byla provedena rastrovacím elektronovým mikroskopem JEOL JSM-IT200 / Universität für angewandte Kunst Wien / University of Applied Arts Vienna, Institut für Konservierung und Restaurierung / Institute of Conservation.

Prvkové složení bylo vyjádřeno v přepočtu na oxidy.

3.5.5 Množství vyloučeného gelu, či pevné složky v tělesech

Stanovení množství vyloučeného gelu po impregnaci a vytvrzení konsolidanty bylo provedeno na omítkových tělesech. Zkouška nám pomohla monitorovat průběh zrání konsolidantu a určit, finální množství vyloučeného gelu či pevné složky v napuštěných tělesech. To bylo docíleno srovnáním reálného a teoretického nárůstu hmotnosti. Předpokládaný nárůst byl 3 g (viz kapitola „3.4.1 Aplikace samostatných konsolidantů“) a u CaLoSiLu E25 o něco vyšší viz níže. Zkouškou je také možné zjistit případné ztráty v důsledku manipulace. Výsledky byly převedeny na hmotnostní procenta a porovnány mezi sebou.

Výsledky byly poté přepočítány na hmotnostní procenta a jejich rozdíl byl vyjádřen procentuálně.

$$x = \left(\frac{m_0 - m_n}{m_n} \right) \times 100$$

kde:

x – nárůst hmotnosti vzorku (%)

m_n – hmotnost neošetřeného vzorku (g)

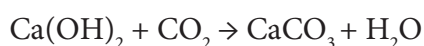
m_0 – hmotnost ošetřeného vzorku (g)

Výsledná hodnota byla porovnána s očekávanou hodnotou pomocí rozdílu v % a zanesena do sloupcového grafu.

Postup

Vzorky omítky byly před zpevněním zváženy a pak po vytvrzení (reakce) konsolidantu. Zaznamenán byl rozdíl hmotnosti v gramech a data byla porovnána s teoretickým výtěžkem. Ten měl u všech vzorků křemičitých solí činit 3 g.

Nárůst hmotnosti u CaLoSiLu E25 je ovlivněn karbonatací hydroxidu vápenatého (vazbou CO_2 ze vzduchu) při tvorbě uhličitanu vápenatého.



Výpočet nárůstu hmotnosti v průběhu karbonatace

Očekávaný nárůst hmotnosti vypočítáme ze vztahu:

$$m_m = M_r \times m_u$$

m_m – klidová hmotnost molekuly

M_r – relativní atomová hmotnost

m_u – atomová hmotnostní jednotka

M – molární hmotnost

m – reálná hmotnost

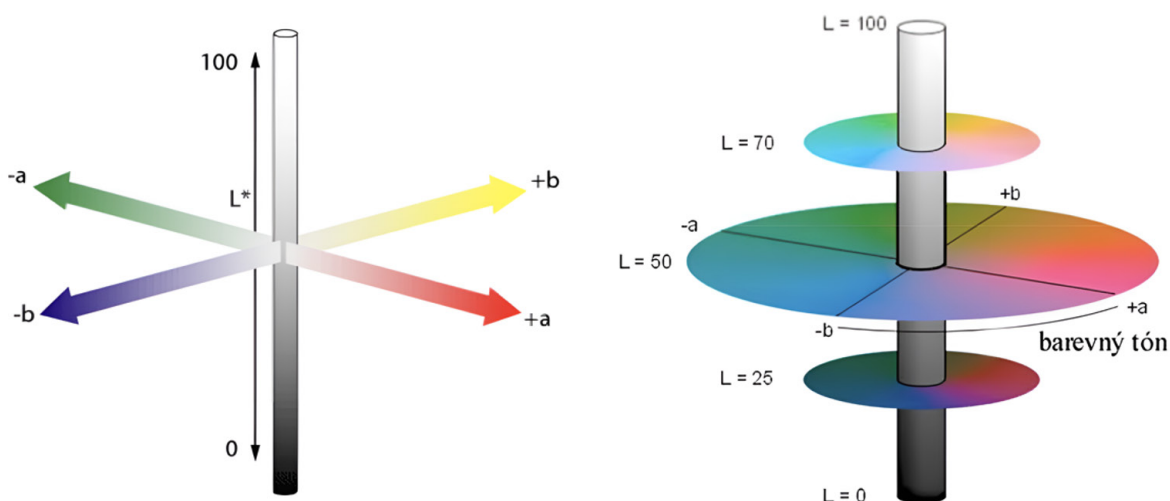
Molární hmotnost $\text{Ca}(\text{OH})_2$ je 74.10 g/mol.

Molární hmotnost CaCO_3 je tedy 100.09 g/mol.

$$m_{\text{CaCO}_3} = m \times \frac{M_{\text{CaCO}_3}}{M_{\text{Ca}(\text{OH})_2}}$$

$$m_{\text{CaCO}_3} = 2.5 \text{ g} \times \frac{100.09 \text{ g/mol}}{74.10 \text{ g/mol}}$$

Ze 100 ml CaLoSiLu E25, který obsahuje 2,5 g hydroxidu vápenatého tedy získáme teoreticky 3,38 g uhličitanu vápenatého.



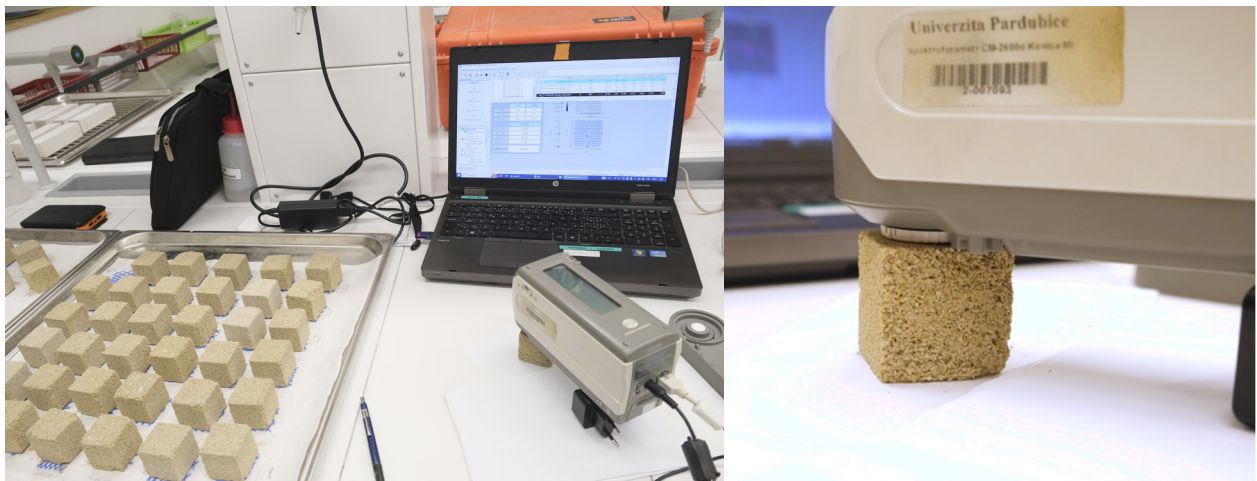
Obr. 09: Model barevného spektra v kolorimetrickém systému CIELAB zahrnující hodnoty $L^*a^*b^*$

3.5.6 Kolorimetrie

Pro měření optických změn (barvy a bílého zákalu) byl použit Spektrofotometr CM-2600d (Konica Minolta), který umožňuje přesné měření tzv. barevného odstínu a základních optických vlastností materiálů. Naměřené hodnoty se uloží v kolorimetrickém systému CIELAB jako hodnoty $L^*a^*b^*$ a jsou automaticky zprůměrovány z těchto tří měření v každém bodě.

- L^* představuje měrnou světlost, která nabývá hodnot 0 (černá) až 100 (bílá)
- a^* je osa od zelené k červené
- b^* je osa od modré k zelené

Měrná čistota barvy určuje vzdálenost od středu chromatické roviny a^*b^* , odstín udává úhel ve stupních v rovině a^*b^* , počátek je na kladné poloose a^* (červená 0°), další poloosy odpovídají následujícím barvám: b^* (žlutá 90°), $-a^*$ (zelená 180°), $-b^*$ (modrá 270°), viz obrázek.⁷²



Obr. 10: Měření barevnosti pomocí Spektrofotometru CM-2600d (Konica Minolta).

72 ZMEŠKAL O., ČEPPAN M., DZIK P. *Barevné prostory a správa barev*. 2002, dostupné z: http://www.fch.vutbr.cz/lectures/imagesci/download/stud06_rozn02.pdf

Pro hodnocení změn celkového barvového odstínu ΔE^* byla přejata tabulka:⁷³

| ΔE^* | rozdíl | ΔE^* | rozdíl |
|----------------|----------------------|--------------|----------------|
| 0,0 až 0,2 | nepostřehnutelný | | |
| 0,2 až 0,5 | velmi slabý | 0,2 až 1,0 | postřehnutelný |
| 0,5 až 1,5 | slabý | 1,0 až 2,0 | rozeznatelný |
| 1,5 až 3,0 | jasně postřehnutelný | 2,0 až 4,0 | ještě nerušící |
| 3,0 až 6,0 | střední | 4,0 až 8,0 | mírně rušící |
| 6,0 až 12,0 | výrazný | | |
| 12,0 až 16,0 | velmi výrazný | | |
| větší než 16,0 | rušící | | |

Při vyhodnocování lze hodnotit i odchylky jednotlivých složek ΔL^* , Δa^* , Δb^* .⁷⁴

| | |
|--------------------|---|
| - $\Delta L^* > 2$ | vzorek je světlejší (a naopak tmavší) |
| - $\Delta a^* > 2$ | vzorek je do červena (a naopak do zelena) |
| - $\Delta b^* > 2$ | vzorek je do žluta (a naopak do modra) |

Pro přehlednost byla vytvořena tabulka hodnocení barevnosti. Na základě odchylek barevnosti byly ohodnoceny známkami 1-4. Známkou 1 je označena nerušící změna a známkou 4 rušící změna.

Postup:

Měření probíhalo na omítkových tělesech před a po konsolidaci. U konsolidovaných vzorků byla měření provedena ze strany aplikace na třech vzorcích od každé sady. Průměr měřené plochy (kulaté štěrbin) byl 8 mm kvůli strukturovanému charakteru omítky. Na ploše jednoho vzorku byla provedena měření na třech bodech, dva při okraji a jeden uprostřed. Každý bod byl zprůměrován ze třech za sebou jdoucích měření. Při hledání místa byla snaha vyhnout se výrazněji barevným zrnkům písku, aby negativně neovlivnily naměřené hodnoty. Na závěr byl spočítán průměr za všech tří měření.

73 ZMEŠKAL O., ČEPPAN M., DZIK P. *Barevné prostory a správa barev*. 2002, dostupné z: http://www.fch.vutbr.cz/lectures/imagesci/download/stud06_rozn02.pdf

74 Ibidem.

Výpočet:

Hodnoty se porovnávají s hodnotami stanovenými na standardu (target), který pro měření představoval nekonsolidovaný vzorek. Z hodnot $L^*a^*b^*$ před a po konsolidaci lze vypočítat rozdíl barevné difference (ΔE^*):

$$\Delta E_{ab} = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2}$$

kde:

- L_1^* a L_2^* je míra světlosti či tmavosti vzorku před a po konsolidaci,
- a_1^* a a_2^* jsou červenozelené vzorku před a po konsolidaci,
- b_1^* a b_2^* jsou žlutomodré vzorku před a po konsolidaci.

Do tabulky a grafu se v rámci této studie vyhodnocovala celková barevná difference (ΔE^*) a ΔL^* , přičemž ΔE^* je vypočtena podle matematického vzorce zahrnujícího rozdíly v jasů (ΔL^*), červeno-zelené složce (Δa^*), a modro-žluté složce (Δb^*). Tento výpočet umožňuje kvantifikovat „vzdálenost“ nebo „rozdíl“ mezi dvěma barvami. Druhou hodnotou je ΔL^* , která je mírou světlání, resp. tmavnutí povrchu na ose černá/bílá oproti standardu.

3.5.7 Měření kapilární nasákavosti

Cílem měření nasákavosti bylo zjistit schopnost přijímat kapaliny (vodu) omítkového povrchu po konsolidaci a posoudit jeho změnu vzhledem ke stavu před zpevněním. Změna nasákavosti může být zapříčiněna několika jevy; některé prostředky mohou zanechávat zbytkovou hydrofobitu v důsledku nevyzrání prostředku, vliv na kapilární nasákavost může mít uzavření povrchu konsolidantem v důsledku zpětné migrace nebo sedimentace. Nasákavost se měřila dvěma metodami.

Orientační metodou byl tzv. „Drop test“, při kterém se na konsolidovaný povrch aplikuje kapka vody o stejném objemu a měří se čas, za který se vsákne. Díky tomuto jednoduchému testu je možné určit míru uzavření konsolidovaného povrchu a zda je povrch hydrofilní či hydrofobní.

Přesnější metodou bylo měření kapilární nasákavosti „Kontaktní houbovou metodou“ (Contact sponge method).⁷⁵ Tato metoda se vyznačuje jednoduchou manipulovatelností, rychlostí, ekonomickou nenáročností a nízkou mírou destrukce zkoumaného materiálu. Při měření byla použita mikroporézní polyvinylalkoholová houba, která byla položena na povrch konsolidovaného tělesa po určitou dobu.⁷⁶ Kapilární nasákavost se určuje nepřímou změnou hmotnosti houby před a na konci zkoušky v čase t (m_t), plochy (A), kterou houba dotuje těleso za časový interval Δt .

Postup:

Při měření se používá vodou nasycená houba, která se pro nasycení před každým měřením vkládá do vody a váží. Před položením na těleso se aplikační plocha mírně odsaje na papírovém ubrousku, aby se porušilo povrchové napětí hladiny vody a hmotnost nasáklé houby byla pro každé měření vždy konstantní.

Aplikace houby na testovaný substrát byla provedena položením vodou nasycené houby na zkoumanou plochu, bez přitlaku. Houba se váží před a během aplikace, přičemž rozdíl v hmotnosti odpovídá množství vody, kterou substrát absorboval.

75 VANDEVOORDE D., PAMPLONA M., SCHALM O., VANHELLEMONT Y., CNUUDE V., VERHAEVEN E. *Contact sponge method: Performance of a promising tool for measuring the initial water Absorption*. In *Journal of Cultural Heritage* 10 (2009), s. 41-47.

Tato původní metodika byla pro naše účely upravena podle disertační práce:

VOJTĚCHOVSKÝ, Jan. *Disertační práce: Povrchová konsolidace nástěnných maleb pomocí vápenno-alkoholových suspenzí a jejich směsí s estery kyseliny křemičité*. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, 2017, s. 56-60.

76 *99510 Suction-Block*, dostupné z: <http://www.kremer-pigmente.com/media/pdf/99510e.pdf>

Jako zkušební vzorek bylo nejprve použito nekonsolidované těleso, které nasáklo vodou přibližně za 10–15 min. Opakovaná aplikace houby však narušila částečně strukturální integritu povrchu. Další zkouška byla provedena u tělesa konsolidovaným Sebosilem S, kde nehrozilo narušení povrchu. Těleso vizuálně nasáklo vodou zhruba za 10 min. Z důvodu velkého počtu vzorků byl čas zkrácen na 5 minut. Houbička nasáklá vodou byla aplikována na vzorek každou minutu a poté byl zaznamenán rozdíl hmotnosti. Celkem byl tedy tento postup opakován u každého vzorku v 5 cyklech.



Obr. 11: Měření kapilární nasákavosti, působ aplikace houby na vzorek a průběžná kontrola na váze.

Výpočet:

Kapilární nasákavost se vyjadřuje jako tzv. koeficient kapilární nasákavosti vodou (w), který se počítá ze vztahu:

kde:

w je kapilární koeficient nasákavosti

m_t je hmotnost nasáklé vody v čase t (g)

A je plocha houby v kontaktu se vzorkem (m^2)

t je čas kontaktu vody se vzorkem (s)

Koeficient nasákavosti byl pro každý konsolidant a jejich kombinace vypočítán jako průměrná hodnota ze tří měření.

Směrodatná odchylka:

Směrodatná odchylka (s) se počítá pomocí následujícího vzorce:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\sigma_i - \bar{\sigma})^2}$$

kde:

n je počet vzorků (v tomto případě 3)

σ_i je nasákavost každého jednotlivého vzorku

$\bar{\sigma}$ je průměrná nasákavost

3.5.8 Ultrazvuková transmise

Metoda byla vedle měření pevnosti v tlaku použita pro hodnocení míry konsolidace. Díky možnostem metody byla v práci zároveň použita pro hodnocení distribuce konsolidantů ve vzorku. Metoda ultrazvukové transmise je nedestruktivní a byla provedena dle normy ČSN EN 14579. Měření je založeno na měření doby průchodu ultrazvukového signálu materiálem. Měření se provádí pomocí dvou sond, vysílače a přijímače, které se přikládají k povrchu vzorku proti sobě. Při měření vlastností v různých částech vzorku se sondy přesouvají od povrchu ke spodu vzorku. Přístrojem se měří čas t průchodu tzv. longitudální neboli podélné p -vlny, která se šíří materiálem v podélném směru vzorkem dané tloušťce d . Postup signálu závisí na vlastnostech materiálu, zejména jeho látkovém složení, objemové hmotnosti a porozitě (míře stmelení). U více stmelených materiálů nebo konsolidovaných vzorků je rychlost šíření UZ vyšší než u vzorků, které jsou méně stmelené nebo jsou degradované.

K měření bylo použito přístroje Geotron UKS 14 (GEOTRON-ELEKTRONIC) s externími sondami pro menší sondy a vzdálenosti (UPG-D a UPE-D 20 s měřicí frekvencí 20 kHz, rozlišením 0,1 μ s, zpožděním/kor 1,8 μ s).

Postup:

Měření bylo provedeno před a po konsolidaci vždy na pěti místech na dvou bočních stranách vzorku ve výšce 0,5 cm, 1 cm, 2 cm, 3 cm a 3,5 cm od povrchu [Obr. 13]. Na závěr bylo jedno kontrolní měření provedeno ze strany aplikace konsolidantu. Uvažováno od plochy vzorku, kterou se vzorek napouštěl. Celkem bylo tedy na každém vzorku provedeno celkem 11 měření. Vyhodnocení proběhlo jako průměr ze tří vzorků změřených každém bodě na boční straně. Druhá boční strana sloužila jako kontrolní. Výsledkem je křivka složená z pěti bodů, která sleduje míru zpevnění napříč tělesem počínaje stranou aplikace konsolidantu.

Výpočet:

Rychlost ultrazvukové transmise v se počítá v km/s dle vztahu:

$$v = d/t$$

kde:

v (km/s)

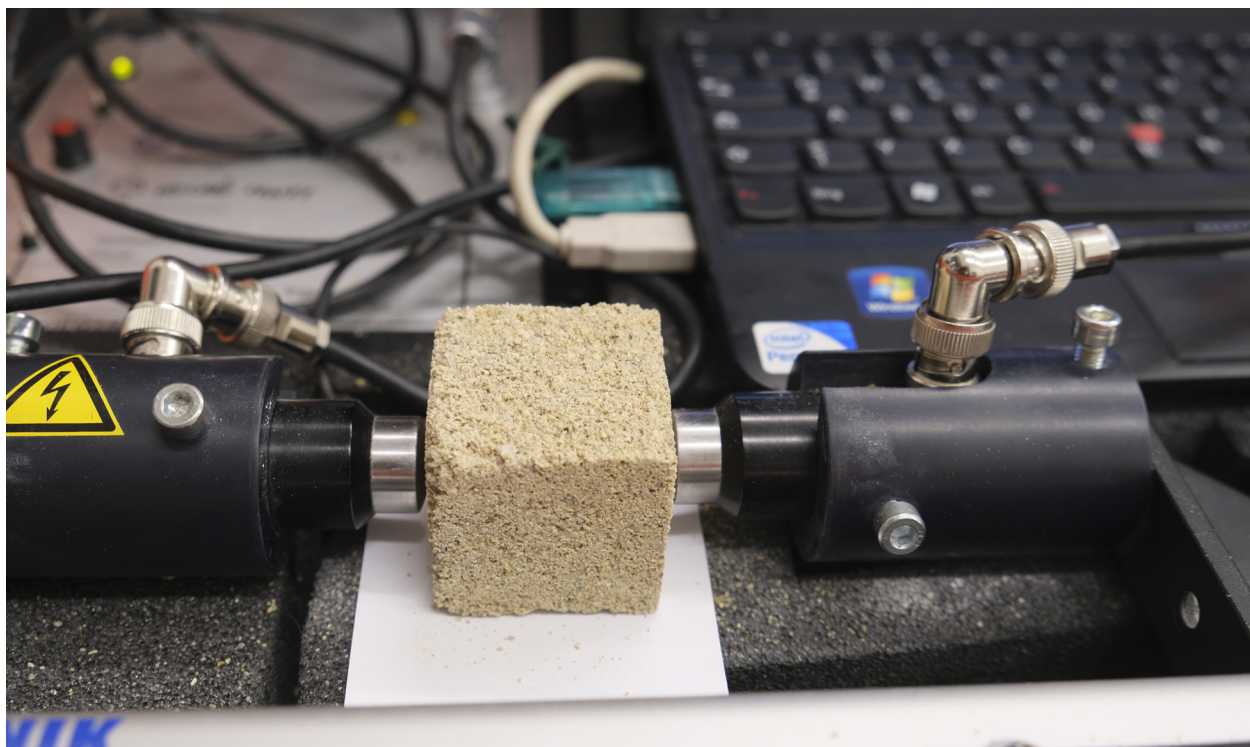
rychlost UZ transmise

d (km)

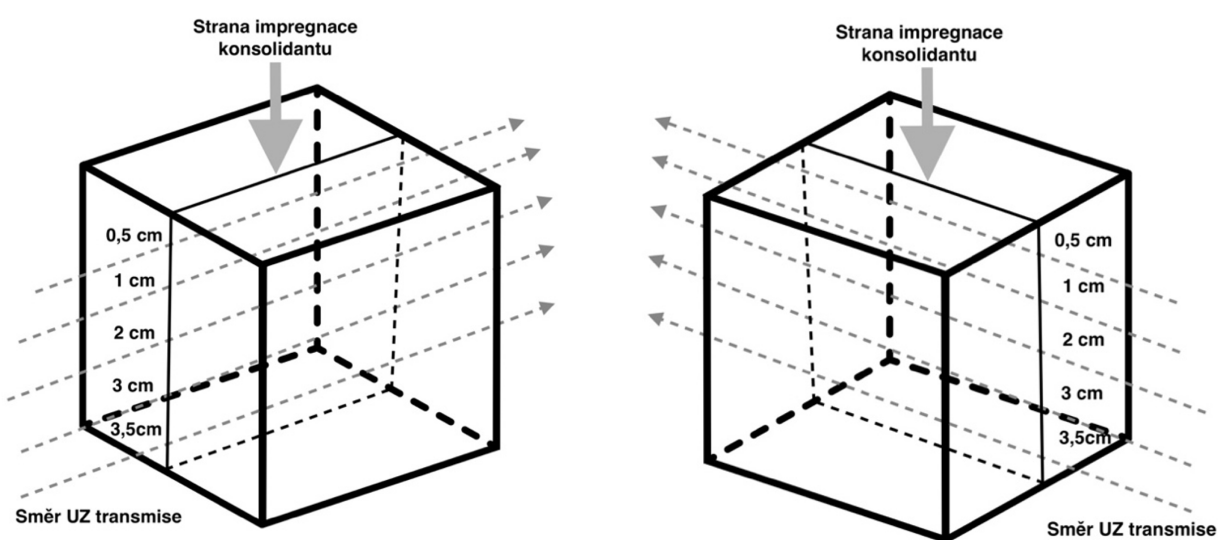
měřená vzdálenost sond/tloušťka materiálu

t (s)

čas průchodu signálu



Obr. 12: Měření ultrazukové transmise přístrojem Geotron UKS 14 (GEOTRON-ELEKTRONIC) s externími sondami UPG-D a UPE-D.



Obr. 13: Grafické schéma laboratorních těles omítky a způsobu měření směru ultrazukové transmise.

3.5.9 Pevnost v tlaku

Zkouška pevnosti v tlaku se provádí dle normy ČSN EN 1015-11 - *Zkušební metody malt pro zdivo – Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku*. Oproti normě se v měření užívaly laboratorní vzorky ve tvaru krychle o rozměrech 40x40x40 mm, a nikoliv podlouhlé trámce pro zkoušky pevnosti v tahu za ohybu. Srovnává se pevnost vzorků před a po konsolidaci.

Měření bylo provedeno na trhacím stroji FPZ 100/1 od firmy Rauenstein za podmínek uvedených normou. Pevnost v tlaku byla vypočítána jako průměrná hodnota z pěti vzorků. Cílem zkoušky je stanovit pevnost zatvrdlých malt v tlaku, přičemž se porovnává pevnost vzorků před a po konsolidaci.

Postup měření

1. Příprava trhacího stroje: Trhací stroj FPZ 100/1 byl kalibrován a nastaven podle požadavků normy ČSN EN 1015-11.
2. Umístění vzorku ve tvaru krychle s rozměry 40x40x40 mm: Každý vzorek byl umístěn do zkušebního zařízení tak, aby byla zajištěna rovnoměrná distribuce zatížení. Zařízení vytíná měřenou plochu (A) o rozměru 40x40 mm.
3. Zatěžování: Na vzorek bylo aplikováno zatížení rovnoměrnou rychlostí dané normou až do bodu destrukce.
4. Zaznamenání hodnot: Hodnota maximálního zatížení, tj. síla (F), při kterém došlo k porušení vzorku, byla zaznamenána.

Výpočet pevnosti v tlaku

Pevnost jednotlivých vzorků: Pevnost v tlaku každého vzorku (σ) byla vypočítána pomocí vzorce:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

kde:

F je maximální zatížení v newtonech (N),

A je plocha průřezu vzorku v milimetrech čtverečních (mm²), tedy 1600 mm² pro krychle 40x40 mm.

Průměrná pevnost:

Průměrná pevnost v tlaku ($\bar{\sigma}$) se stanoví jako aritmetický průměr pevností z pěti vzorků.

Vzorec pro aritmetický průměr je:

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_i$$

kde:

n je počet vzorků (v tomto případě 5)

σ_i je pevnost každého jednotlivého vzorku

Směrodatná odchylka:

Směrodatná odchylka (s) se počítá pomocí následujícího vzorce:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\sigma_i - \bar{\sigma})^2}$$

kde:

n je počet vzorků (v tomto případě 5)

σ_i je pevnost každého jednotlivého vzorku

$\bar{\sigma}$ je průměrná pevnost



Obr. 14: Trhací stroj FPZ 100/1 s umístěným konsolidovaným tělesem připraveným k měření.

3.6 Výsledky a diskuse

3.6.1 Vlastnosti konsolidantů - pH a obsah sušiny

Pro určení míry alkality produktů bylo provedeno měření pH konsolidantů v kapalném stavu nejprve pH papírky a poté pH metrem. Přehled použitých konsolidantů a jejich vlastnosti udává *Tabulka č. 2*. V tabulce byly doměřeny hodnoty pH, které byly srovnány s technickým listem, uvedeny jsou hodnoty sušiny skutečné a v závorce podle technického listu. Hodnota pH byla stanovena jen u vodných prostředků křemičitých solů a Sebosilu S, protože pH je určeno koncentrací vodíkových iontů (H^+) v koloidu.

U vodných křemičitých solů se jedná o Ludox PX30, Porosil ZTS, Primer Hydro Silicatfestiger, SioXaL A8, SioXaL A10, Levasil CC301, Levasil CC401, Levasil CS15-450, Levasil CS25-436, Levasil CS30-616P a Levasil CS34-720.

Hodnoty pH vodních skel se pohybují v široké škále 3-11,4, přičemž nejvíce alkalické jsou Primer Hydro Silicatfestiger, SioXaL A8 a Levasil CC401 s hodnotami nad 10. Slabě alkalické jsou Ludox PX 30, Porosil ZTS, SioXaL A10, Levasil CC301. Naopak kyselý je Levasil CS34-720 s hodnotou pH 3,08. Naměřené hodnoty se přibližně shodují s hodnotami uvedených v technických listech, kontrolní měření pH papírky také odpovídalo. Zajímavé je, že alkalita neměla zásadní vliv na konsolidační účinek.

Tab. 02: Přehled konsolidantů, informací z technického listu (v závorce) a vlastní měření pH a obsahu sušiny. U některých konsolidantů nebylo pH měřeno (-).

| Zpevňovač (výrobce/distributor) | Složení konsolidantu dle technického listu | pH PH metr (Dle technického listu) | Obsah sušiny (%) (Dle technického listu) | pH |
|---|--|------------------------------------|--|---------------|
| CaLoSiL® E25 (IBZ-Freiberg) | Ca(OH) ₂ , ethanol | (>12) | - (2,5) | - |
| KSE 300® (Remmers) | SiO ₂ nemodifikovaný alkoxyilan | - | - (30) | - |
| KSE 300HV® (Remmers) | SiO ₂ (alkoxyilan modifikovaný primery) | - | - (30) | - |
| Sebosil S® 5% (Kallies Feinchemie) | SiO ₂ (ethanol) | 5 (5-6) | 16,10 (5) | neutrální |
| Sebosil S® 10% (Kallies Feinchemie) | SiO ₂ (ethanol) | 5 (5-6) | 10,90 (10) | neutrální |
| Sebosil S® 20% (Kallies Feinchemie) | SiO ₂ (ethanol) | 5 (5-6) | 21,5 (20) | neutrální |
| Ludox PX 30® (Syton X 30®) Kremer (Deffner & Johann) | SiO ₂ , Na ₂ O (Na ₂ O, s-Na, etylenglykol) | 9,82 (9,8-10,4) | 30,88 (30) | Slabá alkálie |
| Porosil ZTS® (Aqua Bárta) | SiO ₂ , Na ₂ O (-) | 9,41 (9) | 29,94 (Neuvedeno) | Slabá alkálie |
| Primer Hydro Silicatfestiger® (Remmers) | SiO ₂ (-) | 11,36 (11,5) | 25,24 (Neuvedeno) | Silná alkálie |
| SioXaL A8® (IBZ-Freiberg) | SiO ₂ (NaCl, CaCl ₂ , MgCl ₂) | 10,2 (9-10) | 30,03 (30) | Silná alkálie |
| SioXaL A10® (IBZ-Freiberg) | SiO ₂ (NaCl, CaCl ₂ , MgCl ₂) | 9,74 (9-10) | 30,72 (30) | Slabá alkálie |
| Levasil CC301® (Nouryon) | SiO ₂ (m.-epoxisilan, ethanol) | 9,70 (9-10) | 32,38 (26-30) | Slabá alkálie |
| Levasil CC401® (Nouryon) | SiO ₂ (m.-epoxisilan, ethanol) | 10,19 (9,7-10,3) | 39,29 (35-39) | Silná alkálie |
| Levasil CS15-450® (Nouryon) | SiO ₂ (Na ₂ O) | 7,27 (5-9) | 16,21 (15) | Neutrální |
| Levasil CS25-436® (Nouryon) | SiO ₂ (s.-Na, m.-Al) | 7,27 (5-9) | 26,04 (25) | neutrální |
| Levasil CS30-616P® (Nouryon) | SiO ₂ (s. NH ₃) | 9,39 (9-10) | 31,51 (30) | alkálie |
| Levasil CS34-720® (Nouryon) | SiO ₂ (-) | 3,08 (2,3-3,3) | 34,91 (34) | Silně kyselé |

*m.-modifikace, s.-stabilizace

Stanovení obsahu sušiny

Stanovení obsahu sušiny bylo zásadní pro sjednocení přesné koncentrace křemičitých solí a následnou aplikaci na laboratorní tělesa omítky.

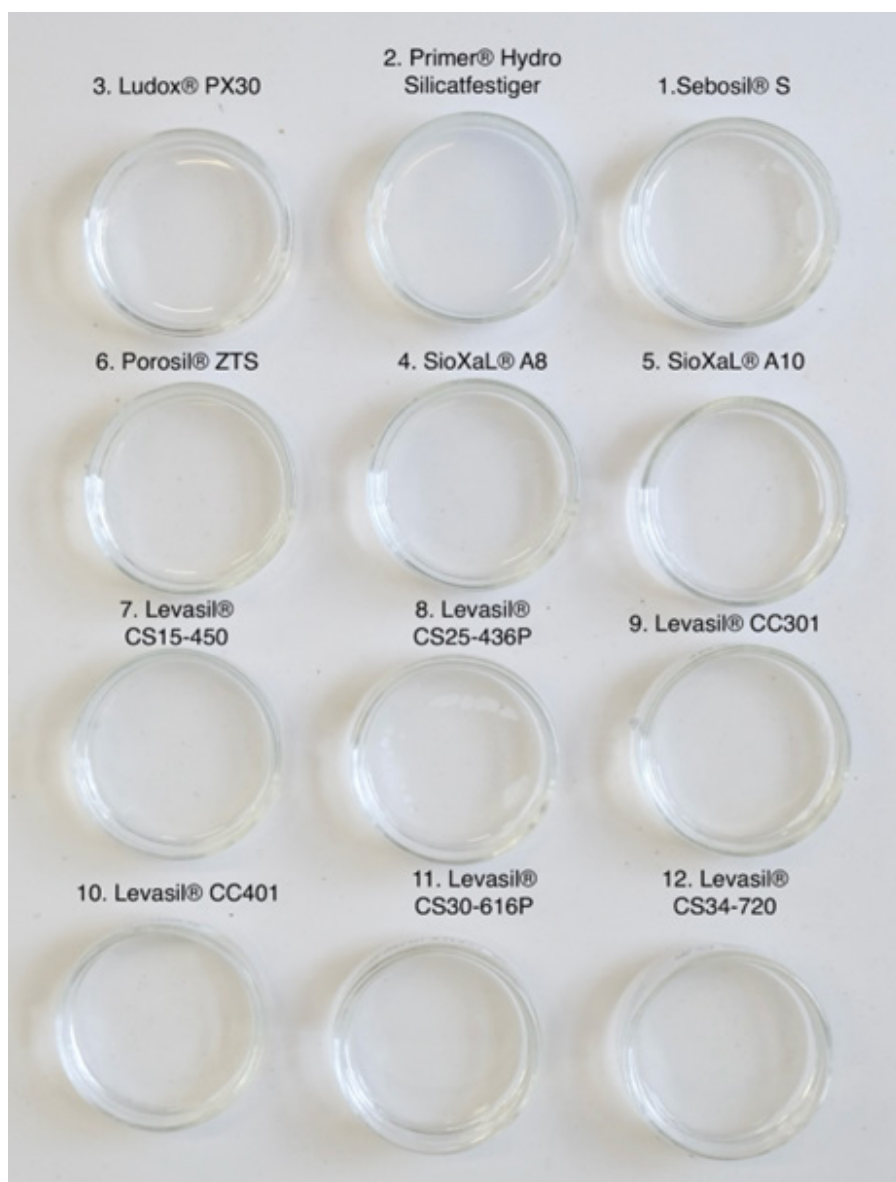
Při stanovení obsahu sušiny se výsledky s menší odchylkou shodují s údaji v technickém listu. U dvou produktů nebyla koncentrace v technických listech uvedena. Výsledky byly stanoveny jen experimentálně. Konkrétně se jedná o Porosil ZTS – Aqua Bárta (29,94 %), Primer Hydro Silicatfestiger – Remmers (25,24 %).

Na základě naměřených výsledků byly konsolidanty doředy příslušným rozpouštědlem (voda, ethanol) na přesnou koncentraci potřebnou k aplikaci na laboratorní tělesa.

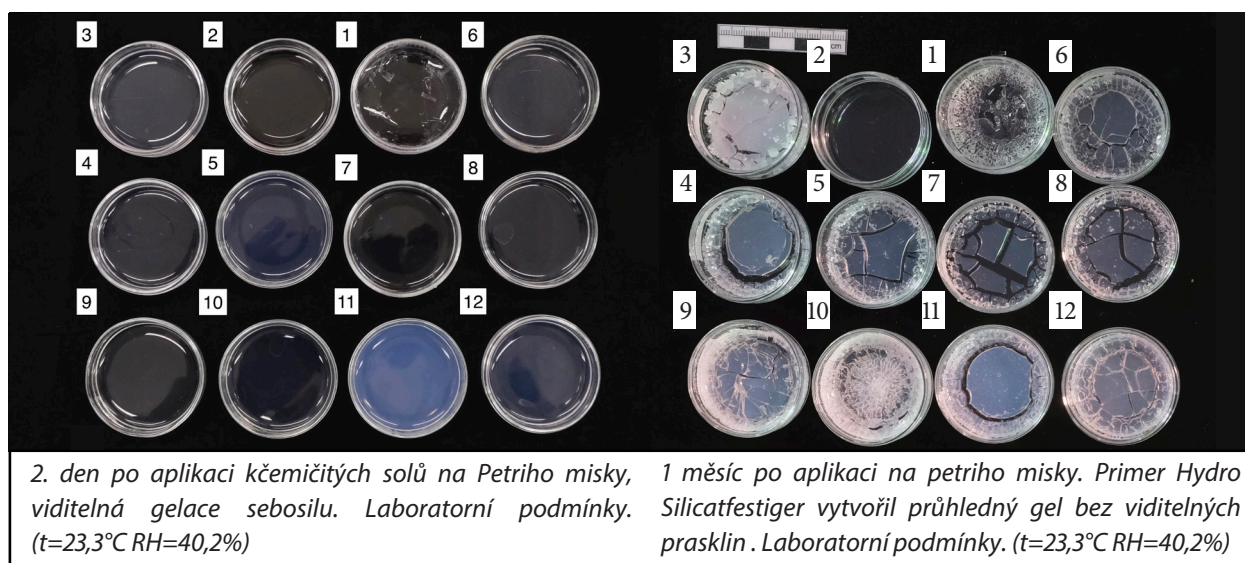
Tab. 03: Porovnání obsahu sušiny uvedené v technickém listu a vlastního měření.

| Produkty | Dle technického listu (%) | Vlastní měření (%) |
|-------------------|---------------------------|--------------------|
| Sebosil S 20% | 20,00 | 21,51 |
| Sebosil S 10% | 10,00 | 10,90 |
| Sebosil S 5% | 5,00 | 6,10 |
| Ludox PX30 | 30,00 | 30,88 |
| Porosil ZTS | Neuvedeno | 29,94 |
| Primer Hydro SF* | Neuvedeno | 25,24 |
| SioXaL A8 | 30,00 | 30,03 |
| SioXaL A10 | 30,00 | 30,72 |
| Levasil CC301 | 26-30 | 32,38 |
| Levasil CC401 | 35-39 | 39,29 |
| Levasil CS15-450 | 15,00 | 16,21 |
| Levasil CS25-436 | 25,00 | 26,04 |
| Levasil CS30-616P | 30,00 | 31,51 |
| Levasil CS34-720 | 34,00 | 34,91 |

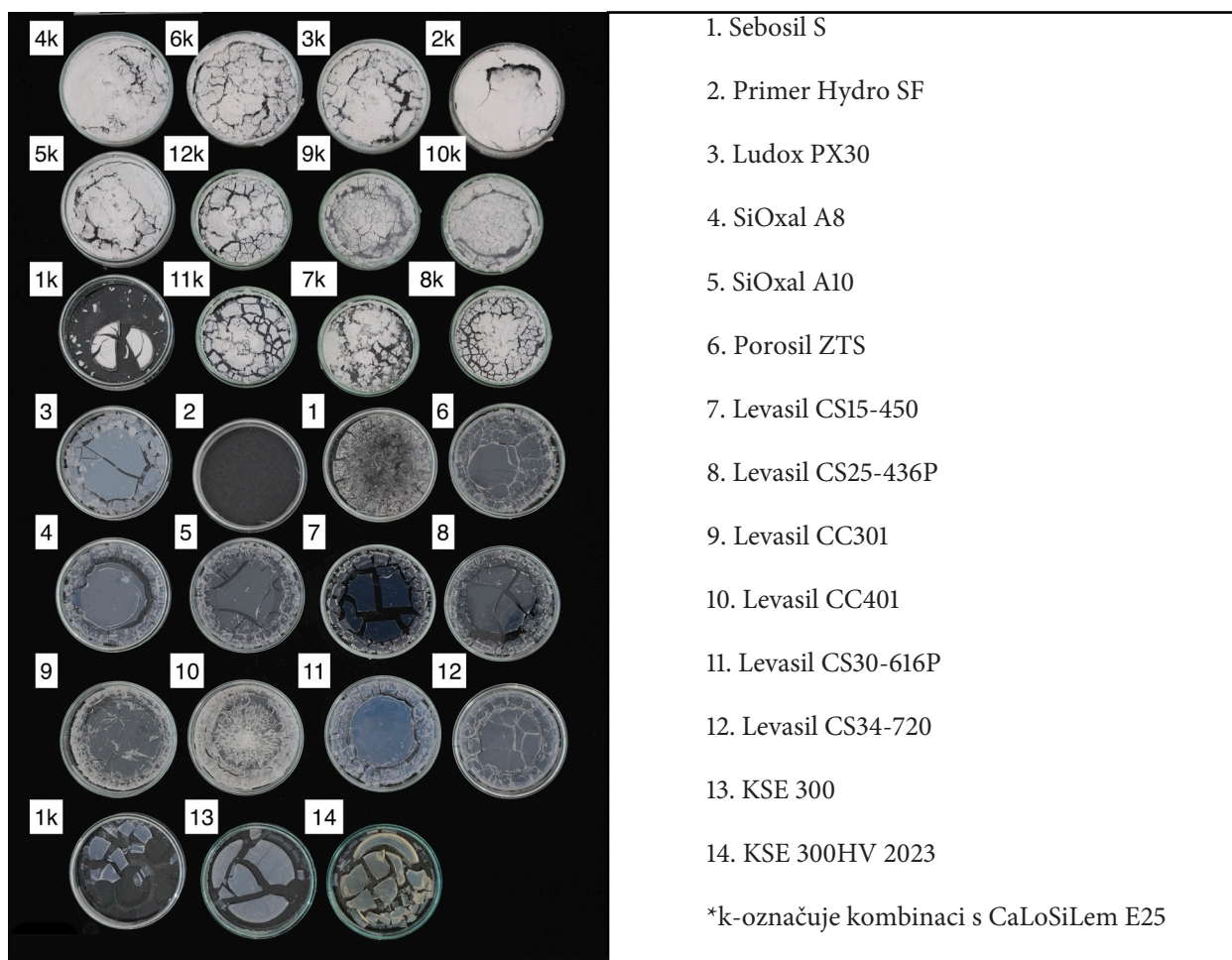
*Primer Hydro Silicatfestiger



Obr. 15: Přehled křemičitých solů v kapalné formě těsně po aplikaci na Petriho misky (8 ml), barevnost kapalin na bílém podkladu.



Obr. 16: Zkoumání přechodu křemičitého solu na gel v laboratorních podmínkách. Jako první vytvořil pevný gel Sebosil S.



Obr. 17: Legenda - konsolidanty na Petriho miskách po gelaci (2 měsících v laboratorních podmínkách).

3.6.2 Vzhled gelů

Pozorování vzledu vytvrdlých gelů jednotlivých křemičitých gelů nám může napovědět jak se konkrétní konsolidant může chovat v porézním systému. [Obr. 16]

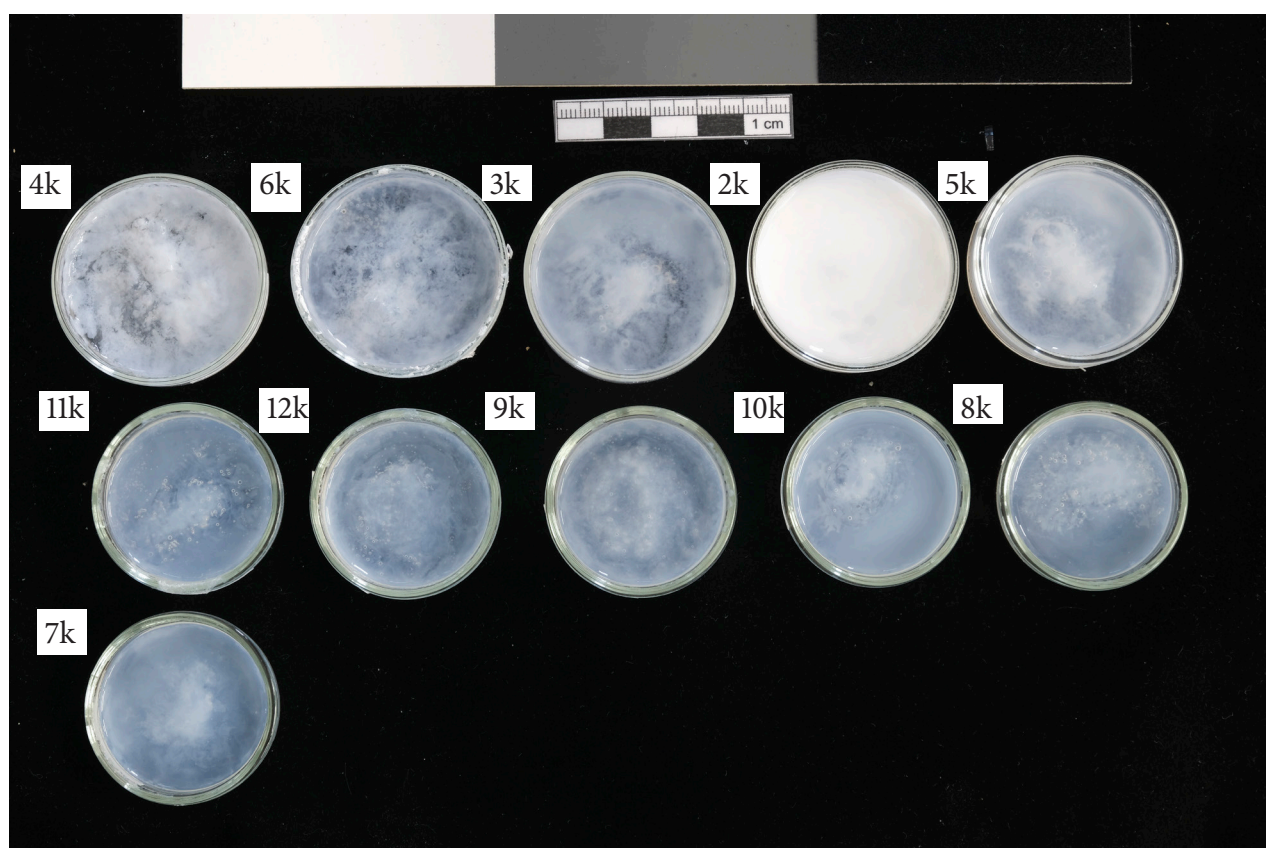
Jako první přešel na gel Sebosil S, který zároveň vykazuje největší míru smrštění a s tím související rozpraskání gelu. Tento gel společně s gely SiOxal A10, Levasil CS15-450, Levasil CS25-436P a Primer Hydro Silicatfestiger mají téměř průhledný charakter. Poslední zmiňovaný Primer však vytvořil na první pohled nepatrnou rozpraskanou strukturu o více jak měsíc později než ostatní soly. Nejvýraznější mléčný zákal pozorujeme u gelu Ludox PX30 a Levasil CC301.

| | |
|-----------------------|---|
| 1. Sebosil S | průhledný velmi rozpraskaný gel |
| 2. Primer Hydro SF | průhledný gel s nepatrnými prasklinkami |
| 3. Ludox PX30 | mléčně zakalený hrubě rozpraskaný gel |
| 4. SiOxal A8 | průsvitný hrubě rozpraskaný gel |
| 5. SiOxal A10 | průhledný hrubě rozpraskaný gel |
| 6. Porosil ZTS | průsvitný hrubě rozpraskaný gel |
| 7. Levasil CS15-450 | průsvitný hrubě rozpraskaný gel |
| 8. Levasil CS25-436P | průsvitný hrubě rozpraskaný gel |
| 9. Levasil CC301 | mléčně zakalený průsvitný hrubě rozpraskaný gel |
| 10. Levasil CC401 | mléčně zakalený průsvitný jemně rozpraskaný gel |
| 11. Levasil CS30-616P | průsvitný hrubě rozpraskaný gel |
| 12. Levasil CS34-720 | mléčně zakalený průsvitný hrubě rozpraskaný gel |

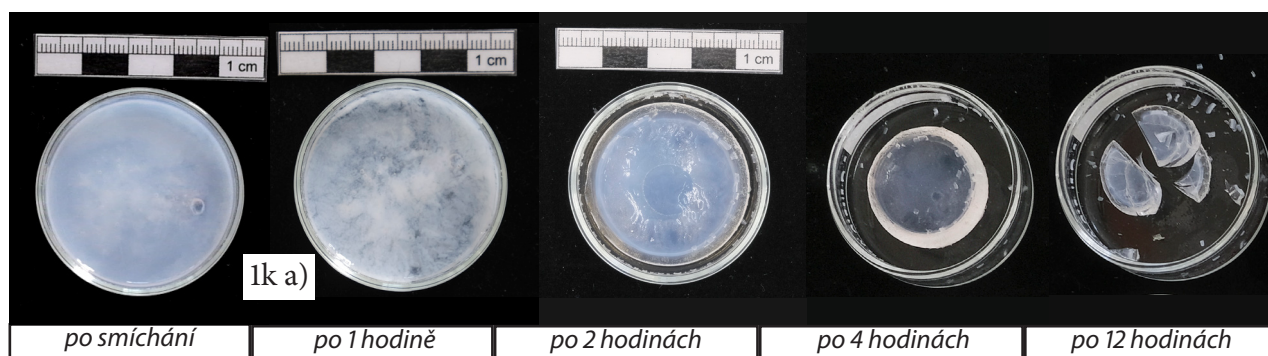
Kombinace křemičitého solu s vápenou nanosuspenzí urychlila gelaci a po vyschnutí se oddělil uhličitán vápenatý a vytvořil bílou krustu na povrchu každého gelu. Výjimkou je Sebosil S viz kapitola „3.6.3 Kombinace křemičitých solů s CaLoSiLem E25 na Petriho miskách“ [Obr. 20].

3.6.3 Kombinace křemičitých solů s CaLoSiLem E25 na Petriho miskách

Sledování reakce směsi křemičitého solu a vápenné nanosuspenze na petriho přineslo cenné poznatky o chování a rychlosti tvorby gelu. Cílem bylo zjistit možnosti aplikace hybridního systému na připravená laboratorní tělesa.



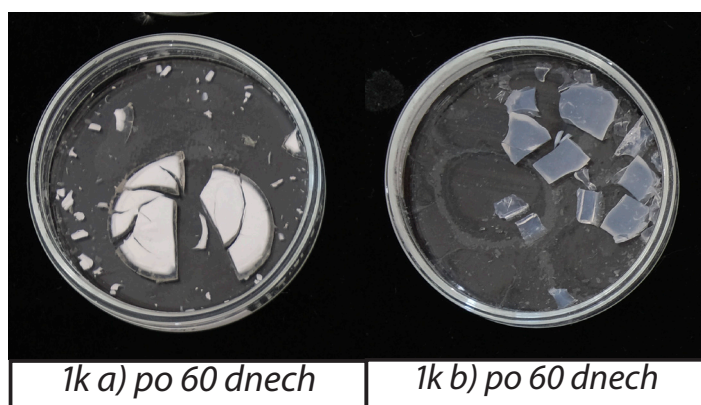
Obr. 18: Písmeno k označuje měsíc křemičitého solu s vápennou nanosuspenzí. Reakce křemičitých solů po kontaktu s vápennou nanosuspenzí: 2. Primer Hydro SF, 3. Ludox PX30, 4. SiOxal A8, 5. SiOxal A10, 6. Porosil ZTS, 7. Levasil CS15-450, 8. Levasil CS25-436P, 9. Levasil CC301, 10. Levasil CC401, 11. Levasil CS30-616P, 12. Levasil CS34-720. ($t=23,3^{\circ}\text{C}$, $RH=40,2\%$)



Obr. 19: 1k a) Sebosil S - Průběh gelace gelace Sebosilu S po kontaktu s vápennou nanosuspenzí.

Při aplikaci obou typů konsolidantů (křemičitého solů a vápenné suspenze) došlo k okamžité reakci a vytvořil se gel. Pouze u Sebosilu S trvala reakce o něco déle. Sol začal svou gelaci po 5 minutách. V následujících 12 hodinách vytvořil vytvrdlý gel a praskl viz [Obr. 19].

Tímto způsobem bylo vyloučeno, aby se konsolidanty aplikovaly na tělesa ve směsi, či těsně za sebou. Na druhou stranu urychlení gelace aplikací vápenné nanosuspenze by mohlo být využito jako opatření proti zpětné migraci křemičitých solů po jejich aplikaci. Nevýhodou zkoumaných hybridních systémů je ztráta transparentnosti gelu a vznik bílého zbarvení. U Sebosilu S pozorujeme na dvou vzorcích různé chování směsi viz.[Obr. 20]. Pro přehlednost byly vzorky označeny jako 1k a) a 1k b). V prvním případě se uhličitan vápenatý částečně oddělil na povrchu gelu a vytvořil bílý zákal. Ve druhém případě došlo k vytvoření homogenního průsvitného gelu, přestože aplikace byla provedena za stejných laboratorních podmínek. ($t=23,3^{\circ}\text{C}$, $\text{RH}=40,2\%$)



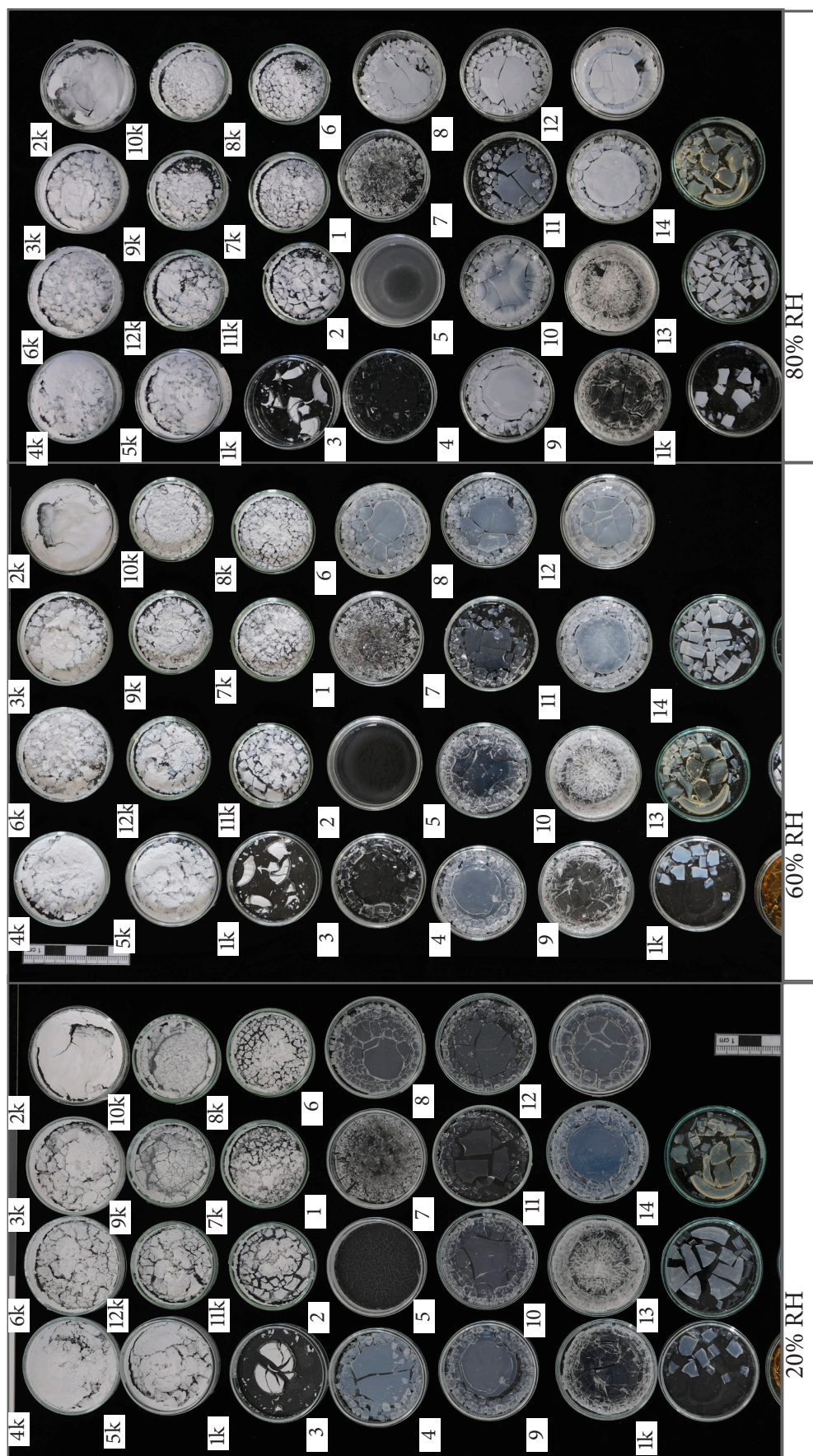
Obr. 20: Aplikace Sebosilu S společně s CaLoSiLem E25 po 2 měsících. ($t=23,3^{\circ}\text{C}$, $\text{RH}=40,2\%$)

3.6.4 Studium změn gelů v závislosti na relativní vzdušné vlhkosti

Pozorování chování vytvořených gelů v závislosti na změně relativní vzdušné vlhkosti přineslo cenné poznatky. Díky naměřeným hodnotám můžeme odhadnout do jisté míry také chování v porézním systému (například lze pozorovat míru hygroskopicity, způsob popraskání, změnu barevnosti,...).

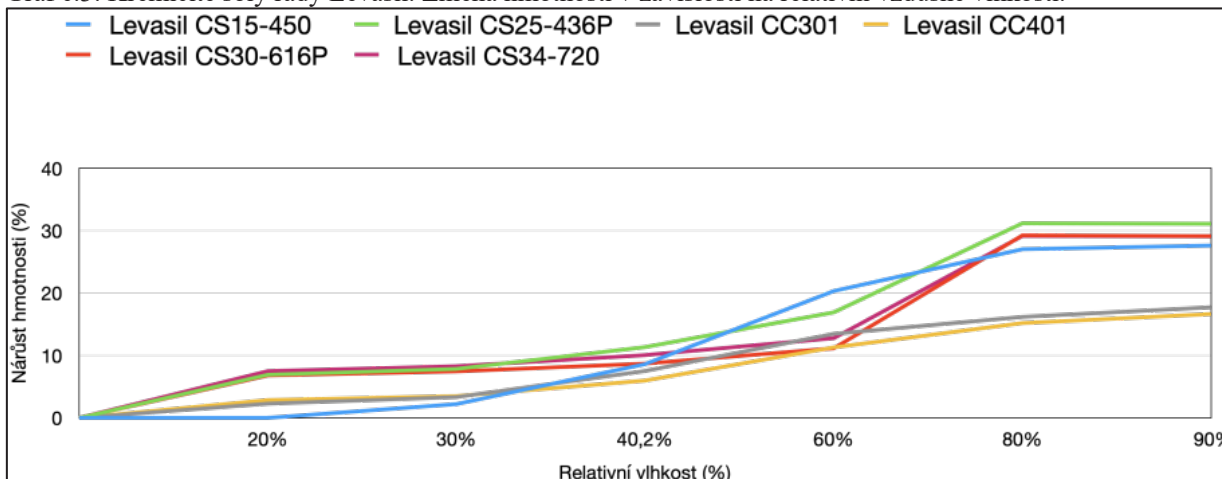
Výsledky změn gelů konsolidantů při různých RH uvádí *Tabulka č. 4*. Graficky tyto změny ilustrují *Grafy č. 3-5*. Pro přehlednost byly prostředky rozděleny do tří skupin – křemičité soly řady Levasil, ostatní křemičité soly a organokřemičitany KSE300 a KSE 300HV.

Měření ukazují, že téměř všechny testované konsolidanty jsou po vytvrzení schopné vázat vzdušnou vlhkost, přičemž tato schopnost se u jednotlivých prostředků odlišuje.

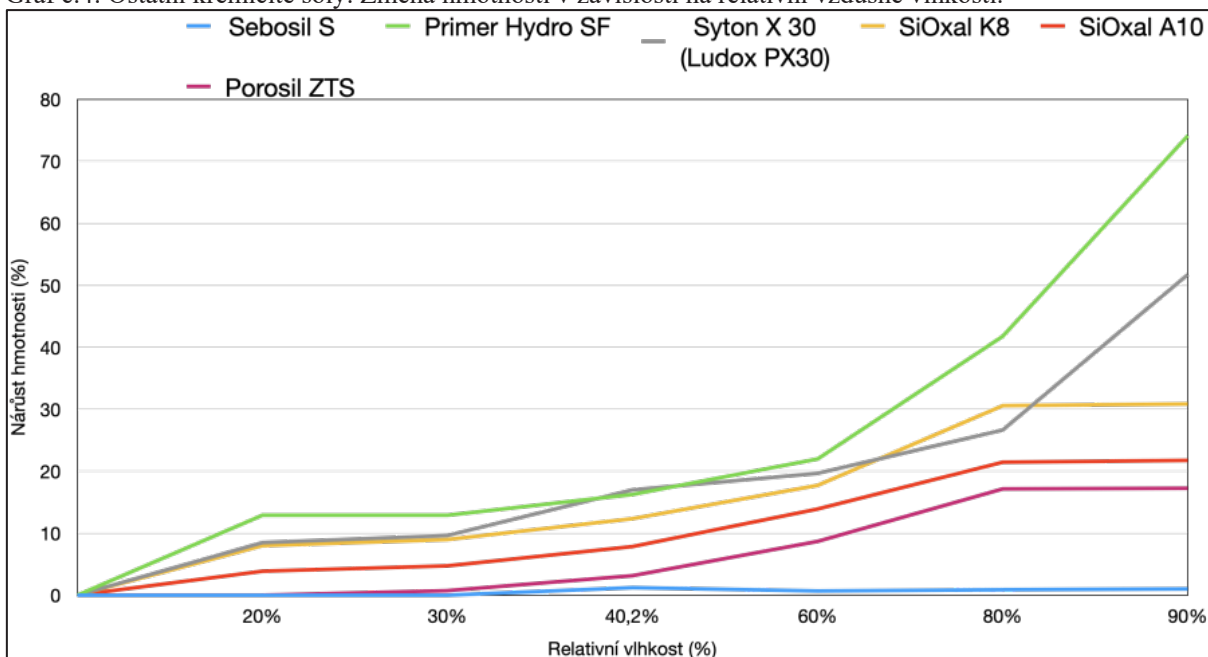


Obr. 21: Chování gelů v závislosti na změně relativní vzdušné vlhkosti (RH=20%, 60%, 80%). Na snímku můžeme pozorovat výraznou hygroskopicitu gelů Primeru Hydro SF (2), která se projevila vyloučením kapalné vody a Ludoxu PX30 (3), která se projevila zprůhledněním gelu. U křemičitých solí s nižší mírou reakce se nárůst vzdušné vlhkosti projevili zákalem. Konkrétně u: Porosil ZTS (6), SioXaL A8 (4), SioXaL A10 (5), Levasil CS15-450 (7), Levasil CS15-450 (8), Levasil CS30-616P (11), Levasil CS34-720 (12). Na produktech Levasil/CC301 (9), CC401 (10), Sebosilu S (1) a organokřemičitanech typu KSE (13,14) se optická změna neprojevila.

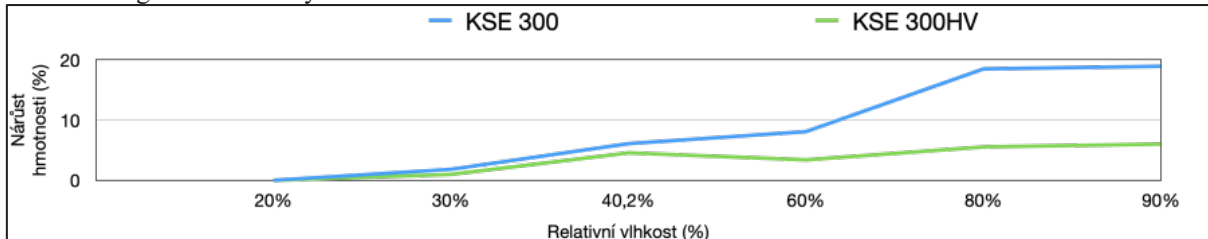
Graf č.3: Křemičité soly řady Levasil. Změna hmotnosti v závislosti na relativní vzdušné vlhkosti.



Graf č.4: Ostatní křemičité soly. Změna hmotnosti v závislosti na relativní vzdušné vlhkosti.



Graf č.5: Organokřemičitaný. Změna hmotnosti v závislosti na relativní vzdušné vlhkosti.



Tab. 05: *Nárůst hmotnosti vzorků v závislosti na změně relativní vzdušné vlhkosti. Horní řádek udává změny relativní vzdušné vlhkosti a hodnoty v tabulce vyjadřují nárůst (hm.%) vůči vypočítané sušině viz Tabulka č. 3.*

| | 20% RH | 30% RH | 40,2% RH | 60% RH | 80% RH | 90% RH |
|----------------------|--------|--------|----------|--------|--------|--------|
| 14.KSE 300HV | 0,0 | 1,0 | 4,6 | 3,4 | 5,5 | 6,0 |
| 14s.KSE 300HV 2014 | 0,0 | -0,4 | 2,1 | -0,0 | -0,4 | -1,5 |
| 13.KSE 300 | 0,0 | 1,8 | 6,1 | 8,1 | 18,5 | 18,9 |
| 1.Sebosil S | 0,0 | 0,0 | 1,2 | 0,7 | 0,9 | 1,0 |
| 2.Primer Hydro SF | 12,9 | 12,9 | 16,3 | 22,0 | 41,8 | 74,1 |
| 3.Ludox PX30 | 8,5 | 9,6 | 17,0 | 19,7 | 26,7 | 51,7 |
| 4.SiOxal K8 | 8,0 | 9,0 | 12,3 | 17,7 | 30,6 | 30,9 |
| 5.SiOxal A10 | 3,9 | 4,7 | 7,8 | 13,9 | 21,5 | 21,8 |
| 6.Porosil ZTS | 0,0 | 0,7 | 3,2 | 8,7 | 17,2 | 17,3 |
| 7.Levasil CS15-450 | 0,0 | 2,2 | 8,6 | 20,3 | 27,0 | 27,6 |
| 8.Levasil CS25-436P | 6,9 | 7,8 | 11,3 | 16,9 | 31,2 | 31,1 |
| 9.Levasil CC301 | 2,3 | 3,3 | 7,5 | 13,5 | 16,2 | 17,7 |
| 10.Levasil CC401 | 2,8 | 3,5 | 6,0 | 11,3 | 15,2 | 16,6 |
| 11.Levasil CS30-616P | 6,8 | 7,5 | 8,7 | 11,1 | 29,2 | 29,1 |
| 12.Levasil CS34-720 | 7,5 | 8,3 | 10,1 | 12,8 | 29,2 | 29,1 |



Obr. 22:
Chování gelu Primer Hydro Silicatfestiger při 80% RH, zřetelná hygroskopická vytvořených solí.

Sebosil S se ukázal jako nejstabilnější a nejméně navlhavý. Hmotnost vzorku se zvýšila pouze o 1 % (v prostředí s vyšší RH než 80 %) a nevytvořil zákal, což naznačuje, že Sebosil S je stabilní vůči relativní vzdušné vlhkosti, neváže na sebe vodu a jedná se o jiný typ prostředku, než vidíme u ostatních vodních skel.

Primer Hydro Silicatfestiger naopak vykázal nejvyšší navlhavost. Mezi 40 % a 50 % RH se křivka navlhavosti zlomila a navlhavost vykazuje skokovou změnu. Z tohoto chování lze odvodit, že se jedná o draselné vodní sklo, které nejčastěji tvoří uhličitan draselný (K_2CO_3). Rovnovážná vlhkost dihydrátu uhličitanu draselného je 43,2 %. Při vyšší relativní vlhkosti váže sůl vodu do krystalické struktury, což bylo možné pozorovat i vizuálně (gel odlučoval na povrchu gelu část vody). viz [Obr. 22]

Ludox PX30 vykazoval podobné vlastnosti jako Primer Hydro Silicatfestiger, ale v menší míře. Gel evidentně vázal vzdušnou vlhkost, avšak na rozdíl od Primeru vizuální změny nebyly patrné.

U zbylých vodných křemičitých solí nárůst nebyl tak výrazný jako u zmiňovaného Primer Hydro Silicatfestiger či Ludox PX30.

Ostatní produkty (Levasil, Porosil ZTS a SiOxal) se chovaly podobně s nárůstem hmotnosti byl přibližně o 30 %. Všechny gely se zakalily vyjma produktů Levasil CC301 a CC401, které nevzrostly o více než 20 %, a jejich křivky stoupaly rovnoměrně. I tato hodnota není zanedbatelná. Navázání vody mohla způsobit mikroporézní struktura vytvořeného gelu, či hygroskopicitu vytvořených solí.

Testy byly provedeny i s organokřemičitými prostředky KSE, které vykazovaly jiný průběh, neboť se ukázalo, že vlivem vyšší RH dochází k dokončení gelace prostředku. Před umístěním do klimakomory byly totiž i tyto vzorky společně s ostatními produkty v laboratorních podmínkách s relativní vzdušnou vlhkostí kolem 40 %, která nebyla dostačující pro dokončení vytvrzování.

Velmi podobně nebo prakticky stejně se chovají i gely vzniklé z hybridních konsolidačních systémů.

3.6.5 Kvantitativní složení vytvrdnutých gelů

Cílem vyhodnocení bylo zjištění jejich prvkového složení pro prvkovou analýzu SEM-EDS. Pro analýzu byly použity vytvrdnuté čisté gely odebrané z Petriho misek. Prvkové složení bylo vyjádřeno v přepočtu na oxidy v následující tabulce.

| Název produktu | Charakteristika | Složení v přepočtu na oxidy [%m] | | | | |
|-------------------------------|--|----------------------------------|------------------|-------------------|------------------|--------------------------------|
| | | CaO | SiO ₂ | Na ₂ O | K ₂ O | Al ₂ O ₃ |
| CaLoSiL® E25 | Suspenze Ca (OH) ₂ v ethanolu | 99,4 | - | - | - | - |
| KSE® 300HV | Ester kyseliny křemičité | - | 99,2 | - | - | 0,1 |
| KSE® 300 | Ester kyseliny křemičité | - | 99,2 | - | - | - |
| Sebosil® S | Křemičitý sol v ethanolu | - | 99,4 | - | - | - |
| Primer® Hydro Silicatfestiger | Křemičitý sol ve vodě | - | 69,2 | 1,3 | 27,8 | 0,8 |
| Ludox® PX30 (Syton® X 30) | Křemičitý sol ve vodě | - | 96,5 | 2,4 | - | 0,3 |
| SioXaL® A8 | Křemičitý sol ve vodě | - | 97,0 | 2,2 | - | 0,2 |
| SioXaL® A10 | Křemičitý sol ve vodě | - | 96,7 | 2,1 | - | 0,1 |
| Porosil® ZTS | Křemičitý sol ve vodě | - | 97,1 | 2,6 | - | - |
| Levasil® CS15-450 | Křemičitý sol ve vodě | - | 95,5 | 2,3 | - | 1,8 |
| Levasil® CS25-436P | Křemičitý sol ve vodě | - | 95,8 | 2,1 | - | 1,5 |
| Levasil® CC301 | Křemičitý sol ve vodě | - | 98,6 | 0,4 | - | - |
| Levasil® CC401 | Křemičitý sol ve vodě | - | 96,5 | 0,5 | - | 1,8 |
| Levasil® CS30-616P | Křemičitý sol ve vodě | - | 98,4 | - | - | 0,7 |
| Levasil® CS34-720 | Křemičitý sol ve vodě | - | 99,3 | - | - | - |

Analýzy ukázaly, že většina testovaných křemičitých solů ve vodě jsou dezalkalizovaná sodná vodní skla, přičemž rozpětí se pohybuje od 0,4 hm.% do 2,6 hm.% (v přepočtu na oxidy).

Jeden prostředek lze zařadit mezi alkalická draselná vodní skla (Primer Hydro Silicatfestiger). U 3 prostředků ze skupiny křemičitých solů (Levasil CS30-616P, Levasil CS34-720, Sebosil S) nebyla zjištěna přítomnost sodíků či draslíku. Jedná se tedy o jiné typy křemičitých solů. Z pohledu různých alkalických reziduí lze považovat tyto konsolidanty za bezpečné. Dle očekávání CaLoSiL E25 je čistý hydrogenuhličitan vápenatý bez alkalické složky. Estery kyseliny křemičité také neobsahují žádné alkálie.

3.6.6 Výsledky množství vyloučeného gelu/pevné složky v dusaných vzorcích

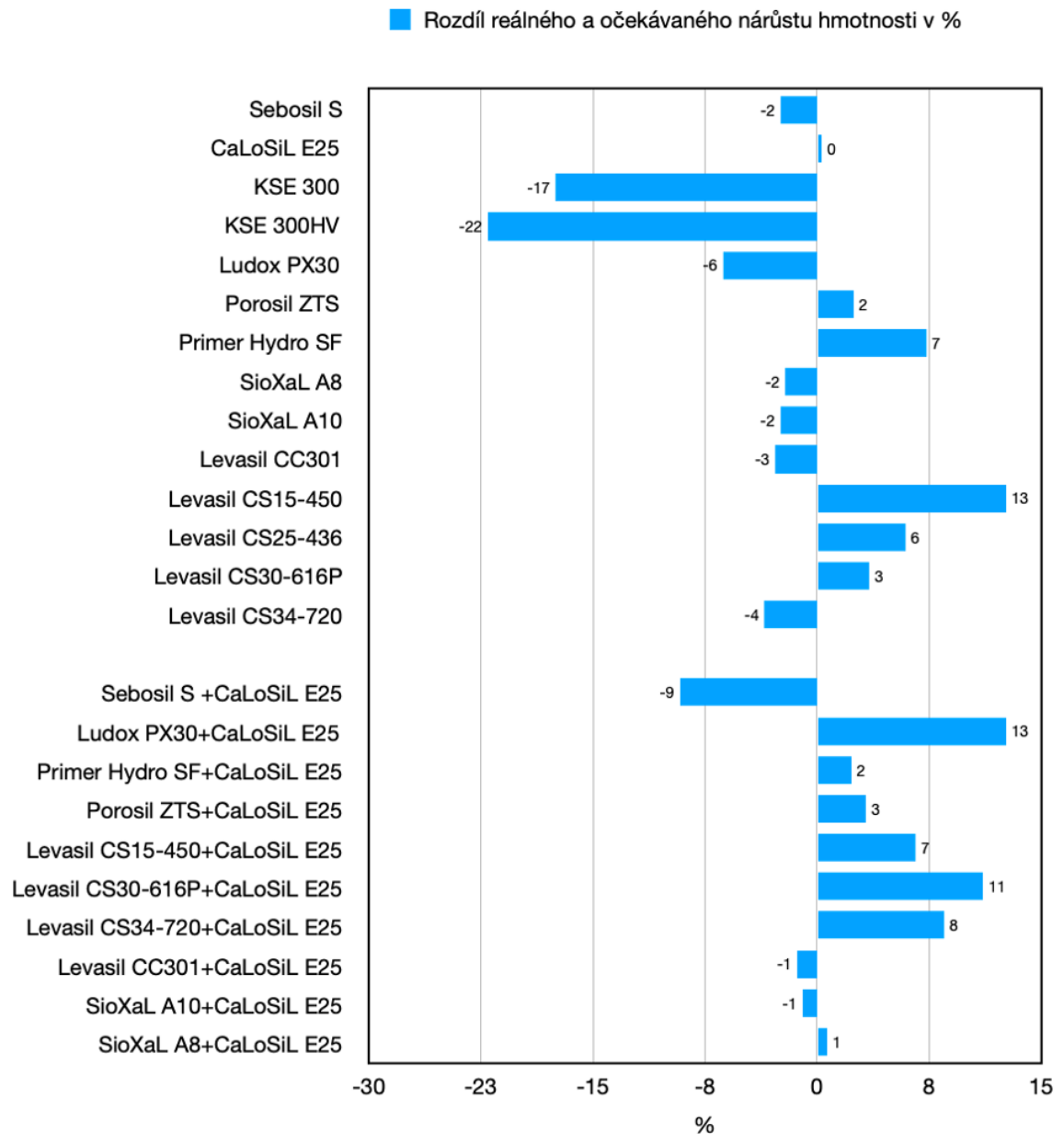
Cílem bylo zjistit reálně kolik gelu z jednotlivých prostředků vzniká v porézním systému a kolik můžeme očekávat na základě obsahu sušiny. Výsledky jsou shrnuty v *Tab. 06*, která porovnává předpokládané množství vyloučeného gelu po konsolidaci s reálným nárůstem hmotnosti tělísek. Pro přehlednost byl vytvořen graf (*Graf č. 6*), který vyjadřuje nárůst či pokles rozdílu hmotnosti (%).

Na základě měřených výsledků lze konstatovat, že veškerý materiál křemičitých solů se přeměnil na gel bez zásadních ztrát aplikovaného konsolidantu.

Tab. 06: Porovnání mezi reálným a očekávaným nárůstem hmotnosti po konsolidaci (% hm.). Pro větší přehlednost rozdílů byl vytvořen poslední sloupec, který vyjadřuje rozdíl očekávaného a reálného nárůstu (%).

| | Reálný nárůst % hm. | Očekávaný nárůst % hm. | Rozdíl % hm. | Rozdíl oproti očekávanému nárůstu (%) |
|-------------------------------|---------------------|------------------------|--------------|---------------------------------------|
| Sebosil S | 2,80 | 2,87 | -0,1 | -2 |
| CaLoSiL E25 | 3,27 | 3,26 | 0,0 | 0 |
| KSE 300 | 2,36 | 2,86 | -0,5 | -17 |
| KSE 300HV | 2,23 | 2,86 | -0,6 | -22 |
| Ludox PX30 | 2,68 | 2,86 | -0,2 | -6 |
| Porosil ZTS | 2,94 | 2,87 | 0,1 | 2 |
| Primer Hydro SF | 3,08 | 2,87 | 0,2 | 7 |
| SioXaL A8 | 2,78 | 2,84 | -0,1 | -2 |
| SioXaL A10 | 2,79 | 2,86 | -0,1 | -2 |
| Levasil CC301 | 2,78 | 2,86 | -0,1 | -3 |
| Levasil CS15-450 | 3,21 | 2,85 | 0,4 | 13 |
| Levasil CS25-436 | 3,05 | 2,88 | 0,2 | 6 |
| Levasil CS30-616P | 2,97 | 2,87 | 0,1 | 3 |
| Levasil CS34-720 | 2,75 | 2,85 | -0,1 | -4 |
| | | | | |
| Sebosil S +CaLoSiL E25 | 2,77 | 3,05 | -0,3 | -9 |
| Primer Hydro SF+CaLoSiL E25 | 3,12 | 3,05 | 0,1 | 2 |
| Porosil ZTS+CaLoSiL E25 | 3,16 | 3,06 | 0,1 | 3 |
| Levasil CS15-450+CaLoSiL E25 | 3,23 | 3,03 | 0,2 | 7 |
| Levasil CS30-616P+CaLoSiL E25 | 3,40 | 3,06 | 0,3 | 11 |
| Levasil CS34-720+CaLoSiL E25 | 3,32 | 3,06 | 0,3 | 8 |
| Levasil CC301+CaLoSiL E25 | 2,99 | 3,03 | -0,0 | -1 |
| SioXaL A10+CaLoSiL E25 | 3,03 | 3,06 | -0,0 | -1 |
| SioXaL A8+CaLoSiL E25 | 3,06 | 3,04 | 0,0 | 1 |

Graf č. 6. Rozdíl předpokládaného množství vytvořeného gelu a reálného množství vytvořeného gelu (%).



KSE 300 (10ml) a **KSE 300HV (10ml)** vykazují výrazně nižší reálný nárůst hmotnosti, což naznačuje nedokončenou reakci a tvorbu křemičitého gelu. Tuto domněnku potvrzuje provedený drop test, který prokázal stálou hydrofobitu vzorku viz [Obr. 26].

CaLoSiL E25, Sebosil S, SioXaL A8, SioXaL A10, Levasil CS34-720, CS30-616P a Levasil CC301 ukázaly téměř shodné reálné množství gelu.

Ludox PX 30 a Levasil CS34-720 měly mírně nižší reálný nárůst hmotnosti o 4-6 %. Tato malá odchylka může znamenat také ztráty kameniva během manipulace se vzorkem.

Pimer Hydro SF, Levasil CS15-450, Levasil CS25-436 vykazují vyšší reálný nárůst hmotnosti, což může být způsobeno zadržením více vody ve struktuře gelu. Vysvětlením je hygroskopicitata vytvořených draselných a sodných solí.

Kombinace s CaLoSiLem: vyšší nárůst hmotnosti byl zaznamenán u Ludox PX30, Levasil CS15-450, Levasil CS30-616P a Levasil CS34-720. Tento vyšší nárůst je pravděpodobně způsoben zadržením více vody ve struktuře gelu nebo procesem vyšší míry karbonatace CaLoSiLu. Naopak zanedbatelný či nulový rozdíl pozorujeme u kombinací s Pimer Hydro SF, Porosil ZTS, SioXaL A8, SioXaL A10, Levasil CC301 a Levasil CS34-720.

3.6.7 Vyhodnocení kolorimetrie

Cílem bylo zhodnotit a porovnat změny barevnosti před konsolidací a po konsolidaci těles nejen vizuálně, ale i měřením. Naměřené hodnoty byly vyhodnoceny v tabulce *Tab. 07* a výsledky byl graficky zpracovány viz *Graf č. 7*.

Výsledná hodnota ΔE^* se pohybuje vždy v kladných hodnotách. Na její výsledek měl vliv především posun na ose ΔL a db. Nejnižší hodnotu ΔE^* měl konsolidant Levasil CS 15-450 ($\Delta E=2,3$). Produkty od firmy Remmers (KSE 300, KSE 300HV, Primer Hydro Silicatfestiger) ovlivnily barevnost především tmavnutím a barevností do oranžova. Sebosil S a CaLoSi E25 ovlivnili barevnost do modrozeleného spektra a světlostí. U zbylých křemičitých solů byla nepatrná změna barevnosti, která směřovala do zelenomodrého barevného spektra.

Při hodnocení ΔL^* vychází jako nejtmaší vzorky konsolidované organokřemičitany a vodní sklo do firmy Remmers (KSE 300 ($\Delta L=-5,5$), KSE 300HV ($\Delta L=-5,2$) Primer Hydro Silicatfestiger ($\Delta L=-5,2$)).

K zesvětlení, naopak došlo u vzorků konsolidovaných křemičtým solem v ethanolu Sebosil S ($\Delta L=4,7$) a konsolidantem na bázi hydroxidu vápenatého CaLoSi E25 ($\Delta L=5,1$) a jejich kombinace ($\Delta L=4,7$). U zpevnění CaLoSiLem E25 záleželo na způsobu aplikace; přestože byla snaha napouštět vzorky stejným způsobem, u některých došlo k vytvoření bílého zákalu patrně z důvodu horší penetrace prostředku do vzorku, či zpětné migrace. Tomuto zákalu se dá v praxi poměrně efektivně předejít například podmínkami aplikace nebo včasným postříkem zpevněného povrchu vodou.

U některých vzorků došlo naopak k zesvětlení povrchu v důsledku krystalizace solí. Soli krystalizovaly na povrchu některých vzorků ošetřených Porosil ZTS (1 z 5), Levasil CC301 (3 z 5) a Primer Hydro Silicatfestifger (3 z 5). Tento fenomén je dost zásadní pro nedoporučení na konzervaci vápených omítek. U Porosilu ZTS byl tento jev pozorován pouze u jednoho z 5 vzorků. Může se jednat o odchylku, která by mohla být podrobněji testována a prostudována.

Podle měření i z vizuálního hodnocení způsobují nejmenší změny barevnosti křemičité soly Levasil CS 15-450 a Levasil CS 25-436, u nichž se změna ΔE i ΔL pohybovala v nízkých hodnotách ($\Delta L=1,9$ a $1,3$ $\Delta E=2,7$ a $2,3$).

Zajímavě vyšly kombinace křemičitých solů s CaLoSiL E25, u kterých se optické změny navzájem kompenzovaly – CaLoSiL redukoval ztmavnutí způsobená vodními křemičitými soly. S výjimkou Sebosilu S, kde změna světlosti představovala hodnotu $\Delta L=4,7$ pro variantu kombinace s CaLoSiLem i samotným solem.

Celkově se dá konstatovat, že u křemičitých solů (krom Primer Hydro Silicatfestifger) došlo jen k mírné změně barevnosti, taktéž v kombinaci s CaLoSiLem. V tomto případě jsme dosáhli dokonce lepšího výsledku z hlediska hodnoty ΔL – tmavost. V těchto případech se pohybuje na hodnotách $\Delta E < 4$ a $\Delta L < 1,5$.





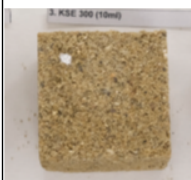


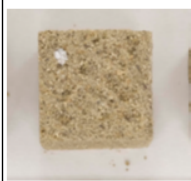


Obr. 23: Pravděpodobně solné výkvěty na povrchu tělesa napuštěného Levasilem CC301

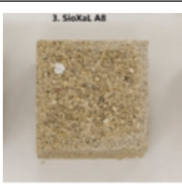
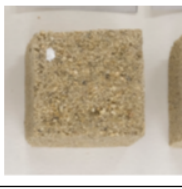







Obr. 24: Stejně výkvěty pozorujeme u kombinaci Levasilu CC301 a CaLoSiLu E25




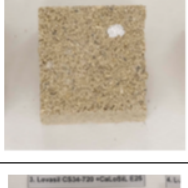
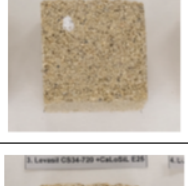
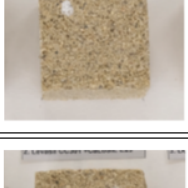


Obr. 25: Pravděpodobně solné výkvěty na povrchu vzorku napuštěného Porosilem ZTS (pouze 1 z 5 vzorků).

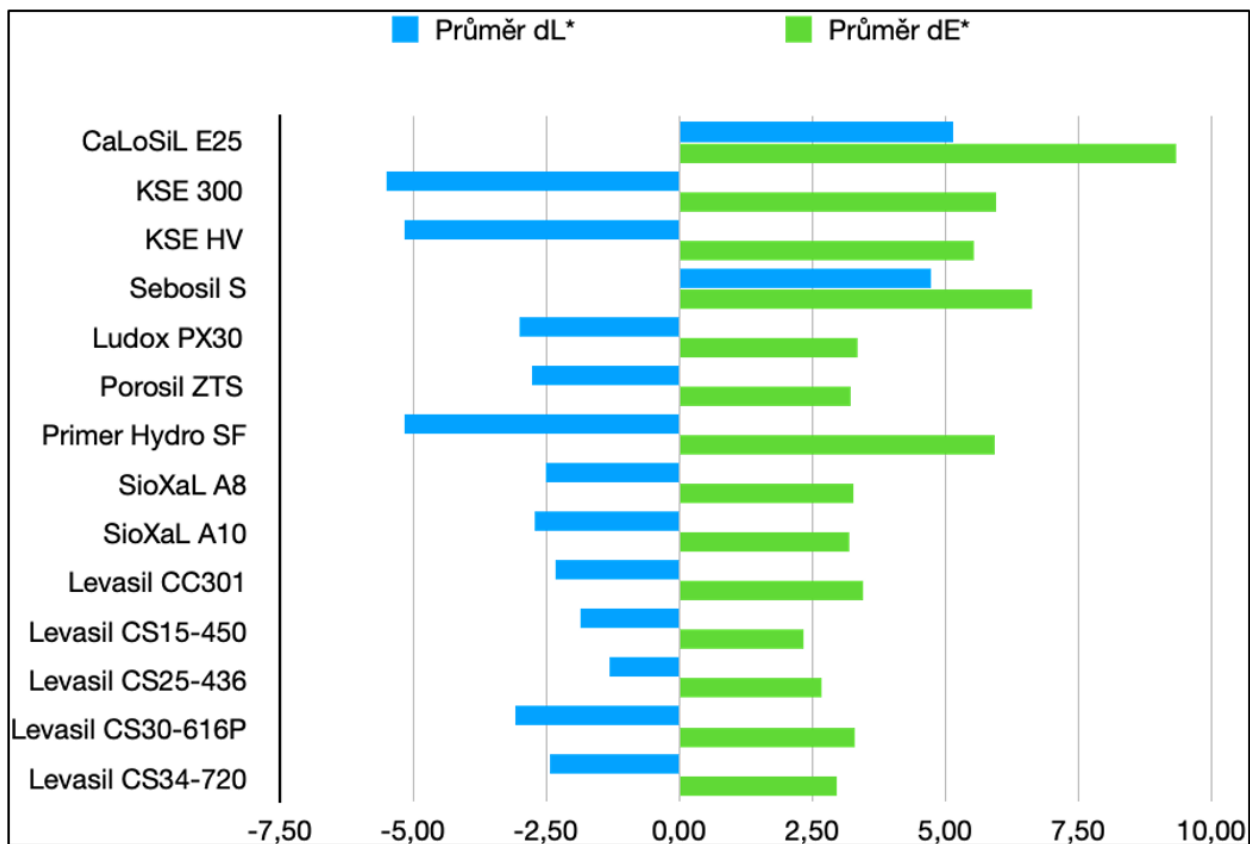
Tab. 07: Tabulka hodnocení změny barevnosti.

| | Průměr dL* | Průměr da* | Průměr db* | Průměr dE* | Barevný rozdíl | Hodnocení | Obrázky |
|-----------------|------------|------------|------------|------------|--|-----------|---|
| Vzor | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 |  |
| CaLoSiL E25 | 5,1 | -1,2 | -7,3 | 9,3 | Výrazný, vzorek jde do modra a je světlejší | 3 |  |
| KSE 300 | -5,5 | 1,0 | 1,8 | 6,0 | Výrazný/mírně rušící, vzorek je tmavší | 4 |  |
| KSE 300HV | -5,2 | 0,9 | 1,7 | 5,5 | Střední/mírně rušící, vzorek je tmavší | 4 |  |
| Sebosil S | 4,7 | -1,2 | -4,4 | 6,6 | Střední/mírně rušící, vzorek jde do modra a je světlejší | 4 |  |
| Ludox PX30 | -3,0 | -0,2 | -0,6 | 3,4 | Ještě nerušící, vzorek je tmavší | 2 |  |
| Porosil ZTS | -2,8 | -0,1 | -0,4 | 3,2 | Ještě nerušící, vzorek je tmavší | 2 |  |
| Primer Hydro SF | -5,2 | 0,7 | 1,0 | 5,9 | Mírně rušící, vzorek je tmavší | 4 |  |

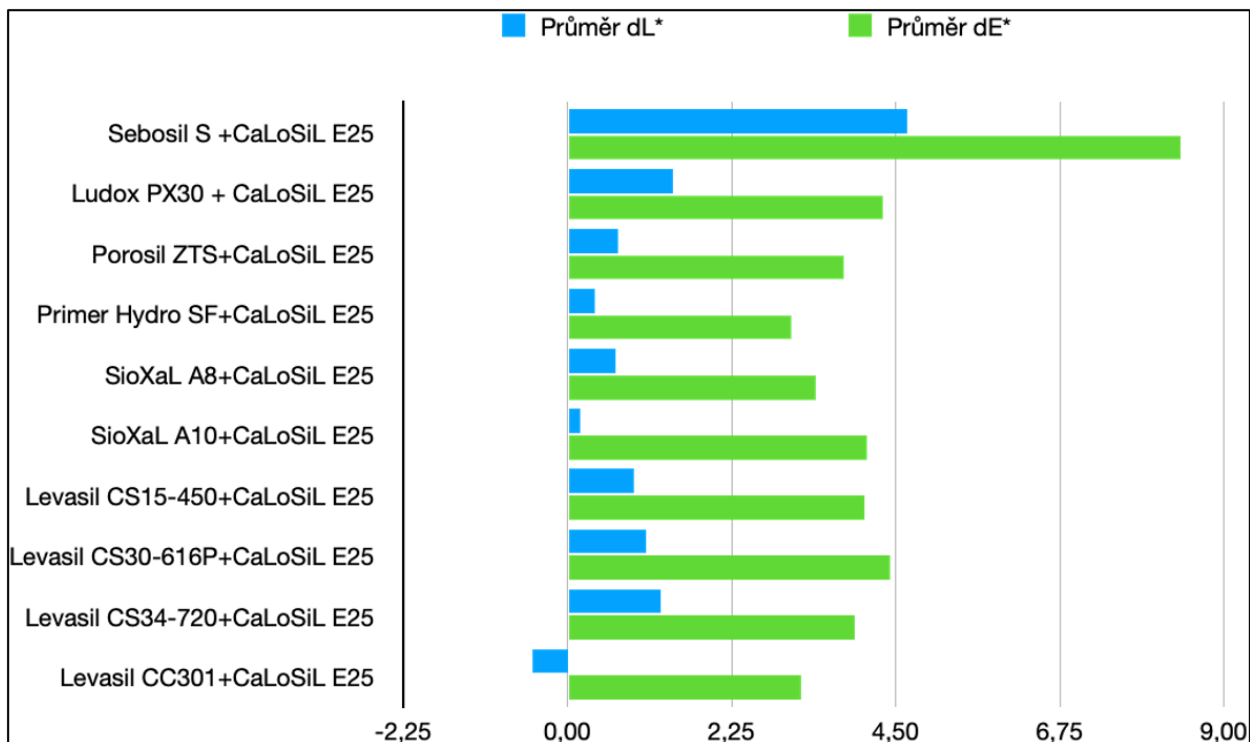
| | | | | | | | |
|---------------------------------|------|------|------|-----|---|----------|---|
| SioXaL A8 | -2,5 | -0,4 | -1,6 | 3,3 | Střední/ještě nerušící, vzorek je tmavší | 2 |  |
| SioXaL A10 | -2,7 | -0,4 | -1,3 | 3,2 | Střední/ještě nerušící, vzorek je tmavší | 2 |  |
| Levasil CC301 | -2,3 | -0,3 | -1,5 | 3,4 | Střední/ještě nerušící, vzorek je tmavší | 2 |  |
| Levasil CS15-450 | -1,9 | -0,2 | -0,6 | 2,3 | Jasně postřehnutelný/ještě nerušící | 1 |  |
| Levasil CS25-436 | -1,3 | -0,5 | -1,8 | 2,7 | Jasně postřehnutelný, | 1 |  |
| Levasil CS30-616P | -3,1 | -0,0 | -0,8 | 3,3 | Střední/ještě nerušící, vzorek je tmavší | 2 |  |
| Levasil CS34-720 | -2,4 | -0,3 | -1,5 | 3,0 | Jasně postřehnutelný/ještě nerušící, vzorek je tmavší | 2 |  |
| Sebosil S +CaLoSiL E25 | 4,7 | -1,5 | -6,8 | 8,4 | Výrazný, vzorek jde do modra a je světlejší | 3 |  |
| Ludox PX30 + CaLoSiL E25 | 1,4 | -0,6 | -3,6 | 4,3 | Střední/mírně rušící, vzorek jde do modra | 2 |  |

| | | | | | | | |
|-------------------------------|------|------|------|-----|--|---|---|
| Porosil ZTS+CaLoSiL E25 | 0,7 | -0,7 | -3,5 | 3,8 | Střední /ještě nerušící, vzorek jde do modra | 1 |  |
| Primer Hydro SF+CaLoSiL E25 | 0,4 | -0,6 | -2,8 | 3,1 | Střední /ještě nerušící, vzorek jde do modra | 1 |  |
| SioXaL A10+CaLoSiL E25 | 0,2 | -0,5 | -3,2 | 3,4 | Střední /ještě nerušící, vzorek jde do modra | 1 |  |
| SioXaL A8+CaLoSiL E25 | 0,7 | -0,8 | -3,8 | 4,1 | Střední /mírně rušící, vzorek jde do modra | 1 |  |
| Levasil CS15-450+CaLoSiL E25 | 0,9 | -0,7 | -3,7 | 4,1 | Střední /mírně rušící, vzorek jde do modra | 2 |  |
| Levasil CS30-616P+CaLoSiL E25 | 1,1 | -0,7 | -4,0 | 4,4 | Střední /mírně rušící, vzorek jde do modra | 2 |  |
| Levasil CS34-720+CaLoSiL E25 | 1,3 | -0,6 | -3,4 | 3,9 | Střední /ještě nerušící, vzorek jde do modra | 1 |  |
| Levasil CC301+CaLoSiL E25 | -0,5 | -0,5 | -2,9 | 3,2 | Střední /ještě nerušící, vzorek jde do modra | 2 |  |

Graf č. 7: Grafické znázornění průměrné dE^* vyjadřující komplexní odchylku od vzoru a dL^* vyjadřující světlost



Graf č. 8: Grafické znázornění průměrné dE^* vyjadřující komplexní odchylku od vzoru a dL^* vyjadřující světlost



3.6.8 Měření nasákavosti

Před měřením nasákavosti byl proveden tzv. „Drop test“ s cílem zjistit případnou hydrofobitu povrchu konsolidovaných těles. Následně byla použita sofistikovanější metoda „Contact sponge method“, jejíž cílem bylo vytvoření grafu pro porovnání nasákavosti těles mezi sebou. Specifické pozorování pak bylo vyhodnoceno v tabulce *Tab. 8*.

Základní „Drop test“ potvrdil, že všechna tělíska napuštěná křemičitými soly, vápennou nanosuspenzí jsou stále nasákové a nevykazují žádnou hydrofobitu po konsolidaci. U produktů esterů kyseliny křemičité byla situace komplikovanější. KSE 300HV úplně ztratil hydrofobitu přibližně po čtyřech měsících od aplikace. Pouze KSE 300 ani po čtyřech měsících od aplikace nezreagoval (nebo jen částečně) a stále vykazoval hydrofobní povrch. Voda se vsakovala pouze středem testované plochy, u okrajů se kapky balily do kuliček [Obr. 26]. K tomuto efektu by dle výrobce nemělo docházet a po 1 měsíci v podmínkách s vyšší vzdušnou vlhkostí (RH=60%), by zpevňovač měl úplně zreagovat. Hydrofobitu je možné redukovat aplikací čpavkové vody.

Překvapivých výsledků dosáhl vzorek zpevněný Sebosilem S, jehož hodnota nasákavosti převýšila nezpevněný vzorek. Tento výsledek mohl být způsoben méně přesným měřením na nekonsolidovaném tělese z důvodu ztráty koheze vzorku při opakovaném pokládání houby během testování, nebo zvýšení porézní aktivity po zpevnění Sebosilem S.

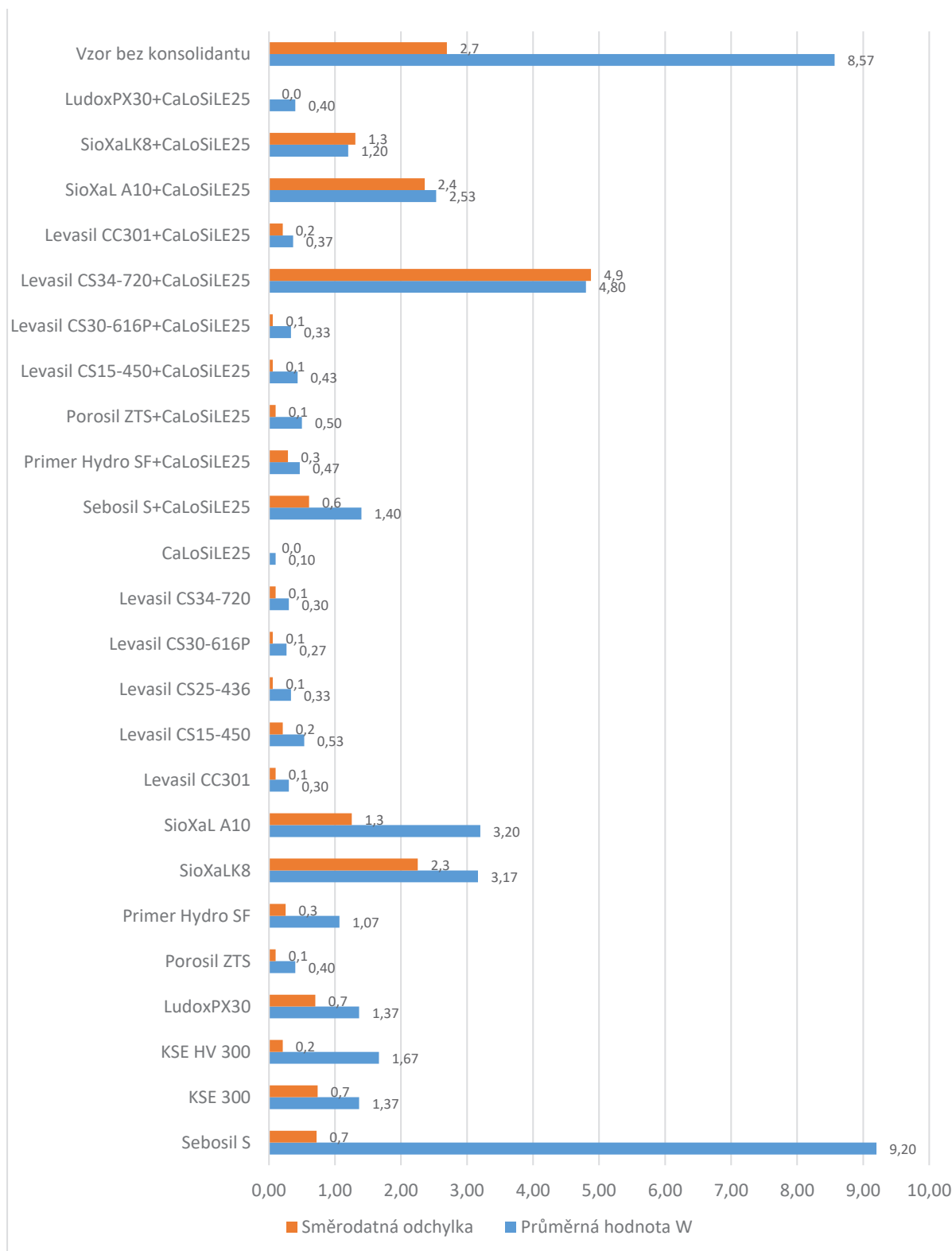


Obr. 26: „Drop test“ – hydrofobitáí povrchu konsolidovaných vzorků KSE 300, po 2 měsících v podmínkách relativní vlhkosti vzduchu $\geq 60\%$.

Tab. 08: Slovní hodnocení nasákavosti jednotlivých konsolidantů - Drop test/Sponge method

| | „Drop test“ | „Sponge method“ |
|---------------------------------------|---|--|
| CaLoSiL E25 | Pomalejší vsáknutí kapky do 1 s. | Téměř žádná adsorpce vody. U některých vzorků vznikla na povrchu tenká vrstva hydroxidu vápenatého. |
| KSE 300 | Hydrofobní povrch i po 4 měsících, po 6 měsících hydrofobní pouze při okrajích. | Vizuálně bylo pozorováno, že voda se vsakovala pouze středem styčné plochy. |
| KSE 300HV | Po jednom měsíci vsáknutí uprostřed, okraje hydrofobní. Po 3 měsících ztrácí hydrofobitu. | Voda se vsakovala v celé styčné ploše. |
| Sebosil S | Okamžité vsáknutí kapky. | Výrazná nasákavost, vzorek byl vizuálně nasycen během 10 min. Nasákavost byla srovnatelná s nekonsolidovaným vzorkem |
| Ludox PX30 | Okamžité vsáknutí kapky. | Voda se vsakovala v celé styčné ploše. |
| Porosil ZTS | Okamžité vsáknutí kapky. | Voda se vsakovala v celé styčné ploše. |
| Primer Hydro SF | Pomalejší vsáknutí kapky do 1 s. | Voda se vsakovala v celé styčné ploše. |
| SioXaL A8 | Okamžité vsáknutí kapky. | Vykazoval lepší nasákavost oproti ostatním křemičitým solům, avšak znatelně méně než Sebosil S. |
| .SioXaL A10 | Okamžité vsáknutí kapky. | Vykazoval lepší nasákavost oproti ostatním křemičitým solům, avšak znatelně méně než Sebosil S. |
| Levasil CC301 | Okamžité vsáknutí kapky. | Voda se vsakovala v celé styčné ploše. |
| Levasil CS15-450 | Okamžité vsáknutí kapky. | Voda se vsakovala v celé styčné ploše. |
| Levasil CS25-436 | Okamžité vsáknutí kapky. | Voda se vsakovala v celé styčné ploše. |
| Levasil CS30-616P | Okamžité vsáknutí kapky. | Voda se vsakovala v celé styčné ploše. |
| Levasil CS34-720 | Okamžité vsáknutí kapky. | Voda se vsakovala v celé styčné ploše. |
| Sebosil S +CaLoSiL E25 | Okamžité vsáknutí kapky. | Voda se vsakovala v celé styčné ploše. Snížení nasákavosti oproti aplikaci samotného solu. |
| Ludox PX30 +CaLoSiL E25 | Okamžité vsáknutí kapky. | Voda se vsakovala v celé styčné ploše. |
| Porosil ZTS +CaLoSiL E25 | Okamžité vsáknutí kapky. | Voda se vsakovala v celé styčné ploše. |
| Primer Hydro SF +CaLoSiL E25 | Pomalejší vsáknutí kapky do 1 s. | Voda se vsakovala v celé styčné ploše. |
| SioXaL A8 +CaLoSiL E25 | Okamžité vsáknutí kapky. | Směrodatná odchylka převýšila průměrnou hodnotu W. Rozdíl nasákavosti mohl být způsoben vytvořením vápenaté krusty na povrchu, která se v některých případech vytvořila a v některých nikoliv. |
| SioXaL A10 +CaLoSiL E25 | Okamžité vsáknutí kapky. | Vysoká směrodatná odchylka. Rozdíl nasákavosti mohl být způsoben vytvořením vápenaté krusty na povrchu, která se v některých případech vytvořila a v některých nikoliv. |
| Levasil CS15-450 +CaLoSiL E25 | Okamžité vsáknutí kapky. | Voda se vsakovala v celé styčné ploše. |
| Levasil CS30-616P +CaLoSiL E25 | Okamžité vsáknutí kapky. | Voda se vsakovala v celé styčné ploše. |
| Levasil CS34-720 +CaLoSiL E25 | Okamžité vsáknutí kapky. | Směrodatná odchylka převýšila průměrnou hodnotu W. Rozdíl nasákavosti mohl být způsoben vytvořením vápenaté krusty na povrchu, která se v některých případech vytvořila a v některých nikoliv. |
| Levasil CC301+CaLoSiL E25 | Okamžité vsáknutí kapky. | Voda se vsakovala v celé styčné ploše. |

Graf č. 9: Sloupcový graf porovnává hodnotu w , která vyjadřuje průměrný koeficient kapilární nasákavosti vodou (modrý sloupec). Každý údaj je doprovázen vypočítanou směrodatnou odchylkou ze tří vzorků (oranžový sloupec).

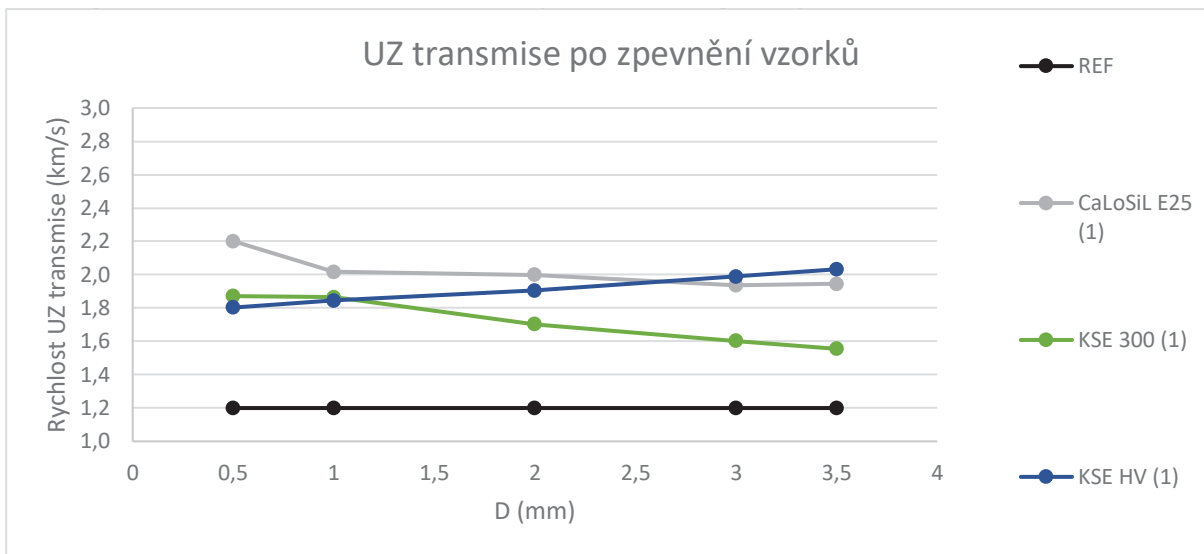


3.6.9 Ultrazvuková transmise

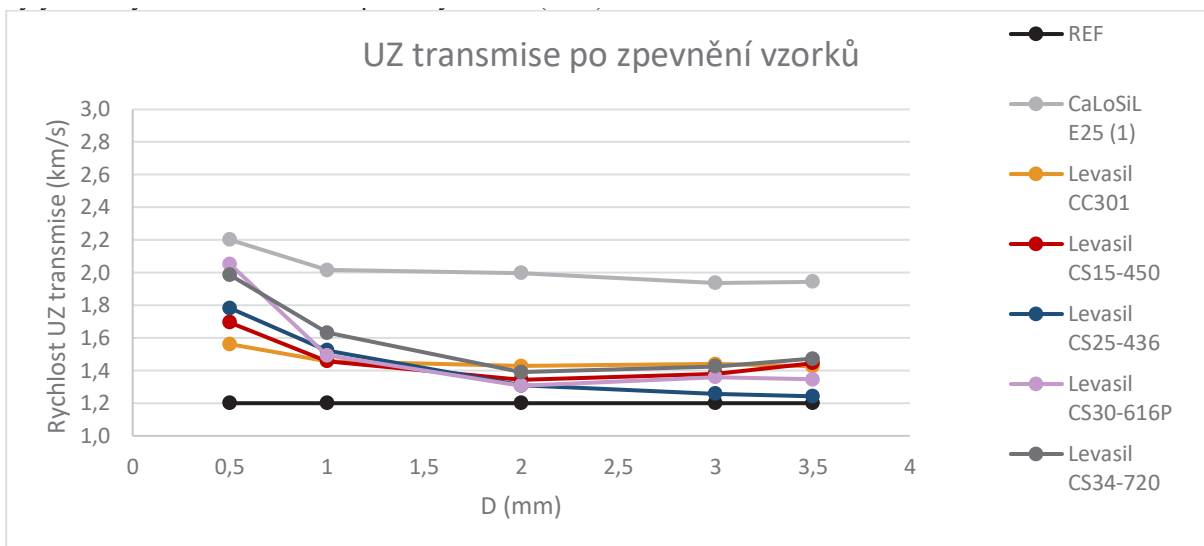
Gradient míry zpevnění a hloubkové rozložení soudržnosti tělísek po konsolidaci byl zkoumán pomocí ultrazvukové transmise měřením rychlosti šíření ultrazvukového vlnění v různých vzdálenostech od aplikační plochy, tj. plochy nanášení kapalného konsolidantu. Jako referenční křivky byly použity nezpevněné vzorky (černá přímka) a vzorky zpevněné konsolidantem CaLoSiL E25 (světle šedá křivka). Vyrovnaný profil šíření ultrazvukového vlnění v referenčních nekonsolidovaných tělískách nám svědčí o jejich homogenitě, která je důležitým předpokladem využití daného typu tělísek jako vhodného testovacího substrátu pro zkoušky konsolidace porézních materiálů.

Pro přehlednost byly výsledky vyhodnoceny celkem v 5 grafech po skupinách: organokřemičitany KSE 300, KSE 300HV viz. *Graf č. 10*, křemičité soly typu Levasil viz. *Graf č. 11*, ostatní křemičité soly (Sebosil S, Ludox, Porosil, Primer, SiO₂La) viz. *Graf č. 12* a hybridní systém s vápennou nanosuspenzí *Grafy č. 13-14*.

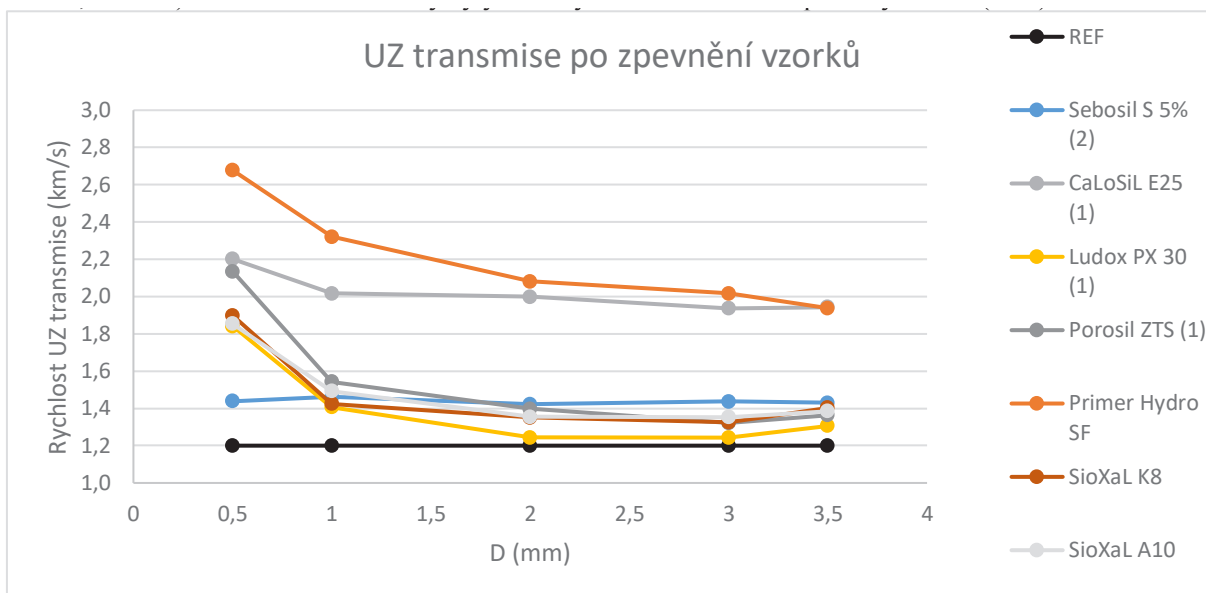
Graf č.10: Ultrazvuková transmise porovnávající penetraci organokřemičitanů KSE 300, KSE 300HV a vápenné nanosuspenze CaLoSiL E25. Zkratka REF označuje referenční nezpevněný vzorek.



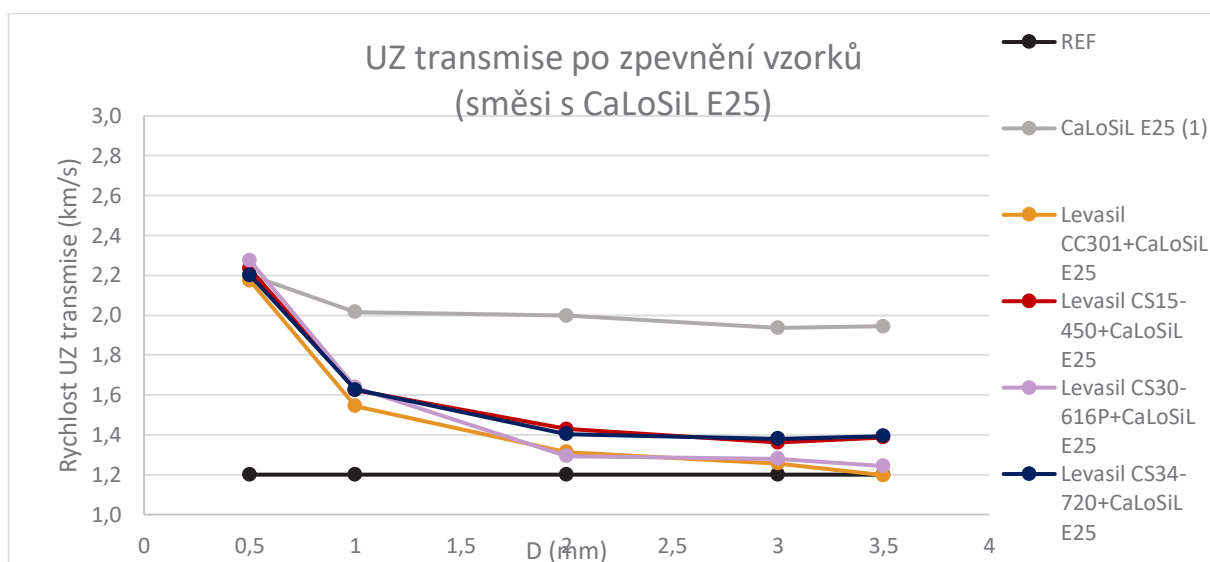
Graf č.11: Ultrazvuková transmise porovnávající penetraci křemičitých solů typu Levasil. Jako referenční vzorky byly zvoleny CaLoSiL E25 a nezpevněný vzorek (REF).



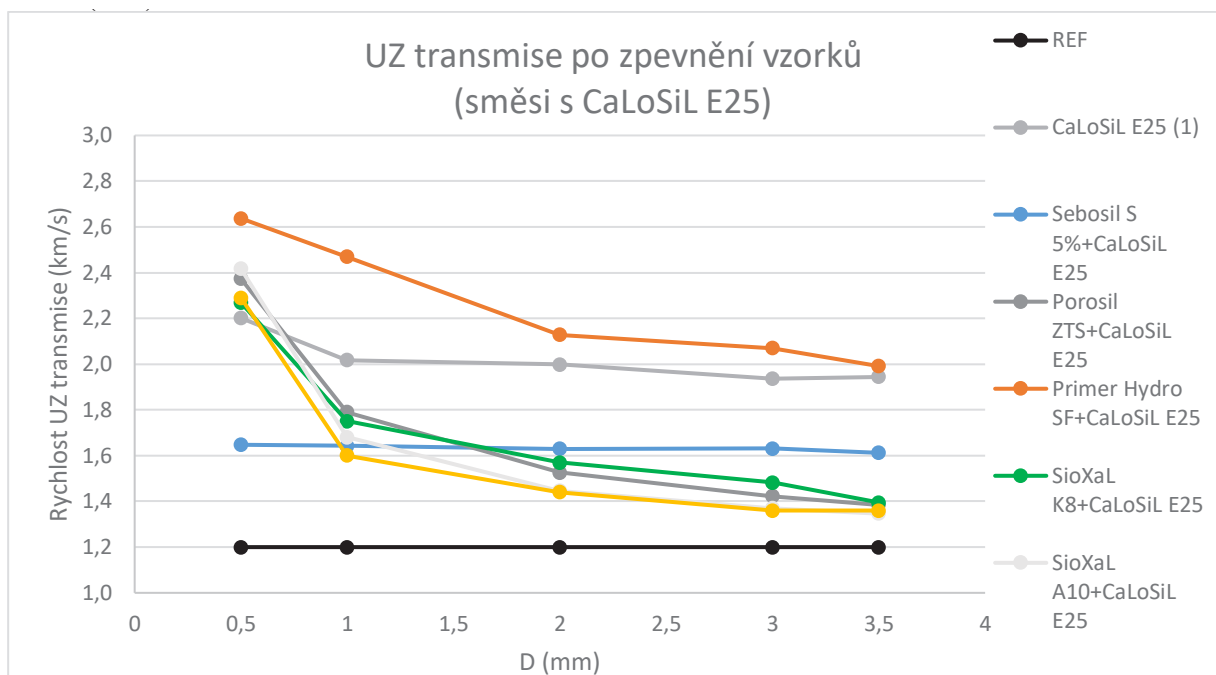
Graf č.12: Ultrazuková transmise porovnávající penetraci ostatních křemičitých solů (Sebosil S, Ludox, Porosil, Primer, SioXaL). Jako referenční vzorky byly zvoleny CaLoSiL E25 a nezpevněný vzorek (REF).



Graf č. 13: Ultrazuková transmise porovnávající penetraci křemičitých solů typu Levasil v kombinaci s CaLoSiL E25. Jako referenční vzorky byly zvoleny CaLoSiL E25 a nezpevněný vzorek (REF)



Graf č. 14: Ultrazvuková transmise porovnávající penetraci ostatních křemičitých solů (Sebosil S, Ludox, Porosil, Primer, SioXaL) v kombinaci s CaLoSiL E25. Jako referenční vzorky byly zvoleny CaLoSiL E25 a nezpevněný vzorek (REF).



V případě křemičitých solů došlo k vyšší míře zpevnění ze strany aplikace. Z grafů můžeme pozorovat zpevněnou slupku přibližně do 1 cm. Výjimku tvoří Sebosil S.

U tohoto měření je důležité zdůraznit, že nejsme schopni zjistit zda je vzorek zpevněn v samém středu krychle.

Sebosil S – vybočuje z chování křemičitých solů, z grafu se zdá, že došlo k rovnoměrnému zpevnění.

CaLoSiL E25 – Vykazuje v grafu také rovnoměrné největší zpevnění s mírně vyšším zpevněním povrchu.

KSE 300 – Rovnoměrné a dostatečné zpevnění.

KSE 300HV – Rovnoměrné a dostatečné zpevnění, pozorujeme pouze mírnou sedimentaci konsolidanu.

Primer Hydro SF – vyšší účinnost oproti CaLoSiLu E25 s klesající křivkou na úroveň CaLoSiLu E25 ze směru aplikace konsolidantu. Křivka mírně klesá ze strany aplikace.

Nejnižší míru zpevnění z křemičitých solů vykazuje Ludox PX30 a Levasil CC301 v kombinaci s CaLoSiLem. Celkově kombinace křemičitých solů typu Levasil a CaLoSiL mají srovnatelné i nižší výsledky než samotné křemičité soly.

3.6.10 Pevnost v tlaku

Cílem bylo změřit nárůst pevnosti těles po konsolidaci a opticky zhodnotit úlomky po testování. Na základě měření byl pro přehlednost vypracován sloupcový graf průměrné pevnosti v tlaku z 5 těles od každého konsolidátu, či hybridní aplikace viz. *Graf č. 15* a *Graf č. 16*.

Obecné pozorování úlomků

Chování vzorků po rozbití: Všechny vzorky zpevněné křemičitými soly se po rozbití chovaly podobně, s výraznějším zpevněním tenké slupky do cca 0,5-1 cm, zatímco střed zůstával sypký viz [Obr. 27]. Pozorování tedy doplnilo informaci ultrazvuku u Sebosilu S a CaLoSiLu, kde se tělesa jevila jako rovnoměrně zpevněná. Zřejmě konsolidant dokázal prosytné celé těleso, avšak následně došlo k migraci částic od středu ke stěnám krychle. Stejný fenomén pozorujeme u vápenné nanosuspenze v kombinaci s křemičtým solem. Velikost částic, voda či ethanol jako nosič je schopen kompletně prosytné porézní materiál. Při odpařování média pak dochází k migraci částic směrem od středu vzorku k povrchu. U křemičitého solu v kombinaci s vápennou nanosuspenzí v porovnání s organokřemičitanem bylo možné mechanicky ověřit, že organokřemičitan dokázal poměrně dobře zpevnit i střed tělesa [Obr. 28]. Naproti tomu křemičité soly a vápenná nanosuspenze (samostatně i v kombinaci) nezpevnily samotný střed tělesa. Zpevňující efekt sahal do hloubky 0,5-1 cm.

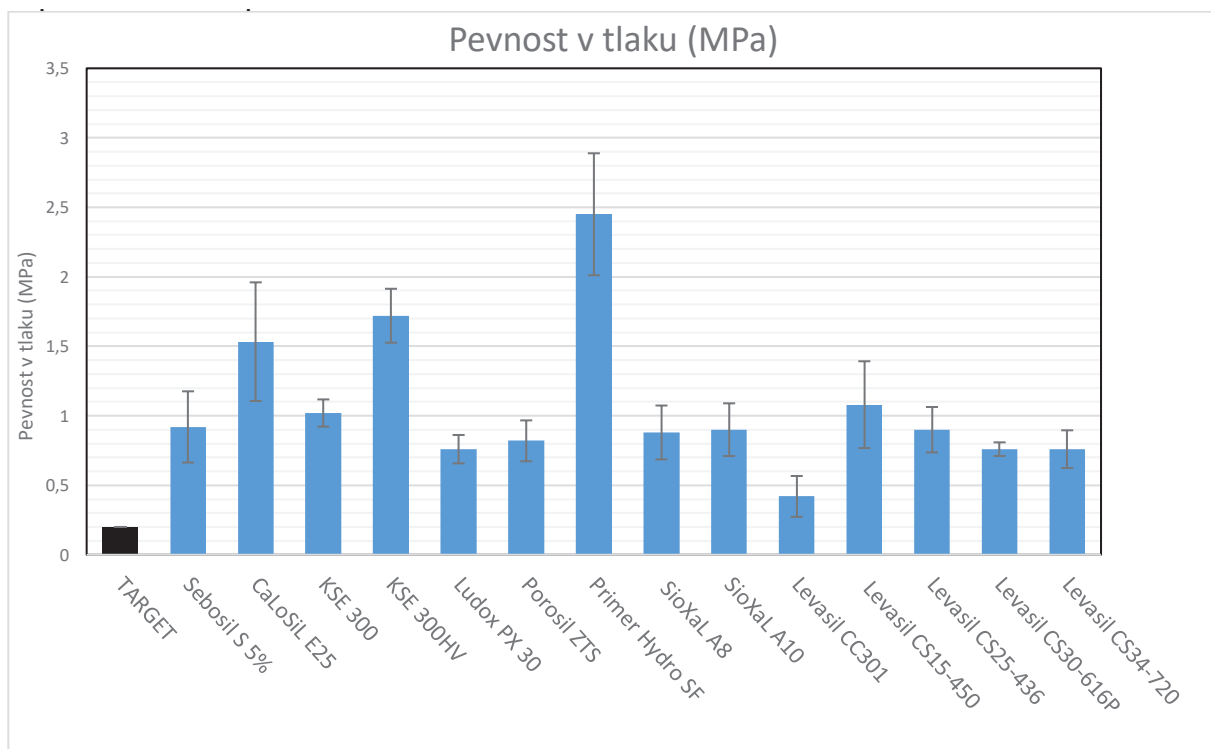


Obr. 27: Úlomky vzorků kombinace křemičitého solu + CaLoSiL E25, pozorování úlomků po pevnosti v tlaku.

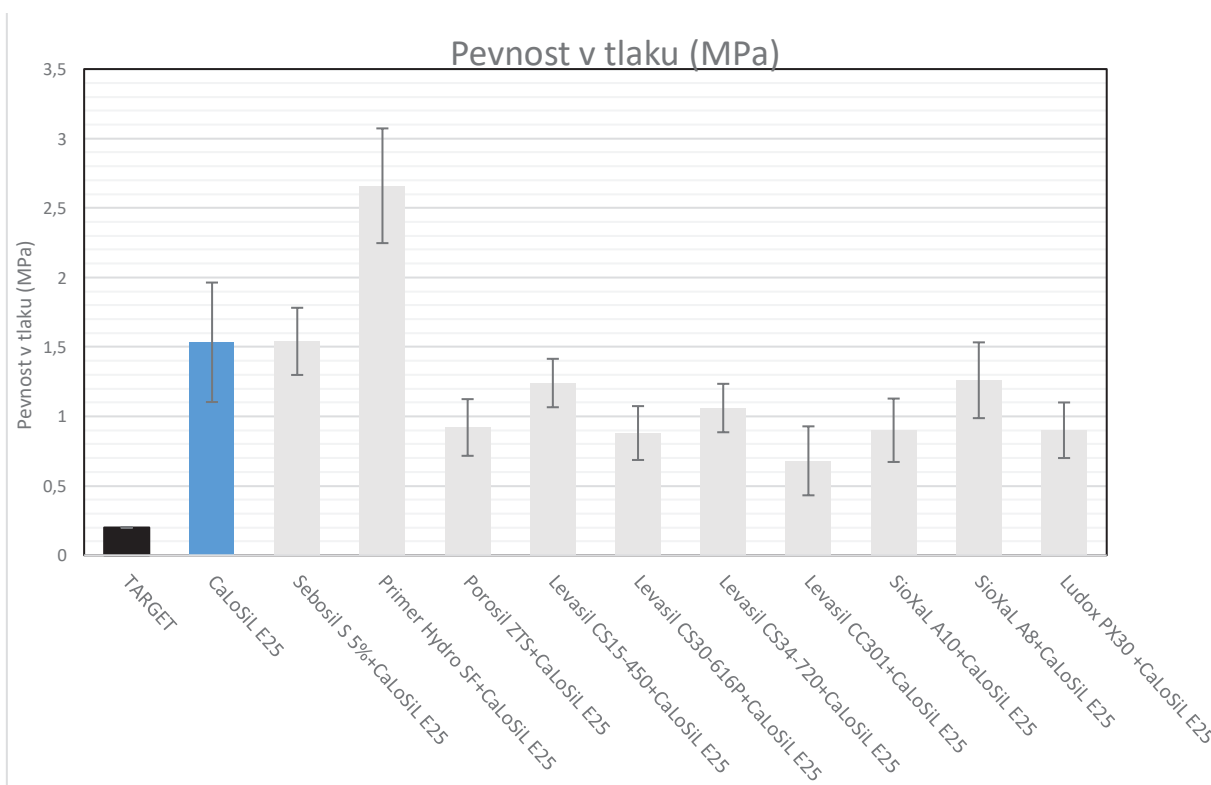


Obr. 28: Úlomky vzorků kombinace organokřemičitanu KSE300, pozorování úlomků po pevnosti v tlaku.

Graf č. 15: Sloupcový graf pevnosti v tlaku křemičitých solů v porovnání s organokřemičitany a vápennou nanosuspenzí.



Graf č. 16: Sloupcový graf pevnosti v tlaku křemičitých solů + vápenné nanosuspenze v porovnání se samotnou vápennou nanosuspenzí.



Nárůst pevnosti v tlaku po konsolidaci je velmi výrazný u všech zkoumaných prostředků. V porovnání s nezpevněným tělesem (kolem 0,2 MPa), se pevnosti po konsolidaci pohybují v rozmezí 0,4 až téměř 2,5 MPa. Jedná se tedy o dvojnásobný až dvanáctinásobný nárůst.

Specifické pozorování u jednotlivých konsolidantů

- **Ethylsilikátové konsolidanty (KSE300, KSE300HV):**

Tyto konsolidanty se vyznačovaly zpevněním v celém objemu vzorku, což je pozitivní indikátor jejich účinnosti.

KSE 300 ukázal dostatečné zpevnění navzdory neúplné reakci a částečné hydrofobitě povrchu. Pozorována byla mírná sedimentace konsolidantu směrem dolů.

- **Křemičité soly:**

Vzorky ukázaly zpevnění povrchu do cca 1 cm, přičemž střed zůstal nedostatečně zpevněný. U těchto konsolidantů byla diskutována zpětná migrace částic od středu směrem do stran.

- **Porosil ZTS, Ludox PX30:**

Tento konsolidant vykazoval přezpevněnou slupku, což může být nevýhodné z hlediska homogenního zpevnění vzorku.

- **Primer Hydro Silicatfestiger:**

Zpevněná slupka byla do hloubky 1 cm, avšak střed zůstal opět nedostatečně zpevněný.

Hybridní systém

- **SebosilS + CaLoSiL:**

Kombinace těchto konsolidantů vedla k výraznějšímu navýšení pevnosti v tlaku oproti čistému Sebosilu, konkrétně o 0,62 MPa.

Přestože došlo k mírnému navýšení pevnosti v tlaku, nedostatečné zpevnění středu vzorku přetrvávalo.

Celkové výsledky ukazují, že ačkoli všechny vzorky po konsolidaci vykazují nárůst pevnosti v tlaku, hlavním problémem zůstává nedostatečné zpevnění středu vzorků. Konsolidanty na bázi ethylsilikátu (KSE300, KSE300HV) se osvědčily jako účinnější díky zpevnění v celém objemu vzorku. Kombinace Sebosilu S s CaLoSiLem vedla k výraznějšímu zlepšení pevnosti, na rozdíl od ostatních solů.

3.7 Shrnutí výsledků diskuze

V diplomové práci byly testovány a hodnoceny tři různé skupiny konsolidačních prostředků. Hlavní skupinu tvořili konsolidanty na bázi křemičitých solů, které mají potenciál využití v restaurátorské praxi pro zpevňování degradovaných vápenných omítek případně pórovitých jiných omítek a malt. Celkově bylo do zkoušek zařazeno 12 různých křemičitých solů, přičemž většina z nich byla ředitelná vodou (11 solů) a jeden typ v ethanolu (Sebosil®S). Pro studium možností kombinace křemičitých solů a alkoholových nanosuspenzí hydroxidu vápenatého byly do zkoušek zařazeny i tzv. hybridní konsolidační systémy – kombinace testovaných křemičitých solů s vybranou vápennou nanosuspenzí (CaLoSiL® E25). Pro lepší srovnávání byla součástí zkoušek i samotná vápenná nanosuspenze. Poslední malou srovnávací skupinu tvořili prostředky na bázi esterů kyseliny křemičité (dva produkty). Důvodem zařazení tohoto typu konsolidanty bylo jejich poměrně časté používání v praxi pro konsolidaci různých typů anorganických porézních materiálů.

Testování a hodnocení vybraných produktů bylo zaměřené na zjištění, resp. ověření vybraných charakteristik zkoušených komerčních produktů, dále byla značná pozornost věnována studiu některých vlastností samotných gelů vznikajících jako finální produkt proměny kapalných prostředků a rozsáhlá část studie se zabývala hodnocením konsolidace zkušebních tělísek simulujících silně degradovanou vápennou omítku s velmi nízkou pevností a vysokou pórovitostí.

Shrnutí výsledků a zjištění získaných v rámci diplomové práce lze podle výše uvedeného členění rozdělit do tří oblastí.

Podle výsledků měření vybraných charakteristik testovaných prostředků, tj. pH jednotlivých solů i množství vzniklého pevného gelu lze konstatovat, že zjištění odpovídá nebo je velmi blízké údajům, které uvádějí výrobci nebo dodavatelé v technických listech. Analýza složení gelů také do značné míry odpovídá předpokladům podle technických listů i když složení výrobci přesně neudávají. Většina křemičitých solů jsou soly stabilizované nízkou koncentrací sodných kationů a lze je zařadit do skupiny tzv. dezalkalizovaných sodných vodných skel. Patří sem prostředky Ludox® PX30, SioXaL® A8, SioXaL® A10, Porosil® ZTS, Levasil® CS15-450, Levasil® CS25-436P, Levasil® CC301 a Levasil® CC401. Obsah sodíku v gelech vzniklých z těchto produktů je poměrně nízký, v propočtu na oxidy (Na_2O) se pohybuje v rozmezí 0,4 až 2,6 % hm. Navzdory sníženému obsahu sodných kationů lze přepokládat, že tento typ konsolidantů by mohl být zdrojem sodných solí a danou skutečnost je nutné vzít do úvahy při jejich případném využití v praxi. Jeden konsolidant (Primer® Hydro Silicatfestiger) lze podle složení charakterizovat jako standardní draselné vodní sklo. Obsah draslíku v gelu je propočtu na K_2O poměrně vysoký, téměř 28 % hm. Riziko vzniku draselných solí je při použití daného prostředku velmi vysoké, a proto je jeho využití v praxi pro konsolidaci degradovaných historických omítek velmi limitované, víceméně vyloučené. Z pohledu zanedbatelného obsahu alkálií lze proto nejlépe hodnotit křemičité soly Levasil® CS30-616P, Levasil® CS34-720 a Sebosil® S, dále pak podle očekávání oba organokřemičité konsolidanty KSE® 300HV a KSE® 300 a ethanolovou vápennou nanosuspenzi CaLoSiL® E25.

Velmi zajímavé výsledky přinesla studie chování gelů v závislosti na klimatických podmínkách, zejména relativní vzdušné vlhkosti. Ukázalo se, že některé typy gelů jsou poměrně citlivé na změny relativní vzdušné vlhkosti. Změny se projevují kolísáním hmotnosti (i objemu) gelů a také jejich vzhledem. Nejvyšší citlivost byla zjištěna v případě prostředků Primer® Hydro Silicatfestiger a Ludox® PX30. Poměrně citlivé jsou i gely vzniklé z prostředků Levasil® CS15-450, Levasil® CS25-436P Levasil® CS30-616P a Levasil® CS34-720. Nejvíce stabilní a málo citlivý na změny relativní vzdušné vlhkosti je gel vzniklý z prostředku Sebosil® S. Velmi podobně nebo prakticky stejně se chovají i gely vzniklé z hybridních konsolidačních systémů. Na základě těchto zjištění lze s vysokou pravděpodobností předpokládat, že ke změnám hmotnosti, objemu a pravděpodobně i pevnosti gelu případně vzhledu může docházet i v reálných podmínkách při praktickém použití pro konsolidaci nebo jiné účely. Výsledkem opakovaného zvyšování nebo naopak snižování hmotnosti a objemu gelu může být i postupné praskání gelu, co snižuje účinnost konsolidace. Pro lepší pochopení a objasnění tohoto fenoménu bude vhodné v budoucnu provést další detailnější studii cílenou na vlastnosti křemičitých gelů v závislosti na klimatických podmínkách.

V případě hybridních konsolidačních systémů byl pozorován poměrně rychlý vznik gelu po smíchání křemičitého solu a vápenné nanosupenze. Urychlení gelování pomocí přídavku vápenné nanosupenze by bylo možné využít jako opatření proti zpětné migraci křemičitých solů po jejich aplikaci. I tento fenomén, resp. možnost by bylo vhodné před jeho případným praktickým využitím blíže prozkoumat. Určitou nevýhodou u zkoumaných hybridních systémů je ztráta transparence gelu a vznik bílého zbarvení.

Zkoušky konsolidace provedené na tělískách simulujících degradovanou omítku ukázaly, že všechny testované konsolidanty mají velmi dobrou schopnost penetrace do hruboporézních materiálů, kterým obvykle degradované vápenné omítky jsou. U všech testovaných prostředků bylo zjištěné prokazatelné zvýšení pevnosti i rychlosti šíření ultrazvuku, které také indikuje zvýšení soudržnosti zkoumaného materiálu.

Nárůst pevnosti v tlaku po konsolidaci je velmi výrazný u všech zkoumaných prostředků, co je do jisté míry zapříčiněno i velmi nízkou pevností nezpevněných testovacích tělísek (kolem 0,2 MPa). Pevnosti po konsolidaci se pohybují v rozmezí 0,4 až téměř 2,5 MPa (dvojnásobný až dvanásobný nárůst). Nejvyšší míra zpevnění byla zjištěna u tělísek konsolidovaných prostředky Primer® Hydro Silicatfestiger, KSE® 300HV a CaLoSiL® E25, naopak nejnižší nárůst u prostředku Levasil® CC301. Měření pevnosti také ukázala, že použití hybridních systémů přináší mírné navýšení pevnosti ve srovnání s „čistými“ křemičitými soly, tedy zvyšuje účinnost konsolidace.

V rámci zkoušky bylo po rozlomení vzorků pozorováno nedostatečné zpevnění ve střední části konsolidovaného tělesa. Vzhledem ke zjištěné dobré penetraci všech prostředků lze předpokládat, že jednou z příčin nižší míry zpevnění v hloubce vzorků může být zpětná migrace částic konsolidantu v průběhu odpařování rozpouštědla. Lepší objasnění a případné potlačení tohoto negativního jevu bude vyžadovat také bližší zkoumání v budoucnu (např. s využitím mikroskopických technik). Gradient míry zpevnění a hloubkové rozložení soudržnosti tělísek po

konsolidaci byl zkoumán pomocí ultrazvukové transmise měřením rychlosti šíření ultrazvukového vlnění v různých vzdálenostech od aplikační plochy, tj. plochy nanášení kapalného konsolidantu. Výsledky ukazují, že v případě některých konsolidantů na bázi křemičitých solů není hloubková distribuce soudržnosti rovnoměrná a směrem k povrchu (aplikační plocha) je pozorovatelný zřetelný nárůst rychlosti šíření ultrazvukového vlnění. Je nutné zdůraznit, že u konsolidace je důležité, aby byl pevnostní profil materiálu po zpevnění rovnoměrný, bez výraznějšího gradientu. Nejlepší výsledky, tedy vyrovnaný profil šíření ultrazvukového vlnění, které koreluje s pevností, resp. soudržností materiálu, byl zjištěn u tělísek konsolidovaných prostředky Sebosil® S, CaLoSiL® E25 a jejich kombinace. Důležitým zjištěním byl také velmi vyrovnaný profil šíření ultrazvukového vlnění v referenčních nekonsolidovaných tělískách. Svědčí to o jejich homogenitě, která je důležitým předpokladem využití daného typu tělísek jako vhodného testovacího substrátu pro zkoušky konsolidace poréznych materiálů.

Hodnocení změn barevnosti tělísek po konsolidaci bylo prováděno vizuálně i pomocí kolorimetru. Vizuální posouzení změn dobře koresponduje s výsledky kolorimetrického měření, zejména s hodnotou změny celkového barvového odstínu ΔE^* . Čisté křemičité soly mají obecně tendenci posouvat barvu konsolidovaného materiálu do tmavších odstínů a nejmenší rozdíly (prakticky nepostřehnutelné volným okem) byly zjištěny u tělísek konsolidovaných prostředky Levasil® CS15-450, Levasil® CS25-436P. U hybridních systému dochází více k posunu ke světlejším odstínům, co je logicky způsobeno bílou barvou vápenné nanosuspenze. Často světlejší odstín kompenzuje tmavnutí pozorované u tělísek zpevněných čistými křemičitými soly. U hybridních systémů byly nejmenší změny barevnosti zaznamenány v případě kombinací Porosil® ZTS + Calosil E 25, Primer® Hydro Silicatfestiger + Calosil E 25, SioXaL® A8 + Calosil E 25 a SioXaL® A10 + Calosil E 25. Změna barevnosti může být pro využití v praxi limitující v případech, kdy je povrch konsolidované omítky nebo malty pohledový, tj. nenásleduje žádná další povrchová úprava nebo překryv další omítkovou vrstvou.

Měření nasákavosti ukázalo, že u většiny testovaných konsolidantů dochází ke značnému snížení nasákavosti povrchu zkušebních tělísek po konsolidaci. Důvodem je pravděpodobně částečné uzavření povrchu, v případě srovnávacích organokřemičitých prostředků může být důvodem i zbytková hydrofobita ošetřeného povrchu. Prakticky žádný rozdíl v nasákavosti ve srovnání s nekonsolidovaným materiálem byl zjištěn pouze u prostředku Sebosil® S a poměrně vysoká nasákavost byla naměřena také v případě tělísek ošetřených prostředky SioXaL® A8 a SioXaL® A10.

Sumárně a při zohlednění různých kritérií lze konstatovat, že ze skupiny křemičitých solů využitelných pro konsolidaci degradovaných vápenných omítek nebo malt lze velmi dobře hodnotit prostředek Sebosil® S. Nepředstavuje riziko z hlediska reziduí alkálií, konsolidační účinky jsou uspokojivé a pevnostní profil po zpevnění je vyrovnaný. Značnou nevýhodou daného prostředku je poměrně výrazný posun barevnosti povrchu konsolidovaného materiálu po zpevnění. Dobré výsledky z hlediska účinnosti konsolidace i barevnosti přineslo i testování

hybridních konsolidačních systémů. Vzhledem k rychlému vzniku gelu po smíchání (kontaktu) křemičitého solu a vápenné nanosuspenze lze pro případné praktické využití doporučit aplikaci křemičitého solu v prvním kroku konsolidace a až následně nanosení vápenné nanosuspenze.

4 Seznam literatury a pramenů

Seznam literatury

- » ANTOŠ, P., BURIAN, A. Vodní sklo. Výroba, struktura, vlastnosti a použití. Ústí nad Labem: 2002.
- » BÁRTA, Jan a RATHOUSKÝ, Jiří. Z historie českých organokřemičitých konzervantů. In: Organokřemičitany v české památkové praxi. Praha: 2008.
- » BAYER, Karol, Dana MACOUNOVÁ a Luboš MACHAČKO. Nanosuspenze hydroxi-
du vápenatého jako konsolidanty porézních vápenců a vápenných omítek – od labo-
ratorních testů k praktické aplikaci. In: Sborník 4. mezioborové konference ALMA,
Praha, 21.-22.11. 2012. Litomyšl: Fakulta restaurování Univerzita Pardubice, 2012.
- » FUCHS, Johann, Nepomuk. Bereitung, Eigenschaften und Nutzenwendung des Wa-
sserglasses mit Einschluss der Stereochromie. München: 1857.
- » GIRSA, Václav a MICHOUNOVÁ, Dagmar. Tradiční vápenné omítky: poznání a prak-
tické postupy. Praha: IC ČKAIT, 2015. ISBN 978-80-87438-72-5.
- » HEČKOVÁ, Petra, HORÁK, Petr, MACHAČKO, Luboš, eds. Interdisciplinarita v
péči o kulturní dědictví: sborník z konference. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2013.
ISBN 978-80-7395-594-6.
- » HEROUT, Jaroslav. Slabikář návštěvníků památek. Praha: Středisko památkové péče a
ochrany přírody Středočeského kraje, 1980.
- » HORÁK, Petr a Vratislav NEJEDLÝ. Základní pojmy v péči o kulturní dědictví. Pardu-
bice: Univerzita Pardubice, 2013.
- » KEIM, Adolf Wilhelm. Anmerkungen zu dem Beitrag „Über die Konservierung alter-
tümlicher Wandmalereien“. In: Technische Mitteilungen für Malerei 4 (69), 39, 1889.
- » KUBIČKA, Roman a ZELINGER, Jiří. Výkladový slovník: malířství, grafika, restaurá-
torství. Praha: Grada, 2004. ISBN 80-247-9046-6.
- » MORA, P., MORA, L., PHILIPPOT, P. Conservation of Wall Paintings. London: 1984.
- » NEJEDLÝ V. Historické prostředky na zpevnování a ochranu kamene. In: Organokře-
mičitany v české památkové praxi. Praha: 2008.
- » PETEROVÁ, Ing. Adéla; KOTLÍK, doc. Ing. Petr, CSc. Vliv relativní vlhkosti na vlast-
nosti křemičitého gelu. In: Muzea, památky a konzervace 2014. Praha: Ústav chemické
technologie restaurování památek, VŠCHT Praha, 2014, s. 129-134.
- » RATHOUSKÝ, Jiří. Konzervační prostředky pro kámen i jiné stavební materiály. Přílo-
ha časopisu Zprávy památkové péče, ročník LIV, 1994, číslo 6.
- » SLÁNSKÝ, Bohuslav. Technika malby I a II. Praha: 2003.
- » SLÍŽKOVÁ, Zuzana. Performance Evaluation of Consolidants for Friable Inorganic

- Building Materials. Praha: Česká technická univerzita v Praze, 2018. ISBN 978-80-01-05229-7.
- » SLÍŽKOVÁ, Zuzana, FRANKEOVÁ, Dita. Strengthening of Weak Historic Renders with Traditional and Innovated Consolidation Treatment. In: 21st International Conference ENGINEERING MECHANICS 2015. Svatka, Czech Republic, May 11–14, 2015.
 - » VACÍK, Jiří. Přehled středoškolské chemie. 4. vyd., v SPN – pedagogickém nakl. 2. vyd. Praha: SPN – pedagogické nakladatelství, 1999. ISBN 80-7235-108-7.
 - » VANDEVOORDE D., PAMPLONA M., SCHALM O., VANHELLEMONT Y., CNUDE V., VERHAEVEN E. Contactsponge method: Performance of a promising tool for measuring the initial water Absorption. In: Journal of Cultural Heritage 10 (2009).
 - » VANĚČEK, Ivan. Nástěnné malby. Praha: VŠCHT, 1997.
 - » ZELINGER, Jiří a kolektiv. Chemie v práci konzervátora a restaurátora. Praha: 1987.
 - » ZIEGENBALG, Gerhard a Ewa PIASZCZYNSKI. The combined application of calcium hydroxide nano-sols and silicic acid ester – a promising way to consolidate stone and mortar. In: Proceedings of the 12th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone, New York, 2012.
 - » ZMEŠKAL O., ČEPPAN M., DZIK P. Barevné prostory a správa barev. 2002.

Seznam pramenů

- » BÁRTA, Jan. Obnova historických omítek – praktické zkušenosti.
- » BAN, Matea; ALIOTTA, Laura; GIGANTE, Vito; MASCHA, Elisabeth; SOLA, Antonella; LAZZERI, Andrea. Distribution depth of stone consolidants applied on-site: Analytical modelling with field and lab cross-validation. Construction and Building Materials, 259, 120394. Dostupné z: <https://www.elsevier.com/locate/conbuildmat>
- » BĚŤÁK, Marek. Bakalářská práce: Srovnání možností konsolidace vápenného štku křemičitými soly a organokřemičitými prostředky. Institut restaurování a konzervačních technik Litomyšl, o.p.s., 2003.
- » BODANSKÁ, Magda. Bakalářská práce: Restaurování části maleb v kupoli baziliky Nanebevzetí Panny Marie na Svatém kopečku u Olomouce. Univerzita Pardubice Fakulta restaurování, 2012.
- » ČERNÝ, Adam. Bakalářská práce: Srovnání možností strukturální konsolidace vápenných omítek různými typy křemičitých solů. Litomyšl, 2003, Institut restaurování a konzervačních technik Litomyšl, o.p.s.
- » DUNAJSKÁ, Dana. Bakalářská práce: Zhodnocení současných možností konsolidace vápenných omítek konsolidanty na bázi hydroxidu vápenatého. Univerzita Pardubice, Litomyšl, 2009.

- » DUNAJSKÁ, Jana. Tests on sustainability of consolidation treatments with CaLoSil nanosuspensions on plaster reference samples. Diplomová práce, Fakulta restaurování Univerzity Pardubice, Litomyšl, 2012.
- » HLADÍKOVÁ, Alena. Diplomová práce: Porovnání účinnosti konsolidantů při zpevnování vápenných malt. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Fakulta chemické technologie, Ústav chemické technologie restaurování památek, 2006.
- » KOCIÁNOVÁ, Ilona. Diplomová práce: Restaurování centrálního výjevu na klenbě kaple sv. Isidora v Křenově. Univerzita Pardubice Fakulta restaurování, 2013.
- » KUNEŠ, P. Vliv hydroxidu vápenatého na zpevnění vápenné malty organokřemičitým esterem. Disertační práce, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha, 2012.
- » MACOUNOVÁ, Dana. Diplomová práce: Restaurování vápencové sochy světice č. 1 s využitím nanosuspenzí na bázi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ / Zhodnocení možnosti využití nanosuspenzí na bázi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pro konsolidaci organodetrického vápence v porovnání s běžně používanými prostředky na bázi TEOS; Rozšířená restaurátorská zpráva. Univerzita Pardubice Fakulta restaurování, 2012.
- » RICHTER, Annett. Untersuchung ausgewählter Festigungsmittel für Lehmbauten in aridem Klima. 2004. [online] Dostupné z: https://www.iglehm.ch/application/files/8115/4256/9672/lehm2004_b_richter-festigungsmittel.pdf [cit. 2023-10-03].
- » Stone Conservation for the Refurbishment of Buildings; projekt v rámci 7.RP (NMP-SE-2008-213651).
- » ŠRÁMKOVÁ, Eva. Bakalářská práce: Srovnání možnosti strukturální konsolidace vápenných omítek různými typy křemičitých solů. Institut restaurování a konzervačních technik Litomyšl, o.p.s., Litomyšl, 2003.
- » VOJTĚCHOVSKÝ, Jan. Povrchová konsolidace nástěnných maleb pomocí vápeno-alkoholových suspenzí a jejich směsí s estery kyseliny křemičité. Disertační práce, Fakulta stavební, České vysoké učení technické, Praha, 2017.
- » Nano-materials for the conservation and preservation of movable and immovable artworks; project number 282816; FP7-ENV-NMP-2011.
- » Distribution depth of stone consolidants applied on-site, Pisa; projekt Nano-Cathedral. Dostupné z: <https://www.nanocathedral.eu>

Internetové zdroje

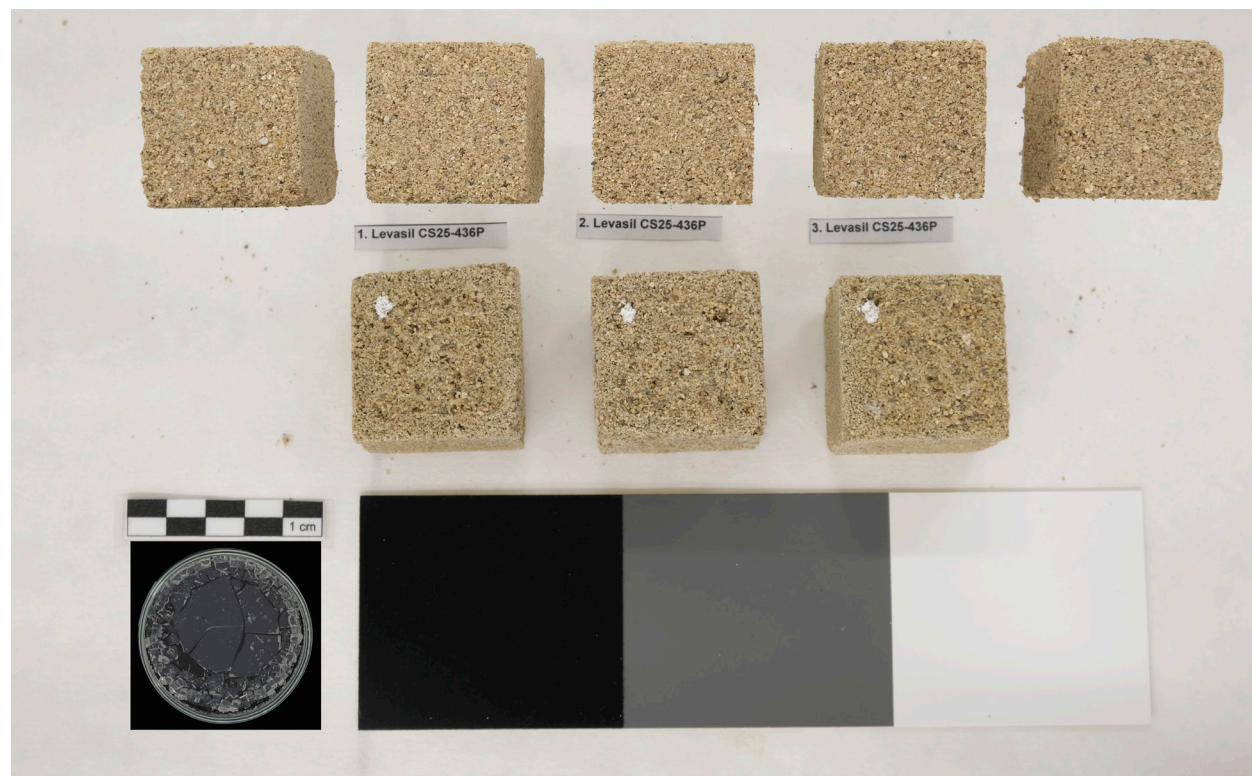
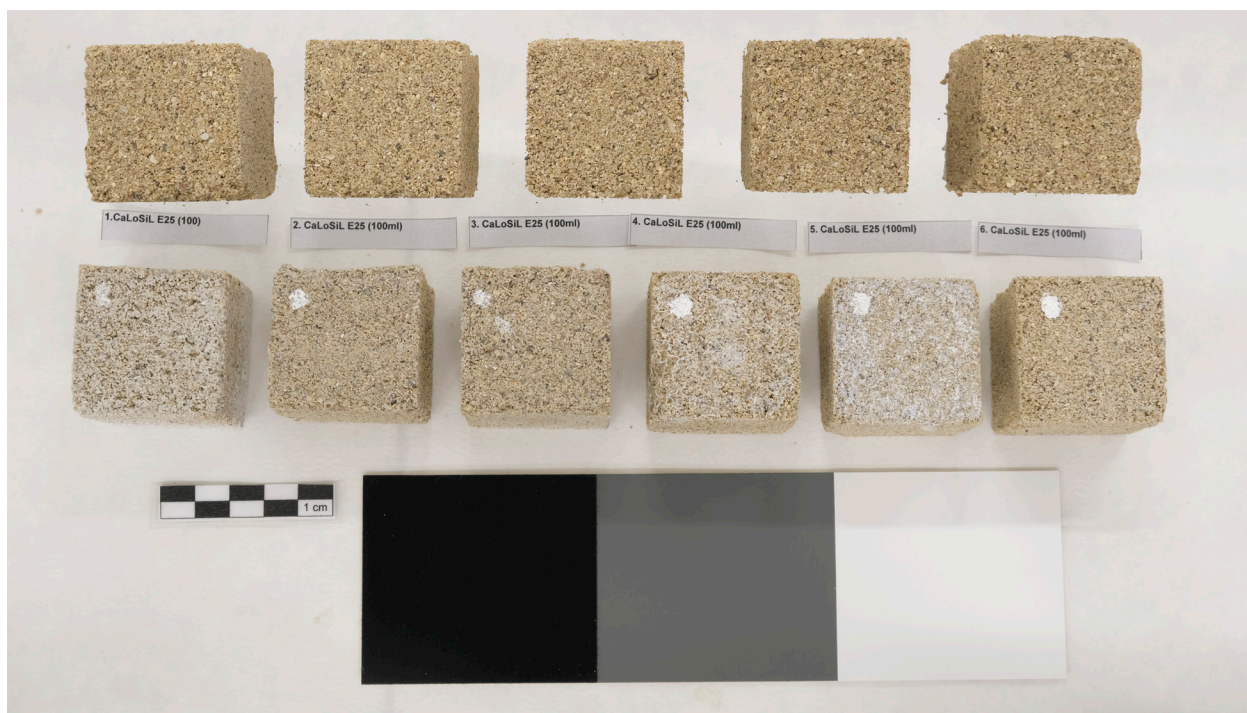
- » <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-iso-13822-730038-221300.html#>
- » <https://vodnisklo.cz/product/koloidni-oxid-kremicity/>
- » <https://www.nouryon.comwww.kremer-pigmente.com>
- » <https://www.aquabarta.cz/>
- » <https://www.remmers.cz>
- » <http://www.feinchemie.de>

5 Fotografická příloha

Seznam obrázků

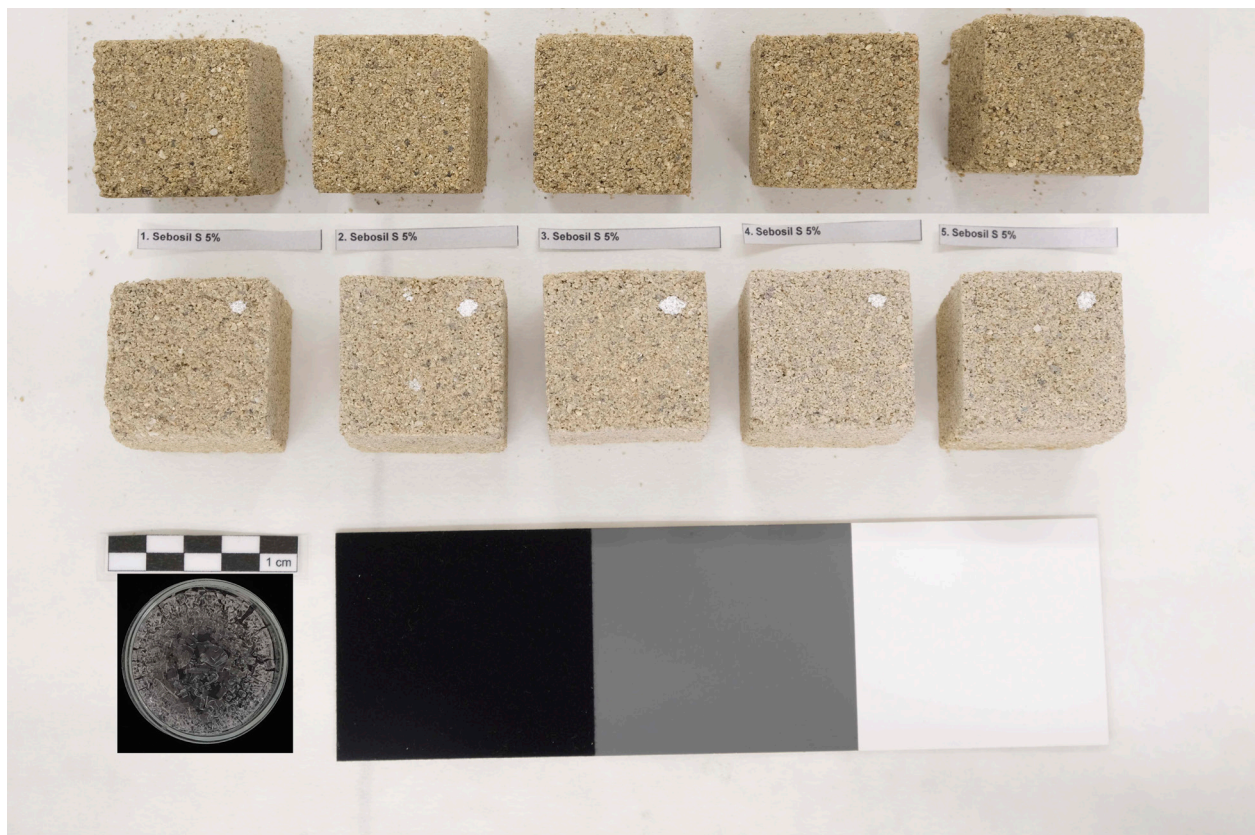
| | |
|---|-----|
| Obr. 01: Vzorec tetraetoxysilanu (TEOS) | 23 |
| Obr. 02: Jednotlivé frakce písků provedené v rámci granulometrického rozboru sypkých materiálů. | 50 |
| Obr. 04: Příprava modelových těles | 50 |
| Obr. 05: Homogenní nekonsolidovaná modelová tělesa po výjmutí z forem. | 50 |
| Obr. 03: Sestava pro síťovou analýzu s velikostí ok: 0,063 - 4 mm. | 50 |
| Obr. 06: Způsob příbravy laboratorních těles a aplikace konsolidantů. | 54 |
| Obr. 07: Aplikace konsolidantu CaLoSiL E25 injekční stříkačkou. | 54 |
| Obr. 08: Měření pH konsolidantu pomocí pH metru WTW, inoLab s kalibrací v rozmezí pH 7,00-10,01. | 57 |
| Obr. 09: Model barevného spektra v kolorimetrickém systému CIELAB | 62 |
| Obr. 10: Měření barevnosti pomocí Spektrofotometru CM-2600d (Konica Minolta). | 63 |
| Obr. 11: Měření kapilární nasákavosti, působ aplikace houby na vzorek a průběžná kontrola na váze. | 67 |
| Obr. 12: Měření ultrazvukové transmise přístrojem Geotron UKS 14 (GEOTRON-ELEKTRONIC) s externími sondami UPG-D a UPE-D. | 70 |
| Obr. 13: Grafické schéma laboratorních těles omítky a způsobu měření směru ultrazvukové transmise. | 70 |
| Obr. 14: Trhací stroj FPZ 100/1 s umístěným konsolidovaným tělesem připraveným k měření. | 72 |
| Obr. 15: Přehled křemičitých solí v kapalné formě těsně po aplikaci na Petriho misky (8 ml), barevnost kapalin na bílém podkladu. | 76 |
| Obr. 16: Zkoumání přechodu křemičitého solu na gel v laboratorních podmínkách. Jako první vytvořil pevný gel Sebosil S. | 77 |
| Obr. 17: Legenda - konsolidanty na Petriho miskách po gelaci (2 měsících v laboratorních podmínkách). | 77 |
| Obr. 18: Písmeno k označuje měš křemičitého solu s vápennou nanosuspenzí. Reakce křemičitých solí po kontaktu s vápennou nanosuspenzí. | 79 |
| Obr. 19: 1k a) Sebosil S - Průběh gelace gelace Sebosilu S po kontaktu s vápennou nanosuspenzí. | 80 |
| Obr. 20: Aplikace Sebosilu S společně s CaLoSiLem E25 po 2 měsících. (t=23,3°C, RH=40,2%) | 80 |
| Obr. 21: Chování gelů v závislosti na změně relativní vzdušné vlhkosti (RH=20%, 60%, 80%). | 82 |
| Obr. 22: Chování gelu Primer Hydro Silicatfestiger při 80% RH, zřetelná hygroskopická vytvořených solí. | 84 |
| Obr. 23: Pravděpodobně solné výkvěty na povrchu tělesa napuštěného Levasilem CC301 | 92 |
| Obr. 25: Pravděpodobně solné výkvěty na povrchu vzorku napuštěného Porosilem ZTS (pouze 1 z 5 vzorků). | 92 |
| Obr. 24: Stejně výkvěty pozorujeme u kombinaci Levasilu CC301 a CaLoSiLu E25 | 92 |
| Obr. 26: „Drop test“ – hydrofobitá povrchu konsolidovaných vzorků KSE 300, po 2 měsících v podmínkách relativní vlhkosti vzduchu $\geq 60\%$. | 97 |
| Obr. 27: Úlomky vzorků kombinace křemičitého solu + CaLoSiL E25, pozorování úlomků po pevnosti v tlaku. | 105 |
| Obr. 28: Úlomky vzorků kombinace organokřemičitanu KSE300, pozorování úlomků po pevnosti v tlaku. | 105 |
| Obr. 29: CaLoSiL® E25 – porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými vápennou nanosuspenzí CaLoSiL E25 (spodní řada). | 118 |
| Obr. 30: Levasil® CS25-436P – porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce. | 118 |
| Obr. 31: Sebosil® S – porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce. | 119 |
| Obr. 32: Sebosil® S – porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem a vápennou nanosuspenzí (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce. | 119 |
| Obr. 33: Primer® Hydro Silicatfestiger – porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým nanosolem (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce. | 120 |
| Obr. 34: Primer® Hydro Silicatfestiger porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem a vápennou nanosuspenzí (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce | 120 |
| Obr. 35: Ludox® PX30 porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce. | 121 |

- Obr. 36: Ludox® PX30 porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem a vápennou nanosupenzí (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce. 121
- Obr. 37: Porosil® ZTS porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce. 122
- Obr. 38: Porosil® ZTS porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem a vápennou nanosupenzí (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce. 122
- Obr. 39: SioXaL® A8 porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce. 123
- Obr. 40: SioXaL® A8 porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem a vápennou nanosupenzí (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce. 123
- Obr. 41: SioXaL® A10 porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce 124
- Obr. 42: SioXaL® A10 porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem a vápennou nanosupenzí (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce. 124
- Obr. 43: Levasil® CC301 porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce 125
- Obr. 44: Levasil® CC301 porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem a vápennou nanosupenzí (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce. 125
- Obr. 45: Levasil® CS15-450 porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce. 126
- Obr. 46: Levasil® CS15-450 porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem a vápennou nanosupenzí (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce. 126
- Obr. 47: Levasil® CS30-616P porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce. 127
- Obr. 48: Levasil® CS30-616P porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem a vápennou nanosupenzí (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce. 127
- Obr. 49: Levasil® CS34-720 porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem a vápennou nanosupenzí (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce. 128
- Obr. 50: Levasil® CS34-720 porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem a vápennou nanosupenzí (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce. 128
- Obr. 51: KSE® 300 porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými organokřemičitanem (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce. 129
- Obr. 52: KSE® 300HV porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými organokřemičitanem (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce. 129



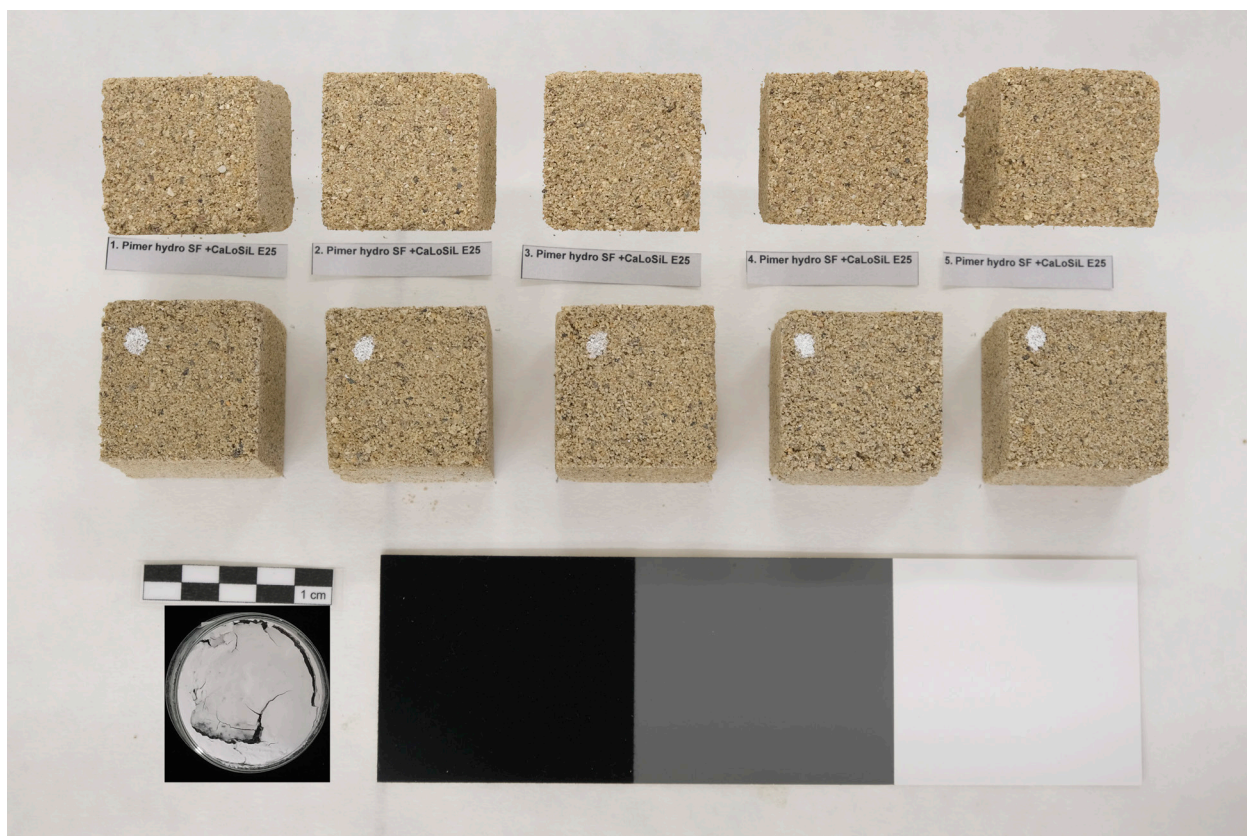
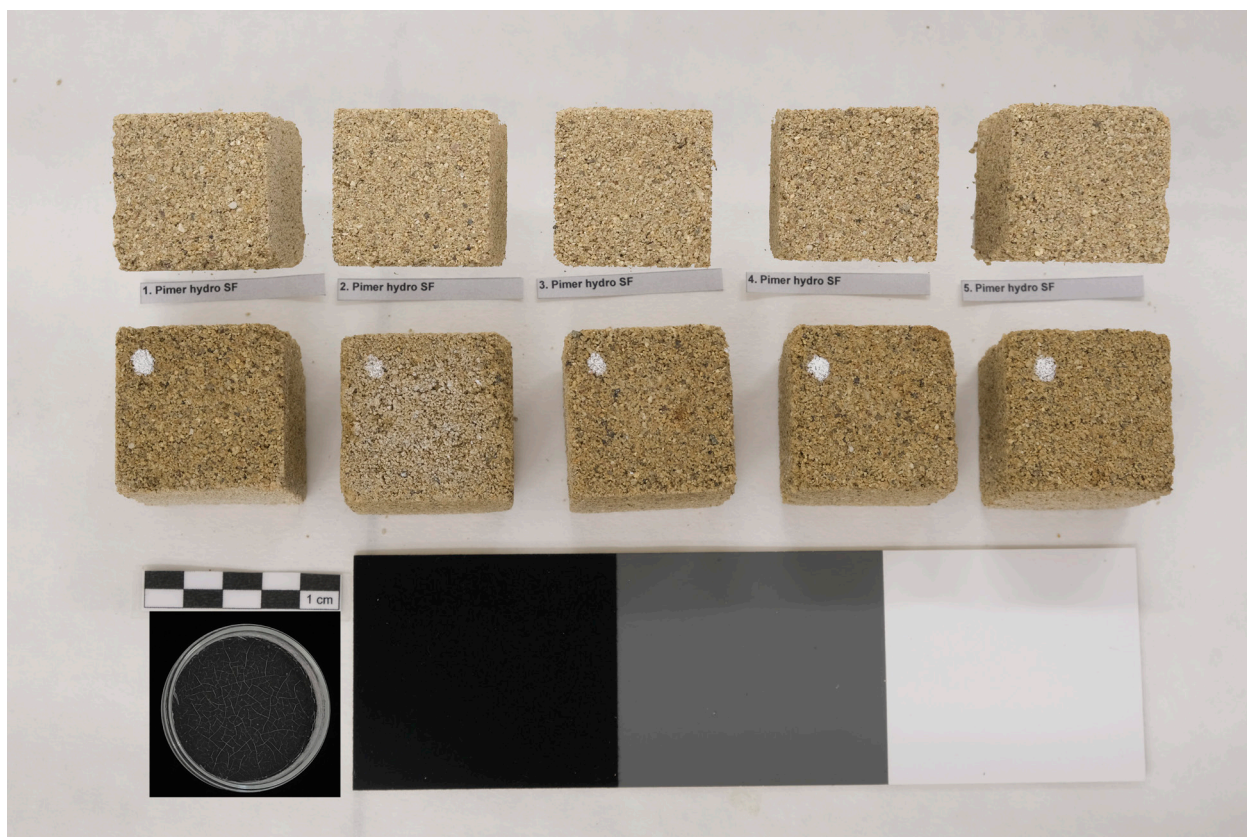
Obr. 29: CaLoSiL® E25 – porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými vápennou nanosuspenzí CaLoSiL E25 (spodní řada).

Obr. 30: Levasil® CS25-436P – porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce.



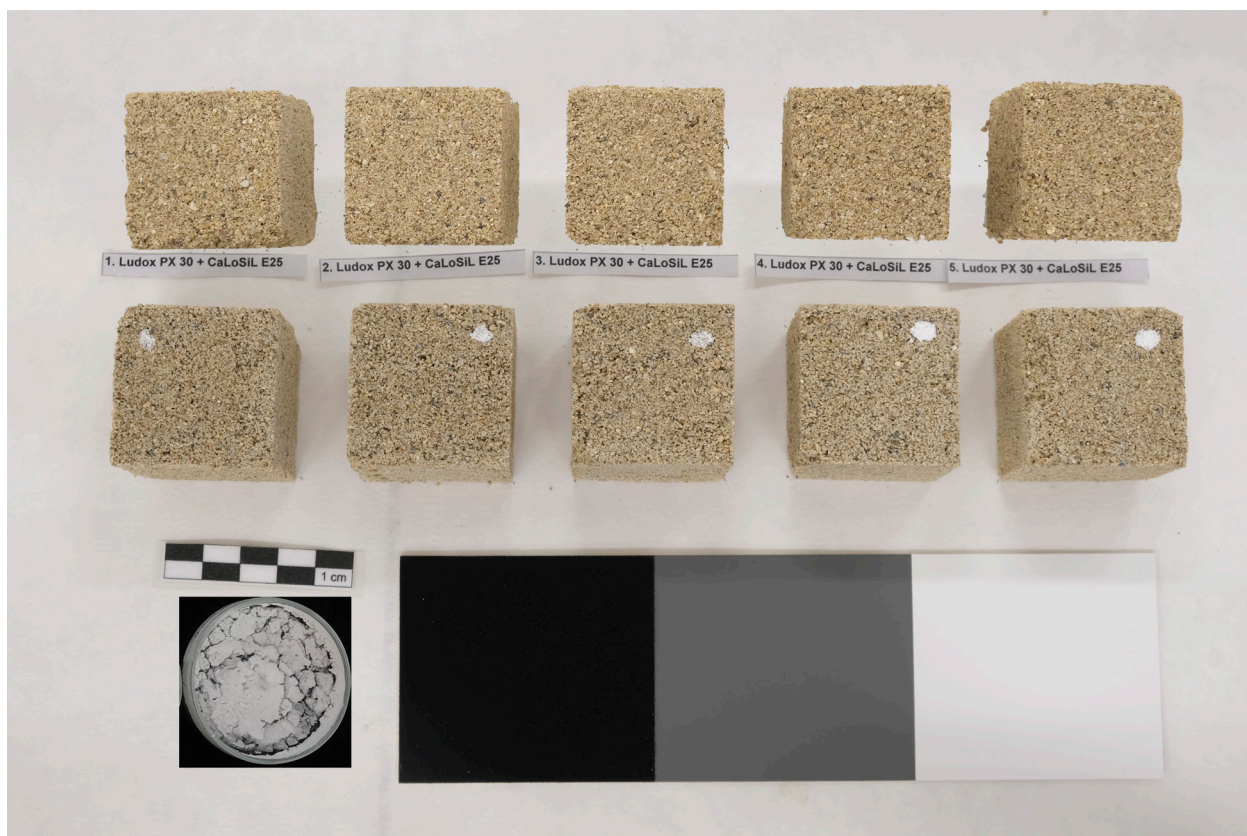
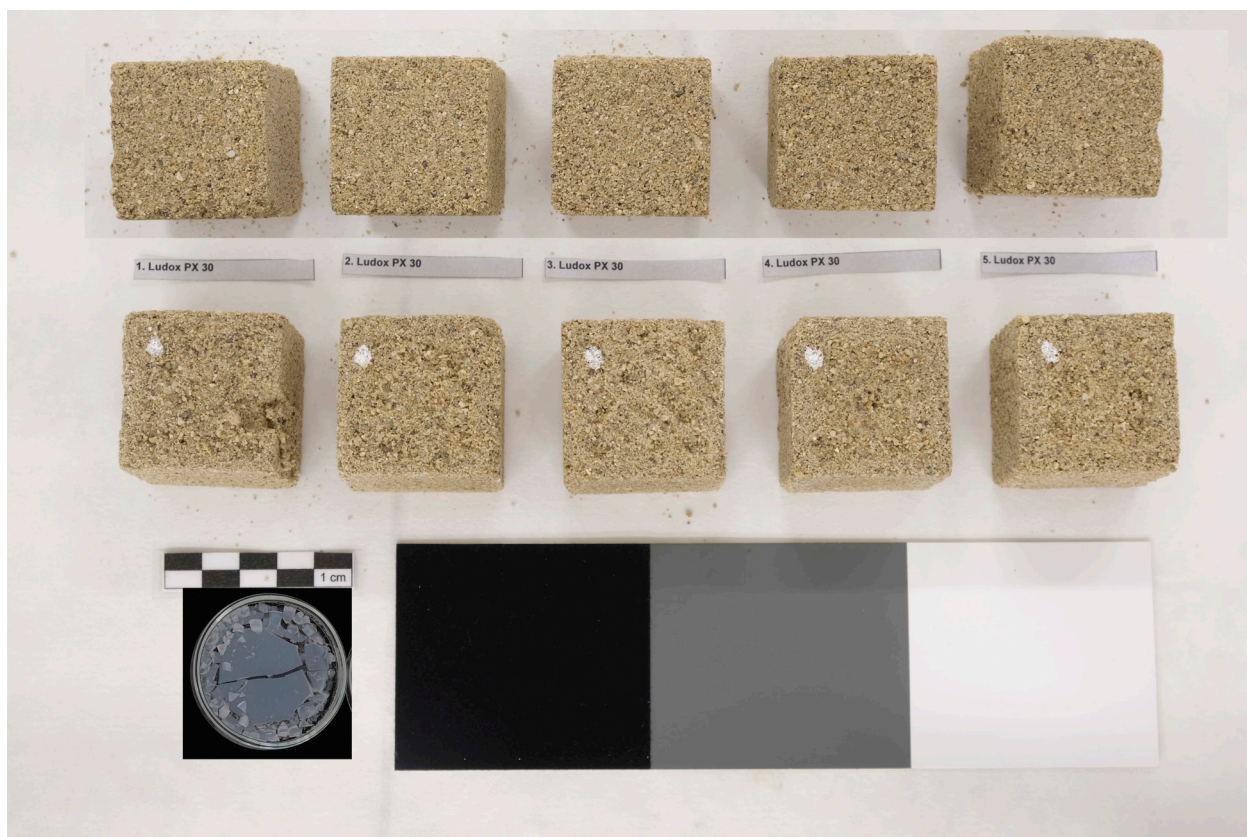
Obr. 31: Sebosil® S – porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce.

Obr. 32: Sebosil® S – porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem a vápennou nanospenzí (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce.



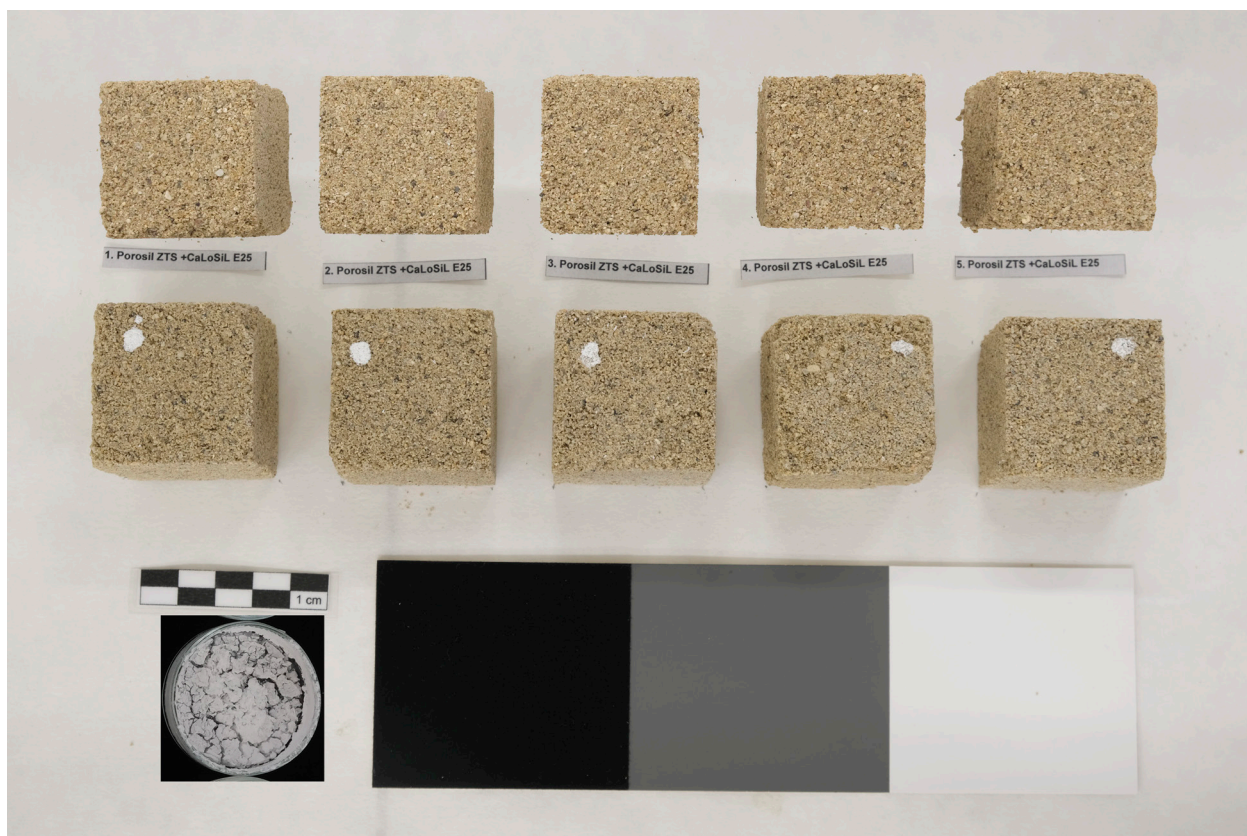
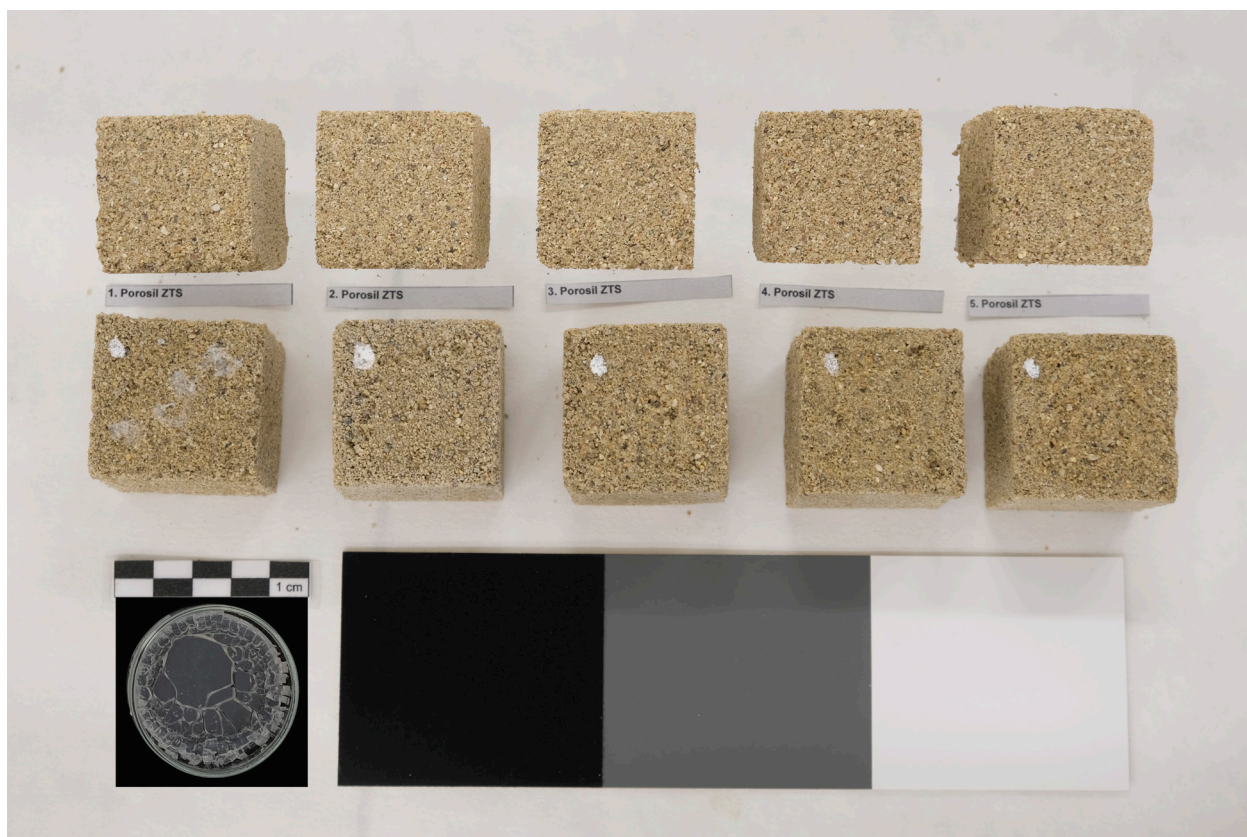
Obr. 33: Primer® Hydro Silicatfestiger – porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým nanosolem (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce.

Obr. 34: Primer® Hydro Silicatfestiger porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem a vápennou nanosupenzí (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce



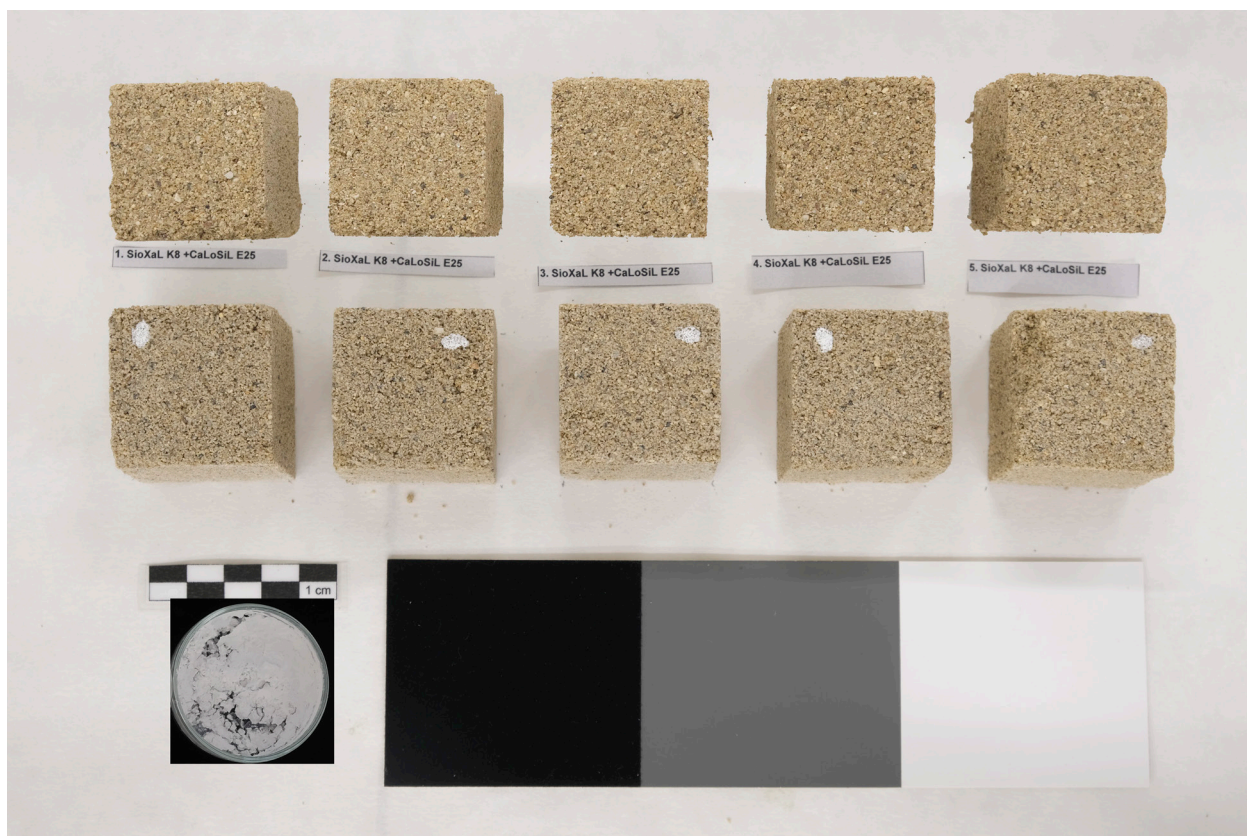
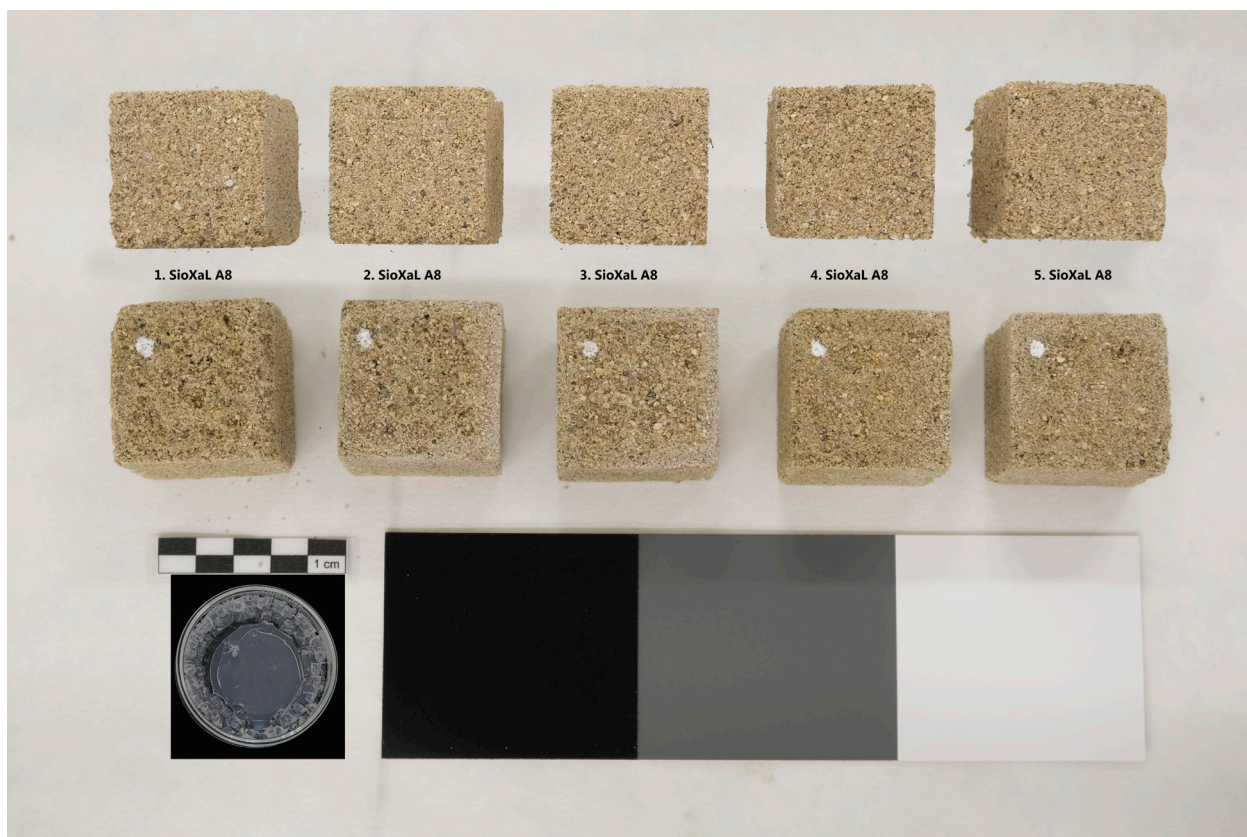
Obr. 35: Ludox® PX30 porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce.

Obr. 36: Ludox® PX30 porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem a vápennou nanosupenží (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce.



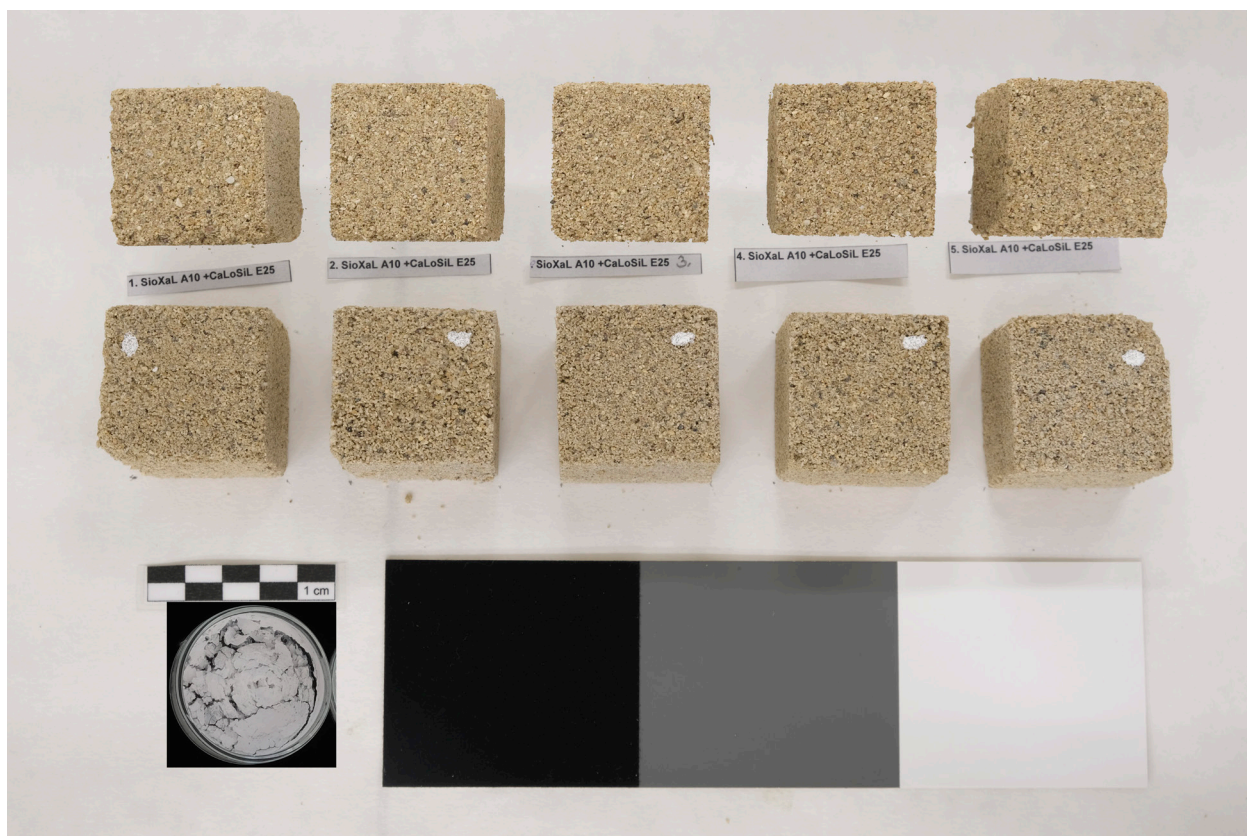
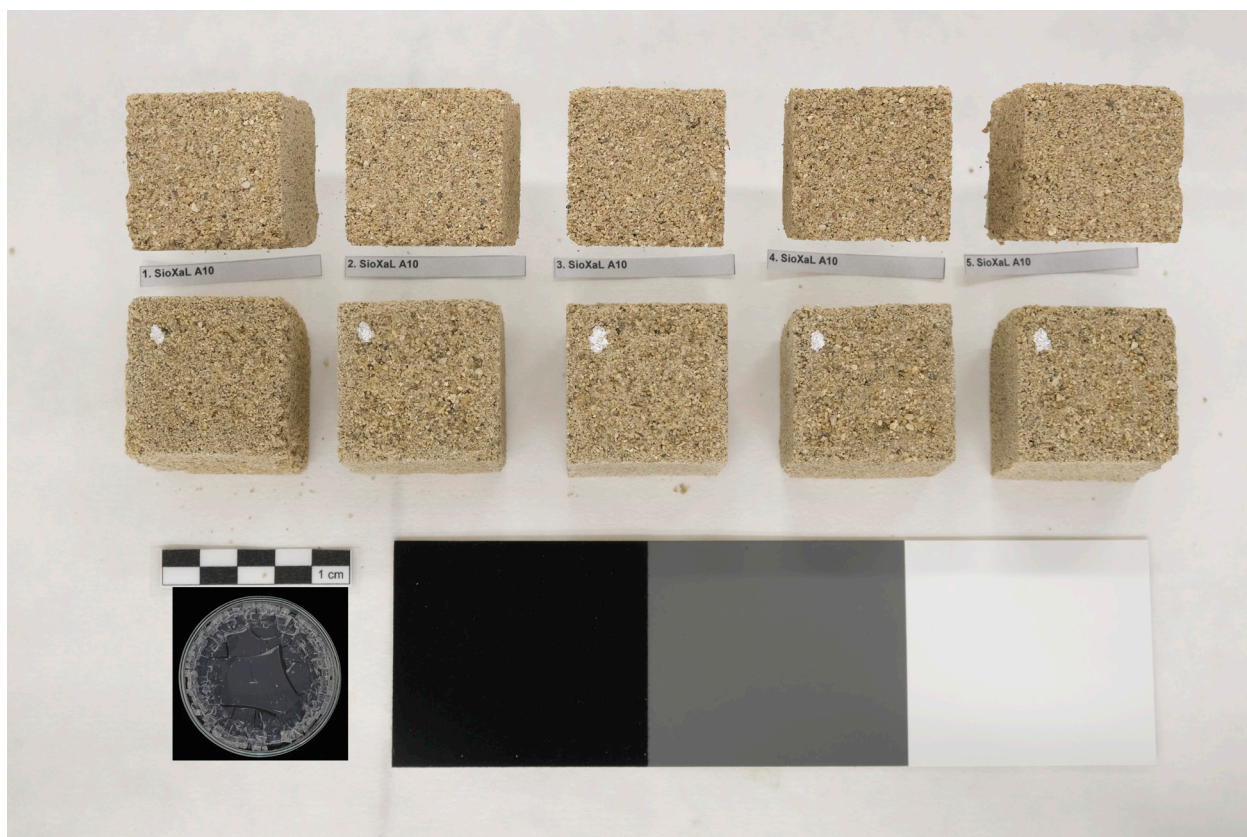
Obr. 37: Porosil® ZTS porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce.

Obr. 38: Porosil® ZTS porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem a vápennou nanosupenzí (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce.



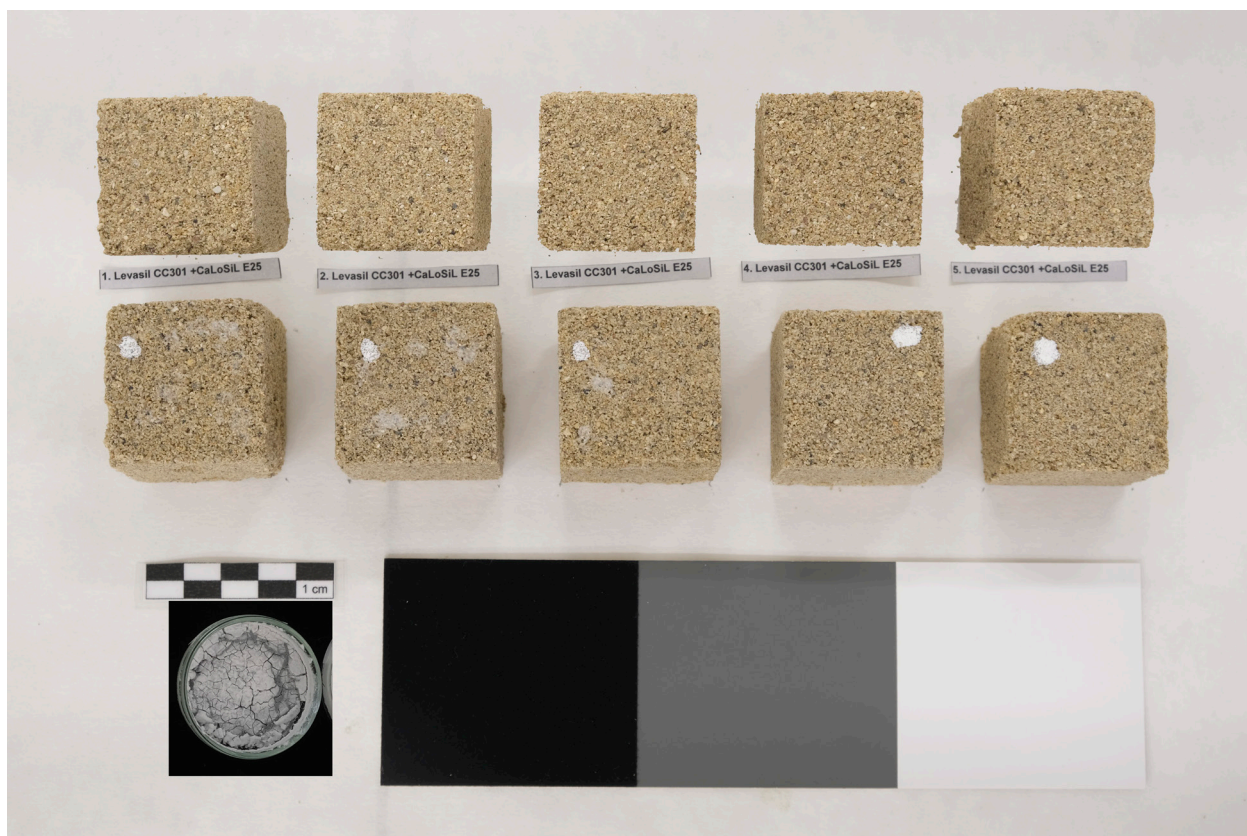
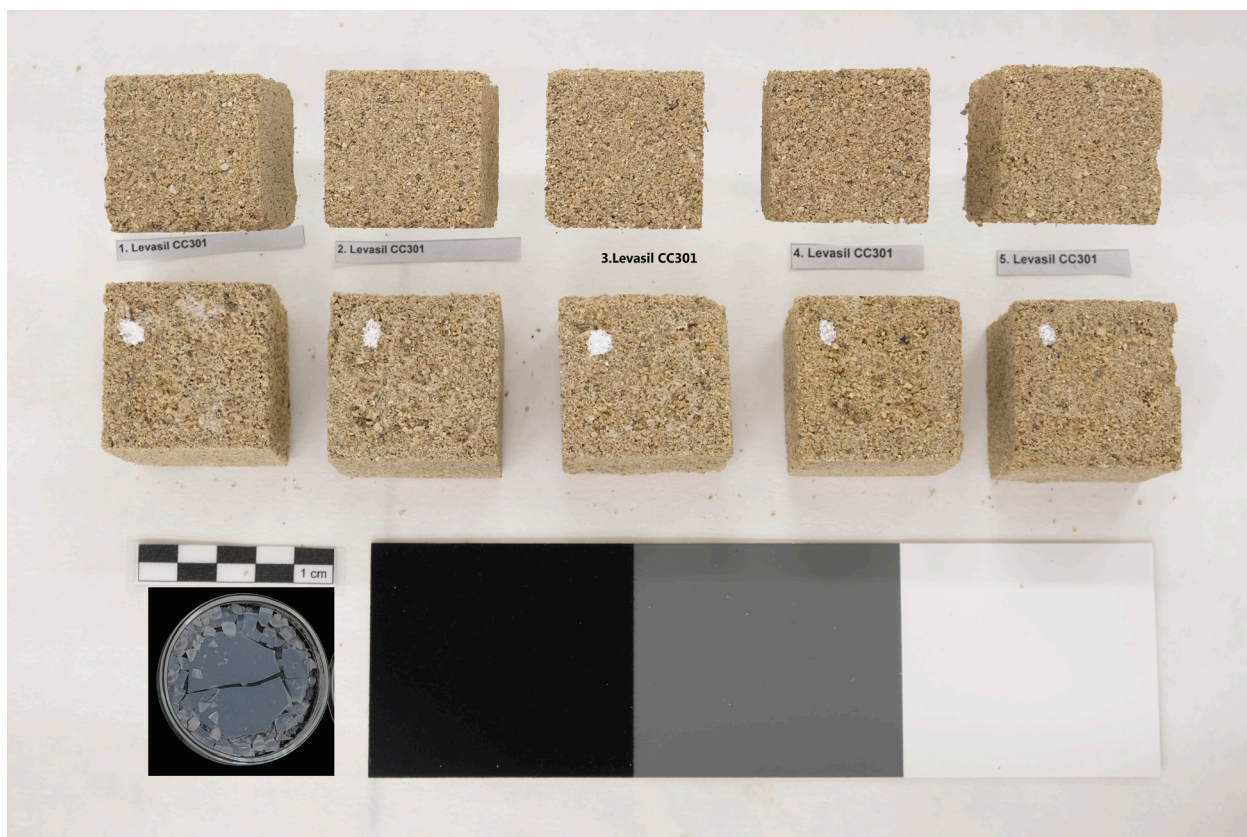
Obr. 39: SioXaL® A8 porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce.

Obr. 40: SioXaL® A8 porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem a vápennou nanospenzí (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce.



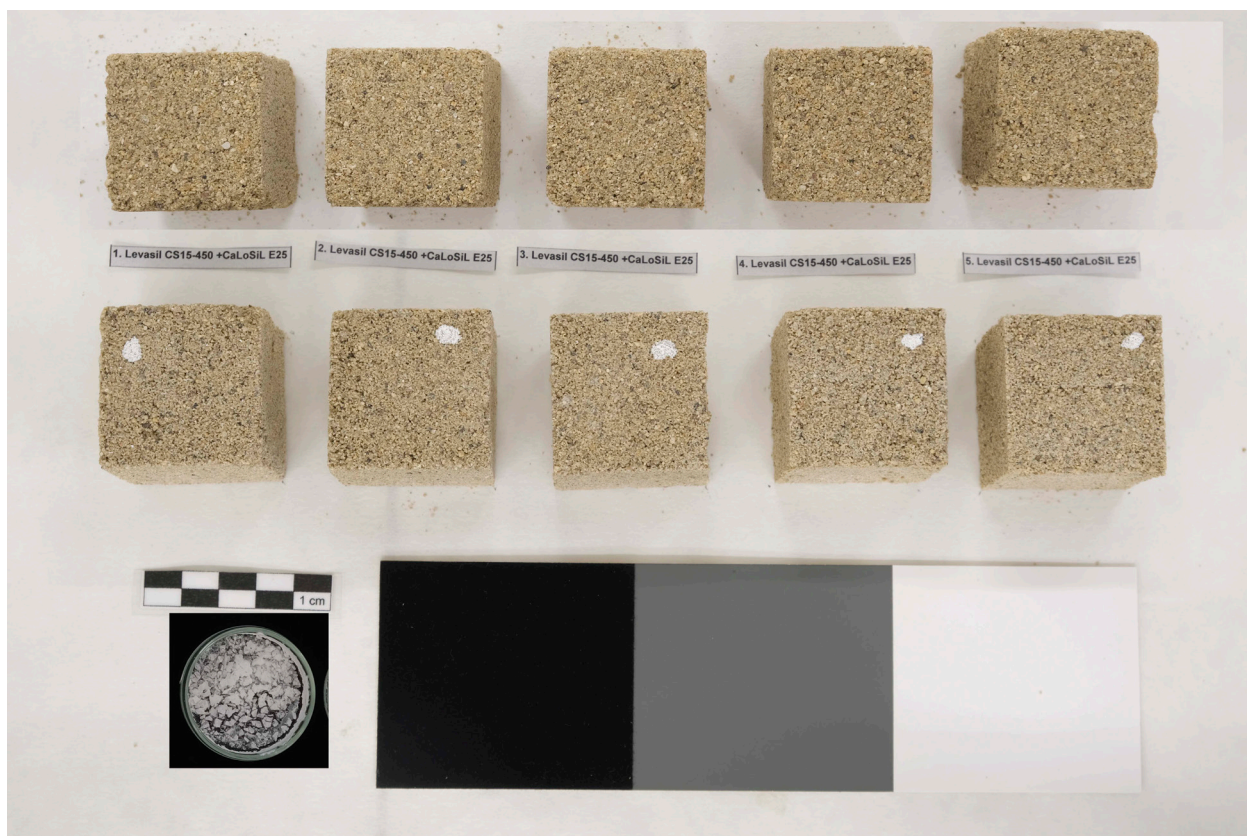
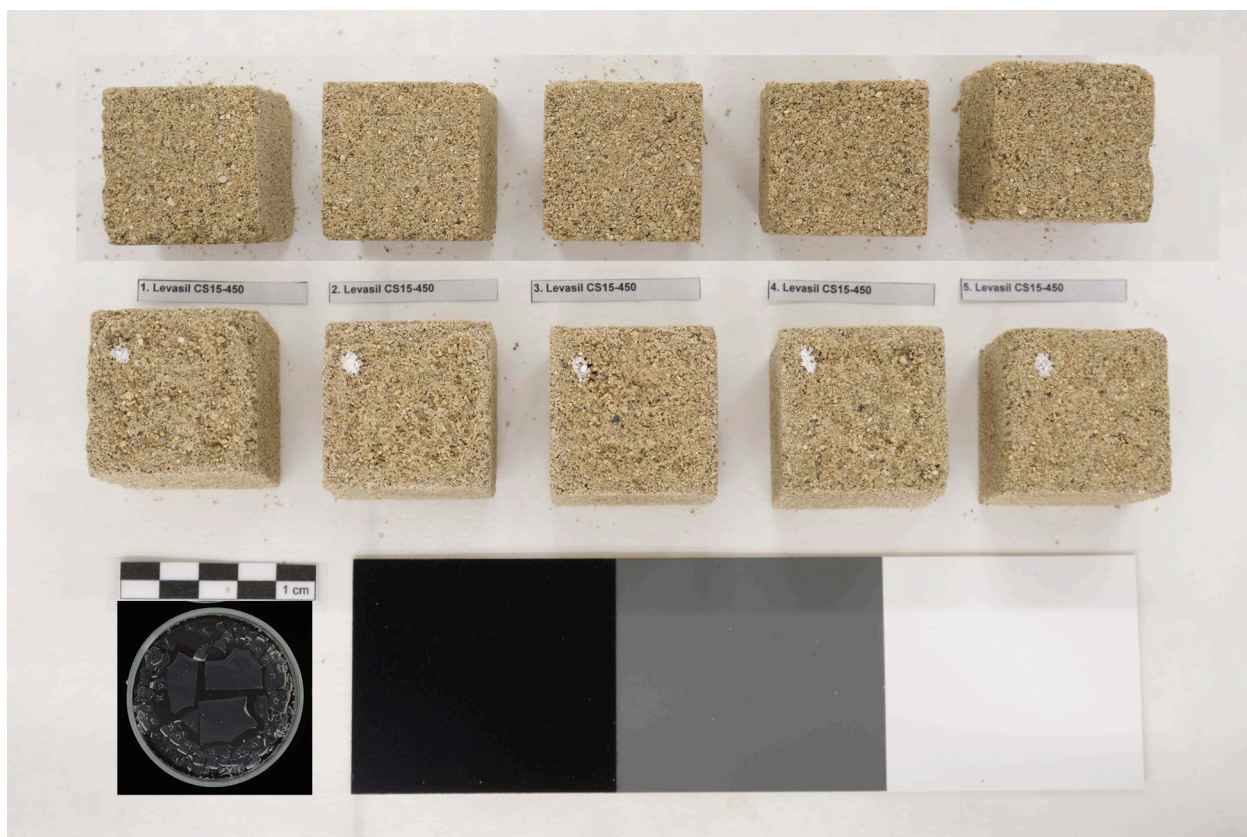
Obr. 41: SioXaL® A10 porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce

Obr. 42: SioXaL® A10 porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem a vápennou nanosupenzí (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce.



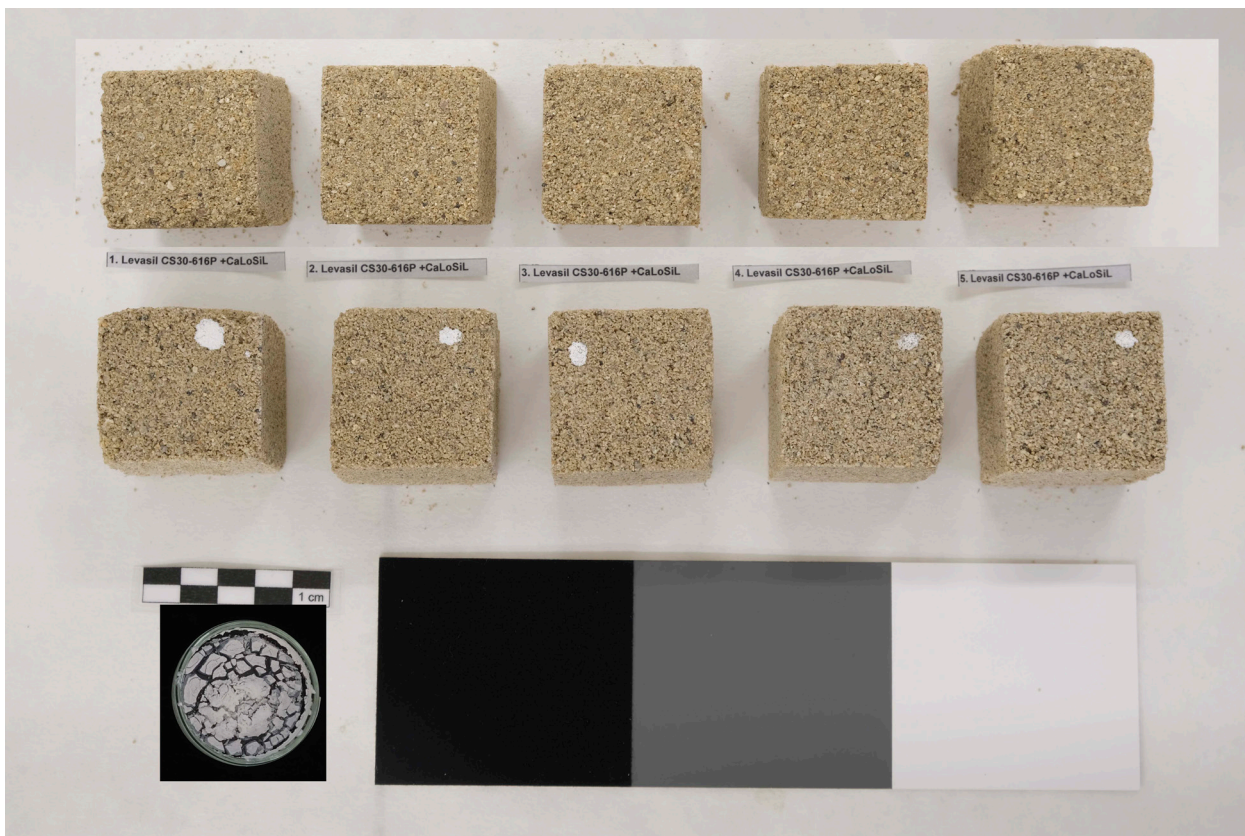
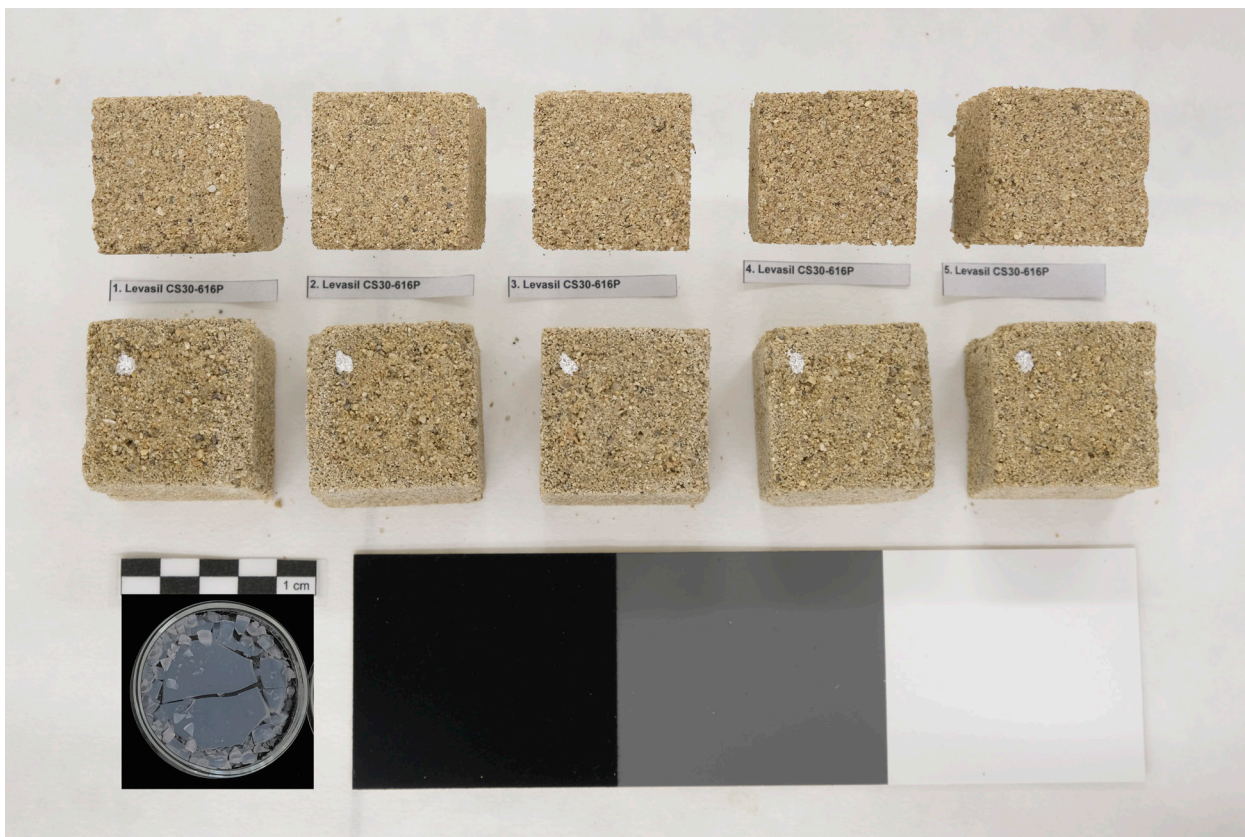
Obr. 43: Levasil® CC301 porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce

Obr. 44: Levasil® CC301 porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem a vápennou nanosupenzí (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce.



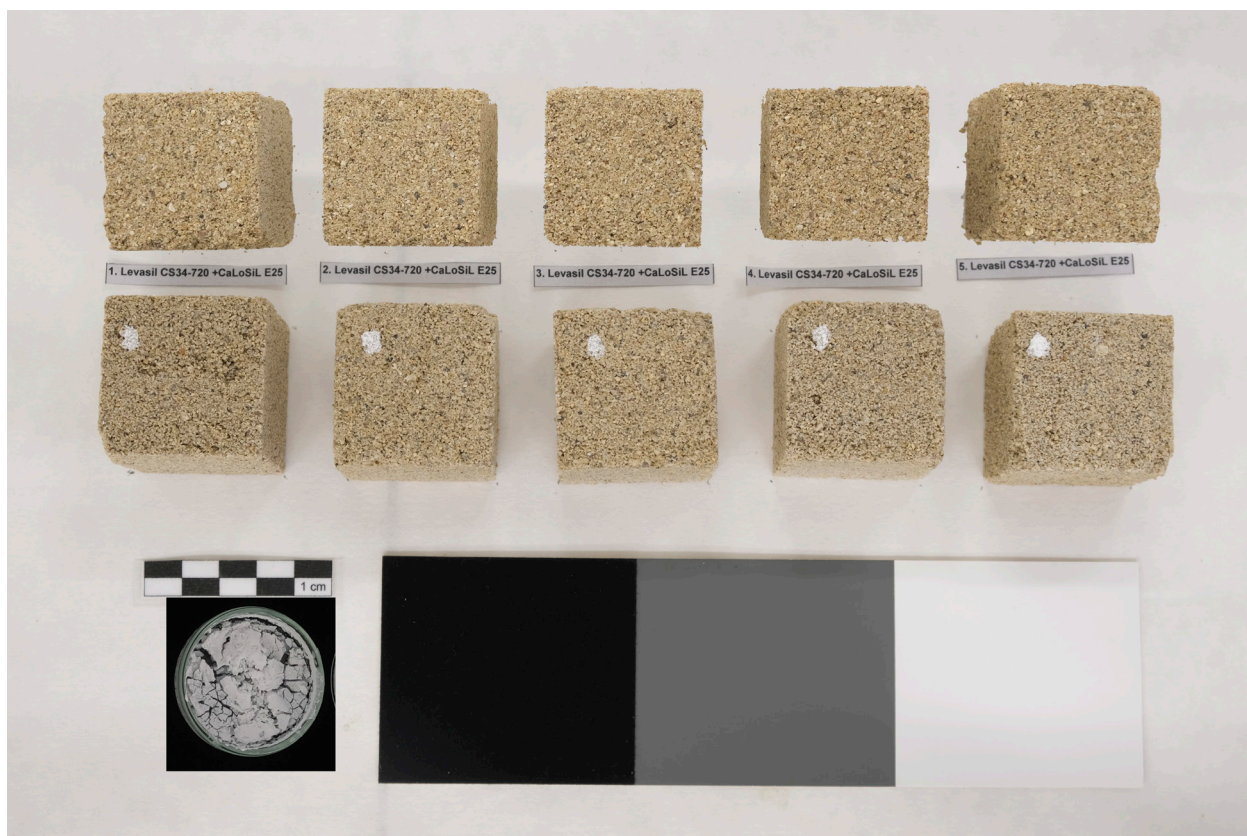
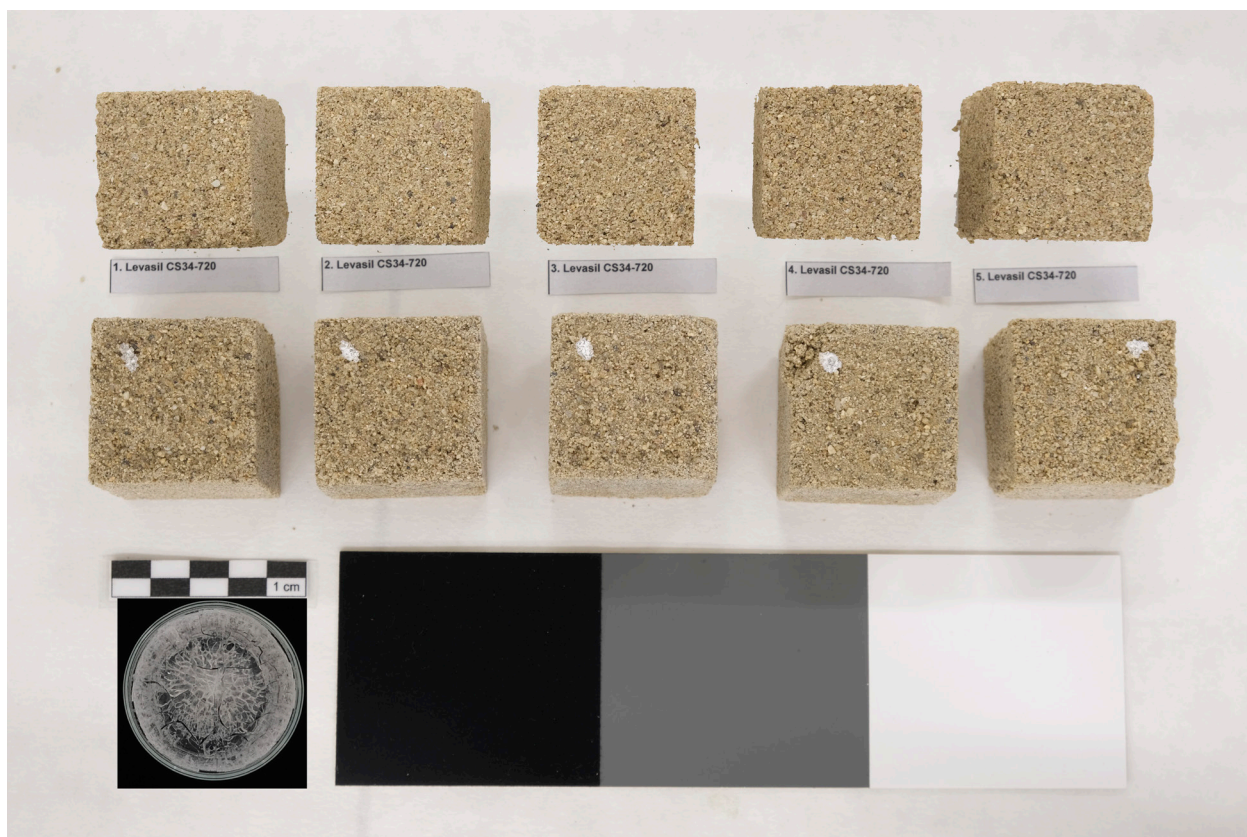
Obr. 45: Levasil® CS15-450 porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce.

Obr. 46: Levasil® CS15-450 porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem a vápennou nanosupenzí (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce.



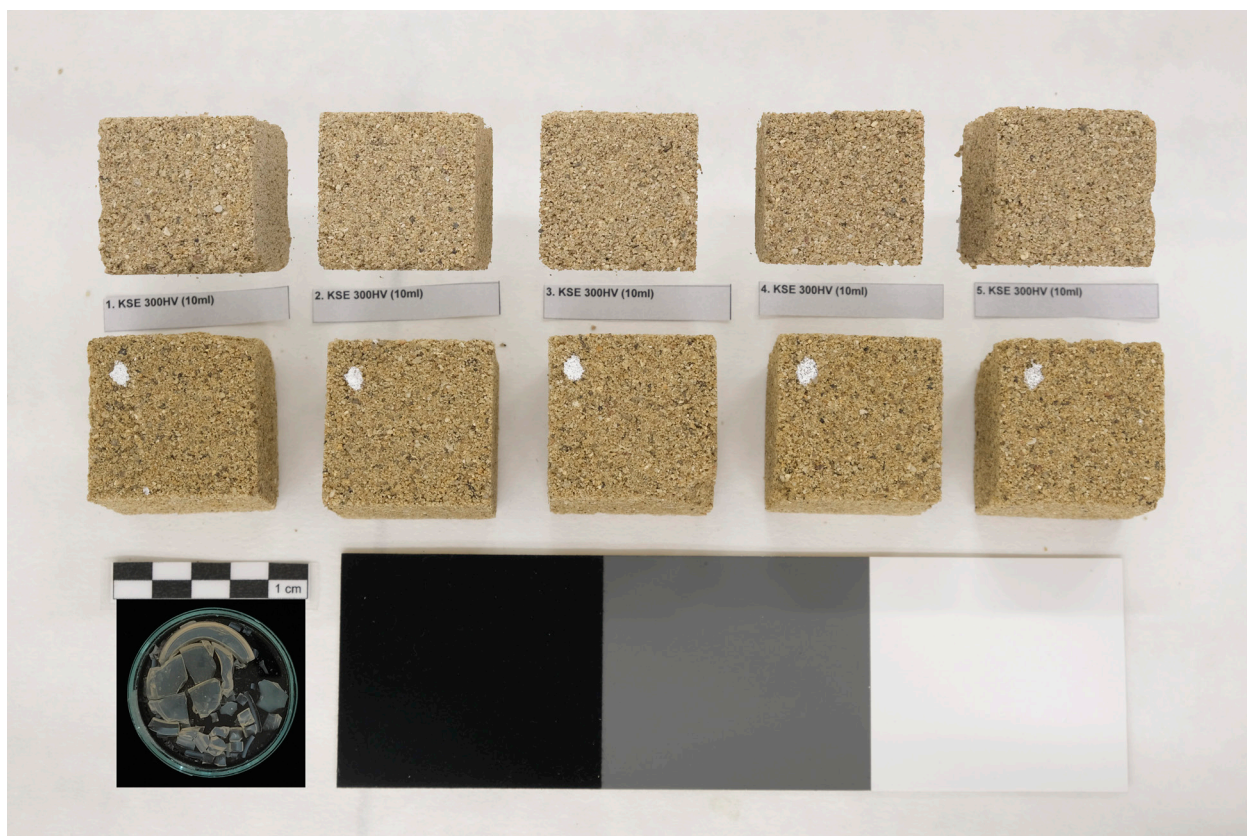
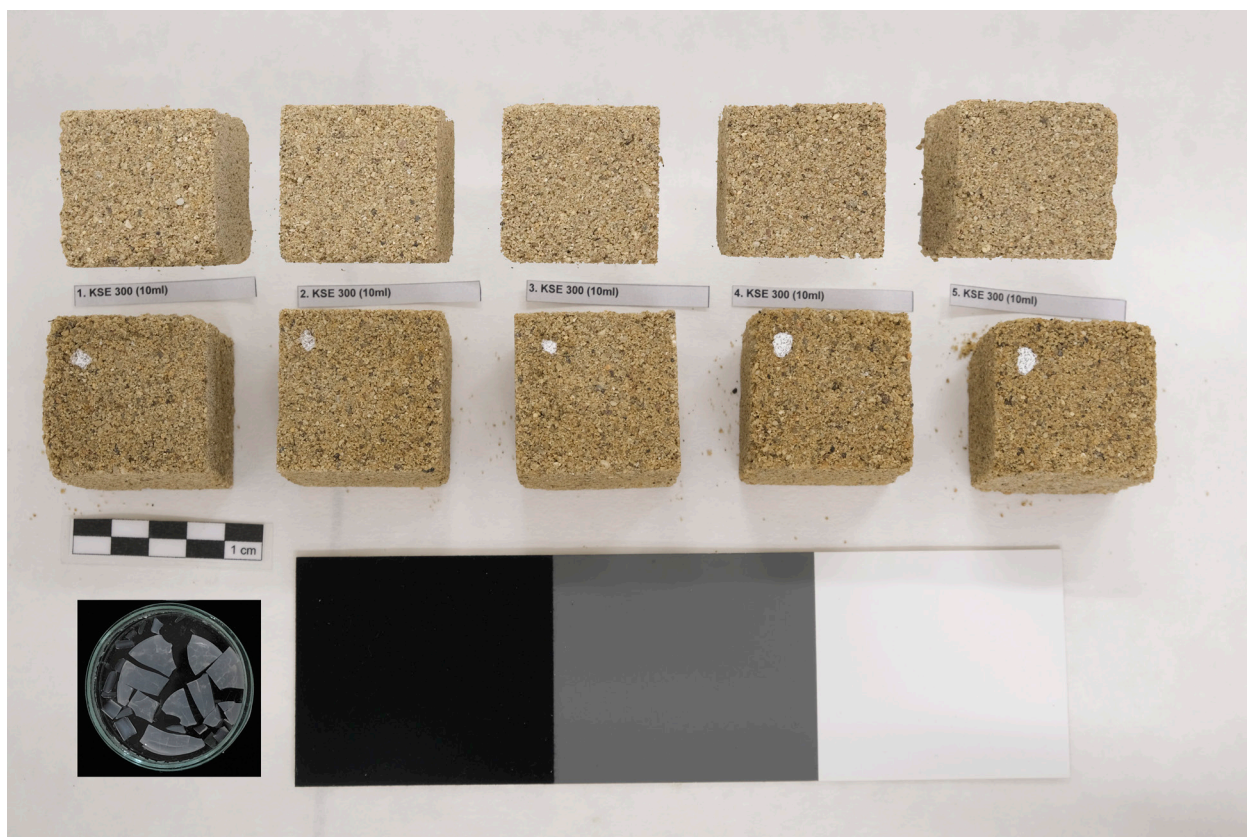
Obr. 47: Levasil® CS30-616P porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem (spodní řada). V levém rohu vzorky napuštěnými křemičitým solem a vápennou nanosupenzí gel na Petriho misce.

Obr. 48: Levasil® CS30-616P porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem a vápennou nanosupenzí (spodní řada). V levém rohu vzorky napuštěnými křemičitým solem a vápennou nanosupenzí gel na Petriho misce.



Obr. 49: Levasil® CS34-720 porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem a vápennou nanosupenčí (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce.

Obr. 50: Levasil® CS34-720 porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými křemičitým solem a vápennou nanosupenčí (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce.



Obr. 51: KSE® 300 porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými organokřemičitanem (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce.

Obr. 52: KSE® 300HV porovnání vzorových nekonsolidovaných těles (horní řada) se vzorky napuštěnými organokřemičitanem (spodní řada). V levém rohu gel na Petriho misce.

II.

Praktická část diplomové práce:

Dokumentace restaurátorského průzkumu a zásahu
Restaurování části nástěnné malby „Obrácení sv. Augustina“
v kostele sv. Lamberta v Subenu (Rakousko)

1 Úvod

Tato restaurátorská dokumentace se zabývá komplexním restaurátorským zásahem na vymezeném úseku nástěnné malby ve farním kostele svatého Lamberta v Subenu (Horní Rakousko). Kostel se nachází v komplexu původního kláštera augustiniánských kanovníků. V současné době klášterní komplex funguje jako trestní ústav, avšak kostel slouží veřejnosti.

Předmětem průzkumu je nástropní malba nad varhanní kruchtou v západní části kostela. Jejím autorem je tyrolský malíř Johann Jakob Zeiller. Námět tvoří vyobrazení „Obrácení svatého Augustina“ se signaturou autora a datací 1768. Dále práce dokumentuje restaurátorský zásah na předem vymezeném úseku. Na průběhu restaurátorských prací v kostele spolupracovali studenti Fakulty restaurování Univerzity Pardubice pod vedením Jörga Riedela a Zuzany Wichterlové.

Restaurátorská akce navázala na průzkumy, které byly provedeny mezi lety 2007 a 2018. Doplňující průzkum a samotné restaurování probíhalo v létě a na podzim roku 2022.



Obr. 01: Grafické vyznačení úseku určeného k provedení komplexního restaurátorského zásahu.

2 Úvodní údaje

2.1 Lokalizace památky

- **Stát:** Rakouská Republika
- **Spolková země:** Horní Rakousko
- **Okres:** Schärding
- **Adresa:** Suben 1, 4975 Suben, Austria
- **GPS souřadnice:** 48°24'45.0"N 13°25'47.0"E
- **Objekt:** farní kostel sv. Lamberta v Subenu (bývalý augustiniánský klášter)
- **Bližší určení místa popisem:** nástropní malba, výjev na západní klenbě nad kůrem

2.2 Údaje o památce

- **Restaurované dílo:** nástěnná malba motivem "Obrácení svatého Augustina"
- **Klasifikace památky:** pod správou Bundesdenkmalamt
- **Rejstříkové číslo:** A227¹
- **Architekt objektu:** Simon Freyee
- **Sloh, datace vzniku objektu:** barokní, 1767 - přestavba do dnešní podoby
- **Autor výmalby:** Johann Jakob Zeiller
- **Sloh, datace výmalby:** baroko, 1768
- **Přesné vymezení restaurovaného dílu:** personifikace Boží Moudrosti s anděly, část oblohy, krajiny se psem a fíkovník
- **Materiál, technika:** vápenné fresco/fresco-secco
- **Rozměry restaurovaného úseku:** 12 m²

1 *Spendenaktionen Burgenland* [online]. Dostupné z: https://www-bda-gv-at.translate.goog/service/spenden/spendenaktionen.html?_x_tr_sl=de&_x_tr_tl=cs&_x_tr_hl=cs&_x_tr_pto=sc [cit. 5.3.2023].

• Předchozí známé zásahy a průzkumy na díle:

- 1902-04 kompletní přemalba vídeňským portrétistou Ludwigem Victorem Schmidtem.²
- 1951-53 průzkum a restaurování výmalby kostela. Předběžný průzkum provedl Prof. Dr. Franz Walliser. Následné restaurování provedli restaurátoři Alfred Lauer, Anton Deckert a Wilhelmine Lunglmayer.³
- 1952-62 restaurování celého bývalého kolegiátního kostela k 900. výročí založení kláštera (odhalení fresek - Alfred Lauer, Anton Deckert, Wilhelmine Lunglmayer, štuky - Johann Schmidinger).⁴
- 1953 - odstranění původní fresky v presbytáři a nahrazení freskou novou – autor - Wolfram Köberl.⁵
- 2007 - průzkum a zhodnocení stavu nástěnných maleb.⁶
- 2018 - průzkum maleb a zkoušky čištění. Christian Woller - Rozbor inventáře a stavu farního kostela v Subenu v Horním Rakousku.⁷
- 2020 - Mag. Akad. Restaurator Herbert Schwaha - odborný průzkum. Průzkum obsahuje návrh k restaurování a vyhodnocení odběrů vzorků.⁸

2 RIEDEL, Jörg. Pfarrkirche (Ehem. Stiftskirche) Suben: *Freskenausstattung Johann Jakob Zeiller von 1768 Wolfram Köberl von 1953*. Vídeň, 2022. Uloženo: V archivu autora (joergriedel@gmx.at).

3 BRUNNEDER, Franz Brunner. *Nepublikovaný rukopis o historii farního kostela v Subenu*.

4 SERENTSCHY, Christoph. Suben ehem. Stiftskirche Fresko, Stuck, Stuckmarmor: *Untersuchungsbericht, Fotodokumentation*. Neukirchen, 2007, s. 1. Uloženo: V archivu autora (christoph@serentschy.com).

5 Ibidem.

6 Ibidem.

7 WOLLER, Christian. *Bestandsaufnahme/Zustandsuntersuchung der Pfarrkirche Suben*, OÖ. Wien, 2018. Uloženo: Památkový ústav ve Vídni.

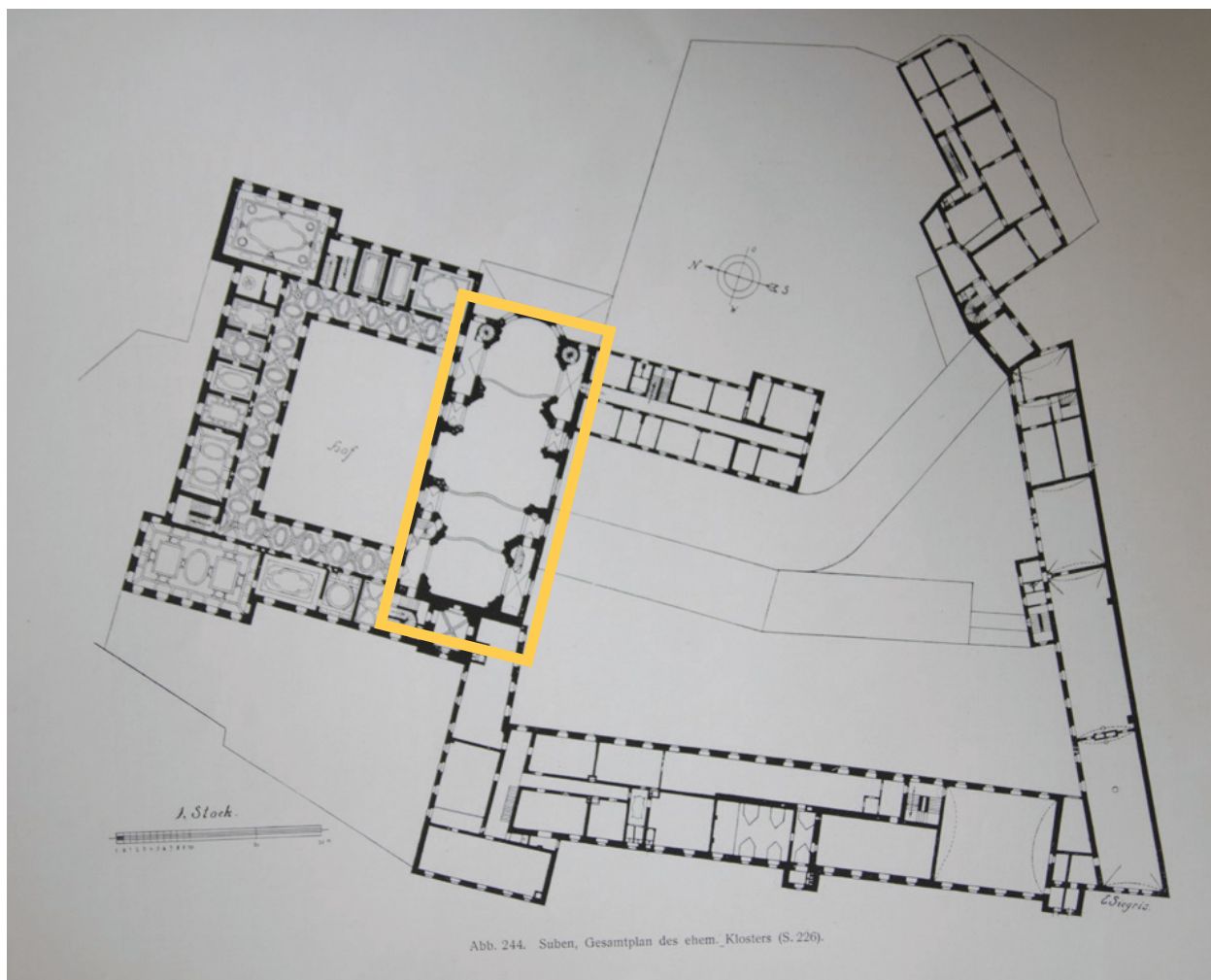
8 SCHWAHA, Herbert. *Untersuchungsbericht, Ehemalige Stiftskirche Suben: Wände/Stuck/Wandmalerei*. Vorchdorf, 2020. Uloženo: V archivu autora (herbert.schwaha@aon.at).

2.3 Údaje o akci

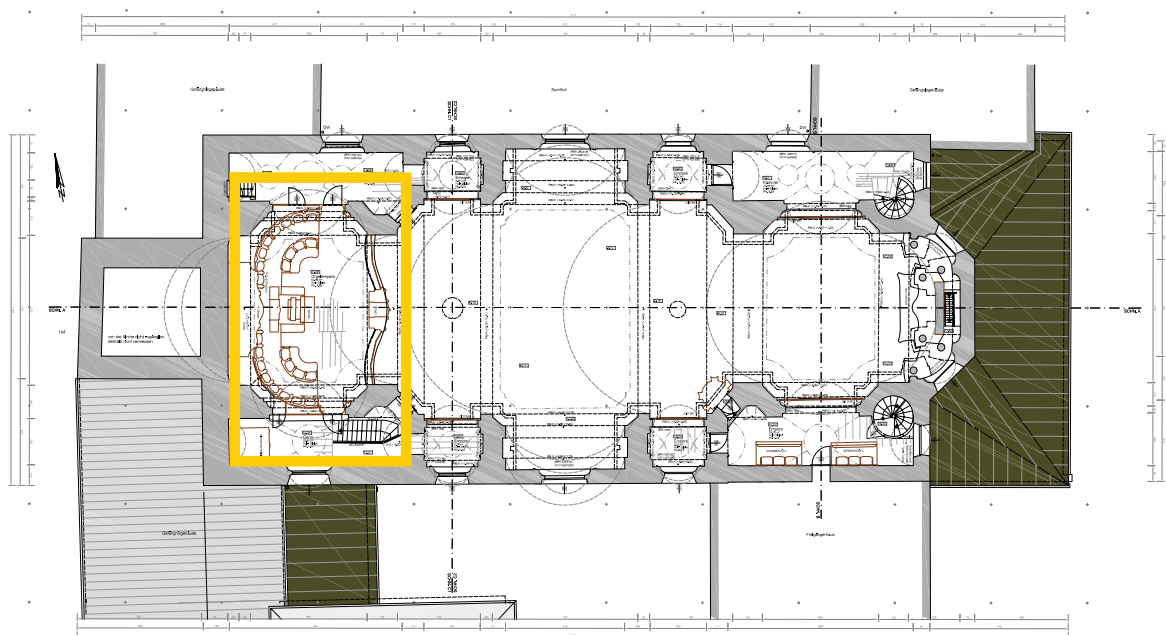
- **Vlastník památky, objednavatel:** Diecéze Horní Rakousko zastupuje: Matthias Senzenberger
- **Zhotovitel:** Dip. Restaurátor Jörg Riedel/ Akademischer Restaurator
- **Památkový dohled:** Petroa Weiss (státní konzervátorka) a Stavební úřad diecéze Linec, zastoupený Mathiasem Senzenbergerem
- **Odborný pedagogický dozor:** MgA. Zuzana Wichterlová, licence MK ČR č.j. 7031/1996, 48427/2015
- **Odborné spolupráce a konzultace:** Mgr. Michaela Šeferisová Loudová, Ph.D., PhDr. Martin Mádl PhD. (ikonografie), Ph.D., Mgr. art. Jan Vojtěchovský, Ph.D. (technická fotografie)
- **Práci provedl:** Vojtěch Mrověc
- **Na dalších částech restaurovali:** Taisiia Khomenok, Lucie Urbanová, Jörg Riedel
- **Chemickotechnologický průzkum:** DI Dr. Robert Linke, (Přírodovědná laboratoř Bundesdenkmalamt)
- **Termín započetí a ukončení akce:** červenec-říjen 2022

2.4 Údaje o dokumentaci

- **Dokumentaci vypracoval:** Vojtěch Mrověc
- **Autoři fotografií:** Vojtěch Mrověc, Taisiia Khomenok, Lucie Urbanová, Jörg Riedel, Jan Vojtěchovský
- **Použitá snímací technika:** Fujifilm X-T3 s objektivem XF 18-55mm f/2.8-4 R LM OIS, Canon EOS 80D
- **Počet stran textu dokumentace:** 32
- **Počet vyobrazení ve fotografické a obrazové dokumentaci:** 95
- **Počet vyobrazení v grafické dokumentaci:** 4
- **Počet příloh:** 1
- **Místa uložení dokumentace ve fyzické i digitální podobě:**
 - Univerzita Pardubice, archiv Fakulty restaurování, Jiráskova 3, 570 01 Litomyšl
 - Osobní archiv autora (vojta.mrovec@gmail.com)



Obr. 02: Poloha kostela sv. Lamberta v areálu mužského nápravného zařízení Subenu
 WOLLER, Christian. *Bestandsaufnahme/Zustandsuntersuchung der Pfarrkirche Suben*, OÖ. Wien, 2018, s. 5.



Obr. 03: Púdorys kostela sv. Lamberta v Subenu a lokace malby v západní části lodi. Zdroj: *Aktueller Grundrissplan der Diözese Linz*. PK-Sub - en_M100_02_GR_EMPÖRE.pdf, Abb. 25. Dostupné z: <https://www.katholisch.at/aktuelles/146998/dioezese-linz-weitere-neue-pfarren-sind-unterwegs>

3 PRŮZKUM DÍLA

3.1 Cíle a metody průzkumu

Provedený průzkum rozšiřuje poznatky z dosud dohledaných průzkumů z let 2007, 2018 a 2020.⁹ Průzkum byl také rozšířen o doplňující odběr vzorku a jeho analýzu v laboratorní zprávě Roberta Linkeho.¹⁰ Cílem průzkumu je zhodnocení předešlých průzkumů, rozšíření dosavadních poznatků o původní technice díla a revize předchozích restaurátorských zásahů. Detailněji se průzkum zaměřuje na úsek nástropní malby nad varhanní kruchtou kostela. Zabývá se ikonografií, popisem a rozsahem poškození, jejich příčinami a druhotnými zásahy.

Metody průzkumu:

- uměleckohistorický průzkum
 - rešerše dokumentací a dokumentů vztahující se k malbám
 - základní historické údaje o objektu a díle
- restaurátorský průzkum
 - vizuální průzkum v rozptýleném denním světle
 - vizuální průzkum v ostrém umělém bočním nasvícení
 - vizuální průzkum v UV luminiscenčním světle
 - průzkum pomocí technické fotografie a reflektografie v různých spektrech elektromagnetického záření
 - perkusní průzkum (poklepem)
- přírodovědný (chemickotechnologický) průzkum
 - odběr vzorků a jejich analýza

9 SERENTSCHY, Christoph. *Suben ehem. Stiftskirche Fresko, Stuck, Stuckmarmor: Untersuchungsbericht, Fotodokumentation*. Neukirchen, 2007. Uloženo: V archivu autora (christoph@serentschy.com).
WOLLER, Christian. *Bestandsaufnahme/Zustandsuntersuchung der Pfarrkirche Suben*, OÖ. Wien, 2018. Uloženo: Památkový ústav ve Vídni.
SCHWAHA, Herbert. *Untersuchungsbericht, Ehemalige Stiftskirche Suben: Wände/Stuck/Wandmalerei. Vorchdorf*, 2020. Uloženo: V archivu autora (herbert.schwaha@aon.at).

10 LINKE, Robert. *Laborbericht*. Nepublikovaný chemickotechnologický průzkum. Vídeň: Oddělení pro konzervaci a restaurování, přírodovědná laboratoř, 2022.

3.2 Uměleckohistorický průzkum

3.2.1 Historie objektu

Založení kolegiátního kláštera v Subenu se datuje mezi roky 1080 až 1100.¹¹ Přesné datum nelze jednoznačně určit, protože většina archivních a knihovních fondů byla ztracena po zrušení kláštera v rámci josefovských reforem v roce 1784.^{12,13} Z jiných zdrojů se dozvídáme o založení kláštera již v roce 1050, avšak původní zdroj této informace či archiválie není uveden.¹⁴ Podrobné rešerši historických údajů k vývoji opatství v Subenu se věnovala Kathrin Kininger.¹⁵

Klášter založila a obdarovala Tuta, dcera hraběte Heinricha von Formbach a manželka uherského krále Bély I. Pasovský biskup Atman v roce 1142 přeměnil klášter na augustiniánskou kanonii a podřídil ji salcburské katedrální kapitule.¹⁶ Z počátku se jednalo o poměrně malý klášter. Patřilo k němu v průměru asi 20 kanovníků. Období prosperity zažil již za svého druhého probošta Chuna (1153-1167). Zástavní právo nad kanovníctvím vykonávala hrabata ze Schaunbergu, která jej držela až do svého vymření v roce 1559.

V roce 1356 je v listině doložena existence ženského kláštera v Subenu. Délku trvání této instituce prameny neuvádí.

V 16. století pronikly protestantské myšlenky i do malého společenství kanovníků. Teprve na konci století se za probošta Michaela Hereriga (1591-1599) prosadila protireformace.

Od poloviny století následovala fáze intenzivní stavební činnosti za proboštů Aquilina Sattelpognera (1672-1678), Ernesta Theophila Scharrera (1679-1696) a Gregora II. Raiffauera (1696-1720).

11 KININGER, Kathrin. *Urkunden Suben (1142-1397)* [online]. Monasterium.net. Dostupné z: <https://www.monasterium.net/mom/AT-OOeLA/SubenCanReg/fond> [cit. 23.1.2023].

12 Klášterní archiv se z velké části nedochoval. Zbytek s 2 dokumenty, 37 rukopisy a 3 kartotékami je v Hornorakouském zemském archivu. Některé archiválie jsou zachovány také v Bavorském hlavním státním archivu v Mnichově a ve Státním archivu v Landshutu.

Knihovna opatství Suben je také z velké části ztracena. Zbytek s 22 rukopisy a 30 prvotisky je uloženo v Hornorakouské státní knihovně.

Některé z těchto dokumentů jsou dostupné online.

13 Augustiner-Chorherrenkloster Suben. Ordensgemeinschaften Österreich [online]. Dostupné z: <https://www.ordensgemeinschaften.at/kultur/maennerorden/13-augustiner-chorherrenkloster-suben> [cit. 23.1.2023].

14 SERENTSCHY, Christoph. *Suben ehem. Stiftskirche Fresko, Stuck, Stuckmarmor: Untersuchungsbericht, Fotodokumentation*. Neukirchen, 2007. Uloženo: V archivu autora (christoph@serentschy.com).

15 KININGER, Kathrin. *Urkunden Suben (1142-1397)* [online]. Monasterium.net. Dostupné z: <https://www.monasterium.net/mom/AT-OOeLA/SubenCanReg/fond> [cit. 23.1.2023].

16 *Ibidem*.

Po reformačním období, kdy konvent tvořilo jen několik kanovníků, došlo ve 2. polovině 17. století k vnitřní i vnější obnově. Probošt Gregor Raiffauer (1696-1720) nechal zbourat původní románskou baziliku. Za jeho působení byly vybudovány nové fary i v okolních farnostech.¹⁷ Probošt Ildefons Schalkhammer (1763-1767) vytvořil plány na novou stavbu kostela. Jeho nástupce probošt Wilhelm Weber (1767-1784) nechal přestavět kostel a byl také postaven nový hřbitov pro farní obec. Stavba kolegiátního kostela započala v roce 1767 mnichovským stavitelem Simonem Freyeem. V této době také vzniká výmalba kostela od Jana Jakoba Zeillera. 6. října 1771 mohl být nový kostel vysvěcen kardinálem Leopoldem Ernestem von Firmian.¹⁸

Dopady josefovských reforem postupně doléhaly i na kanonickou komunitu. V roce 1781 komise přezkoumala potřebnost kláštera a 6. března 1784 byl klášter augustiniánských kanovníků zrušen a převeden pod správu sousedního kláštera Reichersberg. V roce 1785 byl kolegiátní kostel prohlášen za farní a v roce 1790 byly jeho příjmy převedeny na generálního vikáře nově založené diecéze Linec.¹⁹ Poslední probošt Wilhelm Weber zemřel v roce 1789.²⁰

Po napoleonských válkách byl majetek rozprodán. V roce 1855 přešla budova do vlastnictví Strafhausfonds.²¹ Zpočátku zde byl ženský trestní ústav, který měly na starosti sestry vom Guten Hirten. Pastorační péči zajišťoval františkánský řád. V roce 1865 se sestry přestěhovaly do bývalého kláštera Baumgartenberg a správu nápravného zařízení převzal stát. V roce 1865 byla budova prodána fondu k.k. Strafhausfonds. Dne 13.8.1866 byl ústav přeměněn na trestní ústav pro muže, který tak funguje až do dnes. V současné době je provozován jako nápravné zařízení.²² Kostel vždy sloužil i veřejnosti. V minulosti byl rozdělen velkou mříží na část pro trestance a pro veřejnost [Obr. 11]. V současné době je kompletně oddělen od nápravného zařízení a slouží jako farní kostel veřejnosti.

17 *Augustiner-Chorherrenkloster Suben*. Ordensgemeinschaften Österreich [online]. Dostupné z: <https://www.ordensgemeinschaften.at/kultur/maennerorden/13-augustiner-chorherrenkloster-suben> [cit. 23.1.2023].

18 *Pfarrkirche Suben* [online]. Dostupné z: <https://www.dioezese-linz.at/pfarre/4416/pfarre/infos/article/108269.html> [cit. 10.8.2024].

Augustiner-Chorherrenkloster Suben. Ordensgemeinschaften Österreich [online]. Dostupné z: <https://www.ordensgemeinschaften.at/kultur/maennerorden/13-augustiner-chorherrenkloster-suben> [cit. 30.1.2023].

19 *Kloster und Pfarrkirche Suben* [online]. Dostupné z: https://www.suben.at/Kloster_und_Pfarrkirche_Suben. [cit. 23.1.2023].

20 KININGER, Kathrin. *Urkunden Suben (1142-1397)* [online]. Dostupné z: <https://www.monasterium.net/mom/AT-OOeLA/SubenCanReg/fond> [cit. 23.1.2023].

21 *Ibidem*. [cit. 23.1.2023].

22 *Kloster und Pfarrkirche Suben* [online]. Dostupné z: https://www.suben.at/Kloster_und_Pfarrkirche_Suben. [cit. 23.1.2023].

3.2.2 Historie díla a předchozí restaurátorské zásahy

Výmalba kostela byla provedena v rámci přestavby, která započala v roce 1767. Dokončení malby datuje signatura autora na západní klenbě kostela “J. Jakob Zeiller / S.C.M / Acad. pict. / inven. et fecit 1768” [Obr. 11]. Mezi lety 1902 a 1904 proběhla renovace interiéru kostela. V rámci tohoto zásahu byly původní Zeillerovy malby přemalovány vídeňským portrétistou Ludwigem Victorem Schmidtem, který si v místním mužském trestném ústavu odpykával trest za padělání bankovek.²³

Mezi lety 1951 a 1953 byl zásah revidován a zdokumentován současný stav výmalby. Z fotografické dokumentace je patrné, že přemalba původních Zeillerových fresek byla poněkud „nešťastná“, přestože respektovala kompozici a námět díla. Jednalo se o celoplošnou přemalbu snižující původní výtvarnou kvalitu. Pouze nad varhanní kruchtou došlo ke změně kompozice a nacházel se zde druhý pes vyobrazen z anfasu [Obr. 14].

Předběžný průzkum provedl v 50. letech profesor Franz Walliser.²⁴ Bylo zjištěno, že přemalby z předchozího restaurování z let 1902-04 lze poměrně snadno odstranit, což pravděpodobně významně přispělo k rozhodnutí přemalby zcela odkrýt s ohledem na vyšší kvalitu původní výmalby. Následné restaurování provedli restaurátoři Alfred Lauer, Anton Deckert a Wilhelmine Lunglmayer.²⁵ Přemalby nebyly při zásahu zcela odstraněny, jak se ukázalo při námi provedeném průzkumu na klenebním poli nad kruchtou (viz kapitola 10 Grafické zákresy) [Obr. 27, Obr. 29].

Podle informací pana Obst. i. R. Zanzingera, bývalého ředitele věznice a farního radního v době restaurování v roce 1953, byla freska v presbytáři ve velmi špatném stavu z důvodu přemalby a pokusu o odkrytí. Na dobové celkové fotce se malba v presbytáři zdála v pořádku, avšak stav původní Zeillerovy fresky byl velice špatný [Obr. 12]. Proto bylo rozhodnuto fresku zcela obnovit a její rekonstrukcí byl pověřen akademický malíř Wolfram Kober.²⁶ Skutečnost dokládá signatura umístěna v pravé části nového výjevu “Svatba beránkova” - “WOLFRAM KÖBERL / INV & PINX: AO: 1953”.²⁷

U klenebního pole nad varhanní kruchtou, které bylo předmětem našeho zásahu, bylo rozhodnuto o sejmutí přemalby a došlo k celoplošné konsolidaci vodním sklem, jak potvrzuje chemickotechnologický průzkum.²⁸ Podle nového doplňujícího průzkumu (2022) nebyla přemalba sejmuta úplně viz. kapitola 3.3 Restaurátorský průzkum.

23 RIEDEL, Jörg. *Sdělení o první přemalbě původních fresek*. Ústní sdělení 20.8. 2022.

24 BRUNNEDER, Franz Brunner. *Nepublikovaný rukopis o historii farního kostela v Subenu*.

25 SCHWAHA, Herbert. *Untersuchungsbericht, Ehemalige Stiftskirche Suben: Wände/Stuck/Wandmalerei*. Vorchdorf, 2020. Uloženo: V archivu autora (herbert.schwaha@aon.at).

26 SERENTSCHY, Christoph. *Suben ehem. Stiftskirche Fresko, Stuck, Stuckmarmor: Untersuchungsbericht, Fotodokumentation*. Neukirchen, 2007, s. 1. Uloženo: V archivu autora (christoph@serentschy.com).

27 Ibidem.

Sejmutí malby bylo potvrzeno vizuálním průzkumem in situ v místě defektu.

28 LINKE, Robert. *Laborbericht*. Nepublikovaný chemickotechnologický průzkum. Vídeň: Oddělení pro konzervaci a restaurování, přírodovědná laboratoř, 2022, s. 2.

V rámci předběžného průzkumu z roku 2007 byl také vypracován návrh na restaurování maleb. Bylo doporučeno chemické, či mechanické odstranění povlaku, fixáž zpráškovatělých vrstev Paraloidem B72 či Primalem E330 a v případě druhotných přemaleb návrat k původní malbě.²⁹

3.2.3 Popis kostela

Farní kostel sv. Lamberta v Subenu je součástí bývalého augustiniánského kláštera.³⁰ Opatství Suben se nachází vysoko na šterkové terase na východním břehu Innu na ostrohu vytvořeným mrtvým ramenem řeky. Kostel sv. Lamberta se nachází v samém srdci klášterní zástavby, kterou původně tvořil konvent s rajským dvorem, prelatura a přilehlé hospodářské budovy se zámekem, jak znázorňuje grafika zobrazující dispozici kláštera v roce 1690 a 1718 [Obr. 06, Obr. 07].

Kostel nebyl postaven na románských základech kostela původního. Půdorys nové barokní konstrukce je mnohem větší a románské základy kopíruje pouze z malé části, jak ukázaly vykopávky v letech 1969/70.³¹ Přesto románský odkaz původní stavby je patrný zejména v západní části kostela, kde je prezentována původní románská architektura tvořící základy přilehlé věže včetně zbytků románských oken. V kostele a v muzeu Schärding jsou také prezentovány románské opracované kameny nalezené při vykopávkách.³²

Jedná se tedy o jednodílnou orientovanou stavbu na podélném půdorysu v průčelí doplněnou čtyřbokou věží, která je zastřešena zvonovitou polygonální helmicí. Pravoúhlý půdorys je uzavřen trojbokým presbyteriem. V interiéru je kostel rozdělen na tři klenební pole s varhanní kruchtou a čtyřmi bočními kaplemi na oválném půdorysu otevřenými do lodi. Prostor rámuje krom oválných kaplí také šest obdélných polí využitých jako hlavní vstup do kostela z jižní strany, boční oltář, sakristii, boční vchod či jako prostor pro schodiště na varhanní kruchtou a oratoře.

Současnou podobu kostel získal díky staviteli Simonu Frey z Mnichova, autorem fresek a bočních oltářních obrazů je Johann Jakob Zeiller z Reutte (Tyrolsko), hlavní oltářní obraz je signován J. G. Unruhe z Pasova, žák Paula Trogera. Mistrovskou štukovou výzdobu provedl

29 SERENTSCHY, Christoph. *Suben ehem. Stiftskirche Fresko, Stuck, Stuckmarmor: Untersuchungsbericht, Fotodokumentation*. Neukirchen, 2007, s. 3-4.

30 klášter Augustiniánských kanovníků (Canonici regulares Sancti Augustini, zkratka: CRSA nebo CanReg) jsou řeholní kanovníci, žijící podle Řehole svatého Augustina.

31 *Kloster und Pfarrkirche Suben* [online]. Dostupné z: https://www.suben.at/Kloster_und_Pfarrkirche_Suben. [cit. 29.1.2023].

32 *Pfarrkirche Suben* [online]. Dostupné z: https://dewiki.de/Lexikon/Pfarrkirche_Suben. [cit. 28.1.2023].

Johann Baptist Modler.³³ Před pilastry nesoucí pandantivy kleneb jsou umístěny dřevěné sochy čtyř evangelistů, čtyř církevních otců a čtyř archandělů od Josefa Deutschmanna z Imstu.³⁴ Varhanní kruchtou vyzdobil Martin Haller z Pasova.³⁵

3.2.4 Popis výmalby kostela

Hlavní výmalba kostela se nachází na výše zmiňovaných třech klenebních polích. Nad varhanní kruchtou v západní části kostela se nachází výjev "Obrácení svatého Augustina".³⁶ Na klenebním poli pod varhanní kruchtou je vyobrazen výjev z Nového zákona: "Vyhnání penězoměnců z chrámu".³⁷ Centrální klenební pole uprostřed hlavní lodi pokrývá rozměrově nejrozsáhlejší výjev "Glorifikace svatého Augustina", který převyšuje okolní výmalbu nejen svým rozsahem, ale i složitostí kompozice a počtem zobrazených figur. Menší malby se nacházejí také v bočních kaplích. Jedná se o menší figurální kompozice s andělky. Autorem výmalby je Johann Jakob Zeiller (1708-1783).³⁸ Výjimkou je novodobá výmalba klenebního pole v presbytáři, jejímž autorem je rakouský freskař z Innsbruku, Wolfram Köberl (1927-2020). Výjev vyobrazuje "Svatbu beránkovu",³⁹ který nahradil původní Zeillerovu malbu.

3.2.5 Popis díla určeného ke komplexnímu restaurátorskému zásahu

Tato dokumentace se zabývá komplexním restaurováním části výjevu "Obrácení svatého Augustina" na západním klenebním poli nad varhanní kruchtou kostela sv. Lamberta v Subenu (Horní Rakousko). Jedná se konkrétně o alegorii Boží Moudrosti s andělky, úsek oblohy a část krajiny s postavou psa.

3.2.6 Popis a ikonografie výjevu

Námětem výjevu "Obrácení sv. Augustina" je známá scéna „Tolle, lege“ (Vezmi, čti), kterou popisuje Augustin ve svých Vyznáních, kniha VIII, kap. 12:

33 *Pfarrkirche Suben* [online]. Dostupné z: https://dewiki.de/Lexikon/Pfarrkirche_Suben. [cit. 28.1.2023].

34 *Ibidem*. [cit. 28.1.2023].

35 *Kloster und Pfarrkirche Suben* [online]. Dostupné z: https://www.suben.at/Kloster_und_Pfarrkirche_Suben. [cit. 23.1.2023].

36 Vyznání sv. Augustina, kniha VIII, kap. 12.

37 (Jan 2, 13 – 23)

38 BRINKMÖLLER-GANDLAU, Harriet. *Zeiller, Johann Jakob*. In: Biographic-bibliographic church encyclopedia (BBKL). Volume 14, Bautz, Herzberg 1998, s. 372–374.

39 Bible. *Zjevení Janovo 19. Bible21 a Slovo na cestu*. Bible Gateway [online]. Dostupné z: <https://www.biblegateway.com/passage/?search=Zjeven%C3%AD%20Janovo%2019&version=B21;SNC> [cit. 28.1.2023].

“Když pak z tajemné hlubiny mého tak napjatého rozjímání vynořila se všechna má nahromaděná **bída** před zrak mého srdce, propukla ohromná bouře, doprovázená nesmírným přívalem slzí, a abych mu dal volný průchod se vším jeho vzlykotem, oddálil jsem se od Alipia. K pláči zdála se mně být vhodnější samota a odešel jsem tak daleko, že mně jeho přítomnost nemohla překážeti. Tak bylo se mnou a on to poznal; neboť promluvil jsem tuším něco, odcházej, hlasem plným slzí. Tak jsem odešel. On zůstal pln úžasu na místě, kde jsme seděli. Já pak klesl jsem pod jedním **stromem fíkovým...**”

(...)

“A aj; ze sousedního domu **slýším hlas, jako hocha nebo dívky**, jež zpívajíc často opakuje: „**Vezmi, čti! Vezmi, čti!**“ Ustrnul jsem a změniv tvář svou počal jsem usilovně přemýšleti, zda děti při některé hře nezpívají něco podobného; nemohl jsem si vzpomenouti, že bych kdy něco podobného slyšel. A potlačiv proud slzí, vstal jsem, nic jinak si to nevykládaje, než že Boží rozkaz mně nařizuje **otevřít Písmo** a čísti to místo, na které připadnu.”

(...)

“Uchvátil jsem jí, otevřel a mlčky četl kapitolu, na kterou nejprve padly mé oči: „Ne v **hodování a opilství**, ne v **smilstvu a nestydatostech**, ne ve **sváru a závisti**, nýbrž oblečte se v Pána Ježíše a nemějte péče o tělo tak, aby povstávaly chtíče“ (Řím 13,13). Nechtěl jsem dále čísti a nebylo toho třeba, neboť dočtením posledních těchto slov vzešlo **světlo jistoty** v mém srdci a rozptýlilo všechny temnosti mých pochybností.”⁴⁰

Ústřední postavou je sv. Augustin, rozjímající na skále pod fíkovníkem, s pohledem upřeným k nebesům. Z nebes ho ozařují paprsky znaku Boží Prozřetelnosti, který ve své levé ruce jímá postava dívky obklopená anděly. Zmíněná postava by mohla znázorňovat personifikaci Boží Moudrosti. Avšak ta je obvykle znázorňována se slunečním terčem na hrudi. Pokud bychom se striktně drželi Ikonologie mohla by postava znázorňovat přímo personifikaci Boží Prozřetelnosti.⁴¹ Jeden z andílků drží knihu s nápisem “Tolle, lege”.

V levé části výjevu se nachází figurální kompozice zasazená do skalnaté krajiny. Znázorňuje skupinu alegorických postav smrtelných hříchů. Konkrétně jsou zde znázorněny ty které sv. Augustin zmiňuje ve Vyznáních. Směrem zleva je zde vyobrazeno Hodování a Opilství nejspíše v jedné osobě). Ta má místo vlasů vzájemně propletené hady, kouše se do dlaně a v levé ruce jímá hořící pochodeň. Smilstvo je vyobrazeno v podobě šátkem zaslepeného amora s toulcem lukem a šípy. Nestydatost, Svár a Závist pak představuje vzájemně propletená kompozice dvou postav s pávem. Opodál vše pozoruje bílý pes. Pes ve středověkém umění byl symbolem závisti, hněvu, zla, ale též víry a věrnosti.⁴²

40 AURELIUS, Augustinus. *Vyznání*. Praha: Kalich, 1992. ISBN 8017-480-3

41 MÁDL, Martin. Sdělení o ikonografii postav výjevu Obrácení sv. Augustina na Západní klenbě kláštera v Subenu. E-mailem 30.7. 2022.

RIPA, Cesare, BUSCAROLI, Piero, ed. *Ikonologie*. Praha: Argo, 2019.

42 KOVAŘÍK, Jaromír. *Myslivost v zrcadle pověr*. Praha: Druckvo, 2009. Myslivost do kapsy, s. 119-128.

V pravé části výjevu se pak nachází za barokní zídou nesoucí dvě barokní vázy průhled do krajiny s malými postavami a kašnou. Zídka zdobená dvěma vázami pak nese Autorovu signaturu “J. Jakob Zeiller / S.C.M / Acad. pict. / inven. et fecit 1768”. [Obr. 11]

3.2.7 Předlohy a analogie díla

Vzeme-li v potaz kompletní výmalbu kostela můžeme najít určité analogie v porovnání s Zeillerovou výmalbou benediktinského kláštera v Ottobeurenu nedaleko Memmingenu v bavorském Allgäu v Německu. Například výjev “*Vyhnání penězoměnců z chrámu*” v Subenu je kompozičně shodný s výjevem ve stupní hale kláštera v Ottibeuren od stejného autora, 1763 [Obr. 18].⁴³ Dílčí podobnosti postav a stejný rukopis autora můžeme pozorovat při porovnání centrálních výjevů v Ottibeuren a v Subenu [Obr. 16].

V rámci rešerše zatím nebyly dohledány žádné autorovy návrhové kresby vztahující se k tomuto konkrétnímu výjevu. Avšak námět “*Tolle, lege*” je v augustiniánském prostředí poměrně častý, proto můžeme námět porovnat s díly jiných starších autorů, kde se mohl Zeiller inspirovat. Můžeme zde zmínit dílo malíře Johanna Baptisty Zimmermanna z roku 1729 v hlavní lodi kostela sv. Petra a Pavla v bývalém klášteře augustiniánských kanovníků (Weyarn, Horní Bavorsko) [Obr. 20].⁴⁴

Inspiraci k různým alegoriím autoři čerpali také ze slavné Ripovi Iconologie.⁴⁵ Už ve třicátých letech sedmnáctého století tak vznikají s pomocí Ripových instrukcí mnohofigurální alegorické malby jako je například Triumf boží prozřetelnosti od Andrea Sacchi v římském paláci Barberini [Obr. 21].⁴⁶ V českém prostředí pak můžeme zmínit alegorii Boží Moudrosti v augustiniánském kostele sv. Kateřiny na Novém Městě Pražském.⁴⁷

43 File: *Ottobeuren - Fresco Austreibung aus dem Tempel.jpg* [online]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Johann_Jakob_Zeiller#/media/File:Ottobeuren_-_Fresco_Austreibung_aus_dem_Tempel.jpg. [cit. 30.1.2023].

44 *Discover baroque art* [online]. Dostupné z: https://baroqueart.museumwnf.org/database_item.php?id=monument;BAR;de;Mon12;20. [cit. 23.1.2023].

45 *Iconologie* byla poprvé vydána roku 1593 jako textová pomůcka stimulující rychle imaginaci umělců od nejobecnějších charakteristik po ty nejdětalnější, dost možná pro rychlé zvládnutí umělecké zakázky. BEDŘICH, Martin. *Co je to emblematická struktura v textu?*, Česká literatura, č. 56, No. 6, prosinec, Praha 2008, s. 846.

Dřevorytové ilustrace, které knihu proslavily, byly dodány až k jejímu třetímu vydání z roku 1603.

46 HRDLIČKA, Tereza. Diplomová práce: *Hertelův Ripa (1758-1760). Styl, ornament a struktura alegorie v augsburských grafikách na motivy Iconologie Cesareho Ripy*. Univerzita Karlova. Praha, 2022.

47 MÁDL, Martin. *Sdělení o ikonografii postav výjevu Obrácení sv. Augustina na Západní klenbě kláštera v Subenu*. E-mailem 30.7. 2022.

Bílý pes ve spojení se sv. Augustinem se objevuje na slavném obraze „*Sv. Augustin ve své pracovně*“ od Vittora Carpaccia, který se nachází v Benátkách.⁴⁸ V tomto případě pes symbolizuje věrnost a víru, jeho nastřážené uši a pozornost směřující k oknu dokazují, že tam něco vidí, ale také slyší. Alegorický význam se tedy v tomto případě nejspíše odlišný.

3.3 Restaurátorský průzkum

Tato kapitola se věnuje rozšířenému restaurátorskému průzkumu provedeném v rámci restaurátorského zásahu na západní klenbě kostela sv. Lamberta v Subenu. V rámci průzkumu se autor této dokumentace zaměřil na přidělený úsek „Alegorie Boží Moudrosti“ v rámci výjevu „Obrácení svatého Augustina“. Průzkum navazuje na provedené průzkumy z let 2007-2020.⁴⁹

3.3.1 Vizualní průzkum v rozptýleném světle

3.3.1.1 Druhotné zásahy zjištěné vizualním průzkumem

Jak již bylo výše zmíněno malba byla v minulosti celoplošně přemalována a posléze částečně odstraněna viz kapitola 3.2.2 *Historie díla a předchozí restaurátorské zásahy*. V rozptýleném umělém světle bylo možné rozeznat dva typy retuší. Starší přemalbu z let 1902-1904, která lokálně nebyla zcela odstraněna v rámci restaurátorského zásahu v 50. letech [Obr. 44] a zároveň můžeme pozorovat nevhodně zapojené druhotné tmely z 50. let, přičemž jejich retuš často zasahuje i za hranice tmelů [Obr. 47]. Postupem času mohlo dojít k posunu barevnosti také vlivem nevhodné celoplošné fixáže barevné vrstvy vodním sklem.⁵⁰ Byly také pozorovány zkoušky čištění, které však nebyly zdokumentovány. Nelze tedy s určitostí konstatovat, ze které etapy průzkumů pocházejí.

48 HUMFREY, Peter. *Vittore Carpaccio: Master Storyteller of Renaissance Venice*. Yale University Press, 2022, s. 176-177.

49 WOLLER, Christian. *Bestandsaufnahme/Zustandsuntersuchung der Pfarrkirche Suben*, OÖ. Wien, 2018. Uloženo: Památkový ústav ve Vídni.

SERENTSCHY, Christoph. *Suben ehem. Stiftskirche Fresko, Stuck, Stuckmarmor: Untersuchungsbericht, Fotodokumentation*. Neukirchen, 2007. Uloženo: V archivu autora (christoph@serentschy.com).

SCHWAHA, Herbert. *Untersuchungsbericht, Ehemalige Stiftskirche Suben: Wände/Stuck/Wandmalerei*. Vorchdorf, 2020. Uloženo: V archivu autora (herbert.schwaha@aon.at).

50 LINKE, Robert. Laborbericht. *Nepublikovaný chemickotechnologický průzkum*. Vídeň: Oddělení pro konzervaci a restaurování, přírodovědná laboratoř, 2022, s. 2.

Jedná se o široký pruh v oblasti oblohy v levé horní části výjevu od rámu směrem ke středu a menší pruh vedoucí přes pravé předloktí figury [Obr. 43]. Lokace těchto zásahů viz. *Grafický zakres příloha „4)Předchozí zásahy“*.

Okolo praskliny v horní části výjevu se nachází velkoplošný tmel přesahující přes originál. Další větší tmely se objevují především v oblasti oblohy a drapérie u levé nohy figury [Obr. 79]. Menší tmely pak nad pravou rukou postavy a na hrudi [Obr. 35, Obr. 44]. Přesná lokace těchto zásahů je vyznačena v *Grafický zakres příloha „4)Předchozí zásahy“*.

3.3.1.2 Stav malby a popis poškození zjištěné vizuálním průzkumem

V celé ploše restaurovaného díla se nacházely primární vlasové praskliny, které byly způsobeny patrně vyšším obsahem pojiva vůči kamenivu nebo příliš silnou vrstvou intonaca. Trhliny navíc zvýrazňovaly prachové depozity a zatečení fixážního prostředku. V oblasti svatozáře alegorie Boží Moudrosti můžeme dokonce pozorovat otisky prstů, které kopírují směr prasklin. [Obr. 34].

V horní části výjevu v oblasti oblohy se nachází větší statická trhлина. Zkoušku aktivity sleduje sklo uchycené sádrovou směsí, které nevykazovalo známky poškození [Obr. 52].⁵¹ Můžeme tedy předpokládat, že trhлина již není aktivní.

3.3.2 Vizuální průzkum v ostrém bočním nasvícení

Ostré boční nasvícení nám podalo více informací především o původní technice malby. Zvýraznilo hrubý rozfilcovaný povrch intonaca. Pozorována byla také rytá kresba a hranice denních dílů (giornate) [Obr. 42]. Na malbě se nacházela měkká i ostrá rytá kresba. Ostrá rytá kresba byla provedena v místech kde autor rýsoval, například svatozář pomocí kružidla, či paprsky pomocí pravítka [Obr. 40] a měkká rytá kresba přes pauzy zejména v oblasti drapérie a figur. Tím byla potvrzena domněnka, že malba byla započata do čerstvé omítky al fresco. Boční nasvícení také zvýraznilo pastózní charakter malby především v oblasti draperie a inkarnátů, která napovídá technice vápenné fresky [Obr. 32]. V levé polovině svatozáře můžeme také lépe pozorovat otisky prstů v oblasti vlasových trhlin [Obr. 34]. Úroveň a struktura některých tmelů se zdála vhodná, avšak bylo zvýrazněno přetmelení a tzv. rozfilcování přes originální povrch malby [Obr. 37]. Malba vykazovala v celé ploše silný lesklý povrch způsobený druhotnou fixážní či lakovou vrstvou, při odstranění prachového depozitu suchým čištěním se lesk prohloubil [Obr. 45, Obr. 46].

51 Nebyla dohledána datace.

3.3.3 Průzkum v ultrafialovém světle a pomocí technické fotografie

Malby byly zkoumány in situ za pomoci dvou ultrafialových (UV) lamp UVA SPOT 400T značky Hönle UV Technology se zářením o vlnové délce 315–400 nm. Technická fotografie byla provedena v rámci GAČR⁵² *”Barokní nástěnná malba mezi teorií a praxí”* ve spolupráci s Mgr. Art. Janem Vojtěchovským PhD. a MgA. Davidem Svobodou, který provedl softwarové úpravy.

Záznam byl proveden pomocí výše zmiňovaných lamp a modifikovaného DSLR fotoaparátu Canon EOS 80D s objektivem EF 40 mm f/2.8 STM, který je schopen zaznamenat záření přibližně v rozmezí 360–1100 nm. Snímky ve viditelném spektru (VIS) a ultrafialová luminiscence (UVF) byly snímány s filtry MaxMax XNite CCI + Astronomik L3 UV-IR block s přibližným rozsahem propustnosti vlnových délek záření 420–680 nm. Ultrafialová reflektografie (UVR) byla snímána za použití filtru Baader U Filter 80%T 350 nm a infračervená reflektografie (IRR) s filtrem MaxMax XNite 1000 $\geq 90\%T$ 1 300 nm. Snímky v běžném viditelném světle a infračervené reflektografie byly nasvíceny pomocí dvou halogenových světel o výkonu 300 W. Ultrafialové techniky byly pořízeny za pomoci dvou UV lamp UVA SPOT 400T značky Hönle UV Technology se zářením o vlnové délce 315–400 nm. Snímky ve viditelném spektru a reflektografie byly normalizovány podle kalibračního cíle X-Rite ColorChecker. U UV luminiscenčních snímků byla následně softwarově vyvážena bílá na 10 000 K s odstínem 40. Tzv. falešné barvy reflektografických snímků (IRRFC a UVRFC) byly softwarově zpracovány smícháním RGB kanálů z viditelných snímků a reflektografií. Podobně byla softwarově upravena do falešných barev ultrafialová luminiscence (UVFFC), kdy modrý kanál v RGB nahradila ultrafialová reflektografie (UVR).⁵³

UV světlo zvýraznilo především rozsah druhotných retuší. Žlutě luminovaly retuše z obou etap druhotných zásahů, které obsahovaly nejspíše zinkovou bělobu, která obvykle vykazuje výraznou žlutozelenou luminiscenci. Zároveň byly zvýrazněny druhotné tmely, které se oproti původní omítce vyznačovaly tmavší fialovou barvou. Více informací a přesnější rozsah druhotných retuší pak podal průzkum pomocí technické fotografie.

Cílem průzkumu maleb pomocí UV fluorescenčních/luminiscenčních fotografií (UVF) je zaznamenat specificky luminující oblasti a následně identifikovat nebo lokalizovat některé přítomné pigmenty a pojiva, sekundární zásahy a další vlivy. UV luminiscenční snímky nám pomohly přesně lokalizovat druhotnou retuš z obou historických etap zásahů díky výrazné světlé (žlutozelené) luminiscenci a tmavší (modrofialové) barevnosti, kterou můžeme pozorovat například na jednom ze snímků alegorie Boží Moudrosti [Obr. 24]. Světlá žlutozelená luminiscence je typická pro zinkovou bělobu přimíchanou do barev nejspíše kvůli potřebné světlosti výsledného

52 Grantová agentura České Republiky

53 Metodika byla převzata z průzkumu v rámci GAČR: VOJTĚCHOVSKÝ, Jan a kolektiv. Dokumentace restaurátorského průzkumu: *Průzkum nástěnných maleb Cosmy Damiana Asama v transeptu klášterního kostela Nanebevzetí Panny Marie v Kladrubech u Stříbra*. Litomyšl: Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování, 2022.

tónu a také pro své krycí vlastnosti.⁵⁴ Druhou etapu lze pozorovat díky tmavší (fialové) barevnosti, která je v tomto případě dobře viditelná. Snímek vymezil přesné ohraničení druhotných tmelů, které se jeví také tmavší fialovou barvou. Ne všechna místa s druhotnou retuší však (zřejmě vlivem absence zinkové běloby) luminují, z čehož vyplývá, že oblastí s druhotnou retuší je více. K lokaci dalších oblastí retuší tak mohou napomoci spíše další typy snímků.

Při pozorování ultrafialové reflektografie (UVR) se oblasti s druhotnou retuší zvýraznily a pomohlo nám identifikovat rozsah druhotné retuše i v místech kde nebyla použita zinková běloba.

Cenná informace o dalším rozlišení druhotných tmelů nám poskytla IR reflektografie po převedení do falešných barev (IRRFC).

V rozlišení etap přemalby a retuší pro nás byla nejpřínosnější úprava snímků kombinací ultrafialové luminiscenční fotografie a UV reflektografie ve falešných barvách (UVFFC). Na těchto snímcích se retuše a přemalby z 1. etapy jeví jako červené a retuše z 2. etapy žlutozelené. [Obr. 24]

3.3.4 Perkusní průzkum (poklepem)

V oblasti malby nebylo zjištěno mnoho dutin. Pouze v místě kolem statické trhliny a některých druhotných tmelů. Všechny dutiny jsou zakresleny v *Grafická dokumentace příloha 3 Poškození*.

3.4 Přírodovědný (chemickotechnologický) průzkum

3.4.1 Konkrétní cíle průzkumu

V rámci doplnění dosavadních restaurátorských průzkumů byl odebrán vzorek ze západní klenby s cílem analyzovat lesklou fixážní/lakovou vrstvu na povrchu díla a určit stratigrafii malby. Laboratorní zprávu s výsledky dodal Dr. Robert Linke viz „*Textová příloha č. 1: Chemickotechnologický průzkum*“.⁵⁵

54 Širší použití zinkové běloby nastává po roce 1834, předtím je její výskyt silně nepravděpodobný, což pomáhá datovat tyto druhotné zásahy.

ŠIMŮNKOVÁ, Eva a BAYEROVÁ, Tatjana. *Pigmenty*. 3., upr. vyd. Praha: Společnost pro technologie ochrany památek - STOP, 2014, s. 35. ISBN 978-80-86657-17-2.

55 LINKE, Robert. Laborbericht. *Nepublikovaný chemickotechnologický průzkum*. Vídeň: Oddělení pro konzervaci a restaurování, přírodovědná laboratoř, 2022.

Z malby byl odebrán 1 větší vzorek přibližně 1 x 1 cm a byl vyhotoven nábrus. Přesná lokace oběru vzorku viz Fotografická dokumentace [Obr. 60].

3.4.2 Výsledky přírodovědného průzkumu

Laboratorní zpráva konstatovala, že zrnitost křemičité omítky se pohybuje do cca 300 μm .⁵⁶ Průzkum potvrdil domněnku, že praskliny v omítce jsou primární, dále konstatuje, že jsou způsobeny nedostatkem jemných částic. V konkrétním odebraném vzorku zpráva zdůrazňuje tenkou vrstvu vápenné kůže, která může naznačit, že malba byla vytvořena secco technikou. To bylo později vyvráceno. Na snímku z elektronového mikroskopu bylo částečně vidět rozhraní mezi omítkou a barevnou vrstvou, tzv. vápenná kůže, však ta byla na několika místech přerušena a ne vždy úplně zřetelná. Barevná vrstva také dosahovala značné tloušťky díky použitému vápnu jako součásti barevné vrstvy.

Průzkum dále potvrdil, že se jedná o vápennou techniku a identifikoval tenký skelně průhledný tvrdý povlak draselného skla v tloušťce 5 μm . Na povrchu vzorku můžeme lokálně pozorovat tenkou vrstvu zinkové a olovnaté běloby (4), která silně luminuje v UV světle a proniká do prasklin. Lze předpokládat, že se jedná o druhotnou retuš z 50. let, protože překrývá vrstvu (3) tvořenou vodním sklem. Tudíž můžeme konstatovat, že malba byla zafixována před závěrečnou retuší.

3.5 Komplexní vyhodnocení průzkumu

3.5.1 Historie objektu

Klášteřínský komplex byl vybudován na místě původního románského kláštera a baziliky ve 2. polovině 17. století. Za probošta Ildefonse Schalkhammera byly vytvořeny plány na novou stavbu. Kolegiátní kostel začal stavět mnichovský stavitel Simon Freye v roce 1767 a vysvěcen byl 6. října 1771. V rámci této obnovy byl kostel vymalován, jak je doloženo signaturou autora na západní klenbě kostela “J. Jakob Zeiller / S.C.M / Acad. pict. / inven. et fecit 1768” [Obr. 26]. V důsledku Josefovských reforem byl klášter zrušen 6. března 1784. Kostel sv. Lamberta byl v roce 1785 prohlášen

56 LINKE, Robert. Laborbericht. *Nepublikovaný chemickotechnologický průzkum*. Vídeň: Oddělení pro konzervaci a restaurování, přírodovědná laboratoř, 2022, s.2.

za farní. Zbylé klášterní budovy byly od roku 1865 využívány jako trestní ústav. V současné době je zde provozováno nápravné zařízení. Novodobá historie po roce 1900 viz kapitola níže 3.5.4 *Historie díla a druhotné zásahy na restaurovaném díle.*

3.5.2 Popis a námět díla určeného k provedení komplexního restaurátorského zásahu

Kostel se nachází v samém středu komplexu bývalého augustiniánského kláštera. Jedná se o orientovanou stavbu o podélném půdorysu s čtyřbokou věží zakončenou polygonální helmicí. Věž se nachází nad zbytky románské kaple v západní části kostela. Interiér kostela je bohatě zdoben štukovou výzdobou a několika samostatnými malbami s figurálními výjevy. Centrální výjevy se nachází na třech klenebních polích v ose kostela. Nad presbytářem se nachází mladší fresková výmalba s motivem „Svatba beránková“ od rakouského autora Wolframa Köberla z roku 1953. Centrální výjev uprostřed kostela zpodobňuje „Glorifikaci sv. Augustina“ a malba nad varhanní kruchtou v západní části vyobrazuje „Obrácení sv. Augustina“ společně s personifikací Boží Moudrosti a skupinou andělů. Oba tyto výjevy patří k původní výmalbě kostela od Johanna Jakoba Zeillera. Menší tři výjevy s andílky se pak nachází v postranních kaplích a na klenbě pod varhanní kruchtou je vyobrazen výjev z Nového Zákona „Vyhnání penězoměnců z chrámu“.

Tato dokumentace popisuje komplexní restaurátorský zásah na výmalbě klenby nad varhanní kruchtou s vyobrazením alegorie Boží Moudrosti držící symbol boží prozřetelnosti. Dále úsek zahrnuje dva andílky, část oblohy a krajiny s postavou psa.

3.5.3 Předlohy a analogie díla

Nebyly dohledány žádné návrhové kresby či malby. Určité podobnosti můžeme najít v benediktinském klášteře ve městě Ottobeurenu nedaleko Memmingenu v bavorském Allgäu v Německu. Kompozice souhlasí například u výjevu „Vyhnání penězoměnců z chrámu“. Určitou inspiraci můžeme nalézt také při porovnání s výjevem Tolle, lege od Johanna Baptisty Zimmermanna z roku 1729 v hlavní lodi kostela sv. Petra a Pavla v bývalém klášteře augustiniánských kanovníků (Weyarn, Horní Bavorsko).

3.5.4 Historie díla a druhotné zásahy na restaurovaném díle

Malba byla provedena tyrolským malířem Johannem Jakobem Zeillerem v roce 1768. V rámci provedené rešerše historických pramenů bylo zjištěno, že na malbách proběhly celkem dvě etapy druhotných zásahů. První zásah na výmalbě kostela proběhl mezi lety 1902 – 1904, kdy byly malby přemalovány vídeňským portrétistou Ludwigem Victorem Schmidtem. Tato přemalba byla provedena nejspíše barvami pojenými organickými pojivy (klih, tempera,...). Revize tohoto zásahu proběhla mezi lety 1951-1953, kdy bylo rozhodnuto o nahrazení jedné malby na východní klenbě nad presbytářem freskou novou. Na zbylých malbách došlo k částečnému odstranění přemaleb a na západní klenbě k celoplošné fixáži draselným vodním sklem nejspíše z důvodu většího poškození. Původní rozpustná přemalba z počátku 20. století se tím stala velice obtížně odstranitelnou. Závěrečná retuš z 50. let byla na vápenné bázi. V letech 2007, 2018 a 2020 byly provedeny průzkumy s cílem přípravy na restaurování v roce 2022. Na malbě se nacházely zkoušky čištění, které byly nejspíše provedeny v rámci průzkumů mezi lety 2007 – 2020. V dostupných zprávách o průzkumech však bohužel nejsou popsány ani lokalizovány. Místa těchto zkoušek čištění jsou označena viz 9 *Grafická dokumentace*. V rámci doplňujícího průzkumu a v průběhu restaurování se podařilo lokalizovat jednotlivé etapy přemaleb a retuší viz grafická dokumentace. Průzkum pomocí technické fotografie potvrdil, že v rámci zásahu z 50. let neproběhlo odstranění všech přemaleb. Pomocí technické fotografie se podařilo rozpoznat jednotlivé etapy přemaleb a retuší od sebe, stejně jako i celkový rozsah druhotných zásahů.

Chemickotechnologický průzkum, jehož primárním cílem bylo analyzovat lesklou fixační vrstvu, potvrdil domněnku, že se jedná o draselné vodní sklo aplikované v 50. letech před závěrečnou retuší.

3.5.4.1 Původní technika malby

Omítkové vrstvy byly nanášeny na cihelnou klenbu. Díky odstranění některých tmelů víme, že nejprve byla nanášena jádrová omítka, tzv. arricio, na něj byla provedena rozkresba, tzv. sinopie. Na snímku [Obr. 53] můžeme pozorovat sinopii po odstranění tmelu přímo v místě hranice denních dílů, tzv. giornate. Po odstranění jiného tmelu v oblasti draperie u pravé nohy pozorujeme okrovou spíše plošné okrové zbarvení na arriciu [Obr. 54]. Mohlo by se jednat o část rozkresby. Na hrubší omítkovou vrstvu s rozkresbou byla natažena v denních dílech vrstva vápenné omítky s jemnějším křemičitým plnivem, tzv. intonaco. Průzkum v ostrém bočním světle odhalil rytou kresbu a hranice denních dílů [Obr. 40]. Dle grafického zákresu denních dílů můžeme konstatovat, že malíř pracoval v poměrně velkých denních dílech s plochou kolem 10 m². Rytá kresba se vyskytovala v celé ploše díla a byla obvykle prováděna přes kartony zhotovené v měřítku jedna ku jedné. Lokálně, především v oblasti figur a draperie, byla nečitelná vzhledem k pastózní štětcové modelaci.

V celé ploše díla se vyskytuje síť malých prasklin. Můžeme se domnívat, že se jedná o nezáměrnou síť primárních prasklin vznikajících už v průběhu realizace fresky. V oblasti svatozáře alegorie Boží Moudrosti dokonce pozorujeme otisky prstů, které kopírují směr prasklin. Nejspíše se jedná o pokus autora zapravit vznikající praskliny v průběhu vysychání intonaca [Obr. 34]. Na barokních freskách se tyto otisky mohou také vyskytovat z důvodu zkoušky, zda je podklad (intonaco) dostatečně zavadlý pro malbu štětcem.⁵⁷

V rámci chemickotechnologického průzkumu pomocí skenovací elektronové mikroskopie, byla pozorována tenká hranice mezi omítkou a barevnou vrstvou u odebraného vzorku. Chemickotechnologický průzkum chybně označil malbu jako secco. Z nových zjištění víme, že vytvoření vápenné kůže pod barevnou vrstvou neznamená, že nejde o fresku.⁵⁸ Může jít i o vápennou fresku, kde se vápno přimíchává do barev, jak prokázal i chemickotechnologický průzkum. Malíř si k pigmentům přimíchal vápenné mléko nebo kaši. O tom vypovídá poměrně velká tloušťka barevné vrstvy s obsahem vápna. Dosavadní výsledky zkoumání zatím nepotvrdily přítomnost organického pojiva.

Vizuální průzkum společně s výsledky laboratorní zprávy potvrdily, že malba byla započata do vlhké omítky, avšak chemickotechnologický průzkum poskytl několik indicií k tomu, že by se mohlo jednat o vápenné fresco či o fresco-secco.

3.5.5 Stav díla (poškození a jeho příčiny)

Malba byla v celé své ploše pokryta primárními trhlinami v tloušťce omítky. Příčinou mohl být nedostatek jemného plniva, jak konstatuje chemickotechnologický průzkum či nevhodný poměr vápna a písku. Povrch malby zároveň vykazoval silný lesk v důsledku fixáže draselným vodním sklem, který byl částečně sražen prachovými depozity. V oblastech, kde je na malbě vyobrazena vegetace, vodní sklo nevytvořilo souvislou krustu, povrch byl matný a barevná vrstva částečně zpráškovatělá.

Na malbě se vyskytovalo několik druhotných tmelů zapojených esteticky nevyhovující druhotnou retuší na vápenné bázi (nelze vyloučit přídavek organického pojiva). Druhotná retuš se celkově jevila tmavší s posunutou barevností. Některé tmely vykazovaly ztrátu adheze.

Perkusní průzkum odhalil dutiny a ztrátu adheze tmelů a omítkových vrstev především v oblasti statické trhliny, jejíž aktivita byla sledována pomocí skla upevněného sádrou. [Obr. 52]

57 KHOMENOK, Taisiia. *Restaurování části nástěnné malby Obrácení sv. Augustina v Subenu v Rakousku: Limity rozpoznání fresco techniky na příkladu kopie barokní nástěnné malby*. Diplomové práce. Litomyšl: Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování, 2024

58 MÁDL, Martin. Ústní sdělení v rámci mezinárodní konference: *Baroque Ceiling Painting: Theory & Praxis*. Litomyšl, 2022.

Průzkum in situ pomocí UV lamp ukázal rozsah druhotných retuší, avšak nepodařilo se od sebe rozlišit jednotlivé etapy druhotných zásahů. Žlutě luminovaly retuše z obou etap druhotných zásahů, obsahující zřejmě zinkovou bělobu, která obvykle vykazuje výraznou žlutozelenou luminiscenci. Průzkum pomocí UV lamp potvrdil také domněnku, že některé retuše byly provedeny ve vápenné technice. Tyto oblasti vykazovaly fialovou barvou. K rozlišení jednotlivých etap poskytla informace technická fotografie a reflektografie. Nejpřínosnější byla úprava snímků kombinací ultrafialové luminiscenční fotografie a reflektografie ve falešných barvách (UVFFC, UVRFC). Na UVFFC snímcích se retuše a přemalby z 1. etapy jeví do červena a retuše z 2. etapy do žluto-zelena a fialově se jeví vápenné retuše. Potvrzena byla také autenticita signatury autora a datace malby. V této oblasti nedošlo k rozsáhlým přemalbám či úpravám.

4 Zkoušky čištění

4.1 Cíle a lokalizace provedených zkoušek

Byly stanoveny celkem 3 cíle zkoušek čištění:

- 1) možnosti odstranění prachových depozitů,
- 2) možnosti redukce či odstranění tmavého zákalu maleb a odstranění druhotných retuší z obou etap,⁵⁹
- 3) odstranění fixážní/lakové vrstvy.

Před výsledky chemickotechnologického průzkumu byly provedeny zkoušky čištění s cílem zjistit povahu lesklého filmu a případně možnost jeho odstranění či redukci. Lokace provedených zkoušek jsou dokumentovány fotograficky.

4.2 Použité metody a materiály

1) Suché čištění maleb od prachových depozitů

- Houba Akapad
- Skelné vlákno (redukce zvýrazněných primárních trhlin nečistotami)

2) Mokrý čištění (dočištění, odstranění přemalby)

- Voda
- Uhlíčitán amonný (Nasycený roztok ve vodě)
- Čištění pomocí parního generátoru VP MAXI
- Čistící štětce
- Arbocel

3) Odstranění fixážní/lakové vrstvy

- Ethanol
- Isopropanol
- Aceton
- Methylethylketon
- Ethylacetát (Ester ethanolu kyseliny octové)

59 Přemalby z let 1902-1904 a 1951-1953.

- Metoxypropanol (DOWANOL)
- Xylol (Xylen)
- Abbeizer Extrem (Carbopolový gel)

4.2.1 Výsledky zkoušek čištění

Výsledky zkoušek čištění od prachových depozitů úspěšně dopadly v kombinaci suchého čištění houbou *Akapad* a mokrého čištění nasyceným roztokem uhličitanu amonného nanášeným čistícími štětci. Poté bylo místo omyto houbou *Blitz-Fix* namočenou ve vodě.

První zkouška odstranění ztmavých přemalby proběhla na mracích v severozápadní části výjevu. [Obr. 67] Zde byl arbocelový zábal s nasyceným roztokem uhličitanu amonného ponechán nejprve 1 hodinu - nedošlo k naměkčení vrstvy, poté byla malba kontrolována po 3 hodinách - mírné povolení druhotné retuše. V poslední fázi byl zábal ponechán přes noc (10 hodin) - po této době bylo možné přemalby odstranit pomocí vodní páry a mikroporézní houby *Blitz-Fix*.

Zkouška odstranění zafixovaných ztmavých přemalby byla provedena v oblasti figury s pávem. [Obr. 69] Zde byl ponechán arbocelový zábal s nasyceným roztokem uhličitanu amonného přes noc a druhý den bylo možné přemalbu odstranit parním generátorem.

V případě odstranění lesklé fixážní vrstvy výsledky zkoušek neprokázaly žádnou změnu včetně silného odstraňovače nátěrů *Abbeizer Extrem* naneseného po dobu 3 hodin [Obr. 61]. Lze předpokládat, že se jedná o vrstvu na anorganické bázi. Následná laboratorní zpráva potvrdila, že jde skutečně o tenkou křehkou vrstvu draselného vodního skla. Na základě tohoto zjištění by připadlo v úvahu narušit vrstvu abrazivní metodou mikropískováním. Ověření této metody nebylo možné ze situačně organizačních důvodů.

Po vyčištění plochy vynikly praskliny, ve kterých byla nečistota silně zafixována. Nečistoty v prasklinách byly redukovány skelným vláknem. [Obr. 71, Obr. 72]

5 Návrh restaurátorského zákroku

5.1 Koncepce restaurování

Koncepce restaurování byla navržena na základě předběžného průzkumu z roku 2007 a upravena při průzkumu 2020. Po doplnění podrobného průzkumu 2022 a započetí restaurátorských prací, byla koncepce po konzultaci se složkami památkové péče upřesněna na základě provedených zkoušek. Místo původně zamýšleného suchého čištění bylo přistoupeno k mokrému čištění některých ploch a odstranění nově lokalizovaných druhotných přemalby z první etapy (1901-1904) v oblasti figur.

Cílem zásahu bylo redukovat přemalby z první etapy. Původní malba je pod nimi dobře dochovaná. Dále bylo cílem redukovat esteticky nevyhovující retuš z druhé etapy (1951-1953) a tmely, které často překrývaly originál. V případě ponechání původních tmelů došlo k potlačení druhotné retuše, která se jevila tmavá a barevně posunutá. Pro rekonstrukci větších celků bylo zapotřebí vypořádat techniku autora, především skladbu drapérie a sledovat nově odkryté fragmenty originální malby, případně inspirovat se analogiemi na jiných autorových realizacích. Na mém úseku se jednalo o chodidlo a část drapérie figury Boží Moudrosti. V oblasti hrudi figury proběhla diskuse nad umístěním slunce na hrud' postavy, které by správně interpretovalo alegorický výjev dle Iconologie Cesara Ripy a také při porovnání s dohledanými analogiemi. Avšak po odstranění tmelu a odkryvu originální malby nebyl v tomto místě pozorován žádný fragment odkazující na slunce. [Obr. 22] Všechny plochy pak byly sjednoceny nápodobivou retuší reverzibilní vodou rozpustnou technikou.

5.2 Návrh postupu restaurátorských prací

- 4) Šetrné očištění malby v celé ploše od prachových a jiných depozitů pomocí latexové houby *Akapad*.
- 5) Dočištění pomocí nasyceného roztoku uhličitanu amonného nanášeného štětcí. Odmytí mikroporézní houbou *Blitz-Fix* namočené ve vodě.
- 6) Odstranění přemaleb pomocí arbocelových zábalů s nasyceným roztokem uhličitanu amonného a parního generátoru za pomoci čistících štětců a houby *Blitz-Fix*.
- 7) Mechanické odstranění nevyhovujících tmelů a odkryv původní malby pomocí skalpelů a restaurátorského kladívka.
- 8) Zajištění uvolněných částí malby přelepy.
- 9) Hloubková injektáž dutin s použitím injektážní směsi na bázi hydraulického vápna.
- 10) Tmelení defektů za použití tmelu na vápenné bázi.
- 11) Retuše maleb by měly být voleny podle míry dochování originálu. Charakter retuše by měl být scelující s použitím minerálních pigmentů pojených 2% arabskou gumou. Typ retuše nejspíš lokální až nápodobivá. Lze použít i komerčně dostupné akvarelové barvy (*Schmincke, Winsor&Newton,...*)

6 Dokumentace restaurátorského zásahu

6.1 Postup restaurátorských prací

6.1.1 Čištění

Nejprve proběhlo suché čištění v celé ploše klenby pomocí čistících polyuretanových hub typu *Akapad* [Obr. 63]. Po odstranění prachových depozitů vynikl lesk malby. V oblasti oblohy a figur následně pokračovalo mokré čištění pomocí roztoku uhličitanu amonného nanášeného měkkými čistícími štětci a domytí vodou pomocí houby *Blitz-Fix*. Tam, kde měla malba pastózní charakter se muselo postupovat opatrněji. Barevná vrstva byla při mechanickém namáhání náchylnější k odpadnutí. Odstranění či redukce lesklé fixážní vrstvy nebyla dostupnými metodami chemicky ani mechanicky možná. Přesto se lokálně podařilo dočistit malbu pomocí arbocelových zábalů s nasyceným roztokem uhličitanu amonného. Následným působením čistícími štětci a parním generátorem byly odstraněny některé přemalby. Jednalo se o místa, kde se nacházely zbytky přemaleb z první etapy a fixážní vrstva nevytvořila souvislý film [Obr. 44]. Redukovány byly esteticky rušivé přemalby.

6.1.2 Přeplepy

Uvolněné části originální omítky byly zajištěny přeplepy pomocí netkané textilie a pojiva na bázi celulózy rozpuštěné ve vodě v koncentraci 1,3 % (hm.). [Obr. 55]

6.1.3 Odstranění nevyhovujících druhotných tmelů

Nebylo nutné nahrazovat všechny druhotné tmely. U některých tmelů perkusní průzkum prokázal špatnou adhezi k podkladu. V takovém případě byly konkrétní tmely nahrazeny. Většina druhotných tmelů z 50. let byla přetmelena přes okraj originální vrstvy. V takovém případě byla malba mechanicky odkryta a tmel poté zapojen tak, aby nebyl znát výrazný přechod na původní omítkovou vrstvu, jako například v místě levého chodidla u figury [Obr. 80].

6.1.4 Strukturální konsolidace

Uvolněné části originální omítky po odstranění tmelů byly zajištěny přeplepy. V místě statické trhliny byly zatmeleny dle potřeby silikonové hadičky, do kterých byla injektována injektážní směs na bázi hydraulického vápna *Ledan D1*.⁶⁰

6.1.5 Tmelení

Obnažená omítková vrstva po odstranění tmelů byla opatřena řidším vápenným mlékem na které bylo následně tmeleno vápenným tmelem. V případě hlubších defektů byla nejprve použita hrubší malta a až poté jemnější (\varnothing zrn 0-2 mm). Tenké praskliny a napojení starších tmelů pak byly vytmeleny jemným tmelem (\varnothing zrn 0-1 mm) nebo tzv. pačkem.

Směs malty

Arricio

- 3 díly (obj.) kopaného křemičitého písku
- 1 díl (obj.) vápenná kaše

Intonaco

- 2 díly (obj.) přesátého písku (\varnothing zrn 0-2 mm)
- 1 díl (obj.) vápenná kaše

Jemný tmel

- 1 díl (obj.) mramorové moučky
- 1 dílu (obj.) vápenná kaše
- 0,5 dílu (obj.) křemičitého písku (\varnothing zrn 0-1 mm) (čajové sítko)

Směs pačoku

- 1 dílu (obj.) mramorové moučky
- 1 dílu (obj.) vápenná kaše

60 Komerční označení *Ledan D1* by mělo svými vlastnostmi odpovídat označení *Ledan TB1*.

6.2 Retuš

Retušováno bylo především na nově vzniklých tmelech lokální až nápodobivou retuší. V oblasti největšího tmelu u levé nohy figury byl původní mel zachován a tmavá druhotná retuš přetřena vápnem. Na tomto tmelu pak byla rekonstruována drapérie a chodidlo. Před samotnou rekonstrukcí byly digitálně provedeny barevné návrhy rekonstrukce chodidla na základě nově odkrytých fragmentů inkarnátu [Obr. 80]. Pozměněna byla také skladba drapérie na místě tmelu tak, aby vypadala plastičtěji a odpovídala autorově stylu [Obr. 82]. Ostatní tmely byly pojednány nápodobivou retuší. Další méně náročná rekonstrukce proběhla na hrudi postavy.

6.3 Použité materiály

Přelepy

- *Metylan* – pojivo na bázi celulózy rozpuštěné ve vodě, 1,3% (hm.) koncentrace (distributor: *Henkel AG & Co. KGaA*)
- Netkaná textilie *Gradol*

Zkoušky čištění

- Ethanol
- Isopropanol
- Aceton
- Methylethylketon
- Ethylacetát (Ester ethanolu kyseliny octové)
- Metoxypropanol (*DOWANOL*)
- Xylol (*Xylen*)
- Abbeizer Extrem (Carbopolový gel)

Čištění, odstranění druhotných tmelů

- Skalpel čepelkový, skalpel pevný
- Restaurátorské kladívko
- Čistící polyuretanová houba *Akapad* (distributor: *Deffner&Johann*)
- Čistící houba *Blitz-Fix* z vulkanizovaného latexu (výrobce: *Aachemie Albert Kauderer GmbH*)
- Uhličitan amonný: nasycený roztok ve vodě (výrobce: *W. Neuber's Enkel GmbH. GROSS DROGERIE*)

- Parní generátor VP MAXI (výrobce: *LARIDENT srl*)
- *Arbocel* - buničina na bázi celulózy
- Čistící štětce
- Skelná vlákna

Strukturální konsolidace - Injektáž

- *Ledan DI* – injektážní prostředek na bázi hydraulického vápna (výrobce: *Tecno Edile Toscana*)
- Konopná koudel
- Silikonové hadičky

Retuše

- Akvarelové barvy v tubách (výrobce: *H. Schmincke & Co. GmbH & Co.KG*)
- Arabská guma 2% (hm.) (distributor: *Kremer Pigmente BmbH & Co KG*)
- Minerální práškové pigmenty (distributor: *Kremer Pigmente BmbH & Co KG*)

6.4 Doporučený režim památky (pokyny pro údržbu)

Pro zajištění dlouhodobého zachování doporučujeme předcházet kondenzaci vzdušné vlhkosti v kostele. K vhodným preventivním opatřením k omezení kondenzace vzdušné vlhkosti patří například regulace větrání v jarních měsících a jeho omezení na minimum, aby v interiéru docházelo k postupnému zvyšování teploty vzduchu a k eliminaci dosažení hodnot rosného bodu. Zároveň doporučujeme sledovat statický pohyb zdiva na problematickém místě na západní klenbě. V exteriéru je vhodné provádět pravidelné kontroly krytiny, okapů a okapových svodů. Všechny kroky, které se přímo či nepřímo dotýkají restaurovaného díla, je nutné konzultovat s odborníky památkové péče. Veškeré zásahy na díle by měly být provedeny odborným restaurátorem.

6.5 Nová zjištění o památce

Po odstranění druhotných tmelů se objevila rozkresba na jádrové omítce (*arricio*), tzv. sinopie na centrální klenbě a náznak můžeme pozorovat i na západní klenbě. Zde se však nejedná o typickou synopii fragment se jeví jako plošná okrová malba [Obr. 53, Obr. 54]. V průběhu zákresu ryté kresby do grafické dokumentace se zřetelně vykreslil přemalovaný ocas páva viz 9 *Grafická dokumentace: „Původní technika - grafický zákres ryté kresby a denních dělů“*. Při porovnání historických fotek s technickou fotografií a současným stavem byly identifikovány zbytky některých přemalob z počátku 20. století. Na základě nových zjištění z vizuálního průzkumu a vyhodnocení odebraných vzorků můžeme dojít k závěru, že nástěnná malba byla provedena v technice vápenné fresky. Chemickotechnologický průzkum potvrdil, že západní klenba nad varhanní kruchtou byla zafixována draselným vodním sklem v rámci restaurování v polovině 20. století.

7 Závěr

Restaurováská dokumentace se zaměřuje na komplexní restaurátorský zásah provedený na nástropní malbě „Obrácení svatého Augustina“ v kostele sv. Lamberta v Subenu, jehož autorem je tyrolský malíř Johann Jakob Zeiller. Malba byla dokončena v roce 1768 a v průběhu let byla podrobena několika restaurátorským zásahům, včetně celoplošné přemalby vídeňským portrétistou Ludwigem Victorem Schmidtem mezi lety 1902 a 1904 a revizi v letech 1951-1953. V rámci restaurátorského zásahu, který probíhal v létě a na podzim roku 2022, byly revidovány předchozí zásahy na díle a vytvořena grafická a fotografická dokumentace původní techniky díla, druhotných zásahů a na závěr dokumentace vlastního zásahu. Dokumentace obsahuje uměleckohistorický a restaurátorský průzkum, který odhalil rozsah poškození a druhotných zásahů.

V rámci restaurování byly odstraněny nevhodné přemalby a retuše, čímž byla odhalena původní malba, která byla provedena v technice vápenné fresky. Během restaurátorských prací byly aplikovány šetrné metody čištění a opravy, včetně mokrého čištění a nahrazení esteticky nevyhovujících tmelů. Nakonec byla provedena závěrečná nápodobivá retuš reverzibilní technikou. Výsledkem je zachování historické hodnoty díla, které nyní lépe odráží původní uměleckou kvalitu. Dále byly formulovány doporučení pro údržbu a ochranu památky, aby se zajistilo její dlouhodobé zachování a minimalizovaly rizika budoucích poškození.

Celkově dokumentace poskytuje cenné informace o historickém a uměleckém kontextu díla, metodách restaurování a nových zjištěních, která přispívají k lepšímu porozumění původní technice a stavu malby.

8 Seznam literatury a pramenů

Seznam literatury

- » Bible: Písmo svaté Starého a Nového zákona (včetně deuterokanonických knih) : český ekumenický překlad. 28. (19. opravené) vydání. Praha: Česká biblická společnost, 2023. ISBN 978-80-7545-132-3.
- » AURELIUS, Augustinus. Vyznání. Praha: Kalich, 1992. ISBN 8017-480-3
- » BEDŘICH, Martin. Co je to emblematická struktura v textu?, Česká literatura, č. 56, No. 6, prosinec, Praha 2008.
- » BAYEROVÁ, Tatjana; ŠIMŮNKOVÁ, Eva. Pigmenty. Praha: STOP, 1999. ISBN 80-902668-1-9.
- » BRINKMÖLLER-GANDLAU, Harriet. Zeiller, Johann Jakob. In: Biographic-bibliographic church encyclopedia (BBKL). Volume 14, Bautz, Herzberg 1998.
- » DRDÁCKÝ, M., & Slížková, Z. (2013). Enhanced affordable methods for assessing material characteristics and consolidation effects on stone and mortar. *Journal of Geophysics and Engineering*, 10(6), 064005. ISSN 1742-2132
- » HUMFREY, Peter. Vittore Carpaccio: Master Storyteller of Renaissance Venice. Yale University Press, 2022.
- » HALL, James. Slovník námětů a symbolů ve výtvarném umění. Praha: Mladá fronta, 1991.
- » KOVAŘÍK, Jaromír. Myslivost v zrcadle pověr. Praha: Druckvo, 2009.
- » NOVÝ ZÁKON s výkladovými poznámkami: český ekumenický překlad. Praha: Evangelické nakladatelství, 1991.
- » MORA, Paolo; MORA, Laura; PHILIPPOT, Paul. *Conservation of Wall Paintings*. London: ICCROM, 1984.
- » RIPA, Cesare, BUSCAROLI, Piero, ed. Ikonologie. Praha: Argo, 2019.
- » SLÁNSKÝ, Bohuslav. *Technika malby I a II*. Praha: Paseka, 2003.
- » ZELINGER, Jiří; kol. *Chemie v práci konzervátora a restaurátora*. Praha: Academia, 1987.

Seznam pramenů

- » BRUNNEDER, Franz Brunner. Nепublikovaný rukopis o historii farního kostela v Subenu.
- » HRDLIČKA, Tereza. Diplomová práce: Hertelův Ripa (1758-1760). Styl, ornament a struktura alegorie v augsburgských grafikách na motivy Ikonologie Cesareho Ripy. Univerzita Karlova. Praha, 2022.
- » LINKE, Robert. Laborbericht. Nепublikovaný chemickotechnologický průzkum. Vídeň: Oddělení pro konzervaci a restaurování, přírodovědná laboratoř, 2022.
- » RIEDEL, Jörg. Pfarrkirche (Ehem. Stiftskirche) Suben: Freskenausstattung Johann Jakob Zeiller von 1768 Wolfram Köberl von 1953. Vídeň, 2022. Uloženo: V archivu autora (joergriedel@gmx.at).
- » SCHWAHA, Herbert. Untersuchungsbericht, Ehemalige Stiftskirche Suben: Wände/Stuck/Wandmalerei. Vorchdorf, 2020. Uloženo: V archivu autora (herbert.schwaha@aon.at).
- » SERENTSCHY, Christoph. Suben ehem. Stiftskirche Fresko, Stuck, Stuckmarmor: Untersuchungsbericht, Fotodokumentation. Neukirchen, 2007. Uloženo: V archivu autora (christoph@serentschy.com).
- » WOLLER, Christian. Bestandsaufnahme/Zustandsuntersuchung der Pfarrkirche Suben, OÖ. Wien, 2018. Uloženo: Památkový ústav ve Vídni.

Internetové zdroje

- » https://www.suben.at/Kloster_und_Pfarrkirche_Suben.
- » https://www-bda-gv-at.translate.google/service/spenden/spendenaktionen.html?_x_tr_sl=de&_x_tr_tl=cs&_x_tr_hl=cs&_x_tr_pto=sc
- » <https://www.monasterium.net>
- » <https://www.ordensgemeinschaften.at/kultur/maennerorden/13-augustiner-chorherrnenkloster-suben>

- » <https://www.ordensgemeinschaften.at/kultur/maennerorden/13-augustiner-chorherrenkloster-suben>
- » Monasterium.net, URL </mom/ATOOeLA/SubenCanReg/1142/charter>, accessed at 2023-01-30Z
- » https://en.wikipedia.org/wiki/Johann_Jakob_Zeiller#/media/File:Ottobeuren_-_Fresco_Austreibung_aus_dem_Tempel.jpg.
- » https://baroqueart.museumwnf.org/database_item.php?id=monument;BAR;de;Mon12;20.
- » https://baroqueart.museumwnf.org/database_item.php?id=monument;BAR;de;Mon12;20

9 Fotografická a obrazová dokumentace

Seznam obrázků

| | | |
|----------|---|-----|
| Obr. 01: | Grafické vyznačení úseku určeného k provedení komplexního restaurátorského zásahu. | 115 |
| Obr. 02: | Poloha kostela sv. Lamberta v areálu mužského nápravného zařízení Subenu WOLLER, Christian. <i>Bestandsaufnahme/Zustandsuntersuchung der Pfarrkirche Suben</i> , OÖ. Wien, 2018, s. 5. | 120 |
| Obr. 03: | Půdorys kostela sv. Lamberta v Subenu a lokace malby v západní části lodi. Zdroj: <i>Aktueller Grundrissplan der Diözese Linz</i> . PK-Sub - en_M100_02_GR_EMPORE.pdf, Abb. 25. Dostupné z: https://www.katholisch.at/aktuelles/146998/dioezese-linz-weitere-neue-pfarren-sind-unterwegs | 120 |
| Obr. 04: | Pohled skrze vstupní bránu do dvora kláštera a pohled na věž kostela. | 158 |
| Obr. 05: | Pohled na klášter ze severovýchodu. Foto Martin Steinkellner. | 158 |
| Obr. 06: | Mědirytin kláštera v Subenu A. W. Ertl, Chur-Bayrischer Atlas, Nürnberg, 1687-1690. Zdroj: www.abebooks.com . Dostupné z: https://www.abebooks.com/art-prints/Augustiner-Kloster-Suben-SubenB-Sch%C3%A4rding/30509444431/bd#&gid=1&pid=1 | 159 |
| Obr. 07: | Původní rytina kláštera v Subenu od Michaela Weninga (1645-1718); Zdroj: Wening, Michael: <i>Historico-Topographica Descriptio</i> , Bd. 2. Dostupné z: https://www.bavarikon.de/object/bav:BSB-HSS-00000BSB00063023 | 159 |
| Obr. 08: | Pohled do lodi kostela z varhanní kruchty. Rok 2019, stav před obnovou. Zdroj: archiv BDA. | 160 |
| Obr. 09: | Pohled na západní klenbu kostela s výjevem „Obrácení sv. Augustina s alegorií Boží Moudrosti“. Stav před restaurováním. Zdroj: archiv BDA. | 161 |
| Obr. 10: | Dobová fotografie z roku 1951 před odstraněním přemaleb. V popředí hlavní klenební pole nad lodí kostela, v pozadí západní klenební pole nad varhanami. Zdroj: archiv BDA. | 162 |
| Obr. 11: | Dobová fotografie z roku 1951. Pohled na kůr s varhany v západní části kostela. Pod kůrem se nacházela mříž oddávající vězně od veřejného prostoru. Zdroj: archiv BDA. | 162 |
| Obr. 12: | Dobová fotografie z roku 1951. Zeillerova malba před jejím nahrazením. Pohled na klenbu nad presbytářem. Zdroj: archiv BDA. | 163 |
| Obr. 13: | Dobová fotografie z roku 1951 před odstraněním přemaleb. Pohled na klenbu nad varhany s výjevem Obrácení Sv. Augustina. Na snímku je patrná nepozměněná kompozice díla. Zdroj: archiv BDA. | 164 |
| Obr. 14: | Dobová fotografie z roku 1951 před odstraněním přemaleb. Na snímku vidíme ojedinělou změnu koncepce z předchozího zásahu mezi lety 1902-194. Před původním psem vyobrazeným z profilu se nacházel pes vyobrazený z anfasu. V rámci zásahu v 50. letech byl odstraněn. Zdroj: archiv BDA. | 164 |
| Obr. 15: | Dobová fotografie z roku 1951 před odstraněním přemaleb. Skupinka andělů kolem personifikace Boží Moudrosti s nápisem Tolle Lege. Některé přemalby v této oblasti se v rámci zásahu v 50. letech nepodařilo zcela odstranit. Zdroj: archiv BDA. | 164 |
| Obr. 16: | Starší výmalba benediktinského kláštera v Ottobeurenu, Johann Jakob Zeiller, 1763. Zdroj: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/69/Bas%C3%ADlica%2C_Ottobeuren%2C_Alemania%2C_2019-06-21%2C_DD_132-134_HDR.jpg | 165 |
| Obr. 17: | Centrální výjev nad hlavní lodí kostela v Subenu. Johann Jakob Zeiller, 1768. Zdroj: archiv BDA. | 165 |
| Obr. 18: | Dohledaná analogie výjevu „Vyhnaní penězoměnců z chrámu“. Výmalba benediktinského kláštera v Ottobeurenu, Johann Jakob Zeiller, 1763. Zdroj: https://en.wikipedia.org/wiki/Johann_Jakob_Zeiller#/media/File:Ottobeuren_-_Fresco_Austreibung_aus_dem_Tempel.jpg | 166 |
| Obr. 19: | Malba pod varhanní kruchtou v klášteře v Subenu „Vyhnaní penězoměnců z chrámu“. Johann Jakob Zeiller, 1768. Zdroj: archiv BDA. | 166 |
| Obr. 20: | Výjev „Tolle, lege“ od Johanna Baptisty Zimmermanna z roku 1729 v hlavní lodi kostela sv. Petra a Pavla v bývalém klášteře augustiniánských kanovníků, Weyarn, Horní Bavorsko. | 167 |
| Obr. 21: | Výjev „Triumf boží prozřetelnosti“ od Andrea Sacchi v římském paláci Barberini, 1629-1633. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/35/Andrea_sacchi%2C_allegoria_della_divina_sapienza%2C_1629-33%2C_02.JPG [cit. 30.1.2023] | 167 |

- Obr. 22: Personifikace Boží Moudrosti v augustiniánském kostele sv. Kateřiny na Novém Městě v Praze v porovnání se stejným výjevem v Subenu. Podle ikonologie Cesara Riipy by v oblasti hrudi je vyobrazeno slunce. Zdroj: Osobní archiv Martin Mádl. 168
- Obr. 23: Personifikace Boží Moudrosti v augustiniánském kostele sv. Lamberta v Subenu v porovnání se stejným výjevem v kostele sv. Kateřiny na Novém Městě v Praze. Při opatrném snímání tmelu nebyly dohledány žádné fragmenty, které by nasvědčovaly umístění slunce. 168
- Obr. 24: Porovnání technické fotografie ve viditelném světle (VIS), ultrafialovém světle (UVF), ultrafialové luminiscence (UVFF) a ve falešných barvách (UVFFC). Na snímcích UVF a UVFF (po odstranění viditelného světla) můžeme pozorovat luminující zbytky přemalob. U snímku UVF se nám zvýraznily druhotné vápenné tmely, které se jeví tmavě fialovou barvou. Po převedení do falešných barev (UVFFC) můžeme sledovat červené a žluté zbarvení některých retuší. Tento jev často odděluje od sebe dvě fáze retuší či technik (jiné složení použitých barev při retuši). Zajímavá je také zvýrazněná linie na čele figury, která však ve viditelném světle není patrná. 170
- Obr. 25: Porovnání technické reflektografie v infračerveném světle (IRR), ultrafialovém světle (UVR) a po převedení do falešných barev (IRRFC, UVRFC). Snímky potvrzují, že na malba nebyla nijak zásadně přemalována. Na snímku v UVRFC můžeme pozorovat pouze zvýraznění tmelů a větší míru retuše v oblasti očí (fialová barva) a drapérie (žlutooranžová barva). 171
- Obr. 26: Signatura autora v pravé sponí části výjevu (severovýchodní kout). Transkripce: "J. Jakob Zeiller / S.C.M / Acad. pict./inven. et fecit 1768". Porovnání technické fotografie a reflektografie ve viditelném světle (VIS), v infračerveném světle (IRR), ultrafialovém světle (UVR) a po převedení do falešných barev (IRRFC, UVRFC). Bylo potvrzeno, že signatura autora je autentická bez druhotných zásahů. 172
- Obr. 27: BW-Černobílá historická fotografiiefotografie z roku 1951, stav před restaurováním. Přemalby z počátku 20. století. 173
- Obr. 28: Fotografie andílků v pravé spodní části výjevu ve viditelném světle. Úsek s nejméně výraznější přemalbou z počátku 20. století. 173
- Obr. 29: Technická fotografie andílků v pravé spodní části výjevu. UV luminiscenční fotografie zobrazuje neodstraněné zbytky přemalob zvýrazněné žlutozelenou luminiscencí z počátku 20. století a druhotnou retuš z poloviny 20. století, která se jeví fialovou barvou z důvodu použití vápenných barev. 173
- Obr. 30: Personifikace Boží Moudrosti se skupinou andělů nesoucí nápis „Tolle, lege“. Stav před restaurováním. 174
- Obr. 31: Personifikace Boží Moudrosti držící symbol boží prozřetelnosti v rozptýleném viditelném světle. Stav před restaurováním. 175
- Obr. 32: Personifikace Boží Moudrosti držící symbol boží prozřetelnosti. Ostré boční nasvícení zvýrazňuje druhotné tmely a pastozní charakter malby zejména v oblasti inkarnátu a drapérie. Stav před restaurováním. 175
- Obr. 33: Detail na tvář Boží Moudrosti v rozptýleném denním světle. Stav před restaurováním. 176
- Obr. 34: Detail na tvář Boží Moudrosti. Ostré boční nasvícení zvýrazňuje druhotné tmely a otisky prstů autora po snaze opravit vznikající primární trhliny. Stav před restaurováním. 176
- Obr. 35: Boží Moudrost se symbolem boží prozřetelnosti. Na snímku je patrná ztmavlá druhotná retuš a výrazné primární trhliny. Stav před restaurováním. 177
- Obr. 36: Detail na symbol boží prozřetelnosti. Nevyhovující ztmavlá barevná retuš. 177
- Obr. 37: Nevhodně zapojené druhotné tmely v oblasti hrudi figury. Stav v průběhu odkryvu restaurováním. 178

| | | |
|----------|--|-----|
| Obr. 38: | Druhotný tmel se ztmavlou a barevně posunutou retuší z předešlého zásahu 1951-1953. Pravé chodidlo figury Boží Moudrosti. Stav před restaurováním | 178 |
| Obr. 39: | Detail na levou ruku Boží moudrosti držící symbol boží prozřetelnosti. Snímek v roptýleném viditelném světle. Stav před restaurováním. | 179 |
| Obr. 40: | Detail na levou ruku Boží moudrosti držící symbol boží prozřetelnosti. Snímek v ostrém bočním nasvícení. Na snímku je patrná výrazná rytá kresba. Stav před restaurováním. | 179 |
| Obr. 41: | Detail na anděly v rozptýleném viditelném světle. Stav před restaurováním. | 180 |
| Obr. 42: | Detail na anděly v ostrém bočním nasvícení. Zřetelná rytá kresba v oblasti fíkovníku a figur, zároveň pastózní charakter malby v oblasti drapérie. Stav před restaurováním. | 180 |
| Obr. 43: | Personifikace Boží Moudrosti, červená šipka značí předchozí zkoušku čištění, která nebyla dokumentována. Stav před restaurováním. | 181 |
| Obr. 44: | Detail na zkoušku čištění z předchozích etap zásahů. V oblasti inkarnátu se nachází přemalba z let 1902-1904. Zkouška čištění tuto vrstvu neodstranila. Stav před restaurováním. | 181 |
| Obr. 45: | Silný lesk způsobený fixáží draselným vodním sklem v rámci zásahu mezi lety 1951-1953. Lesk se vyskytoval především v oblasti oblohy a figury s andílky. Pohled na celou figuru. Stav po suchém čištění. | 182 |
| Obr. 46: | Dokumentace silného lesku v oblasti hlavy svatozáře Boží Moudrosti. Stav po suchém čištění. | 182 |
| Obr. 47: | Esteticky nevyhovující tmely a druhotná retuš společně s neaktivní trhlinou v oblasti oblohy v horní části výjevu. Na snímku jsou patrné také vlasové trhliny zvýrazněné zatečením fixážního prostředku a prachovými depozity. | 183 |
| Obr. 48: | Detail na nevhodně zapojené tmely. | 183 |
| Obr. 49: | Ostré boční nasvícení zvýrazňující druhotné tmely přesahující úroveň původní omítky. Stav před restaurováním. | 184 |
| Obr. 50: | Detail trhliny dokumentující tloušťku arricia a intonaca na cihlové klenbě. Detail na statickou trhlinu. Stav před restaurováním. | 184 |
| Obr. 51: | Rozvětvená statická trhlina v horní části výjevu (jihozápadní oblast klenby). Stav před restaurováním. | 185 |
| Obr. 52: | Skleněný pásek připevněn na sádku sledující aktivitu trhliny v oblasti oblohy. Stav před restaurováním. | 185 |
| Obr. 53: | Odkrytá rozkresba na arriciu tzv. sinopie. Centrální výjev „ <i>Glorifikace sv. Augustina</i> “. Stav po odstranění druhotných tmelů. | 186 |
| Obr. 54: | Po odstranění tmelu v oblasti drapérie u pravé nohy figury byla jádrová omítka (arricio) zabarvena do okrova. Mohlo by se jednat o část rozkresby na arriciu. Stav po odstranění druhotných tmelů. „ <i>Obrácení sv. Augustina</i> “ - západní klenba. | 186 |
| Obr. 55: | Přelepění uvolněných částí omítky před injektáží | 187 |
| Obr. 56: | Průběh tmelení a injektáže statické trhliny. | 187 |
| Obr. 57: | Postupná injektáž statické trhliny pomocí zatmelených PVC hadiček. | 188 |
| Obr. 58: | Detail na zatmelenou PVC hadičku v průběhu injektáže. | 188 |
| Obr. 59: | Zkouška mechanického odstranění tmavé retuše skalpelem v oblasti mraků. Stav po vytmelení, v průběhu čištění. | 189 |
| Obr. 60: | Prvotní zkouška čištění, 1-Suché čištění, 2-ethanol, 3-Nasycený roztok uhličitánu amonného ve vodě + Vodní pára, 4-Aceton. Červenou šipkou je označeno místo odběru vzorku na rozhraní druhotného tmelu a originální omítky. | 189 |
| Obr. 61: | Zkouška čištění s cílem zjistit charakter lesklé fixážní vrstvy. IP-Isopropanol, MXP-Metoxypropanol, MEK-Methylethylketon, AC-Aceton, EA-Ethylacetat, ABB-Abbeizer Extrem. Okraj svatozáře. | 190 |
| Obr. 62: | Kontrola míry lesku v bočním nasvícení. Z důvodu odstranění prachových depozitů se povrch zdál lesklejší. Horní okraj svatozáře. | 190 |
| Obr. 63: | Průběh suchého čištění. | 191 |

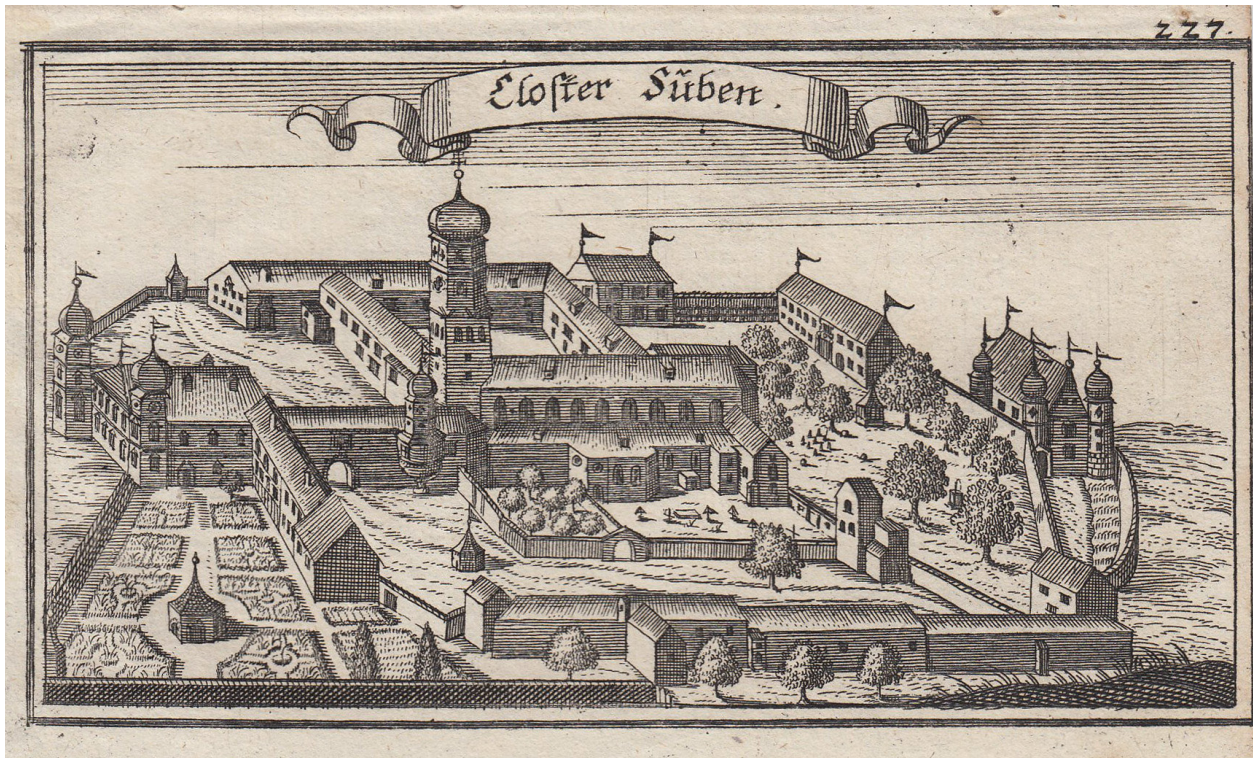
| | | |
|----------|---|-----|
| Obr. 64: | Průběh suchého pomoci houby Akapad a mokrého čištění pomoci nasyceného roztoku uhličitanu amonného, vody a čistících štětců | 191 |
| Obr. 65: | Průběh mokrého čištění. | 192 |
| Obr. 66: | Průběh mokrého čištění. | 192 |
| Obr. 67: | Zkouška čištění. Zábál s nasyceným roztokem uhličitanu amonného. Zábál byl ponechán nejprve 1 hodinu, 3 hodiny a 10 hodin. Následné dočištění párou. | 193 |
| Obr. 68: | Dočištění druhotné retuše pomoci vodní páry pod tlakem a postupné odmývání mikroporézní houbou <i>Blitz-Fix</i> . | 193 |
| Obr. 69: | Zkouška čištění pomoci zábálu s nasyceným roztokem uhličitanu amonného. | 194 |
| Obr. 70: | Odstranění zákalu a přemaleb dočištěním vodní párou. | 194 |
| Obr. 71: | Redukce ztmavých primárních prasklin pomoci skelného vlákna. | 195 |
| Obr. 72: | Oblast dočištěná skelným vláknem. | 195 |
| Obr. 73: | Průběh redukce nevhodné retuše pomoci zábálů s nasyceným roztokem uhličitanu amonného po odstranění esteticky nevyhovujících tmelů. | 197 |
| Obr. 74: | Dočištění originálu kolem druhotného tmelu v oblasti pravého chodidla figury pomoci vodní páry pod tlakem a mikroporézní houby <i>Blitz-Fix</i> . | 197 |
| Obr. 75: | Arbocelový zábál s nasyceným roztokem uhličitanu amonného. Pravá paže figury. | 198 |
| Obr. 76: | Dočištění inkarnátu párou od zbytků přemaleb. Pravá paže figury. | 198 |
| Obr. 77: | Alegorie Boží Moudrosti v průběhu mokrého čištění v horní části snímku. | 199 |
| Obr. 78: | Alegorie Boží Moudrosti v průběhu mokrého čištění v levé části snímku a vyčištěný obdélník vpravo. | 199 |
| Obr. 79: | Druhotná retuš v oblasti pravé nohy figury Boží Moudrosti. | 200 |
| Obr. 80: | Odkrytí přetmeleného originálu. Po odkryvu byl zřetelně vidět delší ukazováček. | 200 |
| Obr. 81: | Potlačení druhotné retuše na tmelu vápennou barvou. Stav před retuší. Pravá noha figury Boží Moudrosti. | 201 |
| Obr. 82: | Rekonstrukce drapérie a chodidla. Stav po restaurování. Pravá noha figury Boží Moudrosti. | 201 |
| Obr. 83: | Pravá paže figury Boží Moudrosti. Stav před restaurováním. | 202 |
| Obr. 84: | Pravá paže figury Boží Moudrosti. Stav po restaurování. | 202 |
| Obr. 85: | Figura Boží Moudrosti, stav před restaurováním, po vytmelení a dočištění, stav po retuší. | 203 |
| Obr. 86: | Alegorie Boží Moudrosti se skupinou andělů nesoucí nápis <i>Tolle, lege</i> . Stav před restaurováním. | 204 |
| Obr. 87: | Alegorie Boží Moudrosti se skupinou andělů nesoucí nápis <i>Tolle, lege</i> . Stav po vytmelení a dočištění. | 204 |
| Obr. 88: | Boží Moudrost se skupinou andělů nesoucí nápis „ <i>Tolle, lege</i> “. Stav po restaurování. | 205 |
| Obr. 89: | Sekvence obličejů alegorie Boží Moudrosti. Stav před restaurováním, po dočištění a odstranění tmelů, po vytmelení a po retuší. | 206 |
| Obr. 90: | Dvojice andělů. Stav před restaurováním. | 207 |
| Obr. 91: | Dvojice andělů. Stav po dočištění a vytmelení. | 207 |
| Obr. 92: | Dvojice andělů společně se zapojeným větším tmelem v oblasti pravého chodidla figury. Stav po restaurování. | 208 |
| Obr. 93: | Celkový pohled na figurální výjev Boží Moudrost se skupinou andělů nesoucí nápis „ <i>Tolle, lege</i> “. Stav před restaurováním. Složeno z několika snímků v programu Adobe photoshop. | 209 |
| Obr. 94: | Celkový pohled na figurální výjev Boží Moudrost se skupinou andělů nesoucí nápis „ <i>Tolle, lege</i> “. Stav po vytmelení v průběhu čištění. Složeno z několika snímků v programu Adobe photoshop. | 210 |
| Obr. 95: | Celkový pohled na figurální výjev Boží Moudrost se skupinou andělů nesoucí nápis <i>Tolle, lege</i> . Stav po restaurování. Složeno z několika snímků v programu Adobe photoshop. | 211 |

Histoické fotografie a analogie



Obr. 04: Pohled skrze vstupní bránu do dvora kláštera a pohled na věž kostela.

Obr. 05: Pohled na klášter ze severovýchodnu. Foto Martin Steinkellner.



Obr. 06: Mědirytina kláštera v Subenu A. W. Ertl, Chur-Bayrischer Atlas, Nürnberg, 1687-1690. Zdroj: www.abebooks.com. Dostupné z: <https://www.abebooks.com/art-prints/Augustiner-Kloster-Suben-SubenB-Sch%C3%A4rding/3050944431/bd#&gid=1&pid=1>

Obr. 07: Původní rytina kláštera v Subenu od Michaela Weninga (1645-1718); Zdroj: Wening, Michael: *Historico-Topographica Descriptio*, Bd. 2. Dostupné z: <https://www.bavarikon.de/object/bav:BSB-HSS-00000BSB00063023>



Obr. 08: Pohled do lodi kostela z varhanní kruchty. Rok 2019, stav před obnovou.
Zdroj: archiv BDA.



Obr. 09: Pohled na západní klenbu kostela s výjevem „Obrácení sv. Augustina s alegorií Boží Moudrosti“. Stav před restaurováním. Zdroj: archiv BDA.

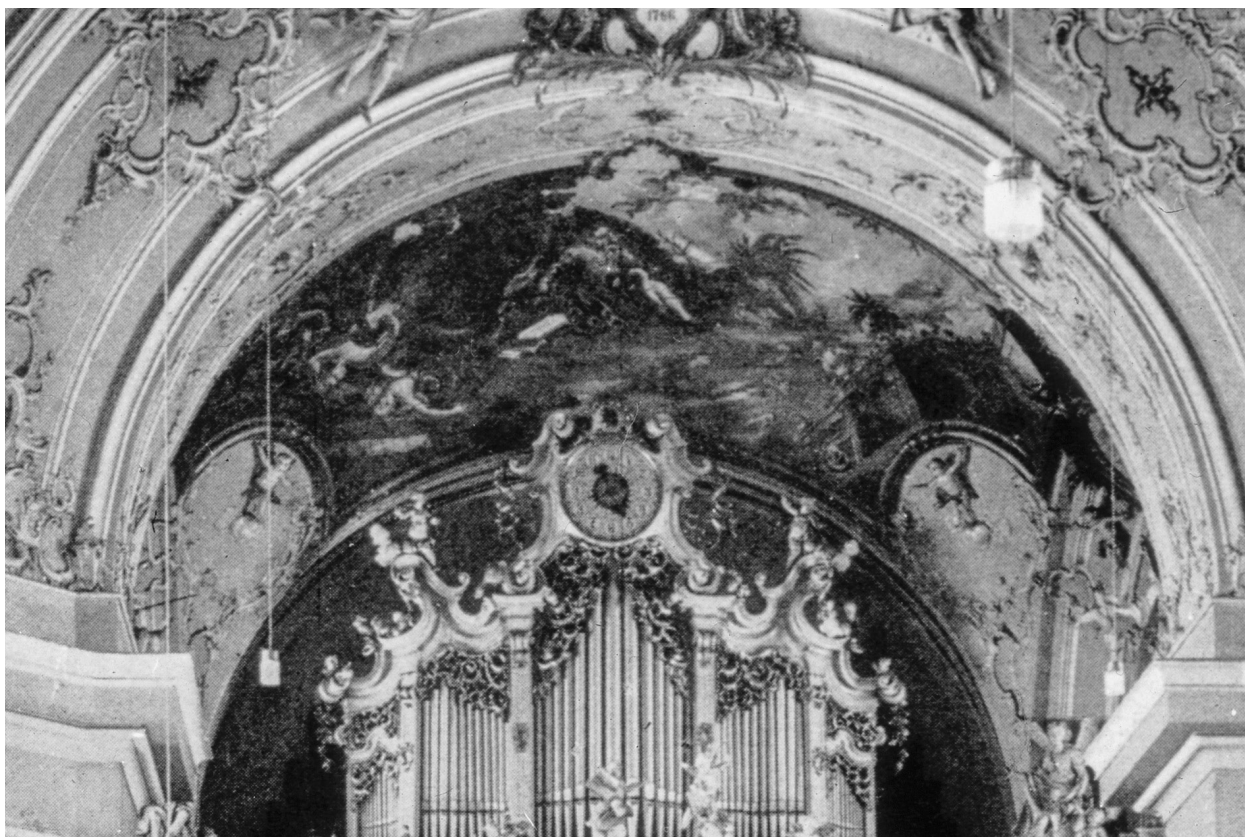


Obr. 10: Dobová fotografie z roku 1951 před odstraněním přemalob. V popředí hlavní klenební pole nad lodí kostela, v pozadí západní klenební pole nad varhanami. Zdroj: archiv BDA.

Obr. 11: Dobová fotografie z roku 1951. Pohled na kůr s varhany v západní části kostela. Pod kůrem se nacházela mříž oddělující vězně od veřejného prostoru. Zdroj: archiv BDA.



Obr. 12: Dobová fotografie z roku 1951. Zeillerova malba před jejím nahrazením. Pohled na klenbu nad presbytářem. Zdroj: archiv BDA.



Obr. 13: Dobová fotografie z roku 1951 před odstraněním přemaleb. Pohled na klenbu nad varhany s výjevem Obrácení Sv. Augustina. Na snímku je patrná nepozměněná kompozice díla. Zdroj: archiv BDA.



Obr. 14: Dobová fotografie z roku 1951 před odstraněním přemaleb. Na snímku vidíme ojedinělou změnu koncepce z předchozího zásahu mezi lety 1902-194. Před původním psem vyobrazeným z profilu se nacházel pes vyobrazený z anfasu. V rámci zásahu v 50. letech byl odstraněn. Zdroj: archiv BDA.



Obr. 15: Dobová fotografie z roku 1951 před odstraněním přemaleb. Skupinka andělů kolem personifikace Boží Moudrosti s nápisem Tolle Lege. Některé přemalby v této oblasti se v rámci zásahu v 50. letech nepodařilo zcela odstranit. Zdroj: archiv BDA.



Obr. 16: Starší výmalba benediktinského kláštera v Ottobeurenu, Johann Jakob Zeiller, 1763. Zdroj: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/69/Bas%C3%ADlica%2C_Ottobeuren%2C_Alemania%2C_2019-06-21%2C_DD_132-134_HDR.jpg

Obr. 17: Centrální výjev nad hlavní lodí kostela v Subenu. Johann Jakob Zeiller, 1768. Zdroj: archiv BDA.



Obr. 18: Dohledaná analogie výjevu „Vyhnutí penězoměnců z chrámu“. Výmalba benediktinského kláštera v Ottobeurenu, Johann Jakob Zeiller, 1763. Zdroj: https://en.wikipedia.org/wiki/Johann_Jakob_Zeiller#/media/File:Ottobeuren_-_Fresco_Austreibung_aus_dem_Tempel.jpg

Obr. 19: Malba pod varhanní kruchtou v klášteře v Subenu „Vyhnutí penězoměnců z chrámu“. Johann Jakob Zeiller, 1768. Zdroj: archiv BDA.



Obr. 20: Výjev „Tolle, lege“ od Johanna Baptisty Zimmermanna z roku 1729 v hlavní lodi kostela sv. Petra a Pavla v bývalém klášteře augustiniánských kanovníků, Weyarn, Horní Bavorsko.

Obr. 21: Výjev „Triumf boží prozívatelnosti“ od Andrea Sacchi v římském paláci Barberini, 1629-1633. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/35/Andrea_sacchi%2C_allegoria_della_divina_sapienza%2C_1629-33%2C_02.JPG [cit. 30.1.2023]



Obr. 22: Personifikace Boží Moudrosti v augustiniánském kostele sv. Kateřiny na Novém Městě v Praze v porovnání se stejným výjevem v Subenu. Podle ikonologie Cesara Riipy by v oblasti hrudi je vyobrazeno slunce. Zdroj: Osobní archiv Martin Mádl.

Obr. 23: Personifikace Boží Moudrosti v augustiniánském kostele sv. Lamberta v Subenu v porovnání se stejným výjevem v kostele sv. Kateřiny na Novém Městě v Praze. Při opatrném snímání tmelu nebyly dohledány žádné fragmenty, které by nasvědčovaly umístění slunce.

Průzkumy a zkoušky



Obr. 24: Porovnání technické fotografie ve viditelném světle (VIS), ultrafialovém světle (UVF), ultrafialové luminescence (UVFF) a ve falešných barvách (UVFFC). Na snímcích UVF a UVFF (po odstranění viditelného světla) můžeme pozorovat luminující zbytky přemaleb. U snímku UVF se nám zvýraznily druhotné vápenné tmely, které se jeví tmavě fialovou barvou. Po převedení do falešných barev (UVFFC) můžeme sledovat červené a žluté zbarvení některých retuší. Tento jev často odděluje od sebe dvě fáze retuší či technik (jiné složení použitých barev při retuši). Zajímavá je také zvýrazněná linie na čele figury, která však ve viditelném světle není patrná.



Obr. 25: Porovnání technické reflektografie v infračerveném světle (IRR), ultrafialovém světle (UVR) a po převedení do falešných barev (IRRFC, UVRFC). Snímky potvrzují, že na malba nebyla nijak zásadně přemalována. Na snímku v UVRFC můžeme pozorovat pouze zvýraznění tmelů a větší míru retuše v oblasti očí (fialová barva) a drapérie (žlutooranžová barva).



Obr. 26:

Signatura autora v pravé sponí části výjevu (severovýchodní kout). Transkripce: "J. Jakob Zeiller / S.C.M. / Acad. pict. / inven. et fecit 1768". Porovnání technické fotografie a reflektografie ve viditelném světle (VIS), v infračerveném světle (IRR), ultrafialovém světle (UVR) a po převedení do falešných barev (IRRFC, UVRFC). Bylo potvrzeno, že signatura autora je autentická bez druhotných zásahů.

BW-1951



Obr. 27: BW-Černobílá historická fotografiiefotografie z roku 1951, stav před restaurováním. Přemalby z počátku 20. století.

VIS



Obr. 28: Fotografie andílků v pravé spodní části výjevu ve viditelném světle. Úsek s nejvýraznější přemalbou z počátku 20. století.

UVF



Obr. 29: Technická fotografie andílků v pravé spodní části výjevu. UV luminiscenční fotografie zobrazuje neodstraněné zbytky přemalby zvýrazněné žlutozelenou luminiscencí z počátku 20. století a druhotnou retuš z poloviny 20. století, která se jeví fialovou barvou z důvodu použití vápenných barev.



Obr. 30: Personifikace Boží Moudrosti se skupinou andělů nesoucí nápis „Tolle, lege“. Stav před restaurováním.



Obr. 31: Personifikace Boží Moudrosti držící symbol boží prozřetelnosti v rozptýleném viditelném světle. Stav před restaurováním.

Obr. 32: Personifikace Boží Moudrosti držící symbol boží prozřetelnosti. Ostré boční nasvícení zvýrazňuje druhotné tmely a pastozní charakter malby zejména v oblasti inkarnátu a drapérie. Stav před restaurováním.



Obr. 33: Detail na tvář Boží Moudrosti v rozptýleném denním světle. Stav před restaurováním.

Obr. 34: Detail na tvář Boží Moudrosti. Ostré boční nasvícení zvýrazňuje druhotné tmely a otisky prstů autora po snaze opravit vznikající primární trhliny. Stav před restaurováním.



Obr. 35: Boží Moudrost se symbolem boží prozřetelnosti. Na snímku je patrná ztmavlá druhotná retuš a výrazné primární trhliny. Stav před restaurováním.

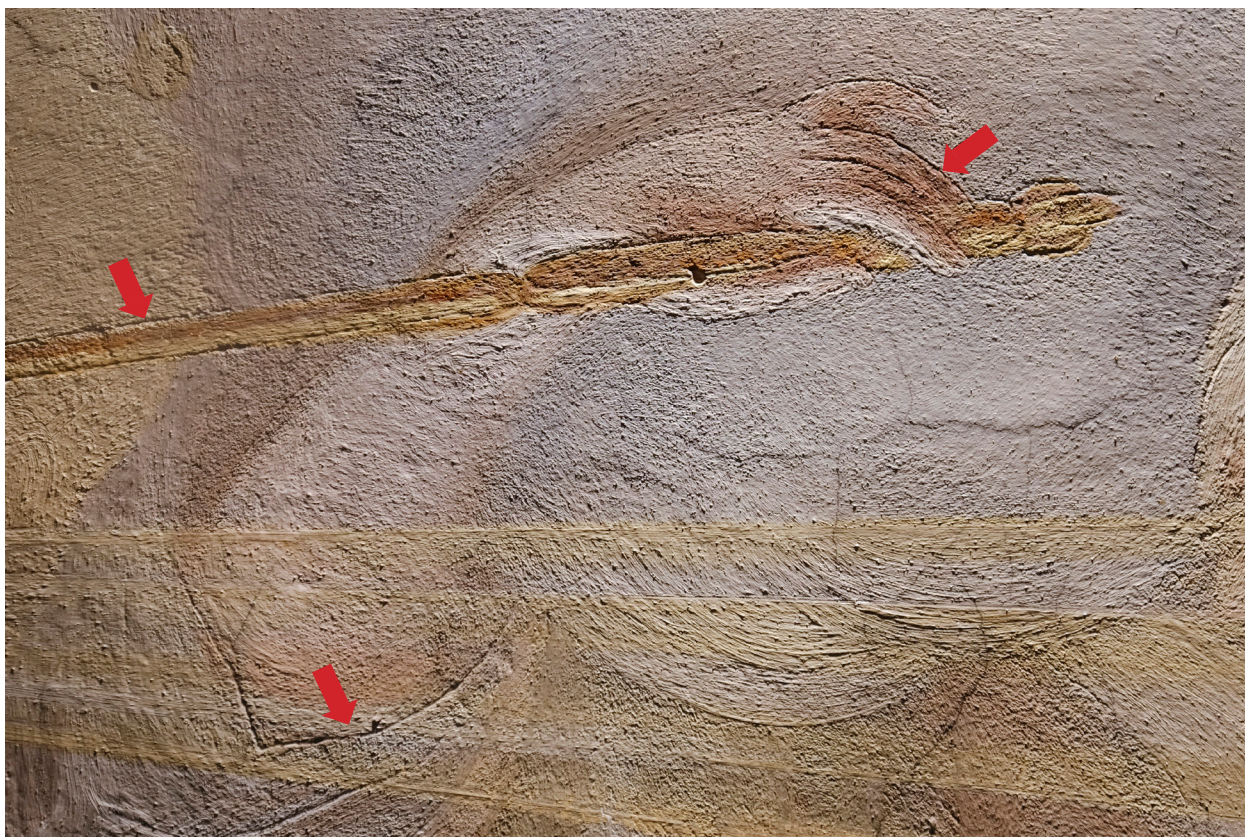
Obr. 36: Detail na symbol boží prozřetelnosti. Nevyhovující ztmavlá barevná retuš.



Obr. 37: Nevhodně zapojené druhotné tmely v oblasti hrudi figury. Stav v průběhu odkryvu restaurováním.

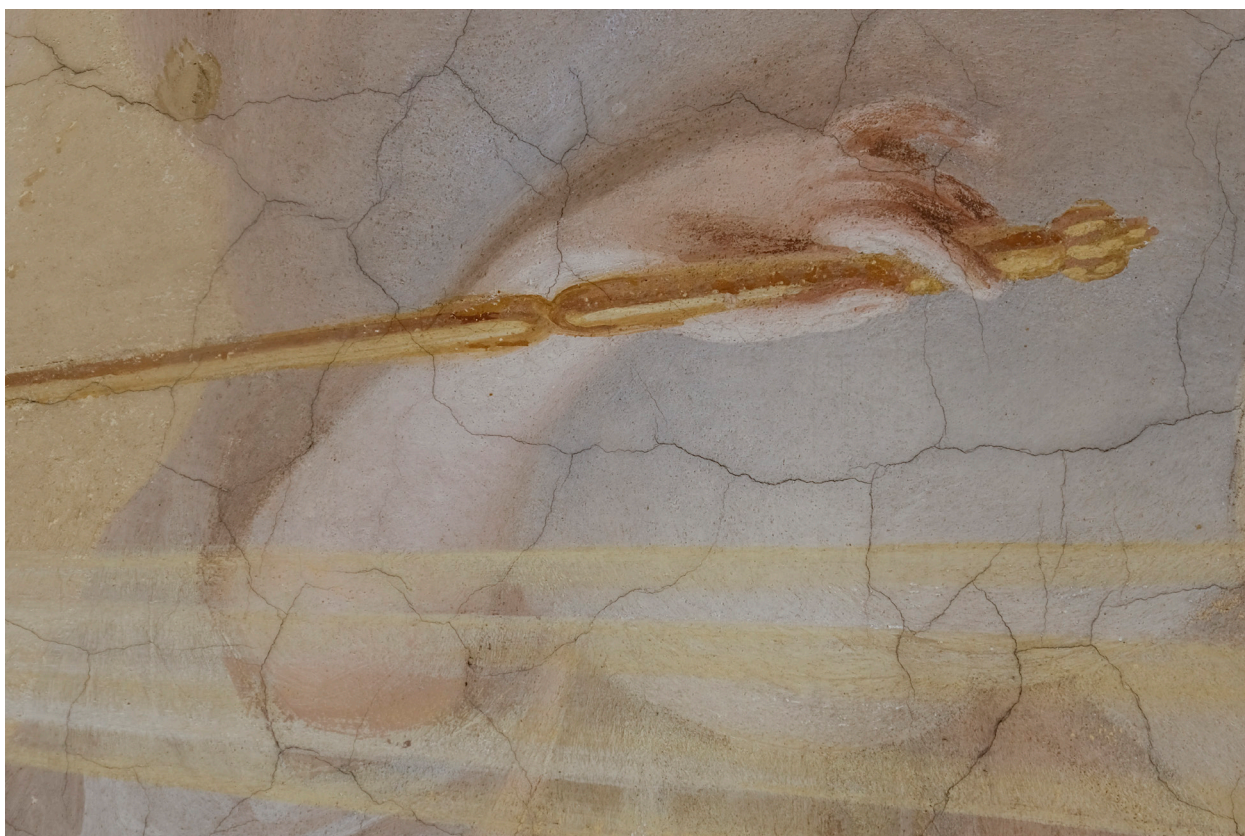


Obr. 38: Druhotný tmel se ztmavlou a barevně posunutou retuší z předešlého zásahu 1951-1953. Pravé chodidlo figury Boží Moudrosti. Stav před restaurováním



Obr. 39:

Detail na levou ruku Boží moudrosti držící symbol boží prozřetelnosti. Snímek v roptýleném viditelném světle. Stav před restaurováním.



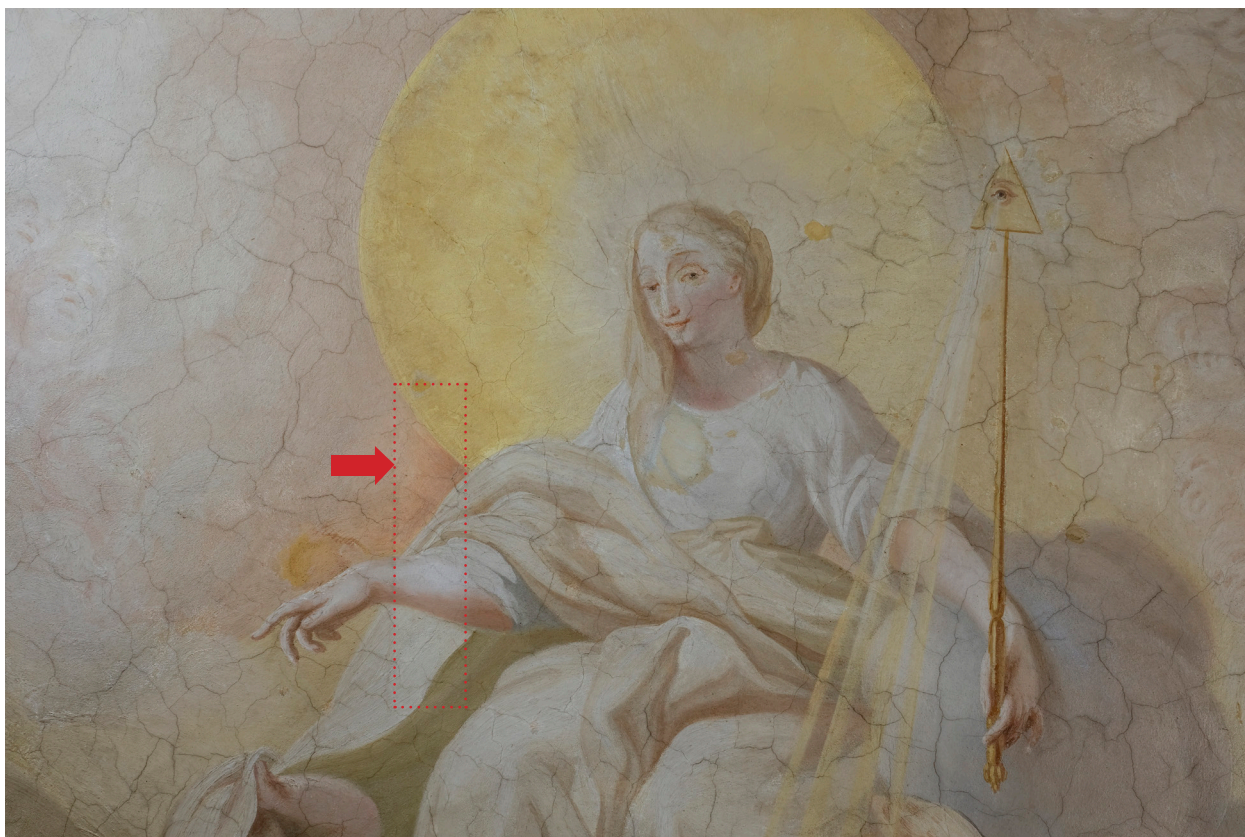
Obr. 40:

Detail na levou ruku Boží moudrosti držící symbol boží prozřetelnosti. Snímek v ostrém bočním nasvícení. Na snímku je patrná výrazná rytá kresba. Stav před restaurováním.



Obr. 41: Detail na anděly v rozptýleném viditelném světle. Stav před restaurováním.

Obr. 42: Detail na anděly v ostrém bočním nasvícení. Zřetelná rytá kresba v oblasti fíkovníku a figur, zároveň pastózní charakter malby v oblasti drapérie. Stav před restaurováním.



Obr. 43: Personifikace Boží Moudrosti, červená šipka značí předchozí zkoušku čištění, která nebyla dokumentována. Stav před restaurováním.

Obr. 44: Detail na zkoušku čištění z předchozích etap zásahů. V oblasti inkarnátu se nachází přemalba z let 1902-1904. Zkouška čištění tuto vrstvu neodstranila. Stav před restaurováním.



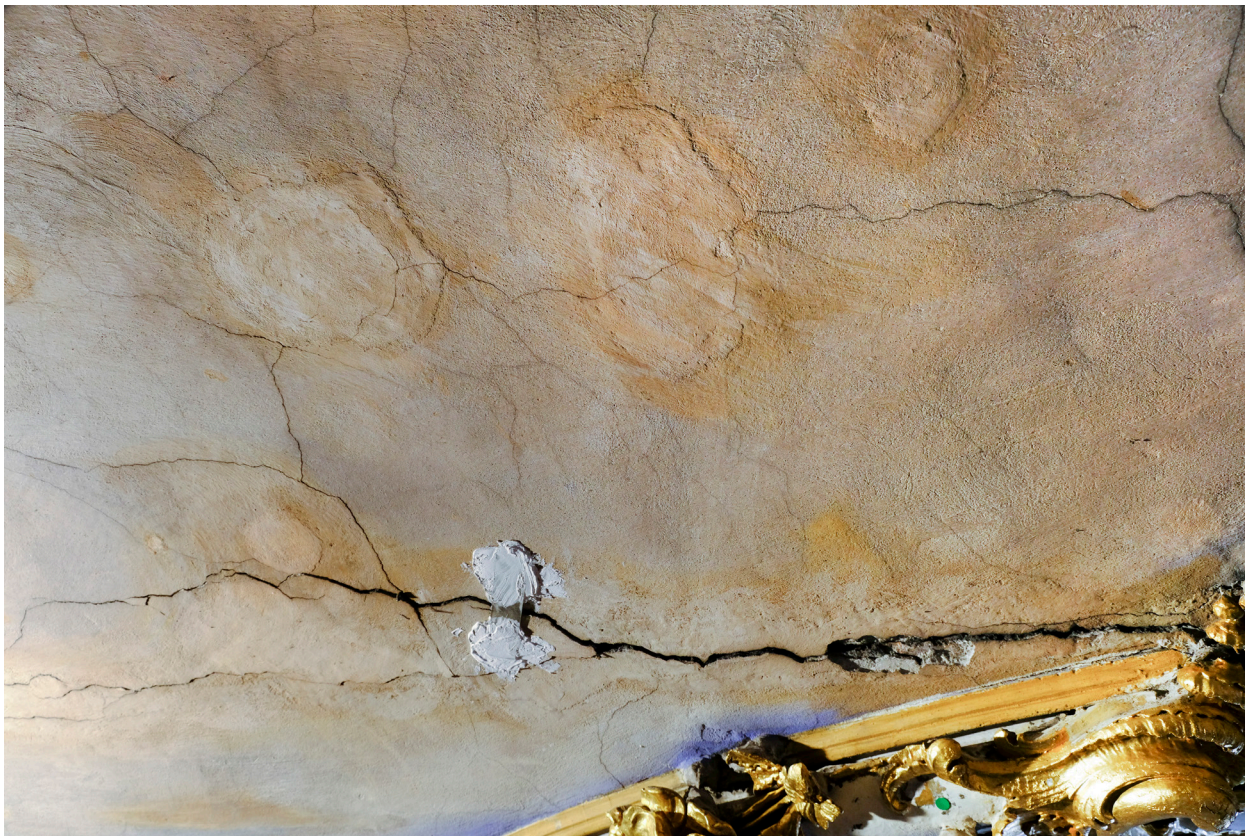
Obr. 45: Silný lesk způsobený fixáží draselným vodním sklem v rámci zásahu mezi lety 1951-1953. Lesk se vyskytoval především v oblasti oblohy a figury s andílky. Pohled na celou figuru. Stav po suchém čištění.

Obr. 46: Dokumentace silného lesku v oblasti hlavy svatozáře Boží Moudrosti. Stav po suchém čištění.



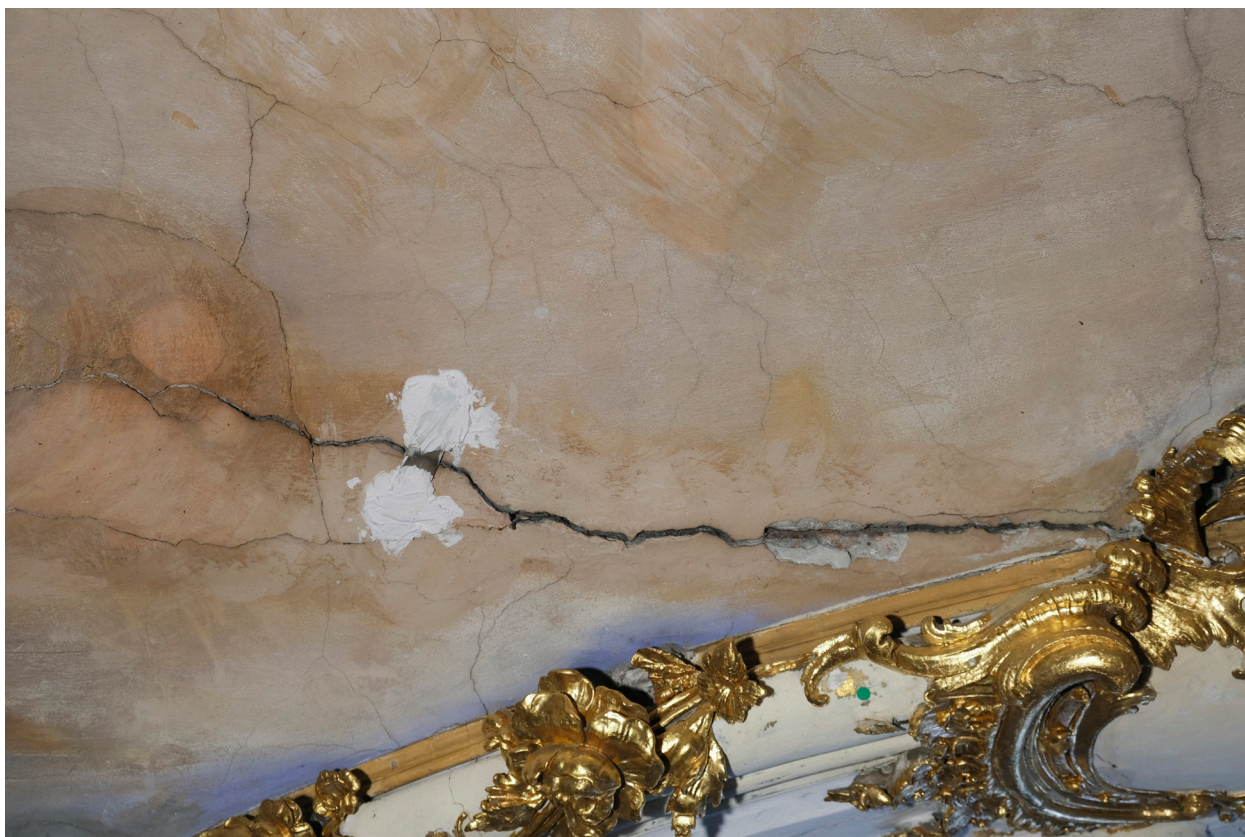
Obr. 47: Esteticky nevyhovující tmely a druhotná retuš společně s neaktivní trhlinou v oblasti oblohy v horní části výjevu. Na snímku jsou patrné také vlasové trhliny zvýrazněné zatečením fixážního prostředku a prachovými depozity.

Obr. 48: Detail na nevhodně zapojené tmely.



Obr. 49: Ostré boční nasvícení zvýrazňující druhotné tmely přesahující úroveň původní omítky. Stav před restaurováním.

Obr. 50: Detail trhliny dokumentující tloušťku arricia a intonaca na cihlové klenbě. Detail na statickou trhlinu. Stav před restaurováním.



Obr. 51: Rozvětvená statická trhlina v horní části výjevu (jihozápadní oblast klenby). Stav před restaurováním.

Obr. 52: Skleněný pásek připevněn na sádku sledující aktivitu trhliny v oblasti oblohy. Stav před restaurováním.



Obr. 53: Odkrytá rozkresba na arriciu tzv. sinopie. Centrální výjev „Glorifikace sv. Augustina“. Stav po odstranění druhotných tmelů.

Obr. 54: Po odstranění tmelu v oblasti drapérie u pravé nohy figury byla jádrová omítka (arriccio) zabarvena do okrova. Mohlo by se jednat o část rozkresby na arriciu. Stav po odstranění druhotných tmelů. „Obrácení sv. Augustina“ - západní klenba.



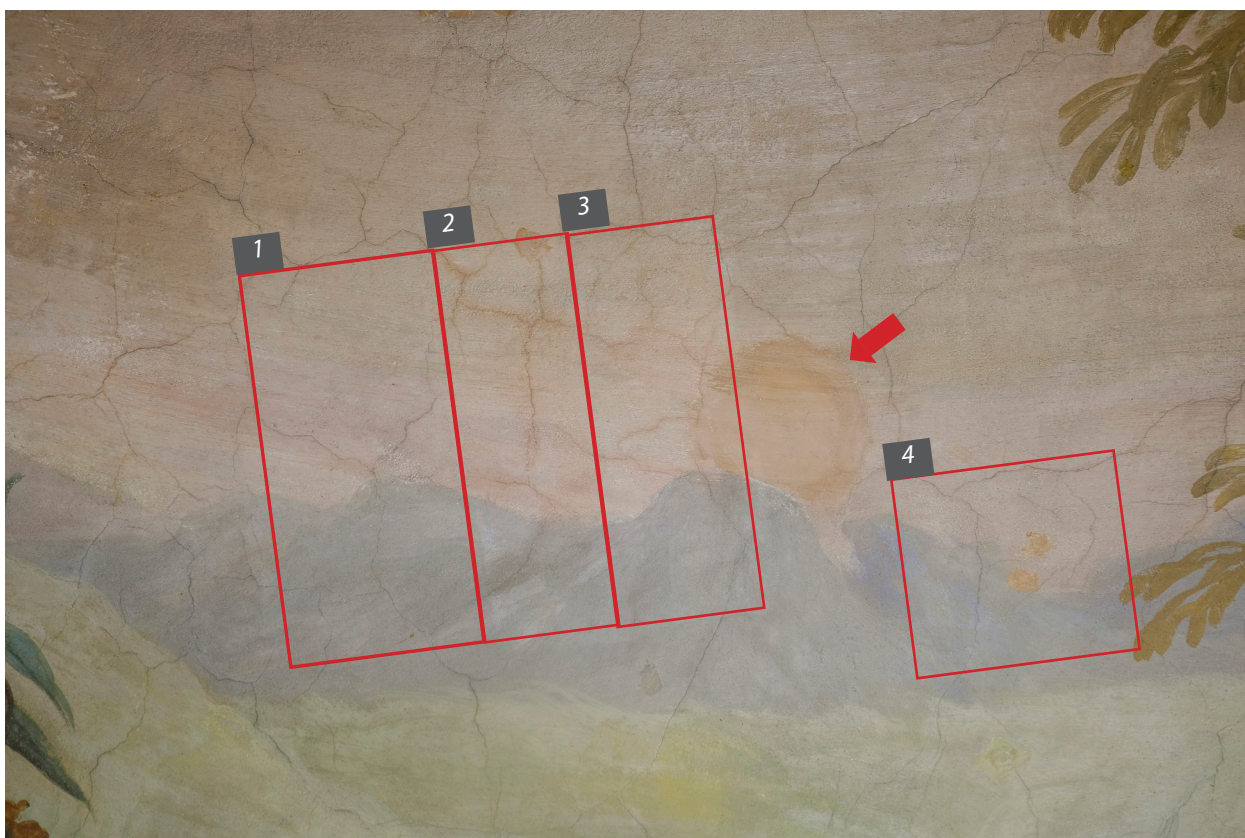
Obr. 55: Přelepení uvolněných částí omítky před injektáží

Obr. 56: Průběh tmelení a injektáže statické trhliny.



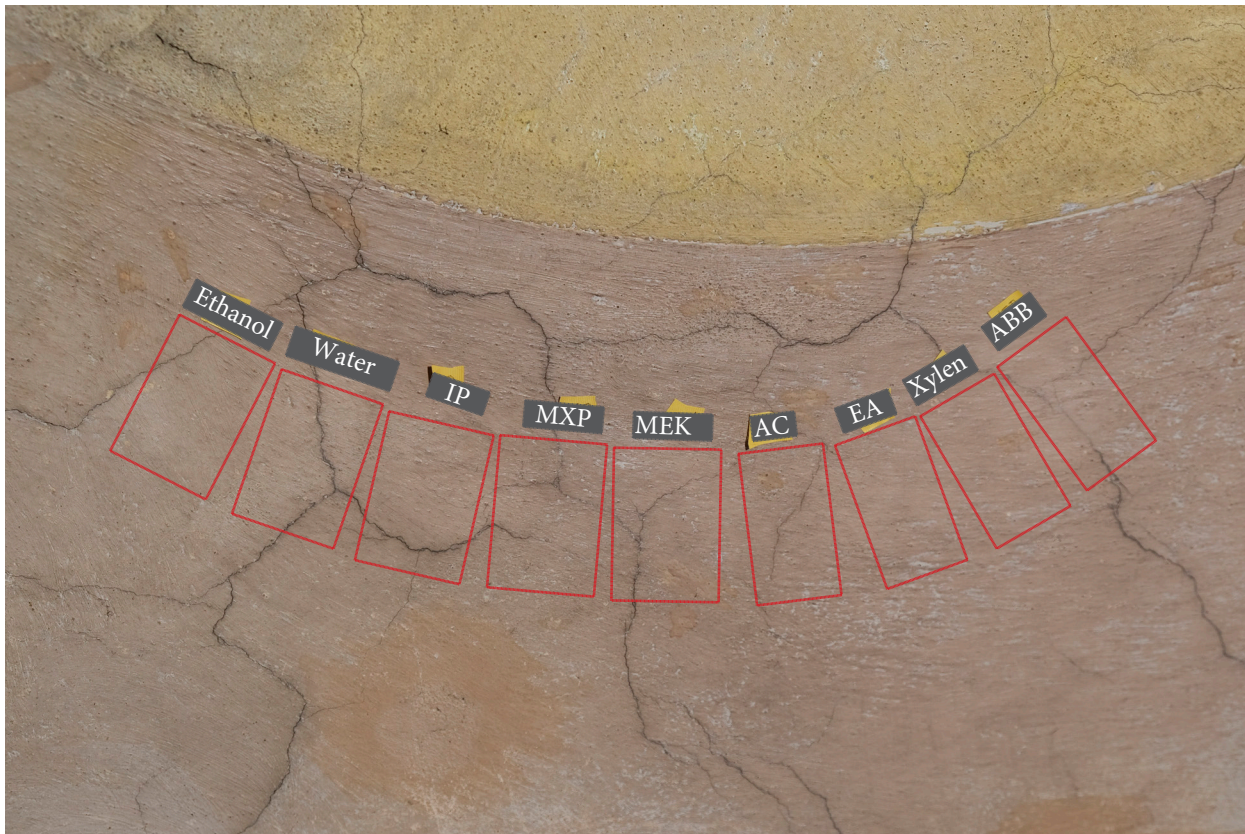
Obr. 57: Postupná injektáž statické trhliny pomocí zatmelených PVC hadiček.

Obr. 58: Detail na zatmelenou PVC hadičku v průběhu injektáže.



Obr. 59: Zkouška mechanického odstranění tmavé retuše skalpelem v oblasti mraků. Stav po vytmelení, v průběhu čištění.

Obr. 60: Prvotní zkouška čištění, 1-Suché čištění, 2-ethanol, 3-Nasycený roztok uhličitanu amonného ve vodě + Vodní pára, 4-Aceton. Červenou šipkou je označeno místo odběru vzorku na rozhraní druhotného tmelu a originální omítky.



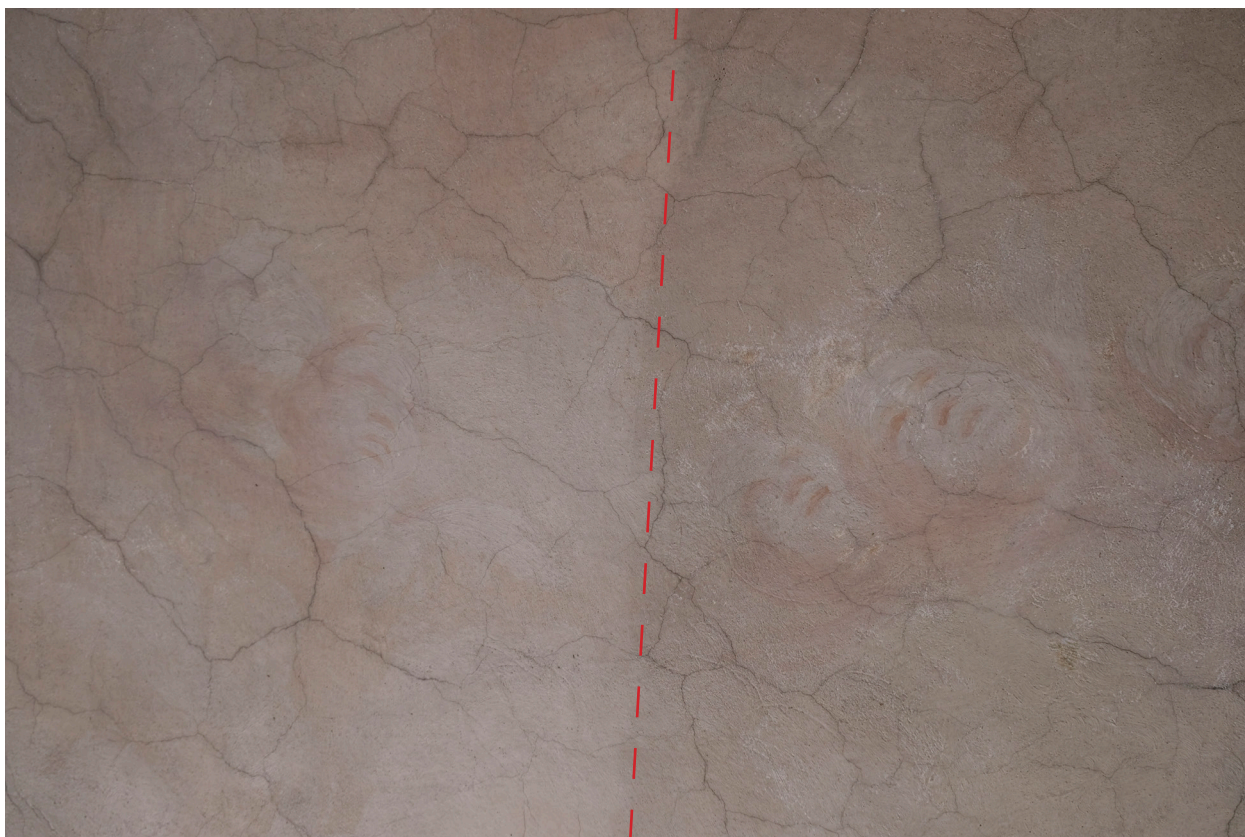
Obr. 61: Zkouška čištění s cílem zjistit charakter lesklé fixační vrstvy. IP-Isopropanol, MXP-Metoxipropanol, MEK-Methylethylketon, AC-Aceton, EA-Ethylacetát, ABB-Abbeizer Extrem. Okraj svatozáře.

Obr. 62: Kontrola míry lesku v bočním nasvícení. Z důvodu odstranění prachových depositů se povrch zdál lesklejší. Horní okraj svatozáře.



Obr. 63: Průběh suchého čištění.

Obr. 64: Průběh suchého pomocí houby Akapad a mokrého čištění pomocí nasyceného roztoku uhličitanu amonného, vody a čistících štětců



Obr. 65: Průběh mokrého čištění.

Obr. 66: Průběh mokrého čištění.



Obr. 67: Zkouška čištění. Zabal s nasyceným roztokem uhličitanu amonného. Zabal byl ponechán nejprve 1 hodinu, 3 hodiny a 10 hodin. Následné dočištění párou.

Obr. 68: Dočištění druhotné retuše pomocí vodní páry pod tlakem a postupné odmyváání mikroporézní houbou *Blitz-Fix*.



Obr. 69: Zkouška čištění pomocí zábalu s nasyceným roztokem uhličitanu amonného.

Obr. 70: Odstranění zákalu a přemaleb dočištěním vodní párou.



Obr. 71: Redukce ztmavých primárních prasklin pomocí skelného vlákna.

Obr. 72: Oblast dočištěná skelným vláknem.

Průběh restaurování, stavy před restaurováním a po restaurování

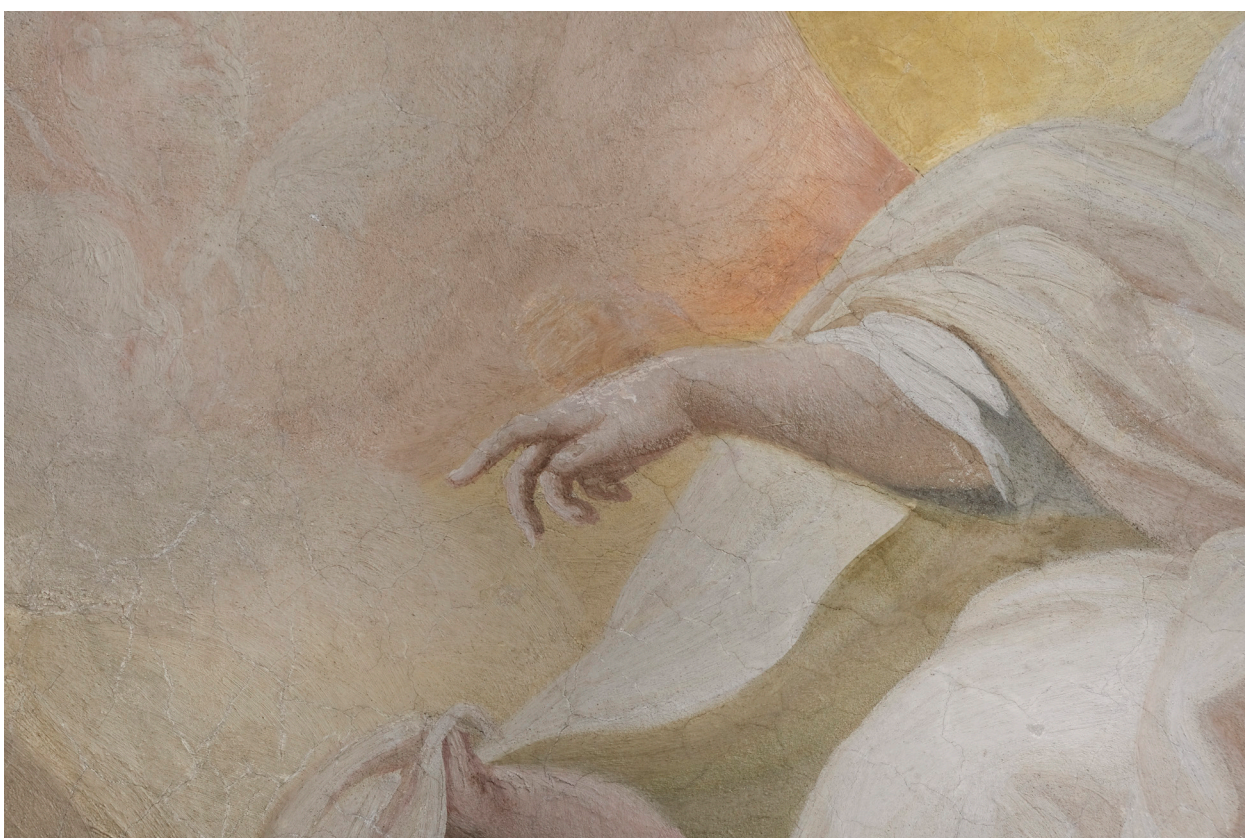


Obr. 73: Průběh redukce nevhodné retuše pomocí zábalů s nasyceným roztokem uhličitanu amonného po odstranění esteticky nevyhovujících tmelů.

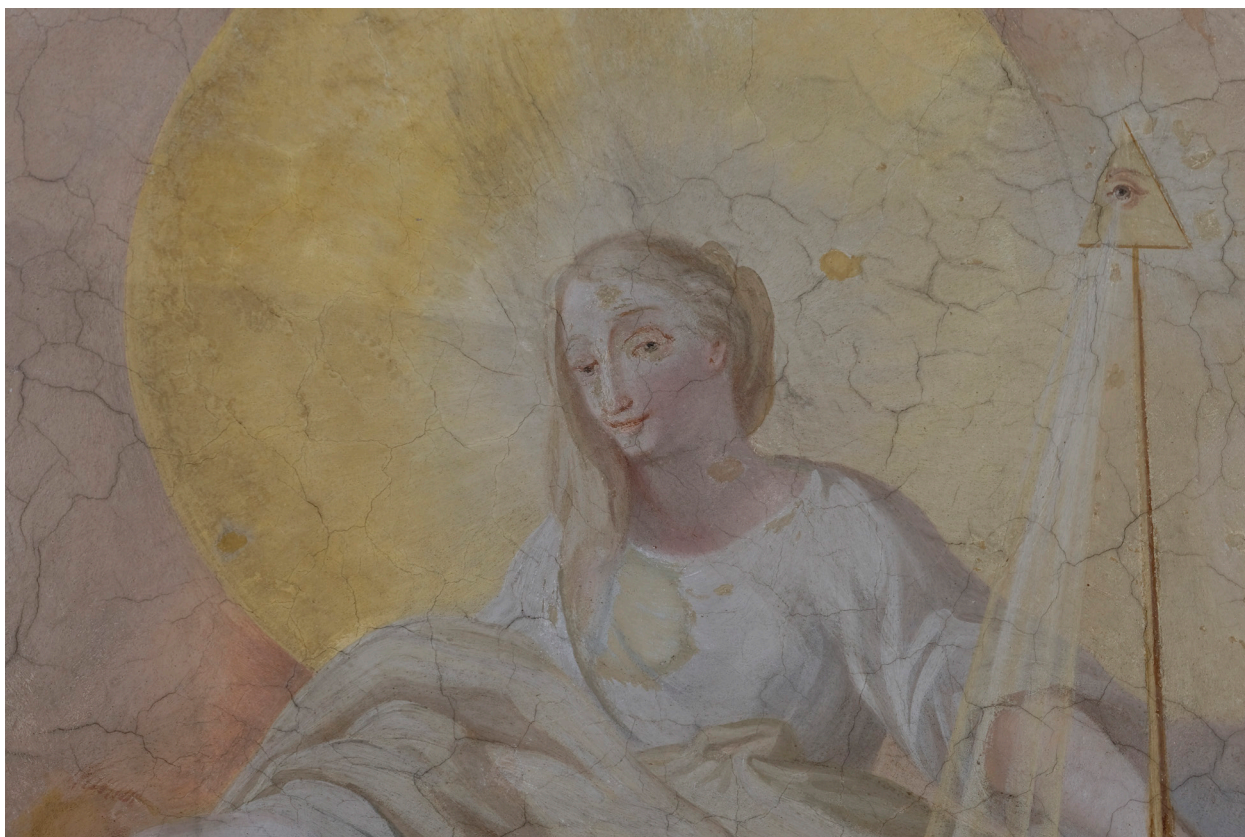
Obr. 74: Dočištění originálu kolem druhotného tmelu v oblasti pravého chodidla figury pomocí vodní páry pod tlakem a mikroporézní houby *Blitz-Fix*.



Obr. 75: Arbocelový zábal s nasyceným roztokem uhličitanu amonného. Pravá paže figury.



Obr. 76: Dočištění inkarnátu párou od zbytků přemaleb. Pravá paže figury.



Obr. 77: Alegorie Boží Moudrosti v průběhu mokrého čištění v horní části snímku.

Obr. 78: Alegorie Boží Moudrosti v průběh mokrého čištění v levé části snímku a vyčištěný obdélník vpravo.



Obr. 79: Druhotná retuš v oblasti pravé nohy figury Boží Moudrosti.

Obr. 80: Odkrytí přetmeleného originálu. Po odkryvu byl zřetelně vidět delší ukazováček.



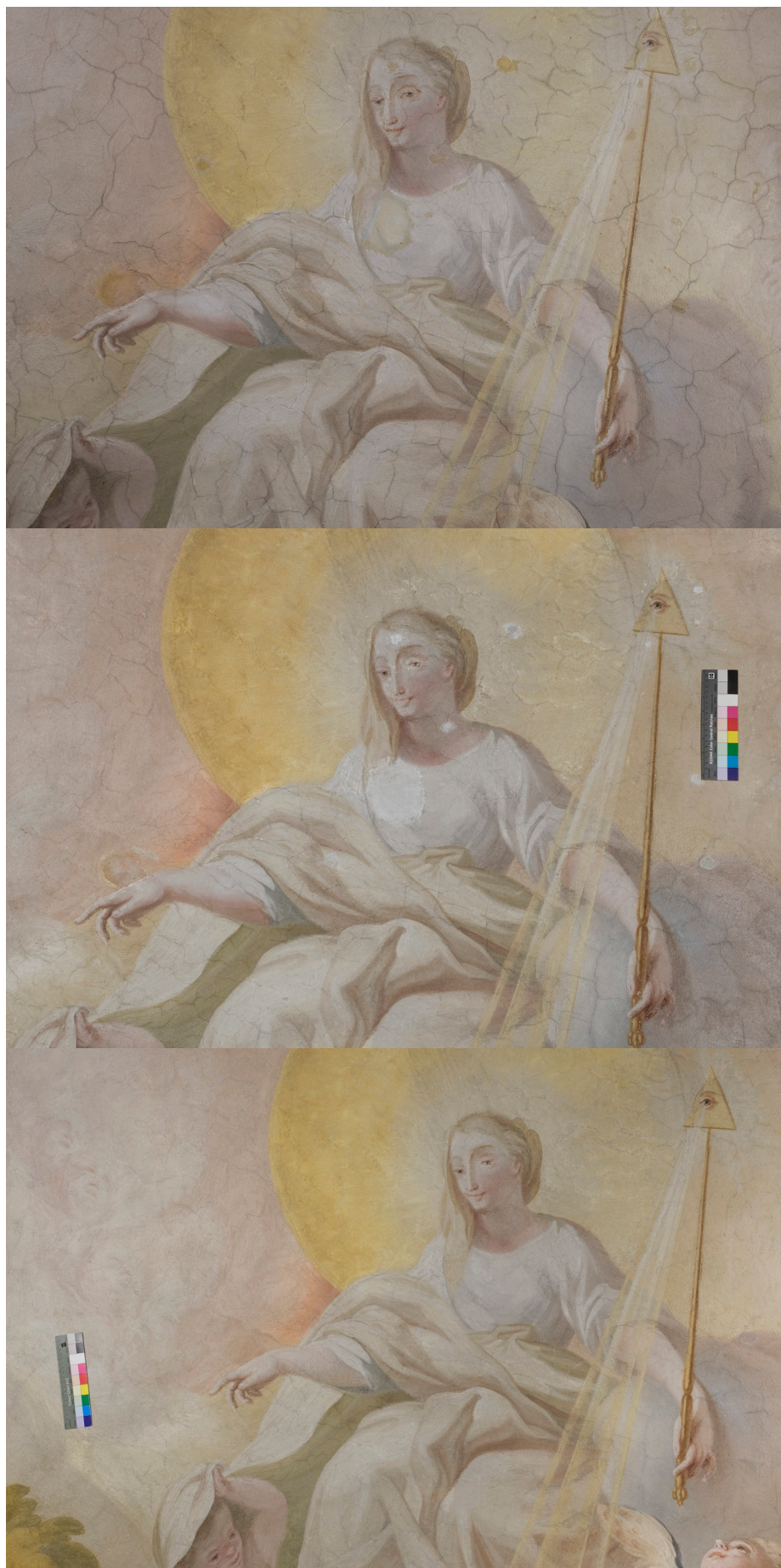
Obr. 81: Potlačení druhotné retuše na tmelu vápennou barvou. Stav před retuší. Pravá noha figury Boží Moudrosti.

Obr. 82: Rekonstrukce drapérie a chodidla. Stav po restaurování. Pravá noha figury Boží Moudrosti.



Obr. 83: Pravá paže figury Boží Moudrosti. Stav před restaurováním.

Obr. 84: Pravá paže figury Boží Moudrosti. Stav po restaurování.



Obr. 85:
Figura Boží Moudrosti, stav
před restaurováním, po
vytmělení a dočištění, stav po
retuši.



Obr. 86:
Alegorie Boží
Moudrosti
se skupinou
andělů nesoucí
nápis Tolle,
lege. Stav před
restaurováním.



Obr. 87:
Alegorie Boží
Moudrosti se
skupinou andělů
nesoucí nápis
Tolle, lege. Stav
po výtmeření
a docíštění.



Obr. 88: Boží Moudrost se skupinou andělů nesoucí nápis „Tolle, lege”. Stav po restaurování.



Obr. 89: Sekvence obličej allegorie Boží Moudrosti. Stav před restaurováním, po dočištění a odstranění tmelů, po vytmelení a po retuši.



Obr. 90: Dvojice andílků. Stav před restaurováním.



Obr. 91: Dvojice andílků. Stav po dočištění a vytmelení.



Obr. 92: Dvojce andlíků společně se zapojeným větším tmelem v oblasti pravého chodidla figury. Stav po restaurování.



Obr. 93: Celkový pohled na figurální výjev Boží Moudrost se skupinou andělů nesoucí nápis "Tolle, lege". Stav před restaurováním. Složeno z několika snímků v programu Adobe photoshop.



Obr. 94: Celkový pohled na figurální výjev Boží Moudrost se skupinou andělů nesoucí nápis "Tolle, lege". Stav po výtmelení v průběhu čištění. Složeno z několika snímků v programu Adobe photoshop.



Obr. 95: Celkový pohled na figurální výjev Boží Moudrost se skupinou andělů nesoucí nápis Tolle, lege. Stav po restaurování. Složeno z několika snímků v programu Adobe photoshop.

10 Grafická dokumentace

Seznam grafických příloh - Legenda

1) Grafické vyznačení přiděleného úseku

2) Původní technika - grafický zákres ryté kresby a denních dílů



Rytá kresba



Denní díly - giornate

3) Poškození - grafický zákres prasklin, dutin, zpráškovatělá barevná vrstva



Praskliny



Zpráškovatělá barevná vrstva



Dutiny



Oblast s primárními trhlinami

4) Předchozí zásahy - grafický zákres druhotných tmelů, retuše, zkoušek čištění, přemalby, lesklý charakter



Druhotné tmely



Druhotná retuš



Předchozí zkoušky čištění



Přemalba



Lesklý povrch

5) Vlastní zásah - grafický zákres konsolidace, suchého čištění, mokrého čištění, dočištění vodní párou, retuše a tmelení



Suché čištění



Retuš



Mokrý čištění



Tmelení

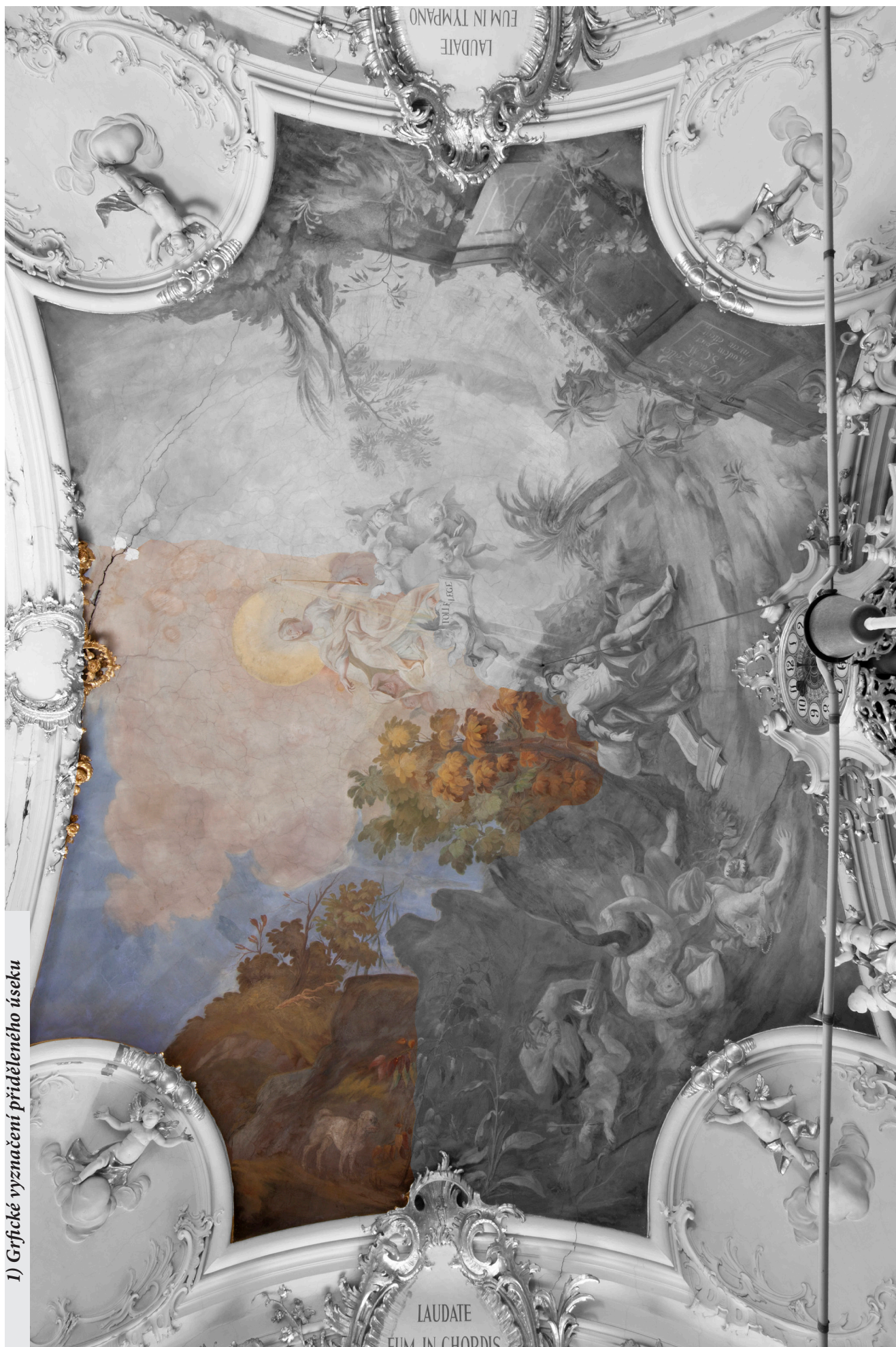


Čištění párou

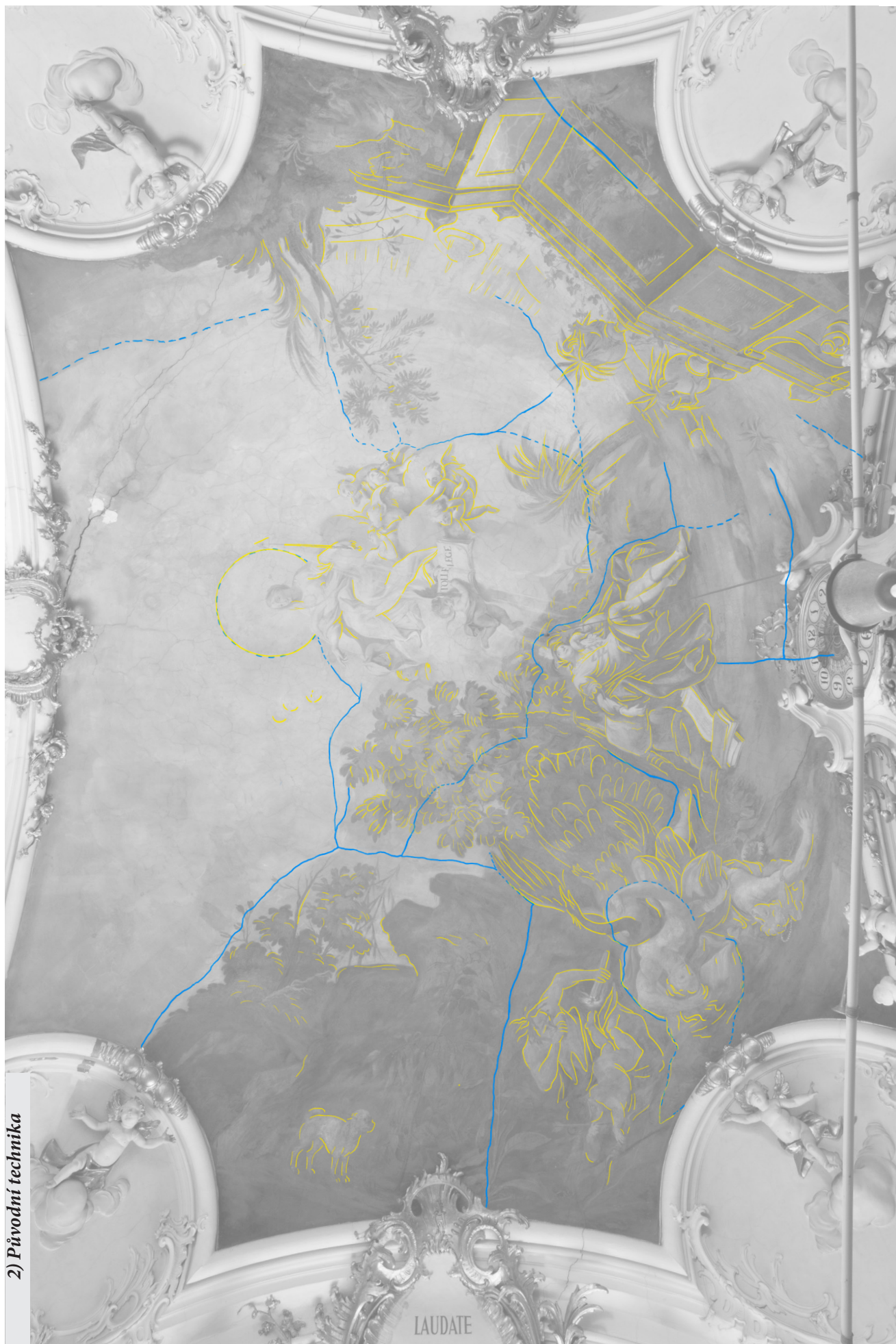


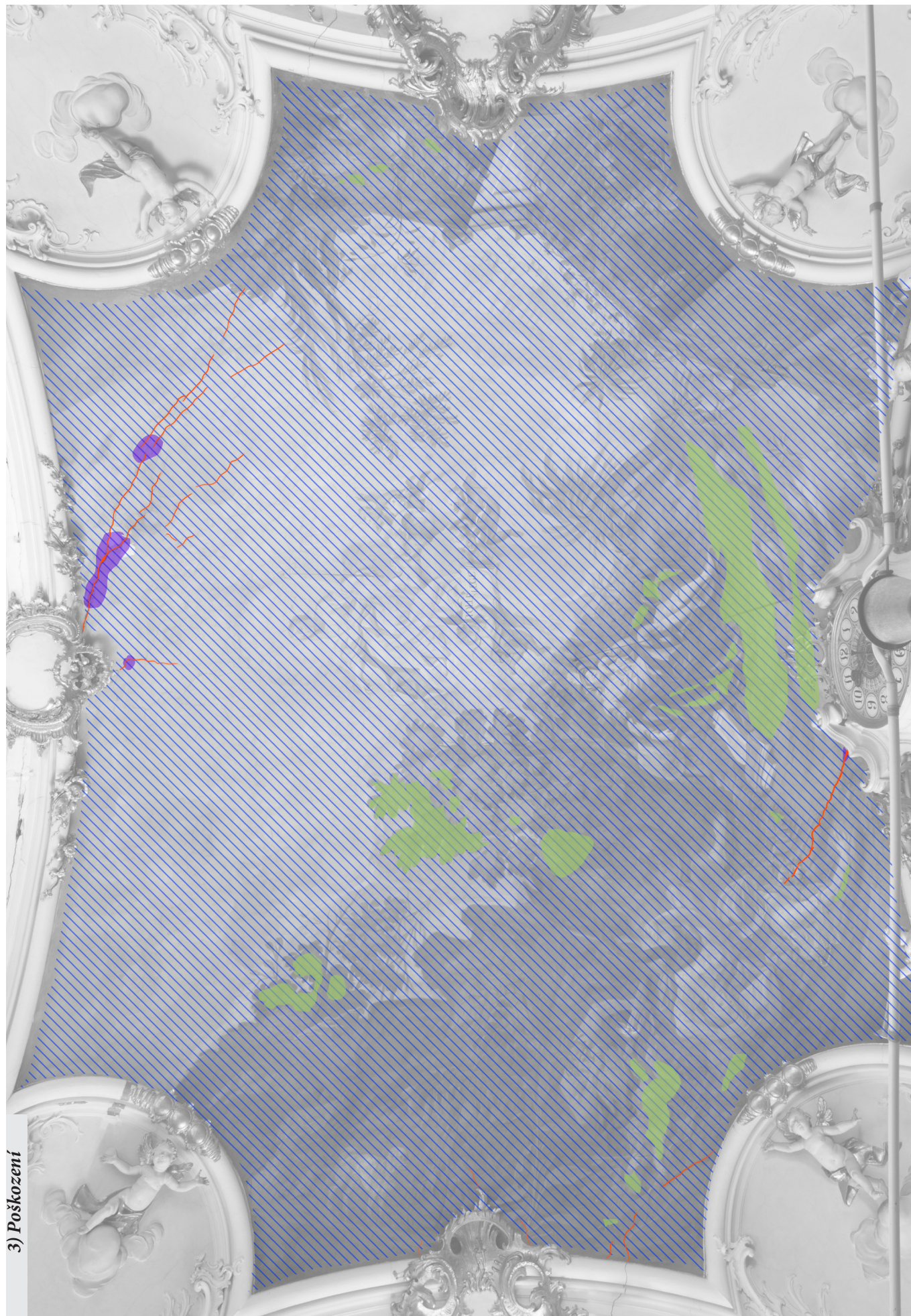
Injektáž

1) Grfické vyznačení přiděleného úseku



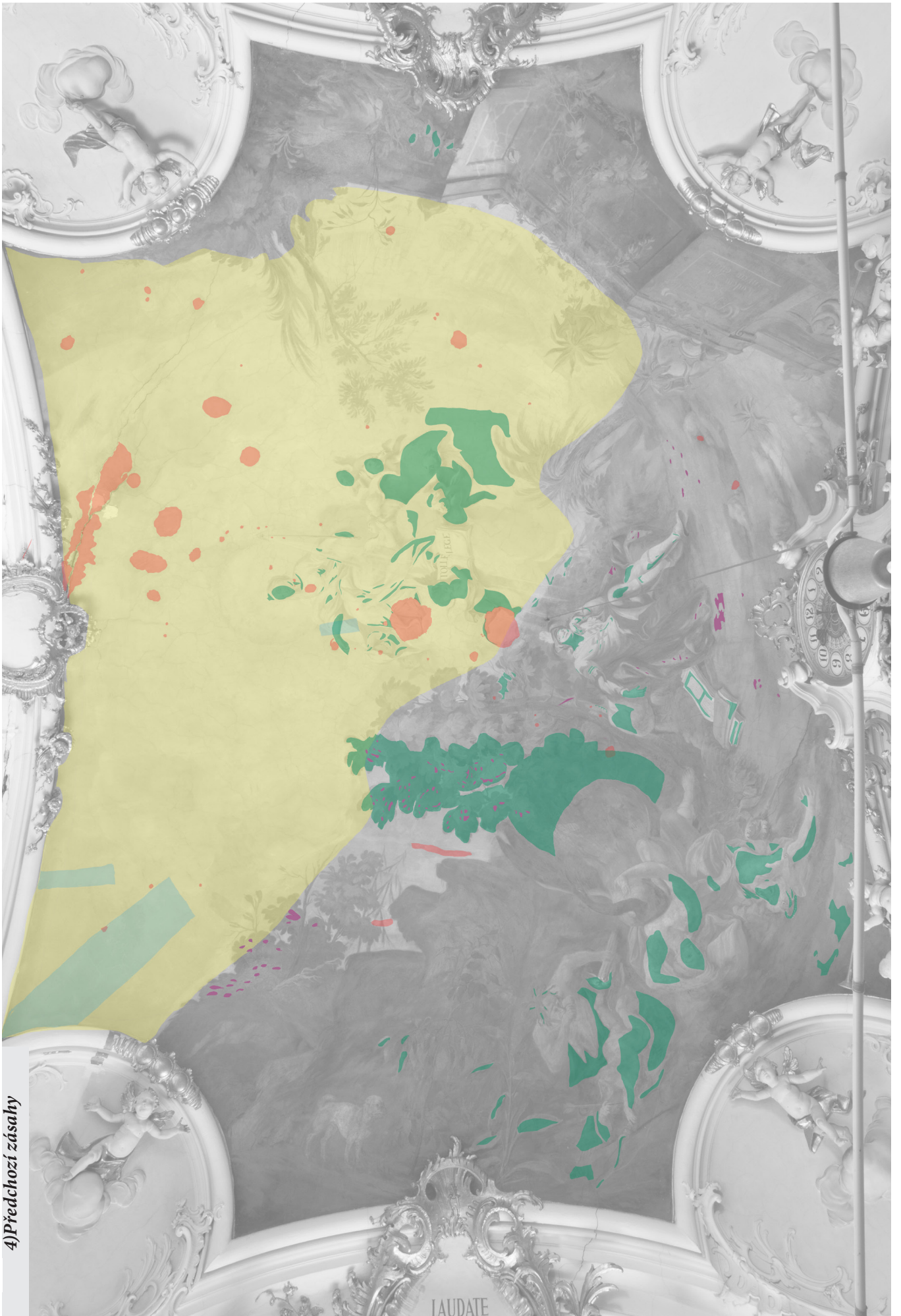
2) Původní technika



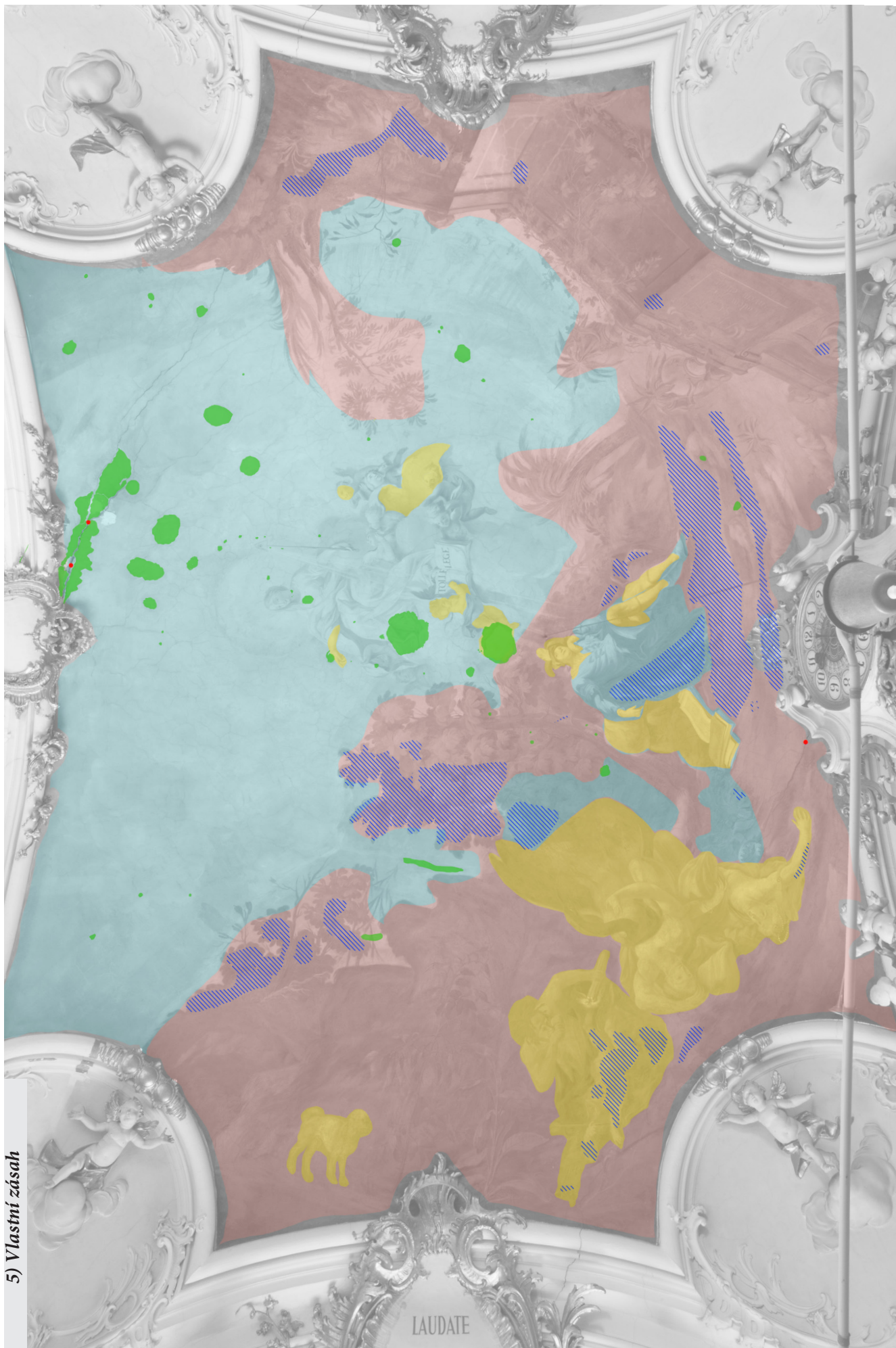


3) Poškození

4) Předchozí zásahy



5) Vlastní zásah



11 Textové přílohy

Seznam příloh

Textová příloha č. 1: Chemickotechnologický průzkum

Abteilung für Konservierung und Restaurierung
Referat Naturwissenschaftliches Labor
labor@bda.gv.at

DI Dr. Robert Linke
Referatsleiter

robert.linke@bda.gv.at
+43 1 534 15-850 463
+43 676 88325507
Arsenal, Objekt 15, Tor 4, 1030 Wien

LABORBERICHT

| | | | |
|-----------------------|--|-------------------|-------|
| Geschäftszahl: | 2022-0.556.568 | Grundzahl: | 07089 |
| Bericht Nr.: | 463/22 | W-Nr.: | |
| Ort: | 4975 Suben, OÖ | TS-Nr.: | |
| Objekt: | Ehem. Stiftskirche | MS-Nr.: | |
| Betrifft: | Deckenmalerei, Fassungsanalyse | | |
| EinbringerIn: | Dipl. Rest. Jörg Riedel, i.A. BDA, LK OÖ/Weiss | | |
| Probenahme: | Dipl. Rest. Jörg Riedel, 17.07.2022 | | |

Fotodokumentation der Probeentnahme vorliegend.

Kartierung der Probeentnahme vorliegend.

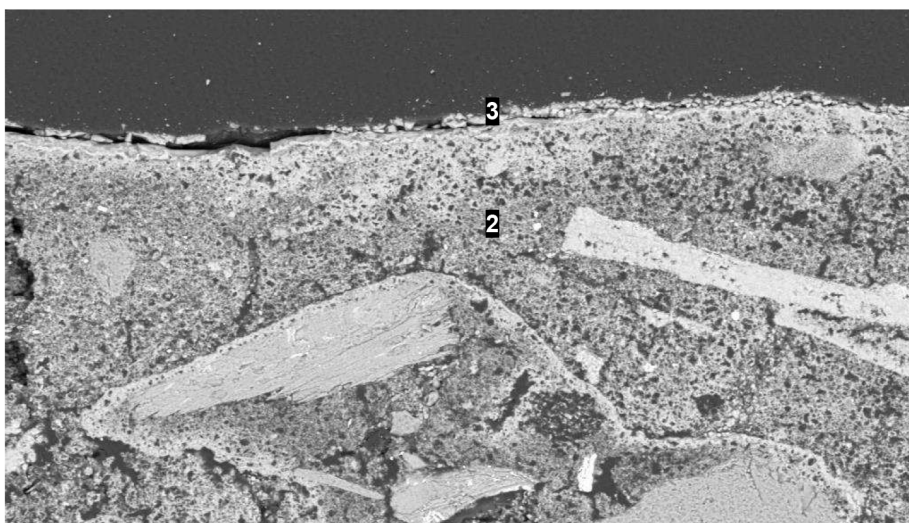
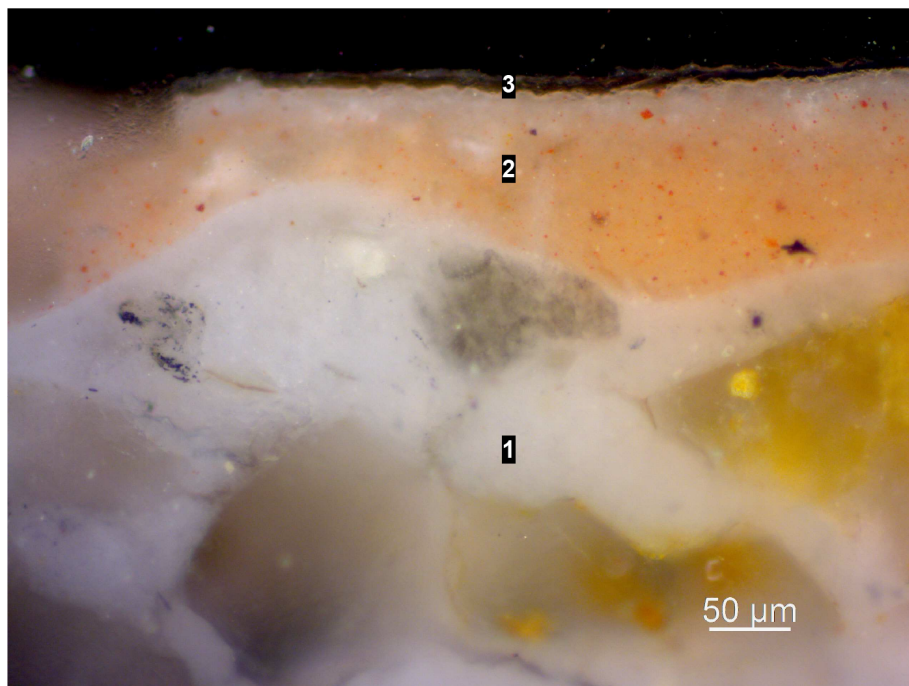
Ergeht an:

BDA, Landeskonservatorat Oberösterreich, Rainerstraße 11, 4020 Linz
Dipl. Rest. Mag. Christoph Tinzl, im Hause
Dipl. Rest. Jörg Riedel, Elisenstraße 43/16, 1230 Wien

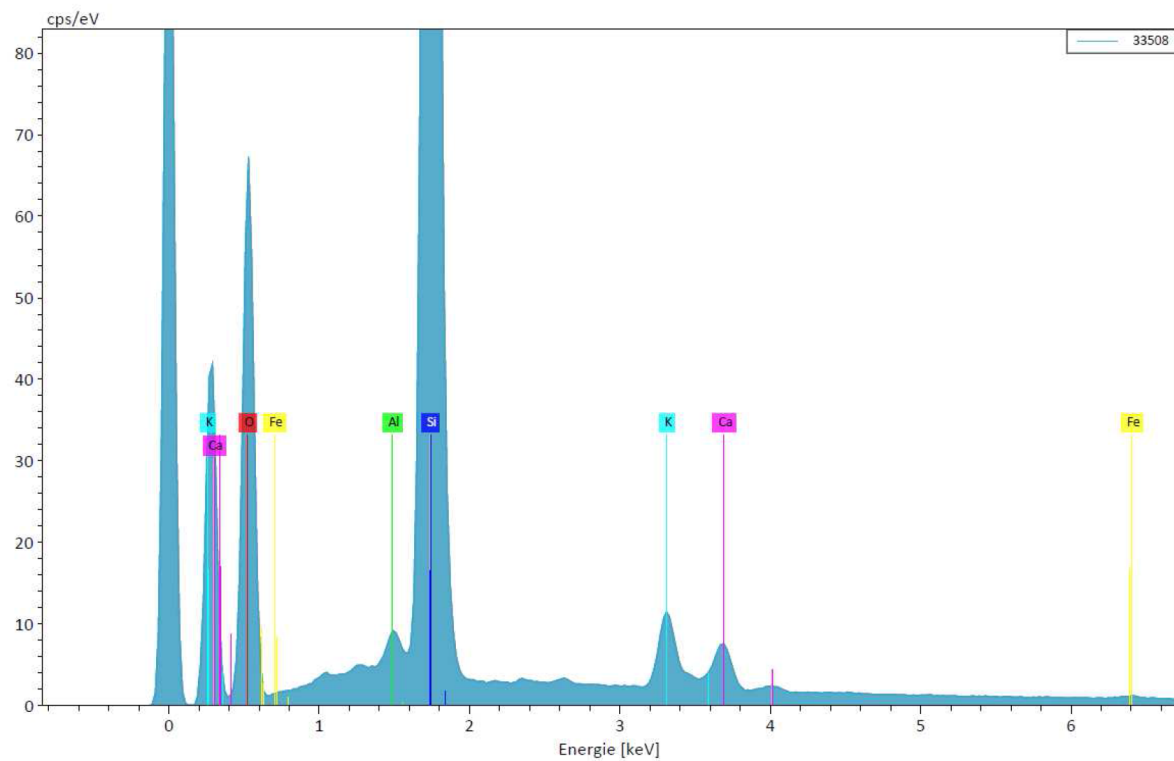
Bericht erstellt am 02.08.2022

463/22: Deckenmalerei oberhalb der Orgelempore, Himmelsbereich, glänzender Überzug, Materialanalyse

- 1) Heller Kalkputz mit Silikat Körnung bis ca. 300 µm Korngröße. Leichte Schwundrissbildung aufgrund des fehlenden Feinanteils (s. Bericht S. 5). (Putz daher vermutlich mürbe oder zumindest weich) An der Oberfläche Sinterhaut
- 2) 100 µm relativ dick aufgetragene hellrote Kalkmalerei mit Rotocker in Kalkbindung (secco). An der Oberfläche bis ca. 50 µm tiefreichende Versinterung wie sie für feuchteinduzierte Rekristallisationsprozesse typisch ist
- 3) 5 µm glasig transparenter und relativ harter Überzug aus Wasserglas. In der chemischen Analyse konnte überwiegend Si mit geringen Anteilen an K und Ca nachgewiesen werden. Der Überzug ist sehr hart und spröde und splittert leicht.

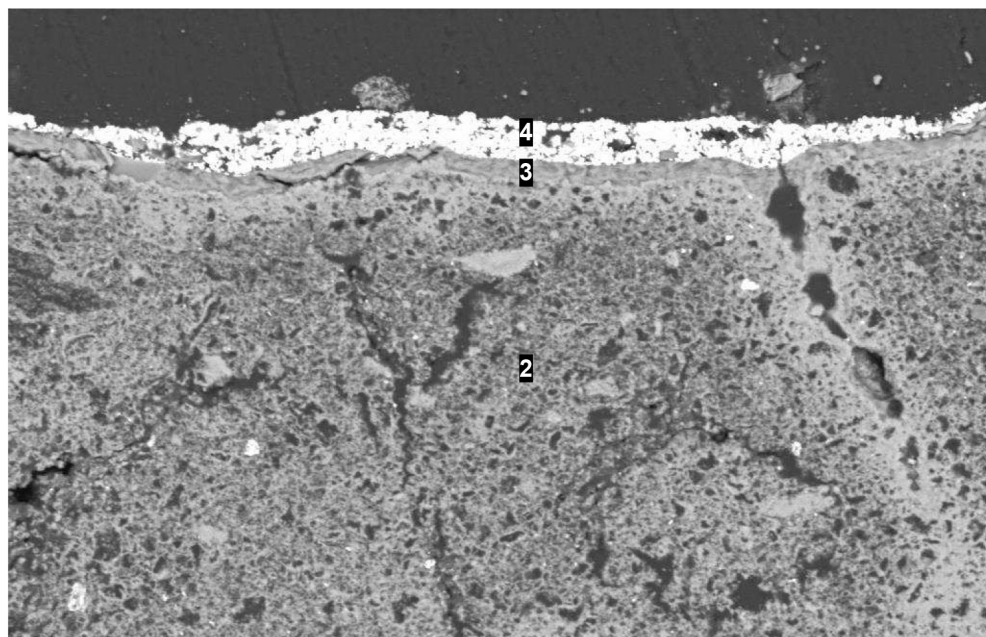
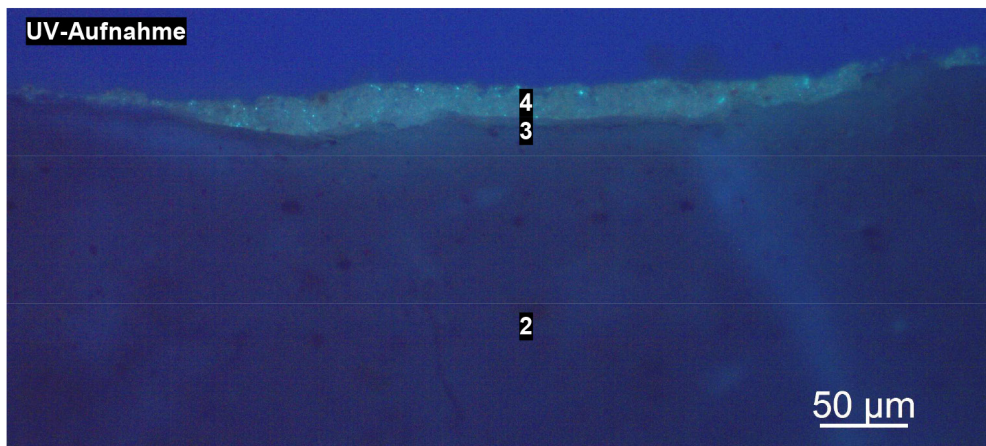
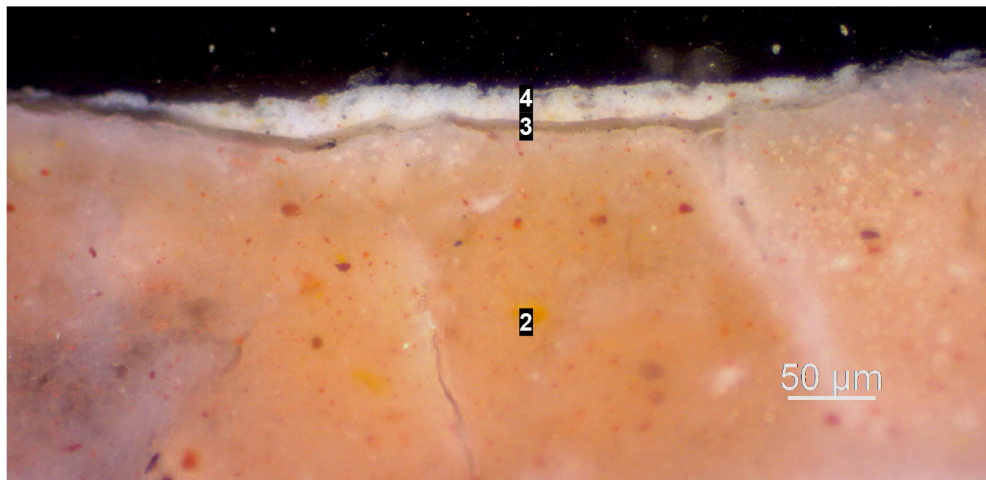


Energiedispersives Röntgenspektrum des transparenten Überzuges mit der Hauptkomponente Si sowie Spuren an K und Ca:



| Name | Datum | Zeit | HV [kV] | Real [s] | Life [s] | Tot [%] | Impulse | Eingang [kcps] | Ausgang [kcps] |
|-------|------------|----------|---------|----------|----------|---------|---------|----------------|----------------|
| 33508 | 01.08.2022 | 13:26:23 | 20,0 | 31,2 | 29,2 | 7 | 2287451 | 68,5 | 64,0 |

In einem weiteren Bereich der Probe konnte eine helle/hellrote Übermalung, bestehend aus Zinkweiß und Bleiweiß nachgewiesen werden (4), die auf dem Überzug aufgetragen worden ist.



Bei anderen Bereichen der Probe ist die Farbe auch in die Krakeleerisse der originalen Malerei eingedrungen:

