



UNIVERZITA
PARDUBICE
FAKULTA
RESTAUROVÁNÍ

Nové udržitelné postupy v restaurování / konzervování nástěnných maleb, sgrafita a povrchu architektury

Distanční opora

Praktické zkušenosti s nanovápennými suspenzemi a jejich směsmi s ethylsilikáty pro konsolidaci nástěnných maleb

Nanomateriály a nanotechnologie

1 nm = 0,000 000 001 m

1 nm = 10^{-9} m = 10^{-6} mm

1 m = 10^9 nm = 1 000 000 000 nm



Země

Průměr = 12 756 270 m

Vztah 1 metru k 1 nanometru

1 / 10^{-9}

Skleněná kulička

Průměr = $12\,756\,270 \cdot 10^{-9}$ m = 1,28 cm



Základní charakteristika – nanovápno vs. běžné vápno

vápenná kaše/mléko



vápenná voda



vápenná
nanosuspenze



Základní charakteristika – nanovápno vs. běžné vápno

Vápenná kaše/mléko

- suspenze pevných částic Ca(OH)_2 ve vodě
- obsah Ca(OH)_2 100g - 300g v 1 litru
- průměrná velikost částic cca. 6000–20 000 nm
- částice cca. 100 x větší než u nanovápna

Vápenná voda

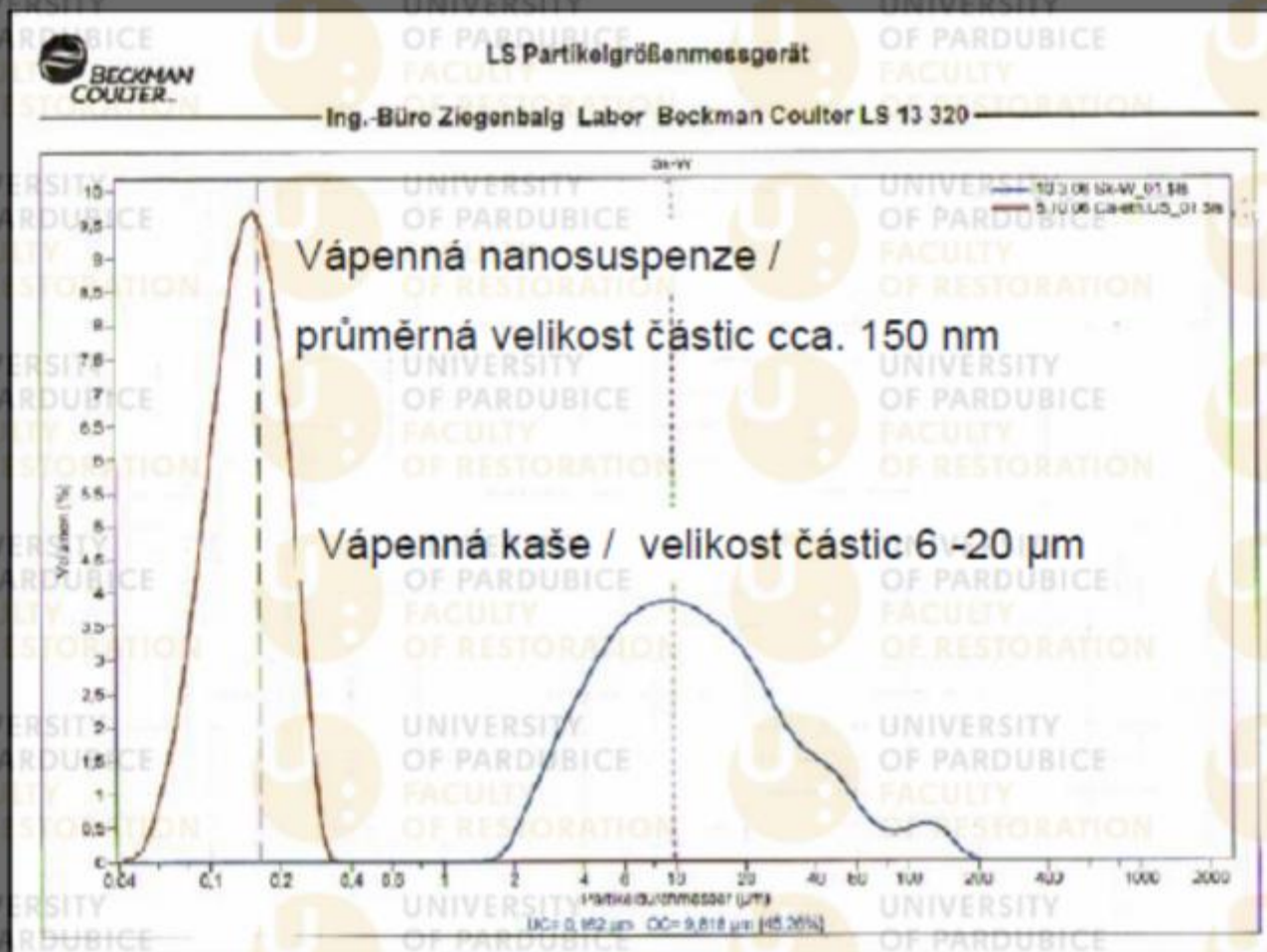
- nasycený vodný roztok Ca(OH)_2
- obsah Ca(OH)_2 max. 1,6 g na litr
- velikost „částic“ < 1 nm
- rozpuštěné „částice“ cca. 400 x menší než u nanovápna

Vápenná nanosuspenze

- suspenze pevných částic Ca(OH)_2 v nevodné kapalině – organickém rozpouštědle (alkohol)
- obsah Ca(OH)_2 5g - 200g na litr
- průměrná velikost částic cca. 100 - 200 nm

Základní charakteristika – nanovápno vs. běžné vápno

Distribuce velikosti částic

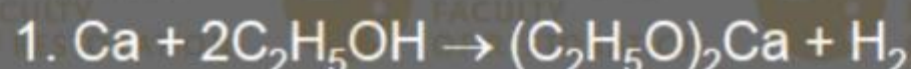


Příprava (produkce) nanosuspenzí hydroxidu vápenatého

- Reakce hydroxidu sodného / a chloridu vápenatého



- Z alkoholátu vápenatého



- Mechanickou cestou – mletí Ca(OH)_2 ve speciálním mikrokuličkovém mlýnku a následná separace ultra-centrifugou

Příprava alkoholátů

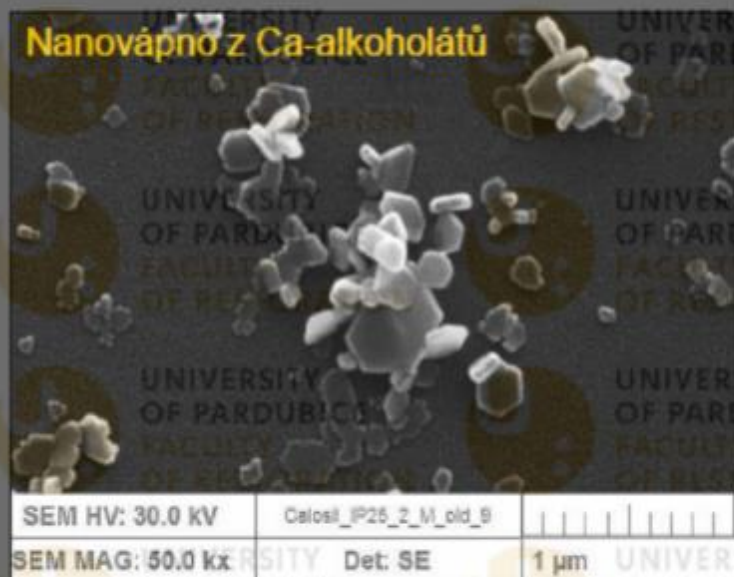


Ultra-centrifuga



Velikost částic a morfologie / SEM – SEI

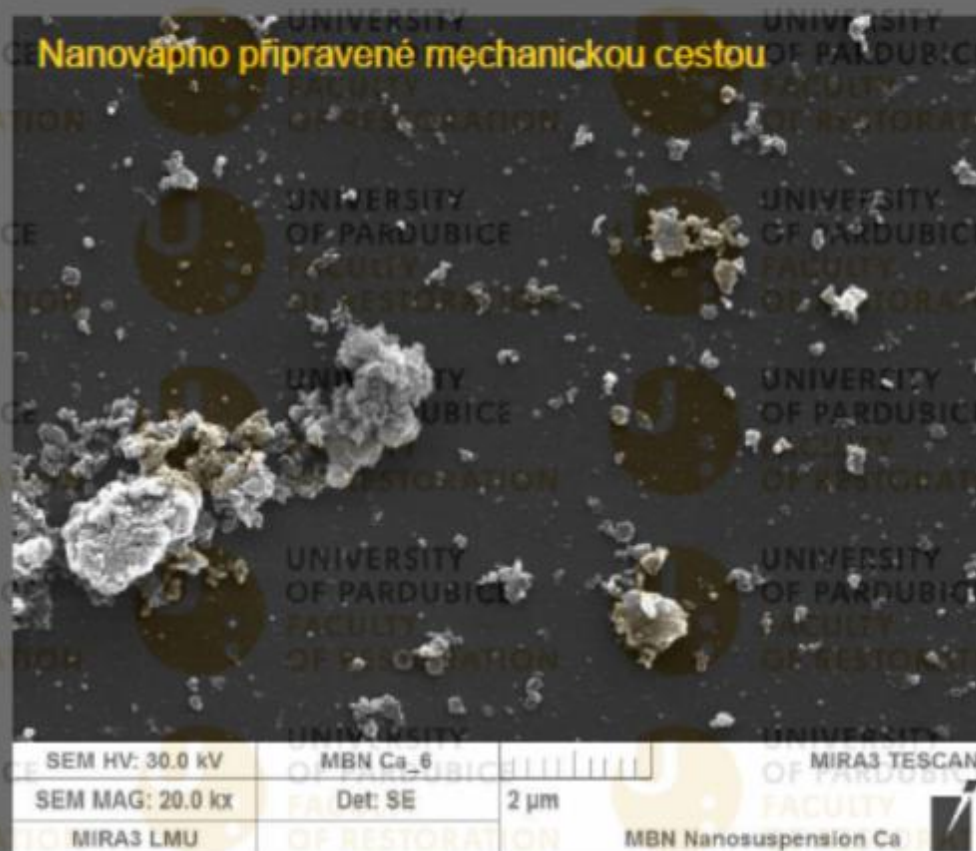
Nanovápno z Ca-alkoholátu



Nanovápno připravené z hydroxidu sodného a chloridu vápenatého



Nanovápno připravené mechanickou cestou



Shrnutí základních vlastností

- Ne-vodná média
- Vysoká reaktivita – rychlá karbonatace
- Žádné vedlejší produkty
- Výsledný produkt – uhličitan vápenatý
- Nižší schopnost penetrace v porovnání s roztoky
- Nižší konsolidační účinek v porovnání s polymery
- Garantovaná stabilita po dobu cca 3 měsíců

Využití nanosuspenzí hydroxidu vápenatého v oblasti ochrany kulturního dědictví

- Strukturální konsolidace porézních anorganických materiálů – omítky, štuky, vápencové sochy a prvky, ...
- Konsolidace barevných vrstev – nástěnné malby, fasádní nátěry, architektonické povrchy, ...
- Vyplnění jemných prasklin
- Preventivní péče

Výzkumné projekty s účastí FR UPCE



• „STONECORE“, 2008-2011 (Stone conservation for the refurbishment of buildings, project number 213651; FP7-NMP-2007-SME-1)



• „NANOFORART“; 2012-2014 (Nano-materials for the conservation and preservation of movable and immovable artworks; 282816; FP7-ENV-NMP-2011)



• „NANOLITH“; 2013-2014 (Use of nanomaterials for sustainable conservation of sculptural and architectural works made of Leitha-limestone; M00264; program: European territorial cooperation, Austria – Czech republic 2007 – 2013)

Laboratorní zkoušky na panelech

- Jako podklad pro testování *in situ* byly připraveny zkušební panely.
- Zkoušky byly prováděny na panelech opatřených vápennými omítkami a simulací zpráškovatělých vrstev malby.
- Tyto zkoušky pomohly vybrat nejvíce efektivní a zároveň nejbezpečnější konsolidanty, nastavit nejlepší techniku nanášení a zabránit co největšímu množství potencionálních rizik aplikace.

1a	2b	3c	4d	5b	6c	7a	8b	9c
A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
NR-1P ₁	NR-1P ₂	NR-1P ₃	NR-1P ₄	NR-1P ₅	NR-1P ₆	NR-1P ₇	NR-1P ₈	NR-1P ₉
C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	NR2-E ₉
ZFB ₁	ZFB ₂	ZFB ₃	ZFB ₄	ZFB ₅	ZFB ₆	ZFB ₇	ZFB ₈	NR2-E ₉

Zkoušené konsolidanty

Vápenné nanosuspenze:

IBZ – SALZCHEMIE
GMBH & CO. KG

CaLoSiL E25

CONSORZIO
INTERUNIVERSITARIO PER LO
SVILUPPO DEI
SISTEMI A GRANDE
INTERFASE

CSGI E

CSGI 1P

ZENTRUM FÜR
BUCHERHALTUNG
GMBH

ZFB 703i

ZFB 734e

MBN
NANOMATERIALIA
SPA

MBN Nf070

Ethylsilikáty (organokřemičitany):

REMMERS

KSE 300HV

KSE 100

KSE 300E

Pozorování sedimentace suspenzí (zkušební sada I)

- Sedimentace byla pozorována ke stanovení stability všech suspenzí.
- Porovnání bylo prováděno na neředěných i ředěných suspenzích (na 5 g/l).
- Také byl pozorován rozdíl stability u suspenzí ředěných 99,8% a technickým etanolem

Seznam a označení směsí ve zkumavkách

	Název suspenze	Koncentrace Ca(OH)_2	Redidlo
1	CaLoSiL® E25	30,28 g/l	-
2	CSGI E	11,35 g/l	-
3	CSGI 1P	10,75 g/l	-
4	ZFB 703i	77,64 g/l	-
5	ZFB 734e	153,2 g/l	-
6	MBN Nř070	19,32 g/l	-
7	CaLoSiL® E25	5 g/l	99.8% etanol
8	CaLoSiL® E25	5 g/l	Technický etanol

	Název suspenze	Redidlo	Redidlo
9	CSGI E	5 g/l	99.8% etanol
10	CSGI E	5 g/l	Technický etanol
11	CSGI 1P	5 g/l	1-propanol
12	ZFB 703i	5 g/l	isopropanol
13	ZFB 734e	5 g/l	99.8% etanol
14	ZFB 734e	5 g/l	Technický etanol
15	MBN Nř070	5 g/l	isopropanol

Sedimentace suspenzí (sada I)

1. den

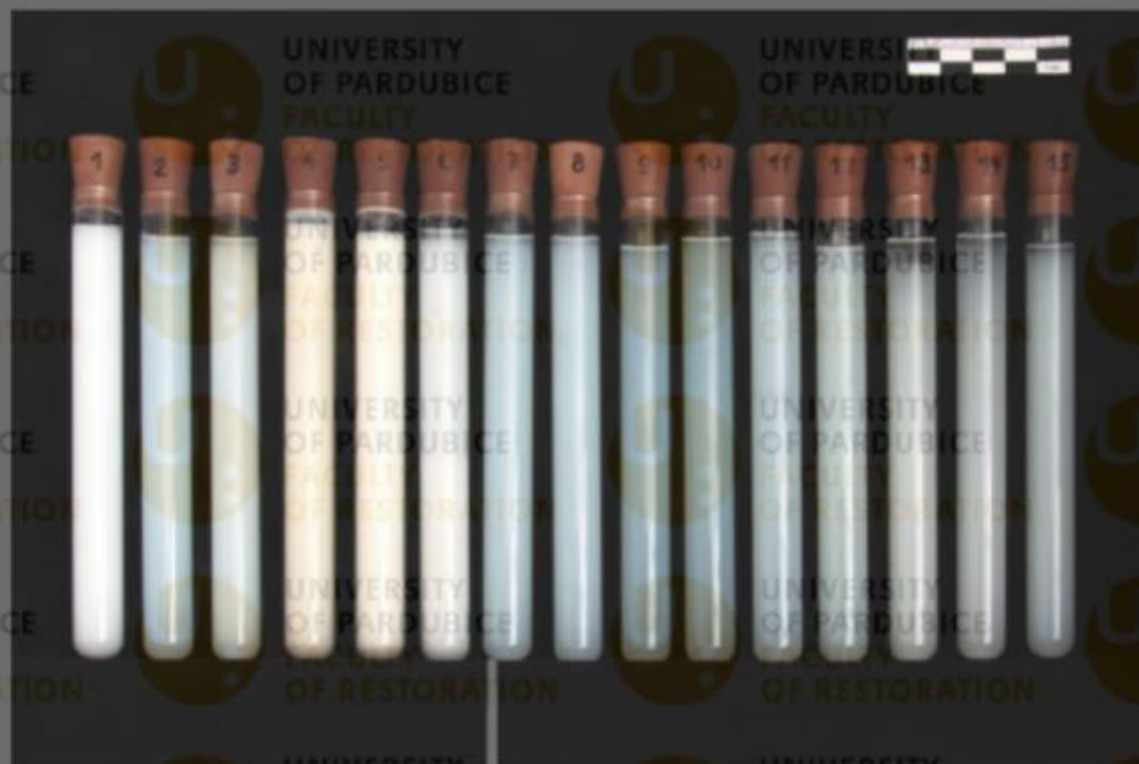


Neředěné suspenze

Suspenze v koncentraci 5g/l

Sedimentace suspenzí (sada I)

2. den

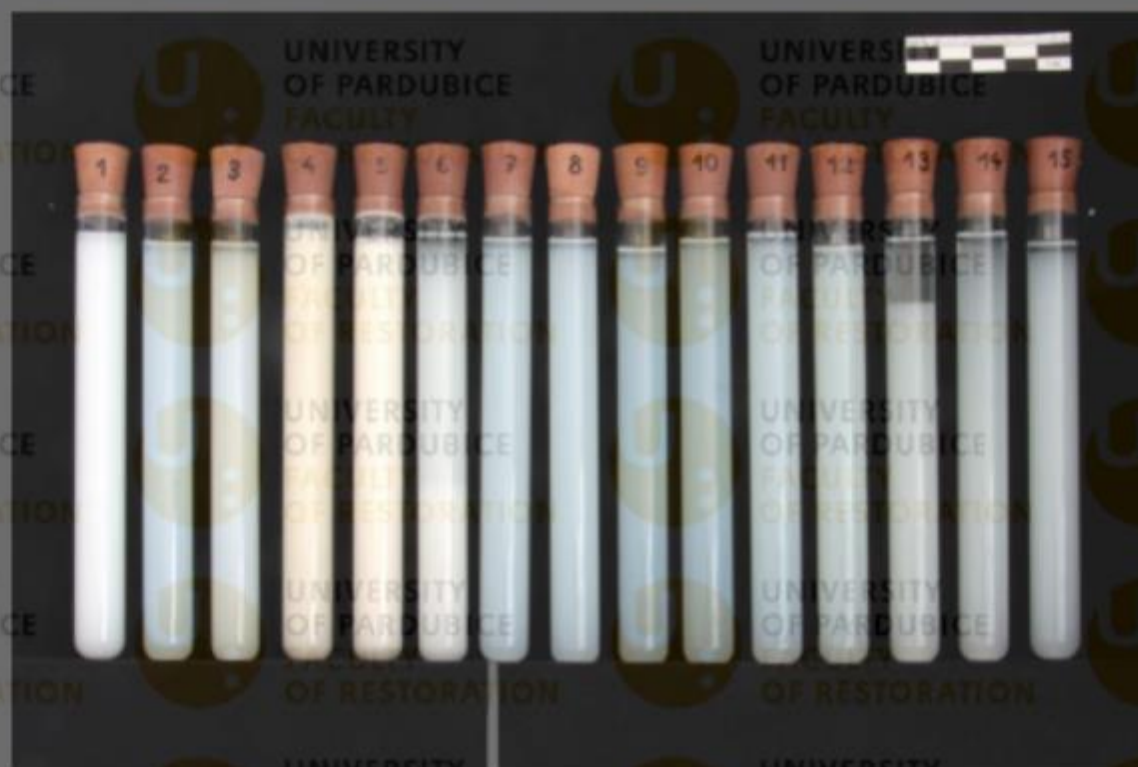


Neřaděné suspenze

Suspenze v koncentraci 5g/l

Sedimentace suspenzí (sada I)

3. den

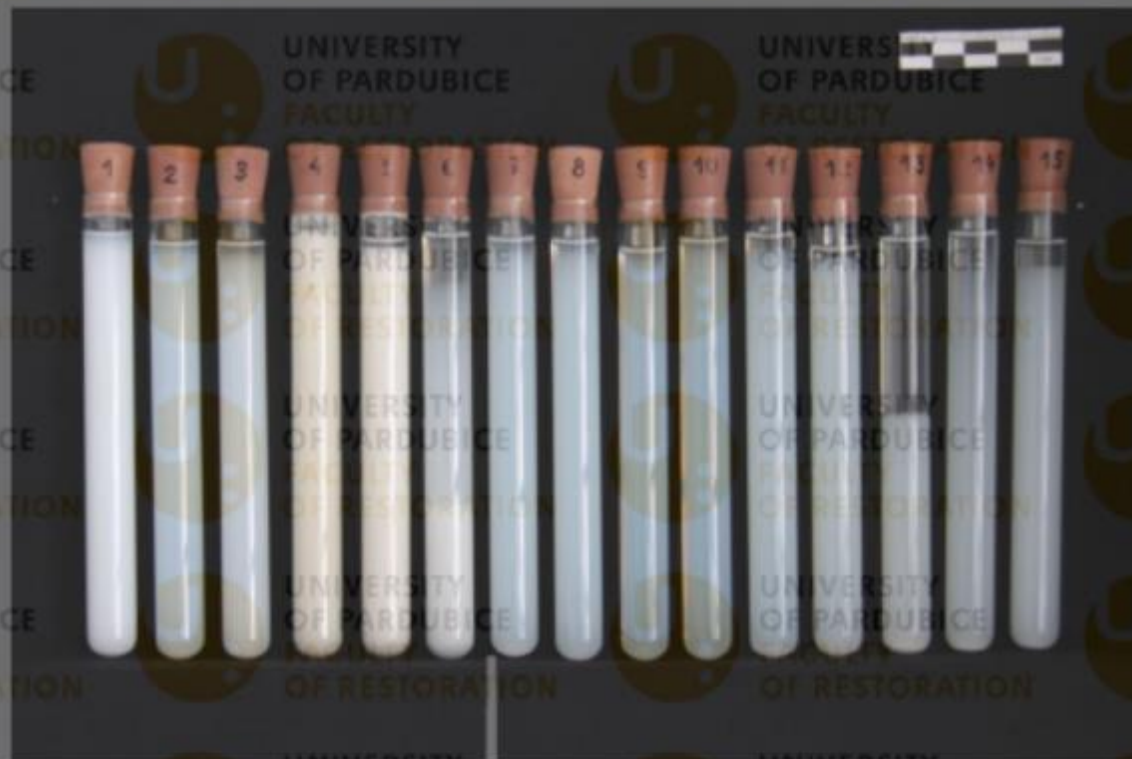


Neřaděné suspenze

Suspenze v koncentraci 5g/l

Sedimentace suspenzí (sada I)

6. den

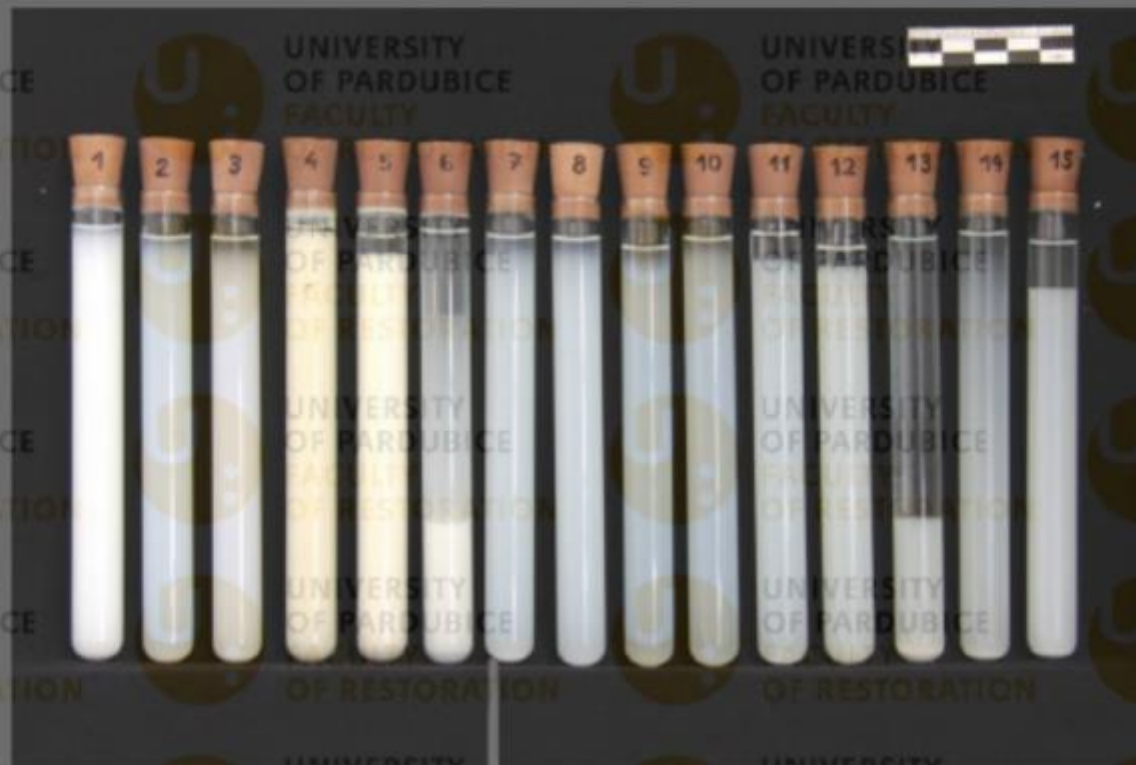


Neřaděné suspenze

Suspenze v koncentraci 5g/l

Sedimentace suspenzí (sada I)

9. den

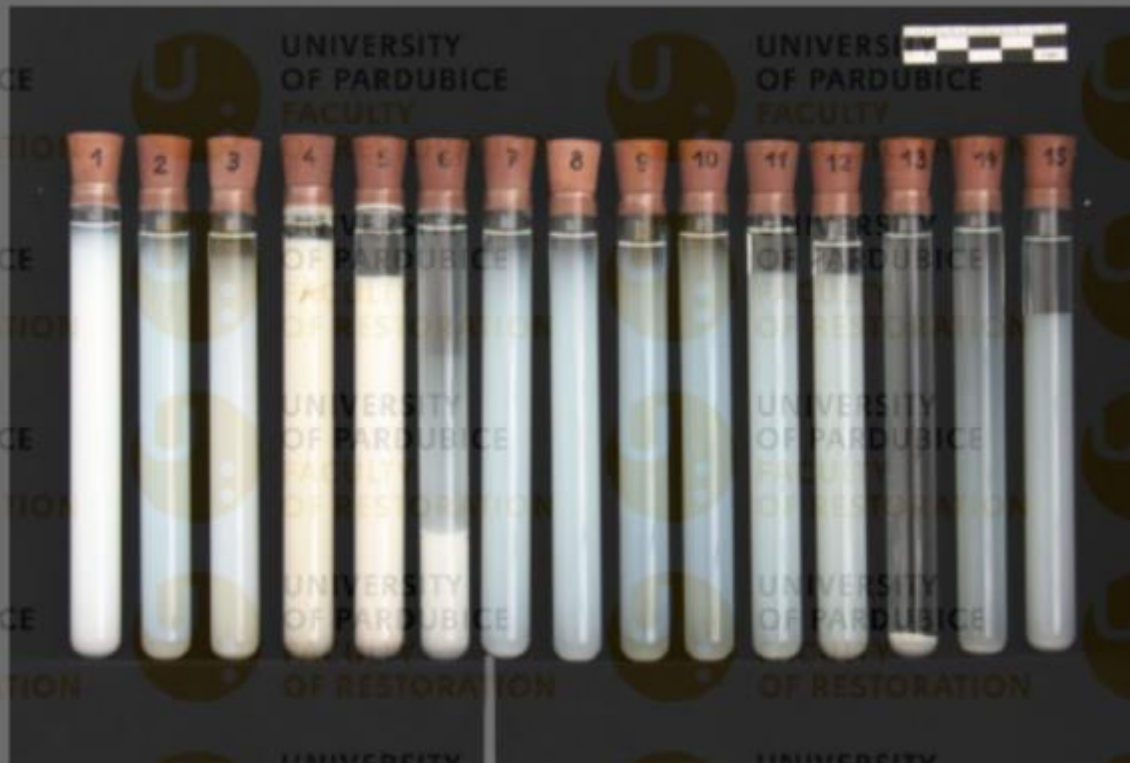


Neředěné suspenze

Suspenze v koncentraci 5g/l

Sedimentace suspenzí (sada I)

12. den

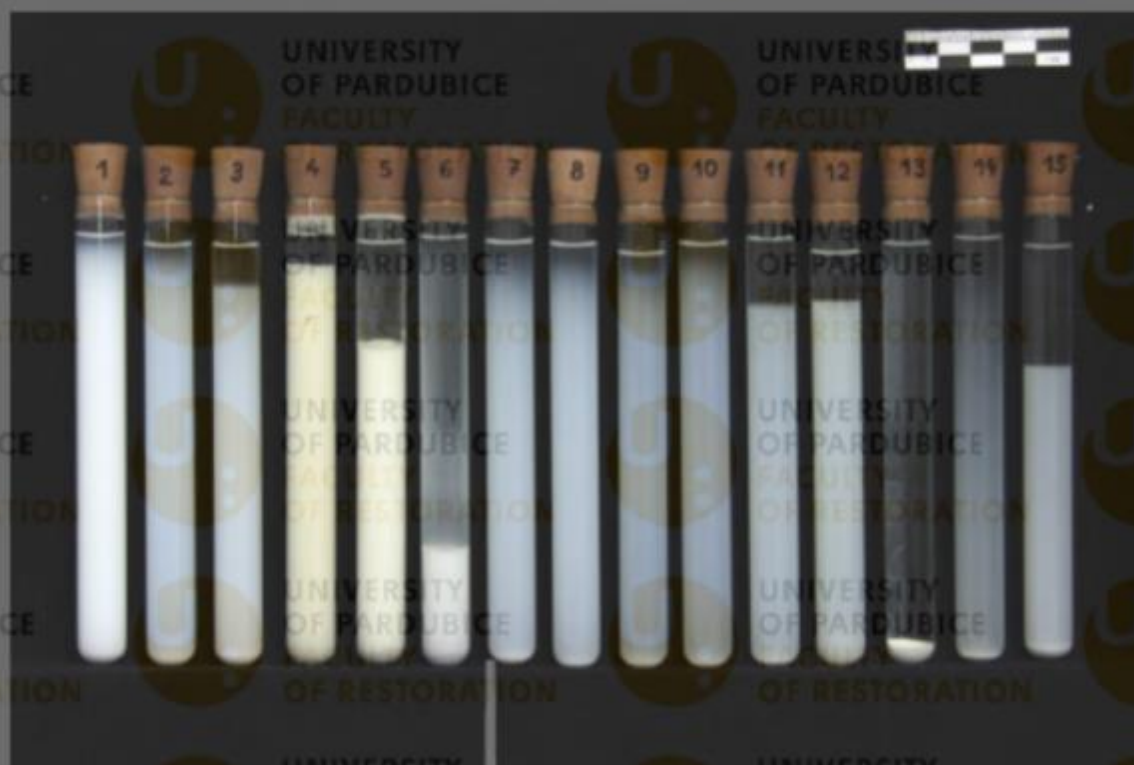


Neřaděné suspenze

Suspenze v koncentraci 5g/l

Sedimentace suspenzí (sada I)

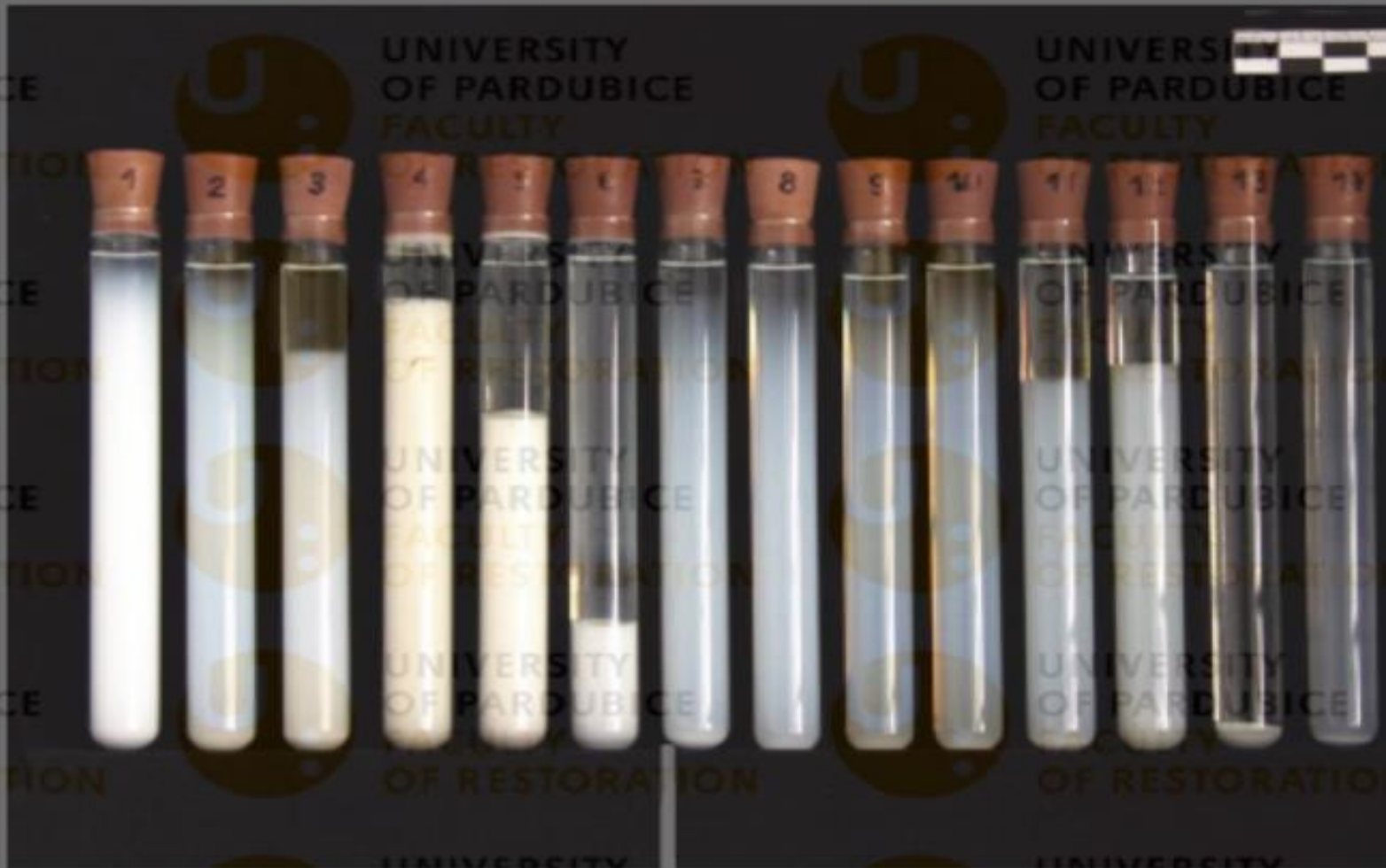
3. týden



Neředěné suspenze

Suspenze v koncentraci 5g/l

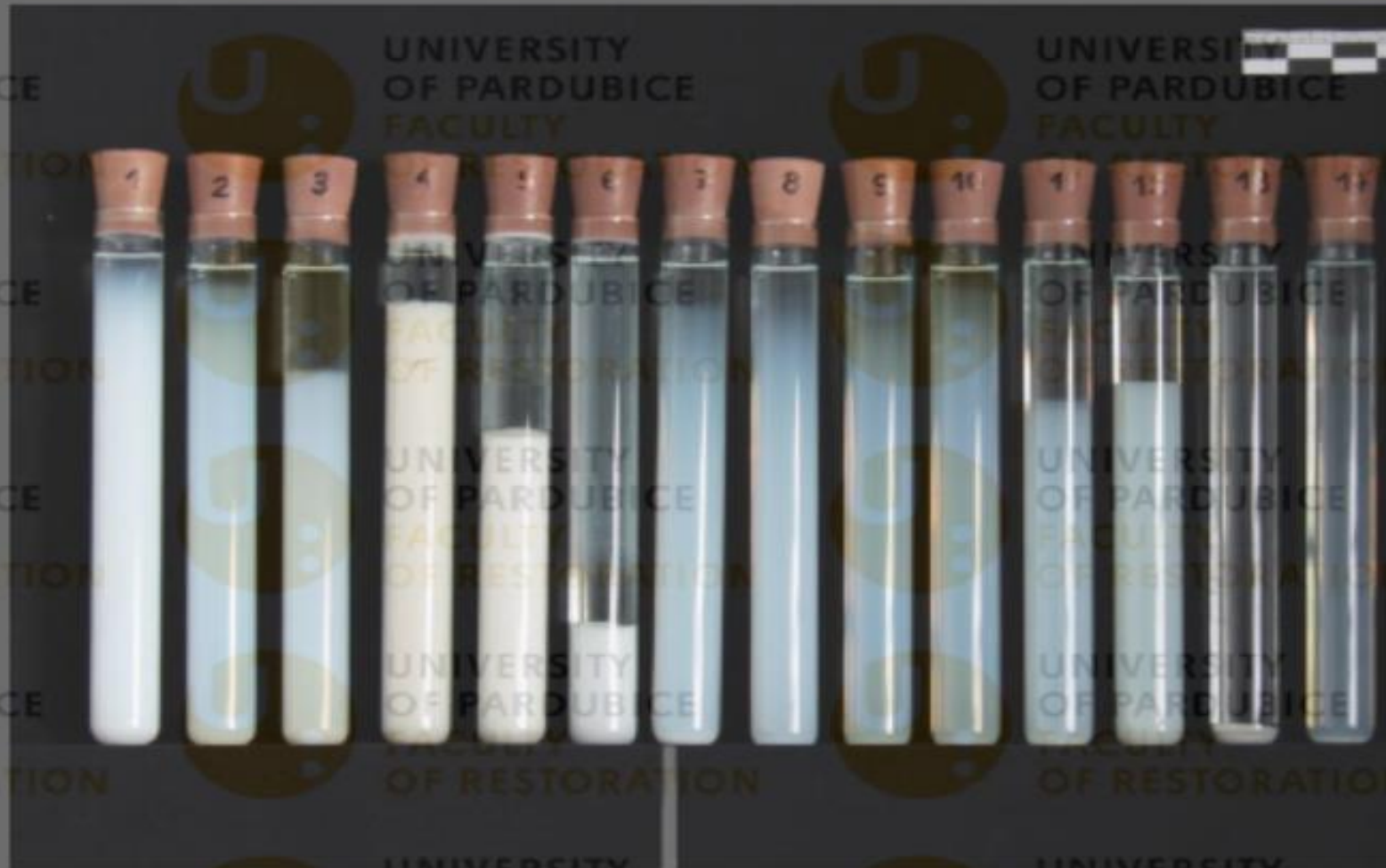
4. týden



Neřaděné suspenze

Suspenze v koncentraci

5. týden



Neředěné suspenze

Suspenze v koncentraci

6. týden



Neřaděné suspenze

Suspenze v koncentraci

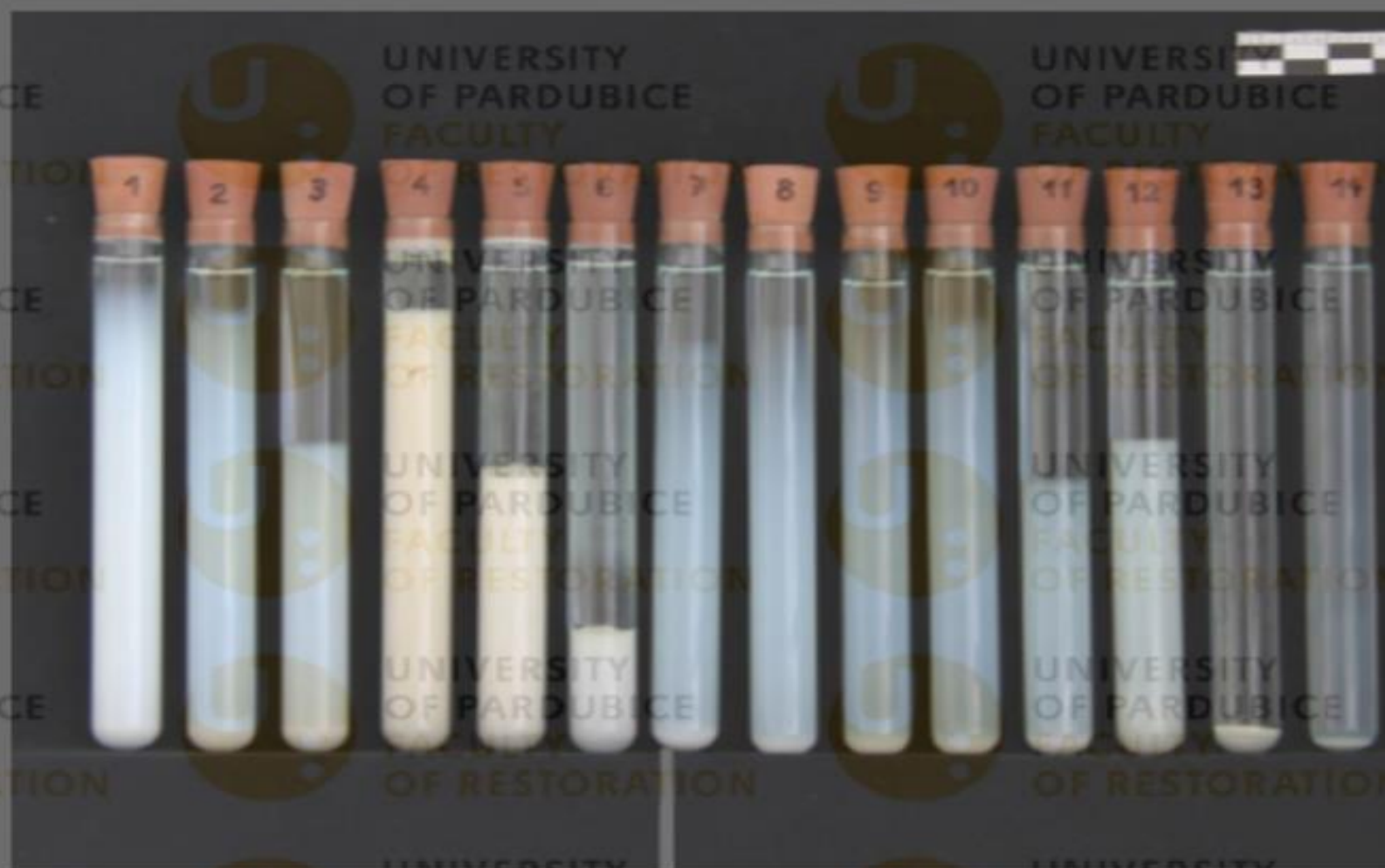
7. týden



Neřaděné suspenze

Suspenze v koncentraci

8. týden

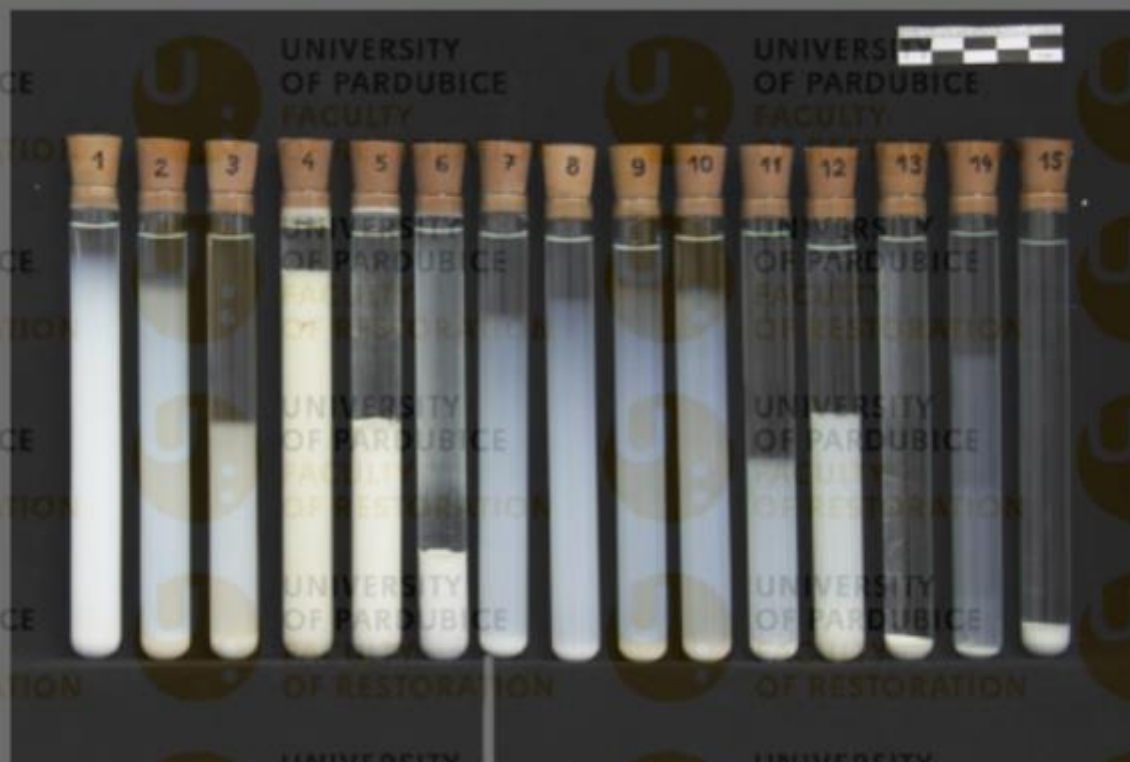


Neřaděné suspenze

Suspenze v koncentraci

Sedimentace suspenzí (sada I)

9. týden



Neředěné suspenze

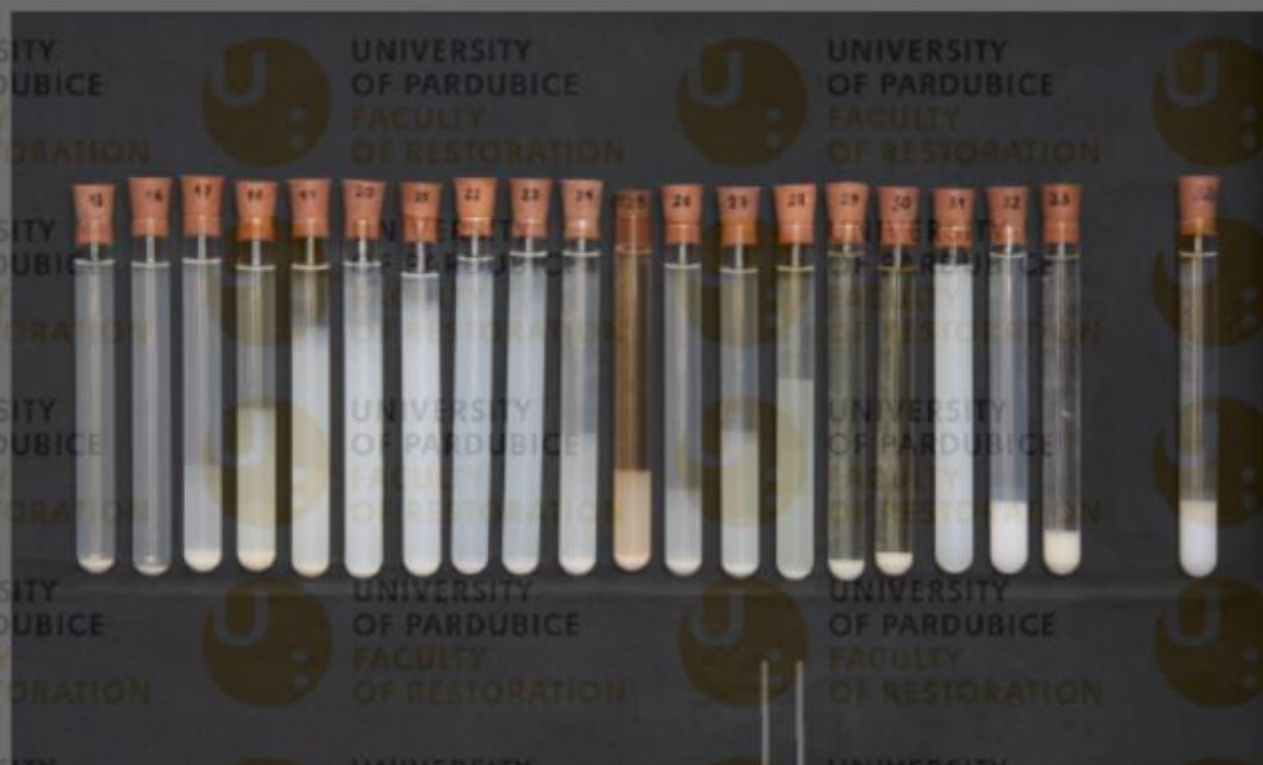
Suspenze v koncentraci 5g/l

Obsah c

Obsah g

Sedimentace suspenzí a jejich směsí s etylsilikáty (sada II)

9. týden



Vápenné nanosuspenze

Směsi 1:1

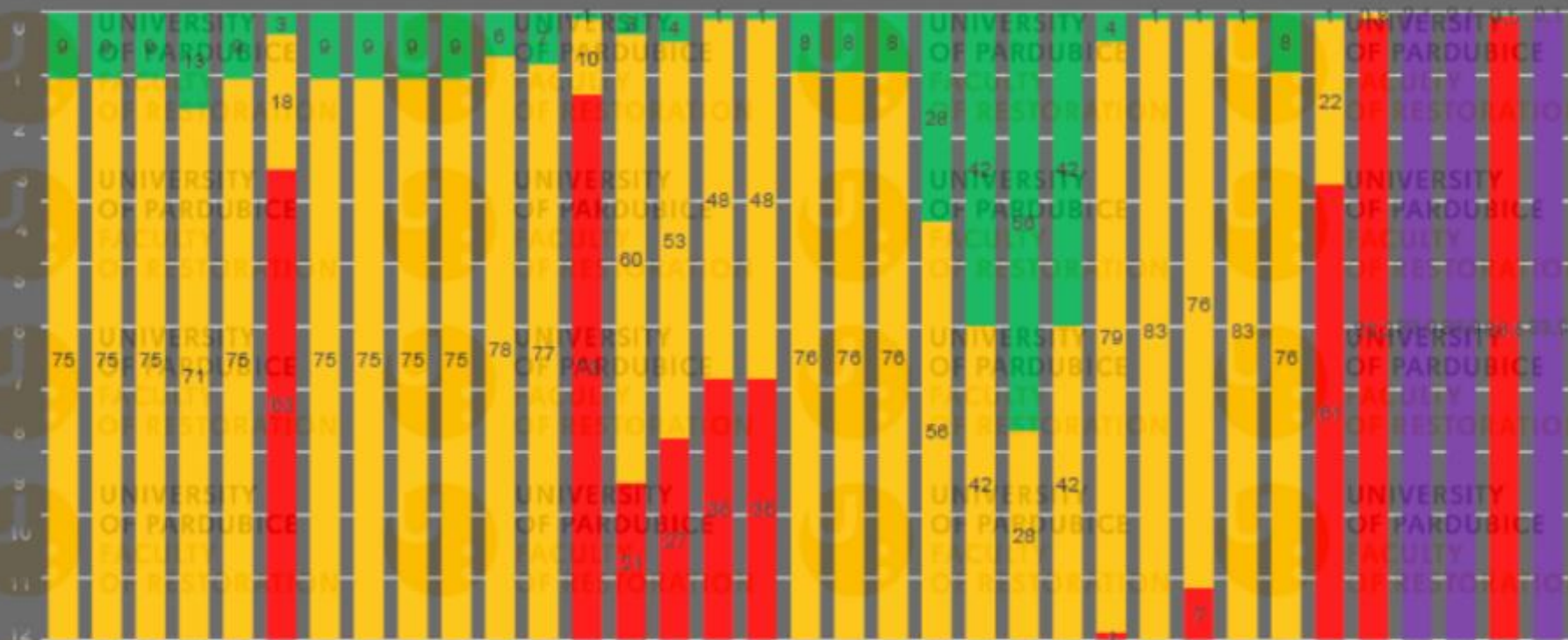
Pozorování sedimentace suspenzí (zkušební sada II)

- Sedimentace byla pozorována ke stanovení stability všech suspenzí a jejich směsí s etylsilikáty, stejně jako vliv 99,8 % a technického etanolu

	Název suspenze	Koncentrace Ca(OH)_2	Ředidlo
13	ZFB 734e	5 g/l	99.8% etanol
16	ZFB 734e	5 g/l	Technický etanol
17	ZFB 734e	5 g/l	Isopropanol
18	ZFB 703i	5 g/l	99.8% etanol
19	ZFB 703i	5 g/l	Technický etanol
20	CaLoSiL® E25	5 g/l	Technický etanol
21	CaLoSiL® E25	5 g/l	Isopropanol
22	CSGI E	5 g/l	Technický etanol
23	CSGI E	5 g/l	Isopropanol
24	CSGI 1P	5 g/l	99.8% etanol
25	CSGI 1P	5 g/l	Technický etanol
26	MBN Nf070	5 g/l	99.8% etanol
27	MBN Nf070	5 g/l	Technický etanol

	Poměr suspenze a etylsilikátu Název suspenze	Koncentrace Ca(OH)_2	Ředidlo
28	Mixture 1:1 CaLoSiL® E25 + KSE 300 HV	10 g/l	99.8% etanol
29	Mixture 1:1 CSGI E + KSE 300 HV	10 g/l	99.8% etanol
30	Mixture 1:1 ZFB 703i + KSE 300 HV	10 g/l	99.8% etanol
31	Mixture 1:1 CaLoSiL® E25 + KSE 300 E	10 g/l	99.8% etanol
32	Mixture 1:1 CSGI E + KSE 300 E	10 g/l	99.8% etanol
32b	Mixture 1:1 CSGI E + KSE 300 E	10 g/l	99.8% etanol
33	Mixture 1:1 ZFB 703i + KSE 300 E	10 g/l	99.8% etanol

Grafické znázornění rychlosti sedimentace



Laboratorní zkoušky na panelech

Odrhový test



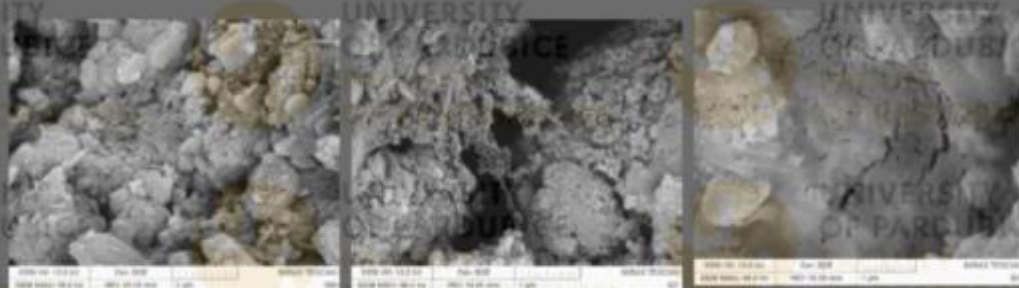
Mobilní spektrofotometr (měření barevnosti)



Kontaktní houbová metoda (měření nasákavosti)



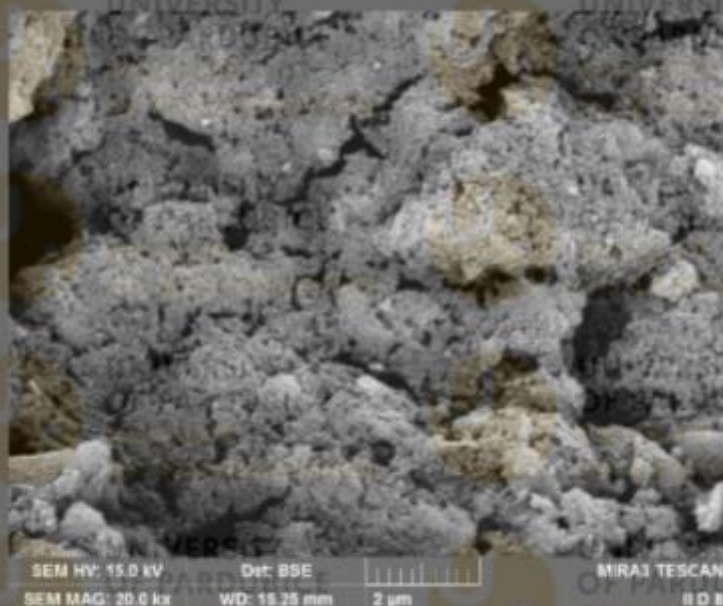
SEM (mikroskopická pozorování)



System vyhodnocení výsledků

	0 neznatelný	1 slabý	2 střední	3 silný
bílý zákal vizuální pozorování				
tmavnutí vizuální pozorování				
změna barevnosti měření spektrofotometrem	0 až 0,5 ΔE^*	0,5 až 1,5 ΔE^*	1,5 až 3 ΔE^*	3 až ∞ ΔE^*
sprašování vizuální pozorování				
odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0 až 3 mg	4 až 6 mg	7 až 9 mg	10 až 12 mg
odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	0 až 9 mg	10 až 18 mg	19 až 28 mg	28 až 37 mg

Karty vyhodnocení zkoušek



Nasákavost vodou byla
hodnocena zvlášť, stejně jako
mikroskopická pozorování (SEM)

II D7		Aplikace		
KSE 100 + KSE 300HV + ZFB 703i 10 g/l (98% etanol)	SMĚS 1:1:2	Datum: 13. 5. 2014 Počet cyklů: 1 Vlhčení: ne Množství: 1,5 ml		
ZFB 703i 5 g/l (98% etanol)		Datum: 13. 5. 2014 Počet cyklů: 4 Vlhčení: 4 x H ₂ O Množství: 6,5 ml (2,5 + 1,5 + 1 + 1,5)		
Efekty konsolidace				
bílý zákal vizuální pozorování	2	sprašování vizuální pozorování	0	Zvětšení pomocí USB mikroskopu
tmavnutí vizuální pozorování	2	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0	
změna barevnosti měření spektrofotometrem	1	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	0	
nasákavost W (kg/(m ² ·h ^m))	9,3	celková známka	0,8	Odtrhový test I
		Legenda:  Odtrh. test I  Odtrh. test II  Stěr vatovou tyčinkou  Zkouška nasákavosti		
Vyznačení provedených testů		 Odtrhový test II		

Laboratorní zkoušky na panelech – vyhodnocení

Ze zkoušek bylo možné vyvodit některé základní závěry:

- Kritickým parametrem je **nasákavost konsolidovaného materiálu**. Čím nižší je nasákavost, tím vyšší je riziko tvorby bílého zákalu.
- Také hodnota **relativní vzdušné vlhkosti** je zásadní pro tvorbu bílého zákalu. Čím nižší je vzdušná vlhkost, tím vyšší je riziko tvorby bílého zákalu. Proto je nutné aplikovat suspenzi ve **vhodných klimatických podmínkách**. Pokud je nejsme schopni zajistit, je nutné provést **následné vlhčení vodou**, které snižuje riziko vzniku zákalu.
- Vznik bílého zákalu také ovlivňuje **množství suspenze** aplikované na originální materiál během jednoho cyklu. Čím větší je množství aplikované suspenze, tím vyšší je riziko vzniku bílého zákalu. Proto je nezbytné aplikovat **menší množství ve více cyklech**.



Nástěnné malby v kostele sv. Víta v Zahrádce

Původní technika a materiály

- Podklad je tvořen vápenopískovou omítkou, na které je nanesen silný vápenný nátěr, pravděpodobně s plnivem (na některých místech až 5 mm silný).
- Jedná se pravděpodobně o (fresco-)secco malbu, kde je kromě vápna pojivem také kaseinát vápenatý (zjištěný pomocí FTIR).

Předchozí restaurátorské zásahy

- Nástěnné malby byly odkryty v 70. letech 20. stol. Z restaurátorské zprávy vyplývá, že malby byly konsolidovány akryláty. Při našem průzkumu jsme ale naznamenali stopy těchto fixází ani při průzkumu UV luminiscence, ani při použití FTIR.

Nástěnné malby v kostele sv. Víta v Zahrádce

Zdroje poškození omítek a malířských vrstev

- Velmi vysoká relativní vlhkost v objektu.
- Vodorozpustné soli – sírany a dusičnany.
- Mechanická poškození (stavební činnost) v různých obdobích.
- Biologické napadení – řasy a plísně.

Současný stav omítek a malířských vrstev

- Rozpad pojiva malířských vrstev – práškovatění.
- Rozpad pojiva omítek – pískovatění.
- Tvorba bílého zákalu na povrchu malby – sírany.

Bylo vybráno 10 zkušebních míst k testování předvyt

Nejlepší výsledky prokázala suspenze **CSGI E35** (Na *Ethanol*) - **5 nebo 10g $\text{Ca}(\text{OH})_2$ /1l**, která měla dobrý k
účinek (dokonce větší než jiné suspenze s vyšší konc
nevytvářela žádné bílé zákaly na povrchu malířských

v před aplikací



Stav po aplikaci





ekonsolidace pomocí suspenze CSG/ E35 – 10 g/l = cca 1
2 cykly aplikace, po každém cyklu byla nanášena voda spr
by bylo sníženo riziko vzniku bílých zákalů.



šší konsolidace s *CSGI E35* - 5 g/l = cca 0,5 % (hm.)

rykly nanášení, po každém cyklu byla nanesena voda sprej
ženo riziko vzniku bílého zákalu.

o zbytek nástěnných maleb v presbytáři byla vybrána stejn
plena jiná suspenze *CaLoSiL E25*, a to z důvodu problémů
plené suspenze. Bylo dosaženo stejného účinku konsolidac

Konsolidace malby na vybraném úseku

Stav po konzervování



Nástěnné malby v kostele sv. Víta v Zahrádce



Stav před konzervováním



Stav po konzervování



le sv. Izidora

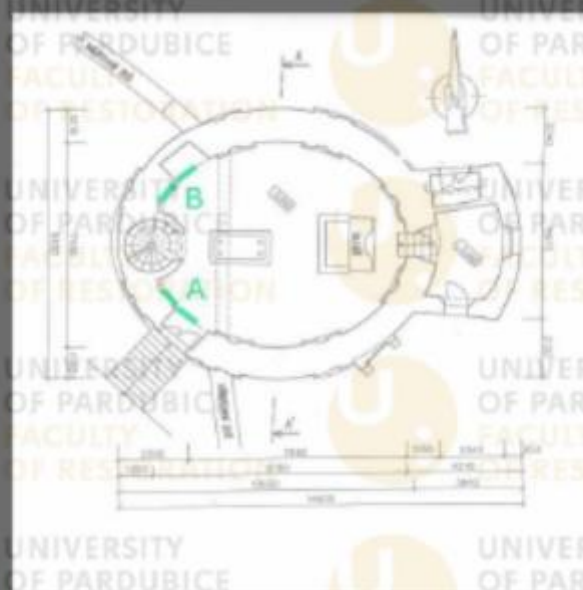


Centrální výjev s Nanebevzetím Panny Marie
na klenbě kaple

Polychromované štukové pilastry v kapli sv. Izidora



A – Dvojice štukových pilastrů v jižní části kůru



Půdorys kaple



B – Dvojice štukových pilastrů v severní části kůru

Materiály a techniky malby

- Vápenné secco na vápenopískové omítce
- Silná přeměna uhličitánu vápenatého na síran

Polychromované štukové pilastry v kapli sv. Izidora



Zdroj poškození

- Zatékání srážkové vody z důvodu poškozené střechy
- Vysoká vzdušná vlhkost v kapli

Poškození omítek a malířských vrstev

- Práškovatění malířských vrstev
- Přítomnost síranu vápenatého na povrchu maleb
- Hrubý a nejednotný povrch omítek
- Výrazné narušení a ztráty malířských vrstev i omítky

Polychromované štukové pilastry v kapli sv. Izydora

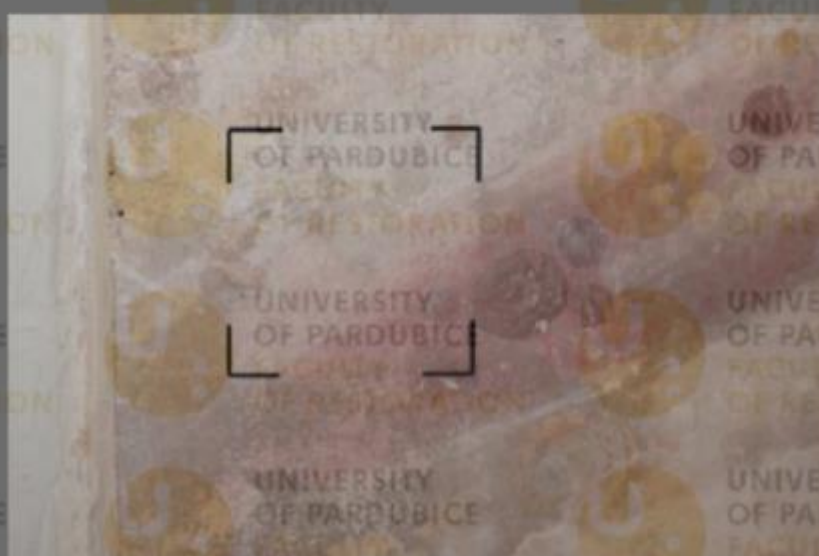
Požadavky na konsolidaci

- Konsolidace omítek
- Pre-konsolidace malířských vrstev před redukcí vrstvy síranu vápenatého
- Dostatečná konsolidace zpráškovatělých a nesoudržných malířských vrstev

Polychromované štukové pilastry v kapli sv. Izidora



Subjektivní metoda vyhodnocení efektu konsolidace malířských vrstev.



Zkouška čištění po prekonsolidaci malířských vrstev vápennou nanosuspenzí. Suché čištění pomocí houby *Akapad* bylo po prekonsolidaci možné. Žádné další zpevňování po čištění nakonec nebylo nutné.

Polychromované štukové pilastry v kapli sv. Izidora



Stav před restaurováním



Stav po restaurování

Nástěnné malby na klenbě kaple sv. Izidora

Původní technika a materiály

- Podkal je tvořen vápenopískovou omítkou.
- Pravděpodobně se jedná o fresco-secco malbu s vápenným a dalším organickým pojivem (kaseinát vápenatý?)

Předchozí restaurátorské zásahy

- Nástěnné malby fixovány 2004-2006 *Mowiolem* (PVA) a snad i *Mowilithem*? (PVAC). Také byl použit *Hydrogrund* (akrylátová disperze) pro „penetraci“ omítek.

Nástěnné malby na klenbě kaple sv. Izidora

Zdroje poškození omítek a malířských vrstev

- Zatékání srážkové vody, vysoká vzdušná vlhkost, vodorozpustné soli (síraný).
- Biologické napadení – plísně.

Stav malířských a omítkových vrstev před restaurováním



Typické puchýřovatení intonaca způsobené fixáží realizovanou při zásahu v letech 2004–2006.



Typické praškovatení malířských vrstev spolu se sádrovcovými výkvěty.

Nástěnné malby na klenbě kaple sv. Izidora

Vyhodnocení zkoušek I. fáze

- Ve většině zkoušek byl pozorován nějaký konsolidační efekt pouze s vyššími koncentracemi suspenzí – 10 g/l = 1 % (hm.).
- Ve většině zkoušek nebyl pozorován žádný výskyt bílých zákalů.
- Celoplošnou povrchovou konsolidaci však **nebylo možné uskutečnit pouze s vápennou suspenzí**. Ačkoli byla suspenze na některých místech aplikována dokonce ve **12 cyklech v koncentraci 10 g/l (1 %)**, konsolidační účinek nebyl dostatečný. Proto byl v posledním cyklu navíc přidán k suspenzi **0,5% (hm.) Klucel E**. Konsolidace pak byla v nejvíce poškozených částech dokončena 2 cykly čistého **Klucelu E v koncentraci 1 % (hm.)**.

Nástěnné malby na klenbě kaple sv. Izidora

Zpátky na začátek

- Ačkoli byla suspenze na některých místech aplikována dokonce **ve 12 cyklech v koncentraci 1% (hm.)**, konsolidační účinek nebyl dostatečný.
- Proto bylo hledáno nové řešení v oblasti konsolidantů s anorganickými produkty, a to kvůli jejich vysoké stabilitě ve vlhkém prostředí, a také z důvodu zásady „kompatibility zákroku“.
- Již v roce 2012 jsme uvažovali o konsolidantu na bázi ethylsilikátů, ale až v roce 2014 jsme přistoupili ke zkouškám se směsmi a kombinacemi ethylsilikátů a vápenných nanosuspenzí.
- Proto jsme byli nuceni se **vrátit do laboratoře** a provést **nové zkoušky**. Teprve pak jsme mohli uskutečnit zkoušky v kapli.
- Po mnoha zkouškách v laboratoři a následně i na omítkách s monochromním nátěrem v kapli **jme vybrali nejvhodnější postup zpevnění**:
 - Nejprve byl nanesen ethylsilikát s vyloučeným množstvím SiO_2 10% (**KSE 100**)
 - Následovala dvousložková směs **KSE 300HV** (30%) a **CaLoSiL E25** (2,5%)
 - Nakonec byl povrch ošetřen suspenzí **CaLoSiL E25** v koncentraci 0,5%.

Nástěnné malby na klenbě kaple sv. Izidora

Různý stav dochování maleb před restaurováním



Nástěnné malby na klenbě kaple sv. Izidora

Historické fotografie jedné z figur jako podklad pro rekonstrukci



Stav v roce 1977



Stav v roce 1996



Stav v roce 2003

Nástěnné malby na klenbě kaple sv. Izidora

Restaurátorský zásah (diplomová práce – Lenka Slouková)



1. Stav před zásahem



2. Stav po konsolidaci



3. Stav po tmelení defektů



4. Stav po restaurování

Nástěnné malby na klenbě kaple sv. Izidora

Restaurátorský zásah



Stav před restaurováním (2012)



Stav po restaurování (2015)

Nástěnné malby na klenbě kaple sv. Izidora



Stav před restaurováním (2004)



Stav po restaurování (2015)

Sgrafitová výzdoba domu č. p. 520 ve Slavonicích

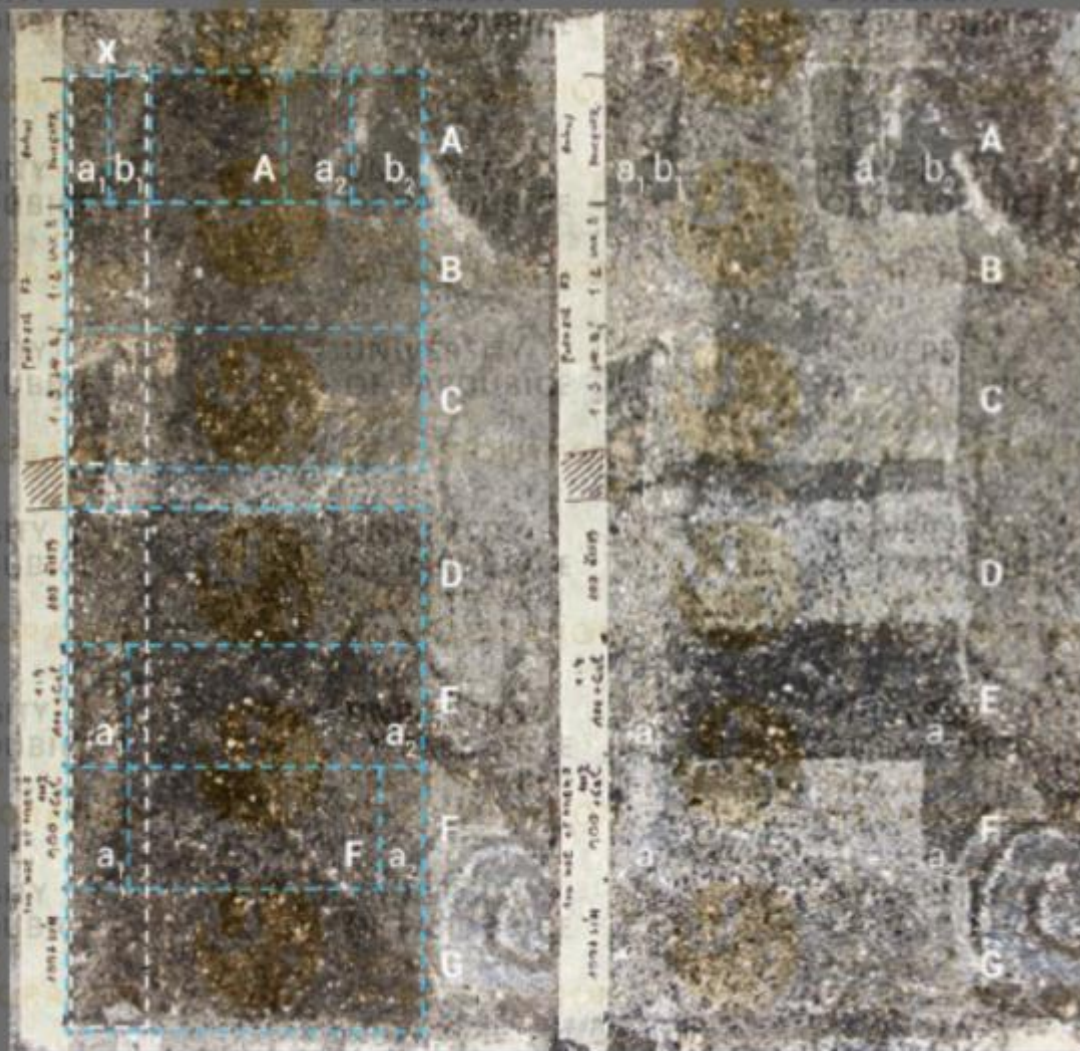


Stav před restaurováním



Sgrafitová výzdoba domu č. p. 520 ve Slavonicích

- Zkouška E
- KSE 100
- a1 – CaLoSil E25 (0,5 %) 3 aplikace
- KSE 100
- a2 – CaLoSil E25 (0,5 %) 3 aplikace
- KSE 100



Očistcová kaple Piaristického kostela v Litomyšli

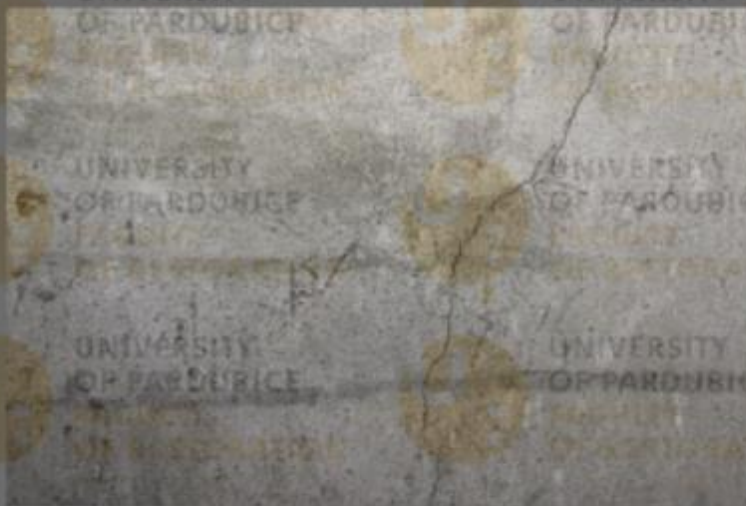


Očistcová kaple byla vyzdobena nástěnnými malbami pravděpodobně okolo 1732.

Technika je pravděpodobně secco malba obsahující vápno (kaseinát vápenatý?).



Očistcová kaple Piaristického kostela v Litomyšli



Bílý zákal na povrchu maleb (CaSO_4)



Destrukce a ztráta omítek v dolních částech stěn



Práškovatění, odlupování a ztráta vrstev malby vlivem rozpadu a předchozího čištění.



Mechanická poškození – škrábance, graffiti

Očistcová kaple Piaristického kostela v Litomyšli

Konsolidace

- **Prekonsolidace** omítkových a malířských vrstev – **0,5 % nebo 1% (hm.)** vápenná nanosuspenze **CaLoSil E25** v 6–10 cyklech
- **Prekonsolidace** malířských vrstev (v ohrožených místech) – **směs 1% (hm.)** vápenné nanosuspenze **CaLoSil E25** a ethylsilikátu **KSE 100** v objemovém poměru 1 : 1
- **Strukturální konsolidace** omítek provedená **2,5%** (neředěnou) vápennou nanosuspenzí **CaLoSil E25** v max. 4 cyklech, v případě nedostatečného zpevnění byl dále aplikován čistý ethylsilikát **KSE 100** nebo **KSE 300 HV** v 1 nebo ve 2 cyklech (podle míry narušení)
- **Injektáž** provedená s hydraulickou maltou **Ledan TA1** **smíchaná s vápencovou moučkou** v objemovém poměru 2 : 1 (snížení konečné pevnosti materiálu)

Očistcová kaple Piaristického kostela v Litomyšli



Stav před restaurováním

Očistcová kaple Piaristického kostela v Litomyšli



Stav po čištění, konsolidaci a tmelení.

Očistcová kaple Piaristického kostela v Litomyšli



Stav po restaurování

Závěry – kombinace a směsi

- V případě vysoce degradovaných materiálů jsou efektivnější než samotné vápenné nanosuspence jejich **kombinace nebo směsi s ethylsilikáty**.
- Výsledky našich in situ testů ukazují, že **mírně lepší výsledky vykazují směsi** než postupné aplikace obou materiálů.
- V případě **směsí se navíc téměř neobjevují barevné změny** (žádné tmavnutí nebo tvorba světlých zákalů).
- Ve vícekových **aplikacích se může vyskytnout přezpevnění povrchu**.
- Z teoretického hlediska je použití vápenných konsolidantů vhodnější (kompatibilita). V případě použití ethylsilikátů je také vyšší riziko přezpevnění. Proto doporučujeme použití **ethylsilikátů pouze v nezbytné míře** a dokončení konsolidace pouze s použitím vápenných nanosuspenzí.

Vápenné nanosuspenze – způsoby nanášení

- Nejvhodnější metodou aplikace se pro nástěnné malby ukázalo být nanášení sprejem. Zásadní je **velikost kapek**. Čím menší jsou kapky, tím rovnoměrnější je výsledná aplikace. Nejlepší výsledky prokázal sprej na bázi aerosolů – **Preval Sprayer**.
- V případě velmi rozrušených materiálů se ukázala jako neúčinnější **aplikace pomocí injekční stříkačky**. Při aplikaci sprejem nebylo možné tak dobře kontrolovat množství nanášeného konsolidantu, které se velmi proměňuje s různou savostí materiálu v jednotlivých částech díla.
- Jako limitní se ukázalo **4–8 cyklů** vápenné nanosuspenze v koncentraci 5–10 g/l (5–10 %), v závislosti na savosti zpevňovaného materiálu. Vyšší množství cyklů vede k rapidnímu nárůstu vzniku bílého zákalu.
- **Následné vlhčení vodou**, které velmi účinně zabraňuje vzniku bílých zákalů u čistých vápenných suspenzí, je naopak zcela nevhodné u směsí s ethylsilikáty. Jakýkoli kontakt s vodou bezprostředně po nanesení vede k okamžitému vytvoření gelu SiO_2 , což způsobuje nevratný a těžko odstranitelný bělavý zákal.

Vytvořeno v rámci projektu **Green Deal UPCE**, reg. č. NPO_UPCE_MSMT-2142/2024-4.

Toto dílo podléhá licenci Creative Commons BY-SA 4.0. Pro zobrazení licenčních podmínek navštivte <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>.



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU