

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA RESTAUROVÁNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2016

BcA. ZDENĚK KOVÁŘÍK

Univerzita Pardubice
Fakulta restaurování
Restaurování a konzervace děl nástěnné malby, sochařských děl a povrchů architektury
Jiráskova 3, 570 01 Litomyšl

Restaurování sochy sv. Jana Evangelisty z niky domu čp. 60 v Dačické ulici ve
Slavonicích

Výzkum a porovnání chování vápenných nanosuspenzí pro zpevňování

Zdeněk Kovářík

Vedoucí práce: Mgr. art. Jakub Ďoubal, Ph.D.
Konzultant: Ing. Renata Tišlová, Ph.D. Ing. Petra Lesniaková, Ph.D.
Mgr. Vladislava Říhová Ph.D

Diplomová práce

2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **BcA. Zdeněk Kovářík**
Osobní číslo: **R14027**
Studijní program: **N8206 Výtvarná umění**
Studijní obor: **Restaurování a konzervace nástěnné malby, sochařských děl a povrchů architektury**
Název tématu: **Restaurování sochy sv. Jana Evangelisty z niky domu čp.60 v Dačické ulici ve Slavonicích a výzkum a porovnání chování vápenných nanosuspenzí pro zpevňování.**
Zadávací katedra: **Ateliér restaurování kamene**

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

Komplexní restaurátorský zásah na polychromované soše sv. Jana Evangelisty. Součástí diplomové práce bude teoretická část zaměřená na výzkum a porovnání chování nových vápenných nanosuspenzí při použití pro zpevňování vybraného typu porézních vápenců

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury: **viz příloha**

Vedoucí diplomové práce:

Mgr. art. Jakub Ďoubal, Ph.D.

Ateliér restaurování kamene

Datum zadání diplomové práce: **31. října 2015**

Termín odevzdání diplomové práce: **16. srpna 2016**

L.S.

Ing. Karol Bayer
děkan

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

V Litomyšli dne 25. července 2016

Příloha zadání diplomové práce

Seznam odborné literatury:

- Ďoubal Jakub. Kamenné památky Kutné Hory: Restaurování a péče o sochařské památky. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2015
- Ďoubal Jakub, Bayer Karol: "Problematika památek z kutnohorského vápence"
- Zprávy památkové péče 2007/2- 2/131-134
- Brandi C., Teorie restaurování. Kutná Hora: Tichá Byzanc, 2000.
- Kopecká, I.-Nejedlý, V., Průzkum historických materiálů., Grada 2005
- Kaše, Jiří: Barva v architektuře a sochařství- Zdroje a umělecké prostředky, in: Seminář STOP- Barevné úpravy kamene a památkových objektů, Praha, 2004
- Kaše, Jiří: Svět barev ve službách výtvarné kultury baroka, in:Velké dějiny zemí Koruny české, Svazek IX.,16831740, Praha-Litomyšl, 2011.
- Price C., Doehne E. - Stone conservation, The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 2010,
- Šimůnková E. Bayerová T., Pigmenty, Praha, 1999.
- Viñas S. M., Contemporary Theory of Conservation. Oxford, Elsevier Butterworth Heinemann, 2005.
- Zelinger a kol., Chemie v práci konzervátora a restaurátora. Praha, 1987.
- Nejedlý, V.: K vývoji retuše malířských děl v českých zemích ve druhé polovině 20. století, in: Zprávy památkové péče, roč. 65, 2005, č. 6, s. 500-516.
- Barevné úpravy kamene památkových objektů, sborník přednášek z odborného semináře STOP, 2005.
- Průzkum a restaurování barevné vrstvy, sborník přednášek z odborného semináře STOP, 2001.
- Slánský B., Technika malby. Praha, 2003.
- Slánský B., Technika v malířské tvorbě (malířský a restaurátorský materiál). Praha, 1976.
- Štulc J., Suchomel M., Maxová I.: Péče o kamenné sochařské a stavební památky, SÚPP, Praha 1998, 32 stran
- Suchomel M., Záchrana kamenných soch. Díl 1. a 2. / Praha : Státní ústav památkové péče a ochrany přírody, 1988. 1990
- Tišlová, R. Hydration of Natural Cements. 1. vyd. Brno: Tribun EU, 2009
- Bayerová T. - Bayer K.: Přírodovědný průzkum povrchových úprav kamene a jeho vypovídací hodnota, 2004.
- Sylabus - Organizační pokyny a formální úprava závěrečných prací na Fakultě restaurování
- Polychrome Skulptur in Europa, Technologie Konservierung Restaurierung, Hochschule für Bildende Künste Dresden 1999.
- Daehne, A. - Herm, Ch. Calcium hydroxide nanosols for the consolidation of porous building materials: results from EU-STONECORE. Heritage Science, April 2013, vol. 1.
- Daniele, V. Taglieri, G. V. Quaresima, R. The nanolimes in Cultural Heritage Conservation: Characterisation of the carbonation proces. Journal of Cultural Heritage, July-September 2008, vol. 9, no 3, s. 294301.
- D'Armada , P. Hirst, E. Nano-lime for the consolidaiton of plasters and stone. Journal of Architectural Conservation, March 2012, vol. 18, no. 1, s. 6380.
- Dunajská, J. Tests on sustainability of consolidation treatments with CaLoSil? nanosuspension on plaster reference samples. 2012. Diplomová práce na Fakultě restaurování Univerzity Pardubice. Vedoucí práce R enata Tišlová.

Macounová, D. Restaurování vápencové sochy světice č. 1 s využitím nanosuspenzí na bázi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ / Zhodnocení možností využití nanosuspenzí na bázi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pro konsolidaci organodetritického vápence v porovnání s běžně používanými prostředky na bázi TEOS; Rozšířená restaurátorská zpráva. 2013. Diplomová práce na Fakultě restaurování Univerzity Pardubice. Vedoucí práce Zuzana Slížková.

Prohlašuji:

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

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

.....

Zdeněk Kovářík

poděkování

Děkuji Ing. Renatě Tišlové Ph.D., za obětavou pomoc a inspirativní vedení v průběhu práce.

Dále musím poděkovat Mgr. art. Jakubu Ďoubalovi Ph.D. za cenné rady. Další díky patří Ing. Karolu Bayerovi, prof. PhDr. Petru Fidlerovi, Mgr. Jiřímu Kaše, Mgr. Vladislavě Říhové Ph.D., Mgr. Petře Hečkové Ph.D. a dalším pracovníkům Fakulty restaurování.

Za ochotu a přípravu NHL nanosuspenzí děkuji p. Andersovi a ZBF, dále pracovníkům Katedry anorganické technologie Univerzity Pardubice, zvláště Ing. Janě Luxové Ph.D.

Za pomoc s průzkumem sochy sv. Jana a další velmi cenné rady děkuji Ing. Petře Lesniakové Ph.D. Dále PhDr. Michaela Körnerové Chládkové ze Státního okresního archivu Jindřichův Hradec, PhDr. Marii Plevové, Ph.D. z Diecézního archivu Biskupství brněnského a pracovníkům Moravského zemského archivu v Brně.

Děkuji Danielu Chadimovi, manželce a dětem za pomoc a podporu, také bych měl poděkovat Mgr. art. Janu Vojtěchovskému.

anotace

Tato práce se skládá ze dvou částí. První část se věnuje restaurování sochy sv. Jana Evangelisty z niky domu čp.60 v Dačické ulici ve Slavonicích. Jde o dokumentaci průběhu restaurátorského zásahu na polychromované soše z litavského vápence. Součástí restaurátorského zásahu byla strukturální konsolidace kamene a fixace barevných vrstev, dále snímání sekundárních vrstev, doplnění plastických defektů a rozsáhlá barevná retuš.

Druhá část práce se zabývá výzkumem a porovnáním chování vápenných nanosuspenzí pro zpevňování. V úvodu této části jsou na základě rešerší odborné literatury popsány vlastnosti litavských vápenců a přirozeně hydraulického vápna (NHL). V experimentální části jsou popsány výsledky testování nanosuspenzí NHL pro konsolidaci porézních vápenných substrátů.

klíčová slova

sv. Jan Evangelista, polychromie, konsolidace, vápenec, nanosuspenze, NHL

title

Restoration of the Statue of St. John the Evangelist situated in the niche of house no. 60 in Dacicka Street, Slavonice, research and comparison of behaviour of lime nanosuspensions for consolidation.

annotation

The dissertation has two parts. The first part is restoring of the statue of St. John the Evangelist situated in the niche of house no. 60 in Dacicka Street in Slavonice. The dissertation documents process of restoring of polychromed limestone statue. Restoring intervention contains structural consolidation of limestone and fixation of polychromed layers, removing of secondary layers, refilling of raised defects and wide coloured retouch.

The second part contains research and comparison of behaviour of lime nanosuspensions for consolidation. The beginning describes properties of limestone and natural hydraulic lime (NHL). Experimental part describes results of nanosuspensions testing NHL for consolidation of porous lime substrates.

keywords

St. John the Evangelist, polychromy, consolidation, limestone, nanosuspension, NHL

1. PRAKTICKÁ ČÁST

**RESTAUROVÁNÍ SOCHY SVATÉHO JANA
EVANGELISTY
V NICE DOMU ČP. 60, VE SLAVONICÍCH**



Restauroval: Zdeněk Kovářik

Pedagogické vedení: Mgr. art. Jakub Ďoubal Ph.D.

Památkový dohled: NPÚ, ÚOP v Českých Budějovicích, Ph.Dr. Roman Lavička Ph.D.

Zprávu zhotovil: Zdeněk Kovářik

V Chotěbudicích, dne 8. srpna 2016

Zdeněk Kovářik

1. ZÁKLADNÍ ÚDAJE, PROHLÁŠENÍ:

Počet stran textu dokumentace: 38

Počet stran příloh: obrazová příloha 31 stran, chemicko-technologický průzkum 46 stran

Počet fotografií: 61, zhotovil Zdeněk Kovářik

Dokumentace je chráněna ve smyslu zákona číslo 89/1990 Sb. v úplném znění (aut. zákon) s tím, že právo k užití ve smyslu zákona číslo 20/1987 Sb. v plném znění (o pam. péči) má objednavatel a příslušný orgán památkové péče.

Prohlašuji, že jsem použil při restaurování pouze materiálů a postupů uvedených v této restaurátorské dokumentaci. Nejsm si vědom nových zjištění a skutečností na restaurované památce, které by nebyly uvedeny v této dokumentaci.

Prohlašuji, že restaurátorský zásah byl proveden v mezích určených zadáním.

.....

restauroval

2. OBSAH PRAKTICKÉ ČÁSTI:

1. ZÁKLADNÍ ÚDAJE, PROHLÁŠENÍ:.....	13
2. OBSAH PRAKTICKÉ ČÁSTI:.....	14
3. VLASTNÍ TEXT RESTAURÁTORSKÉ DOKUMENTACE:.....	15
3.1. LOKALIZACE PAMÁTKY.....	15
3.2. ÚDAJE O PAMÁTCE.....	15
3.3. ÚDAJE O AKCI.....	15
3.4. POPIS PAMÁTKY.....	15
3.4.1. Popis stavu památky před započítím restaurátorských prací.....	16
3.5. RESTAURÁTORSKÝ PRŮZKUM.....	17
3.5.1. Nálezová a průzkumová zpráva.....	17
3.6. KONCEPCE RESTAURÁTORSKÉHO ZÁSAHU.....	33
3.7. POSTUP RESTAURÁTORSKÝCH PRACÍ.....	35
3.7.1. Transfer sochy a odstranění sekundárních vápenných nátěrů.....	35
3.7.2. Zpevnění sochy, fixace polychromií, očištění od biologického nárůstu.....	35
3.7.3. Postupné snímání sekundárních barevných vrstev	36
3.7.4. Tmelení.....	36
3.7.5. Zhotovení kovových atributů.....	37
3.7.6. Barevná retuš.....	37
3.8. POUŽITÉ MATERIÁLY A TECHNOLOGIE.....	37
3.8.1. Transfer sochy a odstranění sekundárních vápenných nátěrů.....	37
3.8.2. Zpevnění sochy, fixace polychromií, očištění od biologického nárůstu.....	37
3.8.3. Postupné snímání sekundárních barevných vrstev	38
3.8.4. Tmelení.....	38
3.8.5. Zhotovení kovových atributů.....	38
3.8.6. Barevná retuš.....	38
3.9. DOPORUČENÝ REŽIM PAMÁTKY.....	39
4. OBRAZOVÁ DOKUMENTACE:.....	40
4.1. Stav před restaurováním, transfer sochy.....	41
4.2. Restaurátorský průzkum, zhotovení sond.....	47
4.3. Odstranění sekundárních vápenných nátěrů.....	49
4.4. Zpevnění sochy, fixace polychromií.....	50
4.5. Postupné snímání sekundárních barevných vrstev.....	52
4.6. Tmelení.....	58
4.7. Zhotovení kovových atributů.....	63
4.8. Barevná retuš.....	64
4.9. Stav po restaurování.....	67
5. SEZNAM TEXTOVÝCH PŘÍLOH:.....	40
5.1. Chemicko-technologický průzkum, Slavonice, vápencová socha sv. Jana Evangelisty	
5.2. Archivní rešerše Poutní kostel Montserrat ve farnosti Cizkrajov	
5.3. Záписы z kontrolních dní	

3. VLASTNÍ TEXT RESTAURÁTORSKÉ DOKUMENTACE:

3.1. LOKALIZACE PAMÁTKY

Kraj: Jihočeský

Obec: Slavonice

Bližší určení místa popisem: na pravé straně křižovatky silnic na Dačice a na Český Rudolec

Číslo popisné: 60

Název památky: socha sv. Jana Evangelisty

Rejstříkové číslo památky: 34865/3-2187

3.2. ÚDAJE O PAMÁTCE

Autor: neznámý

Sloh / Datování: baroko, kolem roku 1750

Materiál: socha – mušlový vápenec, barevné nátěry - polychromie

Rozměry: výška cca 200 cm

Předchozí známé zásahy: socha byla v minulosti pravděpodobně jednou komplexně opravena a mnohokrát opatřena povrchovými úpravami

3.3. ÚDAJE O AKCI

Vlastník: Miloš Nikrmajer

Objednavatel: Miloš Nikrmajer

Závazné stanovisko OÚ: OKC/ 45883 – 13, ze dne 8.11. 2013

Návrh na restaurování: vypracoval 14. 11. 2015 Zdeněk Kovářík

Termín započetí a ukončení akce: leden až srpen 2016

Restauroval: Zdeněk Kovářík

3.4. POPIS PAMÁTKY

Socha sv. Jana Evangelisty je umístěna ve výklenku domu čp. 60 v Dačické ulici. Jde o sochu z mušlového vápence, pravděpodobně dolnorakouské proveniencí. Socha Jana stojí cca jeden metr nad úrovní chodníku, který vede okolo domu. Esovitě prohnutá postava je oděná v poměrně členité drapérii - plášti sepnutém na levém rameni. Hlava je vzpřímeně, natočená k pravému rameni. V levé ruce drží rozevřenou knihu, pravou ruku

má na knize položenu. Při pravé noze, mírně před sochou je vysekán atribut v podobě orla.

Socha sv. Petra¹ na protější straně silnice tvoří spolu se sv. Janem Evangelistou pandantní dvojici, která byla pravděpodobně takto vnímána a upravována od osazení soch na současné místo.²

3.4.1. Popis stavu památky před započítím restaurátorských prací

Socha včetně orla je lokálně mechanicky poškozená. Nedochovala se hlava orla. Místa se vyskytují další mechanické defekty povrchu drapérie, knihy a podstavce. Soše chybí ukazovák pravé ruky, na levé ruce má poškozené tři prsty. Sochá má dále poškozené rty a nos, kde prorezá kovová armatura. Na exponovaných místech sochy je částečně smyta původní modelace povrchu. Na hlavě sochy je možné nalézt dva otvory, sloužící zřejmě pro uchycení svatozáře. Lůžko pro atribut (pravděpodobně psací brk) je i mezi prsty pravé ruky. Tyto otvory jsou přetmeleny sádrovým tmelem s korodující železnou armaturou.

Povrch sochy je překryt mnoha vrstvami sekundárních, převážně bílých vápenných nátěrů. Toto souvrství je místy až jeden centimetr silné. Vrstvy nátěrů jsou značně nesoudržné, na mnoha místech chybí, zvláště na deštěm exponovaných místech čelní strany sochy. Pod těmito úpravami se nacházejí vrstvy barevných úprav, zřejmě na olejové bázi, o čemž svědčí typická krakeláž. I tyto vrstvy jsou významně narušené, přičemž na deštěm exponovaných místech čelní strany sochy se takřka nedochovaly. Na knize a soklu sochy, tj. na horizontálních partiích sochy, je množství fragmentů jednotlivých barevných vrstev, které se postupně uvolnily od podkladu.

1 CHADIM, Daniel, VOJTĚCHOVSKÝ, Jan, Restaurátorský průzkum a dokumentace, Restaurování polychromované sochy sv. Petra, 2008

2 Viz kap. 3.5. rest. průzkum, Historický průzkum, nalezení souvislostí se vznikem a umístěním díla

3.5. RESTAURÁTORSKÝ PRŮZKUM

3.5.1. Nálezová a průzkumová zpráva

Cíle průzkumu:

historický průzkum, nalezení souvislostí se vznikem a umístěním díla
průzkum poškození, stanovení obsahu vodorozpustných solí
průzkum povrchových úprav
průzkum materiálů vhodných pro strukturální konsolidaci kamene
průzkum materiálů (adheziv) vhodných k připevnění a konsolidaci povrchových úprav
odzkoušení a srovnání možností čištění, snímání sekundárních vrstev
zkoušky a výběr vhodných materiálů pro tmelení
výběr pojiva pro barevnou retuš

Metody průzkumu:

vizuální průzkum v rozptýleném a bočním světle s fotografickou dokumentací
vizuální průzkum v UV záření s fotografickou dokumentací
UV-VIS spektrofotometrie ke stanovení množství anorganických solí
Optická mikroskopie k průzkumu povrchových úprav
Elektronová mikroskopie s energiově-disperzní analýzou k průzkumu povrchových úprav
Zkoušky rozpustnosti k průzkumu povrchových úprav
Mikrochemické testy k identifikaci organických látek v povrchových úpravách

Historický průzkum, nalezení souvislostí se vznikem a umístěním díla

Informace o přesunu sochy sv. Jana Evangelisty společně s protější sochou apoštola Petra na jejich současné umístění z blízkého poutního kostelíka Montserrat byla nalezena na internetovém portálu Informačního centra Slavonice. Při snaze tuto informaci verifikovat bylo zjištěno že patrně poprvé byla publikována Petrou Hoftichovou³ v knize Slavonice městská památková rezervace v roce 1997. Další publikace o Slavonicích tuto informaci opakují, stále ovšem bez citace zdroje. V knihách a publikacích vydaných dříve nebyla zpráva o přesunu těchto soch nalezena.⁴ Dále byly

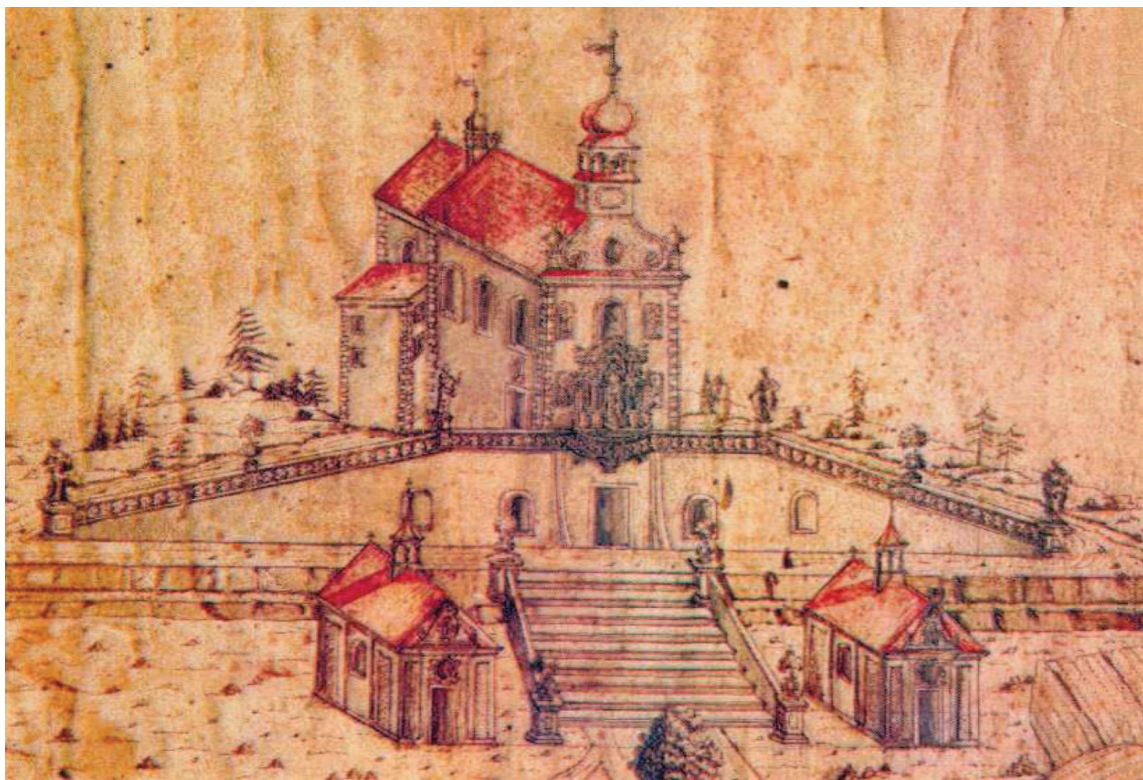
3 HOFTICHOVÁ, Petra. *Slavonice, městská památková rezervace*. Slavonice: Slavonická renesanční společnost, 199

4 SEDLÁŘ, Jaroslav a Jitka SEDLÁŘOVÁ. Slavonice. Praha: Odeon, 1973. Památky (Odeon). PECHOVÁ, Oliva. Slavonice: městská památková rezervace a památky v okolí. Praha: Sportovní a turistické nakladatelství, 1967.

studovány historické publikace o této lokalitě. Tiray ani Beringer a Janoušek⁵ se o přesunu či sochách nezmiňují. Cerroni⁶ ve svých skicách se o Montserratu také nezmiňuje. Gregor Wolny⁷ a obdobně Springer a Deimel popisují otevřenou klenutou niku pod schodištěm do kostela se sochou ukřižovaného Krista, po jedné straně se sochou Panny Marie a po druhé se sv. Janem. Svatý Jan pod křížem je ovšem ikonograficky jiný typ a bývá zobrazován jinak než sv. Jan jako evangelista. Nicméně je možné, že se v areálu poutního kostela nacházely dvě sochy sv. Jana v různém zobrazení. Při zrušení kostela během josefínských reforem v roce 1785, byly obrazy a další vybavení rozprodány. Springer⁸ uvádí, že sochy stojí tu a tam po okolí.

Dalším zdrojem informací by mohla být kolorovaná kresba barokního Montserratu. Tato kresba byl dlouhá léta na faře ve Slavonicích, ještě v roce 2011 ji zde fotografovala L. Moravcová,⁹ v současnosti zde tato kresba není a není zřejmé kdy a kam byla přemístěna. Během této práce se nepodařilo dohledat kvalitnější reprodukci, ze které by mohlo být zřejmé zda je v jedné z nik na fasádě kostela socha sv. Jana.

-
- 5 BERINGER, Jan, JANOUŠEK, Jaromír. Město a panství Dačice. Dačice: A. Kasalý, 1893.
TIRAY, Jan, Vlastivěda moravská, Místopis Moravy, IV. Jihlavský kraj, Slavonický okres. 1926
- 6 CERRONI, Jan Petr, Skizze einer Geschichte der bildenden Kunste in Mahren und österreichischen Schlesien
- 7 WOLNY, Gregor, Die Markgraftschafft Mahren topographisch, statistisch und historisch geschildert. I-VI. Bd. Brünn 1835-1842
DEIMEL, Theoder: Festschrift anlässlich des 60jährigen Jubiläums der Wiedererbauung der Montserratkirche. Zlabings 1925
SPRINGER, Josef: Montserrat. Sitzgras (Cizkrajov) 1908
- 8 SPRINGER, Josef, Ursprung und Schicksale der Mont Serrater Marienkirche
- 9 MORAVCOVÁ, Ludmila, farnost Cizkrajov a poutní místo Montserrat od bitvy na Bílé Hoře až do současnosti, diplomová práce, katedra církevních dějin a křesťanského umění, cyrilometodějská teologická fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, 2011



obr 1: nejstarší dochované vyobrazení Montserratu

Diecézní archiv Biskupství brněnského v Rajhradě, kde jsou uloženy Cizkrajovské kroniky a další církevní archiválie vztahující se k Montserratu, zpracoval pro tuto práci archivní rešerši svých pramenů.¹⁰ Ovšem zmínka o transferu sochy sv. Jana zde také nebyla nalezena

¹⁰ Viz příloha 2. Poutní kostel Montserrat ve farnosti Cizkrajov, archivní rešerše

1. místo kde je v současnosti nika se sv. Janem
2. místo kde je v současnosti kaple se sv. Petrem



br 2: Císařské povinné otisky map, Slavonice, Dačická ulice


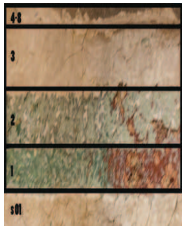

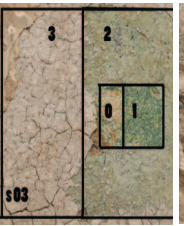
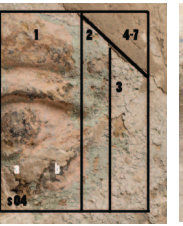
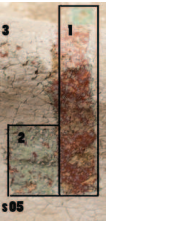
Dalším zdrojem, který byl zkoumán jsou historické mapy. Na Císařských povinných otiscích map stabilního katastru Moravy a Slezska z roku, je podrobně zakreslena tehdejší situace v Dačické ulici ve Slavonicích, jsou zde i zaznamenány boží muka na protější straně ulice, avšak kaple se sv. Petrem či náznak niky se svatým Janem zde nejsou. To naznačuje, že sochy sem byly umístěny až po roce. Totéž indikuje i chemicko-technologický průzkum, kdy v nejstarší celistvě dochované vrstvě polychromie byla nalezena zinková běloba (používána od roku 1834) a to i na zadní straně sochy, kam nemohla být nanášena bez vyjmutí sochy z niky. Rok 1861 kdy byl kostel obnoven, respektive znovu dostavěn v novogotickém stylu, by mohl být dalším možným datem přesunu těchto soch. Pokud tyto barokní sochy zůstaly v areálu Montserratu, pravděpodobně by již nebyly vhodné pro nově budovaný novogotický kostel, a mohli být odsunuty.

Je tedy možné, že socha sv. Jana Evangelisty původně skutečně vznikla pro areál poutního kostela Montserrat, odkud byla do Slavonic přenesena, ovšem během této práce se nepodařilo nalézt jakoukoli zmínku o tomto přesunu, ani o existenci této sochy v areálu Montserratu.

Dále byly hledány analogie pro doplnění hlavy orla. Mezi exteriérovými kamennými plastikami není zobrazování sv. Jana Evangelisty příliš časté, a proto byly zkoumány i dřevěné sochy na oltářích či v interiérech kostelů. Bylo nalezeno několik typů zobrazování tohoto atributu, zřejmě nejbližší podobou byl orel u sv. Jana na českokrumlovském sloupu.

Průzkum povrchových úprav

K chemicko-technologickému průzkumu povrchových úprav bylo odebráno 16 vzorků. Detailní vyhodnocení odebraných vzorků je uvedeno ve zprávě z chemicko-technologického průzkumu.¹¹ Dále byly provedeny, vyhodnoceny a zdokumentovány stratigrafické sondy na soše.

mapa zhotovených sond	sonda s 01 rozhraní šatu a pláště	sonda s 02 šat, pravý bok sochy	sonda s 03 šat na levém rameni	sonda s 04 levé oko	sonda s 05 plášť na pravém rameni
					
	1. zelená, červená 2. světle zelená 3. bílé vrstvy 4-8. bílé a okrové vápenné vrstvy	1. zelená 2. světle zelená 3. bílé vrstvy 4-10. bílé a okrové vápenné vrstvy	0. kámen 1. zelená 2. světle zelená 3. bílé vrstvy	a. okrové vrstvy b. černá vrstva 1. růžový inkarnát 2. světle zelená 3. bílé vrstvy 4-7. bílé a okrové vápenné vrstvy	1. červená 2. světle zelená 3. bílé vrstvy

Tab. 1. stratigrafické sondy

Popis dochovaných povrchových úprav sochy

Nejstaršími dochovanými povrchovými úpravami jsou nesouvislé, fragmentárně dochované světle okrové a bílé vrstvy, které mohly vznikat v širším časovém rozpětí. Pravděpodobně šlo o monochromní úpravy sochy, což vzhledem k vysoké degradaci těchto vrstev nelze ovšem zcela potvrdit. Technika zhotovení vrstev nebyla určena, vrstvy jsou složeny z uhlíčitánu vápenatého, obsahují proteiny. Na obličeji, krku a levém kolenu sochy byly dále nalezeny fragmenty černé vrstvy probarvené uhlíkatou, zřejmě révouou černí.

¹¹ Viz příloha 1., LESNIAKOVÁ, Petra, Chemicko-technologický průzkum, Slavonice, vápencová socha sv. Jana Evangelisty, 2016.

První celistvěji dochovanou výtvarnou fází je polychromní úprava zařazená na základě přítomnosti zinkové běloby nejdříve do roku 1834. Tato polychromie byla pravděpodobně vystavěna až ve třech barevných vrstvách. Nalézají se také na několika sádrových tmelech. Předpokládaná barevnost sochy byla následující: červený plášť, zelený šat, hnědé vlasy, růžový inkarnát, kniha měla černé či šedé desky, stránky bílé s ořízkou zvýrazněnou práškovou bronzí, orel byl černohnědý s okrovými pařáty, sokl hnědý nebo černý. Tato polychromní úprava stejně jako i všechny následující fáze pojednává pouze čelní pohledovou stranu sochy. Z výtvarného zpracování je zřejmé, že šlo o značně nepoučenou úpravu, jednotlivé části byly monochromně upraveny, pouze s výjimkou obličejů. Ten byl jako jediný malířsky pojednán ve více tónech. Na mnoha místech tato úprava nerespektuje plasticitu sochy a často přesahuje i několik centimetrů přirozené hranice jednotlivých částí. Na povrchu polychromie bylo nalezeno množství kapek a stékanců. Z provedení polychromie je zřejmé i nepochopení členění sochy, například ucho sochy je pojednáno jako vlasy a levá spodní část šatu je na zadní straně pojednána červeně jako plášť. Viz vizualizace 1 v tabulce 2.

Po výše popsané polychromní úpravě byl zřejmě ve dvou až třech vrstvách proveden světle zelený, poměrně silný nátěr s organickým pojivem zřejmě na bázi vysychavých olejů. Ořízka knihy a lem šatu byly zvýrazněny zlacením plátkovým zlatem s červeným podkladem probarveným suříkem. Tato barevná úprava se vyznačuje mnohem vyšší kompaktností, soudržností i dochováním než vrstva předešlá. Viz vizualizace 2 v tabulce 2.

Následovala relativně tenká zřejmě monochromní modro-šedá povrchová úprava, která se dochovala jen ve fragmentech. Díky značně fragmentární podobě dochování této vrstvy, není zcela zřejmá její původní podoba. V tabulce 2 není tedy uvedena.

V další fázi byla socha opatřena dvěma bílými nátěry v kombinaci s plátkovým zlatem na červeném podkladu, které bylo například zaznamenáno na ořízce knihy. V jedné z těchto fází byl orel sedící u Janových nohou natřen černou barvou. Jde o souvrství silné místy i několik milimetrů. Viz vizualizace 3 v tabulce 2.

Další vrstva prezentovala sochu ve stylu „majolikové keramiky“, kdy na bílém podkladě byly modře zvýrazněny nejen okraje šatu, ale i vrcholy draperie. Viz vizualizace 4 v tabulce 2.

Mladší povrchové úpravy jsou součástí alespoň osmi fází výtvarného zpracování sochy. Tvoří dosti silné souvrství, které se často od předchozích vrstev samovolně odlupuje. Lze předpokládat, že se ve většině případů jedná o monochromní úpravy, v některých případech v kombinaci se zlacením na ořízce knihy. V těchto vrstvách byl

identifikován uhličitan vápenatý, v některých přítomnost proteinů. Z charakteru těchto vrstev je zřejmé, že jde o vápenné nátěry, v některých případech modifikované kaseinem či jinou organickou látkou.



vizualizace 1

vizualizace 2

vizualizace 3

vizualizace 4

Tab. 2. orientační vizualizace prvních celistvěji dochovaných fází barevných úprav sochy

Popis stavu jednotlivých vrstev

Povrch kamene je pod povrchovými úpravami velmi degradovaný. Pod vrstvami barevných úprav došlo k naprosté ztrátě koheze mezi jednotlivými zrny vápence a k vytvoření velmi tenké cca 1 mm silné vrstvy velmi dezintegrovaného kamene.

Nejstarší světlé povrchové úpravy jsou dochovány ve fragmentech, většinou v podobě samostatných krakel. Pouze ve vlasech sochy a na zadních částech draperie se nalézají rozsáhlejší silnovrstvé nátěry.

První polychromní vrstva je značně degradovaná, dochovala se přibližně na 40% sochy. Zvláště na místech exponovaných dešti a ve spodní části sochy se tato polychromie už téměř nevyskytuje. Polychromie má značně sníženou adhezi k podkladu, spíše je fixována následujícími barevnými vrstvami. Na zadních částech draperie, kde byla v kontaktu s vápennými omítkami a nátěry, které zde byly zřejmě opakovaně aplikovány při opravách niky, došlo k degradaci pojiva. Barevná vrstva je zřejmě z tohoto důvodu rozpustná ve vodě. Její rozpustnost je zvýšena v alkalickém vodním prostředí. Před nanesením této vrstvy došlo k rozsáhlejšímu tmelení defektů sádrovým tmelem na kovové armatury (železné hřebíky). Takto byl přetmelen nos, ústa, defekt prstů na pravé ruce, otvory po svatozářích na hlavě sochy a další rozsáhlejší plochy na zadní části draperie.

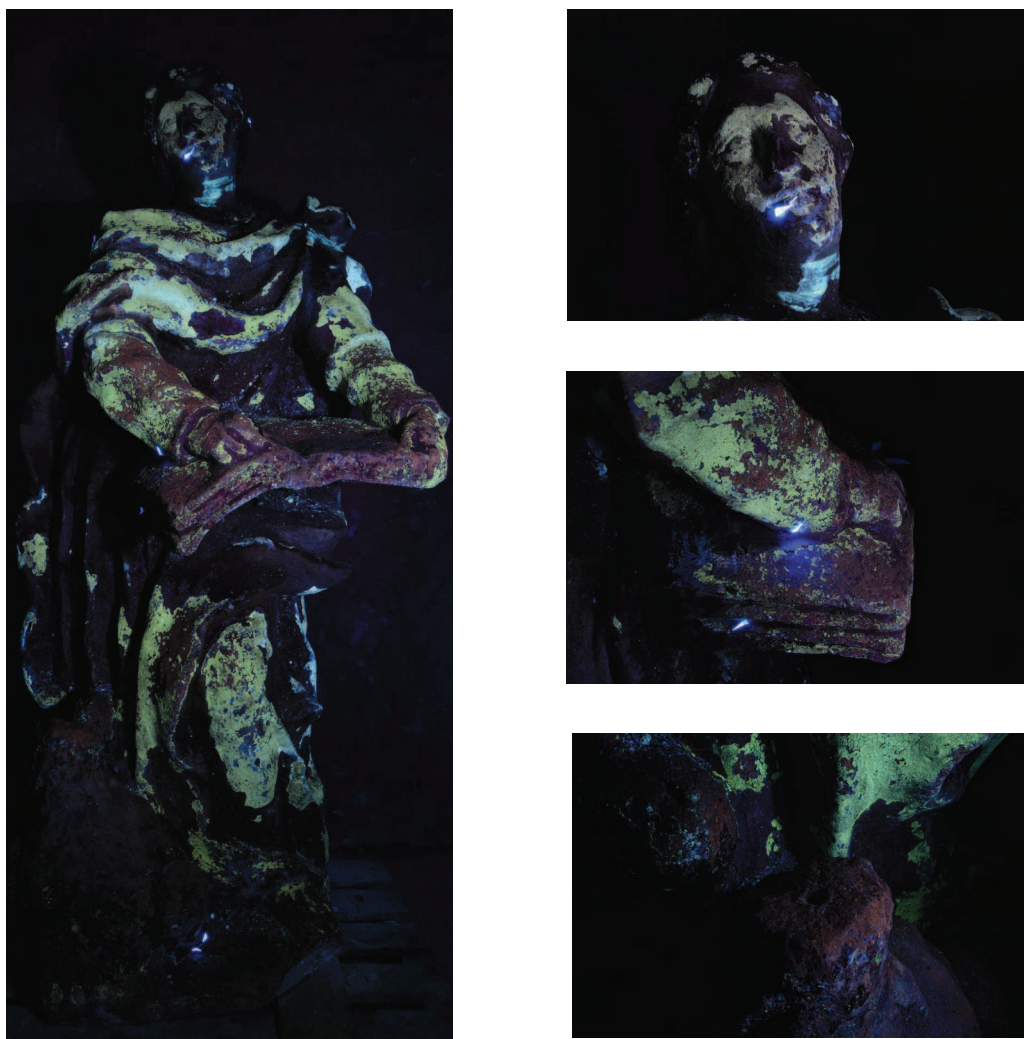
Následující světlezelená souvrství tvoří velmi tvrdý až milimetr silný film, který brání přirozené cirkulaci vlhkosti v soše. I tato vrstva lokálně krakeluje. Podobně je tomu s dalšími povrchovými úpravami, tedy šedomodrou vrstvou a bílými až světle modrými vrstvami vyskytujícími se v kombinaci se zlacením plátkovým zlatem.

Silné souvrství nejmladších povrchových úprav je značně degradované, tvoří se zde rozsáhlá síť šupin a puchýřů. V důsledku vysokého počtu vrstev a velké tloušťky, případně materiálové nekompatibility se často samovolně odděluje od starších vrstev. Společně s ním se v některých částech odlupují a degradují i vrstvy předchozí. Nejmladší dochované vrstvy jsou naprosto nesoudržné, odpojují se od starších předpokládaných olejových vrstev a tvoří místy až 0,5 cm silnou zaslepující vrstvu na povrchu sochy. Tyto vrstvy jsou pokryty prachovými depozity a biologickým napadením. Na místech, kde se vrstvy nátěrů nedochovaly, je takto znečištěn i kámen.

Vizuální průzkum v UV záření

Povrch sochy byl pozorován v ultrafialovém záření. Odhalené zřejmě starší olejové vrstvy vykazovaly silnou luminiscenci typickou pro zinkovou bělobu. Překvapivé bylo objevení červené luminiscence na knize a předloktích světce. Pravděpodobně¹² jde o residua šelaku, zřejmě sekundární úpravu kamene. V odebraných vzorcích barevných vrstev nebyla tato vrstva mikroskopicky zaznamenána.

12 Podobnou luminescenci mají i některá organická barviva, např. Mořena. V tomto případě se však pravděpodobně jedná o šelak, protože residua těchto barviv by byly zřejmé ve vis světle.



Tab. 3 dokumentace stavu před restaurováním v uv záření¹³

Stanovení množství vodorozpustných solí

Vzorky pro stanovení množství vodorozpustných solí byly odebrány z míst, kde bylo předpokládáno provedení vrtů v rámci dalšího restaurátorského postupu. Jednalo se o lomovou plochu na defektu soklu a krk orla. V odebraných vzorcích byly zjištěny nízké až střední koncentrace dusičnanů, síranů a chloridů. Vzhledem k nižším koncentracím solí v soše, ale především z důvodu nestability nejstarších barevných vrstev při dlouhodobém zavlhčení, nebylo doporučeno odsolování.

¹³ na fotografiích intenzivně modře lumineskuje štítky značící místa odběrů vzorků

Nalezení materiálů vhodných pro strukturální konsolidaci kamene a fixaci povrchových úprav

Na vzorcích povrchových úprav získaných ze spadu z knihy byly provedeny testy stability barevné vrstvy nejstarší polychromní úpravy červené barevnosti ve vodném alkalickém prostředí. Tyto vzorky byly uchyceny pomocí 20% akrylátového lepu *Acrylkleber 498 HV* na vápencovou desku, kde na ně byly naneseny rozličné materiály na bázi hydroxidu vápenatého. V jednom případě byl vzorek polychromie před nanesením hašeného vápna separován vrstvou 5% akrylátové disperze *Dispersion K9*. Po 10 dnech byla pomocí vlhké vatové tyčinky testována citlivost jednotlivých polychromie vzorků na demineralizovanou vodu. Všechny vzorky takto vystavené zásaditému prostředí se staly snadněji rozpustné ve vodě. Vzorek ošetřený disperzí *Dispersion K9* byl odolnější, přesto jevil částečné známky degradace.

Tmel z hašeného vápna	Tmel z hydraulického vápna	Nanosuspenze CaLoSil E25	Nanosuspenze KK 106 b	Tmel z hašeného vápna, povrch kamene separovaný pomocí 5% Dispersion K9	Referenční povrch
-----------------------	----------------------------	--------------------------	-----------------------	---	-------------------



Tab. 4. testy stability barevné vrstvy v alkalickém prostředí

Stejným způsobem byly testovány další separační prostředky. Účelem bylo zjistit, zda ochrání barevnou vrstvu před degradací v alkalickém prostředí. Jmenovitě byly v různých koncentracích testovány roztoky *Paraloidu B72*, znovu disperze *Dispersion K9* a cyklododekan. Z testovaných prostředků se jako jediná částečně účinná ukázala disperze *Dispersion K9* od koncentrace 5% výše.

Vzhledem k vysoké citlivosti nejstarších barevných vrstev na zásadité prostředí nebyl realizován záměr konsolidovat povrch vápencové sochy nanosuspensemi na bázi bílého vzdušného nebo přírodního hydraulického vápna. Tyto materiály jsou předmětem výzkumu v teoretické části diplomové práce. Po provedení zkoušek na inertnost vůči barevné vrstvě byl jako vhodný konsolidant pro zpevnění kamene vybrán organokřemičitý prostředek *IFEST OH 75%*.

Pro konsolidaci a fixaci barevné vrstvy, respektive pro zpětné uchycení uvolněných krakel polychromie, byl hledán prostředek, který nebude narušovat barevnou vrstvu a zároveň nezmění, či omezí jen minimálně, vlastnosti kamene, jako jsou nasákavost či paropropustnost. Dále bylo zapotřebí brát v potaz, že socha bude umístěna v exteriéru. Prostředek tedy musel být stabilní vůči vlhkosti a při výkyvech teplot. Vybrány a orientačně testovány byly prostředky *Paraloid B72* a disperze *Dispersion K9*.

Paraloid B72 rozpuštěný v toluenu ovšem bořil extrémně citlivou první vrstvu polychromie. Proto byl testován roztok *Paraloidu B72* rozpuštěného v minimálním množství toluenu ředěný dále na potřebné koncentrace ethanolem. Postup uchycení krakel a šupin polychromie byl následující. Povrch kamene a dutiny pod šupinami byly „předvlhčeny“ 0,5% *Paraloidem B72*, následně byl do dutiny injekčně vpraven *Paraloid B72* o testované koncentraci. Poté byly pomocí horkovzdušné pistole při 70 °C špachtlí přes silikonový papír jednotlivé šupiny přitlačeny zpět. Testovány byly koncentrace *Paraloidu B72* 5, 10, 15 a 20 %. Teprve při 20% koncentraci začalo docházet k uchycení barevné vrstvy. Vápenec, jako velmi porézní hornina s vysokou nasákavostí¹⁴, absorboval adhezivum v nižších koncentracích i přes důkladné, dříve popsané „předvlhčení“. Následně byla obdobně testována disperze *Dispersion K9*. Dutiny byly předvlhčeny vodou s ethanolem (1:1) a již při 4% koncentraci byly jednotlivé krakely poměrně spolehlivě uchyceny k podkladu.

Dále byla testována změna nasákavosti horniny po aplikaci vybraných adheziv s různými koncentracemi. Pomocí Karstenových trubic byla provedena měření nasákavosti obdobného vápence z lokality St. Margarethen ošetřeného *Paraloidem B72* a disperzí *Dispersion K9* v testovaných koncentracích. *Paraloid B72* i při 20% koncentraci neovlivnil míru nasákavosti, disperze *Dispersion K9* se vzrůstající koncentrací snižovala nasákavost povrchu horniny. Ovšem při koncentraci disperze *Dispersion K9* do 5 % stále zůstával povrch horniny otevřený a míra nasákavosti obdobná jako u neošetřené horniny.

Čištění, snímání sekundárních vrstev

Byly provedeny zkoušky odstranění biologického napadení na odhaleném povrchu kamene. Před provedením zkoušek byl napadený povrch sochy ošetřen ethanolem.

1 silonový kartáček, suchá cesta

2 mikropískování při tlaku 1,8 atm, abrazivo korund 220 μm

¹⁴ Viz teoretická část této práce, kapitola 2.2.1 vlastnosti hornin St. Margarethen

3 silonový kartáček, mokrá cesta



obr 3: zkoušky čištění biologického nárůstu a prachových depozit

Při použití silonových kartáčků suchou i mokrou cestou zůstávaly zbytky biologického napadení v hloubkách reliéfu. Pomocí mikropískování bylo možné poměrně citlivě odstranit biologické napadení a zeslabovat prachové a další depozity.

První orientační zkoušky citlivosti barevných vrstev byly provedeny se sadou rozpouštědel nanesených v papírovině Arbocel BC200. Arbocel BC200 s rozpouštědlem byl aplikován v alobalové formě o rozměrech $2 \times 2 \times 2$ cm a k soše připevněn pomocí lepicí pásky.

	10 min	30min	60 min	120 min
ethanol	svrchní bílá vrstva mírně křehne	svrchní bílá vrstva mírně křehne	svrchní bílá vrstva se mírně odděluje	svrchní bílá vrstva se částečně odděluje
aceton	povrch svrchní bílé vrstvy se mírně sprašuje	povrch svrchní bílé vrstvy se mírně sprašuje	svrchní bílá vrstva se mírně sprašuje	měkknou podkladové vrstvy
benzin	beze změny	beze změny	mírné změknutí	svrchní bílá vrstva se mírně sprašuje
toluen	beze změny	beze změny	povrch mírně změkne	povrch mírně změkne
xylén	beze změny	svrchní bílá vrstva mírně křehne	svrchní bílá vrstva se mírně odděluje	svrchní bílá vrstva se mírně odděluje
ethanol + xylén	svrchní bílá vrstva se odděluje	svrchní bílá vrstva se odděluje spolu se zelenou vrstvou		

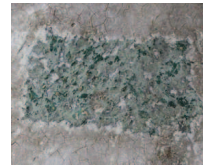
Tab. 5. zkoušky snímání sekundárních vrstev pomocí rozpouštědel v Arbocelu BC200

Pro provedení zkoušek rozpustnosti svrchní bílé a světlezelené vrstvy byla vybrána místa s maximálně dochovaným souvrstvím, pokud možno bez krakeláže a

dalších defektů. Přesto nebyly zkoušky naprosto průkazné, protože vrstvy nátěrů měly na různých místech různou soudržnost. Na místech některých zkoušek mohlo dojít k pronikání rozpouštědel mikroprasklinami do podkladu, zatímco u jiných ne. V tomto testu byl nejúčinnější a přitom selektivní ethanol kombinovaný s xylenem. Při zkouškách na místech s vyšším stupněm degradace barevných vrstev ovšem poměrně rychle docházelo k poškození první polychromní vrstvy.

Následně byly provedeny zkoušky snímání sekundárních vrstev pomocí rozpouštědel v gelu a dále mechanickou cestou. Dále byl testován komerční prostředek *Remmers Age*. Bylo zjištěno, že svrchní barevné vrstvy jsou mnohem rezistentnější než vrstva polychromie. Zatímco vrstvy na povrchu zůstávaly poměrně dlouhou dobu beze změny, spodní vrstvy botnaly a oddělovaly se od podkladu.

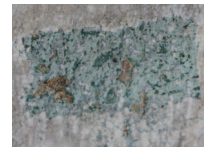
Benzin v carbopolovém gelu



Xylen carbopolovém gelu



Čistící pasta Remers Age



Zkouška snímání skalpelem



Zkouška snímání mikropískováním





Tab.6 zkoušky snímání sekundárních vrstev

Dále byly provedeny testy rozpustnosti úlomků vzorků souvrství starších povrchových úprav získaných ze spadu. Pro testy byla vybrána málo toxická a dostupná rozpouštědla na základě jejich polarit¹⁵. Vzorky obsahovaly nejstarší červené vrstvy předpokládané první polychromie a dále světle zelené, modrošedé a bílé/světlé vrstvy náležící do následujících předpokládaných monochromních úprav povrchu sochy. Bylo zjištěno, že jsou vrstvy znatelně citlivější k polárním rozpouštědlům než k nepolárním. Znatelně nejméně odolná byla červená vrstva předpokládané polychromie, kterou bylo možné mechanicky snadno narušit zejména ve vodě, případně etanolu do 30 min. Nejdolnější byly následující světle zelené vrstvy.

Dále bylo přistoupeno ke zkouškám mechanického odstraňování sekundárních vrstev, zaslepujících svou mocností modelaci sochy. Při snímání pomocí skalpelů docházelo k oddělování svrchních, velmi tvrdých vrstev spolu s křehkou vrstvou polychromie. Dále bylo testováno snímání vrstev pomocí mikropískování, kdy mikropískovačkou *Sandmaster* při tlaku 1,3 atm a abrazivu korund 220 μm bylo na některých kompaktnějších místech sekundární vrstvy možné poměrně selektivně snímat. Nicméně i zde docházelo k narušení povrchu podkladové vrstvy. Posledním testovaným způsobem bylo snímání pomocí diamantových brusných tělísek o průměrech 1,5-2,5 mm v přímé brusce. Touto metodou bylo možné nejselektivněji zeslabit jednotlivé vrstvy za minimálního poškození vrstvy odkrývané polychromie.

Zkoušky a výběr vhodných materiálů pro tmelení

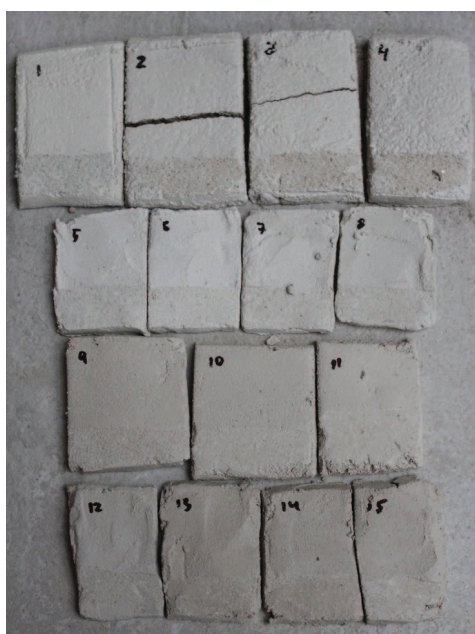
Pro doplnění různých typů defektů, i přes snahu minimalizovat množství použitých materiálů, byly zvoleny různé typy tmelů především s ohledem na jejich vlastnosti a kompatibilitu s daným prostředím kam budou nanášeny.

Velké doplňky tj. hlavu orla a roh soklu bylo rozhodnuto vysekat z vápence příbuzné lokality (St. Margarethen). Toto rozhodnutí bylo odůvodněno velkou citlivostí polychromních vrstev na zásadité prostředí, kdy hrozilo dočasné zvýšení alkality v okolí tmelů během karbonatace vápenného pojiva.

15 Viz příloha 1., LESNIAKOVÁ, Petra, Chemicko-technologický průzkum

Pro drobnější poškození, např. prsty, nos, rty a defekty na draperii, byl vybrán tmel, jehož receptura vycházela z předchozích zkušeností s doplňováním litavských vápenců a který byl modifikován pro tuto konkrétní sochu. Na základě zkoušek byl vybrán tmel č.15 o složení 2 díly přirozeně hydraulického vápna NHL 5, 0,5 dílu bílého portlandského cementu 52, 5,5 dílů mletého živce, 2 díly vápencové drtě. Tmel byl mírně dobarven anorganickými pigmenty *Bayferox*.

Doplnění ložné plochy podstavce bylo provedeno z důvodu požadavku na vyšší pevnost a zároveň zachování vlastností jako je nasákavost a paropropustnost z tmelu o složení: 2 díly přirozeně hydraulického vápna NHL 5, 0,5 dílu bílého portlandského cementu 52,5, 7 dílů kopaného písku o frakci 0,01 – 3 mm.



Tmely pro doplnění ložné plochy podstavce

Testování poměru plniva a pojiva

Testování poměrů příměsí vápencové drtě

Testování barevnosti tmelu

Tab. 6. zkoušky a výběr tmelu

Tmel pro doplnění drobných defektů ve vrstvě polychromie byl vybírán na základě kompatibility s touto vrstvou. Dále bylo požadováno zachování co nejvyšší možné paropropustnosti, dostatečná nikoli příliš vysoká pevnost a stabilita v exteriéru. Tyto tmely byly testovány tak, že na povrch připravených vzorků z vápence St. Margarethen byly nanášeny tenké vrstvy cca 2 mm. Následně, po vytvrzení, byla testována pevnost, přílnavost a nasákavost těchto tmelů.

Testovány byly tmely na bázi akrylátové pryskyřice *Paraloid B72* v koncentracích od 2,5 do 20 %. Tmely z mramorové moučky spojené *Paraloidem B72* v koncentraci od

7,5 do 10% měly dostatečnou pevnost i si zachovaly určitou nasákavost, nicméně média ve kterých byl *Paraloid B72* rozpuštěn degradovala barevnou vrstvu na soše.

Dále byly testovány tmely na bázi esterů kyseliny křemičité. Proběhly zkoušky s konsolidantem *Ifest OH 75 %* plněným mramorovou moučkou a systémem *Remmers Fulstoff*.

Pro tyto tmely bylo nutné nejprve důkladně prosytit podklad daným konsolidantem, společně měli velmi špatnou zpracovatelnost a po vyschnutí praskaly.

Komerčně dostupný akrylátový tmel *Švédská pasta*, se po i vytvrnutí stále rozpouštěl ve vodě.

Testy tmelu z mramorové moučky pojené disperzí *Dispersion K9* prokázaly dostatečnou pevnost a přilnavost při 10% koncentraci pojiva, a zachování určité míry nasákavosti. Zároveň po úplném vytvrzení cca 1 měsíci i odolnost vůči vodě. Pro doplnění plastických defektů v polychromii byl vybrán tmel o složení 10% disperze *Dispersion K9*, mramorová moučka o frakci 50 – 350 μm . Tmel byl mírně tónován anorganickými pigmenty *Bayferox*.

Výběr pojiva pro barevnou retuš

Pro barevnou retuš poškození polychromie na soše sv. Jana byly zvažovány olejové, posléze olejoprskyřičné barvy. Avšak vzhledem k materiálu použitým pro fixaci barevné vrstvy i pro plastické doplnění defektů v polychromii, bylo rozhodnuto minimalizovat množství materiálů zanášených do sochy a barevnou retuš pojit také disperzí *Dispersion K9*. Po provedených zkouškách byla jako dostatečná zvolena koncentrace 2,5%.

3.6. KONCEPCE RESTAURÁTORSKÉHO ZÁSAHU

Koncepce restaurátorského zásahu vychází ze skutečností zjištěných během průzkumu. Cílem restaurátorských prací bude stabilizovat stav sochy, zastavit či zpomalit korozivní procesy a pomoci zachovat památku do budoucnosti. Při řešení přístupu k budoucí podobě sochy bude třeba zohlednit několik faktorů, které jsou pro zachování hmotných, výtvarných či historických a dokumentárních hodnot památky koncepčně limitující.

Přestože je socha barokní, nejstarší celistvěji dochované barevné vrstvy vznikly pravděpodobně až kolem poloviny 19. století a souvisejí zřejmě s osazením sochy na nové místo - do niky, kde je socha v současnosti umístěna. Tyto barevné vrstvy sekundární a začaly vznikat přibližně sto let po zhotovení sochy sv. Jana, mají bezesporu historickou a dokumentární hodnotu. Nicméně svou mocností zaslepují jemnou modelaci sochy a svými mechanickými vlastnostmi přispívají k degradaci barokní památky. I z těchto důvodů bylo po konzultacích se zástupci NPÚ a pedagogickým vedením rozhodnuto sejmut sekundární převážně monochromní vrstvy na nejstarší celistvě dochovanou vrstvu polychromie.

Socha sv. Jana tvoří jakýsi pandán protější soše sv. Petra, která byla restaurována v roce 2008. Přestože celkový stav památek, například míra dochování jednotlivých barevných vrstev, byl odlišný, bude nutné při rekonstrukci polychromie do určité míry respektovat současnou podobu sochy sv. Petra a nenarušit celkové vyznění těchto dvou soch při vstupu do města.

Dalším limitem je umístění památky v exteriéru, tedy všechny použité technologie a materiály musí být stabilní ve venkovním prostředí, ale zároveň musí respektovat vlastnosti památky tak, aby z dlouhodobého hlediska nevedl tento zákrok k její degradaci.

V konkrétních krocích tedy:

Socha bude po převozu do ateliéru očištěna od mladších bílých monochromních nátěrů, které zaslepují modelaci a zabraňují dalšímu postupu prací. Dochované mladší vrstvy polychromie budou zpevněny a zafixovány. Degradovaný povrch kamene bude zpevněn. Bude přistoupeno k postupnému selektivnímu snímání barevných vrstev. Po odkrytí vrstvy polychromie, bude tato vrstva konsolidována. Bude dbáno na skutečnost, aby použité konsolidanty, či způsob jejich aplikace nevedly k uzavření pórů sochy.

Budou doplněna mechanická poškození kamene a defekty v polychromii. Tmely budou mít vlastnosti, které zásadně neomezí přirozenou cirkulaci vlhkosti v památce.

Dále bude dbáno, aby veškeré tmely měly nižší pevnost než originál. Tmeleny budou pouze defekty, které brání výtvarnému čtení památky a jejichž doplnění je pro pochopení tvarosloví sochy nezbytné.

Barevná retuš bude nápodobivá, nejprve dojde k barevnému propojení fragmentů polychromie, následně budou pomocí barevných lazur zapojovány plochy, kde se barevné vrstvy nedochovaly. Intenzita barevné retuše bude nižší než u retušované vrstvy, zároveň dostatečná aby propojila jednotlivé barevné fragmenty a socha působila jako výtvarný celek

Závěrečná restaurátorská zpráva bude obsahovat podrobný postup všech prováděných prací, seznam použitých materiálů a technologií a podrobnou fotodokumentaci. V průběhu restaurátorských prací může po konzultaci se zástupcem NPÚ a objednatelem dojít k upřesnění jednotlivých pracovních postupů.

3.7. POSTUP RESTAURÁTORSKÝCH PRACÍ

Postup restaurátorských prací vycházel z koncepce restaurátorského zásahu a z výsledků restaurátorského průzkumu. Před započítím prací byla provedena fotografická dokumentace a grafické zakreslení jednotlivých poškození.

3.7.1. Transfer sochy a odstranění sekundárních vápenných nátěrů

Socha sv. Jana byla zajištěna pomocí látkových popruhů na autojeřáb. Po zajištění byla mechanicky uvolněna spára mezi sochou a podstavcem, na kterém byla socha umístěna. Po uvolnění byla socha vyzvednuta a převezena do ateliéru.

Po provedení restaurátorského průzkumu a dokumentace stavu před restaurování, bylo přistoupeno k odstranění sekundárních vápenných nátěrů na soše, které svou mohutností zabraňovali jakékoli další práci. Tyto vrstvy byly značně nesoudržné, k jejich odstranění byl použit skalpel a štětce. Hmotnost odstraněných vápenných vrstev byla 2,1 kg.

3.7.2. Zpevnění sochy, fixace polychromií, očištění od biologického nárůstu

Následně bylo přistoupeno k hloubkové konsolidaci kamene. Konsolidant *IFES_t OH 75%* byl na povrch kamene nanášen stříčkou, štětci a injektážně mezi krakelami polychromních vrstev. Na sochu bylo aplikováno 3,4 l konsolidantu. Protože zpevnění probíhalo v zimních měsících, byla kolem sochy zřízena izolovaná komora kde byla udržována stabilní teplota a uměle zvyšována vzdušná vlhkost pro rychlejší a stabilnější průběh reakce vytvrzení organokřemičitého konsolidantu.

Po zpevnění hmoty kamene bylo přistoupeno k fixování barevných vrstev. Dutiny mezi krakelami těchto vrstev byly injekčně předvlhčeny vodou s ethanolem v poměru 1:1. do prasklin a dutin mezi krakeláží byla pomocí injekční stříkačky vpravena 4 % disperze *Dispersion K9*. Po zavadnutí byly zvednuté kry nahřáty horkovzdušnou pistolí na 70 °C a přitlačeny zpět k podkladu špachtlí přes silikonový papír. Bylo pracováno systémem tzv. teplé a studené špachtle.

Mechy řasy a další depozity na povrchu kamene byly čištěny pomocí mikropískování strojem *Sandmaster* tryskou o průměru 1,2 mm, při tlaku 1,8 atm s abrazivem korund 220 μm.

3.7.3. Postupné snímání sekundárních barevných vrstev

Na základě zkoušek provedených v rámci restaurátorského zásah, bylo přikročeno k postupnému snímání sekundárních barevných vrstev pomocí diamantových brusných tělísek uchycených v bovdenu regulovatelné přímé brusky. Pro šetrné snímání těchto silných a pevných vrstev se nejlépe osvědčila kulová tělíska o průměru 1,5 a 2,5 mm. Po odstranění silného bílého souvrství došlo znovu k revizi uchycení barevných vrstev a v místech kde nebylo dostatečné byla znovu opakována fixace pomocí disperze K9.

Po konzultaci s pedagogy a zástupcem NPÚ, bylo rozhodnuto sejmout i další světle zelenou sekundární vrstvu. Mechanismus snímání této vrstvy byl obdobný jako u předešlé. Převážně byla používána diamantová tělíska, v místech kde byly lepší výsledky snímání dosaženy skalpelem, byl použit skalpel. Je důležité zmínit, že žádná z dochovaných barevných vrstev se na soše nedochovala celoplošně, stav, míra poškození a soudržnost jednotlivých vrstev byla značně nehomogenní a bylo třeba v každém bodě prací přistupovat k nim individuálně.

Po sejmutí světle zelené vrstvy byl opět revidován stav odkryté barevné vrstvy a uvolněné či degradované části byly přichyceny či dozpevněny.

3.7.4. Tmelení

Chybějící části a plastické defekty byly doplněny tmelem vybraným na základě zkoušek provedených v rámci rest. průzkumu. Tmeleny byly mechanicky poškozené partie modelace, které svým charakterem narušovali celistvost sochy. Doplněny takto byly defekty na draperii, prsty obou rukou, poškození na soklu sochy, dále rty a nos sochy. Rozsáhlejší doplňky, tedy hlava orla a pravý přední roh soklu byly zhotoveny z vápence z lokality st. Margarethen pomocí kamenického nářadí. Pro doplněk hlavy orla byly zhotoveny tři modely v keramické hlíně, které byly odlity do sádry. Po vybrání vhodné varianty, byla tato tedy převedena do kamene. Nové kamenné doplňky byly uchyceny pomocí nerezových trnů lepených polyesterovou pryskyřicí *Berner*. Ložná plocha na soklu sochy byla doplněna jádrovým tmelem, pro vyrovnání rovin se soklíkem v nice. Bylo zjištěno, že tento sokl nemá ložnou plochu v horizontální rovině, pravý zadní roh je oproti levému přednímu zvednutý o 4 cm. Socha měla také podstavec na spodní části zkosený a přestože stejným směrem jako sokl, rozdíl mezi těmito rovinami činil v pravém zadním rohu 7 cm.

Dále byly tmeleny defekty v povrchu polychromie byly vytmeleny ostré hrany defektů a větší a hlubší poškození. Drobné a plynule přecházející defekty v povrchu, či místa kde byl originální povrch smyt, byly ponechány bez doplnění.

3.7.5. Zhotovení kovových atributů

Na základě analogií s dalšími sochami sv. Jana Evangelisty byly zhotoveny návrhy brku a svatozáře. Vybraná návrhy byly přeneseny na nerezový plech a následně vystřiženy a tepány. Takto připravené nerezové prvky byly natřeny červenou barvou *Ifest Color* a zlaceny 23,75 k zlatem na podklad akrylátového lepidla *Rapid*. Tyto atributy budou na sochu osazeny reverzibilním způsobem až po osazení sochy na původní místo pro umožnění manipulace se sochou v těsné nise.

3.7.6. Barevná retuš

Dále bylo přistoupeno k barevné retuši polychromie. Bylo rozhodnuto, že retuš bude nápodobivá. Technologie retuše byla zvolena na základě zkoušek provedených v restaurátorském průzkumu. Anorganické pigmenty *Bayferox* byly pojené 2,5% roztokem disperze *Dispersion K9*. Bylo postupováno postupně po jednotlivých typech podkladu. Nejprve byly barevně zapojeny dochované fragmenty barevné vrstvy a dále byly v lazurách zapojovány větší defekty. Na ořízku knihy byl zvolen místo původního bronzu, kvůli větší stabilitě v exteriéru slídivý pigment *Royal Gold*.

3.8. POUŽITÉ MATERIÁLY A TECHNOLOGIE

3.8.1. Transfer sochy a odstranění sekundárních vápenných nátěrů

- látkové popruhy, autojeřáb
- kamenické nářadí
- skalpely, štětce

3.8.2. Zpevnění sochy, fixace polychromií, očištění od biologického nárůstu

Zpevnění sochy

- nehydrofobní zpevňovací prostředek na bázi etylesteru kyseliny křemičité *Ifest OH* 75% (Imesta), stříčka, štětce a injekční stříkačky

fixace polychromií

- voda s ethanolem v poměru 1:1.
- 4% akrylátová disperze *Dispersion K9*, injekční stříkačky
- horkovzdušná pistole, silikonový papír, špachtle

očištění od biologického nárůstu

- mikropískovačka *Sandmaster*, tryska o průměru 1,2 mm, tlak 1,8 atm, abrazivo korund 220 µm

3.8.3. Postupné snímání sekundárních barevných vrstev

- skalpely, přímá bruska, diamantová brusná tělíška 1,5 – 2,5 mm

3.8.4. Tmelení

- tmel pro doplnění defektů v kameni: 2 díly přirozeně hydraulického vápna NHL 5, 0,5 dílu bílého portlandského cementu 52,5, 5 dílů mletého živce f 0,1 -1 mm, 2 díly vápencové drtě f 0,01 -2 m, anorganické pigmenty *Bayferox*
- doplnění ložné plochy podstavce: 2 díly přirozeně hydraulického vápna NHL 5, 0,5 dílu bílého portlandského cementu 52,5, 7 dílů kopaného písku f 0,01 – 3 mm
- pro uchycení nových kamenných prvků: nerezová tyčovina průměr 10 mm, polyesterová chemická kotva *Berner*
- doplnění plastických defektů v polychromii: 10% disperze K9, mramorová moučka f 50 – 350 µm, anorganické pigmenty *Bayferox*

3.8.5. Zhotovení kovových atributů

- nerezový plech o síle 0,6 mm,
- *Imestol Color*, 23,75 k zlato, akrylátové lepidlo *Rapid*

3.8.6. Barevná retuš

- anorganické pigmenty *Bayferox*, 2,5% roztok disperze *Dispersion K9*.

3.9. DOPORUČENÝ REŽIM PAMÁTKY

Doporučujeme pravidelnou kontrolu nejméně jedenkrát za rok, při které bude vizuálně překontrolován stav sochy. V horizontu deseti let by měl restaurátor provést základní ošetření a také doporučit další možná opatření.

Dále doporučujeme zhotovit stříšku na nikou, která by měla omezit množství srážkové vody dopadající na památku. Vzhledem k blízkosti komunikace, která se v zimním období udržuje pomocí solení, by bylo vhodné umístit před sochu v tomto období průhlednou zástěnu, která by zamezila dalšímu vnikání ve voděrozpuštěných solí do sochy.

4. OBRAZOVÁ DOKUMENTACE:

- 4.1. Stav před restaurováním, transfer sochy**
- 4.2. Restaurátorský průzkum, zhotovení sond**
- 4.3. Odstranění sekundárních vápenných nátěrů**
- 4.4. Zpevnění sochy, fixace polychromií**
- 4.5. Postupné snímání sekundárních barevných vrstev**
- 4.6. Tmelení**
- 4.7. Zhotovení kovových atributů**
- 4.8. Barevná retuš**
- 4.9. Stav po restaurování**

5. SEZNAM TEXTOVÝCH PŘÍLOH:

- 5.1. Chemicko-technologický průzkum, Slavonice, vápencová socha sv. Jana Evangelisty**
- 5.2. Archivní rešerše Poutní kostel Montserrat ve farnosti Cizkrajov**
- 5.3. Zápisy z kontrolních dní**

4.1. Stav před restaurováním, transfer sochy



obr 1: stav před restaurováním, celkový pohled na sochu v nice domu



obr 2: stav před restaurováním, detail obličeje sochy



*obr 3: stav před restaurováním,
celkový pohled na sochu*



obr 4: stav před restaurováním, detail orla



obr 5: průběh transferu sochy



obr 6: nika po transferu sochy



*obr 7: stav před restaurováním,
stav po převozu sochy do ateliéru*



obr 8: stav před restaurováním, levá strana sochy



*obr 9: stav před restaurováním,
pravá strana sochy*



obr 10: stav před restaurováním, detail orla



obr 11: stav před restaurováním, detail poškození



obr 12: stav před restaurováním, detail poškození barevných vrstev na draperii

4.2. restaurátorský průzkum, zhotovení sond



obr 13: zhotovení stratigrafických sond



obr 14: zhotovení stratigrafických sond



obr 15: zhotovení stratigrafických sond



obr 16: zhotovení stratigrafických sond

4.3. Odstranění sekundárních vápenných nátěrů



*obr 17: průběh snímání
sekundárních vápenných nátěrů*



*obr 18: průběh snímání sekundárních vápenných
nátěrů*

4.4. Zpevnění sochy, fixace polychromií



obr 19: průběh konsolidace kamene



obr 20: průběh konsolidace kamene



obr 21: stav barevných vrstev před zažehlením



obr 22: průběh fixace barevných vrstev

4.5. Postupné snímání sekundárních barevných vrstev



obr 23: zkoušky snímání sekundární barevné vrstvy



obr 24: zkoušky snímání sekundární barevné vrstvy diamantovým tělískem



obr 25: postupné snímání sekundární barevné vrstvy



obr 26: postupné snímání sekundární barevné vrstvy



*obr 27: postupné snímání
sekundární barevné vrstvy*



*obr 28: postupné snímání sekundární barevné
vrstvy*



*obr 29: stav po snímání bílé vrstvy
detail zadní část draperie*



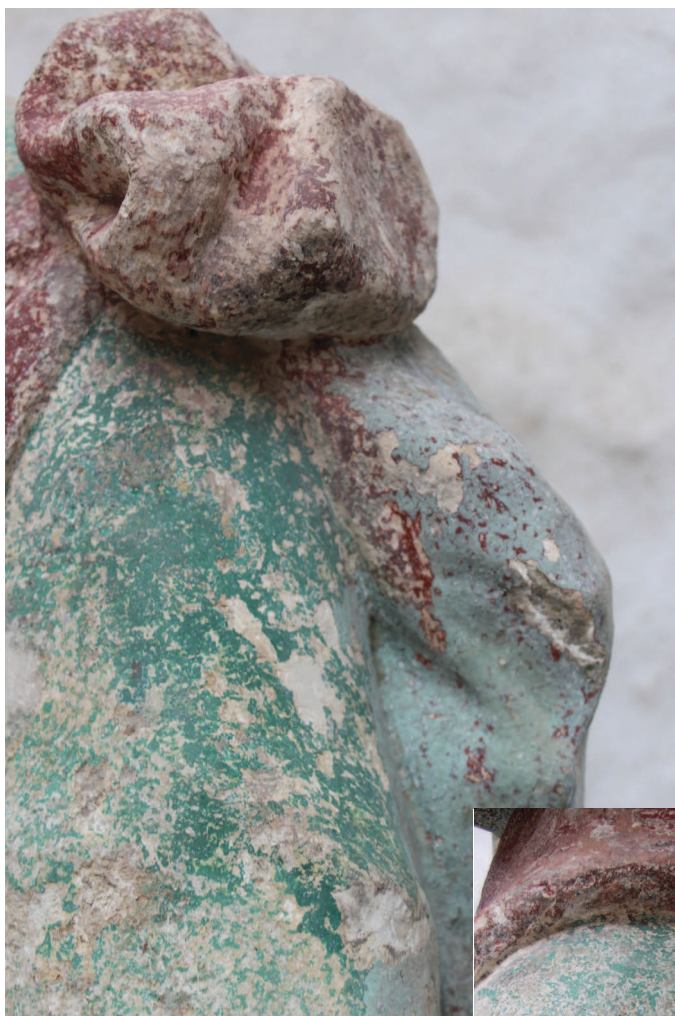
*obr 30: stav po snímání bílé vrstvy, průběh
odstranění sádrových tmelů*



*obr 31: postupné snímání
zelené vrstvy*



*obr 32: postupné snímání zelené vrstvy, detail
obličeje*



*obr 33: postupné snímání zelené
vrstvy, detail pravého ramene*



*obr 34: postupné snímání zelené vrstvy, detail
draperie na pravé noze sochy*

4.6. Tmelení



*obr 35: stav po odstranění
sekundárních tmelů, detail obličeje*



obr 36: průběh tmelení, detail obličeje sochy



obr 37: průběh zhotovení doplňku hlavy orla



obr 38: průběh zhotovení doplňku soklu



obr 39: průběh osazení doplňku hlavy orla



obr 40: průběh doplnění, spodní část sochy



obr 41: pravá ruka po doplnění



obr 42: levá ruka po doplnění



*obr 43: průběh doplnění
barevné vrstvy*



*obr 44: stav po odstranění sekundárních vrstev a
doplnění*

4.7. Zhotovení kovových atributů



obr 45: průběh zhotovení kovových atributů



obr 46: průběh zhotovení kovových atributů

4.8. Barevná retuš



obr 47: průběh barevné retuše, detail levé rameno sochy



obr 48: průběh barevné retuše, detail draperie na hrudi sochy



obr 49: průběh barevné retuše



obr 50: průběh barevné retuše, detail spodní část draperie



*obr 51: průběh barevné retuše,
pravá zadní část sochy*



obr 52: průběh barevné retuše, celkový pohled

4.9. Stav po restaurování



*obr 53: stav po restaurování,
levá strana sochy*



obr 54: stav po restaurování, pravá strana sochy



*obr 55: stav po restaurování,
spodní část sochy*



obr 56: stav po restaurování, detail orla



obr 57: stav po restaurování, detail obličeje



obr 58: stav po restaurování, detail doplňku hlavy orla



obr 59: stav po restaurování, detail knihy, doplňků prstů rukou



obr 60: stav po restaurování, detail barevné retuše na draperii pláště



obr 61: stav po restaurování, celkový pohled

2. TEORETICKÁ ČÁST

VÝZKUM A POROVNÁNÍ CHOVÁNÍ VÁPENNÝCH NANOSUSPENZÍ PRO ZPEVŇOVÁNÍ

Obsah

1. Úvod.....	4
2. vápence.....	6
2.1. Biogenní vápence a jejich charakteristika.....	6
2.2. Litavské vápence.....	8
2.2.1 Vlastnosti vápence z lokality St. Margarethen.....	10
2.2.2 Použití litavských vápenců.....	10
2.2.3. Základní rozčlenění korozivních pochodů vápencových sochařských děl v exteriéru.....	14
2.2.4. Nejčastější typy a příčiny poškození litavských vápenců.....	15
2.3. Konsolidace hornin	19
2.3.1. Konsolidace litavských vápenců.....	20
2.3.2 Vápenné nanosuspenze	22
2.3.3. možnosti přípravy nanosuspenzí NHL.....	26
3. Hydraulické vápna.....	27
3.1.1. Pojiva vyráběná z vápenců.....	27
3.1.2. Přírodně hydraulická vápna (NHL).....	30
4. Experimentální část.....	32
4.1 Materiály a vzorky pro zkoušení.....	33
4.1.1 Vzorky	33
4.1.2 Použité NHL nanosuspenze	33
4.1.3 Aplikace nanosuspenzí	34
4.2 Zkoušení a testované vlastnosti.....	36
4.2.1 Charakteristika vlastností NHL nanosuspenzí.....	36
4.2.1.1. Velikost částic.....	36
4.2.1.2. Rychlost sedimentace.....	38
4.2.1.3. Stabilita nanosuspenzí – měření fázového složení pomocí práškové rentgenové difrakční analýzy (PXRD)	38
4.2.2 Hodnocení konsolidačního efektu.....	39
4.2.2.1. Hloubka penetrace.....	39
4.2.2.2. Ultrazvuková transmise.....	39
4.2.2.3. Dynamický modul pružnosti.....	41
4.2.2.4. Pevnost v tlaku.....	42
4.2.2.5. Měření kapilární nasákavosti – stanovení koeficientu kapilární nasákavosti.....	42
4.2.2.6. Měření nárůstu hmotnosti – teoretický a skutečný výtěžek reakce.....	43
4.3 Vyhodnocení výsledků.....	44
4.3.1 Charakteristika vlastností NHL nanosuspenzí.....	44
4.3.1.1 Velikost částic.....	44
4.3.1.2 Charakter a morfologie částic NHL nanosuspenzí.....	45
4.3.1.3 Stabilita NHL nanosuspenzí – sledování rychlosti sedimentace.....	47
4.3.1.4. Rychlost sedimentace.....	48
4.3.1.5. Hodnocení stability – měření fázového složení pomocí práškové rtg difrakční analýzy (PXRD).....	48

4.3.1.6. Měření stability testovaných suspenzí UPa.....	51
4.3.2 Hodnocení konsolidačního efektu.....	51
4.3.2.1 Hloubka penetrace.....	51
4.3.2.2 Objemová hmotnost.....	53
4.3.2.3 Změna hmotnosti vzorků – výtěžek reakce.....	54
4.3.2.4 Ultrazvuková transmise.....	56
4.3.2.5 Dynamický modul pružnosti.....	58
4.3.2.6 Pevnost v tlaku.....	59
4.3.2.7 Měření kapilární nasákavosti – stanovení koeficientu kapilární nasákavosti.....	60
4.3.2.8 Barevné změny konsolidovaného materiálu.....	61
4.3.3 Další pozorované jevy	61
4.4 Shrnutí výsledků.....	63
5. Závěr.....	66

1. Úvod

Sochy z dolnorakouských či litavských vápenců tvoří rozsáhlý soubor na Česko-rakouském pomezí. Z tohoto materiálu bylo zhotoveno mnoho soch a architektonických památek v krajině, ve vesnicích ale i rozsáhlé sochařské soubory ve větších centrech. Materiál se užíval pro zhotovení památek lidové tvorby, řemeslné a dekorativní prvky, ale i umělecká díla vrcholné kvality.

Litavské vápence lze charakterizovat jako biogenní zpevněné sedimentární horniny s rozdílným podílem karbonátové a písčité frakce. Typ horniny určoval svým složením, vlastnostmi a charakterem podobu výsledné sochařské práce, ale i způsob stárnutí materiálu a jeho poškození. Průběh stárnutí mnohých sochařských děl navíc ovlivnil fakt, že sochařská výzdoba z těchto typů vápenců byla v minulosti, často i v odborných textech, zaměňována za pískovce, což mnohdy ovlivnilo restaurátorský přístup při jejich opravách.

Konsolidace dané kamenné památky patří ve většině případů mezi nezbytné procesy prováděné v rámci restaurátorského zásahu. Konsolidace je proces, kterým se materiálu navrácí část původní pevnosti a stability, které jsou zásadní pro zachování památky. Na provedení konsolidace je kladena řada požadavků. Mezi základní patří materiálová kompatibilita konsolidantu, jeho přiměřený konsolidační účinek na daný materiál, dostatečná schopnost penetrace a míra zpevnění. Po konsolidační látce je požadována přiměřená konsolidace a zejména homogenní účinek v různých hloubkách materiálu, aby nevznikala místa s rozdílnou pevností, či nedocházelo k přezpevnění povrchu památky. U konsolidovaného materiálu je důležité zachování fyzikálních vlastností horniny, které se týkají původní pevnosti materiálu, nasákavosti, paropropustnosti, tepelné roztažnosti a podobně. Konsolidační zásah je ovšem většinou ireversibilní a při nesprávné volbě konsolidantu mnohdy značně kontraproduktivní.

Pro zpevnění litavských vápenců, ale i dalších porézních materiálů s vápenným pojivem, se jeví jako slibné prostředky na bázi nanosuspenzí hydroxidu vápenatého v alkoholu. Svým chemickým složením jsou podobné jako zpevňovaný substrát, konsolidací tudíž dochází k obnově již degradovaného kalcitového pojiva uhličitanem

vápenatým. Tyto prostředky mají ovšem několik nevýhod: jde o složitější proces aplikace, nutnost opakování aplikačních cyklů s cílem zvýšit konsolidační efekt a možnost tvorby bílého zákalu na povrchu.

S cílem eliminovat alespoň některé uvedené problémy, zejména zvýšení konsolidačního efektu, byly testovány nové typy nanosuspenzí na bázi přirozeně hydraulického vápna (NHL). Základními výhodami těchto systémů by měla být zejména vyšší míra zpevnění, neboť se předpokládá chemicky odlišný průběh zrání, který ve výsledku může ovlivnit míru zpevnění. Materiály se také velice pozitivně jeví i po stránce barevnosti. Jako okrové jsou přímo vhodné pro podobně barevné horniny nebo jiné typy porézních substrátů.

Cílem této práce bylo základní testování těchto suspenzí. Protože se jedná o novou skupinu prostředků, zaměřuje se tato práce na jejich základní otestování - posouzení konsolidačního účinku, aplikačních vlastností, stanovení podmínek zrání. Vzhledem k předchozím zkušenostem s vápennými nanosuspenzemi na bázi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ¹ byly jednotlivé testy porovnávány s výsledky chování čistě vápenných nanosuspenzí, jež jsou dalším přínosem této studie.

1 Projekt STONECORE, Stone Conservation for the Refurbishment of Buildings, informace na: <http://www.upce.cz/fr/veda-vyzkum/zahranicni/stonecore.html>
Projekt NANOFORART, informace na: <http://www.upce.cz/fr/veda-vyzkum/zahranicni/nanoforart.pdf>
Projekt NANOLITH, informace na: <http://www.upce.cz/fr/veda-vyzkum/zahranicni/nanolith.pdf>

2. vápence

2.1. Biogenní vápence a jejich charakteristika²

Vápenec je sedimentární hornina, která vzniká pomocí biogenních procesů. Většina vápenců vznikala v mořích, ale jsou i vápence sladkovodní. Vápenec je v převážné míře složen z uhličitanu vápennatého, většinou ve formě kalcitu. Kalcit vzniká jako usazenina organického původu, v tomto případě se jedná o klencovou krystalickou formu uhličitanu vápennatého. Další modifikací uhličitanu vápennatého je aragonit s kosočtverečnou krystalickou strukturou. Aragonit se vylučuje z roztoků uhličitanu vápennatého za vyšších teplot nebo v přítomnosti síranů. Může mít i biogenní původ, vzniká v lasturách některých měkkýšů.

Vápence vznikají biomechanicky či biochemicky. Biomechanicky vznikají vápence hromaděním a sedimentací schránek měkkýšů, řas, dalších organismů živočišného a rostlinného původu vytvářejících uhličitan vápennatý. Takto vzniklé vápence se nazývají organodetritické, biodetritické nebo biogenní. Biochemicky vzniklé vápence jsou tvořeny biochemickými procesy organismů. Kromě kalcitu obsahují vápence často řadu příměsí - křemenného písku, jílu, uhličitanu hořečnatého, oxidů železa, a jiné. Obsah příměsí často ovlivňuje barvu vápenců, která může nabývat bílé až sv. okrové barvy (vysokoprocentní), našedlá barva často souvisí s přítomností organických příměsí, červená s oxidy železa a podobně.

Jak již bylo uvedeno, jsou vápence tvořeny zbytky schránek různých organismů. Dle velikosti a zastoupení těchto schránek lze vápence klasifikovat do několika skupin

2 ANTOŠ, Petr, ANTOŠOVÁ, Barbora, KOUTNÍK, Petr, RYŠÁNEK, Petr, ČMELÍK, Jiří, HÁJKOVÁ, Pavlína, PACINA, Jan, BRŮNA, Vladimír. Vápence a písky Čech, Moravy a Slezska. Vydání první. V Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, Fakulta životního prostředí, 2015. ISBN 978-80-7414-975-7. TĚHNÍK, Vladimír, kol., Vápenec jako základní kámen maltovin, Výzkumný ústav stavebních hmot a s., dostupné na www.svcement.cz/includes/.../pdf/sd2008-prednaska-vt-vapence.pdf
CHAMRA, Svatoslav, kol., virtuální galerie mikroskopických výbrusů hornin <http://departments.fsv.cvut.cz/k135/wwwold/webkurzy/mikro/vapenec.html>
VÁVRA, Václav a Jindřich ŠTELCL. *Významné geologické lokality Moravy a Slezska*. Brno: Masarykova univerzita, 2014. ISBN 978-80-210-6715-8.
ŠTELCL Jindřich, kol., Multimediální atlas hornin, Ústav geologických věd, PřF MU, Brno, 2013, dostupné na <http://atlas.horniny.sci.muni.cz/sedimentarni/vapenec.html>

(viz tabulka. 1). Podle obsahu schránek o velikosti nad 0,004 mm rozdělujeme vápence na mikritové až biogenní. Z tohoto rozdělení vyplývá, že biogenní vápence jsou převážně hrubozrnné s minoritním podílem mikrokrytalického kalcitu.

0%	10%	50%	90%
mikritové	biomikritové	mikryto – biogenní	biogenní
		mikryto – biodetritické	biodetritické

Tab.1: Klasifikace vápenců dle Antoše 2015, v tabulce je procentuálně vyjádřeno množství částic o velikosti > 0,004 mm.

Jiná klasifikace vápenců zohledňuje chemické složení (viz tabulka 2). Dle obsahu jílovitých příměsí či obsahu uhličitanu hořečnatého lze vápence charakterizovat jako vápence až jílovce, v případě obsahu uhličitanu hořečnatého na vápence až dolomity.

Poměrné množství s jílovitými materiály	Poměrné množství s dolomitem
nad 90 % kalcitu – vápenec	nad 90 % kalcitu – vápenec
50–90 % kalcitu – jílovitý vápenec	50–90 % kalcitu – dolomitický vápenec
10–50 % kalcitu – vápnitý jílovec nebo vápnitá břidlice	10–50 % kalcitu – vápnitý dolomit
pod 10 % kalcitu – jílovec nebo jílová břidlice	pod 10 % kalcitu – dolomit

Tab.2: Klasifikace vápenců dle Štencla 2013 podle obsahu příměsí – jílových materiálů a dolomitu.

Další klasifikace vápence dle obsahu dolomitse stanovuje na základě poměrem oxidu CaO a MgO. Pro určení množství jílu ve vápenci se také užívají další klasifikace podle Vachtla, dále klasifikace podle Kühla a Knotteho a další.

V současnosti je pro použití vápenců jako nerostné suroviny používána v České republice tato klasifikace, podle které jsou zařazeny v Geofondu ČR do registru ložisek.

-Vysoko procentní vápence – obsahují 96% karbonátové složky (rozuměj uhličitanu vápenatého a hořečnatého), z toho maximálně 2% dolomitu.

-Vápence ostatní s obsahem 80 % karbonátu, z toho maximálně 15 % dolomitu.

-Vápence jílovité s obsahem 70% karbonátu a s vyšším obsahem SiO₂, Al₂O₃.

-Vápence pro zemědělské účely obsahují nejméně 70% karbonátu

Podle normy ČSN 72 1217 je posuzováno chemické složení vápenců,
(viz tabulka 3).³

Chemické složení		Třída jakosti							
		I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.
CaCO ₃ +MgCO ₃	nejméně	98,5	97,5	96,0	95,0	93,0	85,0	80,0	75,0
z toho MgCO ₃	nejvýše	0,5	0,8	2,0	4,0	6,0	10,0	15,0	
SiO ₂	nejvýše	0,3	0,8	1,5	3,0	4,5	6,0	8,0	18,0
Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃		0,2	0,4	0,8	2,0	3,5	5,0	6,0	6,0
z toho Fe ₂ O ₃		0,03	0,1	0,3	1,0	2,0	2,5	2,5	
MnO	nejvýše	0,01	0,03	0,03	0,03				
SO ₃	nejvýše	0,08	0,1	0,2	0,2	0,3	0,5	0,5	2,0

Tab.3. klasifikace vápenců dle normy ČSN 72 1217, procentuální zastoupení jednotlivých oxidů

2.2. Litavské vápence⁴

Litavský vápenc je obecný pojem zahrnující velké množství sedimentárních vápenců. Tyto vápence vznikaly v průběhu období miocénu na dně moře, které se rozprostíralo severně a hlavně východně od okraje Alp. Vysoký počet organismů žijících v tomto poměrně mělkém subtropickém moři umožnil zejména v blízkosti pobřeží vznik různých typů vápenců bohatých na fosilie.

Tyto vápence lze charakterizovat jako biogenní zpevněné sedimentární horniny s rozdílným podílem karbonátové a písčité frakce. Barva přechází od světle žluté po okrovou. Na povrchu jsou často viditelné otisky, kamenná jádra nebo fosilie schránek měkkýšů, mechovek a červených řas (tzv. ruduch) rodu Lithothamnium. Díky množství těchto řas bývají tyto vápence nazývané také Lithothamniové vápence.

3 GEMRICH, Jan, LAHOVSKÝ, Jiří, TÁBORSKÝ, Tomáš. Ochrana životního prostředí a využití vápenců. Praha: Ministerstvo životního prostředí ČR, 1998. ISBN 80-7212-049-2.

4 GRÝDILOVÁ, Kateřina, Současný stav a provenience lithothamniových vápenců historických památkových objektů města Brna, Diplomová práce, Masarykova univerzita v Brně, Ústav geologických věd, Fakulta přírodovědecká, 2007.
Brožura projektu NANOLITH, nepublikované výsledky projektu.

K litavským vápencům řadíme vápence nacházející se v jižní oblasti Vídeňské pánve, v jižním Štýrsku a na západním okraji Weinviertelu a jižní Moravy, kde docházelo především k usazování vápenců a konglomerátů.

Litavské vápence se začaly těžit už v období římské říše, jejich využívání trvalo až do 20. století. Největší rozkvět však zažívala těžba litavských vápenců v baroku a na přelomu 19. a 20. století. V polovině 20. století došlo k postupnému uzavření většiny lomů litavských vápenců vlivem narůstající nabídky nově importovaných druhů kamene a hlavně ústupem využívání přírodního kamene ve stavebnictví.

Díky rozdílnému charakteru materiálů nacházely tyto horniny široké použití – jemnozrnné vysoce porézní typy byly velmi vhodné pro zhotovování sochařských děl. Na druhé straně najdeme i tvrdší typy dobré jako materiál pro architektonické prvky.

V současnosti se tyto vápence těží ve dvou lokalitách a to v lomu Mannersdorf a dále ve třech kamenolomech pod souhrnným označením St. Margarethen jež zahrnuje lomy Rimersteinbruch, Hummel a Kummer.



obr. 1: těžba vápence v Mannersdorfu.

2.2.1 Vlastnosti vápence z lokality St. Margarethen⁵

Testovaný vápenec z lomu st. Margarethen se vyznačuje značně nehomogenními vlastnostmi souvisejícími s jeho heterogenní strukturou (tabulka 4). Vápenec má vysokou porozitu až 35 % a nasákavost vodou ca 10 - 12 %, které přispívají k jeho degradaci v podmínkách atmosféry. Oba parametry přitom souvisí s porézni skladbou, která je u lokalizována v oblasti středních až makropórů, charakteristické velikostí 10 - 100 μm . Vyšší porozita u vápence St. Margarethen souvisí se zastoupení středních pórů, které je u této horniny vyšší, stejně jako četnost těchto pórů. Hodnoty objemové hmotnosti i modulu pružnosti u vápence rakouské provenience souvisejí pravděpodobně s relativně vysokou mírou a typem diagenese (stmelení) horniny. Vysoká hodnota porozity pravděpodobně také souvisí s tzv. intrapartikulární porozitou (porozita zrn nebo-li klastů).

typ horniny	objemová hmotnost [kg·m ⁻³]	dynamický modul pružnosti [MPa]	ultrazvuková transmise [km/s]	nasákavost [hm. %]	otevřená pórovitost [%]	celková pórovitost [%]	střední velikost pórů [%]
St. Margarethen	1900 -2120	20,0 -23,8	3,4-3,7	10,4-20,8	36,5	35,1	10-100

Tabulka 4: Vlastnosti vápence z lokality St. Margarethen⁶

2.2.2 Použití litavských vápenců⁷

Litavské vápence byly pravděpodobně těženy již v dobách antického Říma. Všeobecné rozšíření používání litavských vápenců začíná v románském období a posléze vrcholí v období baroka a následně v 19. století.

5 TIŠLOVÁ, Renata, nepublikované výsledky měření, Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování, 2016

6 TIŠLOVÁ, Renata, nepublikované výsledky měření, Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování, 2016

7 MAXOVÁ, Ivana, Vratislav NEJEDLÝ a Pavel ZAHRADNÍK. *Mariánské, trojiční a další světecké sloupy a pilíře v Jihočeském kraji: (okresy České Budějovice, Český Krumlov, Jindřichův Hradec, Písek, Prachatice, Strakonice a Tábor)*. Praha: Národní památkový ústav, 2009. ISBN 978-80-87104-33-0.

MAXOVÁ, Ivana, Vratislav NEJEDLÝ a Pavel ZAHRADNÍK. *Mariánské, trojiční a další světecké sloupy a pilíře v kraji Vysočina: (okresy Havlíčkův Brod, Jihlava, Pelhřimov, Třebíč a Žďár nad Sázavou)*. Praha: Národní památkový ústav, 2006. Edice Vysočiny. ISBN 80-86234-87-8.

NOVÁK, Josef. *Soupis památek historických a uměleckých v politickém okrese Jindřichovo-Hradeckém*. V Praze: nákladem Archeologické komise při České Akademii císaře Františka Josefa pro vědy, slovesnost a umění, 1901. Soupis památek historických a uměleckých v Království českém, 14.

PERUTKOVÁ, Jana, Kamila KREJČÍŘÍKOVÁ a Jana PETROVÁ. *Zahrada jako obraz ráje. Průvodce zámeckým parkem v Jaroměřicích nad Rokytnou*. 1. vyd. České Budějovice: Národní památkový ústav, 2014. 50 s. ISBN 978-80-87890-06-6.

Import tohoto vápence na naše území probíhal sporadicky od období gotiky. Na našem území je doloženo používání vápenců z lomů v oblasti Eggenburgu, např. lomu Zogensdorf a Burgschleinitz, dále pak z lomů v Pulkau. V dochovaných archivních zdrojích o sochařských památkách ve studovaném regionu je nejčastěji uváděn právě Eggenburgský vápenc.

V období baroka se používání tohoto materiálu značně rozšířilo. Pro svou snadnou opracovatelnost a materiálovou vhodnost pro barokní sochařskou kompozici byl tento kámen používán navzdory větší vzdálenosti lomů a tím vyšších nákladů na dopravu. Protože šlo o poměrně drahý materiál, byl většinou používán pouze pro zhotovení sochařské výzdoby a pro zhotovení soklů či hrubších kamenických prvků se požívala pro svou dostupnost místní žula či jiné lokální horniny.

Použití těchto vápenců bylo rozšířeno hlavně v čisti jižních Čech, Českomoravské vrchoviny a jižní Moravy, lokality s výskytem litavských vápenců použitých na sochařských i architektonických dílech uvádí mapa (Obr. 2). Z tohoto materiálu je v těchto lokalitách zhotoveno nespočet volně stojících soch, sousoší a sochařských prvků v architektuře. Například jen v jižních Čechách je z tohoto materiálu zhotoveno minimálně 22 světeckých sloupů.⁸



obr. 2: Mapa výskytu uměleckých děl z litavských vápenců

8 MAXOVÁ, Mariánské, trojiční a další světecké sloupky a pilíře v Jihočeském kraji, (pozn. 7.)

Kolem městečka Eggenburg bylo v období baroka několik lomů a množství kamenosochařských dílen⁹, kde byly zhotovovány jak samotné sochy tak i bloky pro další



obr. 3: mapa historických vápencových lomů na území dnešního Rakouska
sochařské zpracování, často zde byly vyráběny jednotlivé architektonické prvky, jako
hlavice sloupů, a další architektonická profilace. Někteří sochaři působící na našem
území jezdili přímo do lomů a zpracovatelských dílen, kde dohlíželi na výběr a přípravu
bloků, které potom převezli do svých dílen k dalšímu opracování.¹⁰ V několika případech

9 V jedné z těchto dílen se pravděpodobně vyučil i sochař Kašpar Ober, který později pracoval v Jaroměřicích nad Rokytnou, v Telči, ve Slavkově a dalších lokalitách Čech a Moravy

10 Např. Ve vyúčtování prací na jaroměřickém sloupu z roku 1716 (MZABrno, F 459, kart 674) se mimo jiné uvádí: ...sochaři zaplaceno jeho dvoji cestovné do Eggenburgu 7 zl... sochaři vícekrát cestovné do Eggenburgu za 16 dní zaplaceno 3 zl....

je doloženo, ale pravděpodobně šlo o širší praxi, že byla v rakouských dílnách objednána výroba už konkrétních kamenických prvků. Tato praxe nejspíše vycházela z praktických a finančních nároků na transport. Převoz již hotové sochy představoval značné riziko jejího poškození,¹¹ kdežto jednoduché architektonické prvky jako sloupy či římsy se převážely podstatně snáze a již zpracovaný prvek byl několikanásobně lehčí než neopracovaný blok. Vzhledem ke stavu tehdejších cest bylo snížení hmotnosti nákladu velmi důležitým faktorem. Tento aspekt měl význam hlavně pro jižní Čechy a pro vzdálenější oblasti od vápencových lomů. Například jihomoravské Znojmo je od Eggenburgu vzdáleno pouze 30 km (viz obr. 3 mapa rakouských lomů¹²), zde problematika nákladů na transport hrála menší roli.¹³

Volba litavského vápence jako sochařského materiálu měla i další důvody. Často se jednalo o vlastní volbu sochaře,¹⁴ který s tímto materiálem standartně pracoval, či sám pocházel, nebo se vyučil v oblasti, kde se kámen nacházel. Na počátku 18. století, v době po Bílé Hoře, došlo k velkému rozkvětu budování církevních staveb a pořizování soch a sousoší. Dalším a možná i nejpádnějším důvodem volby materiálu mohly být barokní trendy přicházející z Vídně, které neovlivňovaly pouze styl, ale spolu s ideologií, architekty a dalšími řemeslníky sem byl importován i tento materiál. Dále v době po Bílé Hoře získala některá panství nové vlastníky s úzkými vazbami na Vídeň, která zadávala zhotovení sochařské výzdoby z tohoto materiálu i na našem území.

11 Majitel jaroměřického zámku Václav Adam Questenberg objednal u vídeňského sochaře Mathielliho 12 alegorických soch pro výzdobu zámecké zahrady, tyto sochy byly při transportu z Vídně špatně zajištěny a došlo k jejich vážnému poškození a Questenberg o ně již neměl zájem. Následně byly zřejmě prodány majitelům Jevišovic.

12 Mapa vychází z těchto zdrojů: WEBER, Johannes, Litavské vápence – skupina tradičních stavebních i sochařských hornin, Institut pro umění a technologii Univerzity užitého umění ve Vídni, přednáška v rámci projektu NANOLITH.

KIESLINGER alois, Zerstorungen an steinbauten, Vien 1932

GRYDILOVÁ, Kateřina, Současný stav a provenience lithothamniových vápenců viz pozn. 4

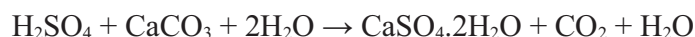
13 Ve Znojmě samotném je mnoho památek z těchto vápenců, např. Mariánský sloup, výzdoba průčelí kostela v Michaela, sousoší kalvárie, sousoší Krista na Olivetské hoře, sochy na kašnách a další samostatně stojící sochy a sousoší.

14 Naopak pro zhotovení soch na českokrumlovském sloupu zvolil V. M. Jäckel pískovec, přestože vápencec je v této lokalitě běžně používán a zřejmě i doprava by byla snazší..

2.2.3. Základní rozčlenění korozivních pochodů vápencových sochařských děl v exteriéru¹⁵

Korozí můžeme označit systém změn vedoucí ke zhoršení vlastností objektu. Korozivní procesy lze dle původu rozdělit na tři základní typy - fyzikální, chemický a biologický. Fyzikální korozí rozumíme například destrukci materiálu způsobenou krystalizací solí nebo teplotními rozdíly mezi povrchem a vnitřkem kamene, dále změny způsobené vlhkostní roztažností a působením mrazu. Chemická koroze bývá způsobena chemickou přeměnou některé ze složek objektu například vlivem kontaktu působení některých látek z okolí. Vápence konkrétně jsou díky svému složení velmi citlivé na kyselou dešť. Oxid siřičitý v ovzduší při reakci s dešťovou vodou vytváří slabé roztoky kyseliny sírové, přičemž pH dešťové vody v exponovaných oblastech může klesat až k hodnotě 4,5.

Roztoky silně zředěných kyselin reagují s uhličitánem vápenatým za vzniku síranu vápenatého, který je 106 krát rozpustnější ve vodě než původní uhličitán dle schématu:



Biologickou korozí se rozumí napadení objektu biologickými organizmy, mechy, řasami, lišejníky a vyššími rostlinami, do této skupiny lze zařadit působení mikroorganismů, ale i dalších živočichů.

Hlavním aktivátorem degradačních změn v kameni je voda. Voda působí jako silně polární rozpouštědlo, ale i transportní médium solí, v případě dešťové vody kyseliny sírové, uhličitě a dalších. Voda je dále nezbytným činitelem pro růst biologických organismů. Mezi další příčiny koroze v porézním materiálu patří změny pevnosti suchého a mokrého materiálu, zamrznání vody v porézním systému, odlišná roztažnost materiálů v různých vlhkostních a teplotních podmínkách. V neposlední řadě voda může způsobovat korozi kovových prvků a čepů, které následnou změnou objemu destrukují objekt.

15 BAYER, K. Sylaby přednášek, Koroze anorganických porézních materiálů
KOTLÍK, Petr. *Stavební materiály historických objektů: materiály, koroze, sanace*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 1999. ISBN 80-7080-347-9.
PĚŘENICOVÁ Petra, Možnosti konzervace povrchu leštitelných vápenců, diplomová práce, fakulta restaurování, univerzita Pardubice 2011

2.2.4. Nejčastější typy a příčiny poškození litavských vápenců

Podoby a příčiny poškození litavských vápenců jsou obdobné jako u většiny porézních vápenců. Následně je uvedena sumarizace nejčastějších příčin a podob poškození památek z těchto materiálů.

Poškození způsobená vodorozpustnými solemi.

Mezi nejdestruktivnější soli v porézním systému materiálu se řadí sírany, chloridy a dusičnany. V závislosti na koncentraci, míře vlhkosti materiálu a podmínkách okolního prostředí dochází v jednotlivých pórech ke krystalizaci těchto solí, což vede díky krystalizačním tlakům k uvolnění jednotlivých zrn a degradaci materiálu. Jiný mechanismus spočívá v hydrataci solí – některé soli jsou schopné vázat do struktury vody nebo ji naopak v případě vhodných podmínek odštěpovat. Tyto změny doprovázejí změny objemu molekul za vzniku tlaků na strukturu horniny.

Vznik sádrovcových krust

Díky reakci uhličitanu vápenatého s kyselinou sírovou dochází na povrchu, nejčastěji v dešťových stínech soch, k tvorbě sádrovcových krust, tj. chemické přeměně uhličitanu vápenatého na síran vápenatý. Při vzniku této málo rozpustné soli dochází ke změně objemu materiálu, kdy sádrovec zhruba dvakrát zvětší svůj objem. V těchto krustách jsou zde následně fixovány depozity z ovzduší, což má za následek vznik tmavých krust na povrchu, které často mění barevnost i strukturu a morfologii povrchu. Vápence jsou horniny s velmi vysokou otevřenou pórovitostí, vysokou nasákavostí a paropropustností. Při vzniku těchto krust dochází k uzavření porézního systému objektu a následné degradaci způsobené kumulací vlhkosti, vodních par a solí pod jejím povrchem.

Defekty způsobené biologickým napadením

Mezi základní organismy napadající sochařská díla v exteriéru patří řasy, lišejníky a mechy. Některé tyto organismy vylučují látky rozkládající kamenný substrát. Svými kořeny vrůstajícími do pórů hornin rozvolňují jednotlivá zrna a způsobují postupný rozpad povrchu památky. V těsném okolí soch bývají často vysazovány okrasné dřeviny. Vzrostlé dřeviny způsobují permanentní zastínění objektu, což má za následek dlouhodobé zvýšení vlhkosti materiálu vedoucí k jeho další degradaci. Dalším důsledkem blízkosti dřevin je biologický spad, kdy se v pórech kamene usazují částice organického

původu, které utvářejí startovací prostředí pro růst mechů, řas a lišejníků. V neposlední řadě dochází k narušení statiky a stability celých objektů prorůstáním kořenového systému základy jednotlivých objektů.

Defekty způsobené restaurátorským zásahem

Vápence jsou velmi porézní horniny, chemicky i mechanicky poměrně křehké a snadno podléhající degradaci. Mnoho závažných poškození památek z tohoto materiálu bylo v minulosti způsobeno nevhodným restaurátorským zásahem, kdy při nepochopení základních charakteristik tohoto materiálu docházelo k aplikaci prostředků a technologií, které v důsledku vedly k nevratným poškozením. Častým jevem je zvolení nevhodného tmelu, který svou tvrdostí, propustností, nebo nevhodnou chemickou skladbou způsobuje často hloubkovou destrukci materiálu.¹⁶

Dalším charakteristickým poškozením vápenců je pískovatění povrchu a lokální ztráta zrn především na horizontálních plochách. Tyto jemné defekty byly často celoplošně přetmelovány stejně nevhodným tmelem.

Jako hornina tvořená uhličitánem vápenatým má poměrně specifické nároky na volbu zpevňovacího prostředku. Často docházelo k zpevňování tohoto materiálu pomocí fluátů, vodních skel, ale i organokřemičitých prostředků, které nejsou schopny reagovat s uhličitánem vápenatým nebo naopak vedou k přezpevnění materiálu. V důsledku přezpevnění dochází k destrukci materiálu, jež se charakteristicky projevuje otevíráním povrchu v podobě ker a několik milimetrů až centimetrů materiálu pod povrchem degraduje v jednotlivá zrna.

Dalším častým problémem je lepení jednotlivých rozlomených dílů památky celoplošným, epoxidovým či cementovým spojem, který se používá pro zajištění vysoké pevnosti. Pokud je nalepen na méně pevný materiál, či je spoj zatížen vlhkostí či namáháním, v těchto místech dochází k degradaci materiálu po obou stranách spoje.

Značná poškození způsobují železné čepy, armatury a další prvky. Násobné změny objemu korodujícího železa jsou příčinou závažných poškození. Často jsou tyto

¹⁶ Příklad restaurování sochy rytíře ve Vratěnině, kdy restaurátor téměř celoplošně přetmelil jednotlivé části památky, v restaurátorské zprávě z tohoto zásahu je poznamenáno, že použitý tmel měl složení: písek + cement 1:1 + Sokrat. Toto vedlo k hloubkové destrukci, kdy v soklové partii po 15 letech od tohoto zásahu došlo ke ztrátě až 10 cm materiálu.

kovové prvky při restaurátorském zásahu ponechány bez antikorozního ošetření na původních místech, kde následně mohou způsobit rozsáhlou destrukci.

Jak již bylo dříve uvedeno, trpí vápence vznikem krust a to zejména v dešťových stínech a nikoli celoplošně jako některé silikátové materiály. Často docházelo k barevnému potlačení těchto krust přetřením cementovým tmelem s koncentrovanou disperzí, což ještě více uzavřelo nepropustné krusty. Dalším přístupem k těmto krustám byl patinování celé sochy a ztmavení partií bez krust. I toto, vzhledem k použitému pojivu retuše, mohlo vést k degradaci.

Většina volně stojících barokních soch byla polychromovaná mnohdy olejovou technikou. Tyto vrstvy polychromií v průběhu času degradují a musely být obnovovány. S postupnou změnou estetického vnímání sochy docházelo k snímání a odstraňování těchto barevných vrstev. Při použití zásaditých odstraňovačů mnohdy došlo k absorpci rozpuštěné odstraňované olejové vrstvy spolu s depozity různých hydroxidů či zbytků povrchových nátěrů do nitra materiálu, které jsou často patrné změnou barevnosti a charakteru materiálu.



degradace povrchu pod krustami hlavičky mariánské sloupu, Krasovice 2006



typická tvorba krust v dešťových stínech, sv. Jan Nepomucký, Telč 2005



ztráta povrchu, šupinatění, odhalení zrn na exponovaných místech, sousoší sv. rodina, Telč 2016



roztržení hlavičky korodujícím čepem, které způsobilo pád sousoší, sloup se sv. Trojicí, Dešná 2010



postupná degradace vápence pod tmelem s řádově vyšší pevností a nižší propustností, sousoší sv. rodina, Telč 2016



degradovaný kámen pod celoplošným tmelem z šedého cementu, sv. Florian, Cizkrajov 2013



poškození způsobená celoplošným přetmelením povrchu, sv. Jan Nepomucký, Budiškovice 2015



poškození způsobená přezpevněním povrchu, noha a ocas d'ábla na soše sv. Prokopa, Telč 2015

2.3. Konsolidace hornin ¹⁷

Konsolidace je proces, který by v ideálním případě měl vést k obnově původních vlastností již degradovaného materiálu. Jedná se o široký pojem, který zahrnuje snahy o obnovení adheze mezi jednotlivými vrstvami či částmi památky nebo obnovení koheze, tedy soudržnosti materiálu, způsobenou zhoršením vlastností v důsledku degradace materiálu či absencí pojiva. Pojem strukturální konsolidace se užívá v souvislostech, kdy se obnovuje soudržnost ve hmotě degradovaného materiálu.

Konsolidant by měl při dostatečné penetraci a homogenní distribuci degradovanou částí materiálu, přiměřeně tento materiál zpevnit, aniž by zásadně ovlivnil jeho nasákavost, paropropustnost a další fyzikální vlastnosti. Důležitými vlastnostmi konsolidantu jsou: schopnost penetrace, homogenní distribuce do dostatečné hloubky, aby se nevytvářely zóny s odlišnou mírou zpevnění, inertní chování vůči originálu, a úprava fyzikálních vlastností co nejbližší vlastnostem originálu a podobnost originálnímu materiálu. Mezi požadavky na vlastnosti konsolidantu při restaurátorském zásahu patří materiálová shoda, ale i barevná stálost, reverzibilita, stejně důležitá je ekologická a hygienická nezávadnost. Dále nevytváří lesky na povrchu ošetřeného materiálu, nemění texturu, vzhled a další fyzikální vlastnosti původního materiálu. Některé z těchto vlastností jsou ovšem u zpevňovače téměř nedosažitelné; například při hloubkovém zpevnění i poměrně snadno odstranitelným konsolidantem, jeho odstranění ze struktury materiálu již většinou není možné.

Používané konsolidační prostředky se dají rozdělit do dvou skupin. První skupinu

17 TIŠLOVÁ, Renata, SLÍŽKOVÁ, Zuzana, NOVOTNÁ, Adéla, FRANKEOVÁ, Dita, KUNEŠ, Petr, ĐOUBAL, J. Metodika pro určení mezí a intervalů významných materiálových charakteristik opravných materiálů a technologií pro kompatibilní zásah. 2015.
BAYER, Karol, MACOUNOVÁ, Dana, - MACHAČKO, Luboš, Nanosuspenze hydroxidu vápenatého jako konsolidanty porézních vápenců a vápenatých omítek - od laboratorních testů k praktické aplikaci. In *Acta Artis Academica 2012 - znalost a praxe ve výtvarném umění*. Praha: Akademie výtvarných umění v Praze, 2012. s. 325-345. ISBN 978-80-87108-33-8
BAYER, K. Možnosti hodnocení efektivity konsolidace porézních anorganických materiálů.. In *Organokřemičitany v české památkové praxi*. Praha: Národní památkový ústav, 2008. s. 35-41. ISBN 978-80-87104-15-6
GLÁSER, Petr a Vratislav NEJEDLÝ (eds.). Organokřemičitany v české památkové praxi: sborník z konference Padesát let používání organokřemičitanů na území České republiky, konané pod záštitou ICOMOS, Národního památkového ústavu a Národního muzea 16. dubna 2008. 1. vyd. Praha: Národní památkový ústav, ústřední pracoviště, 2008. Práce (Národní památkový ústav). ISBN 978-80-87104-15-6

tvorí anorganické zpevňovací prostředky. Mezi ně patří například vodní sklo, fluáty, vápenná a barytová voda. Druhou skupinou jsou organické konsolidanty, které se dají rozdělit na přírodní a syntetické. Mezi přírodní organické konsolidanty, používanými převážně v minulosti, patří vosky, pryskyřice, oleje a různé bílkoviny. Přibližně od počátku 20. století vznikaly syntetické organické konsolidanty. Do této skupiny patří například epoxidy a polyestery, polyvinylacetáty, akrylátové pryskyřice, akrylátové disperze a v současnosti se užívají převážně estery kyseliny křemičité.

2.3.1. Konsolidace litavských vápenců

Na vhodný výběr konsolidantu pro zpevňování uměleckých děl z litavských vápenců se vztahují stejná kritéria, jako na konsolidaci jakéhokoli jiného typu horniny. Litavské, ale i další organodentrické vápence, mají svá vlastní specifika a požadavky. Konsolidanty musí naplňovat požadavky na zpevnění daného typu horniny.

Samotné složení těchto vápenců, které tvoří převážně kalcit (CaCO_3), je do značné míry omezující a limituje použití konsolidantů. Škodlivé je užití prostředků s kyselým pH, či konsolidantů, které sami nebo jejich vedlejší produkty mohou kalcit rozpouštět, či měnit na rozpustnější sloučeninu.

Dalším faktorem je vysoká otevřená porozita a relativně vysoká nasákavost tohoto typu hornin (viz. Tab. 3). Například Tišlová naměřila u horniny z lokality St. Marghareten hodnoty nasákavosti 10,4 – 20,8 %, a otevřenou pórovitost 36,5 %. Konsolidanty, mající tendenci vytvářet neprostupné filmy na povrchu ošetřené památky v důsledku omezení či zabránění přirozeného transportu vody, způsobují rozsáhlá poškození.

Vápence jako velmi porézní horniny, poměrně snadno absorbují vodorozpustné soli. Zde konsolidanty, se kterými je do materie památky zanášeno značné množství vody, mohou způsobit rozsáhlou migraci těchto solí a následně jejich krystalizaci.

Pro zpevňování litavských vápenců se tradičně užívaly materiály, u nichž nebyly tyto vlastnosti často reflektovány, tedy konsolidanty mnohdy stejné jako pro zpevnění dalších hornin

V současnosti nejpoužívanějšími materiály pro zpevnění vápenců jsou organokřemičité konsolidanty. Pro zpevňování litavských vápenců jde ve většině případů

o poměrně vhodné konsolidanty s dobrou schopností penetrace, při zachování paropropustnosti a dalších fyzikálních vlastností zpevňovaného materiálu. Ovšem i zde existuje možnost přezpevnění, pokud je zpevnění provedeno nevhodně a nepřiměřeně. Některé dvousložkové organokřemičité prostředky ovšem pro zpevňování uhličitanových materiálů vhodné nejsou. Pokud je jedna ze složek konsolidantu kyselá, může zde dojít k reakci s uhličitanem vápenatým (např. produkt Porosil Z, který je i přes svou nevhodnost, stále používán i pro konsolidaci kalcitových materiálů).

Při respektování všech hodnot, které s sebou daná památka nese při svém pohybu v čase, ať již jde o Riegrovu hodnotu stáří,¹⁸ či uznání všech procesů, kterými památka prošla a jejichž důsledky se nedílně podílejí na našem vnímání hodnot a autenticity dané konkrétní památky, dále při plném zvažování faktu, že hloubková konsolidace je nevratný proces, je na místě uvážit volbu konsolidantu se složením co nejbližším dané památce.

Poměrně novou skupinou zpevňovacích prostředků jsou nanosuspence částic hydroxidu vápenatého v alkoholech. Tyto prostředky, i přes nižší míru zpevnění a možnost vzniku bílých zákalů na povrchu zpevňovaného materiálu, jsou po materiálové stránce poměrně vhodné pro konsolidaci litavských vápenců. První výhodou těchto prostředků je nahrazování vyžilého pojiva, tedy uhličitanu vápenatého, materiálem obdobného složení. Tyto prostředky zásadně nesnižují paropropustnost a další fyzikální vlastnosti zpevňovaného materiálu. Další možností je kombinace organokřemičitanů s těmito nanosuspencemi, kdy může docházet k silnějšímu zpevnění materiálu a alkalické vápenné suspenze snižují hydrofobitu použitých organokřemičitanů.

Poměrně logickým krokem pro zlepšení možností konsolidace litavských vápenců je testování nanosuspencí s vyšším zpevňujícím účinkem na bázi přirozeně hydraulického vápna. Kdy při zachování kladných vlastností čistě vápenných nanosuspencí, je možné předpokládat zmírnění negativních aspektů. U těchto prostředků je možné očekávat vyšší míru zpevnění a tím docílit vyššího účinku při aplikaci menšího počtu aplikačních cyklů. Dalším aspektem je barevná podobnost okrových vápenců a NHL, kdy i při případném vzniku zákalu bude snížen barevný posun ve vnímání památky.

18 RIEGL, Alois, HLOBIL, Ivo a Ivan KRUIS (eds.). *Moderní památková péče*. Překlad Tomáš Hlobil. Praha: Národní památkový ústav, 2003. ISBN 80-86234-34-7.

2.3.2 Vápenné nanosuspenze

Již několik desetiletí je testováno použití vápenné vody pro konsolidaci porézních kalcitových materiálů. Jde o 0,16% roztok hydroxidu vápenatého ve vodě o průměrné velikosti částic 15 μm tedy 15 000 nm.¹⁹ Tato technologie byla navzdory svým možným negativům, popsaným výše, prosazována a doporučována.²⁰ I přes své nedostatky, byl tento konsolidant až do nedávné doby jediným prostředkem, který nahrazoval degradované pojivo kalcitových substrátů identickým materiálem.

Nanočástice hydroxidu vápenatého²¹ jsou dalším krokem při hledání ideálního konsolidantu materiálově kompatibilního s karbonátovými materiály.

Výzkum karbonátových nanomateriálů začal ve Francii v roce 1997, kde v Institutu Français du Pétrole byla připravena koloidní disperze hydroxidu vápenatého v uhlovodíkovém rozpouštědle, vyrobená pomocí hydrolyzy hydridu vápenatého. Následně v roce 1998 zde byla patentována výroba koloidních produktů obsahujících převážně hydroxid vápenatý připravovaný reakcí oxidu vápenatého, nebo hydridu vápenatého s vodou v organickém médiu za přítomnosti surfaktantu. V roce 2000 a 2001 byly vědci z výzkumného centra CSGI²² z Univerzity ve Florencii publikovány články o přípravě disperze $\text{Ca}(\text{OH})_2$ vytvořené za specifických podmínek z roztoků chloridu vápenatého a hydroxydu sodného v alifatických (nearomatických) alkoholech.

CaLoSiL® je první komerční konsolidant založený na nanočásticích hydroxidu

19 SLÍŽKOVÁ, Zuzana, DRDÁČKÝ, Miloš, VIANI, Alberto, Consolidation of weak lime mortars by means of saturated solution of calcium hydroxide or barium hydroxide, in *Journal of Cultural Heritage* Volume 16, Issue 4, July–August 2015, Pages 452–46

20 MICHONOVÁ, D.: Konsolidace vápennou vodou I., *Zprávy památkové péče*, roč. 62, č. 5, 2002, GIRSA, V., MICHONOVÁ, D.: Prosazujeme v praxi konzervaci omítek vápennou vodou a Závěry a doporučení z 2. odborné dílny Odborně metodické aspekty konzervace omítek tradičními technologiemi v souvislosti s konzervačním přístupem obnovy památek, *Zpráva památkové péče*, roč. 62, č. 7, 2002

21 VOJTĚCHOVSKÝ, Jan, Konsolidace povrchových úprav vápenných omítek pomocí alkoholových suspenzí na bázi $\text{Ca}(\text{OH})_2$, *Rozprava k disertační práci*, Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze, nepublikováno, 2013

DUNAJSKÁ, Jana, *Zhodnocení současných možností konsolidace vápenných omítek konsolidanty na bázi hydroxidu vápenatého*, Bakalářská práce, Fakulta restaurování, Univerzita Pardubice, 2009

MACOUNOVÁ, Dana, *Restaurování vápencové sochy anděla z domu č. p. 48 v Kutné Hoře s využitím nanosuspenzí na bázi hydroxidu vápenatého / Testování možností využití nanosuspenzí na bázi hydroxidu vápenatého pro konsolidaci organodetrického vápence*; *Rozšířená restaurátorská zpráva*, Bakalářská práce, Fakulta restaurování, Univerzita Pardubice, 2011

22 (<http://www.csgi.unifi.it/>)

vápenatého rozptýlených v alkoholech. Je vyráběn od roku 2006, pomocí reakce vápníku s vodou v alkoholovém prostředí, německou firmou IBZ-Freiberg. CaLoSiL® obsahuje částice hydroxidu vápenatého se střední velikostí 150 nm rozptýlené v alkoholu (ethanolu, isopropanolu nebo n-propanolu) a je dodáván v různých koncentracích hydroxidu vápenatého od 5 až po 50 g/l.²³ Pro konsolidaci karbonátových materiálů je CaLoSiL®, vzhledem ke svým vlastnostem vhodným materiálem, který je mimo konsolidaci použitelný i pro další aplikace v restaurátorské práci.²⁴

Obecně je možné rozdělit současné způsoby přípravy nanosuspenzí hydroxidu vápenatého na dva způsoby. První možností je chemické srážení $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a druhou je mechanické mletí hydroxidu vápenatého na velikost nanočástic a následná dispergace v alkoholech. Při srovnávacích testech byla zjištěna vyšší účinnost prostředků připravených chemickým srážením hydroxidu vápenatého. Při testování těchto prostředků byla prokázána dobrá účinnost vápenných nanosuspenzí na karbonátové vysoce porézní horniny i degradované historické omítky, avšak užití vápenných nanosuspenzí má svoje limity a nedostatky, například nutnost opakování aplikace konsolidantu pro dostatečné zpevnění, či možnost vzniku bílých zákalů na povrchu konsolidované památky.

Příprava nanosuspenzí přirozeně hydraulického vápna je dalším logickým krokem ve využití nanomateriálů v oblasti ochrany kulturního dědictví. Jejich předpokládané výhody oproti klasickým vápenným nanosuspenzím by mohly spočívat v účinnější konsolidaci při aplikaci menšího počtu cyklů i díky odlišnému chemismu reakce založené částečně na hydrataci hydraulických komponent NHL. Další výhodou těchto prostředků by měla být eliminace možných bílých zákalů na povrchu památky, vzhledem k blízké barevnosti vápenců a světle okrového NHL. Proces při přípravě a aplikaci byl na počátku této práce novým problémem, kdy byly i díky metodě pokus – omyl, postupně nacházeny způsoby a podmínky přípravy tohoto potenciálního konsolidantu. Pro snazší způsob výroby bylo rozhodnuto připravit testované látky pro účely této práce pomocí mikromletí suroviny NHL v alkoholech.

První zkoušky přípravy nanosuspenzí NHL byly provedeny ve spolupráci s

23 www.ibz-freiberg.de/en/Stone-conservation

24 DUNAJSKÁ, Jana, Zhodnocení současných možností konsolidace vápenných omítek konsolidanty na bázi hydroxidu vápenatého, Bakalářská práce, Fakulta restaurování, Univerzita Pardubice, 2009

laboratořemi firmy ZFB - Zentrum für Bucherhaltung GmbH.²⁵

Dalším zhotovitelem této látky se stalo pracoviště Katedry anorganické technologie na univerzitě Pardubice, Fakulta chemicko-technologická, kde byla výroba suspenze NHL velmi přesně popsána.

Mletí suroviny NHL 5²⁶

Pro mletí této suroviny byl použit planetový mlýnek Pulerisette 6 (Fritsch GmbH, SRN), ve kterém je mlecí efekt vytvořen na základě odstředivých sil. Odstředivé síly jsou vyvolané nejen rotací mlecích nádob kolem jejich os, ale i současnou rotací nosného disku. Jelikož se mlecí nádoby a nosný kotouč otáčejí navzájem v opačném směru, odstředivé síly pak působí souhlasně i proti sobě ve střídavých intervalech. Mlecí účinek je navíc ještě zvýšen v důsledku vzájemných srážek mlecích tělísek. V zařízení je možné vyvolat rotace do 400 ot./min.

Mletí bylo realizováno v achátových kontejnerech o objemu 250 ml za použití achátových kuliček (průměr 10 mm) a zirkonových korálek (průměr 1,0 – 1,2 mm).

Mletí byla podrobena suspenze o koncentraci 5 g suroviny/100 ml isopropylalkoholu.

Achátové kuličky (datum mletí: 6.-7.4.2016)

Pro mletí bylo použito 50 ks achátových kuliček o průměru 10 mm (počet odpovídá doporučenému maximálnímu zaplnění mlecími tělísky na danou velikost nádoby). Celková doba mletí byla 10 hodin. Vzorke byly odebírány po 2 hodinách mletí. Z počátku měření bylo pracováno při 200 ot./min. Po 6 hodinách mletí byly otáčky zvýšeny na 300 ot./min. a po 8 hodinách na 380 ot./min.

Tabulka 5: Mletí s achátovými mlecími tělísky, šedě je zvýrazněna ideální doba mletí, kdy je dosaženo maximálního účinku a ještě nedochází ke vzniku hydraulického gelu.

²⁵ <http://www.zfb.com/unternehmen/mediathek>

²⁶ LUXOVÁ, kol., Interní zpráva z měření, nepublikováno, univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická, Katedra anorganické technologie

	Velikost částic [μm]			
	d_{10}	d_{50}	d_{90}	SPAN
Nemletá surovina	1,54	5,87	22,92	3,64
200 ot./min. 2 h	1,03	3,11	8,68	2,64
200 ot./min. 4 h	0,89	2,43	6,49	2,30
200 ot./min. 6 h	0,82	2,13	5,41	2,15
300 ot./min 8 h	0,78	1,99	4,42	2,33
380 ot./min. 10 h	0,75	1,88	5,30	2,42

Tab. 5: Mletí s achátovými mlecími tělísky, šedě je zvýrazněna ideální doba mletí, kdy je dosaženo maximálního účinku a ještě nedochází ke vzniku hydraulického gelu.

Mletí bylo prováděno při otáčkách 200 ot./min. do 6 hodin provozu. Z tabulky 5 je patrné, že další mletí za těchto otáček moc efektivní není. Proto pro vzorky 8 a 10 hodin byly otáčky zvýšeny na 300 resp. 380 ot./min. Je tedy zřejmé, že ani toto radikální zvýšení otáček nepomohlo k výraznému snížení velikosti částic.

Zirkonové korálky (datum mletí: 11.4.2016)

Pro mletí bylo naváženo 120 g zirkonových korálků o průměru 1,0 - 1,2 mm. Vzorky byly odebírány po 2 hodinách mletí, přičemž celková doba mletí v tomto případě byla 6 hodin. První měření bylo prováděno při 200 ot./min. a ostatní při 380 ot./min.

	Velikost částic [μm]			
	d_{10}	d_{50}	d_{90}	SPAN
Nemletá surovina	1,54	5,87	22,92	3,64
200 ot./min. 2 h	0,60	1,35	3,20	1,92
380 ot./min. 4 h	0,45	1,26	5,36	3,91
380 ot./min. 6 h	0,69	3,73	11,34	2,86

Tab. 6: Mletí se zirkonovými mlecími tělísky, šedě je zvýrazněna ideální doba mletí, kdy je dosaženo maximálního účinku a ještě nedochází ke vzniku hydraulického gelu.

Nejvíce efektivní je první mletí (tj. vzorek odebraný po dvou hodinách mletí), kdy distribuční křivka vykazuje tvar typický pro monodisperzní systém. V obou tabulkách jsou uvedeny i hodnoty SPAN, které vypovídají o monodisperznosti systému. Zvýšení jak otáček mlýnu, tak i další doby mletí sice přineslo snížení hodnoty d_{50} na 1,26 μm , ale začala se již projevovat aglomerace částic. Tvorba aglomerátů byla potvrzena dalším mletím (vzorek 6 h), kdy již dochází ke zvyšování velikosti částic.

2.3.3. možnosti přípravy nanosuspenzí NHL

Jak je zmíněno výše, pro potřeby této práce byla zvolena příprava nanosuspenzí NHL pomocí mikromletí, což se na počátku práce jevílo jako jediná a i nejlogičtější cesta. V průběhu práce se ukázaly jisté podobnosti v chování těchto látek s chováním nanočástic dalších hydraulických pojiv, především nanocementů.²⁷ Jde především o tendenci vytvářet hydraulické gely při delším mletí suroviny,²⁸ a tedy potřeba zkrátit dobu mletí na minimum i za cenu větších částic v suspenzi. Tato vlastnost nám nebyla známa při přípravě prvních sad testovacích látek zhotovovaných firmou ZBF. Komerčně dostupná NHL pojiva se vyrábí z přírodních vápenců, kdy vzhledem k nehomogenitě těchto vápenců, a k možné proměnlivosti vlastností i chemického složení této horniny i v rámci jednoho lomu, není zřejmě možné naprosto standartizovat tento produkt a tato surovina může obsahovat drobná znečištění, nežádoucí příměsi, ale mohou se mírně proměňovat i poměry základních komponent. Tyto drobné odchylky, které nejsou zcela zásadní při užití NHL jako pojiva maltovin, mohou mít ovšem určitý vliv na výsledné vlastnosti produktu, kde jsou jednotlivé složky aktivované mikromletím.

27 LABAJ, Martin, Vysokohodnotné betony s využitím nanočástic, bakalářská práce, vysoké učení technické v Brně, fakulta stavební, 2014

CARMICHAEL, Jemimah a Prince ARULRAJ. Influence of nano materials on consistency, setting time and compressive strength of cement mortar. In: Engineering Science and Technology: An International Journal. 2012, vol. 2, issue 1, s. 158-162. ISSN 2250-3498. Dostupné z: <http://www.estij.org/papers/vol2no12012/25vol2no1.pdf>

28 LIN, Zhibin, Ismael FLORES a Konstantin SOBOLEV. Nano-engineered cements with improved early strength. In: 4th International Symposium on Nanotechnology in Construction. Greece, 2012. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/235978581_Nanoengineered_cements_with_improved_early_strength

3. Hydraulické vápna²⁹

Zpracování vápence a výroba vápna jsou procesy známé již od starověku. Použití hydraulických příměsí ve vápenných maltovinách je doloženo na některých stavbách starověkého Egypta či Řecka. Velké rozšíření vápenných malt s hydraulickými přísadami nastává ve starověkém Římě. Původně šlo o přidávání vulkanického popela do vápenných malt, mimo jiné z oblasti Puzzuola, odtud pucolánové přísady. Dále se zde rozšířila technologie přidávání drcené keramiky, která má v reakci s vápnem podobné hydraulické vlastnosti. V průběhu středověku došlo k nárůstu používání vápenných maltovin. Již od 14. století se vápno vyráběné z vápenců těžných v okolí Prahy, z Barrandiérského masivu, stává surovinou známou po celé Evropě pod jménem Pasta di Praga. Toto vápno mělo hydraulické vlastnosti a bylo použito například i při stavbách benátských či londýnských nábřeží. Velký rozvoj výroby hydraulických vápen nastal v 18. století, kdy byly například Pelidorem a později Smeatonem popsány hydraulické vlastnosti vápen vyráběných z vápenců obsahujících různé nečistoty. Přestože je v Čechách několik kvalitních ložisek vápenců pro výrobu hydraulických vápen, v současnosti se zde tato vápna nevyrábějí.

3.1.1. Pojiva vyráběná z vápenců³⁰

Anorganická pojiva, vyráběná z vápenců se dělí podle způsobu vytvrzení na vzdušná a hydraulická. Vzdušná pojiva, mezi něž patří například vzdušné vápno, tuhnou za přístupu vzduchu, respektive CO₂ v ovzduší. Do skupiny hydraulických pojiv se řadí hydraulická vápna, románské cementy, portlandské cementy a další pojiva, která tuhnou i

29 TĚHNÍK, Vladimír, Vápenec jako základní kámen maltovin, Výzkumný ústav stavebních hmot a. s., Konference - Vápno, cement, ekologie 2008, 2008

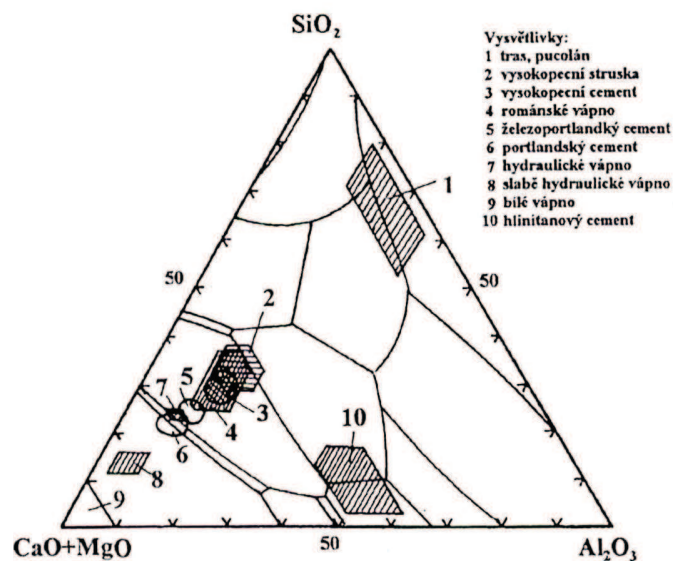
KOZLOCEV, Petr, Experimentální výzkum paleozoických vápenců barrandienské oblasti s ohledem na jejich možné využití pro výpal hydraulických vápen a přírodního cementu, diplomová práce, Přírodovědecká fakulta, Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů, 2012

PROŠKOVÁ, Pavlína, Srovnávání vlastností vápna připravovaného tradičními technologiemi s průmyslově vyrobenými produkty, bakalářská práce, Fakulta restaurování, univerzita Pardubice, 2008

30 HLAVÁČ, Jan. *Základy technologie silikátů*. 1. vyd. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1981.

pod vodou bez přístupu vzduchu.

Hydraulická pojiva vyráběná z vápenců jsou charakterizována svou hydraulicitou, tedy svou schopností do jisté míry tuhnout i pod vodou bez přístupu vzduchu. Tato schopnost závisí na míře hydraulicity, respektive na množství a charakteru hydraulických příměsí v základní surovině. Mezi základní sloučeniny tvořící s uhličitánem vápenatým tento typ pojiv patří oxidy křemíku a hliníku. Dále mohou tato pojiva obsahovat oxidy hořčíku, železa, síry a dalších příměsí.



Tab. 7. diagram hlavních typů oxidických maltovin v systému SiO_2 , $\text{CaO}-\text{MgO}$ a Al_2O_3 ³¹

Míra hydraulicity a další vlastnosti těchto pojiv se dají klasifikovat řadou vápenických a cementárenských indexů a modulů, které procentuálně zohledňují poměr základních oxidů v pojivu.

³¹ HLAVÁČ, Jan. *Základy technologie silikátů*. 1. vyd. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1981.

$HI = \frac{SiO_2 + Al_2O_3}{CaO}$	Hydraulický index (HI)
$CI = \frac{2,8 \times SiO_2 + 1,1 \times Al_2O_3 + 0,7 \times Fe_2O_3}{CaO + 1,4 \times MgO}$	Cementační index (CI)
$LSF = \frac{CaO}{2,8 \times SiO_2 + 1,2 \times Al_2O_3 + 0,65 \times Fe_2O_3}$	Modul syčení vápnem (LSF)
$M_H = \frac{CaO}{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3}$	Hydraulický (vápenný) modul (M_H)
$M_S = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$	Křemičitanový (silikátový) modul (M_S)
$M_A = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$	Hlinitanový modul (M_A)

Tab. 8. Základní vztahy užívané k hodnocení vápencových surovin.³²

U hydraulických pojiv je pro klasifikaci nejčastěji používán hydraulický modul. Hydraulická vápna se podle hodnoty M_H rozlišují na:³³

silně hydraulická vápna s M_H 1,7 až 3 - nehasí se

středně hydraulická vápna s M_H 3 až 6 - hasí se

slabě hydraulická vápna s M_H 6 až 9 - hasí se

Hydraulická pojiva se dají rozdělit na přírodní a umělá, kdy přírodní hydraulická pojiva jsou vyráběna z vápenců o vhodném složení, tedy s dostatečným množstvím obsažených nečistot v kalcitové matici. Naproti tomu při výrobě umělých pojiv jsou korekční hydraulické příměsi dodávány z dalších zdrojů.

Hydraulická vápna se dělí na slabě, středně a silně hydraulická. Tato vápna jsou pálena při teplotách 800 – 1100°C. Vápence, ze kterých jsou vyráběna, obsahují 75-90 % $CaCO_3$ a 10 -25 % jílových minerálů. Hydraulická vápna se dále dělí na přírodní, přirozeně hydraulická vápna, přírodní hydraulická vápna s pucolánovými složkami a hydraulická vápna vyráběná kombinací vhodných příměsí³⁴. Přirozeně hydraulická vápna

32 KOZLOCEV, Petr, Experimentální výzkum paleozoických vápenců barrandienské oblasti s ohledem na jejich možné využití pro výpal hydraulických vápen a přírodního cementu , diplomová práce, univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů, 2012

33 ROVNANÍKOVÁ, Pavla, Doc. RNDr. CSc, O vápně, Keiminfo magazín, 2., 2000, dostupné na: <http://www.keim.cz/info/00-2/info1.htm>

34 GUALTIERI A. F., VIANI T. A., MONTANARI C., 2005. Quantitative phase analysis of hydraulic limes using the Rietveld method. Elsevier, Cement and Concrete Research, Science direct, 36, str. 401-406.

obsahují podobně jako cementy belit C_2S (Ca_2SiO_4), gehlenit C_2AS a celit C_4AF , přítomny bývají i vápenaté hlinitany a železitany. Další aktivní složkou těchto vápen jsou oxid vápenatý (CaO) a portlandit ($Ca(OH)_2$), vytvrzení těchto pojiv neprobíhá tedy jen hydraulickým procesem, ale i karbonizací. Svými vlastnostmi se ta, to vápna nacházejí mezi vápnými vzdušnými a cementy. Oproti cementům mají nižší modul pevnosti, vyšší porozitu a propustnost a nezadržují v objektu vodu. Jsou pevnější a lépe odolávají korozi než vzdušná vápna. Přírodně hydraulická vápna (NHL) se podle dosažené pevnosti v tlaku a hydraulického modulu dělí do tříd NHL 2, NHL 3,5 a NHL 5.³⁵

3.1.2. Přírodně hydraulická vápna (NHL)³⁶

Vzdušná vápna a potažmo i vápna hydraulická se při tvorbě uměleckých děl, ale i při péči o památkové objekty, používala od samotných počátků lidské umělecké činnosti. V průběhu 19. a 20. století docházelo k odklonu od těchto historických materiálů. V posledních desetiletích je zřejmý posun ve vnímání těchto historických materiálů a jsou stále častěji používány při obnově či restaurování nejen kulturních památek.

Ke klasifikaci NHL a rozdělení do tříd 2 – 5 se používá hydraulický modul (M_H) a dosažená pevnost v tlaku. V technických listech firmy Otterbein jsou uváděny následující hodnoty: NHL 2 je nejměkčí z těchto vápen, vápenec, ze kterého se vyrábí, obsahuje 10 – 15 % hydraulických složek a obsahuje 35 % volného CaO . Po 28 dnech tuhnutí dosahuje pevnosti 4 N/mm^2 a M_H je 6-9. NHL 3,5 je středně hydraulické vápno, obsahuje 32 % volného CaO , po 28 dnech dosahuje pevnosti 4,8 N/mm^2 a M_H 3 – 6. NHL 5 je z přírodních hydraulických vápen nejsilnější. Vyrábí se z vápenců s obsahem více než 15% hydraulických podílů a obsahuje 30 % volného CaO . Pevnost po 28 dnech je 6,5 N/mm^2 a M_H 1,7 -3.³⁷

Nárůst pevnosti v tlaku u těchto vápen není ovšem ukončen po 28 dnech, vzrůstá pomalu po několik měsíců. Zatímco u plně hydraulických pojiv dochází k tuhnutí díky

35 Technický list, Přírodně hydraulické vápno, EN 459-1 NHL

36 TIŠLOVÁ, Renata, NOVOTNÁ, Adéla, Opravné malty-umělý kámen pro biodetritické vápence, sborník konference Maltoviny 2015, ISBN 978-80-214-5294-7

37 KOZLOCEV, Petr, Vápence Českého krasu a jejich využití pro hydraulická vápna a přírodní cementy, Bakalářská práce, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů, 2010

hydraulické reakci i bez přístupu vzduchu, u přirozeně hydraulických vápen část tuhne díky hydraulické reakci a část díky karbonataci volného CaO.

	28 dní – pevnost v N/mm ²	6 měsíců – pevnost v N/mm ²	12 měsíců – pevnost v N/mm ²
NHL 2	4	6,5	8,5
NHL 3,5	4,8	8,5	10,5
NHL 5	6,5	11	14

Tab. 9. nárůst pevnosti NHL zdroj technický list NHL Calcidur firmy Otterbein

Ovšem St. Astier uvádí pro svůj produkt NHL3,5 tyto hodnoty:

	pevnost malt v poměru s normovaným pískem (ISO 679) v N/mm ²		
	1:2	1:2,5	1:3
7 dní	0,75	0,57	0,53
28 dní	1,88	1,47	1,34
6 měsíců	7,1	5,34	3,94
12 měsíců	7,5	5,90	3,90
24 měsíců	8,63	6,0	3,97

Tab. 10. nárůst pevnosti NHL zdroj technický list NHL 3,5 St. Astier

Poměrný obsah jednotlivých oxidů, zpracovatelské vlastnosti a vlastnosti těchto vápen po vytvrnutí jsou vymezeny dle normy ČSN EN 459-1 ED.2, Stavební vápno - Část 1: Definice, specifikace a kritéria shody. V současnosti vyrábí tato vápna například firmy Röfix, Otterbein a St. Astier.

4. Experimentální část

Pro zpevnění litavských vápenců, ale i dalších porézních materiálů s vápenným pojivem, se z dříve provedených experimentů a zkušeností jeví slibně prostředky na bázi nanosuspenzí hydroxidu vápenatého v alkoholu, které se vyznačují dostatečným zpevňujícím účinkem a chemickým složením, které je podobné jako zpevňovaný substrát. Konsolidací karbonátových materiálů tudíž dochází k obnově již degradovaného kalcitového pojiva nově dodaným uhličitanem vápenatým. Tyto prostředky mají ovšem několik nevýhod; jde o složitější proces aplikace, nutnost opakování aplikačních cyklů s cílem zvýšit konsolidační efekt a možnost tvorby bílého zákalu na povrchu.

S cílem eliminovat alespoň některé uvedené problémy, zejména zvýšení konsolidačního efektu při menším počtu aplikací, byly testovány nové typy nanosuspenzí na bázi přirozeně hydraulického vápna (NHL). Základními výhodami těchto systémů by měla být zejména vyšší míra zpevnění, neboť se předpokládá jejich chemicky odlišný průběh zrání, který ve výsledku může ovlivnit míru zpevnění. Materiály se také velice pozitivně jeví i po stránce barevnosti. Jako okrové jsou přímo vhodné pro podobně barevné horniny nebo jiné typy porézních substrátů.

Protože se jedná o novou skupinu prostředků, zaměřuje se tato práce na jejich základní otestování - posouzení konsolidačního účinku za různých aplikačních podmínek a zrání, jež by mohly být vzhledem k účinku optimální. Vzhledem k předchozím zkušenostem s vápennými nanosuspenzemi na bázi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ³⁸ byly jednotlivé testy porovnávány s dříve zjištěnými výsledky chování čistě vápenných nanosuspenzí, jež je bezpochyby dalším přínosem této studie.

38 Projekty zaměřené na testování vápenných nanosuspenzí, viz pozn. 1

4.1 Materiály a vzorky pro zkoušení

4.1.1 Vzorky

Pro testování účinku nanosuspenzí byly použity dva typy substrátů. Účinek nanosuspenzí byl testován na laboratorních vzorcích, jež měly simulovat poškozenou horninu v mnoha aspektech. Vzorky byly připraveny ze směsi křemičitého písku a drceného tříděného vápence z lokality St. Margarethen v poměru 1:4, obj., jež byly smíchány s vodou do husté směsi a následně vydusány do forem o rozměru 4x4x4 cm³. Skladba komponent měla simulovat přírodní typ horniny, způsob přípravy směsi bez pojivové složky zajistil vysokou porozitu substrátu, jež měla simulovat silně degradovanou horninu.

Po vyschnutí vzorků byly vzorky vyjmuty z forem a před napouštěním byly vysušeny při 60°C do konstantní hmotnosti.

Pro ověření hloubky penetrace a praktické zkoušky byly pro některé zkoušky NHL nanosuspenze nanášeny na připravené bloky vápence z lokality St. Margarethen.

4.1.2 Použité NHL nanosuspenze

Přehled testovaných NHL nanosuspenzí doplněný základní charakterizací je uveden v Tab. 11. Mezi testovanými nanosuspenzemi byly odzkoušeny systémy vyvinuté firmou ZFB (Zentrum für Bucherhaltung GmbH Leipzig) a FCHT UPa (Fakulta chemicko - technologická Univerzita Pardubice). NHL nanosuspenze se zásadně lišily velikostí částic, všechny typy byly připraveny tzv. mechanickou cestou, která je založena na mletí vstupní látky, tj. NHL vápna, jež se mele při daných podmínkách v alkoholovém rozpouštědle. U produktů ZFB Leipzig nebyl výrobcem postup přípravy blíže specifikován, naopak velmi přesně byl popsán u dvou typů NHL nanosuspenzí, které byly připraveny ve spolupráci s FCHT, UPa. viz kapitola 2.3.2 Vápenné nanosuspenze

název	výrobce	Originální koncentrace	médium	Velikost částic D ₉₀ (nm)
KK 106a	ZBF	100g/l	ethanol	214-
KK 106 b	ZBF	50g/l	ethanol	214
KK 106 c	ZBF	50g/l	ethanol	214
UPa A	FCHT UPa	50g/l	isopropanol	5720
UPa Z	FCHT UPa	50g/l	isopropanol	3050

Tab. 11. základní charakterizace testovaných NHL nanosuspenzí

4.1.3 Aplikace nanosuspenzí

Vápenné nanosuspenze byly aplikovány v koncentraci 25, resp. 50 g/l na laboratorní vzorky hornin o rozměru 4x4x4 cm. Volba koncentrace vyplynula z provedených zkoušek i dřívějších zkušeností. Macounová (2013)³⁹ uvádí, že nižší koncentrace (10 g/l) jsou pro strukturální konsolidaci málo účinné. Naopak vyšší koncentrace se neosvědčily při aplikačních zkouškách. Prostředky v koncentraci 50 nebo 100 g/l (původní neředěné produkty) se vyznačovaly pomalou penetrací a tendencí usazovat se na povrchu vzorků. Ředění prostředků bylo provedeno organickým rozpouštědlem, obsaženým v originálním produktu (etanol, i-propanol). Při testování míry konsolidace byl konsolidant nanášen ve dvou opakováních, v rámci jedné aplikace bylo nanášeno vždy konstantní množství, 17 ml konsolidantu.

Konsolidanty byly nanášeny kapátkem, jež bylo kombinováno s kapilárním vztlínáním prostředku, neboť bylo nutné, vzhledem k citlivosti prostředků, nanášet konsolidant maximálně rychle. Po aplikaci byly vzorky překryty kádinkou a takto ponechány po dobu 1 hodiny, aby rovnoměrně pronikly vzorkem. Po této době byly vzorky ponechány volně pod fólií po dobu 3 dní, aby se maximálně zpomalil odpar rozpouštědla, který by mohl negativně ovlivnit zpětnou migraci prostředku. Poté byly

³⁹ MACOUNOVÁ, Dana, Restaurování vápencové sochy světice č. 1 s využitím nanosuspenzí na bázi Ca(OH)₂ / Zhodnocení možností využití nanosuspenzí na bázi Ca(OH)₂ pro konsolidaci organodetrického vápence v porovnání s běžně používanými prostředky na bázi TEOS, Diplomová práce, Fakulta restaurování, Univerzita Pardubice, 2013

vzorky umístěny po dobu 28 dní do dvou prostředí s cílem ohodnotit vliv podmínek zrání na míru konsolidace: **55-65 % rh**, podmínky doporučené normou ČSN EN 1015-11 pro uložení malt na bázi NHL vápen, **80-90 % rh**, podmínky u kterých bylo předpokládáno, že pozitivně ovlivňují vlastnosti NHL vápen.

vzorek	konsolidace	Podmínky zrání
KK106a	2x25 g/l	70%
KK106a	2x25 g/l	90%
KK106b	2x25 g/l	70%
KK106b	2x25 g/l	90%
KK106c	2x25 g/l	70%
KK106c	2x25 g/l	90%
UPa Z	1x25 g/l	70%
UPa Z	2x25 g/l	65-70%
UPa A	1x25 g/l	65-70%
UPa A	2x25 g/l	65-70%
UPa A	2x25 g/l	voda
UPa Z	2x25 g/l	voda

Tab. 12: Použité konsolidanty, označení vzorků, počet aplikací a podmínky zrání.

Další podmínky zrání, které byly nakonec také v rámci experimentů otestovány, vycházely z praktických zkušeností s NHL vápní. Vlhčení vodou se používá k ošetření NHL vápenných malt v praxi. Vliv takových podmínek byl proto studován na jedné sadě vzorků UPa A a UPa Z (viz tabulka 12), které byly ihned po impreganci zamočeny a opakovaně se vlhčily po dobu 28 dní. Celkem bylo provedeno cca 5 zavlhčení a vysušení.

Průměrné laboratorní klimatické podmínky během a po aplikaci byly 20-22 °C a 50-55 % RH. Hodnocení konsolidačního účinku bylo provedeno po 2 měsících. Po této době došlo ke karbonataci vápenných nanosuspenzí (kontrola pomocí roztoku fenolftaleinu). Kontrola průběhu hydratační reakce nebyla v rámci experimentu prováděna, i když by byla zajímavá, neboť vyžaduje speciální proceduru a analytické přístroje, jenž nejsou na FR UPa dostupné.

4.2 Zkoušení a testované vlastnosti

4.2.1 Charakteristika vlastností NHL nanosuspenzí

4.2.1.1. Velikost částic⁴⁰

Charakterizace velikosti částic NHL nanosuspenzí byla prováděna dvěma metodami.

Velikost částic nanosuspenzí lze charakterizovat pomocí skenovací elektronové mikroskopie (SEM), kterou lze provádět analýzu různého typu preparátů při vysokém zvětšení. Velikost částic byla provedena na skenovacím elektronovém mikroskopu MIRA3 LMU (Tescan) při napětí 20 kV v modu sekundárních elektronů (SE). Analýza byla provedena na preparátech připravených z NHL nanosuspenzí, které byly ve zředěné formě (1 g/l) aplikovány na předem pozlacená laboratorní skla. Po odpaření rozpouštědla byly vzorky opět pozlaceny a ihned analyzovány. Kromě velikosti částic byly na preparátech pozorovány další charakteristiky, zejména charakter a morfologie částic, stabilita, příp. další změny, které se objevily např. v důsledku vysoké citlivosti všech NHL nanosuspenzí vůči vlhkosti.

Druhá metoda je založena na měření velikosti částic pomocí laserového přístroje. Přesná metodika měření byla převzata z protokolu, který vypracovala J. Luxová⁴¹, FCHT, UPa při měření zaslaných vzorků. Velikost částic, respektive distribuce velikosti částic, byla měřena na přístroji Mastersizer 2000/MU (Malvern Instruments Ltd., Velká Británie). Jedná se o kompaktní, vysoce integrovaný laserový přístroj pro měření velikosti částic. Tento přístroj využívá rozptylu světla dopadajícího na částice

40 SLÍŽKOVÁ, Zuzana, FRANKEOVÁ, Dita, TIŠLOVÁ, Renata, Metodika určení rozhodných materiálových charakteristik historických stavebních materiálů pro plánovaný restaurátorský zásah, Metodika je výsledkem výzkumného projektu s názvem „Podmínky a požadavky kompatibilní péče o historické anorganické porézní materiály“ (DF12P01OVV018), podporovaného v letech 2012-2015 Ministerstvem kultury ČR v rámci výzkumného programu NAKI

41 LUXOVÁ, Jana, nepublikované výsledky měření, Univerzita Pardubice, 2016
ŠULCOVÁ P., DOHNALOVÁ: Anorganické pigmenty, vlastnosti a metody hodnocení, Univerzita Pardubice, 2015.
ŠULCOVÁ P., BENEŠ L.: Experimentální metody v anorganické technologii, Univerzita Pardubice, 2008.

dispergované v daném prostředí a umožňuje vyhodnotit měřený signál buď na základě Mieho rozptylu nebo Fraunhoferovy aproximace.

Velikost částic je vyhodnocována pomocí tzv. červeného světla (He-Ne laser, $\lambda=633$ nm) a tzv. modrého světla (laserová dioda, $\lambda=466$ nm). Systém před každým měřením odečítá pozadí a nastavuje optiku. V přístroji je zabudován širokouhlý detekční systém (rozptýlené světlo je snímáno prakticky pod všemi úhly), přístroj tak umožňuje měření velikosti částic v intervalu 0,02 – 2000 μm . Pro správné vyhodnocení velikosti částic je nutná znalost indexu lomu jak dispergační kapaliny, tak i dispergované látky. Přístroj má k dispozici vlastní rozsáhlou databázi indexů lomu řady sloučenin, případně lze hodnoty indexů lomu aktuálně měnit či doplnit.

Přístroj je vybaven ultrazvukovým prstem s míchačkou a čerpadlem. V klasickém uspořádání se jedná o průtočné zařízení. Vzorek tedy kontinuálně proudí do měřicí cely a odtud zpět do zásobní kádinky. Dispergaci vzorku ultrazvukem je možné provést jak před měřením, tak i během vlastního měření.

V našem případě bylo před vlastním měřením naváženo 0,4-0,5 g suspenze NHL 5 Røfix a rozmícháno ve 40 cm^3 v isopropanolu, vloženo do ultrazvukové komory, kde byla suspenze dispergována po dobu 2 minut. Měření probíhalo ve 300 cm^3 isopropanolu a koncentrace měřeného vzorku v dispergační kapalině byla automaticky vyhodnocována přístrojem. Vzorek proudil do měřicí cely, kde probíhalo vlastní měření ve třech cyklech po 24 sekundách, ze kterých přístroj vypočítal průměr. Hodnocení bylo prováděno na základě Fraunhoferova ohybu. Přístroj je propojen s počítačem a lze tak ihned získat informace o velikosti částic v systému v buď podobě hodnot $d_{10, 50, 90}$ (mezní velikost částic pro 10, 50 respektive 90 objemových procent nejmenších částic) a SPAM (Rozptyl nebo šířka distribuce, čím nižší hodnota spam, tím užší distribuce velikosti částic) nebo graficky v podobě frekvenční či integrální (kumulativní křivky). Metoda byla použita pro vyhodnocení velikosti částic připravených nanosuspenzí UPa A a Z, dále pak při studiu stability suspenzí.

4.2.1.2. Rychlost sedimentace

Rychlost sedimentace byla provedena se vzorky nanosuspenzí KK106a, KK106b a KK106c, jež byly naředěny z původní koncentrace ethanolem na 10% roztok. Takto zředěné suspenze byly umístěny do zkumavek, kde byly po dobu 12 dní pozorovány. Po 1, 4, 7 a 12 dnech byla pořizována fotodokumentace stavu vzorků a hodnocena míra usazení pevného podílu na dně zkumavek.

4.2.1.3. Stabilita nanosuspenzí – měření fázového složení pomocí práškové rentgenové difrakční analýzy (PXR) ⁴²

Metoda práškové rtg - rentgenové (PXR) analýzy byla použita pro zjištění citlivosti vzorků vůči působení vlhkosti. V obecné rovině je metoda založena na měření fázového složení vzorku. Pokud je ke vzorku přidáván vnitřní standard, je možné metodu užít i pro kvantitativní analýzu.

Pro experiment byly zvoleny expoziční podmínky dvojího druhu: první sadu vzorků tvořily NHL nanosuspenze KK106b, jež byly analyzovány z dodaného produktu, jež byl ponechán vyschnout ve vakuu, bez přístupu vlhkosti. Druhý vzorek byl proveden se stejnou nanosuspenzí, který vysychal při normálních laboratorních podmínkách (bez omezení přístupu vlhkosti, na vzduchu). U obou vzorků byl stanoven obsah fází a ohodnocena citlivost vzorku vůči vlhkosti. Měření provedl Mgr. Dalibor Všíanský, PhD., Ústav geologie, PřF MU Brno. Stanovení probíhalo dle uvedených podmínek: ke vzorku byl přidán vnitřní standard v množství 20 hmot. % (t. j. po přidavku: 80 % vzorku + 20 % standardu) a byla provedena homogenizace v isopropylalkoholu pomocí mlýnku McCrone Micronising Mill a vysušení na vzduchu a ve vakuu. Jako standard byl použit fluorit (CaF₂). Přídavek vnitřního standardu umožňuje kvantifikaci amorfni fáze. Vzorek č. 2 byl analyzován bez přidavku vnitřního standardu.

Prášková rtg – difrakční (PXR) analýza byla provedena na aparatuře Panalytical Empyrean s Cu-anodou ($\lambda_{K\alpha} = 0,15418\text{nm}$), 2-D pozičně citlivým detektorem použitým v 1-D modu při konvenční Bragg-Brentano parafokusační $\Theta - \Theta$ reflexní geometrii.

42 VŠIANSKÝ, Dalibor, Nепublikované výsledky měření

Krok: 0,013 °2θ, čas na krok: 149 s, měřená úhlová oblast: 5 – 80 °2θ, celková doba trvání jednoho skenu: 3371 s.

Získaná data byla zpracována pomocí software Panalytical HighScore 3 plus.

Kvantitativní fázová analýza byla provedena Rietveldovou metodou. Ke strukturnímu vyřešení a kvantifikaci byly použity strukturní vzory z databáze ICSD 2012.

4.2.2 Hodnocení konsolidačního efektu

4.2.2.1. Hloubka penetrace

Hloubka penetrace NHL nanosuspenzí byla sledována pomocí 1% roztoku fenolftaleinu v ethanolu, který se využívá jako indikátor Ca(OH)_2 přítomného v NHL. V alkalickém prostředí se fenolftalein barví do fuchsiova, naopak při poklesu pH do neutrální oblasti (přesněji při poklesu pH pod ca 8) se odbarvuje.

Postup: Roztok indikátoru v ethanolu se na vzorky konsolidovaných vzorků aplikuje kapátkem cca 1 hod po impregnaci. Laboratorní vzorky byly ke zkoušce rozlomeny ve středu vzorků ve směru aplikace prostředků a roztok fenolftaleinu byl aplikován kapátkem na celou rozlomenou plochu.

4.2.2.2. Ultrazvuková transmise

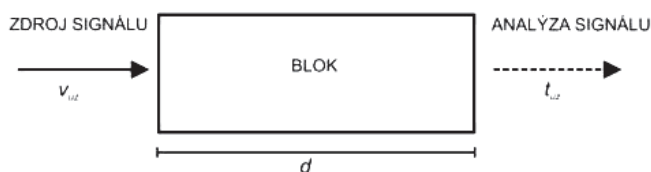
Metoda slouží v restaurátorské praxi pro průzkum porézních materiálů na objektech kulturního dědictví. Metoda měření neinvazivně diagnostikuje stav a kvalitu materiálu, kdy jsou přístrojem stanoveny rychlosti průchodu (transmise) ultrazvukových vln materiálem. Na výsledku rychlosti transmise se odráží mikrostruktura, porozita, chemické složení a další materiálové charakteristiky měřeného objektu. Další uplatnění má měření ultrazvukové transmise při laboratorním výzkumu na modelových vzorcích. Toto měření stanoví rozdíl ultrazvukové transmise v materiálu před a po aplikaci konsolidačního prostředku. Dále je možné tímto měřením zjistit do jaké hloubky a jak je

prostředek v materiálu distribuován.

Princip metody: Metoda využívá měření rychlosti přechodu longitudální (podélné) vlny (p-vlny) zkoumaným materiálem. Na povrch protilehlých stran zkoumaného objektu (vzorku) se přikládají sondy – zdroj ultrazvuku (vysílač) a přijímač, které snímají čas průchodu ultrazvukové vlny (t). Vyhodnocení rychlosti (v) je podílem vzdálenosti měřicích sond (d) a naměřeného času. Rychlost šíření ultrazvukových vln je závislá na typu materiálu. Pokud je materiál více stmelen (konsolidován), je rychlost ultrazvuku vyšší než u materiálů poréznějších (degradovaných). Rychlost šíření vln dále ovlivňuje přítomnost vody v pórech nebo dutinách, existence poškození, nehomogenit a trhlin, čímž může být signál pomalejší.⁴³

Rychlost UZ transmise se počítá dle rovnice:

$$v = d/t$$



v - rychlost ultrazvuku, [m/s] příp. [km/s]

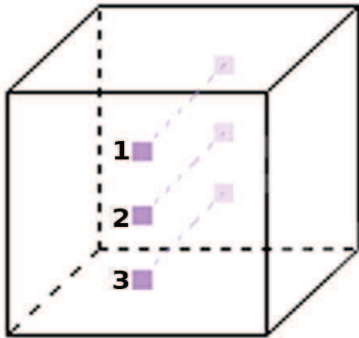
d - měřená vzdálenost, [m] příp. [km]

t - čas přechodu signálu, [μ s]

Přístroj a podmínky: Pro měření ultrazvukové transmise byl použit přístroj Geotron UKS-14 (Geotron-Elektronik, Rolf Krompholz, Pirna-Neudorf, D) s řídicím notebookem a vestavěnými sondami. Měření bylo provedeno ve třech místech/hloubkách vzorku, pro objektivní stanovení rychlosti UZ signálu a pro následné potřeby zjištění hloubky penetrace konsolidantu. Vzorek byl měřen před konsolidací a po konsolidaci

43 HAVLÍN, Jakub, Monika SLAVÍKOVÁ, Jan VÁLEK a Karel PAVELKA. Metodika využití neinvazivních průzkumových metod – georadaru, impakt echa a povrchového měření šíření ultrazvuku k posouzení stavu a konstrukčních detailů pískovcového pláště stavebních konstrukcí. In: *Univerzita Pardubice* [online]. Pardubice, 2015 [cit. 2016-02-29]. Dostupné z: <http://projekty.upce.cz/naki27/cert-metodiky/cert-met-02/cert-met-02-text.pdf>

v různých vzdálenostech na vzorku od napouštěného povrchu ve výšce 1, 2 a 3 cm.



obr. 4 vzorek a místa měření



obr. 5 přístroj Geotron UKS-14

Měření bylo provedeno na laboratorních vestavěných sondách UP-DW (korekce 1,8 μ s) při budící frekvenci 250 kHz. Z výsledků rychlosti transmise před a po konsolidaci se počítá změna rychlosti, jež byla vyjádřena v %.

4.2.2.3. Dynamický modul pružnosti

Vychází z normy ČS EN 14146 *Zkušební metody přírodního kamene – Stanovení dynamického modulu pružnosti (pomocí základní rezonanční frekvence)*. Dynamický modul pružnosti vyjadřuje závislost mezi poměrným přetvořením a napětím, vyjadřuje tedy schopnost materiálu se přetvářet v důsledku vnějších změn (podmínky, napětí, aj.). Při měření dynamického modulu pružnosti využíváme charakteristiky šíření vlnění, které jsou vázány na mineralogické složení materiálu a jeho fyzikálně mechanické vlastnosti (zejména porozitu, pevnost). V případě vzorků byla studována změna této charakteristiky, ke které dochází po konsolidaci nanosuspenzemi.

Přístroj a podmínky: Měření bylo provedeno přímé (sondy proti sobě) na přístroji pro měření ultrazvukové transmise Geotron UKS 14 s externími sondami pro menší vzdálenosti (UPG 250 s měřicí frekvencí 250 kHz, rozlišením 0,1 μ s, zpoždění/korekcí 1,8 μ s.

4.2.2.4. Pevnost v tlaku

Konsolidační účinek nanosuspenzí byl měřen na základě měření pevnosti v tlaku. Testování bylo provedeno na laboratorních vzorcích o velikosti 4x4x4 cm³. Vychází z normy ČSN EN 1015-11: *Zkušební metody malt pro zdivo - Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku*. Pevnost v tlaku je mezní napětí při největším zatížení, které snese materiál, vztažené na zatěžovanou plochu. Pevnost malty v tlaku se zkouší v laboratoři na zkušebním lisu pro měření mechanických vlastností.

Přístroj a podmínky: Měření bylo provedeno na stroji na zkoušení mechanických vlastností FPZ 100/1, při rychlosti posunu 2,1-84 mm/min.

Výpočet: $f_c = F_c / A$ [N·mm⁻²]

f_c pevnost v tlaku v [N·mm⁻²]

F_c max. dosažené zatížení [N]

A plocha tlačných desek [mm²]

Jako referenční hodnoty sloužily hodnoty pevnosti v tlaku naměřené na referenčních neošetřených vzorcích. Měření bylo provedeno na 5 vzorcích od každého typu konsolidantu. Výsledky jsou uváděné jako průměrné hodnoty.

Pevnost v tahu za ohybu, která je druhou významnou charakteristikou změny mechanických vlastností nebyla zjištěna, z důvodu nedostatku suspenzí pro provedení rozsáhlejšího testování.

4.2.2..5. Měření kapilární nasákavosti – stanovení koeficientu kapilární nasákavosti

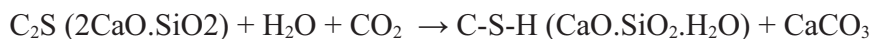
Měření vychází z normy EN 1015-18, *Zkušební metody malt pro zdivo - Část 18: Stanovení koeficientu kapilární absorpce vody v zatvrdlé maltě*, avšak vzhledem k charakteru vzorků bylo pro potřeby experimentu upraveno. Vzorky o velikosti 4x4x4 cm byly umístěny do nádoby s vodou, hladina vody dosahovala do výšky 0,5 cm vzorku.

Vzorky byly v pravidelných časových intervalech 10 s z vody vytahovány a váženy. Z výsledků byl vypočítán nejprve tzv. kapilární tok C ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$), z něhož byl vypočítán koeficient kapilární nasákavosti vodou v ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hod}^{-1/2}$), který se počítá jako množství přijaté vody materiálem za daný časový interval.

4.2.2.6. Měření nárůstu hmotnosti – teoretický a skutečný výtěžek reakce

Všechny testované vzorky byly váženy na laboratorních vahách, před, v průběhu a po ukončení konsolidační reakce. Z počáteční a koncové hmotnosti (po 2 měsících) byl vypočítán skutečný výtěžek reakce v hm.%. Pro porovnání byl doložen teoretický výtěžek v hm.% (viz. hydraulická reakce belitu na C-S-H gel a CaCO_3). Rozdíly mezi hodnotami indikují nakolik hydraulická reakce ve vzorcích konsolidovaných nanosuspencemi proběhla, či je retardována.

Hydraulická reakce belitu na C-S-H gel a CaCO_3 :



4.3 Vyhodnocení výsledků

4.3.1 Charakteristika vlastností NHL nanosuspenzí

V rámci charakterizace vlastností testovaných NHL nanosuspenzí byla stanovena velikost částic, popsán jejich charakter a stabilita. Popis metod užitých k charakterizaci je uveden^a v kapitole 4.2.1 Charakteristika vlastností NHL nanosuspenzí.

4.3.1.1 Velikost částic

U suspenzí řady KK 106 (ZBF, Leipzig, DE) byla velikost částic změřena výrobcem, nanosuspenze mají přibližně podobnou velikost částic, ale byly připraveny ve třech šaržích, s blíže nespecifikovanými rozdíly. Velikost částic nanosuspenzí UPa byla měřena pomocí laserové difrakce. Výsledky velikosti částic jsou uvedeny pro všechny testované systémy v tabulce 13.

	D 10 (nm)	D 50 (nm)	D 90 (nm)	SPAN
KK 106 a	- ⁴⁴	111	214	-
KK 106 b	-	111	214	-
KK 106 c	-	111	214	-
UPa A	810	2100	5720	2,34
UPa Z	600	1340	3050	1,83

Tab. 13. Srovnání velikosti částic testovaných suspenzí.⁴⁵ Hodnoty D10, D50 a D90 udává velikost částic, pod níž se nachází 10, 50, resp. 90% částic, charakterizuje tak okraje distribuce. SPAN označuje rozteč hodnot, tj. šířku distribuce velikosti částic. Čím je hodnota nižší, tím je distribuce užší.

Velikost částic UPa byla řádově vyšší než velikost částic v suspenzích řady KK 106. Tato skutečnost-však subjektivně neměla zásadní vliv na schopnost penetrace suspenzí do vydusáných vzorků či, v rámci praktických zkoušek, při napouštění reálných bloků vápence.

Dalším pozorovaným jevem byla lepší schopnost penetrace suspenzí UPa A oproti

⁴⁴ Takto označené hodnoty nebyly výrobcem uvedeny

⁴⁵ Velikost částic u suspenzí KK 106 a – c, byla stanovena ZBF

UPa Z, a to i přesto, že UPa Z se vyznačovalo o 22% menší velikostí částic a tedy se dala předpokládat lepší schopnost vnikat do pórů substrátu. Tento jev lze pravděpodobně vysvětlit odlišnou morfolgií částic připravovaných rozdílnými způsoby (viz. Kap. 4.3.1.2. Charakter a morfologie částic).

Z uvedených výsledků vzhledem ke schopnosti penetrace vyplynul zajímavý výsledek; je zřejmé, že silně poškozené materiály lze penetrovat suspenzemi i s vyšší velikostí částic než je v řádu nano. Jednoznačný vliv velikosti částic lze pozorovat na reaktivitu a konsolidační schopnost (viz kapitola 4.3.2. Hodnocení konsolidačního efektu).

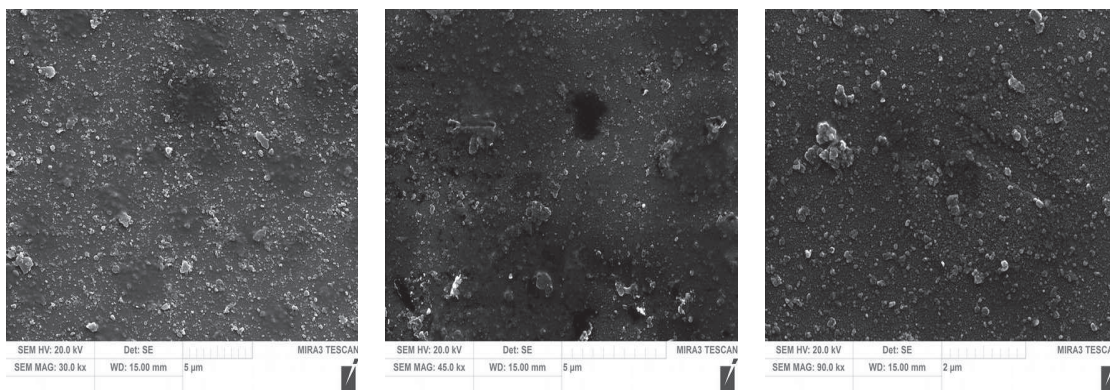
4.3.1.2 Charakter a morfologie částic NHL nanosuspenzí

Studované nanosuspenze se kromě velikosti lišily i charakterem a morfolgií částic, kterou lze dobře studovat pomocí skenovacího elektronového mikroskopu (SEM) v modu sekundárně odražených elektronů (SE). Aby bylo možné pozorovat jednotlivé částice, byly vzorky nanosuspenzí silně naředěny na koncentraci 1 g/l a zdokumentovány při různých zvětšeních na mikroskopu.

Kromě charakteru částic byla popsána jejich morfologie částic, případně další jevy, jež jsou pro daný typ suspenze charakteristické. Výsledky byly shrnuty v Tab. X, pro ilustraci a porovnání rozdílů mezi jednotlivými typy jsou uvedeny snímky při zvětšení 30kx-60kx (UPa Z).

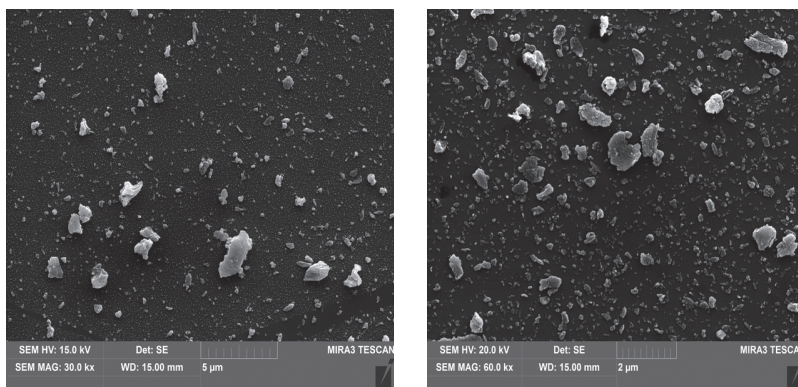
Částice nanosuspenzí jsou všechny typický angulární (ostrohranné) částice s množstvím štěpných hran a nepravidelností a vnitřní porozity, což je zvláště patrné na snímcích suspenzí UPa. Na snímcích suspenzí KK106 a-c byl u všech shodně patrný výskyt projevů hydratace (částice jsou pokryté tenkým filmem amorfního charakteru, o kterém se lze domnívat, že se jedná o CSH gel). Hydratace nebyla pozorována u vzorků suspenzí UPa A a Z, o kterých bylo zmíněno, že byly pro konsolidaci použity ve velmi krátké době po jejich přípravě a lze předpokládat, že hydratační reakce u nich prozatím neproběhla.

Kromě charakteru částic byla měřena i velikost částic suspenzí, jež je sice deklarována výrobcem, ale je zajímavé zjistit jaká je kromě velikosti i distribuce velikosti ve vzorku, případně lze u vzorků pozorovat vznik shluků větší velikosti, jež mohou být důsledkem nestability systémů. Velikost částic se u obou typů suspenzí proměňovala; suspenze KK106 se vyznačovaly poměrně malou velikostí částic v intervalu okolo 100-300 nm, ale s množstvím větších částic různého druhu. První částice s velikostí okolo 400–1000 nm jsou patrně aglomeráty, neboť si zachovávají ostrohranný charakter. Druhé rozměrnější částice jsou amorfního charakteru ($>2 \mu\text{m}$), které překrývají částice suspenze a vytváří na nich povlak/film.



Tab.14 Nanosuspenze KK106a-c (zleva). Snímek ze skenovacího elektronového mikroskopu (SEM) při zvětšení 30kx. Charakter částic a morfologie suspenzí. Suspenze jsou typicky angulární (důsledek mechanického namáhání/mletím), nehomogenní a jemnozrné s přítomností amorfního gelu, který vytváří charakteristickou 'pokryvku/film' nehydratovaných částic.

Podobný, angulární charakter mají suspenze řady UPa, přičemž mezi suspenzemi A a Z není zásadní rozdíl ve tvaru částic, který by souvisel s odlišným způsobem přípravy. Oproti suspenzím řady KK106 se vyznačují větší velikostí částic (500 nm-1,5 μm) a širší distribucí ve velikosti. V suspenzi se nachází velmi malé částice ($<0,5 \mu\text{m}$), hrubší částice s velikostí nad 1 μm .

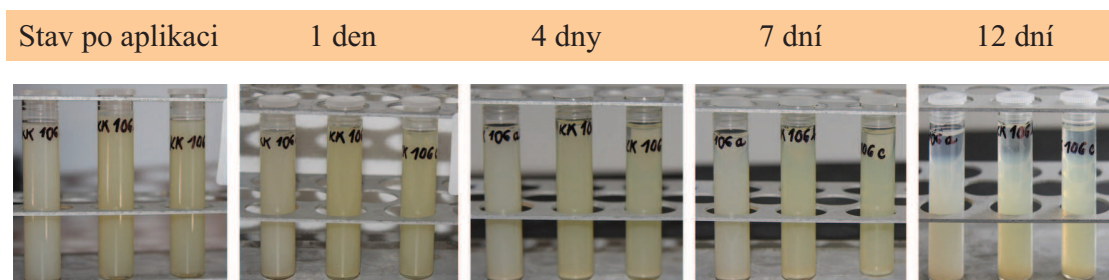


Tab.15. Nanosuspence UPa A (vlevo) a Z. Snímek ze skenovacího elektronového mikroskopu (SEM) při zvětšení 30 a 60kx (UPa Z, snímek vpravo). Charakter částic a morfologie suspenzí. Suspenze jsou typicky angulární (důsledek mechanického namáhání/mletím), nehomogenní s širokou distribucí velikosti částic. Oproti suspenzím řady KK106 je patrné, že hydratační reakce neprobíhá

4.3.1.3 Stabilita NHL nanosuspenzí – sledování rychlosti sedimentace

Hodnocení stability nanosuspenzí je možné provádět několika způsoby. Nejjednodušší je sledování stability na základě hodnocení rychlosti sedimentace, která se provádí se zředěnou suspenzí, která se nechává v uzavřené zkumavce sedimentovat po dobu několika dní při normálních podmínkách. Určitě výsledky o stabilitě lze vypočítat také na mikroskopických preparátech připravených z nanosuspenzí pomocí skenovací elektronové mikroskopie (SEM), jíž je možné provádět analýzu obrazu při velmi velkém zvětšení (výsledky byly prezentovány v kapitole 4.3.1.2 Charakter a morfologie částic NHL nanosuspenzí). Třetí metoda, jež vypovídá o stabilitě systémů, je založena na měření velikosti částic a jejich změně v průběhu času pomocí laserové difrakce. Měření bylo provedeno pouze u UPa NHL nanosuspenzí ihned po přípravě a pak v pravidelných časových intervalech až do 28 dní od přípravy. U vzorku suspenze KK106b byla dále provedena prášková rentgenová difrakční analýza (PXRD), která poskytla zajímavé výsledky o fázovém složení suspenze vystaveným různým podmínkám expozice, jež měly odhalit citlivost materiálů vůči vlhkosti.

4.3.1.4. Rychlost sedimentace



Tab. 16. rychlost sedimentace suspenzí KK 106⁴⁶

NHL nanosuspenze jsou stabilní po velmi krátkou dobu, ze skupiny testovaných systémů se vyznačovaly vyšší stabilitou suspenze s menší velikostí částic, tj. řady KK106. Suspenze řady KK106 se chovaly přibližně podobně. Po 4. dnech začaly suspenze viditelně sedimentovat, po 12. dnech došlo k úplnému oddělení média a mleté suroviny NHL. Rychlá sedimentace byla ještě výraznější u suspenzí UPa Z a zvláště u UPa A, což zřejmě souvisí s velikostí částic NHL.

Samotná sedimentace nemusí být pro aplikační či výsledné vlastnosti suspenzí zásadním problémem, pokud není doprovázena změnou fázového složení (nedochází k ní v důsledku chemické reakce). U suspenzí UPa bylo ověřeno, že protřesením, či ponořením do ultrazvukové lázně je možné tyto částice znovu dispergovat, nesmí však dojít ke kontaktu s vodou či vzdušnou vlhkostí (viz kapitoly 4.3.1.5 Hodnocení stability – měření fázového složení pomocí práškové rtg difrakční analýzy (PXRD) a 4.3.1.6. Měření stability testovaných suspenzí UPa).

4.3.1.5. Hodnocení stability – měření fázového složení pomocí práškové rtg difrakční analýzy (PXRD)

Výsledky fázové analýzy ukazují tabulky 17 a 18. Tabulka 17 uvádí fázové složení vzorku práškového NHL5 (Otterbein), ze kterého byly nanosuspenze připraveny. Mezi hlavní mineralogické fáze patří larnit (belit, $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) a portlandit $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Ostatní fáze jsou zastoupeny do 2 hm. % s výjimkou kalcitu, jež pochází z nedopalu nebo naopak z reakce portlanditu, jež je zastoupen okolo 3 hm.%.

⁴⁶ Fotografie zhotovila R. Tišlová

vzorek/minerál		NHL5 (Ötterbein, SRN)
larnit - belit	2CaO. SiO ₂	25,9
portlandit	Ca(OH) ₂	63,5
kalcit	2CaO. SiO ₂	3,1
C3A - kubický	3 CaO x Al ₂ O ₃	1,5
C3A - ortorombický	3 CaO x Al ₂ O ₃	1,9
mayenit	12 CaO x 7Si ₂ O ₃	1,0
gehlenit	Ca ₂ Al (Si,Al) ₂ O ₇	0,8
periklas	MgO	1,8
křemen	SiO ₂	0,6

Tab. 17: Výsledky kvantitativní fázové analýzy vzorku NHL5 vápna (Ötterbein) v hmotnostních procentech, zaokrouhleno na jedno desetinné místo. Nejvíce jsou zastoupeny larnit/belit a portlandit.

V tabulce 18. jsou uvedeny výsledky kvantitativního fázového složení dvou vzorků KK106b suspenze, jež byly před analýzou stanovení vystaveny dvěma typům podmínek. První podmínky simulují podmínky bez přístupu vlhkosti – sušení preparátu před fázovou analýzou bylo provedeno ve vakuu. Druhý experiment byl proveden se vzorkem a volně ponechán odpařování na vzduchu. Cílem analýzy bylo srovnání obsahu fází a hodnocení jejich reaktivity na základě změny fázového složení.

vzorek/minerál	KK 106 b – sušeno na vzduchu	KK 106 b – sušeno ve vakuu
portlandit	22,8	30,8
kalcit	0,4	0,3
larnit	6,3	6,5
periklas	0,5	0,6
amorfní fáze	70,0	61,8

Tab. 18: Výsledky kvantitativní fázové analýzy vzorku nanosuspenze KK106b sušených v různých podmínkách expozice (sušení na vzduchu a ve vakuu). Výsledky jsou uvedeny v hmotnostních procentech, zaokrouhleno na jedno desetinné místo

Výsledky jasně poukazují na vysokou citlivost suspenzí vůči působení vlhkosti, což je patrné zejména na obsahu amorfní fáze, která představuje slabě krystalické-amorfní látky s největší pravděpodobností hydratační produkty, které vznikají reakcí belitu s vlhkostí (CSH gel). Vzorek sušený bez přístupu vzduchu byl již před analýzou silně zreagovaný (obsah amorfní fáze tvoří ca 62%) a obsah larnitu či-li belitu je velmi

nízký oproti suchému NHL, který byl pro přípravu suspenzí použit (viz tabulka 17). Citlivost produktu na vlhkost je patrná z výsledků dosažených na vzorku sušeném v normálních podmínkách na vzduchu. Oproti vzorku z vakua došlo k další reakci a zvýšení obsahu amorfni fáze. Zajímavé je, že již neklesá obsah larnitu, ale snižuje se obsah portlanditu Ca(OH)_2 , který je celkově velmi vysoký (31, resp. 23 %), ale nižší než v původní suchém pojivu (viz tabulka. 17). Je otázka, zda jeho vysoký obsah může ovlivňovat nízkou konsolidační schopnost NHL nanosuspenzí (přeměna portlanditu na kalcit), která se projevila na nízkém konsolidačním efektu, který se projevil na hodnotách pevnosti, rychlosti UZ transmise.

4.3.1.6. Měření stability testovaných suspenzí UPa⁴⁷

doba	Achátové kuličky				Zirkonové kuličky			
	d10 [μm]	d50 [μm]	d90 [μm]	SPAN	d10 [μm]	d50 [μm]	d90 [μm]	SPAN
0 h	0,81	2,10	5,72	2,34	0,60	1,34	3,05	1,83
24 h	0,79	1,98	5,23	2,25	0,60	1,37	3,22	1,91
72 h	0,78	1,95	4,99	2,15	0,60	1,36	3,13	1,86
7 dní	0,79	1,98	5,24	2,25	0,60	1,35	3,09	1,84
14 dní	0,79	1,99	5,61	2,27	0,60	1,35	3,09	1,85
28 dní	0,79	1,98	5,25	2,26	0,60	1,34	3,07	1,84

Tab. 19: Velikost částic UPa nanosuspenzí v závislosti na čase expozice. Měření velikosti částic

nanosuspenzí bylo provedeno v intervalech 1, 3, 7, 14 a 28 dní. Výsledky poukazují na vysokou stabilitu suspenzí z hlediska velikosti částic. Hodnoty d10, d50 a d90 udávají velikost částic, pod níž se nachází 10, 50, resp.. 90% částic. SPAN označuje rozteč hodnot, tj. šířku distribuce velikosti částic

V tabulce 19 je uvedena velikost částic UPa suspenzí jako hodnoty d10, d50, d90 a SPAN pro obě studované UPa suspenze. Na základě výsledků naměřených hodnot d10-d90, je možné konstatovat, že velikost částic nanosuspenzí se ve standardních podmínkách (uzavřené bez přístupu vzduchu) nemění s jejich uložením po dobu minimálně 28 dní, a to i přes to, že při jejich sedimentaci nastává velmi rychle (v rámci hodin). Stabilitu lze dokladovat na základě velikosti částic, která zůstává prakticky konstantní. Tato skutečnost je podpořena i hodnotami SPAN, které se prakticky nemění.

4.3.2 Hodnocení konsolidačního efektu

4.3.2.1 Hloubka penetrace

Hloubka penetrace byla studována na připravených vzorcích a taktéž odzkoušena na vzorku vápenci z lokality St. Marghareten. Prostupnost jednotlivých suspenzí porézním systémem byla dobrá, srovnatelná s aplikačními vlastnostmi čistě vápenných nanosuspenzí např. Calosilu, ovšem ve srovnání s organokřemičitými konsolidanty nižší.

⁴⁷ LUXOVÁ, kol., Interní zpráva z měření, nepublikováno, univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická, Katedra anorganické technologie

I přes uvedená srovnání je zřejmé, že tyto typy konsolidantů jsou vhodné pro materiály s vysokou otevřenou porozitou. Jakékoliv bariéry na povrchu (např. nátěry), či kompaktnější substrát s menšími póry, zabraňují průniku konsolidantu a dochází zde k odfiltrování částic konsolidantu na zpevněném povrchu.

Suspenze řady KK 106 byly poskytnuty výrobcem patrně již částečně degradované, s nastartovanou hydraulickou reakcí, která se ještě prohlubovala pokud docházelo ke kontaktu suspenze se vzdušnou vlhkostí při běžné manipulaci. Postupující reaktivita se projevila částečným gelovatěním těchto suspenzí a zhoršenou schopností penetrace.

Druhý efekt, který ovlivňoval hloubku penetrace, byla koncentrace suspenzí, což bylo možné pozorovat také na suspenzích řady KK106. Tyto suspenze byly dodány ve dvou odlišných koncentracích 100g/l (KK106 a), 50g/l (KK106 b a c). V těchto koncentracích byla schopnost penetrace, zvláště u KK 106 a, i díky zvýšení hustotě produktů již vytvořeným gelem, značně zhoršená. Tyto suspenze byly proto pro vlastní testování zředěny na koncentraci 25 g/l. Druhým důvodem snížení koncentrace byla možnost srovnat dosažené výsledky s výsledky předchozích studií s čistě vápennými nanosuspenzemi, jež byly užívány ve stejných koncentracích.⁴⁸ Po naředění byla schopnost penetrace výrazně lepší a vzorky bylo možné postupně napustit.

Dalším typem testovaných konsolidantů byly suspenze řady UPa. Přestože velikost částic těchto suspenzí byla řádově vyšší než u sady KK 106, schopnost jejich penetrace na porézních vzorcích byla poměrně vysoká, srovnatelná s řadou KK106. Pokud je možné UPa suspenze porovnat mezi sebou, subjektivně se lépe jevila suspenze připravená achátovými tělísky (UPa A) a to i přesto, že velikost částic této sady byla ještě vyšší než u UPa Z.

Z výsledků jednotlivých testů vyplývá, že pro schopnost penetrace konsolidantu u tak porézní horniny jako jsou litavské vápence a pravděpodobně i porézní historické omítky bez dochovaných povrchových úprav, není nutné zmenšovat částice řádově na stovky nanometrů. I suspenze o velikostech v mikrometrech jsou schopny poměrně dobře

⁴⁸ TIŠLOVÁ, Renata, Srovnání konsolidantů na bázi nanočástic oxidu a hydroxydu vápenatého, fakulta restaurování, Univerzita Pardubice, nepublikovaný výzkum

pronikat tímto porézním systémem a to i bez ohledu na použité médium. Zásadnější roli zřejmě hraje koncentrace, stav a stáří suspenze, svoji roli též hraje tvar a charakter jednotlivých částic. Rovněž nebyl pozorován rozdíl mezi různými médii v nichž byly částice NHL distribuovány.

4.3.2.2 Objemová hmotnost

Hodnoty objemové hmotnosti u vzorků před a po konsolidaci udává tabulka 21. Průměrná objemová hmotnost neošetřených vzorků byla $1,38 \text{ g/cm}^3$. U vzorků ošetřených nanosuspencemi KK 106 a – c (ZFB, Leipzig, DE) došlo po jednom měsíci zrání v kontrolovaném prostředí k navýšení hmotnosti v průměru na $1,48 \text{ g/cm}^3$, u suspenzí UPa při stejném množství aplikovaného konsolidantu a stejných podmínkách zrání byl zjištěn velmi podobný nárůst objemové hmotnosti na $1,47 \text{ g/cm}^3$. Rozdíly mezi vzorky KK 106 zrajícími v různém prostředí jsou minimální, u vzorků uložených v 90% vlhkosti byla objemová hmotnost vzorků $1,5 \text{ g/cm}^3$, u vzorků ze 70% vlhkosti byla změna objemové hmotnosti minimálně odlišná ($1,47 \text{ g/cm}^3$). Poměrně nízké jsou i rozdíly hodnot u vzorků UPa s rozdílným množstvím aplikovaného konsolidantu. Vzorky s jednou aplikací dosáhly hodnot $1,42 \text{ g/cm}^3$, se dvěma cykly $1,47 \text{ g/cm}^3$. Nejvyšší objemová hmotnost byla zjištěna u vzorků UPa, které byly vlhčeny. Tyto po 28 dnech dosáhly objemové hmotnosti $1,61 \text{ g/cm}^3$. V tomto případě se však nejedná o důsledek konsolidace, ale souvisí s vlastnostmi nekonsolidovaných vzorků, které byly připravené více kompaktní s vyšší objemovou hmotností $1,60 \text{ g/cm}^3$ UPa Z resp. $1,58 \text{ g/cm}^3$ (UPa A).

Hodnoty objemové hmotnosti na vzorcích ošetřených NHL suspenzemi, při srovnání s hodnotami čistě vápenných suspenzí.⁴⁹ Naměřené hodnoty jsou blízké zejména hodnotám vzorků ošetřených nanosuspencí $\text{Ca}(\text{OH})_2$ vyrobenou firmou ZBF (též připravená mechanickou cestou), pro které byla při stejném množství vpraveného konsolidantu naměřena objemová hmotnost $1,51 \text{ g/cm}^3$. Vzorky ošetřené jinou vápennou nanosuspencí Calosil E25 (IBZ Freiberg) ovšem vykazují průměrné hodnoty objemové hmotnosti okolo $1,7 \text{ g/cm}^3$, což jsou zásadně vyšší hodnoty, poukazující na vyšší míru stmelení oproti studovaným NHL nanosuspencím. Pro pozorovaný fenomén, který byl

⁴⁹ TIŠLOVÁ, Renata, Srovnání konsolidantů na bázi nanočástic oxidu a hydroxydu vápenatého, fakulta restaurování, Univerzita Pardubice, nepublikovaný výzkum

potvrzen i v ostatních měřeních, nelze najít jednoznačné vysvětlení. Určitou možností je, že suspenze neplní pojivovou schopnost, ale výplňovou (viz kapitola 4.3.1.5. Hodnocení stability – měření fázového složení pomocí Rentgenové difrakční analýzy), nebo nevhodné podmínky zrání

4.3.2.3 Změna hmotnosti vzorků – výtěžek reakce

Hodnoty nárůstu hmotnosti po konsolidaci (tzv. skutečný výtěžek) jsou uvedeny v tabulce 20. Průměrný nárůst hmotnosti vzorků KK106 a-c byl 0,68 %, u vzorků UPa se stejným množstvím aplikovaného konsolidantu 1,03 hm. %. U vzorků KK 106 a-c uchovávaných při 90% vlhkosti došlo ke zvýšení hmotnosti průměrně o 0,73 %, u těchto vzorků uchovávaných při 70% vlhkosti došlo ke zvýšení hmotnosti o 0,64 %. Rozdíly mezi jednotlivými sadami KK 106, lze považovat za zanedbatelné a mohou souviset například s chybou měření či otěrem křehkých vzorků. Rozdílné hodnoty jsou patrné u sad konsolidovaných suspenzemi UPa, kdy při dvou aplikacích suspenze o koncentraci 25 g/l došlo ke zvýšení hmotnosti průměrně o 1,03 % a při aplikaci polovičního množství konsolidantu došlo ke zvýšení hmotnosti přibližně úměrně množství dodaného konsolidantu (0,41 hm. %). Vzorky UPa Z a A, které byly průběžně vlhčeny vykazovaly nárůst hmotnosti dvakrát nižší o 0,56 hm. %, oproti vzorkům standardně uložených v 70 % RH.

K vyhodnocení hodnot byl zároveň vypočítán tzv. teoretický výtěžek, který vyjadřuje přírůstek hmotnosti, který by měl být dosažen, pokud by kompletně proběhla hydraulická reakce belitu na C-S-H gel a CaCO_3 . Z výpočtu vyplývá, že celkový teoretický výtěžek činí 1,14 hm.%, což naznačuje, že u všech vzorků neproběhla hydraulická reakce úplně, ale jen částečně a to patrně z důvodů, které již byly naznačeny. Hlavním problémem byla vysoká reaktivita produktů a to zejména u sady suspenzí KK106, jejichž kvalita se viditelně měnila v průběhu manipulace. Je patrné, že tyto suspenze průběžně (při výrobě, transportu či manipulaci) reagovaly, jak potvrzují i výsledky rentgenové difrakční analýzy (viz kapitola 4.3.1.5. Hodnocení stability –

měření fázového složení pomocí práškové rtg difrakční analýzy (PXRD).

vzorek	konsolidace	Podmínky zrání	Teoretický nárůst hmotnosti po konsolidaci (hm %)	Reálný nárůst hmotnosti po zrání (hm %)
KK106a	2x25 g/l	70%	1,14	0,625
KK106a	2x25 g/l	90%	1,14	0,683
KK106b	2x25 g/l	70%	1,14	0,536
KK106b	2x25 g/l	90%	1,14	0,628
KK106c	2x25 g/l	70%	1,14	0,736
KK106c	2x25 g/l	90%	1,14	0,863
UPa Z	1x25 g/l	65-70%	0,55	0,345
UPa Z	2x25 g/l	65-70%	1,14	0,997
UPa A	1x25 g/l	65-70%	0,55	0,469
UPa A	2x25 g/l	65-70%	1,14	1,056
UPa A	2x25 g/l	voda	1,14	0,546
UPa Z	2x25 g/l	voda	1,14	0,567

Tab. 20: Obsah konsolidantu ve vzorku (teoretický a reálný výtěžek)

Nejblíže teoretickému výtěžku jsou suspenze UPa, což lze vysvětlit tím, že produkty byly použity a testovány ve velmi krátké době po jejich přípravě. Druhým vysvětlením je patrně vyšší stabilita suspenzí (viz. kapitola 4.3.1.5 Měření stability testovaných suspenzí UPa), které mají větší velikost částic, jež mají patrně větší neochotu k hydraulické reakci. Zajímavé je, že u vzorků UPa A, méně u UPa Z z výpočtu vyplývá, že reakce skutečně proběhla a to prakticky z více než 90 %, ale pouze u vzorků, jež byly uchovány v 65-70 %. Naopak vlhčení vodou je pro vzorky UPa nepříznivé, retardující vytvrzovací reakci.

4.3.2.4 Ultrazvuková transmise

Hodnoty rychlosti UZ transmise souvisí s mírou stmelení vzorků; nekonsolidované vzorky se mají vyznačovat nižší mírou stmelení a po konsolidaci by se rychlost transmise měla zvyšovat, úměrně konsolidačnímu efektu daného konsolidantu a jeho množství. Hodnoty rychlosti u vzorků před a po konsolidaci udává tabulka 21. Průměrná rychlost ultrazvukové transmise neošetřených vzorků byla 1,7 km/s. Po konsolidaci vzorků se hodnoty rychlosti UZ transmise zvýšily, u vzorků řady KK106 velmi podobně u všech tří typů suspenzí na hodnoty okolo 2,0 km/s, resp. 1,9 km/s pro vzorky ošetřené suspenzemi UPa.

Změna rychlosti byla přepočítána na procenta, jež vyjadřují změnu rychlosti oproti nekonsolidovanému stavu. Pro vzorky řady KK106 činil nárůst rychlosti okolo 21 % pro suspenzí KK106 a a b. Z této skupiny nejnižší nárůst byl zaznamenán u vzorků napouštěných suspenzí KK106c, jež byl mírně nižší, 18,2 %. Vliv na rychlost průchodu ultrazvukové vlny prakticky nemá ani prostředí ve kterém byly vzorky uchovávány. Vzorky z prostředí s 90% vlhkostí vykazovaly nárůst o 19,5 %, zatímco u vzorků z prostředí se 70 % vlhkostí došlo k navýšení rychlosti na 21,2 %. Vzorky ošetřené suspenzemi UPa, ačkoli dosahovaly podobných hodnot rychlosti UZ transmise, vykazovaly za všech podmínek uchování nižší procentuální nárůst hodnot rychlosti transmise, tj. nižší míru zpevnění.

Zvýšení rychlosti u vzorků ošetřených UPa Z bylo 6,7 % oproti standardu, u UPa A byla vypočítána změna o 11,1 %. U UPa Z které byly vlhčeny vodou, aby se podpořila jejich hydraulická reakce, dokonce došlo k poklesu hodnot rychlosti o 3,9 %, u UPa A došlo k nárůstu rychlosti, ale pouze o 4,8 %.

U sady vzorků UPa byl dále sledován rozdíl mezi vzorky napouštěnými jednou a dvakrát konsolidantem o koncentraci 25 g/l. Vzorky ošetřené UPa Z vykazovaly při jedné aplikaci nárůst o 5,9 %, při dvou došlo k dalšímu nevýraznému nárůstu o 7,5 %. U vzorků ošetřených UPa A došlo po jedné aplikaci ke zvýšení o 10,7 %, po opakované aplikaci se rychlost změnila pouze nepatrně na 11,5 %. Je zřejmé že nějaký vliv na výsledné vlastnosti zpevněných vzorků mělo prostředí ve kterém vzorky zrály. Vysloveně negativní jsou překvapivě podmínky, kdy jsou vzorky smáčeny vodou. Průběh reakce

dále ovlivňuje i typ suspenze (suspenze KK 106 mají větší zpevňující efekt oproti UPa suspenzím). Ovšem rozdíly mezi jednotlivými výsledky jsou minimální a bude nutné je dále potvrdit.

Podle předpokladu podobnosti chování těchto suspenzí s maltovinami pojenými NHL, kde dochází k postupnému nárůstu pevnosti po dobu několika měsíců, byla provedena měření rychlosti UZ transmise u vybraných vzorků i po dvou měsících po aplikaci. Původní předpoklad postupného zpevňování se ovšem nepotvrdil, naopak došlo k poměrně zásadnímu snížení naměřených hodnot. U vzorků původně uložených při 90 % vlhkosti se snížila hodnota na 9,3 % oproti původnímu nárůstu o 19,5 % , u vzorků uložených při 60% vlhkosti na 13,1 % oproti 21,2 %. Důvod poklesu hodnot s dobou uložení zatím nebyl uspokojivě vysvětlen.

Hodnoty průchodu ultrazvukové vlny na vzorcích ošetřených NHL suspenzemi, při srovnání s hodnotami čistě vápenných suspenzí, jsou obdobné.⁵⁰ Průměrná rychlost ultrazvuku ve vzorku ošetřeném nanosuspenzí $\text{Ca}(\text{OH})_2$ vyrobenou firmou ZBF byla 1,94 km/s. Vzorky ošetřené Calosilem, který byl ze studie vyhodnocen jako konsolidant s největším konsolidačním efektem, vykazují průměrně vyšší hodnoty okolo 2,2 km/s. Tyto výsledky podporují výše uvedené předpoklady, které byly zmíněny v předchozí kapitole o nižším zpevnění NHL nanosuspenzemi. Výsledky poukazují na možnost, že při reakci NHL nanosuspenzí došlo pouze ke karbonataci volného $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a hydraulická reakce zde neprobíhala, či nebyla ukončena nebo proběhla jen částečně, neboť část reaktivních složek již byla zreagovaná. Druhou možností je, že produkty reakce nemají pojivovou schopnost a spíše než pojení zrn struktury se podílí na vyplnění porézního prostoru.

50 TIŠLOVÁ, Renata, Srovnání konsolidantů na bázi nanočástic oxidu a hydroxidu vápenatého, Fakulta restaurování, Univerzita Pardubice, nepublikovaný výzkum.

vzorek	konsolidace	Podmínky zrání	Obj. hmotnost (g/cm ³)	Rychlost UZ transmise (km/s)	Dynamický modul pružnosti (GPa)	Pevnost v tlaku (MPa)
neošetřený (standard)	-		1,4	1,7	2,6	0,1
KK106a	2x25 g/l	70%	1,5	2,0	4,4	0,5
KK106a	2x25 g/l	90%	1,5	1,9	4,4	0,5
KK106b	2x25 g/l	70%	1,5	2,0	4,3	0,6
KK106b	2x25 g/l	90%	1,5	2,0	4,4	-
KK106c	2x25 g/l	70%	1,4	2,1	4,5	0,7
KK106c	2x25 g/l	90%	1,5	2,0	4,5	0,6
UPa Z	1x25 g/l	65-70%	1,4	1,8	3,7	-
UPa Z	2x25 g/l	65-70%	1,5	1,9	3,9	-
UPa A	1x25 g/l	65-70%	1,4	1,8	3,3	-
UPa A	2x25 g/l	65-70%	1,5	1,9	3,9	-
UPa A	2x25 g/l	voda	1,6	1,9	4,9	-
UPa Z	2x25 g/l	voda	1,6	2,0	4,7	-

Tab. 21. Charakteristické vlastnosti vzorků před a po zpevnění: objemová hmotnost, rychlost UZ transmise, dynamický modul pružnosti, pevnost v tlaku

4.3.2.5 Dynamický modul pružnosti

Hodnoty dynamického modulu pružnosti (E_d) u vzorků před a po konsolidaci udává tabulka 21. Průměrná hodnota u neošetřených vzorků byla 2,6 GPa, vzorky ošetřené KK 106 a-c dosahovaly přibližně stejných hodnot okolo 4,3 GPa a to pro vzorky, které zrály při 70 i 90 %. Vzorky UPa A a UPa Z dosáhly při stejném počtu aplikací nižší hodnoty modulu pružnosti 3,9 GPa pro vzorky uchovávané v 70 % a podstatně vyšší ca 4,8 GPa pro vzorky ošetřované vodou. Vyšší hodnoty modulu pružnosti po konsolidaci znamenají, že pro stejnou deformaci je zapotřebí většího napětí, čili, že materiál s vyšším modulem bude vykazovat menší deformace (materiál je méně elastický). Z tohoto vyplývá, že vzorky neošetřené, s nižším modulem pružnosti se při stejném napětí více

deformují (více elastický) a s rostoucím modulem se deformace snižují (elasticita klesá). Pokles elasticity (nárůst dynamického modulu pružnosti) souvisí s objemovou hmotností materiálů. Po konsolidaci doprovázené zvýšením objemové hmotnosti se projeví změnou modulu pružnosti. Z tohoto hlediska lze vysvětlit i překvapivé hodnoty u vzorků UPa vlhčených vodou, které měly nejvyšší modul pružnosti a objemovou hmotnost a vyznačovaly se nízkou pevností a poruchami ve hmotě (vizuální pozorování podporuje výsledky - ve vzorcích vznikají při tvrdnutí viditelné praskliny).

Hodnoty dynamického modulu na vzorcích ošetřených NHL suspenzemi, odpovídají, stejně jako u předchozích charakteristik, spíše hodnotám zjištěným u stejných vzorků zpevnovaných čistě vápennými suspenzemi.⁵¹ Hodnoty naměřené na NHL nanosuspenzích jsou blízké hodnotám zejména některých typů vápenných nanosuspenzí, taktéž připravených mechanickým mletím $\text{Ca}(\text{OH})_2$, které byly připravené firmou ZFB, která připravovala sadu konsolidantů z NHL vápna KK106 a-c. Pro srovnání, u vápenných nanosuspenzí (připraveny mechanicky mletím a tříděním, lze předpokládat podobnou technologii jako při přípravě NHL nanosuspenzí) byl naměřen podobný a spíše vyšší dynamický modul pružnosti okolo 4,2 GPa v porovnání se vzorky ošetřené NHL nanosuspenzemi. Vzorky ošetřené další čistě vápennou nanosuspenzí Calosil E25 (připravované chemickou cestou, krystalický charakter částic) ovšem vykazují průměrné hodnoty ještě vyšší cca 6,2 GPa, což poukazuje na vyšší míru konsolidace a nižší elasticitu vzorků.

4.3.2.6 Pevnost v tlaku

Hodnoty pevnosti v tlaku u vzorků před a po konsolidaci udává tabulka 21. Pokud hodnoty chybí (u všech vzorků UPa) nebyly u vzorků naměřeny. Důvodem bylo, ve většině případů, nedostatek nanosuspenzí⁵² a jejich stav,⁵³ které znemožňovaly napuštění většího počtu vzorků pro jednotlivé testy.

Průměrná hodnota pevnosti v tlaku u neošetřených vzorků byla minimální 0,1 MPa. Po konsolidaci došlo k prakticky totožnému nárůstu pevnosti na hodnoty okolo 0,6

51 TIŠLOVÁ, Renata, Srovnání konsolidantů na bázi nanočástic, viz pozn. 47

52 Vzorky nanosuspenzí UPa byly připraveny v malém množství cca 100 ml

53 suspenze KK106 b při manipulaci viditelně gelovatěla a napuštění vzorků nebylo z důvodu gelace provedeno

Mpa u všech konsolidovaných sad vzorků. Na výsledných hodnotách pevnosti se výrazně neprojevil vliv podmínek zrání (minimální rozdíly mezi vzorky ze 70 a 90 %).

Hodnoty pevnosti v tlaku na vzorcích ošetřených NHL suspenzemi jsou mírně vyšší, při srovnání s hodnotami čistě vápenných suspenzí $\text{Ca}(\text{OH})_2$ vyrobených firmou ZBF,⁵⁴ u kterých byla naměřena pevnost v tlaku 0,3 MPa.

4.3.2.7 Měření kapilární nasákavosti – stanovení koeficientu kapilární nasákavosti

vzorek	konsolidace	Podmínky zrání	Kapilární nasákavost ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hod}^{-1/2}$)
KK106a	2x25 g/l	70%	3,09
KK106a	2x25 g/l	90%	2,02
KK106b	2x25 g/l	70%	3,94
KK106b	2x25 g/l	90%	2,09
KK106c	2x25 g/l	70%	-
KK106c	2x25 g/l	90%	-
UPa Z	1x25 g/l	70%	-
UPa Z	2x25 g/l	65-70%	2,72
UPa A	1x25 g/l	65-70%	-
UPa A	2x25 g/l	65-70%	-
UPa A	2x25 g/l	voda	-
UPa Z	2x25 g/l	voda	-

Tab. 22. Charakteristické vlastnosti vzorků, kapilární nasákavost vzorků po konsolidaci NHL nanosuspenzemi. Vliv podmínek zrání.

Hodnoty kapilární nasákavosti u vzorků před a po konsolidaci udává tabulka 22. Průměrná hodnota u neošetřených vzorků nemohla být naměřena, neboť vzorky jsou vysoce citlivé na zavlhčení a při smočení se rozpadávají. Vzorky ošetřené KK 106 a – b (ZFB, Leipzig, DE) dosáhly hodnoty $2,8 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hod}^{-1/2}$. Měřené vzorky UPa Z dosáhly hodnot $2,7 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hod}^{-1/2}$. Vzorky ponechané v prostředí se 70% vlhkostí dosáhly vyšších

54 TIŠLOVÁ, Renata, Srovnání konsolidantů na bázi nanočástic, viz pozn. 47

hodnot – $3,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hod}^{-1/2}$, oproti vzorkům v prostředí s 90% vlhkostí – $2,1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hod}^{-1/2}$

Měření nasákavosti nebylo vyhodnoceno u všech konsolidovaných vzorků, protože i díky nízké míře zpevnění se některé vzorky po ponoření do vody rozpadaly. Tento jev byl častější u vzorků konsolidovaných suspenzemi UPa A a Z. Takto se ovšem takto se chovalo i několik jednotlivých vzorků KK 106, zatímco jiné vzorky téže sady si ponechaly poměrně konstantní pevnost i po namočení. V tomto jevu nebyl identifikován žádný vzorec a toto chování bude dále zkoumáno.

4.3.2.8 Barevné změny konsolidovaného materiálu

Případné změny barevnosti povrchu byly posuzovány vizuálně na laboratorních vzorcích i na zkušební ploše vápence St. Marghareten. Vzhledem k obdobné barevnosti konsolidovaných substrátů a konsolidantů nebyly pozorovány žádné změny barevnosti na po aplikaci NHL nanosuspenzí. Změny nastávaly pouze v případě nanesení nadměrného množství konsolidantů či na zkušebních vzorcích s částečně uzavřeným povrchem, kdy docházelo k odfiltrování NHL částic na povrchu vzorku. Usazená suspenze vytvářela na povrchu vzorků film světle okrové barvy.

4.3.3 Další pozorované jevy

Všechny použité NHL nanosuspenze vykazovaly extrémní citlivost na vlhkost. Konsolidanty ponechané nezakryté a vystavené i poměrně nízké vzdušné vlhkosti v laboratoři, začaly již po několika desítkách minut tvořit gel. Tento jev nastal okamžitě, pokud byla do konsolidantů přidána voda, což vedlo ke sražení a zgelování suspenze. Při pokusu, kdy byl vzorek ihned po aplikaci konsolidantu zavlhčen, došlo k okamžitému zpevnění, či zhutnění křehkého vzorku, které se však v čase a při dalším uložení vzorku v laboratorních podmínkách opět redukovalo.

NHL nanosuspenze zřejmě potřebují ke svému vytvrzení vodu, která nastartuje hydraulickou reakci jednotlivých komponent konsolidantu a vytvoří se hydraulický gel v pórech substrátu. Ovšem další fází by mělo být postupné vytvrzení tohoto gelu, podobně

jako například v NHL maltovinách, čehož se během prováděných testů nepodařilo docílit. U všech vzorků udržovaných v kontrolovaných podmínkách probíhala zřejmě pouze karbonatace volného $\text{Ca}(\text{OH})_2$, která byla přibližně po jednom měsíci ukončena. Hydraulická reakce, která by měla probíhat souběžně, byla ze zatím neznámých důvodů retardována a přestože suspenze rychle vytvářely hydraulický gel, jeho vytvrzení se nepodařilo dosáhnout. Další možné vysvětlení vyplynulo z jednoduchého testu, při kterém byly studovány směsi NHL pojiva a z tohoto pojiva připravených nanosuspenzí. Z těchto testů byla potvrzena dobrá pojivová schopnost NHL vápna, která ve formě husté kaše s vodou tvrdla, zatímco kaše připravená z NHL vápna a nadbytku vody se svými vlastnostmi blížila chování nanosuspenzí, tj. nízká pojivová schopnost a soudržnost, neschopnost dostatečně pojít zrna kameniva. Je tedy otázkou, nakolik má na průběh vytvrzovací reakce vliv samotné médium a jeho množství v suspenzi.

Dalším jevem, který byl pozorován, byla tvorba prasklin u vzorků, které byly po jednom měsíci v kontrolovaných podmínkách a tedy po ukončení karbonatace, zavlhčeny. Tento test byl prováděn s cílem vyvolat/podpořit hydraulickou reakci, jež by mohla lépe probíhat s kapalnou vodou nikoliv jen v prostředí s vyšší vzdušnou vlhkostí. Takto ošetřené vzorky na počátku viditelně zvýšily svoji pevnost, avšak s dalším vlhčením začaly ztrácet pevnost a na některých se objevili dokonce praskliny. Je možné, že tento jev byl způsoben dodatečným gelováním a rozpínáním hydraulických složek konsolidantu v pórech substrátu již částečně spojených uhličitanem vápenatým, vzniklým během karbonatace.

Dále byla pozorována postupná ztráta již nabyté pevnosti vzorků v čase,⁵⁵ na vzorcích, které byly po ukončení testů v kontrolovaném prostředí, uchovávány v laboratoři v prostředí se standardní teplotou a vlhkostí po dobu 2 měsíců. Po dalším měsíci od ukončení testování došlo k poklesu pevnosti těchto vzorků, pozorované snížením rychlosti ultrazvukové transmise. Tento jev může souviset s řadou negativních aspektů. Jednou z možností je, že nanočástice NHL nemají pojivovou schopnost a při jejich aplikaci dochází pouze k vyplnění pórů substrátu, nikoli k jejich chemickému či fyzickému propojení se substrátem.

55 Viz vyhodnocení ultrazvukové transmise str. 51

4.4 Shrnutí výsledků

Předmětem této části diplomové práce bylo studium nasuspenzí na bázi NHL5 (přirozeně hydraulického vápna) dispergovaných v alkoholech za účelem jejich testování pro konsolidaci degradovaných litavských vápenců. Jedná se o novou skupinu materiálů, jež mají všechny výhody nanosystémů, navíc vzhledem k jejich složení by mohly být účinnější při konsolidaci porézních materiálů, například v porovnání s čistě vápennými nanosuspenzemi nebo jinými typy křemičitých typů konsolidantů.

Nanosuspenze NHL testované v této práci byly všechny připraveny mechanickou cestou, pomocí mikromletí základní suroviny NHL5. Jako médium systémů byl použit ethanol a isopropanol. Používané nanosuspenze byly vyrobeny dvěma producenty - firmou ZBF (Zentrum für Bucherhaltung GmbH Leipzig) a FCHT UPa (Fakulta chemicko – technologická, Univerzita Pardubice). Všechny sady používaných konsolidantů se vyznačovaly sytě okrovou barvou, po vyschnutí světle okrovou. Nanosuspenze byly připraveny v koncentracích 50 a 100 g/l, pro aplikaci na laboratorní vzorky byly ředěny na 25 g/l pro snadnější aplikaci a možnost srovnání výsledků s výsledky studie provedené v uplynulých letech s vápennými nanosuspenzemi. Studie, jakkoliv byla určena pro studium možnosti konsolidace litavských vápenců (restaurované dílo, polychromovaná socha sv. Jana Evangelisty je zhotovena z litavského vápence, nicméně vzhledem k vysoké citlivosti dochovaných polychromných vrstev na alkalické prostředí a především z důvodu, že tyto nové, dosud nevyzkoušené prostředky není vhodné testovat bez dalšího výzkumu na konkrétní památce), byla v této fázi výzkumu provedena na laboratorních vzorcích a pouze okrajově na reálných vzorcích horniny (např. při studiu hloubky penetrace, hodnocení změny barevného odstínu). Laboratorní testování umožnilo objektivní zhodnocení dosažených efektů na homogenních substrátech, standardní provedení zkoušek a to dle metodiky, která byla v předchozích výzkumech s vápennými suspenzemi dobře popsána.⁵⁶ Jejich přesah do praxe je nutné kriticky zvážit, i když o chování NHL nanosuspenzí v porézním materiálu vypovídá studie, jak se domníváme,

⁵⁶ TIŠLOVÁ, Renata, Srovnání konsolidantů na bázi nanočástic, viz pozn. 47

Projekt STONECORE, Stone Conservation for the Refurbishment of Buildings, informace na: <http://www.upce.cz/fr/veda-vyzkum/zahranicni/stonecore.html>

Projekt NANOFORART, informace na: <http://www.upce.cz/fr/veda-vyzkum/zahranicni/nanoforart.pdf>

Projekt NANOLITH, informace na: <http://www.upce.cz/fr/veda-vyzkum/zahranicni/nanolith.pdf>

velmi dobře. Účinek nanosuspenzí byl studován při různých podmínkách, jež mohou ovlivňovat průběh vytvrzovací reakce (NHL jsou hydraulická pojiva, která pro tvrdnutí potřebují vlhkost i oxid uhličitý ze vzduchu). Proto byly konsolidované vzorky studovány po uložení v několika podmínkách: 60-70 % (představují standardní podmínky zrání, které jsou popisovány jako optimální podmínky zrání NHL malt), 90 % (podmínky, jež mohou podporovat hydraulickou reakci) a voda (vzorky zrály při podmínkách, které se užívají pro ošetřování NHL malt, jež je založeno na opakování cyklu vlhčení/sušení). V rámci studie bylo zjištěno množství zajímavých informací, ze kterých lze získat základní povědomí o chování této nové skupiny konsolidantů, i když uspokojivá a předpokládaná schopnost významně konsolidovat karbonátové materiály nebyla v této studii prokázána. Suspenze mají všechny předpoklady nanomateriálů – byly připraveny s malou velikostí částic řádu stovek nanometrů (řada KK106, ZFB, Leipzig DE), ale zároveň byly odzkoušeny typy s větší velikostí, které by neměly zejména hygienická rizika nanočástic (FCHT, UPa suspenze). Částice nanosuspenzí jsou ovlivněny výrobní technologií; jsou angulární, s rozdílnou distribucí částic dle typu prostředku, a pokud jsou uloženy v suchých podmínkách, vyznačují se dostatečnou stabilitou, která je ale ovlivněna velikostí částic systému. Z tohoto pohledu se jeví jako méně stabilní a reaktivnější částice s malou velikostí částic (suspenze řady KK106), které se vyznačovaly významnou reaktivitou, která se projevovala zvláště při styku s vlhkostí nebo kapalnou vodou. Z důvodu jejich citlivosti také patrně došlo ke změně jejich vlastností v průběhu uložení, transportu a manipulace, která se odrážela i na konsolidačním účinku na vzorky.

Velikost částic ovlivňovala schopnost penetrace NHL nanosuspenzí porézním substrátem, která byla u všech typů konsolidantů poměrně dobrá, nicméně při aplikaci na částečně uzavřený povrch (při testech na reálných vzorcích horniny) mohou zůstat na povrchu konsolidovaného materiálu odfiltrované části a vytvářet se okrový zákal.

Při porovnání výsledků provedených měření jsou konsolidační vlastnosti těchto suspenzí obdobné jako u vápenných nanosuspenzí na bázi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a zdá se, že jejich podobnost je především s typy, které jsou, stejně jako NHL suspenze připravovány mechanickou cestou. Nižší konsolidační schopnost byla prokázána na hodnotách pevnosti v tlaku, rychlosti UZ transmise, ale lze je posoudit i subjektivním hodnocením na

vzorcích připravených ze samotných suspenzí. Je však nutné podotknout, že konsolidační schopnost není zanedbatelná, projevuje se snížením nasákavosti vzorků i zvýšením modulu pružnosti, který nastává po vždy po konsolidaci zpevňujícím prostředkem. Pokud má však být posouzena konsolidační schopnost s ostatními typy zpevňovacích prostředků, vychází zpevnění NHL suspenzemi prozatím jako velmi malé s řadou diskutabilních fenoménů. I když je potenciál materiálů velice slibný, neboť konsolidační schopnost by měla být založena na hydraulické reakci složek NHL vápna, které v obecné rovině zvyšují pevnost materiálů, z provedených měření a testů je zřejmé, že se v průběhu zkoušek podařilo hydraulickou reakci nastartovat jen omezeně nebo byla něčím retardována. Doklady o tom, že hydraulická reakce probíhá jen částečně lze pozorovat na několika výsledcích, zejména pak z výsledků práškové rentgenové difrakční analýzy nebo z výpočtu stupně konverze, ale vyplývá např. i z porovnání s výsledky materiálových charakteristik se vzorky zpevněnými vápennými nanosuspenzemi. Pokud bychom v rámci studie měly provést srovnání mezi testovanými systémy, z výsledků testů vyplývá, že mírně vyšší míru konsolidace byla dosažena nanosuspenzemi KK106 ZBF, které měly podstatně menší velikost částic oproti suspenzím vyrobeným FCHT UPa. Vhodnými podmínkami jsou obecně zvýšená relativní vlhkost, kterou je možné udržovat v relativně širokém rozpětí hodnot 65-90 %.

5. Závěr

V rámci této práce byly testovány suspenze nanočástic NHL, pro možnosti konsolidace litavských vápenců. Tyto suspenze měly být alternativou ke konsolidantům na bázi nanočástic hydroxydu vápenatého a řešit některé jejich nedostatky, jako je změna barevnosti a nižší schopnost konsolidace. Během testování NHL suspenzí nebyly pozorovány změny barevnosti konsolidovaných materiálů, ovšem míra zpevnění je obdobná mnohdy i nižší, než u čistě vápenných nanosuspenzí.

Dále byla pozorována řada negativních aspektů, které zatím zabraňují použití těchto experimentálních látek v restaurátorské praxi. Nanosuspenze NHL jsou vysoce citlivé vůči vlhkosti, dokonce i vzdušné. Při další výrobě těchto látek bude nutné respektovat tyto vlastnosti, vyrábět je v kontrolovaném prostředí a následně je distribuovat ve vzduchotěsných baleních. Během této práce byla popsána souvislost mezi dobou mikromletí NHL suroviny a její následnou stabilitou.

Další možností, která byla nalezena v průběhu této práce, je příprava těchto látek pomocí chemického srážení jednotlivých komponent, jmenovitě tedy $\text{Ca}(\text{OH})_2$, SiO_2^{57} a AlO_3 , kdy by mělo být možné standartizovat složení a poměr jednotlivých složek. Možnému zvýšení konsolidační účinnosti při chemické výrobě těchto nanosuspenzí napovídá i vyšší účinnost konsolidantů na bázi hydroxydu vápenatého připravovaných chemickou cestou, oproti konsolidantům vyrobeným pomocí mikromletí. Tento způsob přípravy se v teoretické rovině jeví jako perspektivní a pravděpodobně bude dále testován.

57 JO, Byung Wan, Ji Sun CHOI a Seok Won KANG. An Experimental Study on the Characteristics of Chemically Synthesized Nano-Cement for Carbon Dioxide Reduction. *Advanced Materials Research*. 2010, 148-149, s. 1717-1721. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.148-149.1717. Dostupné z: <http://www.scientific.net/AMR.148-149.1717>

TEXTOVÉ PŘÍLOHY K PRAKTICKÉ ČÁSTI:

Chemicko-technologický průzkum, Slavonice, vápencová socha sv. Jana Evangelisty

Archivní rešerše Poutní kostel Montserrat ve farnosti Cizkrajov

Zápisy z kontrolních dní

Seznam použité literatury v praktické části práce

Chemicko-technologický průzkum, Slavonice, vápencová socha sv. Jana Evangelisty

zpracovala Ing Petra Lesniaková Ph.D., Fakulta restaurování, Univerzita Pardubice

CHEMICKO-TECHNOLOGICKÝ PRŮZKUM SLAVONICE, VÁPENCOVÁ SOCHA SV. JANA EVANGELISTY

ZADAVATEL PRŮZKUMU

Ateliér restaurování kamene a souvisejících materiálů
Fakulta restaurování, Univerzita Pardubice, Jiráskova 3, Litomyšl

VEDOUcí PRÁCE / STUDENT

Mgr. art. Jakub Ďoubal, Ph.D. / BcA. Zdeněk Kovářík, 2. ročník magisterského studia

SPECIFIKACE OBJEKTU, LOKALIZACE OBJEKTU

Slavonice, výklenek domu čp. 60 orientovaný směrem k silnici, proti kapličky se sochou sv. Petra polychromovaná vápencová socha sv. Jana Evangelisty, organodetrický vápenec, 18. stol.

ZADÁNÍ PRŮZKUMU, ODBĚR VZORKŮ

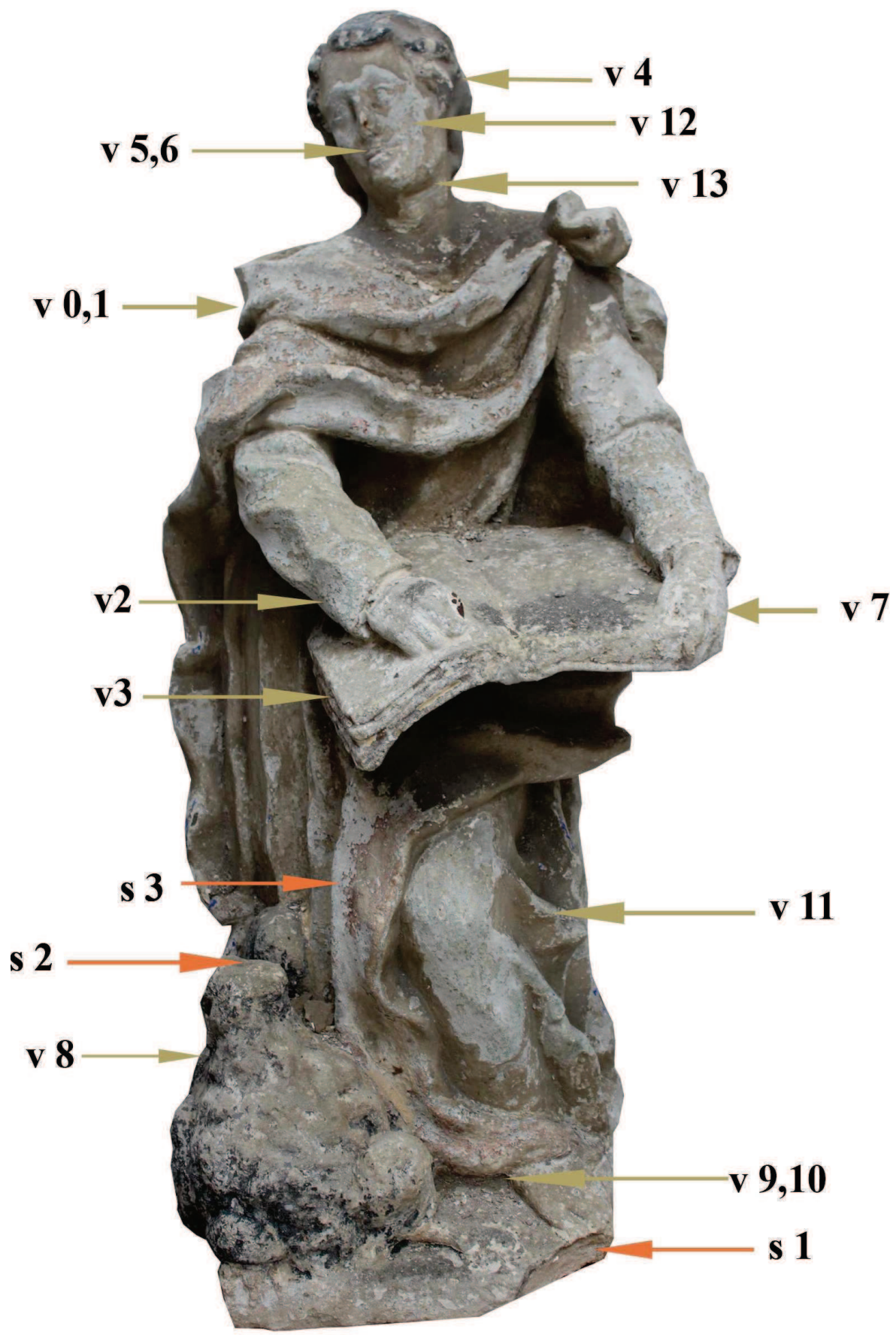
Počet a typ dodaných vzorků: 22, odběr provedl restaurátor
16 vzorků (označení V) k průzkumu stratigrafie povrchových úprav, složení vybraných vrstev
6 vzorků (označení S) ke stanovení obsahu vodorozpustných solí, odběr vrtáním

Tab. 1: Stratigrafie povrchových úprav, složení vybraných vrstev. Přehled vzorků, lokalizace.

Evidenční číslo	Číslo vzorku	Lokalizace, popis
8110	V0	lem pláště, pravé rameno, horní část povrchových úprav
8111	V1	lem pláště, pravé rameno, spodní část povrchových úprav s kamenem
8112	V2	pravá ruka rukáv
8113a	V3a	pravá strana ořízky knihy, horní část povrchových úprav
8113b	V3b	pravá strana ořízky knihy, spodní část povrchových úprav
8114	V4	levá strana vlasy
8115	V5	ret, tmel
8116	V6	ret, tmel, vrstva polychromie
8117	V7	inkarnát, levá ruka, spodní strana
8118	V8	orel, ocas
8119	V9	orel, pařát styk pařátu s podstavcem
8120	V10	orel, pařát
8121	V11	draperie šatu pod levým kolenem, spodní souvrství povrchových úprav
8122	V12	pravá strana tváře
8124	V13	krk
8123	V14	spad

Tab. 2: Obsah vodorozpustných solí. Přehled vzorků, lokalizace.

Číslo	Hloubka v cm	Lokalizace, popis
S1A	0-1	solí, sokl odlomená část
S1B	1-4	solí, sokl odlomená část
S1C	4-7	solí, sokl odlomená část
S1D	7-10	solí, sokl odlomená část
S2	0-2	solí, krk orla odlomená část, vrt kolmo dolů
S3	0-1	solí povrchový defekt, draperie pláště u pravého kolena



Obr. 1 Lokalizace míst odběrů vzorků, autor zákresu Z. Kovářík.

Stratigrafie povrchových úprav

Studium stratigrafie povrchových úprav bylo provedeno s využitím **mikroskopických technik** optické a elektronové mikroskopie. Vybrané úločky vzorků byly zdokumentovány stereoskopickým mikroskopem SZM800 (Nikon). Ke studiu připravených nábrusů (příčných řezů) byl využit optický mikroskop Eclipse LV100D-U (Nikon), pozorování bylo provedeno v dopadajícím viditelném, modrém světle a UV záření. Pro mikroskopické pozorování byly vzorky zality do pryskyřice Polylite 3203200 s tvrdidlem Norpol Peroxide 1, následně byly sbrušením připraveny příčné řezy (nábrusy). Jako imerzní kapalina byla při pozorování optickým mikroskopem použita demineralizovaná voda. Nábrusy byly fotograficky zdokumentovány digitálním fotoaparátem EOS 1100D (Canon). Nábrusy byly dále pozorovány pomocí elektronového mikroskopu Mira 3 LMU (Tescan). Snímky byly pořízeny v režimu zpětně odražených elektronů (BSE). Při měření byly použity nábrusy připravené pro optickou mikroskopii. Před měřením byly vzorky zvodivěny vrstvou uhlíku.

Materiálový průzkum povrchových úprav

Materiálový průzkum byl proveden na základě určení prvkového složení vybraných částí vzorků pomocí **rastrovací elektronové mikroskopie s energiově disperzní analýzou (SEM/EDX)**. K tomuto účelu byl využit elektronový mikroskop Mira 3 LMU (Tescan) s analytickým systémem Bruker Quantax 2000. Měření bylo provedeno na připravených nábrusech ve vysokém vakuu v režimu zpětně odražených elektronů (BSE). Před měřením byly nábrusy vzorků opatřeny vrstvou uhlíku. Výsledky prvkového složení analyzovaných míst jsou uvedeny v tabulkách na základě molárních procent tak, že prvky s dominantním zastoupením jsou podtrženy, následují prvky s menším zastoupením, přičemž v závorkách jsou uvedeny prvky s minoritním zastoupením.

Množství aniontů vodorozpustných solí

Množství aniontů vodorozpustných solí, chloridů, síranů a dusičnanů, bylo stanoveno pomocí **UV/VIS spektrofotometrie** z extraktů vzorků v demineralizované vodě. K tomuto účelu byl využit spektrofotometr Beckman Coulter DU© 720, měření bylo provedeno ve viditelném spektru světla v rozsahu vlnových délek 345 - 515 nm. Obsah vodorozpustných solí je uveden ve hmotnostních procentech (% hm.) a molárních koncentracích (mmol/kg).

Tab. 3: Hodnocení stupně zasolení dle rakouské normy Önorm 3355-1.

Stupně zasolení	Chloridy [hm. %]	Síraný [hm. %]	Dusičnany [hm. %]
Nejsou nutná žádná opatření	< 0,03	< 0,10	< 0,05
Je nutné zvážit dílčí opatření	0,03 – 0,10	0,10 – 0,25	0,05 – 0,15
Opatření jsou nezbytná	> 0,10	> 0,25	> 0,15

Orientační stanovení polymerních látek mikrochemickými testy¹

Identifikace polymerních látek byla provedena mikrochemickými reakcemi selektivními pro **lipidy** (oleje), **proteiny** a **polysacharidy**. Test na přítomnost proteinů byl proveden přes pyrroly a pyrrolové deriváty reakcí s p-dimethylaminobenzaldehydem, důkaz lipidů (olejů) byl proveden reakcí se čpavkem a peroxidem vodíku. Přítomnost polysacharidů byla zjišťována mikrochemickou reakcí s kyselinou šťavelovou a anilinacetátem.

Orientační test rozpustnosti starších povrchových úprav ve vybraných rozpouštědlech

Úločky vzorků byly ponořeny do vybraných rozpouštědel. Volba rozpouštědel byla řízena zejména jejich polaritou a toxicitou. Posuzována byla soudržnost a přídržnost vrstev při mechanickým namáháním jehlou nebo skalpelem po ponoření do studené a teplé demineralizované vody, ethanolu, acetonu, xylenu, toluenu a lékařského benzínu v časových intervalech 30, 60 a 120 min. K pozorování byl využit stereoskopický mikroskop SZM800 (Nikon).

¹ Hering. B, Schramm H. P. Historische Malmaterialien und ihre Identifizierung. Stuttgart 2000. ISBN 3-473-48067-3.

VÝSLEDKY STANOVENÍ OBSAHU VODOROZPUSTNÝCH SOLÍ

Tab. 4: Výsledky stanovení množství vodorozpuštěných solí (barevnost dle Önorm 3355-1).

Vzorek	Síraný (SO ₄ ²⁻)		Dusičnaný (NO ₃ ⁻)		Chloridy (Cl ⁻)	
	[hm. %]	[mmol/kg]	[hm. %]	[mmol/kg]	[hm. %]	[mmol/kg]
S1A	0,20	21	0,07	13	0,06	17
S1B	<0,01	<1,0	0,08	16	0,07	19
S1C	0,01	1	0,05	9	0,05	14
S1D	0,04	4	0,09	17	0,03	10
S2	0,14	15	0,05	9	0,08	24
S3	<0,01	<1,0	0,07	14	0,07	20

V odebraných vzorcích byly zjištěny nízké až středně vysoké koncentrace síranových, dusičnanových a chloridových aniontů.

VÝSLEDKY ORIENTAČNÍ IDENTIFIKACE VYBRANÝCH ORGANICKÝCH LÁTEK

Tab. 5: Výsledky důkazových reakcí pro oleje, proteiny a sacharidy.

Vzorek	Vrstvy	Lipidy (oleje)	Proteiny	Sacharidy
8112/V2	1-2	nestanovováno	+	nestanovováno
8112/V2	3-13	++	-	nestanovováno
8114/V4	1-3 nebo 4	-	++	(+)
8114/V4	5-23	++	+	nestanovováno
8123/V14 spad	nejstarší bílé vrstvy	?	++	nestanovováno
8123/V14 spad	červená vrstva 1. polychromie	+	+	nestanovováno
8123/V14 spad	červená, zelené, modrá vrstva	+	-	-
8123/V14 spad	zelená 1. polychromie	?	+	nestanovováno
8118/V8 orel ocas	1-3	+	+	nestanovováno

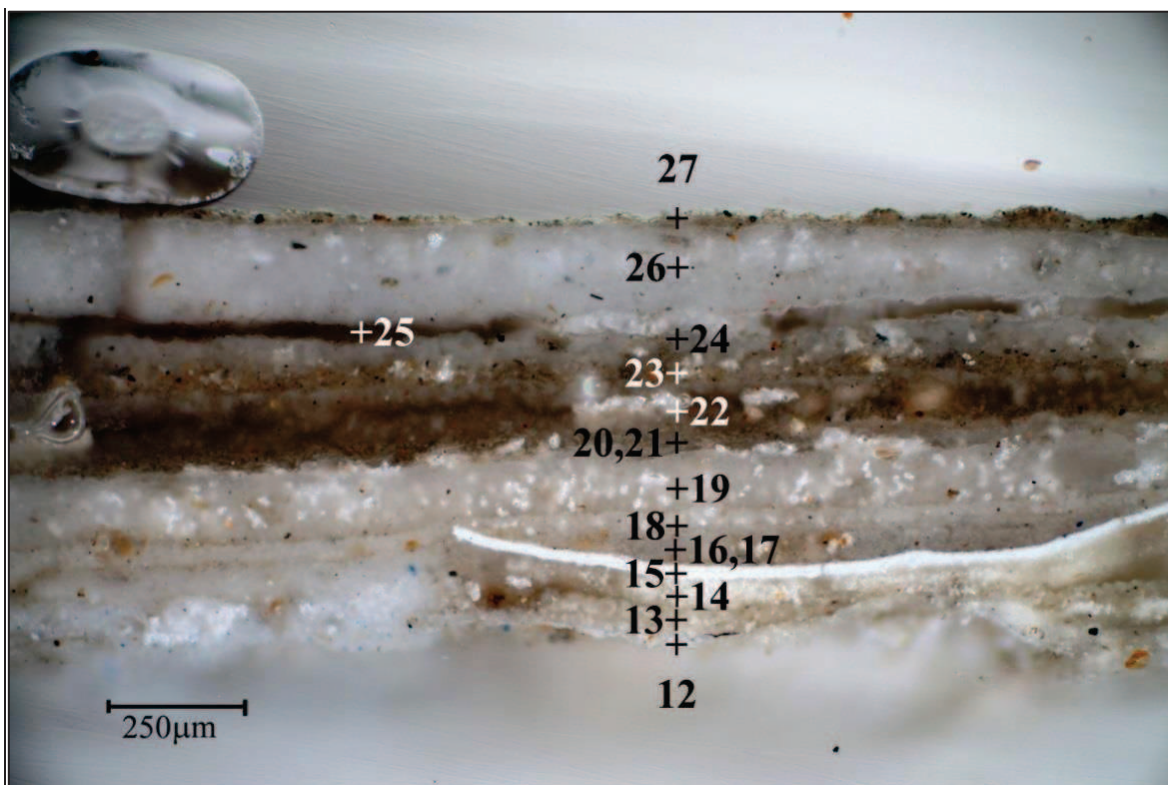
++ vysoké množství polymeru ve vzorku, + polymer je přítomen, - polymer není přítomen

Na základě výsledků mikrochemických testů selektivních pro lipidy, proteiny a polysacharidy lze předpokládat, že světlá nejstarší souvrství povrchových úprav obsahují proteiny, přítomnost lipidů (olejů) není jednoznačná, v některých případech byla prokázána, v jiných ne. Uvedené vrstvy pravděpodobně neobsahují polysacharidy nebo pouze jejich malé množství. Vrstvy náležící do předpokládané první fáze polychromie obsahují lipidy (oleje) i proteiny. Přítomnost polysacharidů se nepředpokládá. Vrstvy červené barevnosti byly snadno rozpustné ve čpavkové vodě.

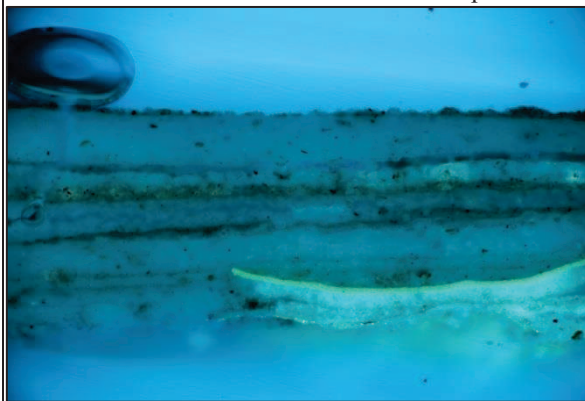
VÝSLEDKY TESTU STABILITY VYBRANÝCH VRSTEV V ROZPOUŠTĚDLECH

Testu byly podrobeny vzorky obsahující červené vrstvy z nejstarší zaznamenané polychromie a následující světle zelené, modrošedé a bílé/světlé vrstvy (viz Příloha) náležící do předpokládaných následujících monochromních fází úprav povrchu díla. Bylo zjištěno, že jsou všechny vrstvy znatelně citlivější k polárním rozpouštědlům než k nepolárním, nejvíce byly změkčovány, případně narušeny horkou vodou. Znatelně nejméně odolná byla červená vrstva předpokládané polychromie, kterou bylo možné mechanicky snadno narušit, zejména ve vodě a ethanolu. Nejodolnější byly světle zelené vrstvy. Bílé vrstvy byly méně odolné než zelené, nicméně značně odolnější než červená vrstva. Nepolární rozpouštědla, zejména lékařský benzin, neměla zásadní vliv na chování vzorků. Xylen i toluen měly větší botnací efekt než lékařský benzin. Nebyla sledována ztráta adheze mezi vrstvami s výjimkou červené vrstvy. Ostatní vrstvy, tedy vrstvy náležící do předpokládaných monochromních fází, se po kontaktu s rozpouštědly mechanickým namáháním nesnadno dezintegrovaly, vlivem namáhání vznikala lasturovitý lom.

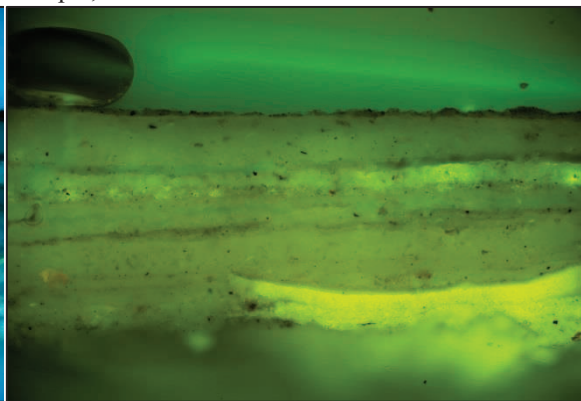
Vzorek 8110/V0 – lem pláště, pravé rameno, svrchní část souvrství povrchových úprav



Obr. 2 Optická mikroskopie, bílé světlo.



Obr. 3 Optická mikroskopie, UV záření.



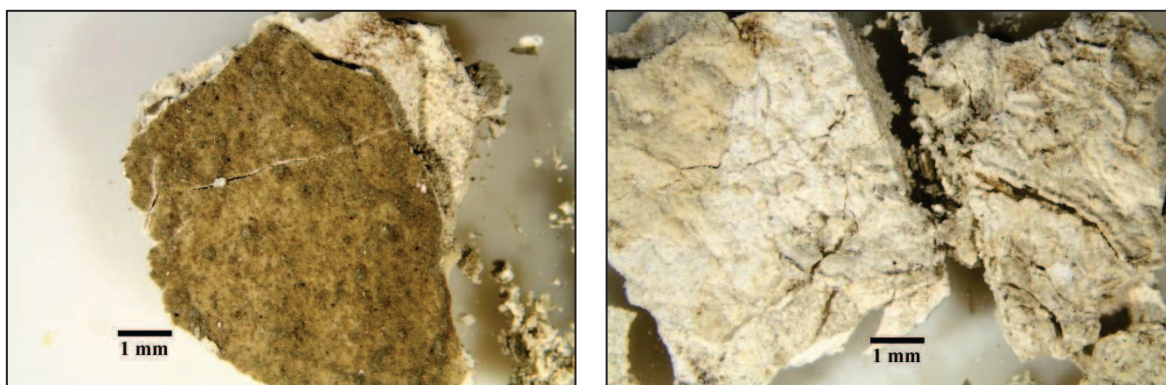
Obr. 4 Optická mikroskopie, modré světlo.



Obr. 5 Lokalizace místa odběru vzorku.

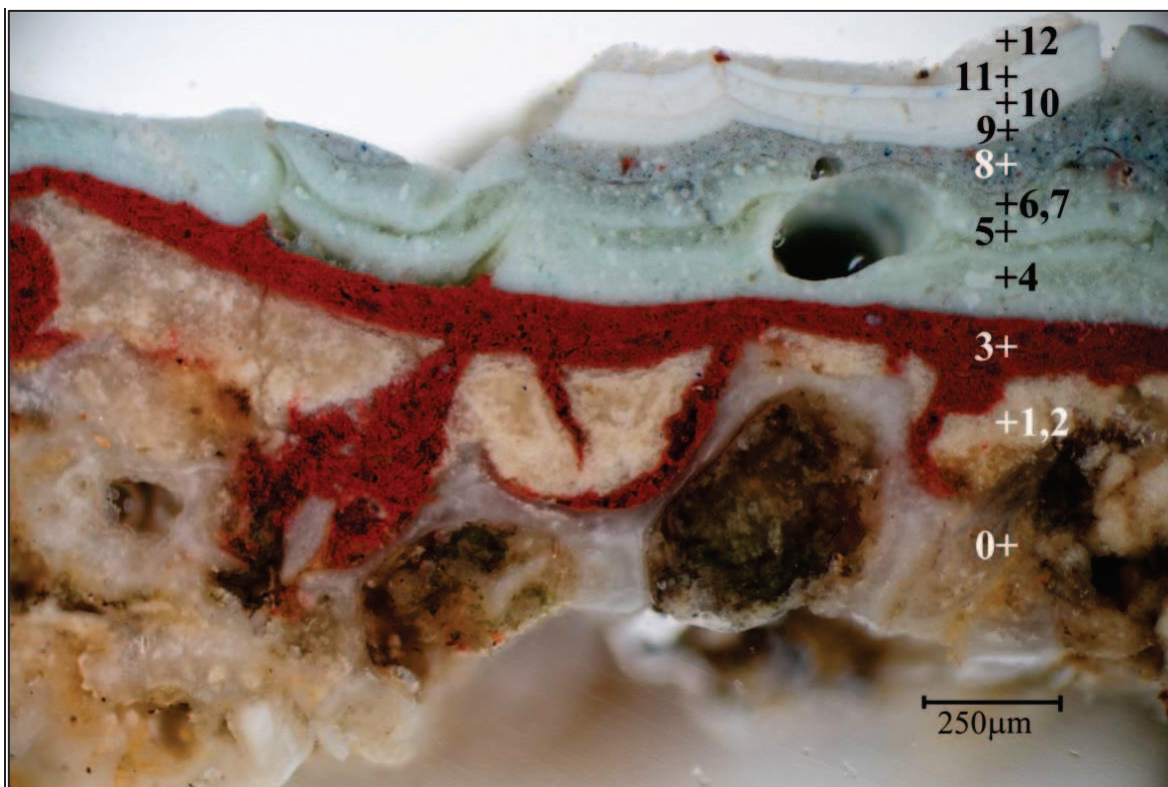
Tab. 6: Výsledky mikroskopického průzkumu, vzorek 8110/V0.

Číslo vrstvy	Popis vrstvy, optická mikroskopie
27.	tenká hnědo-okrová vrstva
26.	silná bílá vrstva
25.	tenká hnědá vrstva nebo nečistoty
24.	bílá vrstva
23.	hnědá vrstva
22.	silná bílá/našedlá vrstva, biologické napadení
21.	tenká hnědá vrstva
20.	bílá vrstva
19.	silná bílá/našedlá vrstva
18.	bílá/našedlá vrstva
17.	fragment bílé/našedlé vrstvy?
16.	bílá/našedlá vrstva, ojediněle modré částice
15.	tenká bílá vrstva, žluto-zelená UV luminiscence – zinková běloba
14.	bílá/našedlá vrstva
13.	bílá/našedlá vrstva
12.	světlá/bílá vrstva, zelená UV luminiscence – zinková běloba

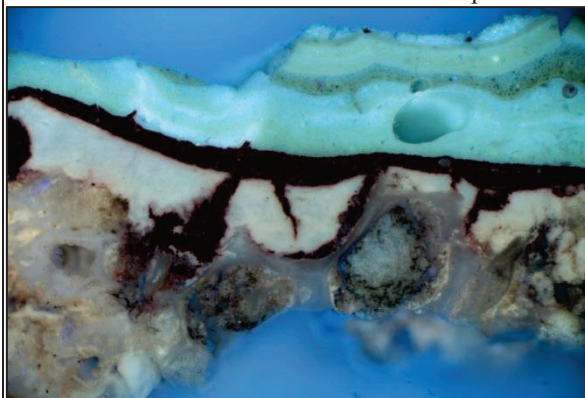


Obr. 6, 7 Stereomikroskopie - dokumentace vzorku z pohledové a spodní strany.

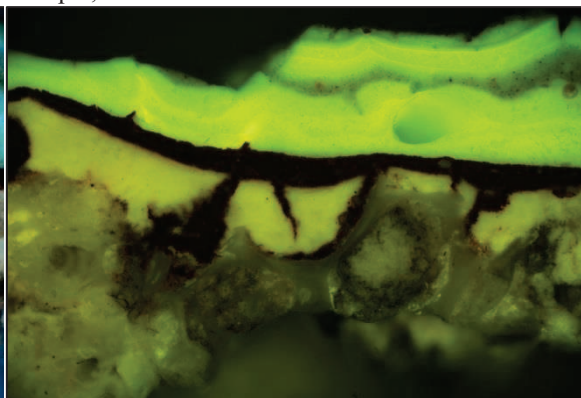
Vzorek 8111/V1 – lem pláště, pravé rameno, spodní část povrchových úprav



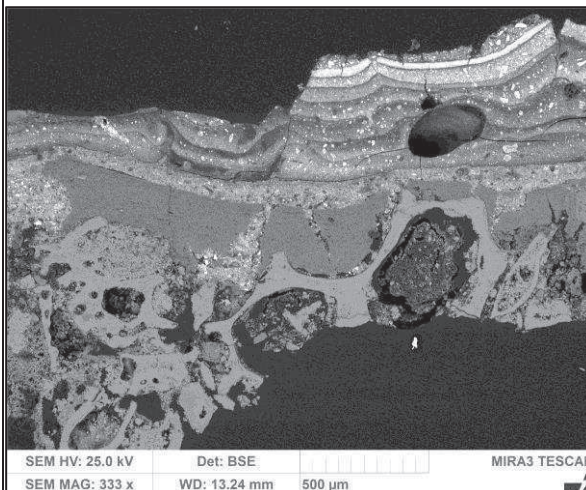
Obr. 8 Optická mikroskopie, bílé světlo.



Obr. 9 Optická mikroskopie, UV záření.



Obr. 10 Optická mikroskopie, modré světlo.



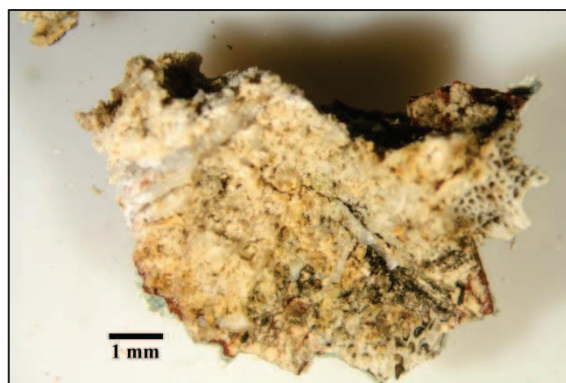
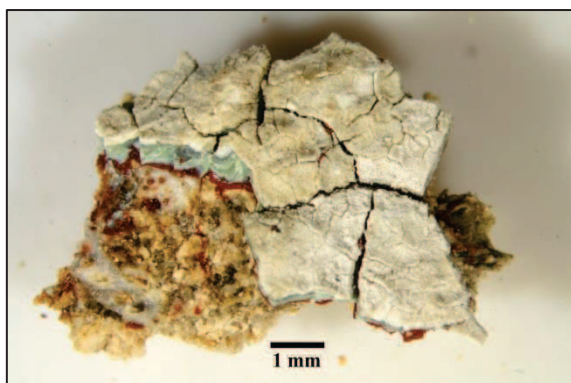
Obr. 11 Elektronová mikroskopie BSE.



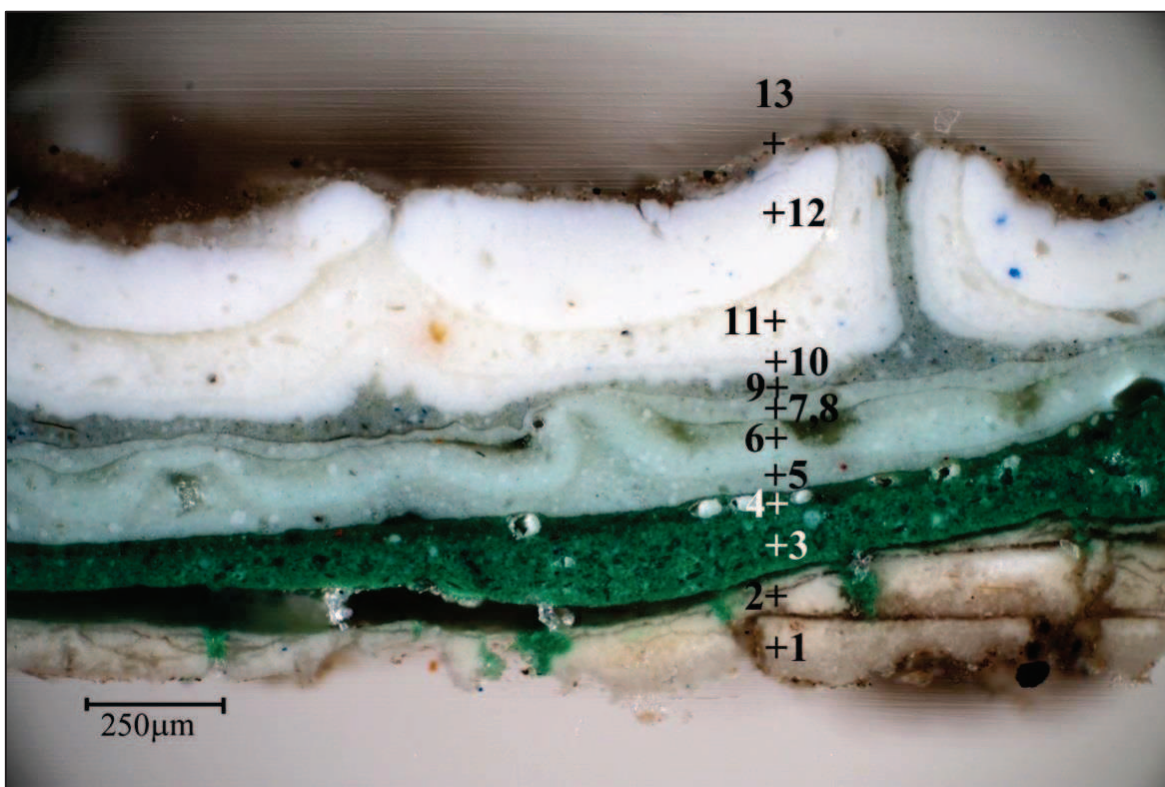
Obr. 12 Lokalizace místa odběru vzorku.

Tab. 7: Výsledky mikroskopického průzkumu, vzorek 8111/V1.

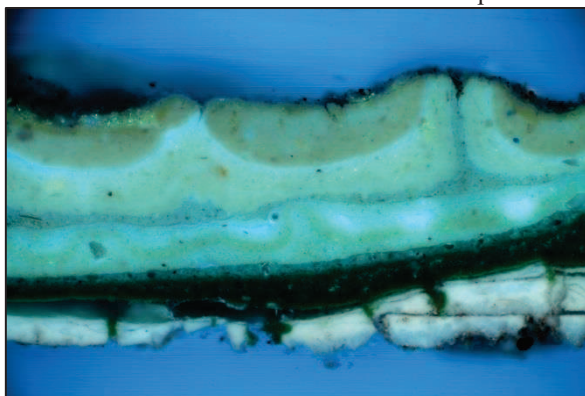
Číslo vrstvy	Popis vrstvy, optická mikroskopie	Elektronová mikroskopie s prvkovou analýzou (SEM/EDX)
12.	bílá/našedlá vrstva, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	vrstvy neanalyzovány
11.	bílá , zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	
10.	bílá , zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	
9.	bílá , zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	
8.	modro-šedá vrstva, obsahuje modré, červené, tmavé a větší oválné bílé částice, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	
7.	nesouvislá světlá/okrová průhledná organická vrstva	
6.	světle zelená vrstva, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	
5.	zelená vrstva, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	Ca - uhličitán vápenatý, blíže nespecifikována
4.	světle zelená vrstva, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	
3.	červená vrstva, obsahuje tmavé částice	
2.	silná béžová vrstva, ojedinele modré částice	Ca: uhličitán vápenatý
1.	fragmenty silné béžové vrstvy?, na povrchu patrně nečistoty a biologické napadení	Ca: uhličitán vápenatý
0.	hornina , patrně organodetrický vápenec	Ca: vápenec



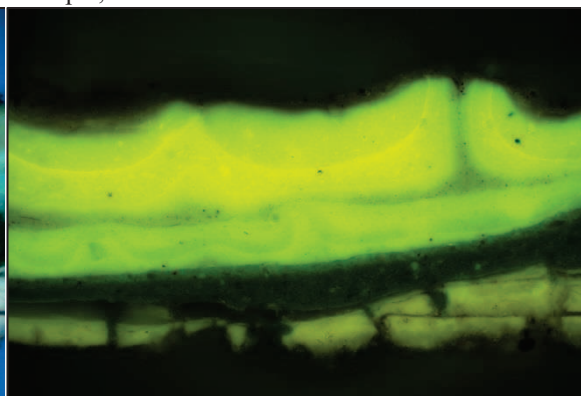
Obr. 13, 14 Stereomikroskopie - dokumentace vzorku z pohledové a spodní strany.



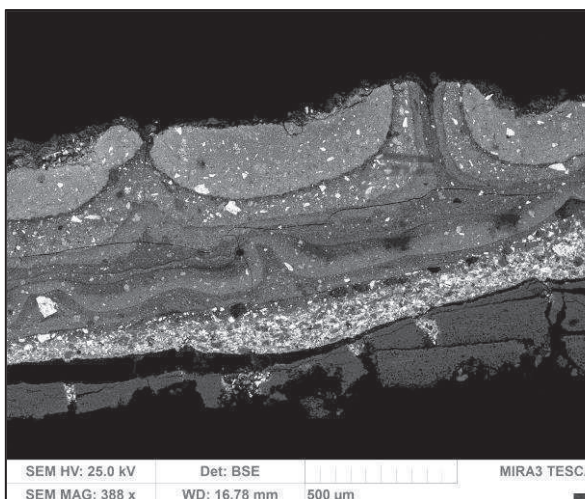
Obr. 15 Optická mikroskopie, bílé světlo.



Obr. 16 Optická mikroskopie, UV záření.



Obr. 17 Optická mikroskopie, modré světlo.



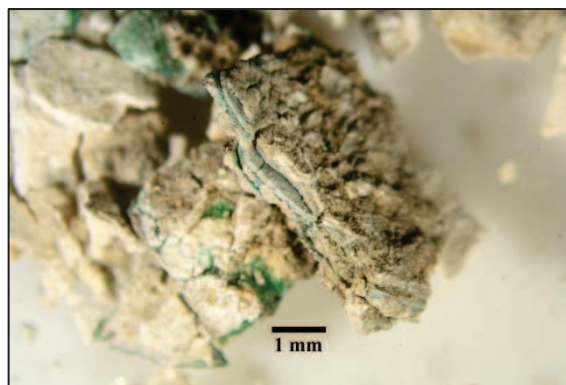
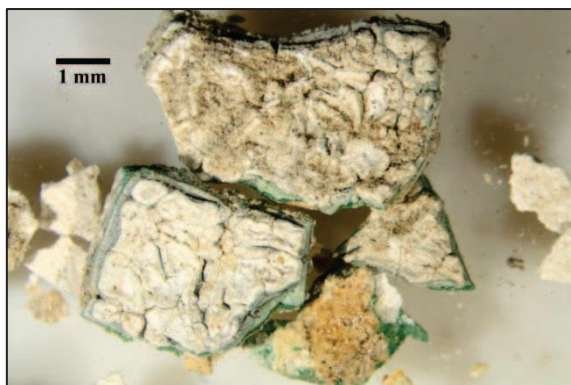
Obr. 18 Elektronová mikroskopie BSE.



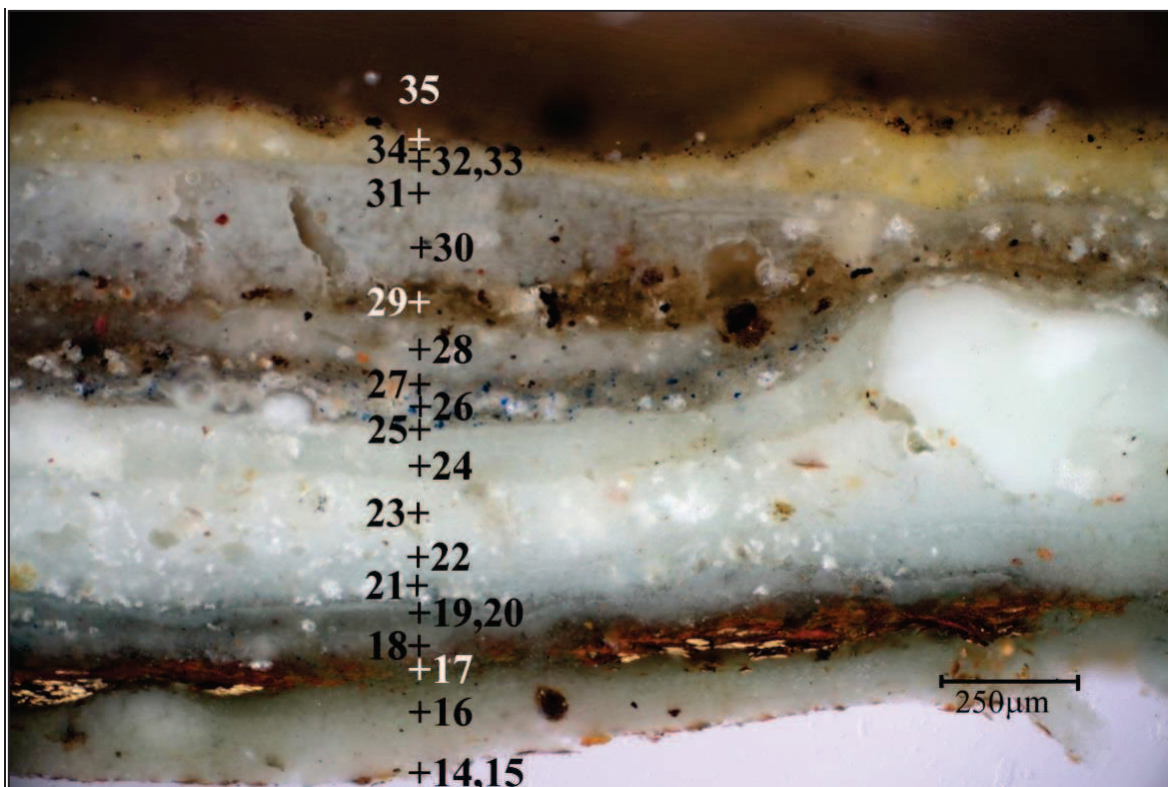
Obr. 19 Lokalizace místa odběru vzorku.

Tab. 8: Výsledky mikroskopického průzkumu, vzorek 8112/V2.

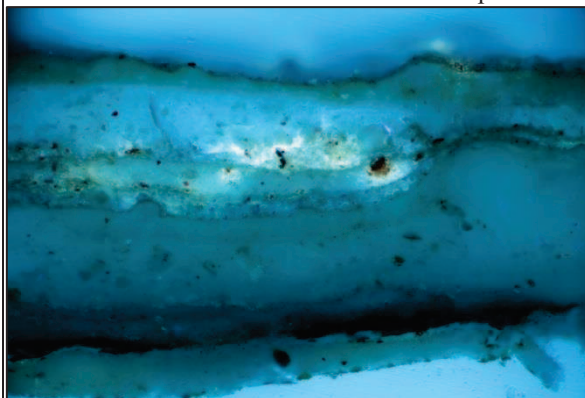
Číslo vrstvy	Popis vrstvy, optická mikroskopie	Elektronová mikroskopie s prvkovou analýzou (SEM/EDX)
13.	nesouvislá hnědo-okrová	vrstvy neanalyzovány
12.	bílá , zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	
11.	bílá , zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	
10.	bílá , zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	
9.	modro-šedá vrstva, obsahuje modré, červené, tmavé a větší oválné bílé částice, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	
8.	nesouvislá světlá/okrová průhledná organická vrstva	
7.	světle zelená vrstva, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	
6.	světle zelená vrstva, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	
5.	světle zelená vrstva, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	<u>Zn</u> , Ba, S (Ca, Mg, Pb, Cr): zinková běloba, baryt, ojediněle červená hlinka, spíše ojediněle zrna sádrovce a vápence, zelený pigment na bázi sloučenin chromu, zřejmě olovnatá běloba
4.	tmavší zelená , ojediněle červené částice	
3.	zelená vrstva, obsahuje ojediněle modré a červené částice	<u>Zn</u> , Ba, S (Ca, Mg, Pb, Cr): zinková běloba, baryt, ojediněle červená hlinka, zrna sádrovce a vápence, ojediněle zrna ultramarínu, nelze zcela vyloučit jiný modrý pigment, zelený pigment na bázi sloučenin chromu, zřejmě olovnatá běloba
2.	silná béžová vrstva nebo dvě vrstvy, ojediněle modrá a červená zrna	<u>Ca</u> (Mg, Si): uhličitán vápenatý, patrně ultramarín, červená hlinka
1.	fragmenty silné béžové vrstvy, na povrchu patrně nečistoty a biologické napadení	<u>Ca</u> (Si): uhličitán vápenatý



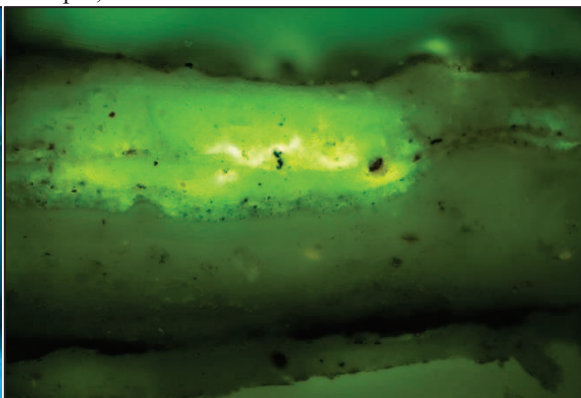
Obr. 20, 21 Stereomikroskopie - dokumentace vzorku z pohledové a spodní strany.



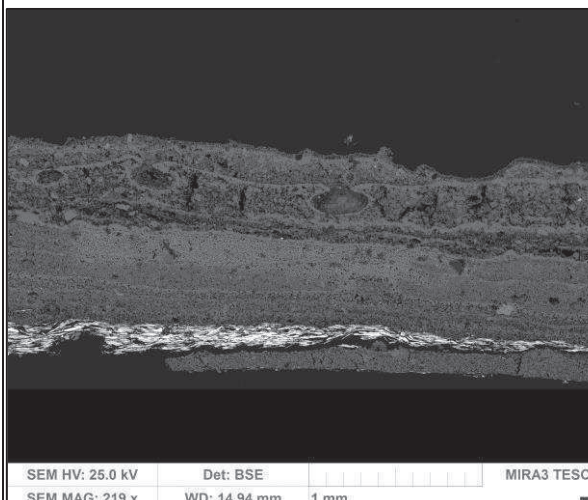
Obr. 22 Optická mikroskopie, bílé světlo.



Obr. 23 Optická mikroskopie, UV záření.



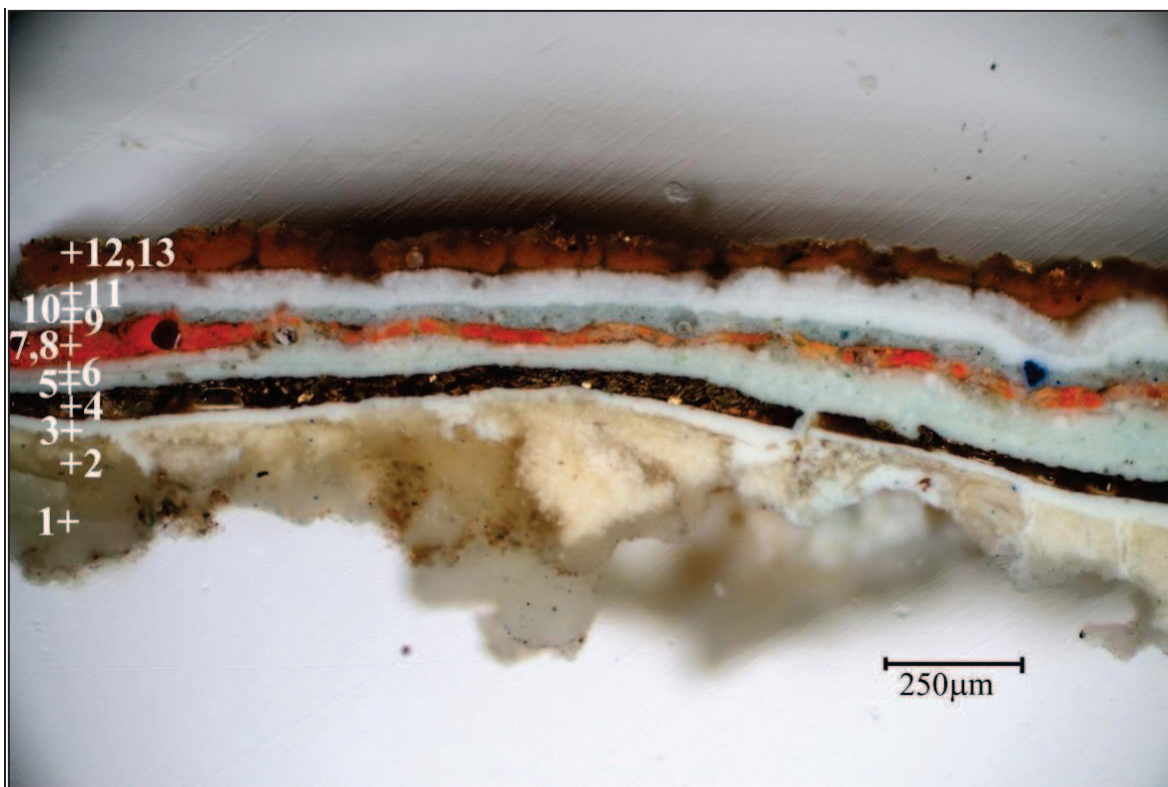
Obr. 24 Optická mikroskopie, modré světlo.



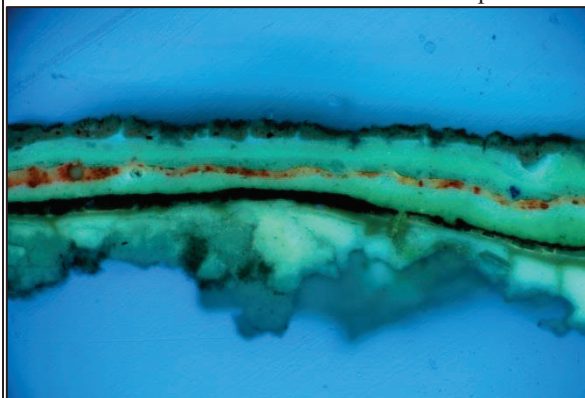
Obr. 25 Elektronová mikroskopie BSE.



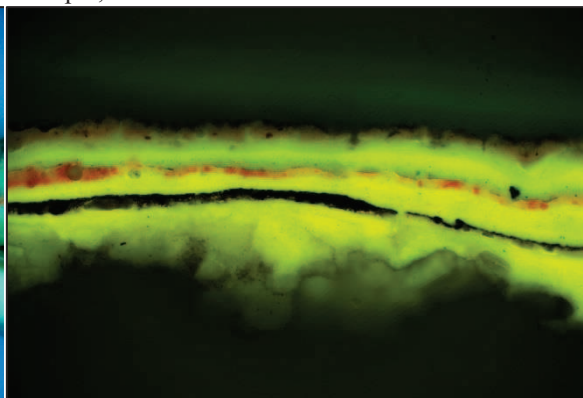
Obr. 26 Lokalizace místa odběru vzorku.



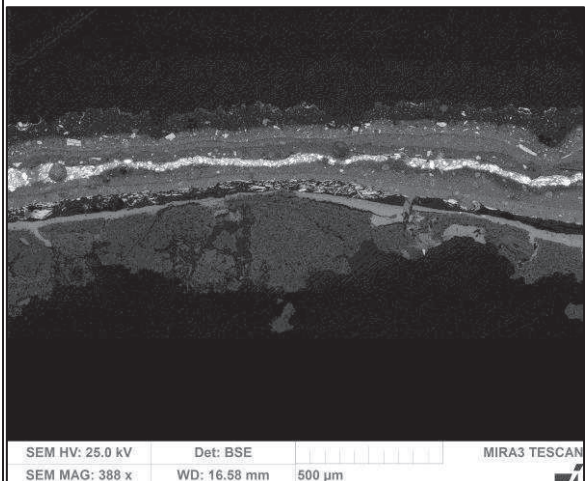
Obr. 27 Optická mikroskopie, bílé světlo.



Obr. 28 Optická mikroskopie, UV záření.



Obr. 29 Optická mikroskopie, modré světlo.



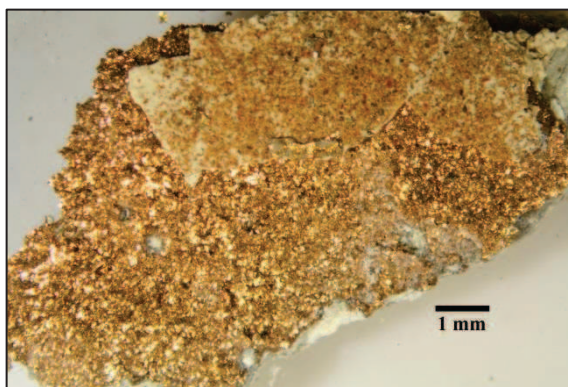
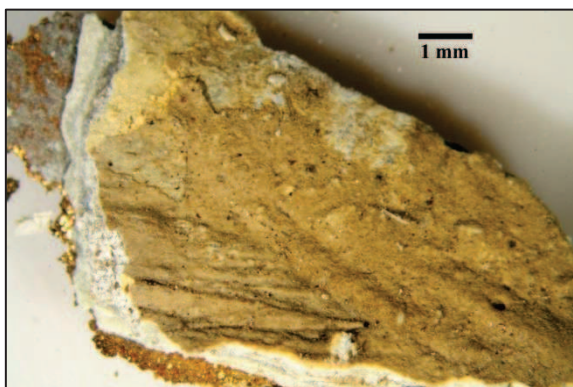
Obr. 30 Elektronová mikroskopie BSE.



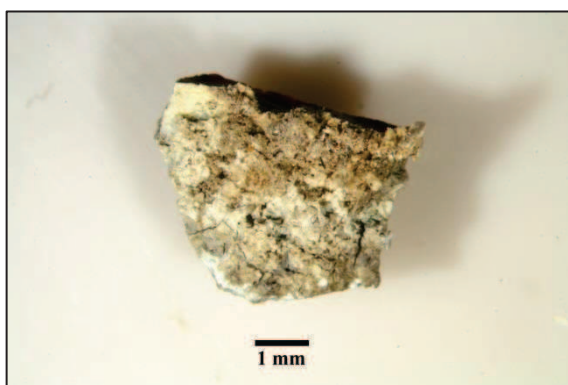
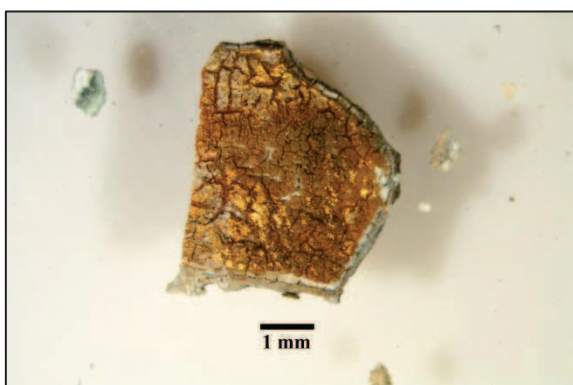
Obr. 31 Lokalizace místa odběru vzorku.

Tab. 9: Výsledky mikroskopického průzkumu, vzorek 8113/V3.

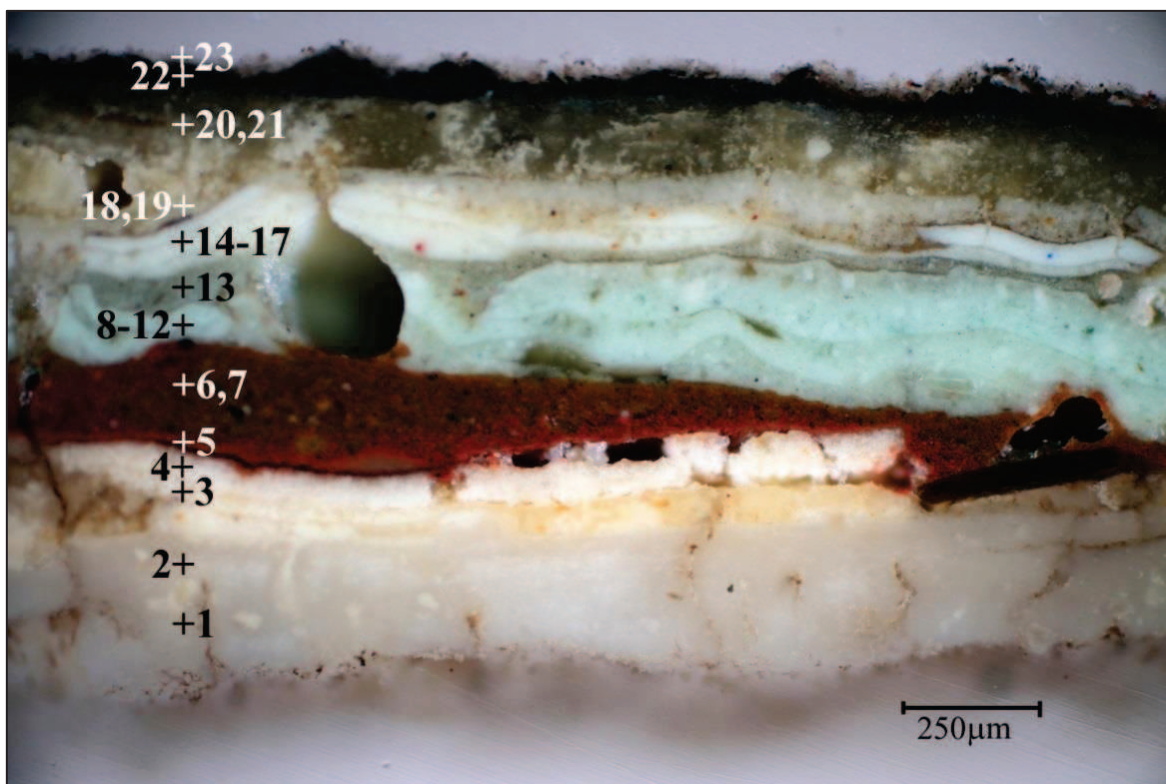
Číslo vrstvy	Popis vrstvy, optická mikroskopie	Složení vrstvy - elektronová mikroskopie s prvkovou analýzou (SEM/EDX)
35.	tenká hnědo-okrová vrstva	vrstvy neanalyzovány
34.	žlutá vrstva	
33.	žlutá vrstva	
32.	bílá vrstva	
31.	bílá vrstva	
30.	silná bílá vrstva	
29.	nesouvislá hnědá vrstva	
28.	silná bílá vrstva	
27.	nesouvislá hnědá vrstva nebo nečistoty	
26.	nesouvislá modrá vrstva	
25.	nesouvislá hnědá vrstva	
24.	silná bílá/našedlá vrstva	
23.	silná bílá vrstva	
22.	bílá vrstva	
21.	silná bílá/našedlá vrstva	
20.	bílá/našedlá vrstva	
19.	bílé/našedlé vrstva	
18.	bílá/našedlá vrstva, ojedinele modré částice	
17.	silnější vrstva s práškovým kovem	<u>Cu</u> (Zn): prášková bronz – měděné šupiny (atomový poměr Cu a Zn 10:1-9:1), koroze
16.	bílá vrstva, zeleno-žlutá UV luminiscence	<u>Ca</u> (Cu, S, Mg, Zn): uhličitán vápenatý, zřejmě korozní produkty vrstvy 15
15.	velmi tenká nesouvislá vrstva s práškovým kovem	<u>Cu</u> (Zn): prášková bronz – měděné šupiny (atomový poměr Cu a Zn do 6:1)
14.	tenká vrstva, fragment	<u>Ca</u> (Cu, Zn, Mg, Cl): uhličitán vápenatý, zřejmě korozní produkty vrstvy 15, zinková běloba
13.	žlutý plátkový kov	<u>Au</u> (Ag, Cu): plátkové zlato
12.	červená	<u>C</u> (Zn, Fe): polymerní vrstva, blíže nespecifikována
11.	bílá , zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	<u>Zn</u> (Ba, S, Si, Al): baryt, zinková běloba
10.	bílá , zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	<u>Zn</u> (Ba, S, Si, Al): baryt, zinková běloba
9.	šedo-modrá , obsahuje ojedinele modré, červené, tmavé a více větší oválné bílé částice, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	<u>Zn</u> (Ba, S, Si, Al): baryt, zinková běloba, modrá částice ultramarínu <u>Na</u> , <u>Al</u> , <u>Si</u> (S, K)
8.	plátkový žlutý kov , fragmenty	<u>Au</u> (Ag, Cu): plátkové zlato
7.	červená vrstva	<u>Pb</u> : suřík, polymerní pojivo
6.	světlá/nazelenalá vrstva, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	<u>Zn</u> : zinková běloba, blíže nespecifikována
5.	světlá/nazelenalá vrstva, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	<u>Zn</u> : zinková běloba, blíže nespecifikována
4.	práškový kov , organická vrstva	<u>Cu</u> , <u>Zn</u> : prášková bronz – slitina mědi a zinku (atomární poměr Cu a Zn 5:1 až 3:1), pojivo <u>C</u> : organická vrstva
3.	bílá	<u>Zn</u> (Ca, Ba, S): zinková běloba, příměs barytové běloby
2.	silná běžová vrstva, ojedinele modré částice	<u>Ca</u> (Zn): uhličitán vápenatý, zinek patrně kontaminace z mladších vrstev
1.	fragmenty silné běžové vrstvy, na povrchu patrně nečistoty a biologické napadení	<u>Ca</u> (Zn): uhličitán vápenatý, zinek zřejmě kontaminace z mladších vrstev
0.	fragment horniny	<u>Ca</u> , <u>Si</u> , <u>Al</u> , <u>Mg</u> : uhličitán vápenatý, silikáty



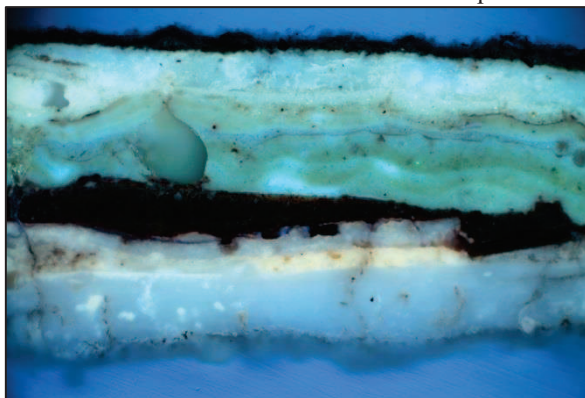
Obr. 32, 33 Stereomikroskopie - dokumentace svrchních vrstev vzorku z pohledové a spodní strany.



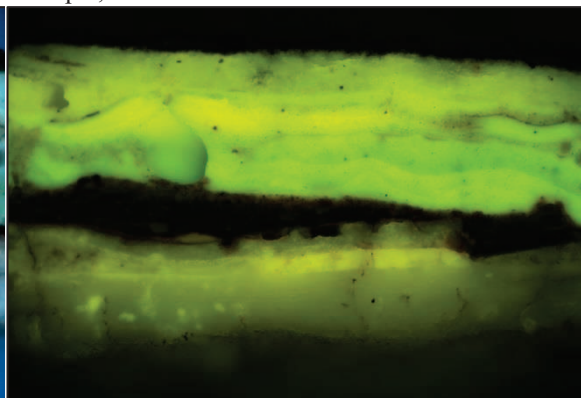
Obr. 34, 35 Stereomikroskopie – dokumentace spodních vrstev vzorku z pohledové a spodní strany.



Obr. 36 Optická mikroskopie, bílé světlo.



Obr. 37 Optická mikroskopie, UV záření.



Obr. 38 Optická mikroskopie, modré světlo.



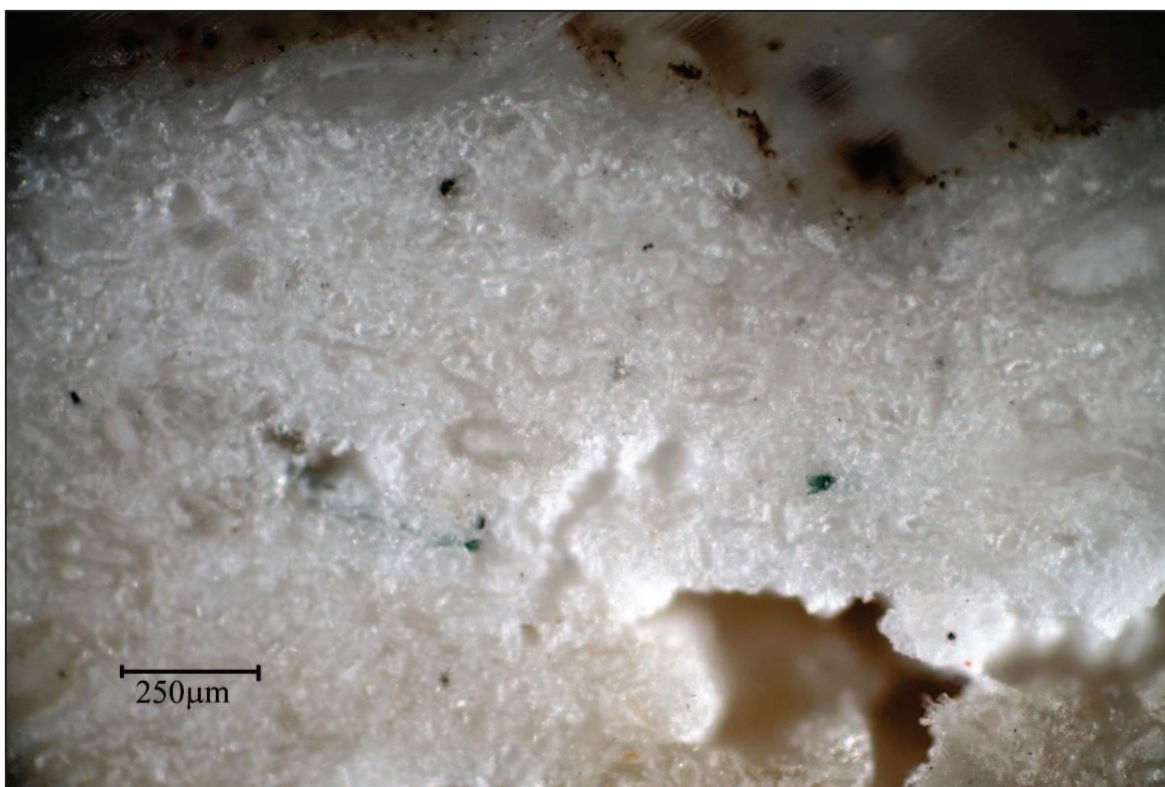
Obr. 39 Lokalizace místa odběru vzorku.

Tab. 10: Výsledky mikroskopického průzkumu, vzorek 8114/V4.

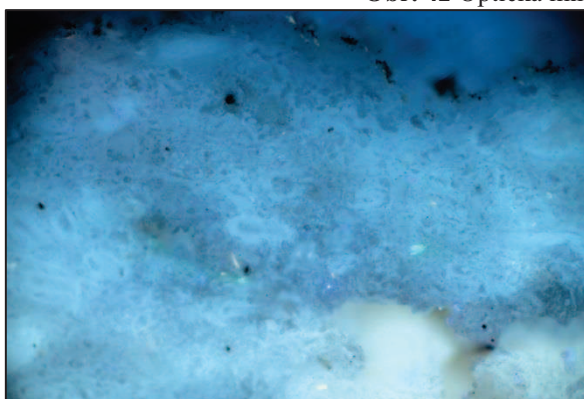
Číslo vrstvy	Popis vrstvy, optická a elektronová (SEM) mikroskopie
23.	fragmenty světlé vrstvy
22.	tmavá s modrými a černými částicemi, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba
21.	silná šedo-okrová
20.	fragmenty šedo-okrové
19.	světlá vrstva, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba
18.	okrová vrstva, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba, oranžové částice
17.	bílá , ojedinele modré a červené částice, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba
16.	nesouvislá světlá/okrová průhledná organická vrstva
15.	bílá , zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba
14.	bílá , zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba
13.	šedá vrstva, obsahuje modré, červené, tmavé a větší oválné bílé částice, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba
12.	nesouvislá světlá/okrová průhledná organická vrstva
11.	světle zelená vrstva, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba
10.	nesouvislá světlá/okrová průhledná organická vrstva
9.	světlá zelená vrstva, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba, na povrchu tenká nesouvislá organická vrstva
8.	světle nazelenalá/našedlá vrstva, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba
7.	hnědá
6.	hnědo-červená
5.	červená tenká vrstva, obsahuje tmavé částice
4.	fragment bílé
3.	fragment bílé/okrové , žlutá UV luminiscence
2.	silná béžová vrstva, ojedinele modré částice
1.	silná béžová vrstva, na povrchu patrně nečistoty a biologické napadení



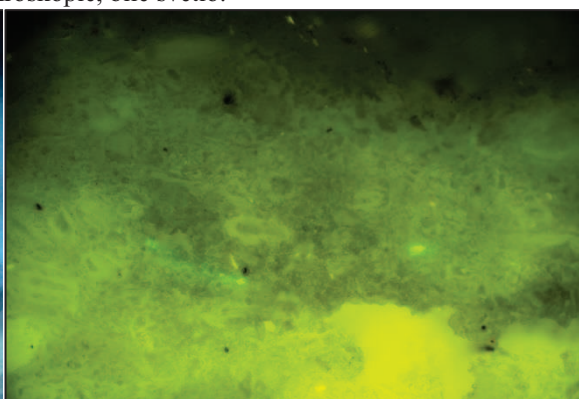
Obr. 40, 41 Stereomikroskopie - dokumentace vzorku z pohledové a spodní strany.



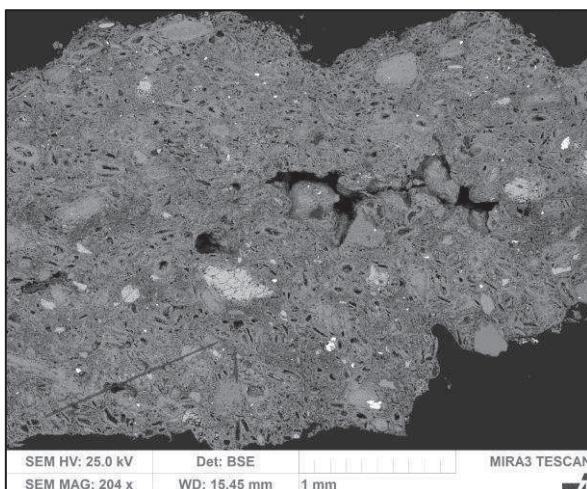
Obr. 42 Optická mikroskopie, bílé světlo.



Obr. 43 Optická mikroskopie, UV záření.



Obr. 44 Optická mikroskopie, modré světlo.



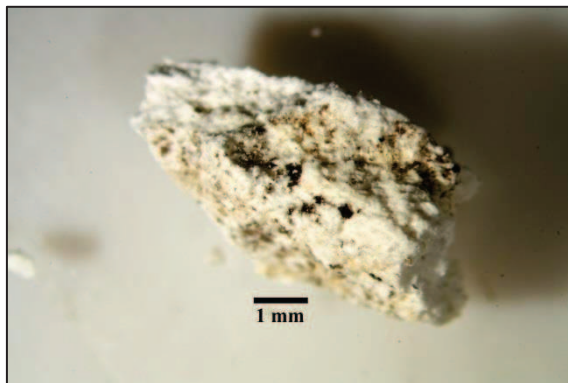
Obr. 45 Elektronová mikroskopie BSE.



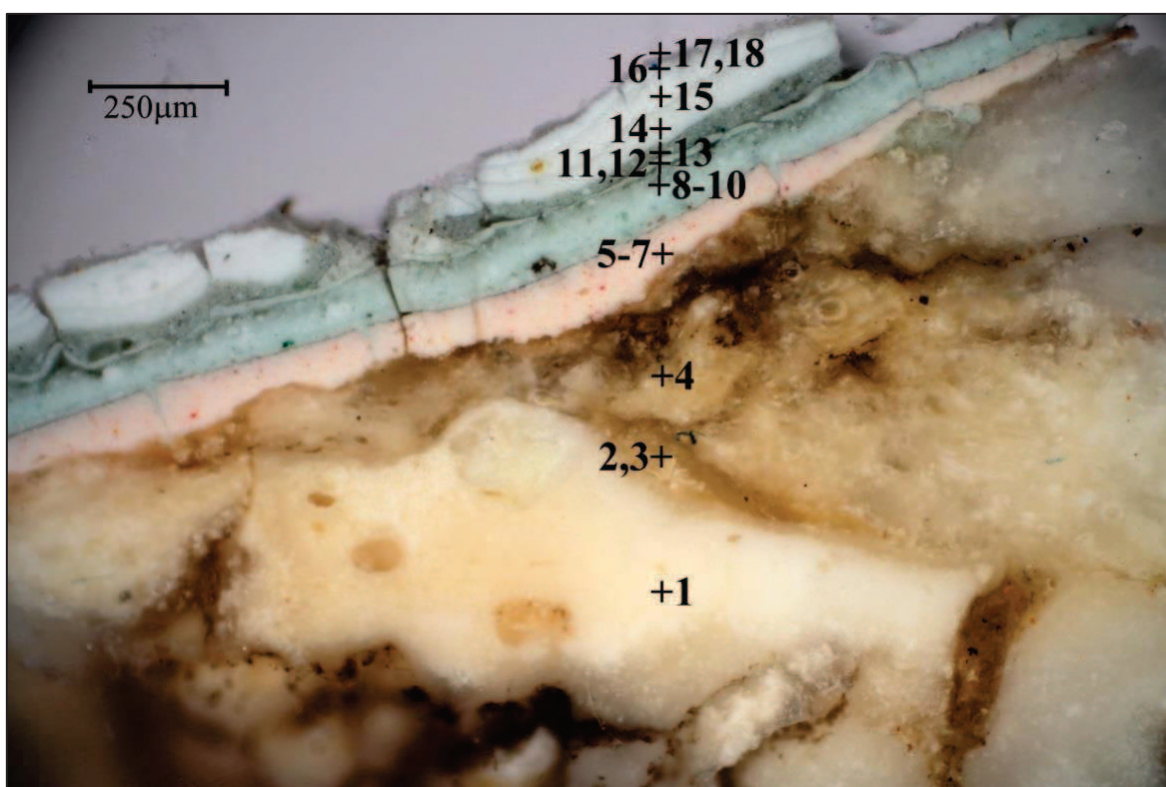
Obr. 46 Lokalizace místa odběru vzorku.

Tab. 11: Výsledky mikroskopického průzkumu, vzorek 8115/V5.

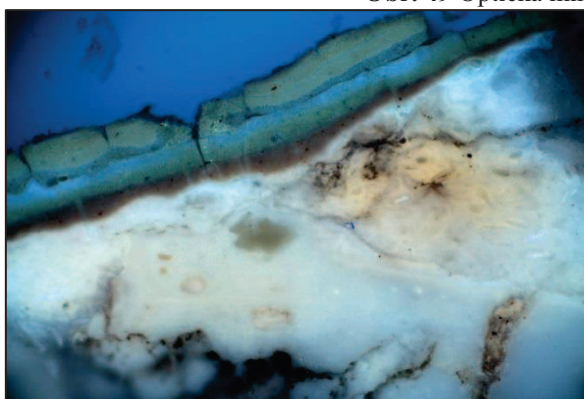
Číslo vrstvy	Popis vrstvy, optická mikroskopie	Elektronová mikroskopie s prvkovou analýzou (SEM/EDX)
1.	<u>bílá vrstva tmelu</u>	Ca, S (Si, Mg): sádra, drobná zrna sádrovce, křemene, dolomitu



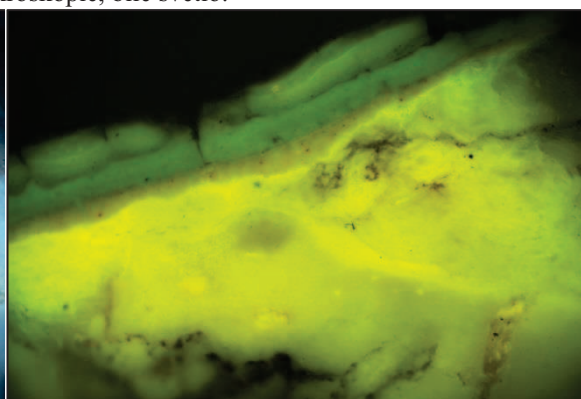
Obr. 47, 48 Stereomikroskopie - dokumentace vzorku z pohledové a spodní strany.



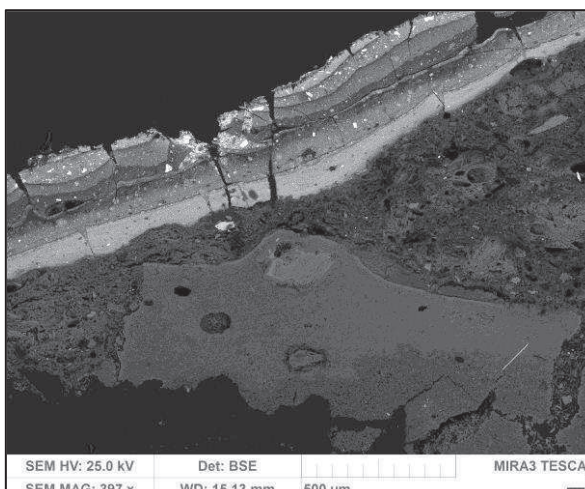
Obr. 49 Optická mikroskopie, bílé světlo.



Obr. 50 Optická mikroskopie, UV záření.



Obr. 51 Optická mikroskopie, modré světlo.



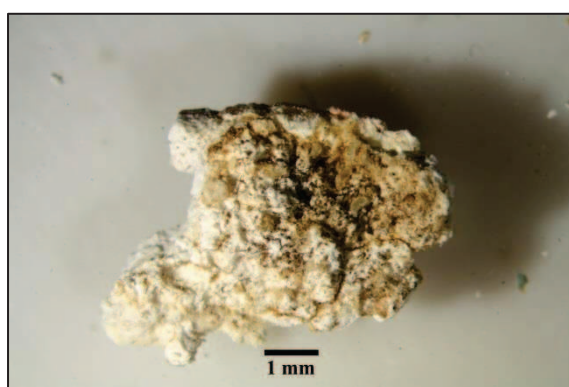
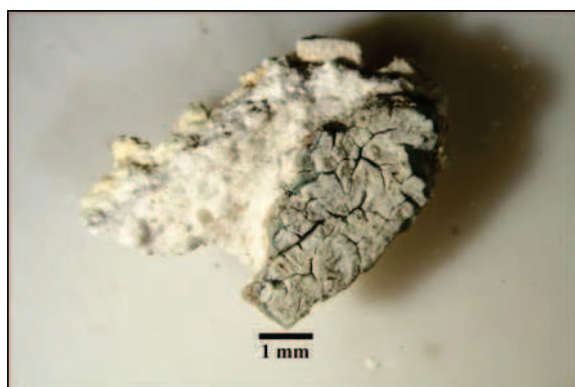
Obr. 52 Elektronová mikroskopie BSE.



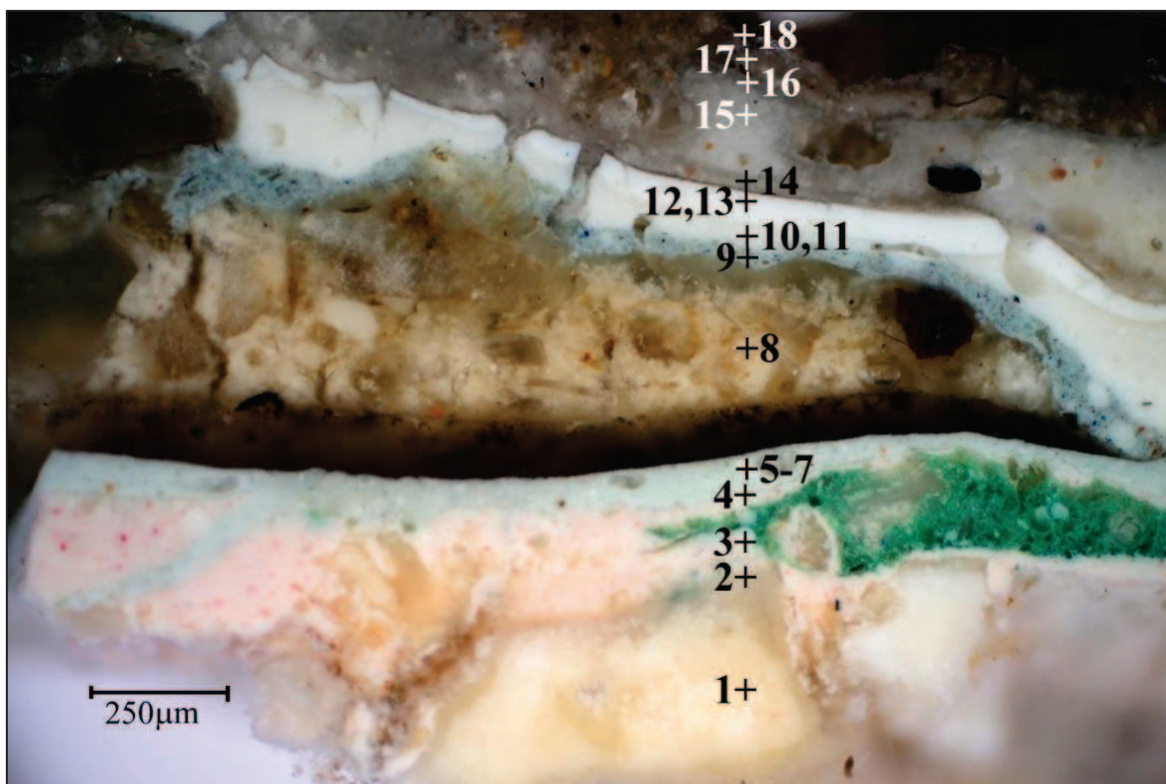
Obr. 53 Lokalizace místa odběru vzorku.

Tab. 12: Výsledky mikroskopického průzkumu, vzorek 8116/V6.

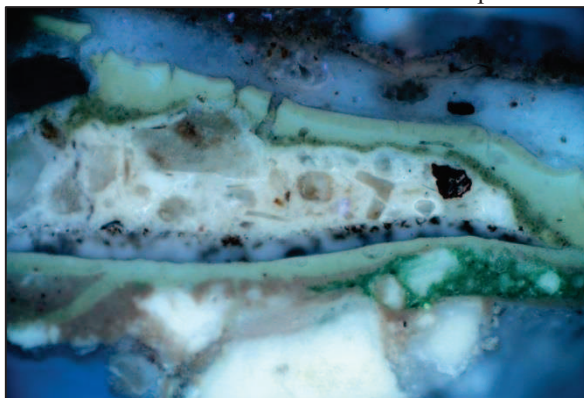
Číslo vrstvy	Popis vrstvy, optická mikroskopie	Složení vrstvy - elektronová mikroskopie s prvkovou analýzou (SEM/EDX)
18.	fragment našedlé vrstvy, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	vrstvy neanalyzovány
17.	bílá/našedlá vrstva, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	
16.	bílá , ojedinele modré částice, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	
15.	bílá , zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	
14.	bílá , zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	
13.	modro-šedá vrstva, obsahuje modré, červené, tmavé a větší oválné bílé částice, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	
12.	nesouvislá světlá/okrová průhledná organická vrstva	
11.	světle zelená vrstva, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	
10.	nesouvislá průhledná vrstva	
9.	zelená vrstva, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	
8.	světle zelená vrstva, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	
7.	nesouvislá tenká tmavá	
6.	tenčí růžová vrstva	
5.	růžová vrstva	
4.	silná béžová vrstva, ojedinele modré částice	Ca, S (Mg, Zn, Si, Al): zejména síran vápenatý, sádrový tmel, vrstva blíže nespecifikována
3.	nesouvislá okrová vrstva nebo nečistoty	převážně organická vrstva
2.	nesouvislá bílá vrstva	Ca (Mg, Zn, Si, S): zejména uhličitán vápenatý, zinek patrně kontaminace z mladších vrstev
1.	fragменты silné bílé/běžové vrstvy, na povrchu patrně nečistoty a biologické napadení	Ca (Mg, Zn, Si, S): zejména uhličitán vápenatý, zinek patrně kontaminace z mladších vrstev



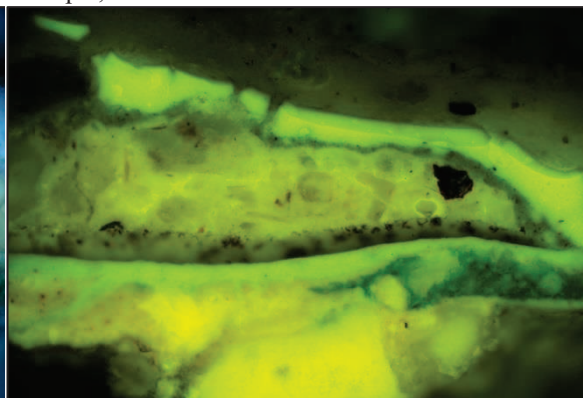
Obr. 54, 55 Stereomikroskopie - dokumentace vzorku z pohledové a spodní strany.



Obr. 56 Optická mikroskopie, bílé světlo.



Obr. 57 Optická mikroskopie, UV záření.



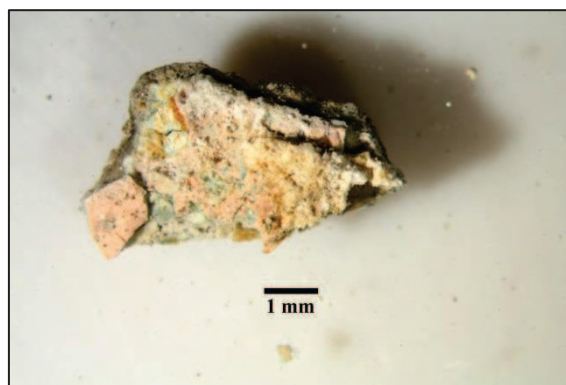
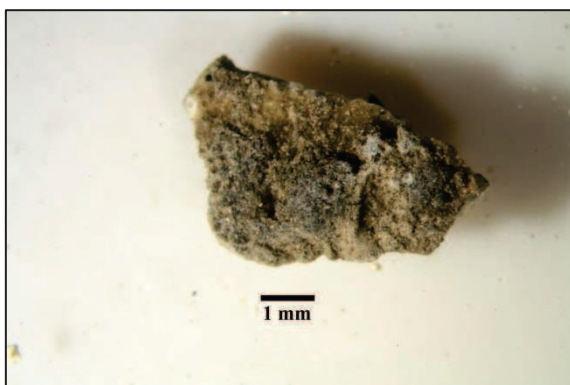
Obr. 58 Optická mikroskopie, modré světlo.



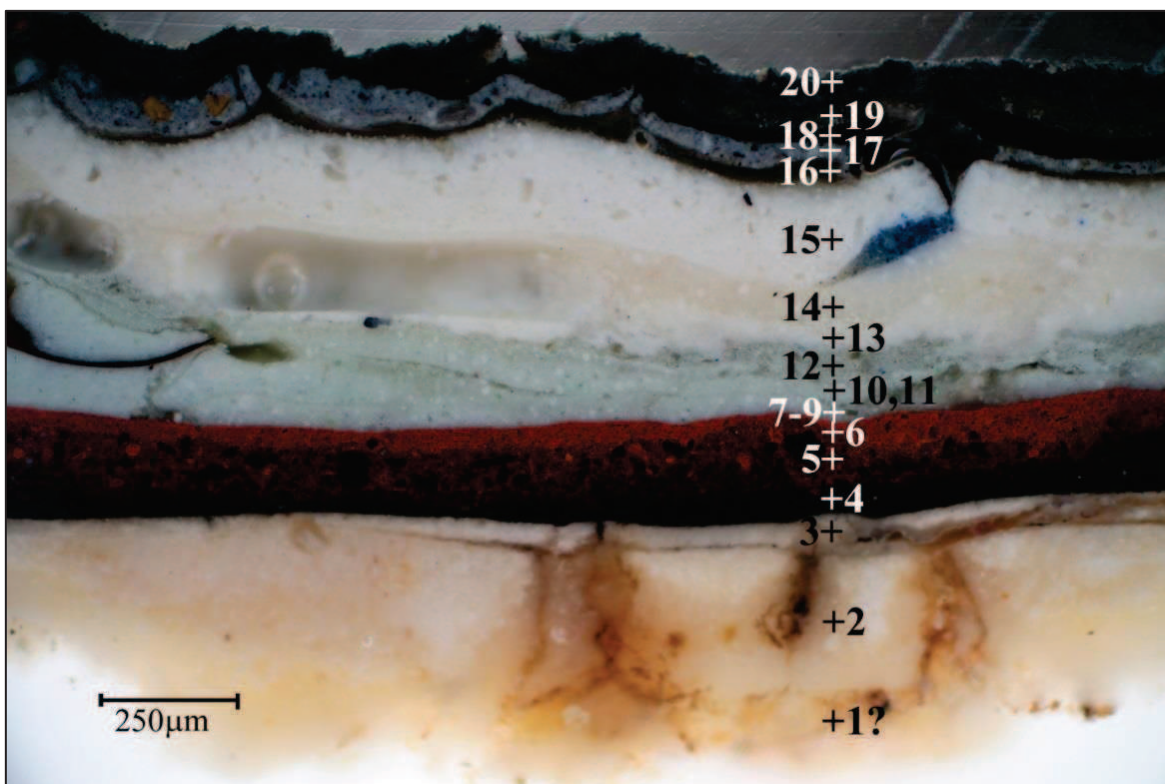
Obr. 59 Lokalizace místa odběru vzorku.

Tab. 13: Výsledky mikroskopického průzkumu, vzorek 8117/V7.

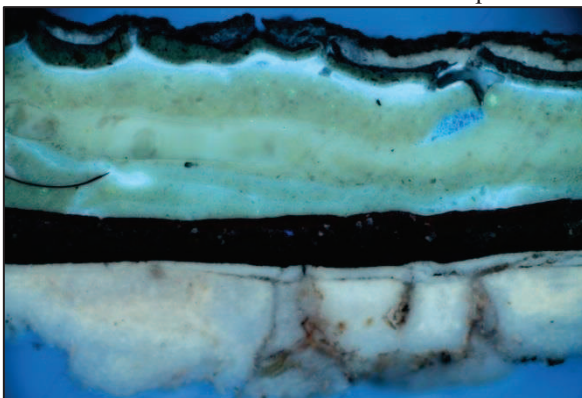
Číslo vrstvy	Popis vrstvy, optická a elektronová (SEM) mikroskopie
18.	okrová vrstva
17.	okrová vrstva
16.	tenká šedá?
15.	silná béžová vrstva
14.	béžová vrstva, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba
13.	tenká , našedlá
12.	bílá
11.	béžová , zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba
10.	bílá , fragmenty, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba
9.	modro-šedá vrstva, obsahuje modré, červené, tmavé a větší oválné bílé částice, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba
8.	fragment silné okrové vrstvy s velkými průhlednými zrny
7.	nesouvislá světlá/okrová průhledná organická vrstva
6.	světle zelená vrstva, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba
5.	světle zelená vrstva, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba
4.	nesouvislá tenká
3.	růžová vrstva, obsahuje fragment zelené vrstvy
2.	fragmenty tenké okrové
1.	silná béžová vrstva



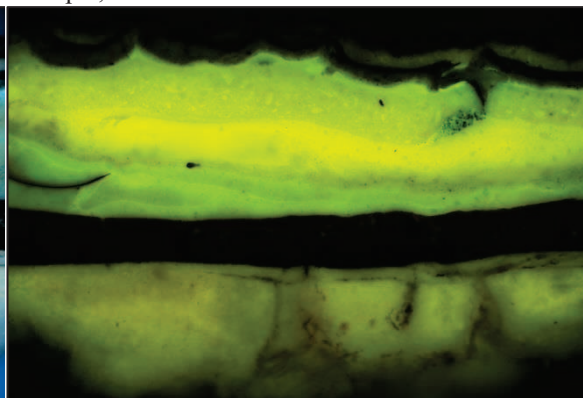
Obr. 60, 61 Stereomikroskopie - dokumentace vzorku z pohledové a spodní strany.



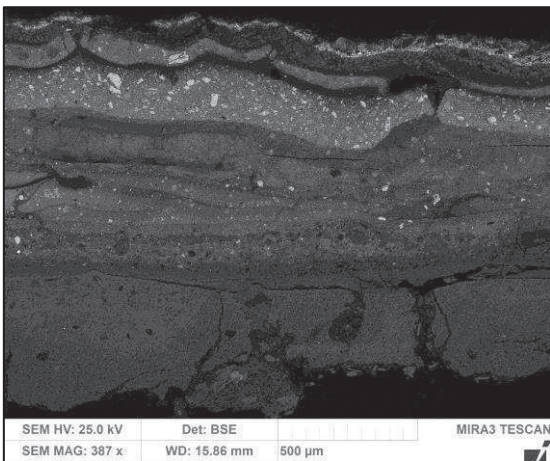
Obr. 62 Optická mikroskopie, bílé světlo.



Obr. 63 Optická mikroskopie, UV záření.



Obr. 64 Optická mikroskopie, modré světlo.



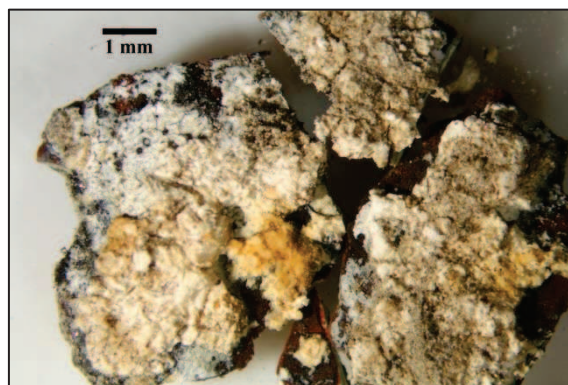
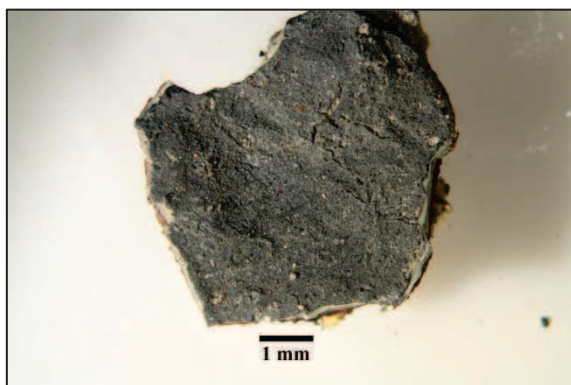
Obr. 65 Elektronová mikroskopie BSE.



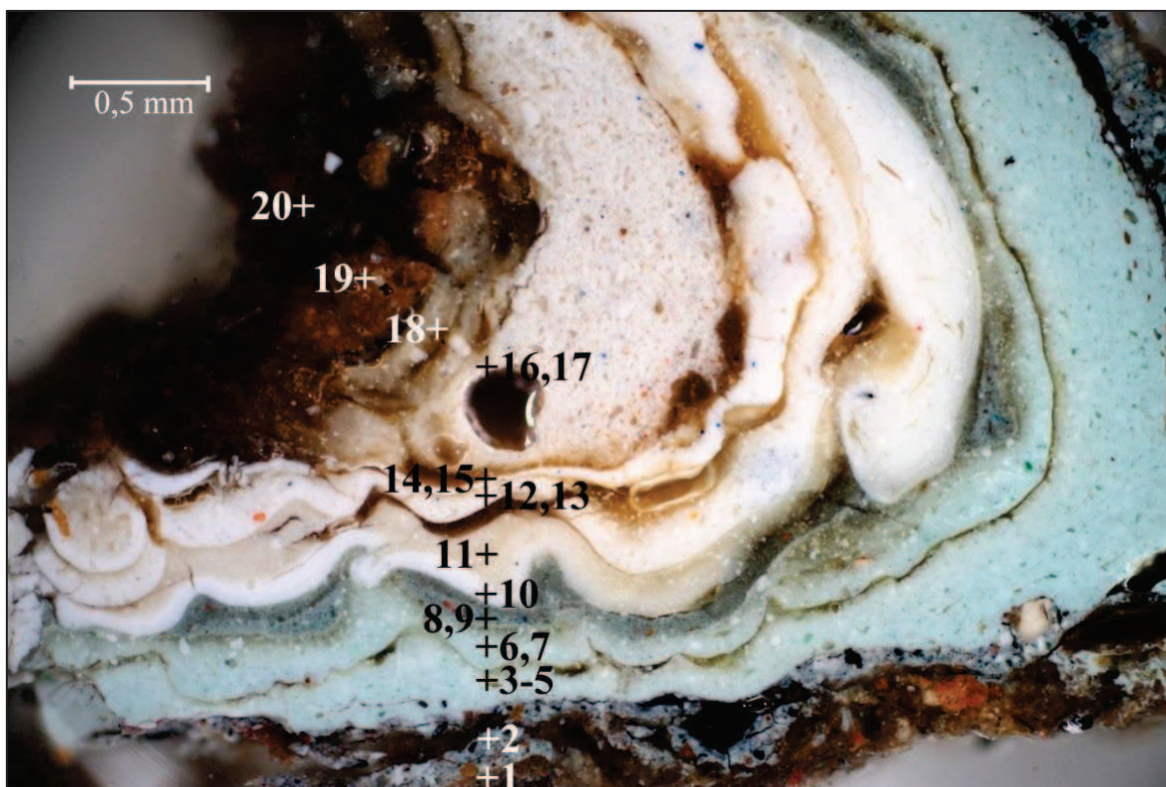
Obr. 66 Lokalizace místa odběru vzorku.

Tab. 14: Výsledky mikroskopického průzkumu, vzorek 8118/V8.

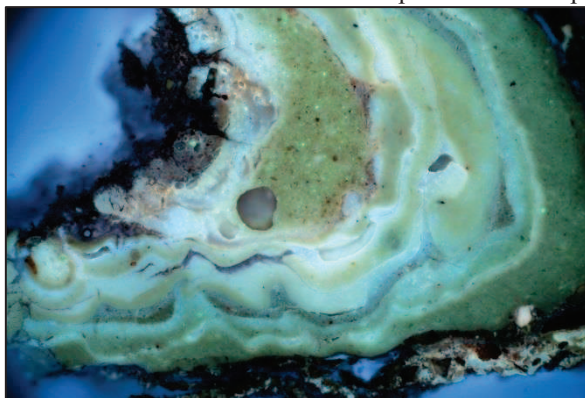
Číslo vrstvy	Popis vrstvy, optická mikroskopie	Složení vrstvy - elektronová mikroskopie s prvkovou analýzou (SEM/EDX)
20.	šedá	vrstvy neanalyzovány
19.	šedá	
18.	černá	
17.	šedá , ojediněle okrové částice, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba, fragment žlutého kovu	
16.	tenká šedá , poloprůhledná, organická	
15.	bílá , zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba, obsahuje fragment patrně zateklé modré vrstvy	
14.	světle béžová , zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	
13.	bílá , zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	
12.	modro-šedá vrstva, obsahuje modré, červené, tmavé a větší oválné bílé částice, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	
11.	nesouvislá světlá/okrová průhledná organická vrstva	
10.	světle zelená vrstva, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	
9.	nesouvislá tenká okrová poloprůhledná	
8.	zelená vrstva, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	
7.	světle zelená vrstva, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	
6.	červená	
5.	červeno-černá vrstva, obsahuje tmavé částice	
4.	černá vrstva , tvoří souvrství s následující vrstvou	
3.	béžová vrstva	<u>Ca</u> (Zn, Mg, Fe): uhličitan vápenatý, zinek může být kontaminace ze zinkové běloby mladších vrstev
2.	silná béžová vrstva	<u>Ca</u> : uhličitan vápenatý
1.	fragmenty okrová ?	vrstva neanalyzována



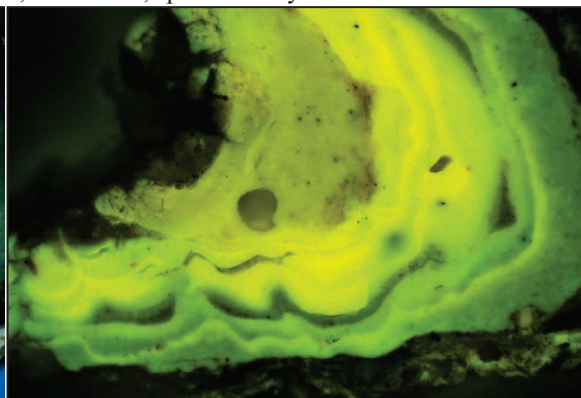
Obr. 67, 68 Stereomikroskopie - dokumentace vzorku z pohledové a spodní strany.



Obr. 69 Optická mikroskopie, bílé světlo, spodní vrstvy.



Obr. 70 Optická mikroskopie, UV záření.



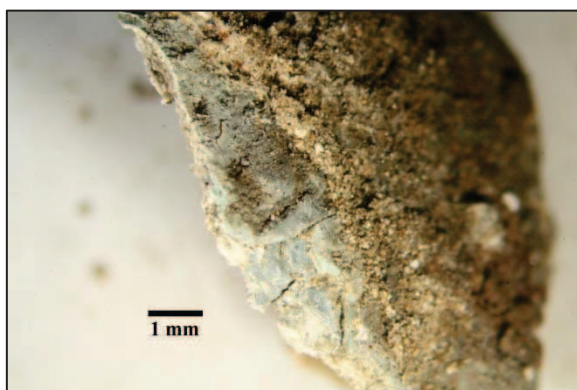
Obr. 71 Optická mikroskopie, modré světlo.



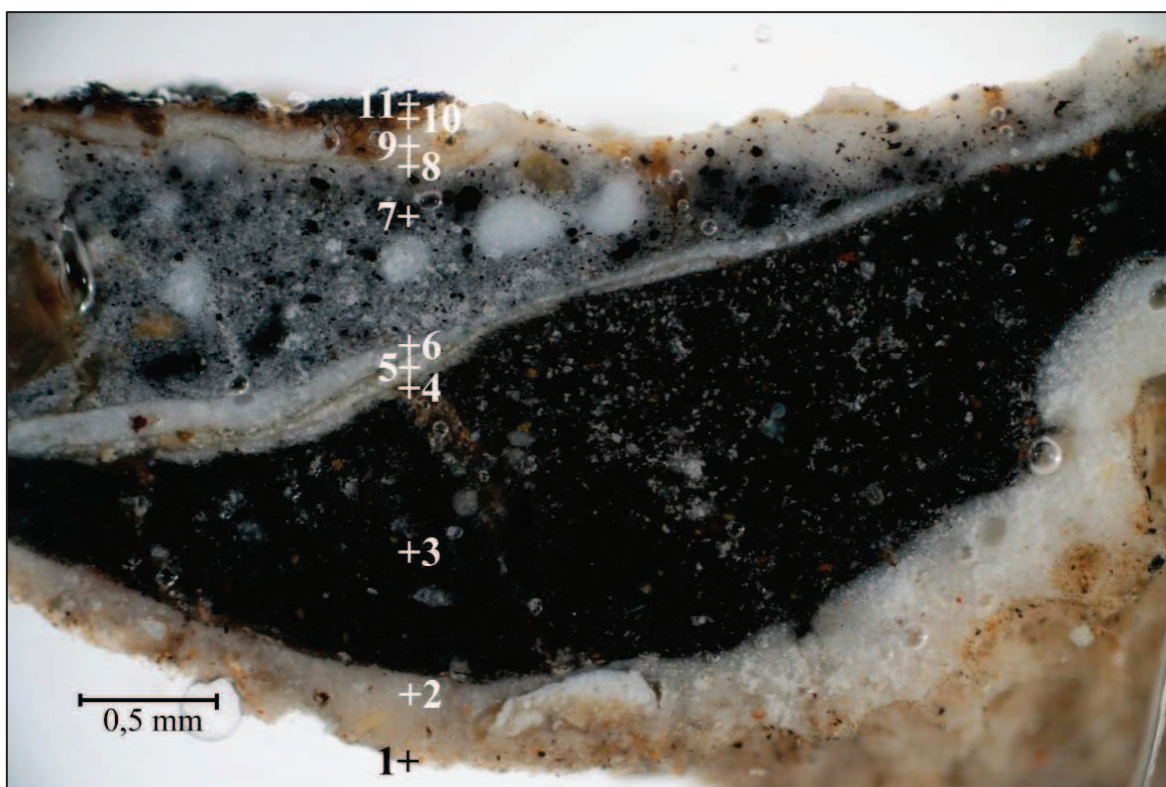
Obr. 72 Lokalizace místa odběru vzorku.

Tab. 15: Výsledky mikroskopického průzkumu, vzorek 8119/V9 – spodní vrstvy.

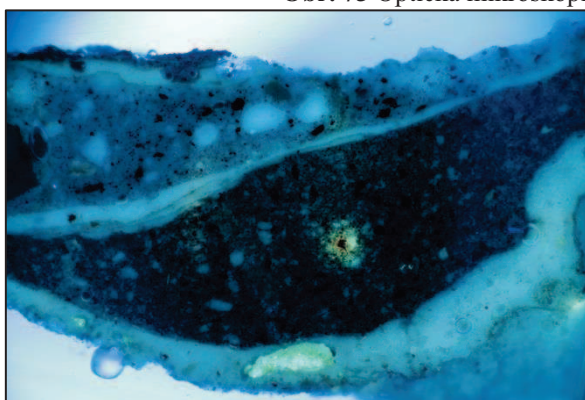
Číslo vrstvy	Popis vrstvy, optická a elektronová (SEM) mikroskopie
20.	šedá?
19.	hnědá vrstva
18.	šedá , ojediněle okrové částice, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba, fragment žlutého kovu
17.	bílá , zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba
16.	okrová poloprůhledná organická vrstva
15.	bílá , zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba, ojediněle modré částice
14.	tenká okrová poloprůhledná organická vrstva
13.	bílá , zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba, ojediněle modré částice
12.	okrová poloprůhledná organická vrstva
11.	světle béžová , zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba
10.	bílá , zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba
9.	šedá
8.	modro-šedá vrstva, obsahuje modré, červené, tmavé a větší oválné bílé částice, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba
7.	nesouvislá světlá/okrová průhledná organická vrstva
6.	světle zelená vrstva, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba
5.	nesouvislá tenká okrová poloprůhledná
4.	zelená vrstva, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba
3.	světle zelená vrstva, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba
2.	šedá , pravděpodobně nanosená ve dvou krocích, obsahuje částice okrové až červené barevnosti, černé, bílé a ojediněle zelené a modré částice
1.	fragmenty hnědé vrstvy, může se jednat o zateklou vrstvu



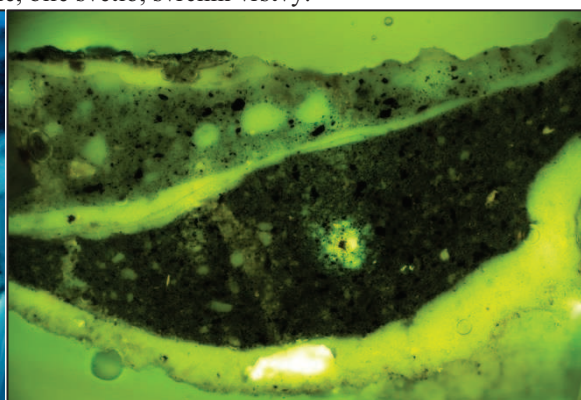
Obr. 73, 74 Stereomikroskopie - dokumentace vzorku ze spodní a boční strany.



Obr. 75 Optická mikroskopie, bílé světlo, svrchní vrstvy.



Obr. 76 Optická mikroskopie, UV záření.



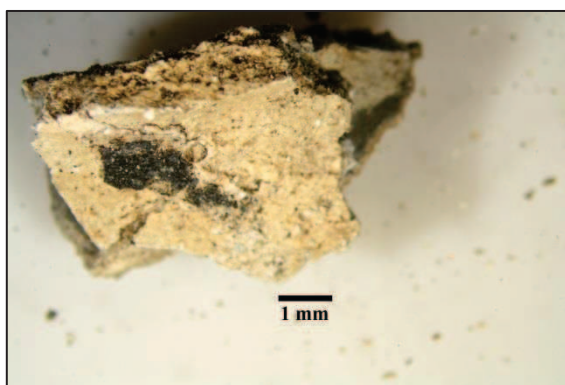
Obr. 77 Optická mikroskopie, modré světlo.



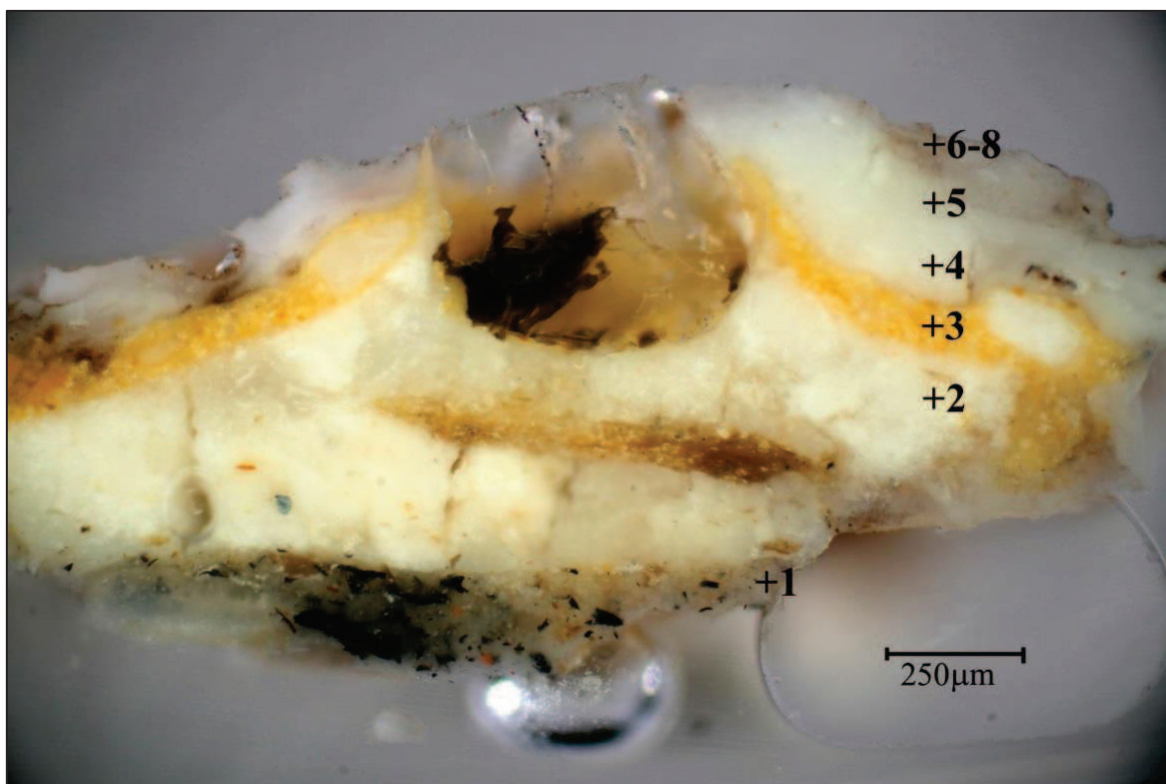
Obr. 78 Lokalizace místa odběru vzorku.

Tab. 16: Výsledky mikroskopického průzkumu, vzorek 8119/V9 – svrchní vrstvy.

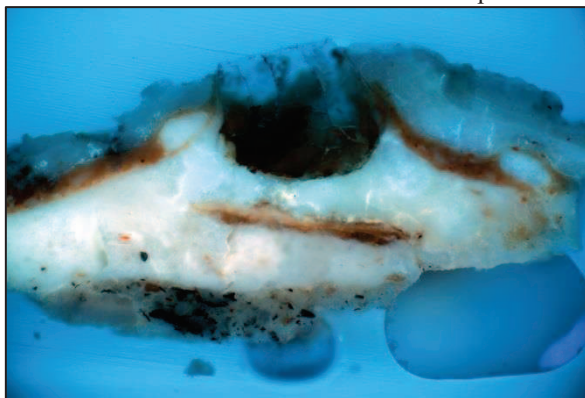
Číslo vrstvy	Popis vrstvy, optická a elektronová (SEM) mikroskopie
11.	fragment černá
10.	fragment hnědá , poloprůhledná
9.	bílá
8.	tenká nesouvislá okrová
7.	šedá silná, obsahuje černé a bílé částice
6.	bílá/světle šedá
5.	fragment bílá/okrová
4.	fragment bílá/šedá
3.	černá/šedá , ojediněle částice okrové až červené barevnosti, bílé částice
2.	béžová
1.	hnědá nebo nečistoty



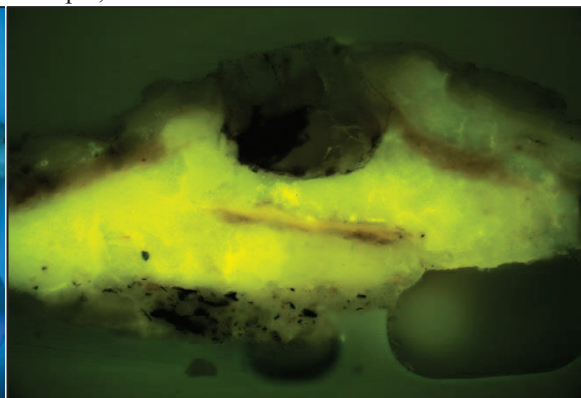
Obr. 79, 80 Stereomikroskopie - dokumentace vzorku z pohledové strany.



Obr. 81 Optická mikroskopie, bílé světlo.



Obr. 82 Optická mikroskopie, UV záření.



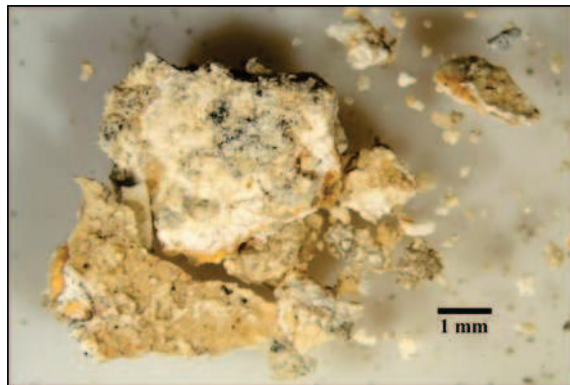
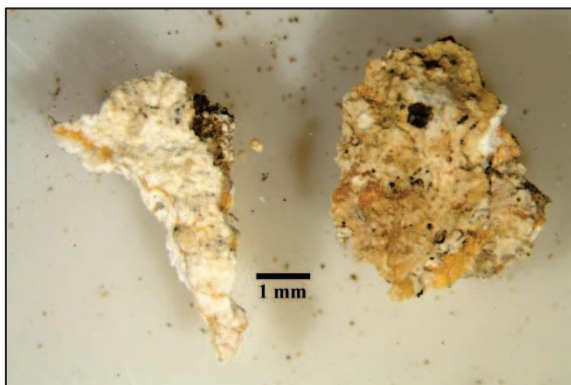
Obr. 83 Optická mikroskopie, modré světlo.



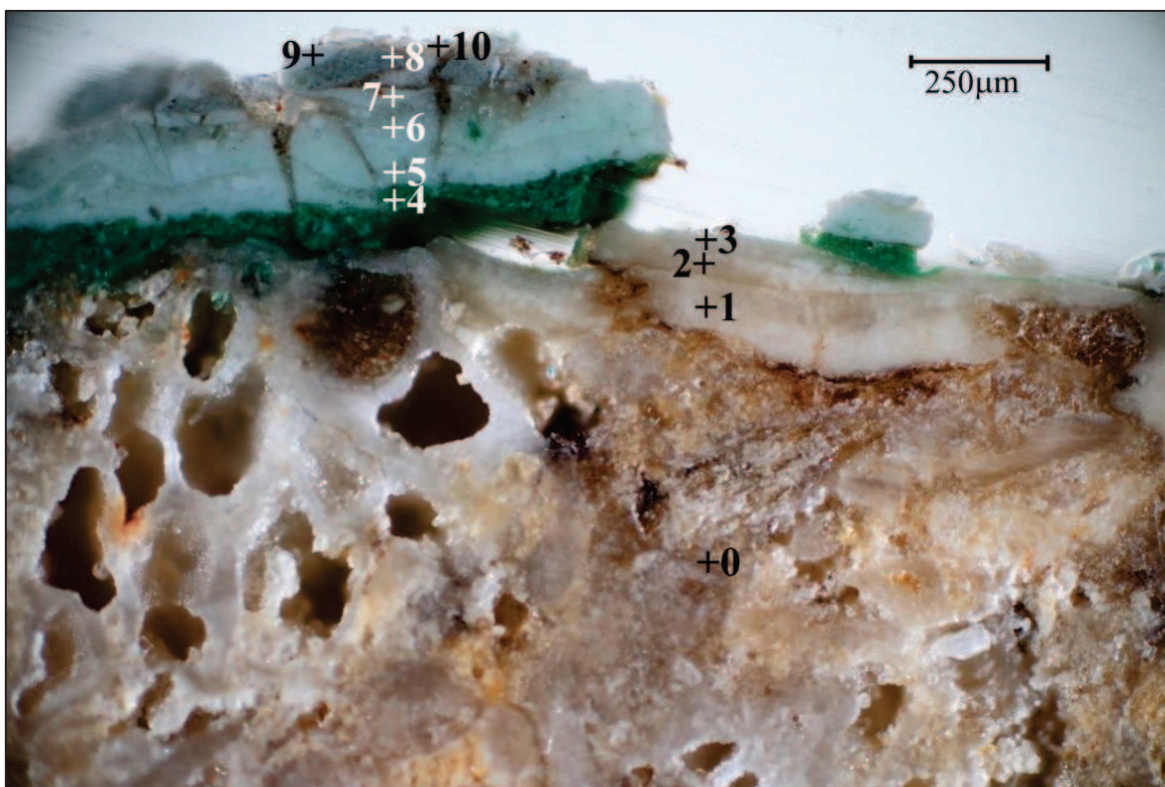
Obr. 84 Lokalizace místa odběru vzorku.

Tab. 17: Výsledky mikroskopického průzkumu, vzorek 8120/V10.

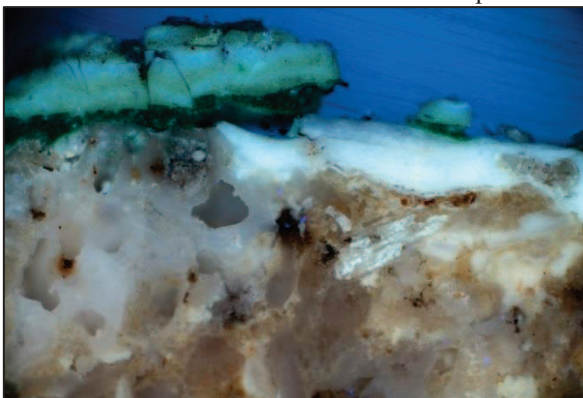
Číslo vrstvy	Popis vrstvy, optická mikroskopie
8.	<u>nesouvislá tenká béžová?</u>
4.-7.	<u>bílé</u> vrstvy
3.	<u>žlutá</u>
2.	<u>silná béžová</u> , obsahuje okrový úlomek
1.	<u>fragment šedé</u> , obsahuje červené částice a zuhelnatělá pletiva



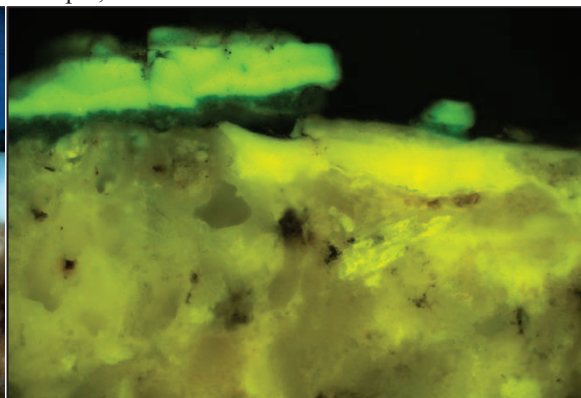
Obr. 85, 86 Stereomikroskopie - dokumentace vzorku z pohledové a spodní strany.



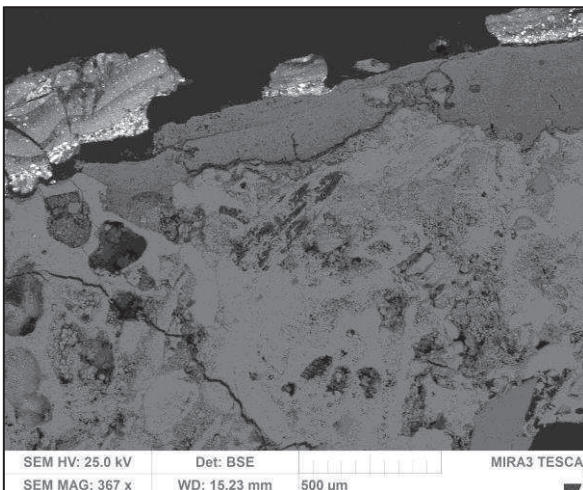
Obr. 87 Optická mikroskopie, bílé světlo.



Obr. 88 Optická mikroskopie, UV záření.



Obr. 89 Optická mikroskopie, modré světlo.



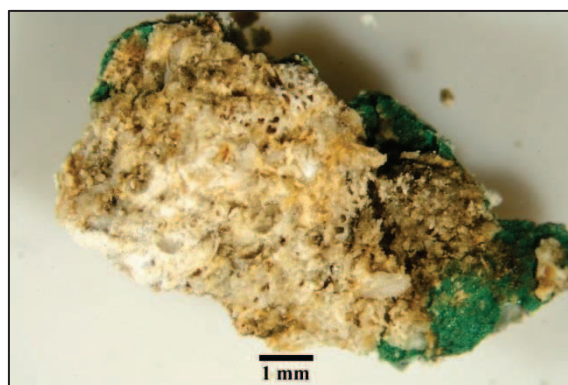
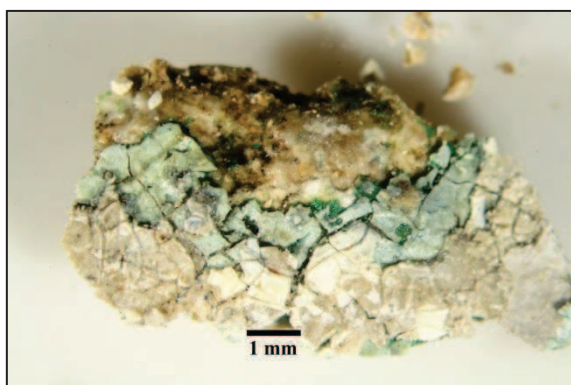
Obr. 90 Elektronová mikroskopie BSE.



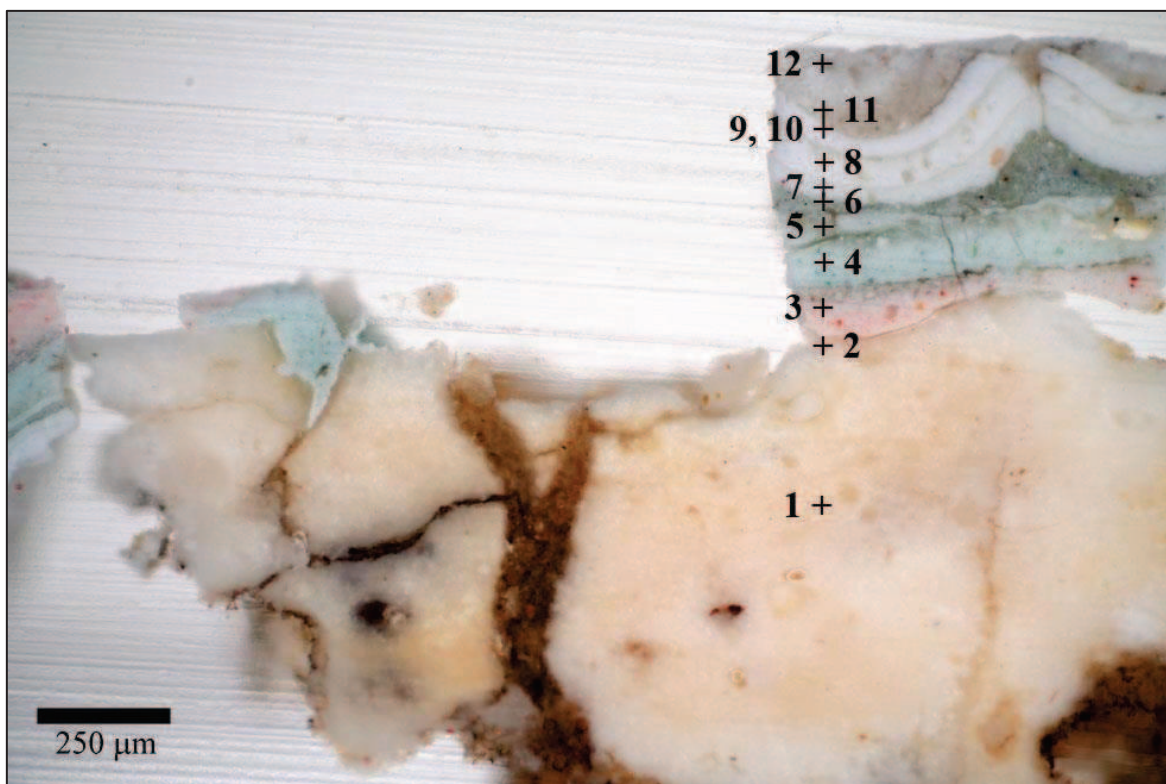
Obr. 91 Lokalizace místa odběru vzorku.

Tab. 18: Výsledky mikroskopického průzkumu, vzorek 8121/V11.

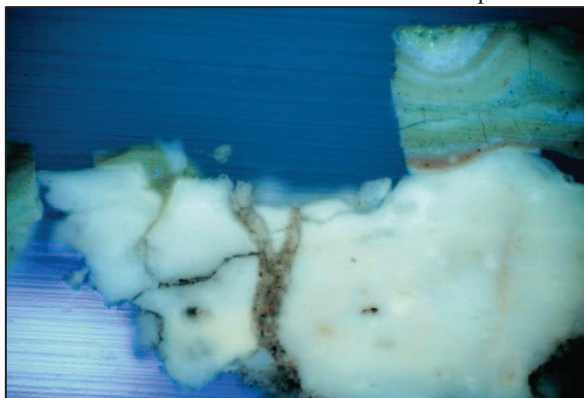
Číslo vrstvy	Popis vrstvy, optická mikroskopie	Složení vrstvy - elektronová mikroskopie s prvkovou analýzou (SEM/EDX)
11.	fragmenty modré vrstvy, viditelné na snímku ze stereoskopického mikroskopu	vrstvy neanalyzovány
10.	bílá , fragmenty, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	
9.	bílá , fragmenty, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	
8.	modro-šedá vrstva, obsahuje modré, červené, tmavé a větší oválné bílé částice, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	
7.	světle zelená vrstva, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	
6.	světle zelená vrstva, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	
5.	světle zelená vrstva, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	
4.	zelená vrstva, obsahuje ojediněle modré částice	Zn, S, Ba, Ca: zinková běloba, barytová běloba, uhličitan vápenatý, blíže nespecifikována
3.	silná béžová vrstva nebo dvě vrstvy, ojediněle modré částice	Ca (Mg): uhličitan vápenatý, malé množství uhličitanu hořečnatého
2.	silná béžová vrstva nebo dvě vrstvy, ojediněle modré částice	Ca (Mg): uhličitan vápenatý, malé množství uhličitanu hořečnatého
1.	fragmenty silné béžové vrstvy, na povrchu patrně nečistoty a biologické napadení	Ca (Zn, Mg, Si): uhličitan vápenatý, malé množství uhličitanu hořečnatého, zinek patrně kontaminace ze zinkové běloby z mladších vrstev
0.	hornina	Ca (Si, Al, Mg): uhličitan vápenatý – vápenec, křemenná zrna Si



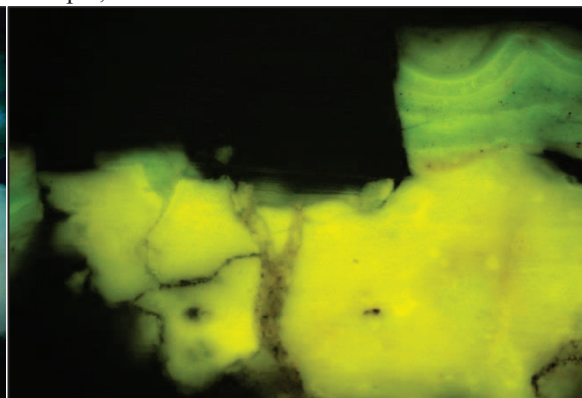
Obr. 92, 93 Stereomikroskopie - dokumentace vzorku z pohledové a spodní strany.



Obr. 94 Optická mikroskopie, bílé světlo.



Obr. 95 Optická mikroskopie, UV záření.



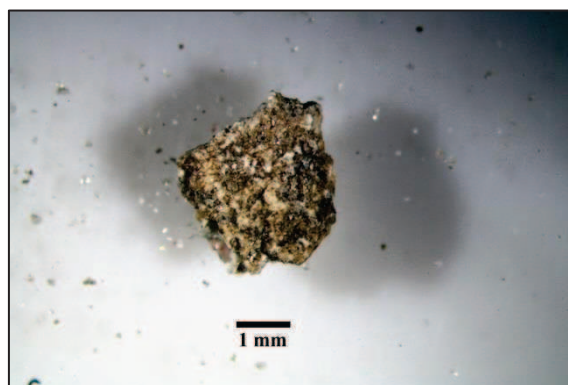
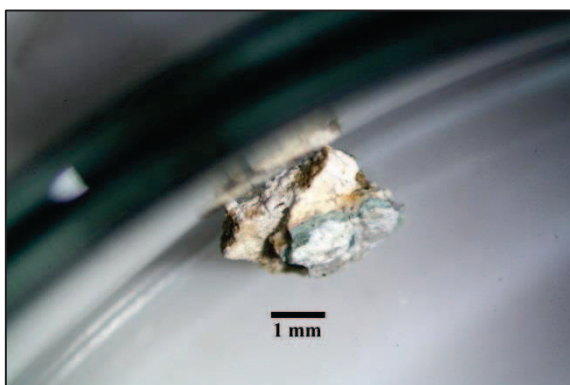
Obr. 96 Optická mikroskopie, modré světlo.



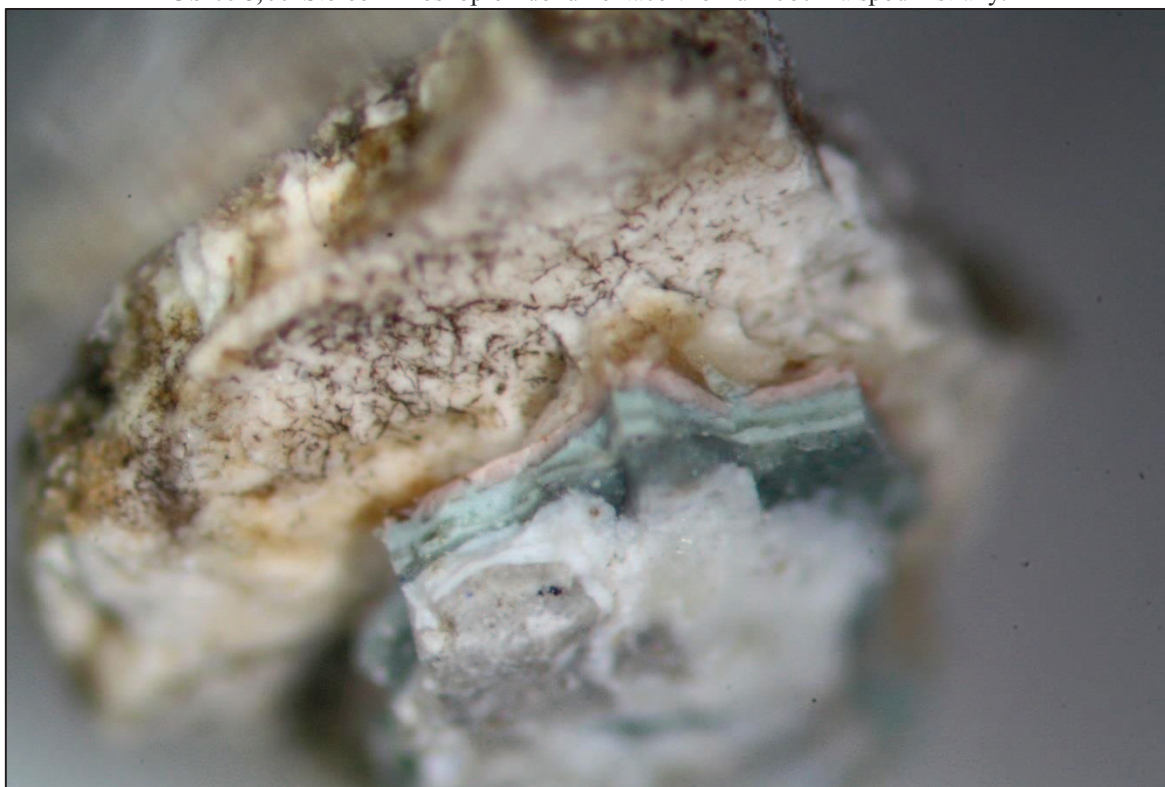
Obr. 97 Lokalizace místa odběru vzorku.

Tab. 19: Výsledky mikroskopického průzkumu, vzorek 8122/V12.

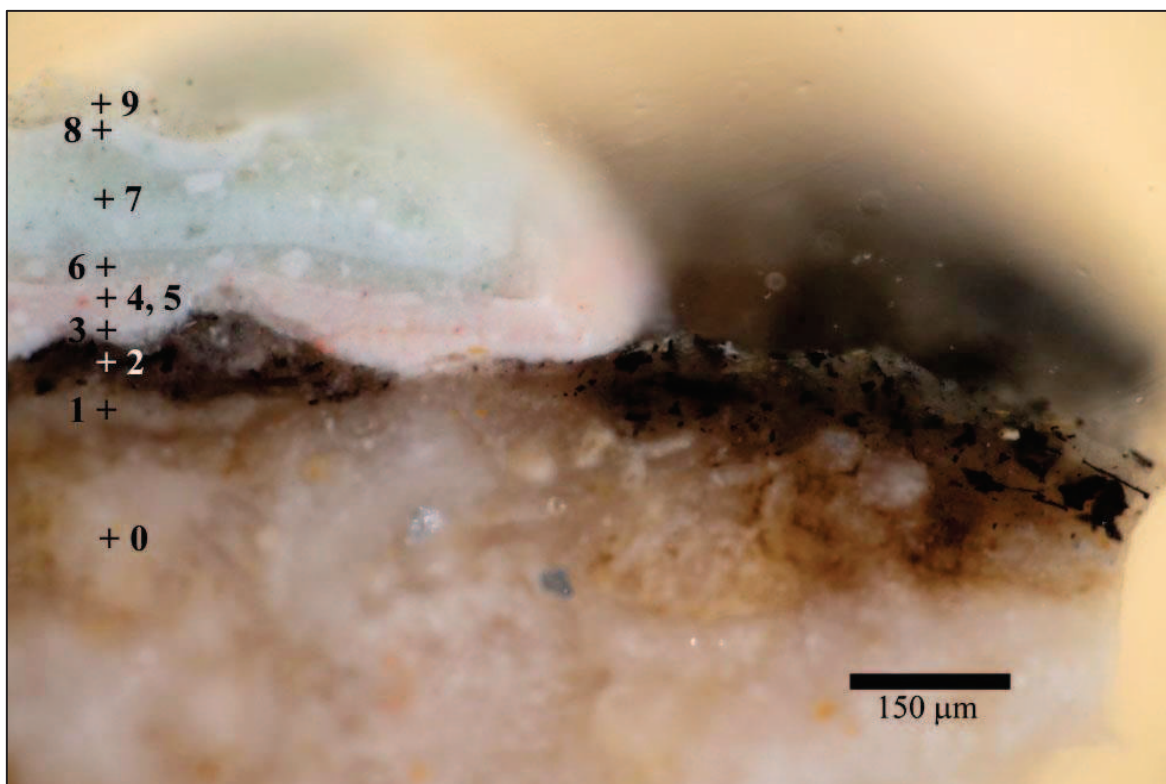
Číslo vrstvy	Popis vrstvy, optická mikroskopie
12.	bílá silná, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba
11.	běžová silná vrstva
10.	tenká organická běžová
9.	bílá , zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba
8.	bílá , zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba
7.	bílá , zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba
6.	šedo-modrá vrstva
5.	světle zelená vrstva
4.	jedna nebo dvě světle zelené vrstvy, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba
3.	růžová , zřejmé červené částice
2.	běžová vrstva, na povrchu biologické napadení
1.	běžová vrstva, patrně nanesená ve více krocích, místy biologické napadení



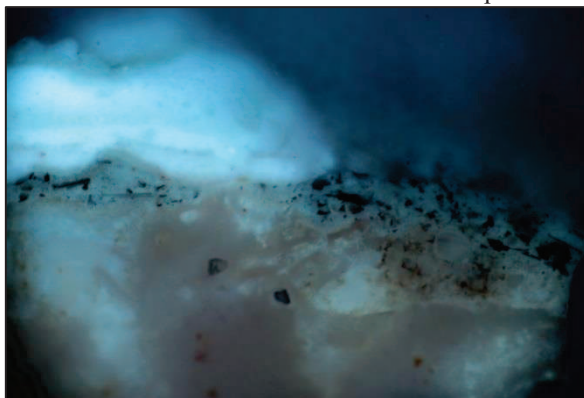
Obr. 98, 99 Stereomikroskopie - dokumentace vzorku z boční a spodní strany.



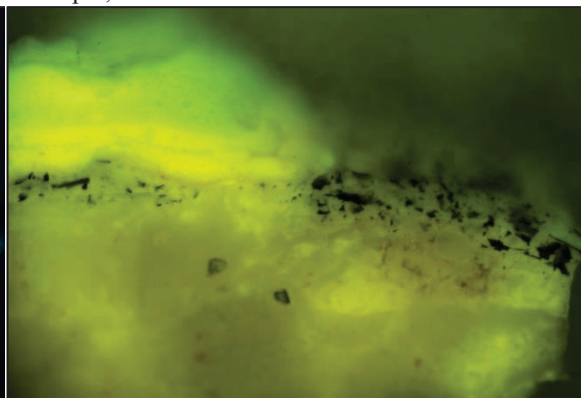
Obr. 100 Stereomikroskopie - dokumentace vzorku, větší zvětšení.



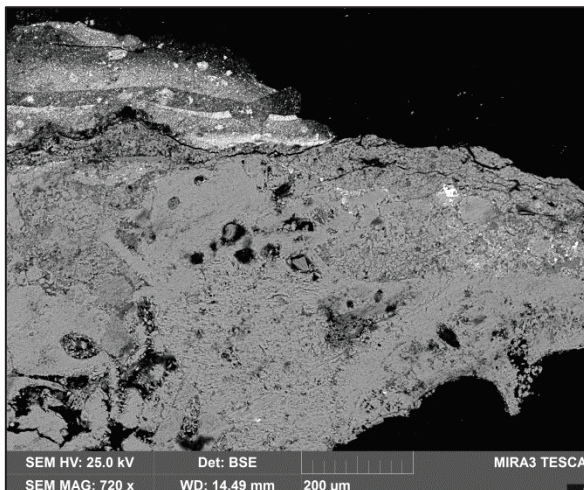
Obr. 101 Optická mikroskopie, bílé světlo.



Obr. 102 Optická mikroskopie, UV záření.



Obr. 103 Optická mikroskopie, modré světlo.



Obr. 104 Lokalizace místa odběru vzorku.

Tab. 20: Výsledky mikroskopického průzkumu, vzorek 8124/V13.

Číslo vrstvy	Popis vrstvy, optická mikroskopie	Elektronová mikroskopie s prvkovou analýzou (SEM/EDX)
9.	fragment světle šedé	vrstvy neanalyzovány
8.	bílá až světle zelená vrstva, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	
6., 7.	světle zelené vrstvy, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	<u>Zn</u> (S, Ca, Ba): zinková běloba, barytová běloba, blíže nespecifikována
5.	tenká světle růžová nebo bílá, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	<u>Zn</u> (Ca, Al, S, Si): zinková běloba, ojediněle zrna rumělký <u>Hg</u> , <u>S</u>
4.	růžová , červené částice, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	<u>Zn</u> (Ca, Al, S, Si): zinková běloba, ojediněle zrna rumělký <u>Hg</u> , <u>S</u>
3.	růžová , červené částice, zeleno-žlutá UV luminiscence – zinková běloba	<u>Zn</u> (Ca, Al, S, Si): zinková běloba, ojediněle zrna rumělký <u>Hg</u> , <u>S</u>
2.	černá vrstva, čern na bázi uhlíku (patrně révová)	<u>Ca</u> (Mg, Si, Al, S, Fe): uhličitán vápenatý, uhlikatá čern, uhličitán hořečnatý, okr
1.	běžová vrstva, fragmenty?	<u>Ca</u> (Mg, Si, Pb): uhličitán vápenatý a zřejmě hořečnatý, pigment na bázi sloučenin olova, zřejmě olovnatá běloba
0.	hornina	<u>Ca</u> (Mg, Si): uhličitán vápenatý - vápenec



Obr. 105, 106 Stereomikroskopie - dokumentace vzorku z pohledové a spodní strany.

Předmětem průzkumu byly povrchové úpravy a množství vodorozpustných solí ve vzorcích odebraných z vápencové sochy sv. Jana Evangelisty, umístěné v nice domu čp. 60 ve Slavonicích.

Průzkum stratigrafie a složení povrchových úprav

K průzkumu povrchových úprav bylo odebráno 16 vzorků, 3 vzorky z celkového počtu byly odebrány ze sochy orla, zbylé vzorky byly odebrány ze sochy sv. Jana Evangelisty. Hlavním cílem průzkumu bylo zjistit stratigrafii povrchových úprav a složení vybraných vrstev. Již z vizuálního průzkumu vyplynulo, že se na objektu nalézá velký počet povrchových úprav tvořících silná souvrství. Celkově bylo zaznamenáno alespoň 12 fází povrchových úprav. Detailní popis jednotlivých vrstev, případně jejich složení jsou uvedeny ve výsledcích se snímky nábrusů vzorků, souhrn a kompilace výsledků jsou uvedeny na konci dokumentu v Příloze. Mnohé ze studovaných povrchových úprav jsou srovnatelné s vrstvami zaznamenanými na soše sv. Petra². Výsledky průzkumu stratigrafie a složení povrchových úprav lze stručně shrnout do následujících odstavců.

Nejstarší dochované povrchové úpravy

Nejstaršími dochovanými povrchovými úpravami jsou zpravidla béžové/okrové a bílé vrstvy, které mohou náležet do více časových fází výtvarného zpracování objektu. Tyto vrstvy jsou nesouvislé nebo jsou přítomny ve fragmentální podobě. Jejich vzájemná stratigrafie není vzhledem k poměrně vysokému stupni degradace vrstev zcela jednoznačná, nelze vyloučit, že některé z těchto vrstev náležely k monochromnímu zpracování objektu. Vrstvy obsahují zejména uhličitán vápenatý, z organických látek proteiny a oleje. Oleje mohou pocházet ze zateklých pojiv mladších povrchových úprav. Výtvarná technika nebyla blíže specifikována. V jedné z mladších fází těchto vrstev byla ojedinele identifikována zrna zřejmě syntetického ultramarínu (cca 1832). Některé z vrstev jsou zejména na povrchu kontaminovány biologickým napadením, jehož aktivita nebyla předmětem průzkumu. Na vzorku z pařátu a krku byla zaznamenána nejstarší vrstva odlišné, tmavá/černé, barevnosti s uhličitánem vápenatým probarvená uhlíkatou, zřejmě réвовou černí.

Nejstarší předpokládaná dochovaná fáze polychromie

Zřejmě poměrně celistvá polychromie následuje po výše uvedených nejstarších povrchových úpravách. V místě rtu se polychromie nalézá na sádrovém tmelu. Polychromie je pravděpodobně vystavěna až ve třech barevných vrstvách. Předpokládaná barevnost částí objektu této výtvarné fáze je následující, plášť – červená, rukáv a šat – zelená, vlasy – hnědá, inkarnát – růžová, pera orla – černohnědá, pařát – okr, sokl – hnědá nebo černá. Ořízka knihy byla pojednána práškovou bronzí (mosazným práškem) na bílém podkladu a s organickou vrstvou. Bílý podklad pro zlacení a zelené vrstvy obsahují zinkovou bělobu, lze tedy předpokládat, že tato polychromní fáze pojednání díla nevznikla dříve než kolem roku 1834. Vrstvy náležící do předpokládané první fáze polychromie obsahují oleje a pravděpodobně také proteiny. Technika malby nebyla blíže specifikována.

Mezifáze povrchových úprav

Následuje několik předpokládaných monochromních mezifází povrchových úprav světle zelených, modro-šedých a bílých odstínů, zřejmě většinou v kombinaci se zlacením plátkovým zlatem na červeném podkladu, které bylo zaznamenáno na ořízce knihy. Vrstvy obsahují organické pojivo.

Mladší fáze povrchových úprav

Mladší povrchové úpravy jsou součástí alespoň 8 fází výtvarného zpracování sochy. Lze předpokládat, že se ve většině případů jedná o monochromní světlé/bílé úpravy, v některých případech se vyskytují v kombinaci se zlacením provedeným práškovou bronzí (ořízka knihy). Dostí silné souvrství těchto povrchových úprav se často od starších vrstev samovolně odlupuje.

² Socha sv. Petra se nalézá v kapli nedaleko sochy sv. Jana Evangelisty. D. Chadim., J. Vojtěchovský: restaurátorský průzkum a dokumentace. Restaurování polychromované sochy sv. Petra. Příloha R. Tišlová, K. Bayer. Chemicko-technologický průzkum. 2008.

Na základě průzkumu metodami optické mikroskopie a skenovací elektronové mikroskopie s prvkovou analýzou (SEM/EDX) byla odvozena přítomnost následujících pigmentů, případně plniv nebo jiných materiálů vyskytujících se ve vybraných vrstvách³:

Bílá, průhledná: uhličitan vápenatý, uhličitan hořečnatý, křemenná zrna, mletý baryt / barytová běloba (1810-1820), zinková běloba (1834), síran vápenatý, zřejmě olovnatá běloba

Žlutá: okr

Červená: červená hlinka, suřík, rumělka

Modrá: zřejmě syntetický ultramarín (1832), nelze vyloučit pruskou modř (1724)

Zelená: zelený pigment na bázi sloučenin chromu (cca 1815)

Černá: uhlíkatá černá/réвовá černá

Pozlacovačské materiály: prášková bronz (měděné šupiny s příměsí zinku), plátkové zlato

Orientační test stability vybraných povrchových úprav v rozpouštědlech

Úlomky vzorků byly ponořeny do vybraných rozpouštědel. Volba rozpouštědel byla řízena zejména polaritou a toxicitou. Posuzována byla soudržnost a přídržnost vrstev při mechanickém namáhání jehlou po ponoření souvrství povrchových úprav do studené a teplé demineralizované vody, ethanolu, acetonu, xylenu, toluenu a lékařského benzínu v časových intervalech 30, 60 a 120 min. Testu byly podrobeny vzorky obsahující nejstarší červené vrstvy předpokládané nejstarší dochované polychromie, dále světle zelené, modrošedé a bílé/světlé vrstvy (viz Příloha na konci dokumentu) náležící do následujících předpokládaných monochromních úprav povrchu objektu. Bylo zjištěno, že jsou vrstvy obecně znatelně citlivější k polárním rozpouštědlům než k nepolárním, nejvíce byly změkčovány, případně narušeny horkou vodou. Znatelně nejméně odolná byla červená vrstva polychromie, jež ztrácela adhezi i kohezi a bylo jí možné mechanicky snadno narušit zejména ve vodě, případně etanolu do třiceti minut. Nejdolnější byly světle zelené vrstvy. Bílé vrstvy byly méně odolné než zelené, nicméně značně odolnější než červená vrstva polychromie. Nepolární rozpouštědla, zejména lékařský benzin, neměla zásadní vliv na chování vzorků. Xylen i toluen měly o něco větší botnací efekt než lékařský benzin, avšak menší než polárnější rozpouštědla. Nebyla sledována ztráta adheze mezi vrstvami s výjimkou červené vrstvy.

Průzkum obsahu vodorozpustných solí (sírany, dusičnany, chloridy)

K průzkumu m vodorozpustných solí bylo odebráno 6 vzorků z míst, kde bylo předpokládáno provedení vrtů v rámci dalšího restaurátorského postupu. V odebraných vzorcích byly zjištěny nízké až střední koncentrace dusičnanů, síranů a chloridů. Poškození objektu je pravděpodobně způsobeno zejména odstříkovou, případně vzlínající vodou i anorganickými solemi. V důsledku vlivu těchto fenoménů zřejmě nastala ztráta adheze barevných vrstev. Vrstvy se od sebe oddělují také kvůli jejich vysokému počtu a značné tloušťce, případně díky materiálové nekompatibilitě.

ZPRÁVA Z CHEMICKO-TECHNOLOGICKÉHO PRŮZKUMU

Počet stran:	46
Autor:	Petra Lesniaková
Místo:	Katedra chemické technologie Fakulta restaurování, Univerzita Pardubice, Jiráskova 3, Litomyšl
Datum:	30. 5. 2016

³ Zdroj literatury k identifikaci, případně orientačnímu časovému zařazení využití pigmentů: Šimůnková E., Bayerová T. Pigmenty. STOP. Praha 2014. ISBN 978-80-86657-17-2.



Obr. 107 Lem pláště, pravé rameno, 8110/V0, 8111/V1.



Obr. 108 Pravá ruka rukáv, 8112/V2.



Obr. 109 Ořizka knihy, 8113/V3.



Obr. 110 Levá strana hlavy, 8114/V4.



Obr. 111 Spodní ret sochy, 8115/V5, 8116/V6.



Obr. 112 Levá ruka, 8117/ V7.



Obr. 113 Ocas orla, 8118/V8.



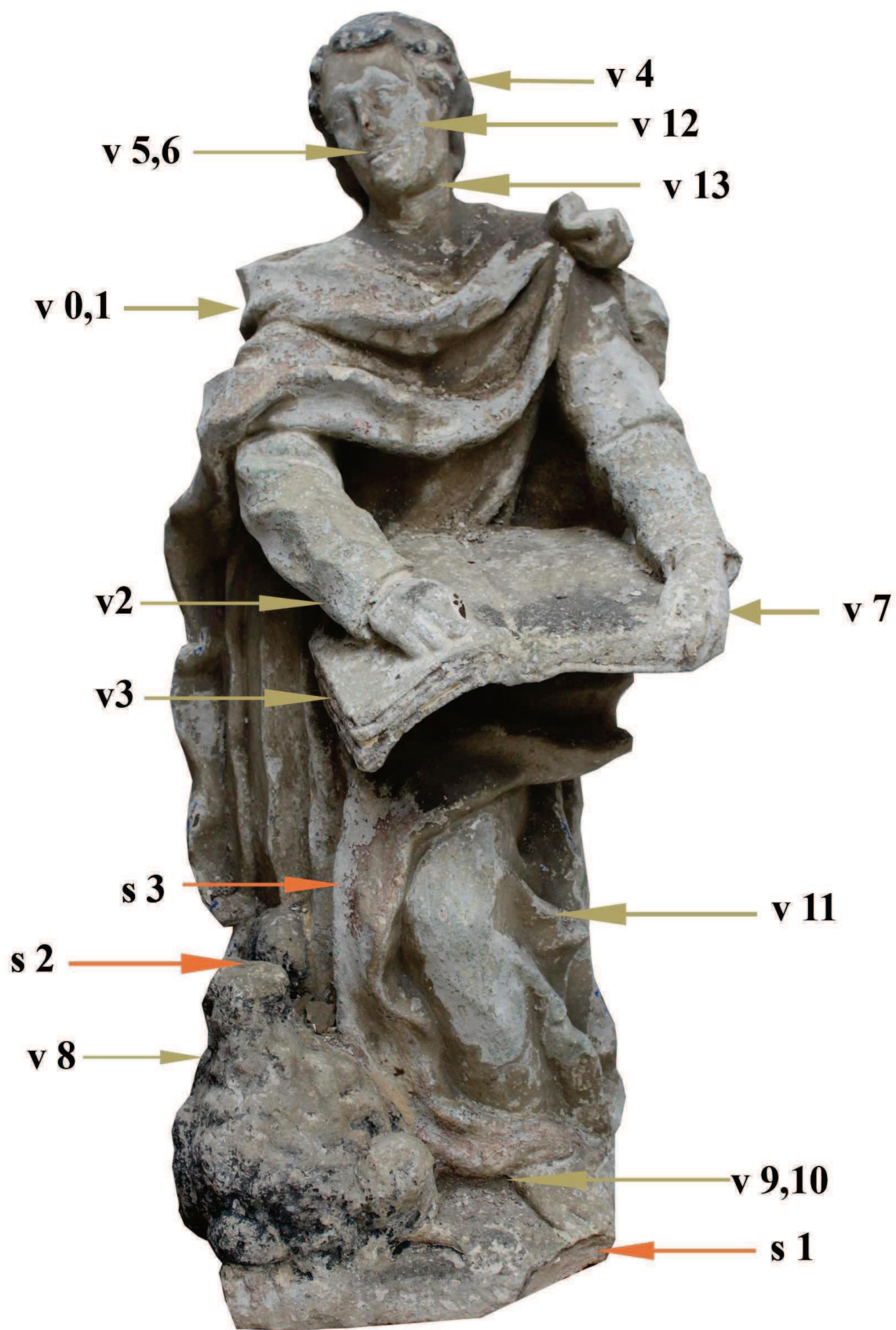
Obr. 114 Pařát orla, 8119/V9, 8120/V10.



Obr. 115 Tvář, 8122/V12.



Obr. 116 Krk, 8124/V13.

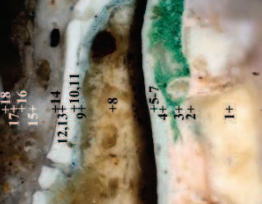

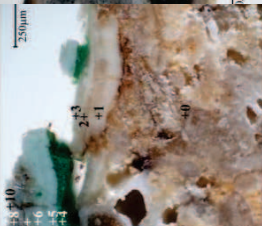
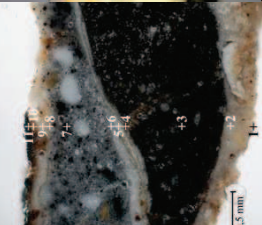
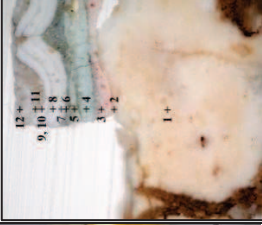
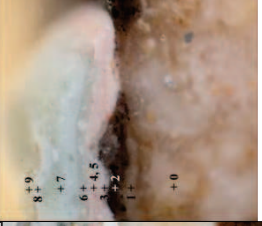

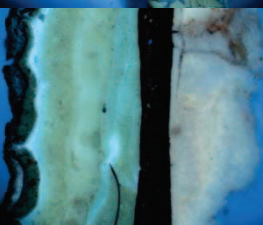
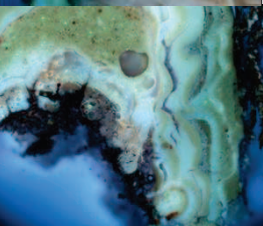
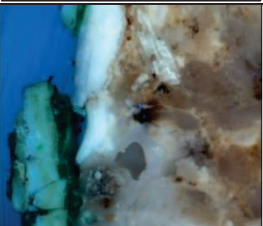


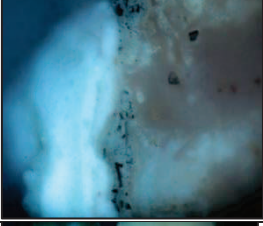


Obr. 117 Lokalizace míst odběrů vzorků povrchových úprav.

PŘÍLOHA – PŘEHLED VZORKŮ A VÝSLEDKŮ PRŮZKUMU STRATIGRAFIE POVRCHOVÝCH ÚPRAV, ČÁST I

Vz.	8110/plášť	8111/plášť	8112/rukáv	8113b/otřizka, spodní vrstvy	8113a/otřizka svrchní vrstvy	8114/vlasy	8116/ret
Optická mikroskopie bílé světlo							
Optická mikroskopie UV záření							
	27hnědá 26šedobílá 20-25bílé, hnědé 16-20našedlé 13-15šedé, bílá 12našedlá	-	13okrová	35 hnědá 33, 34 žluté 25-32 hnědé, modrá, bílé 18-24 šedé, bílé 16, 17šedá, bronz 14, 15šedá, bronz 13zlato	23světlá 22tmavá 20, 21světlé 18našedlá 18okr 16, 17bílá 15bílá 14bílá 13šedomodrá 11, 12zelená 8-10zelené 4-7tmel, hnědočervené	18 fragment šedá 17bílá/našedlá 16bílá 15bílá 14bílá 13šedomodrá 11, 12zelená 8-10zelené 5-7 ružová 4běžová 1, 2běžové 2-3bílá/běžové 1běžová	
fáze	-	12našedlá	13našedlá	-	12, 13červená, zlato	16, 17bílá	16bílá
fáze?	-	11bílá	12bílá	11bílá	12, 13červená, zlato	15bílá	15bílá
fáze?	-	10bílá	11bílá	10bílá	11bílá	14bílá	14bílá
fáze	-	9 bílá	10bílá	9šedomodrá	9šedomodrá	13šedomodrá	13šedomodrá
fáze	-	8 šedomodrá	9 šedomodrá	7, 8červená, zlato	7, 8červená, zlato	11, 12zelená	11, 12zelená
fáze?	-	6, 7 zelená	7, 8zelená	5, 6 zelené	5, 6světlé/zelené	8-10zelené	8-10zelené
fáze?	-	4, 5 zelené	3-4zelené	3, 4 bronz na bílé	3, 4 bronz na bílé	4-7tmel, hnědočervené	5-7 ružová
fáze	-	3 červená	3-4zelené	2běžová	2běžová	3běžové	4běžová
fáze	-	2běžová	2běžová	1běžová	1běžová	1, 2běžové	2-3bílá/běžové
1832	-	1běžová	1běžová	0 fragmenty vápence	0 fragmenty vápence	-	1běžová
fáze?	-	0 fragmenty vápence	-	-	-	-	-
podklad	-	0 fragmenty vápence	-	0 fragment vápence	0 fragment vápence	-	-

PŘÍLOHA – PŘEHLED VZORKŮ A VÝSLEDKŮ PRŮZKUMU STRATIGRAFIE POVRCHOVÝCH ÚPRAV, ČÁST II

Vz.	8117/ruka inkarnát	8118/oral	8119/pařát-podstavce	8112/sat	8119/pařát-podstavce	8120/pařát	8122/tvář inkarnát	8124/krk inkarnát
Optická mikroskopie bílé světlo								
Optická mikroskopie UV záření								
	17,18okry 16šedá? 14,15běžové 13našedlá?	20šedá/černá 19šedá 18černá	20tmavě hnědá 19hnědá 18našedlá 16,17bílá 14,15bílá 12,13běžová 10,11bílá 8šedomodrá 9šedá	- 10bílá 9bílá 8bílá 7šedomodrá	11černá 10hnědá 9bílá 8tenká okr 7šedá silná 6bílá 5bílá/okrová 4bílá/šedá 3černá 2běžová 1fragment hnědá	8okr 4-7bílé 3žlutá/okr 2běžová 1šedá	12 fragment šedá 11 bílá/našedlá 9, 10 bílá 8bílá 7bílá 6šedomodrá 5 zelená 4 zelená 3 růžové	8+9 9, 10+11 +8 +7 +6 +5 +4 +3 +2 +1 +0
fáze		17šedá 16šedá 15bílá 14běžová 13bílá 12šedomodrá	8šedomodrá 9šedá	7šedomodrá	6zelená 5 zelená 4zelené	3běžová	2běžová 1běžová	9šedomodrá 7, 8zelená 6 zelená 3-5 růžové
fáze		10,11zelená 7-9zelené	6zelená 3-5zelené	4zelené	3běžová	2běžová 1běžová	2tmavá 1běžová?	2tmavá 1běžová?
fáze		4-6černá/červená 3běžová	2šedá/fragment hnědá 1hnědá?	3běžová	2běžová 1běžová	0 fragmenty vápence	0 fragmenty vápence	0 fragmenty vápence
1834								
fáze		3běžová	1hnědá?	3běžová	2běžová 1běžová	0 fragmenty vápence	0 fragmenty vápence	0 fragmenty vápence
1832								
fáze?		2běžová 1okr?	2běžová 1běžová	0 fragmenty vápence	0 fragmenty vápence	0 fragmenty vápence	0 fragmenty vápence	0 fragmenty vápence
podklad								

Archivní rešerše Poutní kostel Montserrat ve farnosti Cizkrajov

zpracovala PhDr. Marie Plevová, Ph.D., Diecézní archiv Biskupství brněnského

Archivní rešerše: Poutní kostel Montserrat ve farnosti Cizkrajov

Zakladatelem poutního kostela byl Bartoloměj rytíř von Tannazoll et Zill na Dolním Bolíkově.¹ Podstatnou část svého života strávil službou ve vojsku,² a to za císařů Ferdinanda II. a Ferdinanda III. Za třicetileté války byl u Schenkenschanze raněn celkem 14 zásahy a zůstal ležet na bitevním poli. Tehdy učinil slib Panně Marii, že pokud se uzdraví, podnikne děkovnou pouť do Montserratu ve Španělsku, což také skutečně splnil.³ Roku 1643 ho císař Ferdinand III. povýšil do rytířského stavu a jmenoval hejtmanem jihlavského kraje. O rok později Bartoloměj koupil statek Volfířov a svobodný dvůr v Cizkrajově. Rozhodl se, že na kopci u Mutné vystaví k počtě Panny Marie a sv. Josefa větší kamennou klenutou kapli. Stavba byla dokončena roku 1651 a zakladatel jí daroval mariánskou sochu podobnou Madoně z katalánského Montserratu. Kolem kaple pak zbudoval ještě dalších šest kapliček s bundwerkovou výzdobou a dále čtyři poustevny.⁴ 28. 4. 1955 Bartoloměj z Tannazollu požádal biskupskou konzistoř o povolení, aby zde mohly být slouženy mše sv. Bylo mu vyhověno s podmínkou, že to nebude na újmu farnímu kostelu a že musí kostelík zajistit určitou sumou peněz, potřebnou na jeho další stavební údržbu, a to formou odkazu na věčné časy.⁵ 10. května 1655 vydal v Dolním Bolíkově zakládací listinu,⁶ kterou konfirmovalo olomoucké biskupství 24. května 1655. Ve prospěch kaple zřídil nadaci, jejíž kapitál činil 8000 zl., postaral se také o hmotné

1 Jeho jméno se v pramenech uvádí i v podobě Tonnazoll.

2 Cizkrajovský farář Josef Springer uvádí, že na bojištích pobyl plných 46 let. (Diecézní archiv Biskupství brněnského – dále DABB - fond Farní úřad Cizkrajov – dále FÚ Cizkrajov - inv. č. 65, kart. 2 – Pojednání o kostele Mont Serrat ve farnosti cizkrajovské, 1908).

3 Tamtéž

4 DABB, FÚ Cizkrajov, inv. č. 1 – Protocollum domesticum farnosti Cizkrajov (1789–1911)

5 DABB, fond Biskupská konsistoř Brno – dále BKB - inv. č. 2766, sg. S 12, kart. 781 - Cizkrajov, kaple Montserrat (1651-1769)

6 DABB, fond BKB, inv. č. 11 705, sg. 6, kart. 704 – 10. května 1654, Cizkrajov Bartoloměj z Tannazollu a Zillu, hejtman jihlavského kraje, zřizuje při svém dvoře u Cizkrajova novou kapli. Ohlášeny pečeti vydavatele a svědků: Ferdinanda Viléma Slavaty z Chlumu a Košumberka, Františka ze Schneidau a Adama Václava Maxa Lipovského z Lipovic. Orig., perg. sešit o 4 listech, svázaných žlutou tkanicí 23 x 28 cm, se čtyřmi na perg. proužcích a v dřevěných pouzdrech přivěšenými pečetěmi vydavatele a svědků: druhá a čtvrtá pečeť utržena, třetí vyloupnuta, připojeny podpisy.

zajištění kněze.⁷ Kopec i kapli lidé začali nazývat Montserrat. Mše sv. se tam zpočátku sloužily dvakrát ročně, a to na svátek sv. Filipa a Jakuba (1. května) a na Navštívení Panny Marie (2. července), přicházelo sem prý až 24 procesí z okolí.

Po Bartolomějově smrti⁸ svobodný dvůr Cizkrajov i s Montserratem koupil generál František ze Schneidau,⁹ který ho přičlenil ke svému statku Staré Hobzí. I on velmi podporoval kapli stejně jako jeho nástupci – syn Jindřich, Marie Markéta Trautsonová, hraběnka z Falkensteinu a od roku 1694 hrabata z Deblína. Nadšeným propagátorem poutního místa byl farář Matěj Engelbert Sissenbeck.¹⁰ Sbíral zprávy o zázračně vytrysklém pramenu,¹¹ šířil chápání obrazu jako zázračného. Pilně zaznamenával svědectví o nadpřirozených uzdraveních na přímluvu Panny Marie Montserratské.¹² Uvádí dokonce, že čtyřem věřícím se přímo zjevila Panna Maria.¹³

Sissenbeck se snažil zajistit kapli i hmotně, z jeho podnětu došlo k založení několika nadací na její podporu. Na vydržování druhého cizkrajovského kaplana s povinností sloužit mše na Montserratu vznikla 13. 5. 1706 Tamischova nadace,¹⁴ roku 1716 pak farář Sissenbeck založil další fundaci na vydržování kaplana třetího.¹⁵

7

Ještě dlouhou řadu let se ovšem řešil problém, jak spravedlivě vyřešit odvádění desátků. (DABB, fond BKB, inv. č. 2766, sign. S 12, kart. 781, Cizkrajov, kaple Montserrat – 1651-1769)

8

Byl pohřben ve farním kostele v Cizkrajově a ve zdi má náhrobek s datem 4. 7. 1658. (DABB, FÚ Cizkrajov, inv. č. 65, kart. 2 – Josef Springer: Pojednání o kostele Mont Serrat ve farnosti cizkrajovské, 1908)

9

Zemřel roku 1674. (Tamtéž)

10

Farářem byl v letech 1694-1734.

11

Za osm dní po vytrysknutí se prý voda ztratila a teprve po pěti týdnech obnovila. (DABB, fond BKB, inv. č. 2766, sign. S 12, kart. 781, Cizkrajov, kaple Montserrat – 1651-1769)

12

Za období 1661-1733 zapsal 63 případů, jeho nástupci připojili dalších 13, poslední z roku 1780. (Připomínalo se zázračné uzdravení Matěje Grüna, Dvořáka z Mutné, ze 14 týdnů trvajících bolestí nohou roku 1696, příhodu, kdy při nehodě na stavbě zámku ve Starém Hobzí 11. 7. 1726 dva zedníci a jeden podavač šťastně vyvázli z nebezpečí života, podobnou událost z téhož dne, kdy zborcená stěna jen zázrakem nezabila dvě spící dvě služky a malé dítě, neštěstí, při němž se 21. 5. 1757 na pětiletého syna Ondřeje Hofbauera z Rakouska převrátil vůz, plný dříví, avšak po otcově příslibu pouti na Mont Serrat, synek přišel k sobě, obdobnou nehodu ze 17. 12. 1752, kdy jistý domkař nešťastnou náhodou na dvoře upadl a srazil malé dítě, jež to ovšem přežilo. Tříletá sestra Kristiny Kunhuty, baronky ze Schneidau se prý uzdravila z těžké nemoci... Tyto příhody bývaly zaznamenávány na votivních destičkách na kostele.) (FÚ Cizkrajov, inv. č. 65, kart. 2 - Josef Springer: Pojednání o kostele Mont Serrat ve farnosti cizkrajovské, BKB, inv. č. 2766, sign. S 12, kart. 781, Cizkrajov, kaple Montserrat 1651-1769)

13

Byli to: Petr Waht, jeho žena Marie, dále Anna Janková a Kateřina Pertoldová (DABB, fond BKB, inv. č. 2766, sign. S 12, kart. 781, Cizkrajov, kaple Montserrat – 1651-1769).

Při kostele vzniklo bratrstvo Jesus Maria Josef.¹⁶ Další nadace na podporu Montserratu založil roku 1712 Karel Teofil hrabě z Eichbühlu a o čtyři roky později pak Zuzana Eleonora svobodná paní Orlíková, rozená Kobylková,¹⁷ roku 1719 pak byla při panství dačickém připsána fundace od barona z Deblína.¹⁸ K doprovodným stavbám kolem vlastní kaple přistavěl Sissenbeck tři další kapličky a jednu poustevnu (asi na způsob křížové cesty), nad západním portálem zřídil Boží hrob.¹⁹ Vydatnou podporu ve svém snažení o povznesení poutního místa nacházel Sissenbeck u patronky kaple a majitelky panství paní Marie Markéty Trautsonové, hraběnky von Falkenstein. S její finanční pomocí nechal roku 1707 opravit na Montserratu rozbitou střechu.

To už kaple svou kapacitou přestávala množství poutníků, kteří sem přicházeli, dostačovat, a tak bylo rozhodnuto rozšířit ji na kostel. Velkorysou podporu tomuto záměru poskytl generál Filip Erasmus kníže z Liechtensteinu i vlastník panství Staré Hobzí hrabě Maxmilián z Deblína. Stavba byla zahájena roku 1712 a dokončena roku 1716.²⁰ Na novou loď se údajně spotřebovalo 100 000 cihel. Uvnitř nového kostela byla zřízena kaple sv. Michaela.²¹ Kostel byl vysvěcen 8. 9. 1717 na svátek Panny Marie a toho dne se zde slavila první mše sv. Biskupská konzistoř v Olomouci pověřila celebrováním Jana Arnošta de Jamayera, faráře ve Waidhofenu nad Dyjí. Brzy po vysvěcení se za hlavním oltářem ukázal pramen. Byla zde

14

Jakub Josef Tamisch, farář novoříšský, poutní kapli věnoval 2000 zl. rýnských (Fundační instrument Sabathinae devotionis serratenae) (DABB, fond BKB, inv. č. 2851, sign. 1, kart. 795, Fundační a erekční instrumenty kaplanů – Cizkrajov – 1706).

15

Fundace obnášela 3000 zl. rýnských se 6 % úrokem. Třetí kaplan byl zavázán pouze, aby sloužil týdně jednu mši sv. a k tomu 4x ročně mši výroční. Místo třetího kaplana se ovšem ukázalo časem jako nadbytečné a většinou ani obsazováno nebylo. (Tamtéž).

16

Na jeho podporu vznikla roku 1706 speciální nadace 2000 zl. rýnských na 6% úrok, o rok později věnoval 50 zl. rýnských k podpoře tohoto bratrstva Jakub Josef Tamisch, a to s podmínkou, že za živé i zemřelé členy kongregace se bude sloužit ročně na Montserratu 12 mší. (Tamtéž)

17

Přesné datum založení bylo 1. 11. 1716. Vklad činil 3000 zl. rýnských, z úroků se měly sloužit 4 mše sv. týdně za hraběnku a jejího zemřelého manžela. Po redukci se už jednalo jen o 2 mše týdně. (Tamtéž)

18

Vklad činil 10 000 zl. na 6 % úrok. (Tamtéž)

19

Josef Springer: Ursprung und Schicksale der Mont Serrater Marienkirche, s. I., s. d. (DABB, fond BKB, inv. č. 10 108, sg. S 810, kart. 2 362 – Cizkrajov, kostel Montserrat – 1865-1912)

20

Tamtéž.

21

DABB, fond BKB, inv. č. 2 766, sg. S 12, kart. 781 – Cizkrajov, kaple Montserrat – 1651-1769.

vyhloubena studna, v níž voda nechyběla ani v létě. Poutníci ji považovali za léčivou a nabírali si ji domů.²²

O tom, jak nový kostel vypadal, se dozvídáme až z popisu faráře Vincence Penišky z roku 1858 nebo z pera jeho nástupce Josefa Springera,²³ který pravděpodobně čerpal z Peniškou založené a dnes již nedochované pamětní knihy kostela montserratského.²⁴ Ta ovšem mohla stav z 18. století zachytit také pouze retrospektivně. Rozšířený kostel měřil na délku 20 sáhů, šířka činila 7,5 sáhu. Měl dvě sakristie a nad každou z nich oratoř. Kromě kazatelny zde bylo pět oltářů. Hlavní oltář představoval Montserrat, v jeskyni byl uložen zasklený obraz Panny Marie. V kostele i kolem něho stálo několik soch svatých. Koho ovšem představovaly konkrétně, se v pramenech neuvádí, víme jen, že jeden oltář stál pod klenbou u vchodu a znázorňoval Ukřižování – pod velkým křížem stála z jedné strany socha Panny Marie, z druhé socha sv. Jana Evangelisty. V jeskyňce pod kostelem pak byla vyobrazena scéna ukládání Krista do hrobu. Zmiňována je také parapetová zeď o délce 38 vídeňských sáhů a poustevna. Vrchnost prý vystavěla další dvě kaple. Snad je možné je ztotožnit s kaplemi Panny Marie Bolestné a sv. Josefa, o nichž se zmiňuje Peniška k roku 1858.²⁵

I ve své rozšířené podobě se kostel těšil přízni rodiny svého původního zakladatele. Na přání Marie Anny Heruly z Tannazollu a Zillu, která zemřela 1. 1. 1746 a přála si být pohřbena v kryptě kostela na Montserratu, byla založena 1. 5. 1750 fundace tannazollská. Z úroků zbožného odkazu 1000 zl. měli členové Bratrstva Ježíš, Maria a Josef u privilegovaného oltáře čtyřikrát ročně zpívat rekviem za její duši.²⁶

Josefinským obdobím se doba rozkvětu poutního chrámu uzavírá. 6. 8. 1785 v něm cizkrajovský farář Šimon Vavřinec Částka²⁷ sloužil poslední mši sv. a následujícího roku byl kostel na příkaz císaře odsvěcen a vyklizen. Na žádost faráře

22

Návštěvníků kostela přibývalo. Zatímco zpočátku se mše sv. na Montserratu sloužily třikrát ročně, a to na svátek sv. Filipa a Jakuba, na Nanebevzetí Panny Marie a na svátek Narození Panny Marie (DABB, fond BKB, inv. č. 10108, sg. S 810, kart. 2362 – Cizkrajov, kostel Montserrat 1865-1912), Josef Springer ve svém spisku Ursprung und Schicksale der Mont Serrater Marienkirche, s. I., s. d. (tamtéž) uvádí, že za vrcholného rozkvětu poutního místa bylo napočítáno ročně až 7-8 tisíc komunikantů a přes 500 odsloužených mší sv.

23

DABB, fond FÚ Cizkrajov, inv. č. 65, kart. 2 – Pojednání o kostele Mont Serrat ve farnosti cizkrajovské, 1908

24

Peniška sám údajně popsal 127 velkoformátových listů této kroniky, záznamy obsahovaly zprávy o počtu poutníků a o významných návštěvách, které na místo zavítaly.

25

DABB, fond BKB, inv. č. 10108, sg. S 810, kart. 2362 – Cizkrajov, kostel Montserrat 1865-1912

26

DABB, fond FÚ Cizkrajov, inv. č. 1 – Procollum domesticum farnosti Cizkrajov (1789-1911), f. 85

27

V Cizkrajově byl farářem v letech 1776-1792, pak se stal farářem v Dačicích.

povolilo Moravskoslezské zemské gubernium svým dekretem z 16. 8. 1786, aby byla Thaumaturga přenesena do farního kostela, ovšem zdůraznilo, že se tak má stát „beze vší okázalosti, zcela v tichosti.“²⁸ Socha našla své místo na hlavním oltáři na místě již starého a poškozeného obrazu sv. Petra a Pavla.²⁹ Tři zvony a varhany byly spolu s dalším inventářem předány nově zřízenému kostelu v Olšanech. Ostatní vybavení kostela bylo rozprodáno v dražbě a výtěžek byl předán Náboženskému fondu. Josef Springer ve svém Pojednání o kostele Mont Serrat ve farnosti cizkrajovské z roku 1908³⁰ uvádí, že obrazy, představující Dobrého pastýře a dále sv. Ignáce, klečícího před obrazem v Montserratu ve Španělsku, byly přeneseny do hřbitovní kaple ve Slavonicích. O sochách (bez bližšího určení) se zmiňuje, že „stojí tu a tam v okolí.“ Vlastník panství Staré Hobzí, rytíř von Flick koupil kostel a kapličky, vyklizení přitom přenechal zednickému mistru Dunkelovi ze Slavonic. Střecha a klenba byly sneseny, zůstaly jen čtyři stěny. Dvě kaple se adaptovaly na obytné domky. Dvě sakristie s oratořemi byly postupně také rozebrány a kameny odváženy na stavby v okolí. Cihly z kostela byly použity na stavbu židovské modlitebny ve Volfířově, z kostela nakonec zbyly jen čtyři holé zdi.³¹ Podle tradice prý se ještě v roce 1830 z nich pokoušeli občané stavět klenutý most nad příkopem u Mutné. Kameny byly údajně tak obrovské, že každý musela táhnout čtyři tažná zvířata. O svátku Božího Těla večer byl most hotov. Pak ale přišla průtrž mračen a kameny strhla, takže podle očitých svědků po celém díle nezbylo ani stopy. Od té doby se prý nikdo na kameny neodvážil sáhnout.

Když byly poutě zrušeny, ukázalo se, že místo druhého a třetího kaplana je zcela nadbytečné, nadační podpora pak byla poukazována na vydržování kaplana v Dačicích a v Lipolci.³²

V roce 1833 nastoupil na cizkrajovské beneficium farář Vincenc Peniška. Zbytky někdejšího poutního kostela na něj učinily velký dojem. V pamětní knize farnosti Cizkrajov³³ je popisuje takto: *Tehdy stála jenom střecha a ruiny bez klenby, čtyři zděné stěny byly na spadnutí, v nich rostlo několik stop vysoké křoví a divoká*

28

DABB, fond BKB, inv. č. 2142, sg. S 265, kart. 748 – Přenesení zázračné sochy Bohorodičky v Cizkrajově - 1786

29

V roce 1834 byla socha opravena – srv. DABB, fond FÚ Cizkrajov, inv. č. 1 – Protocollum domesticum farnosti Cizkrajov (1789–1911), f. 206

30

DABB, fond FÚ Cizkrajov, inv. č. 65, kart. 2

31

Josef Springer: Ursprung und Schicksale der Mont Serrater Marienkirche, s. I., s. d. (DABB, fond BKB, inv. č. 10 108, sg. S 810, kart. 2362 – Cizkrajov, kostel Montserrat – 1865-1912).

32

Kaplani Václav Kratochvíl (v letech 1789-1795), Karel Maštaliř (1795) a Vavřinec Danča (1796-1805) si nadační podporu přenesli na své působišťe do Dačic. Obdobně byl z kaplanské nadace vydržován r. 1789 i Kašpar Christián v Lipolci. Farář Vincenc Peniška si vyřídil na biskupské konzistoři sloučení nadací Tamischovy a Sissenbeckovy do jedné. (DABB, fond BKB, inv. č. 9 957, sg. S 585, kart. 2351 – Cizkrajov – fundace kaplana 1836-1849, a inv. č. 9627, sg. S 154, kart. 2322 – Cizkrajov 1778-1949).

tráva, a v otvorech stěn hnízdilo množství havranů a kavek. Uvnitř na pravé stěně bylo velkými písmeny napsáno: „Jak předstoupí na věčnost ten, kdo tento krásný chrám Páně tak svévolně zničil?“ Vzpomínka na někdejší pouti mezi lidmi v okolí zůstávala po desetiletí živá, mariánští ctitelé navštěvovali sochu madony ve farním kostele a chodili konat své pobožnosti i do zpustlých zdí, v nichž si upravili jakousi nouzovou kapli. To vedlo faráře k myšlenkám na obnovu poutního chrámu. Zdatného pomocníka přitom našel ve svém kooperátorovi Josefu Springerovi, který do Cizkrajova přišel coby novokněz roku 1852. V roce 1857 při příležitosti žehnání polního kříže vyslovil záměr obnovy Montserratu veřejně a vyzval věřící k uspořádání sbírky na tento účel. Výsledek byl žalostný – sebralo se všeho všudy 17 zl. 30 kr. konv. m. Sbírkou se pak ale opakovaly i v okolních vesnicích, a přestože příspěvky byly většinou malé, podařilo se lidi nadchnout. Podporu našel farář i u majitelů lesů v okolí – věnovali několik set kmenů stavebního dříví. Jako architekt se uplatnil Michael Angelo Picchioni, c. k. major ženijního pluku, někdejší profesor stavitelství na c. k. ženijní akademii, který roku 1857 koupil statek Český Rudolec a Volfířov. Stavitelem byl Jan Strommer. Finančně se o obnovu kostela zasloužili kromě samotného faráře zejména František, rytíř von Ehrenstrom z Vídně,³⁴ Josef a František Krafkovi z Cizkrajova, dr. Řehoř Wolný, podpřevor benediktinského kláštera v Rajhradě, Friedrich říšský svob. pán von Dalberg, Martin Neuwirth, ředitel hlavní školy ve Vídni. Částkou 500 zl. rak. měny přispěl na stavbu kostela bývalý císař Ferdinand V. První procesí na obnovený Montserrat vyšlo už 13. října 1861,³⁵ roku 1864 papež Pius IX. udělil poutnímu kostelu odpustky pro dny Narození a Navštívení Panny Marie a na svátek sv. Filipa a Jakuba a v následujícím týdnu.³⁶ Socha Panny Marie Montserratské se vrátila na své původní místo.³⁷ Slavnostní svěcení se konalo 2. července 1865, světitel byl brněnský biskup Schaffgotsche, slavnosti se zúčastnilo na 10000 věřících. V procesí sem byly přeneseny ostatky sv. mučedníků Felixe, Fortunata a Perpetua a umístěny do oltářní schránky. Od tohoto

33

DABB, fond FÚ Cizkrajov, inv. č. 1, fol. 229-230

34

Kromě peněžní podpory věnoval kostelu čtrnáct obrazů křížové cesty, stříbrnou a pozlacenou monstranci o váze 92 lotů a oltářní lampu.

35

Josef Springer: Ursprung und Schicksale der Mont Serrater Marienkirche, , s. l., s. d. (DABB, fond BKB, inv. č. 10 108, sg. S 810, kart. 2 362 – Cizkrajov, kostel Montserrat – 1865-1912).

36

DABB, fond Biskupský ordinariát Brno, inv. č. 4405, sg. S 294, kart. 616, Vincenc Peniška, čestný děkan a farář v Cizkrajově..., 1864-1865.

37

Farní kostel místo ní dostal náhradou obraz Neposkvrněného početí Panny Marie, malovaný vídeňským malířem Ignácem Dullingerem na zámku v Dačicích.(FÚ Cizkrajov, inv. č. 65, kart. 2 – Josef Springer: Pojednání o kostele Mont Serrat ve farnosti cizkrajovské, 1908)

roku se již v kostele sloužily mše sv.³⁸ Na Montserratu se pak usadil i poustevník, kostelní hospodář Jan Kraus.³⁹

Pečlivě se o poutní kostel staral i Peniškův nástupce farář Josef Springer.⁴⁰ Nechal při kostele přistavět předsíňku k sakristii, pořídil oltářní obraz sv. Josefa. Roku 1897, když byla věž kostela již potřetí zasažena bleskem, nechal ji opatřit hromosvodem a celou zrenovovat. Pod kostelem nechal roku 1899 zbudovat grottu s kaplí Panny Marie Lurdské. Vybavil ji sochou Panny Marie a soškou sv. Bernadetty, oltářním křížem a čtyřmi svícny. Slavnostní přenesení relikviářového oltářního kamene z kostela v Cizkrajově do kaple na Montserratu se konalo 13. května 1900, kapli světil prelát Josef Karásek OPraem z kláštera v Nové Říši. O tři roky později, 13. května 1903, se do kostela pokusili vloupat zloději, farář proto kostel nově vysvětil. Roku 1905 Springer nechal opravit střechu kostela na Montserratu. Roku 1911 převzal nad kostelem patronát Friedrich svob. pán von Dalberg.

Další opravy byly na kostele se ukázaly jako nutné po druhé světové válce, v roce 1945 byly vysvěceny nové zvony v lurdské kapli, generální oprava pak byla provedena v roce 1947.⁴¹

38

DABB, fond BKB, inv. č. 10 108, sg. S 810, kart. 2 362 – Cizkrajov, kostel Montserrat – 1865-1912.

39

Byl členem třetího řádu františkánů, dostal povolení nosit řádový oděv. Pět let předtím pobýval v Římě u sv. Kosmy a Damiána. (Tamtéž).

40

Farářem byl v letech 1869-1911.

41

DABB, fond BKB, inv. č. 10 108, sg. S 810, kart. 2 362 – Cizkrajov, kostel Montserrat – 1865-1912.

Zápis z kontrolních dní

zpracoval PhDr. Roman Lavička Ph.D.

1. Zápis z konzultace

Věc: Slavonice, socha sv. Jana Evangelisty, r. č. 34865/3-2187 - konzultace v průběhu restaurování sochy

Chotěbudice, 13. května 2016

Přítomní:

Miloš Nikrmajer – majitel sochy

Mgr. Art. Jakub Ďoubal – restaurátor, vedoucí práce

BcA. Zdeněk Kovářík – restaurátor

BcA. Daniel Chadim – restaurátor

PhDr. Roman Lavička, Ph.D. – NPÚ, ú.o.p. České Budějovice

Při dnešní schůzce v ateliéru restaurátora byl prohlédnut stav a postup restaurátorských prací na soše sv. Jana Evangelisty původem z niky na západní fasádě domu čp. 60 v Dačické ulici ve Slavonicích.

Probíhající čištění a průzkum prokázal existenci starší, barevně i řemeslně hodnotnější vrstvy polychromie, která bude odkryta a následně restaurována a z části rekonstruována podle nalezených pozůstatků. Během čištění se stále více ukazuje, že sochařské zpracování je mnohem kvalitnější, než se kvůli výraznému souvrství mladších vápenných nátěrů soudilo.

Restaurátor prezentoval navrženou formu doplnku chybějící hlavy orla, jako hlavního atributu apoštola, který byl shledán jako vyhovující. Dále byla na soše odzkoušena maketa chybějícího kovového atributu palmety, která byla rovněž doporučena k realizaci v předloženém tvaru a velikosti.

Další kontrolní den se uskuteční po odstranění mladších vrstev polychromie a kompletním odhalení nejstarší kompletně dochované vrstvy barevnosti.

Zapsal: Roman Lavička

PhDr. Roman Lavička, Ph.D.

oddělení restaurování

Národní památkový ústav, územní odborné pracoviště Č. Budějovice

Senovážné náměstí 6

370 21 České Budějovice

e-mail: lavicka.roman@npu.cz

Seznam použité literatury v praktické části práce

CHADIM, Daniel, VOJTĚCHOVSKÝ, Jan, Restaurátorský průzkum a dokumentace, Restaurování polychromované sochy sv. Petra, 2008

HOFTICHOVÁ, Petra. Slavonice, městská památková rezervace. Slavonice: Slavonická renesanční společnost, 1997

SEDLÁŘ, Jaroslav a Jitka SEDLÁŘOVÁ. Slavonice. Praha: Odeon, 1973. Památky (Odeon).

PECHOVÁ, Oliva. Slavonice: městská památková rezervace a památky v okolí. Praha: Sportovní a turistické nakladatelství, 1967.

BERINGER, Jan, JANOUŠEK, Jaromír. Město a panství Dačice. Dačice: A. Kasalý, 1893.

TIRAY, Jan, Vlastivěda moravská, Místopis Moravy, IV. Jihlavský kraj, Slavonický okres. 1926

CERRONI, Jan Petr, Skizze einer Geschichte der bildenden Kunste in Mahren und ósterreichischen Schlesien

WOLNY, Gregor, Die Markgraftschafft Mahren topographisch, statistisch und historisch geschildert. I-VI. Bd. Bríinn 1835-1842

DEIMEL, Theoder: Festschrift anlässlich des 60jährigen Jubiläums der Wiedererbauung der Montserratkirche. Zlabings 1925

SPRINGER, Josef: Montserrat. Sitzgras (Cizkrajov) 1908

SPRINGER, Josef, Ursprung und Schicksale der Mont Serrater Marienkirche

MORAVCOVÁ, Ludmila, farnost Cizkrajov a poutní místo Montserrat od bitvy na Bílé Hoře až do současnosti, diplomová práce, katedra církevních dějin a křesťanského umění, cyrilometodějská teologická fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, 2011

TEXTOVÉ PŘÍLOHY K TEORETICKÉ ČÁSTI ČÁSTI:

Měření velikosti částic NHL nanosuspenzí

Měření stability částic NHL nanosuspenzí

RTG difrakční analýza NHL nanosuspenze

Seznam použité literatury v teoretické části práce

Měření velikosti částic NHL nanosuspenzí

zpracovala Ing. Jana Luxová Ph.D., Katedra anorganické technologie Univerzity Pardubice

Měření velikosti částic

Velikost částic, respektive distribuce velikosti částic, byla měřena na přístroji Mastersizer 2000/MU (Malvern Instruments Ltd., Velká Británie). Jedná se o kompaktní, vysoce integrovaný laserový přístroj pro měření velikosti částic. Tento přístroj využívá rozptylu světla dopadajícího na částice dispergované v daném prostředí a umožňuje vyhodnotit měřený signál buď na základě Mieho rozptylu nebo Fraunhoferovy aproximace.

Velikost částic je vyhodnocována pomocí tzv. červeného světla (He-Ne laser, $\lambda=633$ nm) a tzv. modrého světla (laserová dioda, $\lambda=466$ nm). Systém před každým měřením odečítá pozadí a nastavuje optiku. V přístroji je zabudován širokoúhlý detekční systém (rozptýlené světlo je snímáno prakticky pod všemi úhly), přístroj tak umožňuje měření velikosti částic v intervalu 0,02 – 2000 μm . Pro správné vyhodnocení velikosti částic je nutná znalost indexu lomu jak dispergační kapaliny, tak i dispergované látky. Přístroj má k dispozici vlastní rozsáhlou databázi indexů lomu řady sloučenin, případně lze hodnoty indexů lomu aktuálně měnit či doplnit.

Přístroj je vybaven ultrazvukovým prstem s míchačkou a čerpadlem. V klasickém uspořádání se jedná o průtočné zařízení. Vzorek tedy kontinuálně proudí do měřicí cely a odtud zpět do zásobní kádinky. Dispergaci vzorku ultrazvukem je možné provést jak před měřením, tak i během vlastního měření.

V našem případě bylo před vlastním měřením naváženo 0,4-0,5 g suspenze NHL 5 Röfix a rozmícháno ve 40 cm^3 v isopropanolu, vloženo do ultrazvukové komory, kde byla suspenze dispergována po dobu 2 minut. Měření probíhalo ve 300 cm^3 isopropanolu a koncentrace měřeného vzorku v dispergační kapalině byla automaticky vyhodnocována přístrojem. Vzorek proudil do měřicí cely, kde probíhalo vlastní měření ve třech cyklech po 24 sekundách, ze kterých přístroj vypočítal průměr. Hodnocení bylo prováděno na základě Fraunhoferova ohybu. Přístroj je propojen s počítačem a lze tak ihned získat informace o velikosti částic v systému v buď podobě hodnot d_{10} , d_{50} a d_{90} nebo v podobě frekvenční či integrální (kumulativní křivky). Před dalším měřením bylo nutné přístroj podrobit 3 krát po sobě jdoucímu čištění ve formě propláchnutí dispergační kapalinou (v našem případě isopropanolem).

Použité zdroje:

Šulcová P., Dohnalová: Anorganické pigmenty, vlastnosti a metody hodnocení, Univerzita Pardubice, 2015.

Šulcová P., Beneš L.: Experimentální metody v anorganické technologii, Univerzita Pardubice, 2008.

Result Analysis Report

Sample Name:
NHL 5 nemletá surovina - Average

SOP Name:
Fraunhofer_isopropanol

Measured:
6. dubna 2016 12:55:01

Sample Source & type:

Measured by:
jalu0253

Analysed:
6. dubna 2016 12:55:02

Sample bulk lot ref:
123-ABC

Result Source:
Averaged

Particle Name:
Fraunhofer

Accessory Name:
Hydro 2000MU (A)

Analysis model:
General purpose

Sensitivity:
Enhanced

Particle RI:
0.000

Absorption:
0

Size range:
0.020 to 2000.000 um

Obscuration:
13.13 %

Dispersant Name:
Propan-2-ol

Dispersant RI:
1.390

Weighted Residual:
0.922 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0070 %Vol

Span :
3.640

Uniformity:
1.31

Result units:
Volume

Specific Surface Area:
1.71 m₂/g

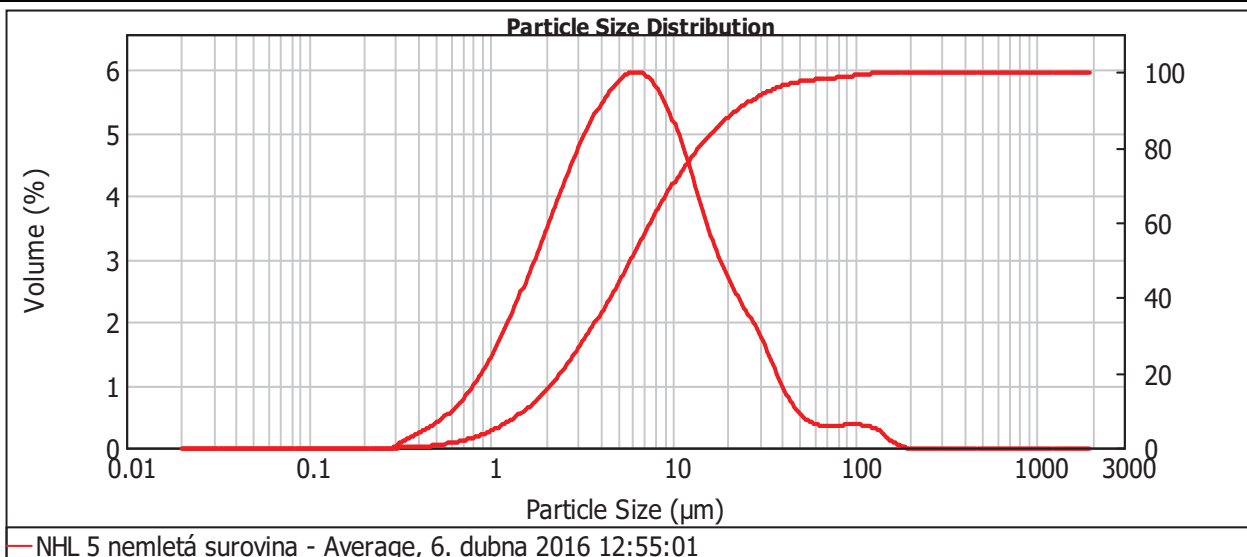
Surface Weighted Mean D[3,2]:
3.501 um

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
10.730 um

d(0.1): 1.541 um

d(0.5): 5.874 um

d(0.9): 22.922 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	1.64	11.482	4.02	120.226	0.28	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	1.99	13.183	3.51	138.038	0.17	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	2.37	15.136	3.04	158.489	0.06	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	2.76	17.378	2.63	181.970	0.00	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	3.17	19.953	2.31	208.930	0.00	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	3.57	22.909	2.03	239.883	0.00	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	3.96	26.303	1.75	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.01	2.884	4.32	30.200	1.42	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.12	3.311	4.66	34.674	1.06	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.18	3.802	4.94	39.811	0.74	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.27	4.365	5.17	45.709	0.51	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.37	5.012	5.32	52.481	0.38	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.49	5.754	5.38	60.256	0.32	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.65	6.607	5.34	69.183	0.31	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.84	7.586	5.18	79.433	0.32	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	1.06	8.710	4.89	91.201	0.34	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	1.33	10.000	4.49	104.713	0.32	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096		11.482		120.226		1258.925			

Operator notes:

Result Analysis Report

Sample Name:
NHL 5 200 ot/min 2h - Average

SOP Name:
Fraunhofer_isopropanol

Measured:
6. dubna 2016 12:36:25

Sample Source & type:

Measured by:
jalu0253

Analysed:
6. dubna 2016 12:36:26

Sample bulk lot ref:
123-ABC

Result Source:
Averaged

Particle Name:
Fraunhofer

Accessory Name:
Hydro 2000MU (A)

Analysis model:
General purpose

Sensitivity:
Enhanced

Particle RI:
0.000

Absorption:
0

Size range:
0.020 to 2000.000 um

Obscuration:
13.15 %

Dispersant Name:
Propan-2-ol

Dispersant RI:
1.390

Weighted Residual:
0.518 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0044 %Vol

Span :
2.464

Uniformity:
0.845

Result units:
Volume

Specific Surface Area:
2.74 m₂/g

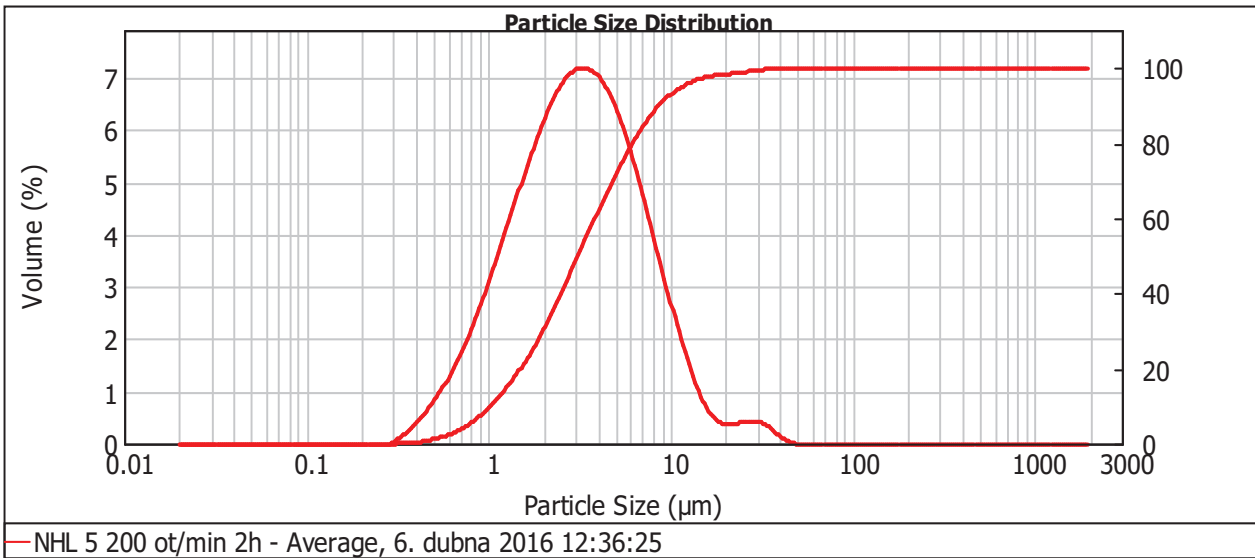
Surface Weighted Mean D[3,2]:
2.192 um

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
4.379 um

d(0.1): 1.030 um

d(0.5): 3.105 um

d(0.9): 8.680 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	3.43	11.482	1.45	120.226	0.00	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	4.02	13.183	0.92	138.038	0.00	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	4.60	15.136	0.56	158.489	0.00	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	5.15	17.378	0.38	181.970	0.00	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	5.64	19.953	0.33	208.930	0.00	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	6.04	22.909	0.37	239.883	0.00	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	6.32	26.303	0.38	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.02	2.884	6.47	30.200	0.34	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.14	3.311	6.47	34.674	0.21	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.31	3.802	6.31	39.811	0.08	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.52	4.365	5.99	45.709	0.00	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.77	5.012	5.53	52.481	0.00	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	1.08	5.754	4.94	60.256	0.00	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	1.44	6.607	4.28	69.183	0.00	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	1.86	7.586	3.55	79.433	0.00	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	2.34	8.710	2.81	91.201	0.00	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	2.87	10.000	2.09	104.713	0.00	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096		11.482		120.226	0.00	1258.925	0.00		

Operator notes:

Result Analysis Report

Sample Name:
NHL 5 200ot/min 4 h - Average

SOP Name:
Fraunhofer_isopropanol

Measured:
7. dubna 2016 11:14:17

Sample Source & type:

Measured by:
jalu0253

Analysed:
7. dubna 2016 11:14:18

Sample bulk lot ref:
123-ABC

Result Source:
Averaged

Particle Name:
Fraunhofer

Accessory Name:
Hydro 2000MU (A)

Analysis model:
General purpose

Sensitivity:
Enhanced

Particle RI:
0.000

Absorption:
0

Size range:
0.020 to 2000.000 um

Obscuration:
12.51 %

Dispersant Name:
Propan-2-ol

Dispersant RI:
1.390

Weighted Residual:
0.577 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0035 %Vol

Span :
2.301

Uniformity:
0.8

Result units:
Volume

Specific Surface Area:
3.28 m₂/g

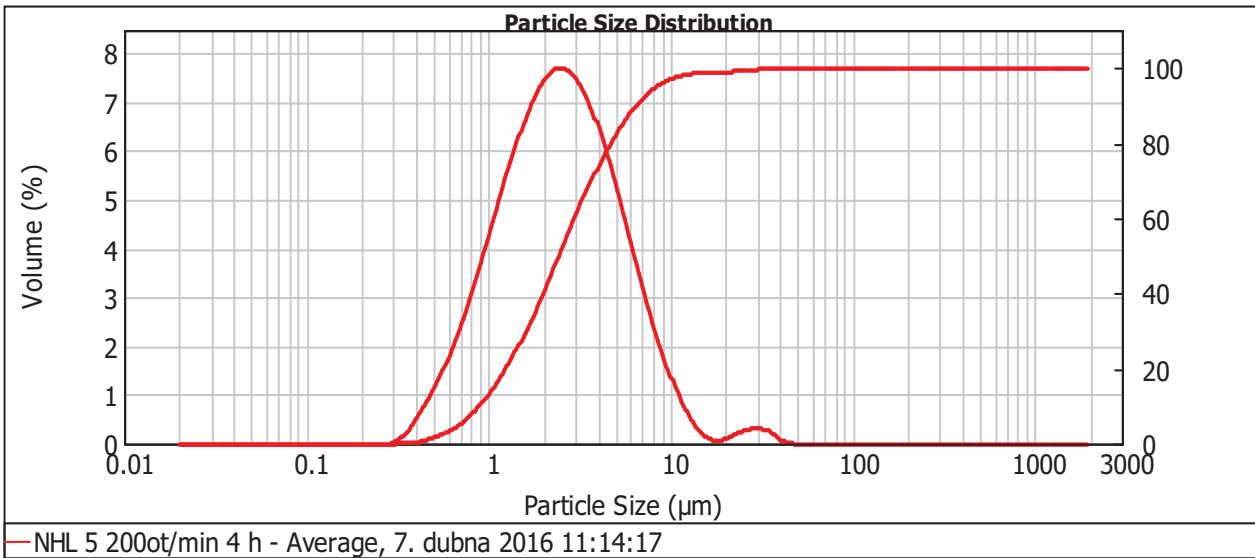
Surface Weighted Mean D[3,2]:
1.831 um

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
3.380 um

d(0.1): 0.890 um

d(0.5): 2.433 um

d(0.9): 6.489 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	4.62	11.482	0.57	120.226	0.00	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	5.30	13.183	0.26	138.038	0.00	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	5.90	15.136	0.10	158.489	0.00	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	6.40	17.378	0.06	181.970	0.00	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	6.76	19.953	0.13	208.930	0.00	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	6.94	22.909	0.22	239.883	0.00	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	6.92	26.303	0.28	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.01	2.884	6.71	30.200	0.26	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.14	3.311	6.33	34.674	0.15	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.39	3.802	5.78	39.811	0.04	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.70	4.365	5.11	45.709	0.00	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	1.07	5.012	4.37	52.481	0.00	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	1.52	5.754	3.60	60.256	0.00	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	2.03	6.607	2.85	69.183	0.00	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	2.62	7.586	2.15	79.433	0.00	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	3.26	8.710	1.53	91.201	0.00	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	3.94	10.000	0.99	104.713	0.00	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096		11.482		120.226	0.00	1258.925	0.00		

Operator notes:

Result Analysis Report

Sample Name:
NHL 5 200 ot/min. 6 h - Average

SOP Name:
Fraunhofer_isopropanol

Measured:
7. dubna 2016 12:32:34

Sample Source & type:

Measured by:
jalu0253

Analysed:
7. dubna 2016 12:32:36

Sample bulk lot ref:
123-ABC

Result Source:
Averaged

Particle Name:
Fraunhofer

Accessory Name:
Hydro 2000MU (A)

Analysis model:
General purpose

Sensitivity:
Enhanced

Particle RI:
0.000

Absorption:
0

Size range:
0.020 to 2000.000 μm

Obscuration:
12.27 %

Dispersant Name:
Propan-2-ol

Dispersant RI:
1.390

Weighted Residual:
0.510 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0031 %Vol

Span :
2.154

Uniformity:
0.676

Result units:
Volume

Specific Surface Area:
3.63 m_2/g

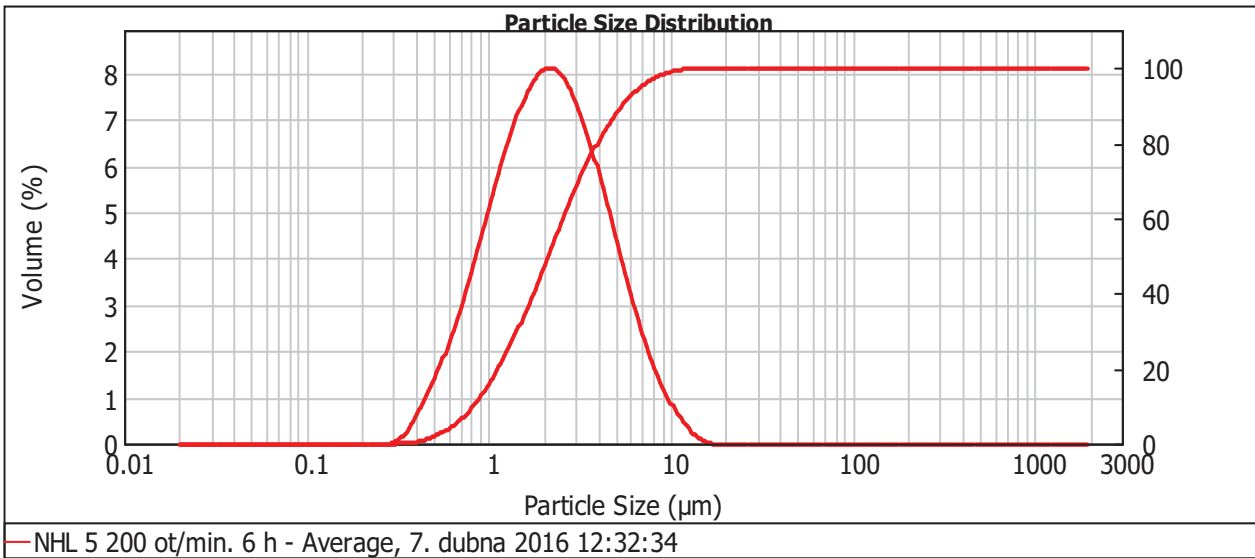
Surface Weighted Mean D[3,2]:
1.652 μm

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
2.721 μm

d(0.1): 0.823 μm

d(0.5): 2.127 μm

d(0.9): 5.407 μm



Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	5.42	11.482	0.33	120.226	0.00	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	6.11	13.183	0.12	138.038	0.00	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	6.69	15.136	0.02	158.489	0.00	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	7.10	17.378	0.00	181.970	0.00	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	7.31	19.953	0.00	208.930	0.00	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	7.29	22.909	0.00	239.883	0.00	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	7.04	26.303	0.00	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.01	2.884	6.58	30.200	0.00	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.14	3.311	5.95	34.674	0.00	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.46	3.802	5.20	39.811	0.00	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.84	4.365	4.39	45.709	0.00	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	1.30	5.012	3.57	52.481	0.00	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	1.85	5.754	2.79	60.256	0.00	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	2.47	6.607	2.10	69.183	0.00	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	3.17	7.586	1.50	79.433	0.00	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	3.91	8.710	1.01	91.201	0.00	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	4.68	10.000	0.62	104.713	0.00	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096		11.482		120.226	0.00	1258.925	0.00		

Operator notes:

Result Analysis Report

Sample Name:
NHL 5 300 ot/min 8 h - Average

SOP Name:
Fraunhofer_isopropanol

Measured:
7. dubna 2016 14:42:31

Sample Source & type:

Measured by:
jalu0253

Analysed:
7. dubna 2016 14:42:32

Sample bulk lot ref:
123-ABC

Result Source:
Averaged

Particle Name:
Fraunhofer

Accessory Name:
Hydro 2000MU (A)

Analysis model:
General purpose

Sensitivity:
Enhanced

Particle RI:
0.000

Absorption:
0

Size range:
0.020 to 2000.000 μm

Obscuration:
12.38 %

Dispersant Name:
Propan-2-ol

Dispersant RI:
1.390

Weighted Residual:
0.535 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0029 %Vol

Span :
2.332

Uniformity:
0.859

Result units:
Volume

Specific Surface Area:
3.82 m_2/g

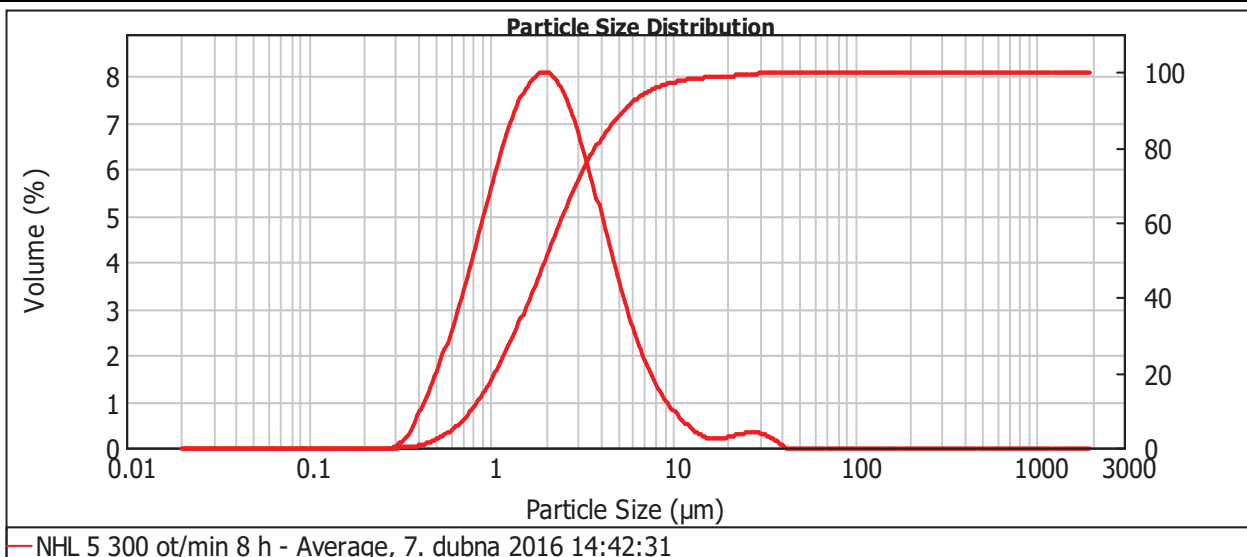
Surface Weighted Mean D[3,2]:
1.571 μm

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
2.915 μm

d(0.1): 0.781 μm

d(0.5): 1.989 μm

d(0.9): 5.419 μm



Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	5.85	11.482	0.40	120.226	0.00	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	6.48	13.183	0.25	138.038	0.00	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	6.96	15.136	0.18	158.489	0.00	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	7.24	17.378	0.18	181.970	0.00	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	7.29	19.953	0.22	208.930	0.00	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	7.09	22.909	0.28	239.883	0.00	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	6.66	26.303	0.30	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.02	2.884	6.05	30.200	0.24	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.17	3.311	5.30	34.674	0.13	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.54	3.802	4.49	39.811	0.00	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.98	4.365	3.67	45.709	0.00	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	1.50	5.012	2.91	52.481	0.00	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	2.13	5.754	2.23	60.256	0.00	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	2.81	6.607	1.68	69.183	0.00	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	3.57	7.586	1.23	79.433	0.00	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	4.34	8.710	0.89	91.201	0.00	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	5.12	10.000	0.61	104.713	0.00	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096		11.482		120.226	0.00	1258.925	0.00		

Operator notes:

Result Analysis Report

Sample Name:
NHL 5 380 ot/min 10 h - Average

Sample Source & type:

Sample bulk lot ref:
123-ABC

SOP Name:
Fraunhofer_isopropanol

Measured by:
jalu0253

Result Source:
Averaged

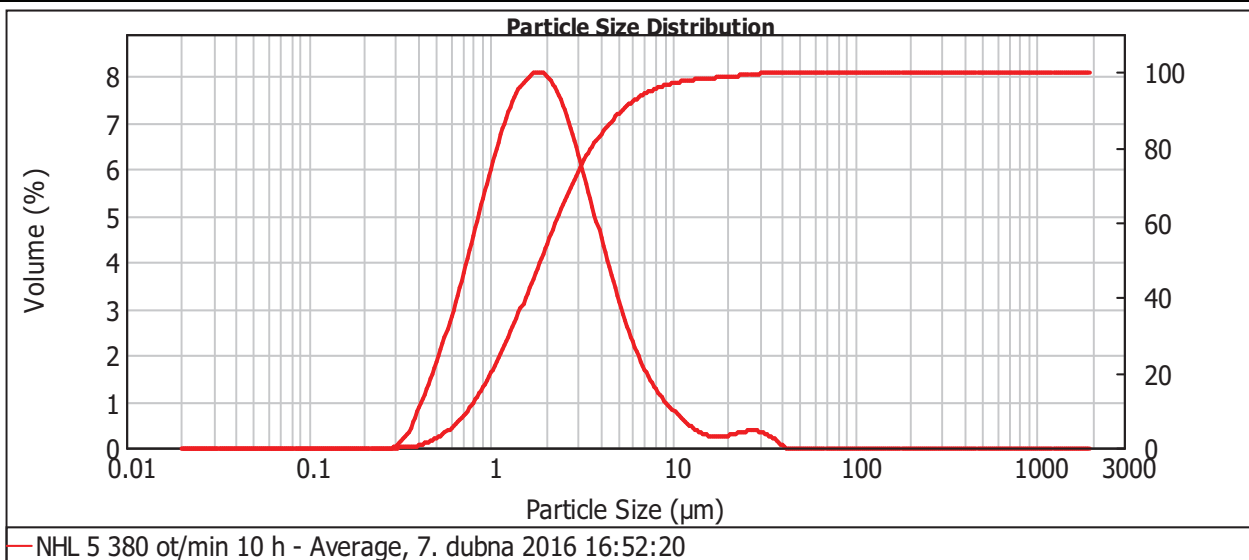
Measured:
7. dubna 2016 16:52:20

Analysed:
7. dubna 2016 16:52:21

Particle Name: Fraunhofer	Accessory Name: Hydro 2000MU (A)	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Enhanced
Particle RI: 0.000	Absorption: 0	Size range: 0.020 to 2000.000 um	Obscuration: 13.02 %
Dispersant Name: Propan-2-ol	Dispersant RI: 1.390	Weighted Residual: 0.466 %	Result Emulation: Off

Concentration: 0.0030 %Vol	Span : 2.422	Uniformity: 0.916	Result units: Volume
Specific Surface Area: 4 m _v /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 1.501 um	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 2.863 um	

d(0.1): 0.748 um d(0.5): 1.879 um d(0.9): 5.298 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	6.20	11.482	0.43	120.226	0.00	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	6.76	13.183	0.30	138.038	0.00	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	7.14	15.136	0.22	158.489	0.00	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	7.30	17.378	0.22	181.970	0.00	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	7.21	19.953	0.26	208.930	0.00	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	6.88	22.909	0.26	239.883	0.00	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	6.33	26.303	0.31	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.02	2.884	5.63	30.200	0.26	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.19	3.311	4.84	34.674	0.15	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.62	3.802	4.02	39.811	0.00	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	1.11	4.365	3.24	45.709	0.00	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	1.70	5.012	2.55	52.481	0.00	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	2.39	5.754	1.96	60.256	0.00	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	3.13	6.607	1.50	69.183	0.00	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	3.93	7.586	1.14	79.433	0.00	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	4.73	8.710	0.85	91.201	0.00	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	5.51	10.000	0.62	104.713	0.00	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096		11.482		120.226		1258.925			

Operator notes:

Result Analysis Report

Sample Name:
NHL 5 Zirk. 200ot/min 2h - Average

SOP Name:
Fraunhofer_isopropanol

Measured:
11. dubna 2016 10:40:14

Sample Source & type:

Measured by:
jalu0253

Analysed:
11. dubna 2016 10:40:15

Sample bulk lot ref:
123-ABC

Result Source:
Averaged

Particle Name:
Fraunhofer

Accessory Name:
Hydro 2000MU (A)

Analysis model:
General purpose

Sensitivity:
Enhanced

Particle RI:
0.000

Absorption:
0

Size range:
0.020 to 2000.000 um

Obscuration:
12.54 %

Dispersant Name:
Propan-2-ol

Dispersant RI:
1.390

Weighted Residual:
0.433 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0021 %Vol

Span :
1.924

Uniformity:
0.62

Result units:
Volume

Specific Surface Area:
5.32 m₂/g

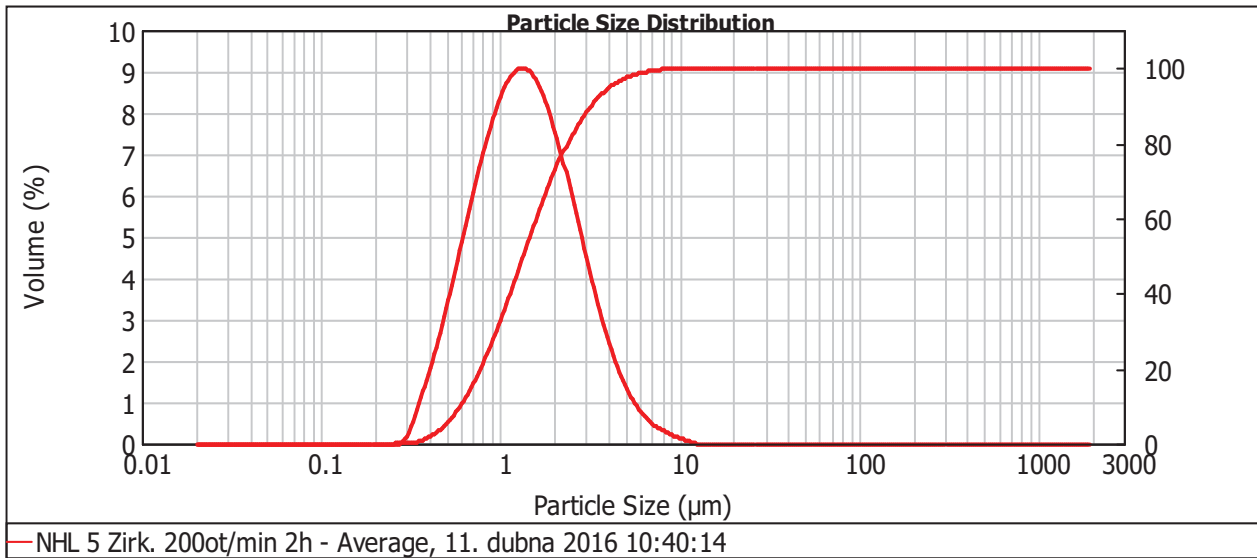
Surface Weighted Mean D[3,2]:
1.129 um

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
1.701 um

d(0.1): 0.596 um

d(0.5): 1.351 um

d(0.9): 3.196 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	8.07	11.482	0.01	120.226	0.00	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	8.20	13.183	0.00	138.038	0.00	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	8.02	15.136	0.00	158.489	0.00	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	7.54	17.378	0.00	181.970	0.00	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	7.54	19.953	0.00	208.930	0.00	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	6.79	22.909	0.00	239.883	0.00	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.01	2.512	5.86	26.303	0.00	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.12	2.884	4.85	30.200	0.00	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.12	3.311	3.84	34.674	0.00	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.75	3.802	2.91	39.811	0.00	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	1.41	4.365	2.11	45.709	0.00	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	2.24	5.012	1.47	52.481	0.00	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	3.16	5.754	0.99	60.256	0.00	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	4.15	6.607	0.65	69.183	0.00	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	5.15	7.586	0.43	79.433	0.00	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	6.12	8.710	0.28	91.201	0.00	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	6.97	10.000	0.17	104.713	0.00	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096	7.64	11.482	0.09	120.226	0.00	1258.925	0.00		

Operator notes:

Result Analysis Report

Sample Name:
NHL 5 Zirk. 380 ot/min 4h - Average

SOP Name:
Fraunhofer_isopropanol

Measured:
11. dubna 2016 12:53:57

Sample Source & type:

Measured by:
jalu0253

Analysed:
11. dubna 2016 12:53:59

Sample bulk lot ref:
123-ABC

Result Source:
Averaged

Particle Name:
Fraunhofer

Accessory Name:
Hydro 2000MU (A)

Analysis model:
General purpose

Sensitivity:
Enhanced

Particle RI:
0.000

Absorption:
0

Size range:
0.020 to 2000.000 um

Obscuration:
12.48 %

Dispersant Name:
Propan-2-ol

Dispersant RI:
1.390

Weighted Residual:
0.458 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0018 %Vol

Span :
3.908

Uniformity:
1.29

Result units:
Volume

Specific Surface Area:
6.22 m₂/g

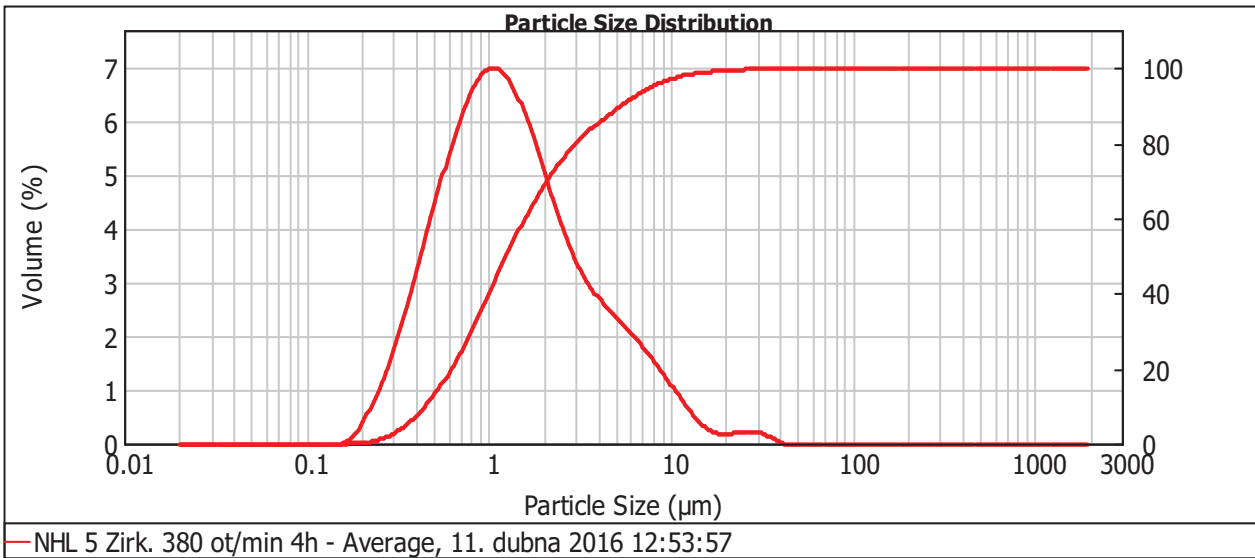
Surface Weighted Mean D[3,2]:
0.964 um

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
2.346 um

d(0.1): 0.451 um

d(0.5): 1.255 um

d(0.9): 5.355 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	6.25	11.482	0.60	120.226	0.00	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	6.01	13.183	0.38	138.038	0.00	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	5.60	15.136	0.23	158.489	0.00	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.05	1.660	5.08	17.378	0.17	181.970	0.00	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.22	1.905	4.50	19.953	0.17	208.930	0.00	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.60	2.188	3.94	22.909	0.19	239.883	0.00	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	1.00	2.512	3.43	26.303	0.20	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	1.50	2.884	3.01	30.200	0.15	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	2.08	3.311	2.68	34.674	0.08	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	2.71	3.802	2.42	39.811	0.00	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	3.39	4.365	2.20	45.709	0.00	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	4.07	5.012	2.01	52.481	0.00	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	4.73	5.754	1.82	60.256	0.00	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	5.32	6.607	1.62	69.183	0.00	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	5.80	7.586	1.39	79.433	0.00	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	6.14	8.710	1.13	91.201	0.00	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	6.29	10.000	0.86	104.713	0.00	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096		11.482		120.226	0.00	1258.925	0.00		

Operator notes:

Result Analysis Report

Sample Name:
NHL 5 Zirk. 380ot/min 6h - Average

SOP Name:
Fraunhofer_isopropanol

Measured:
11. dubna 2016 15:02:12

Sample Source & type:

Measured by:
jalu0253

Analysed:
11. dubna 2016 15:02:14

Sample bulk lot ref:
123-ABC

Result Source:
Averaged

Particle Name:
Fraunhofer

Accessory Name:
Hydro 2000MU (A)

Analysis model:
General purpose

Sensitivity:
Enhanced

Particle RI:
0.000

Absorption:
0

Size range:
0.020 to 2000.000 um

Obscuration:
12.41 %

Dispersant Name:
Propan-2-ol

Dispersant RI:
1.390

Weighted Residual:
0.742 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0033 %Vol

Span :
2.857

Uniformity:
0.936

Result units:
Volume

Specific Surface Area:
3.41 m₂/g

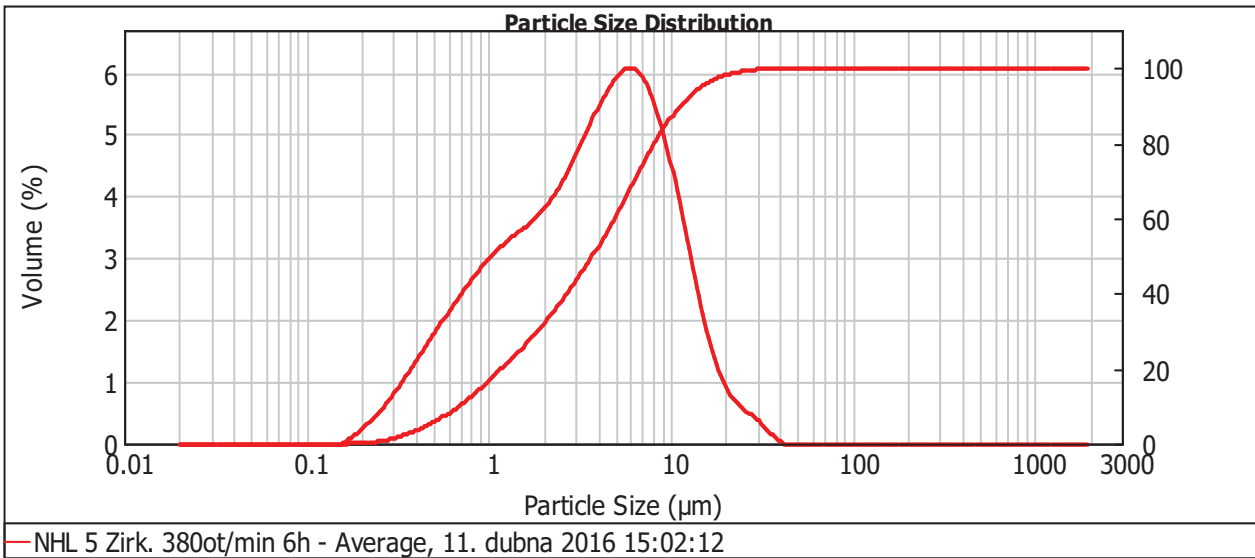
Surface Weighted Mean D[3,2]:
1.760 um

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
5.161 um

d(0.1): 0.686 um

d(0.5): 3.727 um

d(0.9): 11.336 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	2.87	11.482	2.96	120.226	0.00	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	3.01	13.183	2.18	138.038	0.00	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	3.14	15.136	1.52	158.489	0.00	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.05	1.660	3.28	17.378	1.03	181.970	0.00	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.16	1.905	3.45	19.953	0.72	208.930	0.00	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.34	2.188	3.67	22.909	0.53	239.883	0.00	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.50	2.512	3.94	26.303	0.40	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.70	2.884	4.26	30.200	0.24	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.92	3.311	4.60	34.674	0.11	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	1.15	3.802	4.95	39.811	0.00	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	1.39	4.365	5.24	45.709	0.00	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	1.64	5.012	5.44	52.481	0.00	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	1.88	5.754	5.48	60.256	0.00	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	2.12	6.607	5.34	69.183	0.00	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	2.34	7.586	4.99	79.433	0.00	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	2.54	8.710	4.45	91.201	0.00	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	2.72	10.000	3.74	104.713	0.00	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096		11.482		120.226	0.00	1258.925	0.00		

Operator notes:

Result Analysis Report

Sample Name:
NHL 5 Zirk. 380ot/min 6h - Average

SOP Name:
Fraunhofer_isopropanol

Measured:
11. dubna 2016 15:02:12

Sample Source & type:

Measured by:
jalu0253

Analysed:
11. dubna 2016 15:02:14

Sample bulk lot ref:
123-ABC

Result Source:
Averaged

Particle Name:
Fraunhofer

Accessory Name:
Hydro 2000MU (A)

Analysis model:
General purpose

Sensitivity:
Enhanced

Particle RI:
0.000

Absorption:
0

Size range:
0.020 to 2000.000 um

Obscuration:
12.41 %

Dispersant Name:
Propan-2-ol

Dispersant RI:
1.390

Weighted Residual:
0.742 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0033 %Vol

Span :
2.857

Uniformity:
0.936

Result units:
Volume

Specific Surface Area:
3.41 m₂/g

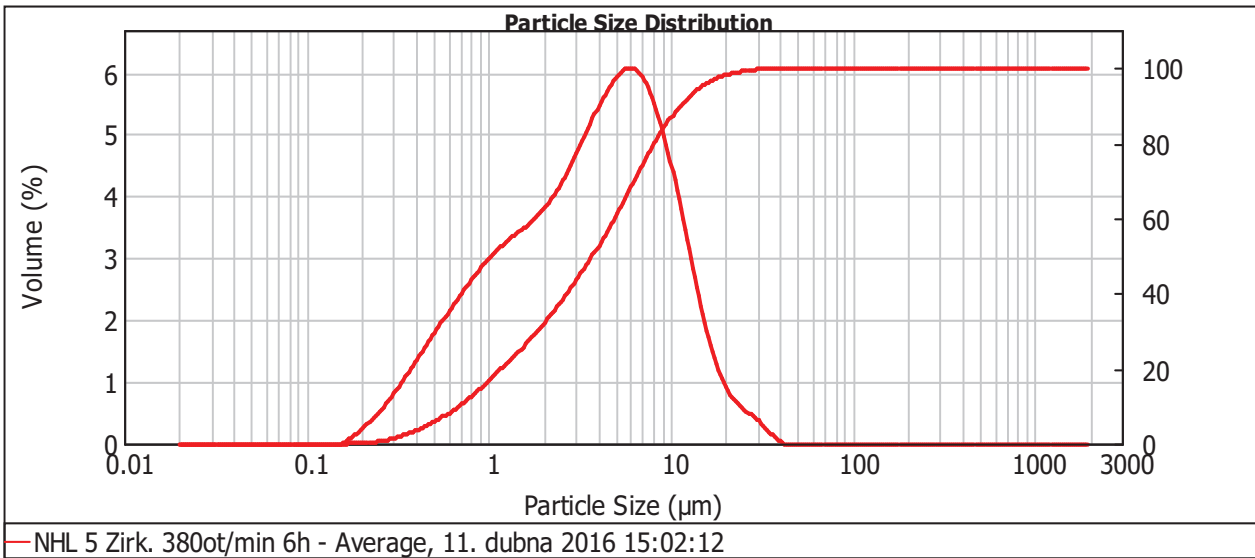
Surface Weighted Mean D[3,2]:
1.760 um

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
5.161 um

d(0.1): 0.686 um

d(0.5): 3.727 um

d(0.9): 11.336 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	2.87	11.482	2.96	120.226	0.00	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	3.01	13.183	2.18	138.038	0.00	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	3.14	15.136	1.52	158.489	0.00	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.05	1.660	3.28	17.378	1.03	181.970	0.00	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.16	1.905	3.45	19.953	0.72	208.930	0.00	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.34	2.188	3.67	22.909	0.53	239.883	0.00	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.50	2.512	3.94	26.303	0.40	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.70	2.884	4.26	30.200	0.24	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.92	3.311	4.60	34.674	0.11	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	1.15	3.802	4.95	39.811	0.00	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	1.39	4.365	5.24	45.709	0.00	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	1.64	5.012	5.44	52.481	0.00	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	1.88	5.754	5.48	60.256	0.00	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	2.12	6.607	5.34	69.183	0.00	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	2.34	7.586	4.99	79.433	0.00	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	2.54	8.710	4.45	91.201	0.00	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	2.72	10.000	3.74	104.713	0.00	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096		11.482		120.226	0.00	1258.925	0.00		

Operator notes:

Měření stability částic NHL nanosuspenzí

zpracovala Ing. Jana Luxová Ph.D., Katedra anorganické technologie Univerzity Pardubice

Měření stability suroviny NHL 5

Mletím byly připraveny 2 suspenze o koncentraci 5 g suroviny/100 ml isopropanolu. První byla mleta za použití achátových kuliček (průměr 1 cm a množství 50 ks) po dobu 6 h při 200 ot./min, druhá zirkonových perliček (průměr 1,0-1,2 mm, množství 120 g) po dobu 2 h za stejných otáček planetového mlýnu, tj. 200 ot./min.

Operace mletí byla uskutečněna za použití planetového mlýnu Pulverisette 5 (Fritsch, Německo). Jde o univerzální přístroj k rychlému a jemnému mletí suchých laboratorních vzorků nebo suspenzí. Princip činnosti tohoto zařízení spočívá ve vyvolání odstředivých sil vlivem rotace mletých nádob kolem jejich os a současné rotace nosného disku. Tyto odstředivé síly působí na obsah mletých nádob včetně meliva (mletého materiálu). Jelikož se mlecí nádoby a nosný kotouč otáčejí navzájem v opačném směru, odstředivé síly působí v pravidelných periodách souhlasně a proti sobě. Mlecí účinek je ještě zvýšen vzájemnými srážkami mlecích koulí. Výsledný mlecí efekt je dán dvěma procesy, a to pohybem koulí (a mletého materiálu) po vnitřní stěně mlecí nádoby a rázem koulí na mletý materiál a protilehlou vnitřní stěnu mlecí nádoby.

Tabulka 1: Velikost částic v závislosti na čase

doba	Achátové kuličky				Zirkonové kuličky			
	d ₁₀ [μm]	d ₅₀ [μm]	d ₉₀ [μm]	SPAN	d ₁₀ [μm]	d ₅₀ [μm]	d ₉₀ [μm]	SPAN
0 h	0,81	2,10	5,72	2,34	0,60	1,34	3,05	1,83
24 h	0,79	1,98	5,23	2,25	0,60	1,37	3,22	1,91
72 h	0,78	1,95	4,99	2,15	0,60	1,36	3,13	1,86
7 dní	0,79	1,98	5,24	2,25	0,60	1,35	3,09	1,84
14 dní	0,79	1,99	5,61	2,27	0,60	1,35	3,09	1,85
28 dní	0,79	1,98	5,25	2,26	0,60	1,34	3,07	1,84

V tabulce 1 jsou uvedeny naměřené hodnoty d₁₀, d₅₀, d₉₀ a SPAN pro obě měřené suspenze. Suspenze suroviny NHL 5 byla sledována po dobu 28 dní v předem dohodnutých časových intervalech, tj. 0 h, 24 h, 72 h, 7 dní, 14 dní a 28 dní. Na základě výsledků naměřených hodnot d₁₀-d₉₀, je možné konstatovat, že ve sledované době byly suspenze stabilní a k výrazným změnám v naměřených hodnotách nedocházelo. Tato skutečnost je podpořena i hodnotami SPAN, které se prakticky nemění.

Použité materiály k popisu činnosti planetového mlýnku: firemní materiály firmy Fritsch.

Result Analysis Report

Sample Name:
NHL5 Achát 6h stab. 0 - Average

SOP Name:
Fraunhofer_isopropanol

Measured:
9. května 2016 15:06:32

Sample Source & type:

Measured by:
jalu0253

Analysed:
9. května 2016 15:06:33

Sample bulk lot ref:
123-ABC

Result Source:
Averaged

Particle Name:
Fraunhofer

Accessory Name:
Hydro 2000MU (A)

Analysis model:
General purpose

Sensitivity:
Enhanced

Particle RI:
0.000

Absorption:
0

Size range:
0.020 to 2000.000 um

Obscuration:
12.66 %

Dispersant Name:
Propan-2-ol

Dispersant RI:
1.390

Weighted Residual:
0.539 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0032 %Vol

Span :
2.337

Uniformity:
0.815

Result units:
Volume

Specific Surface Area:
3.66 m₂/g

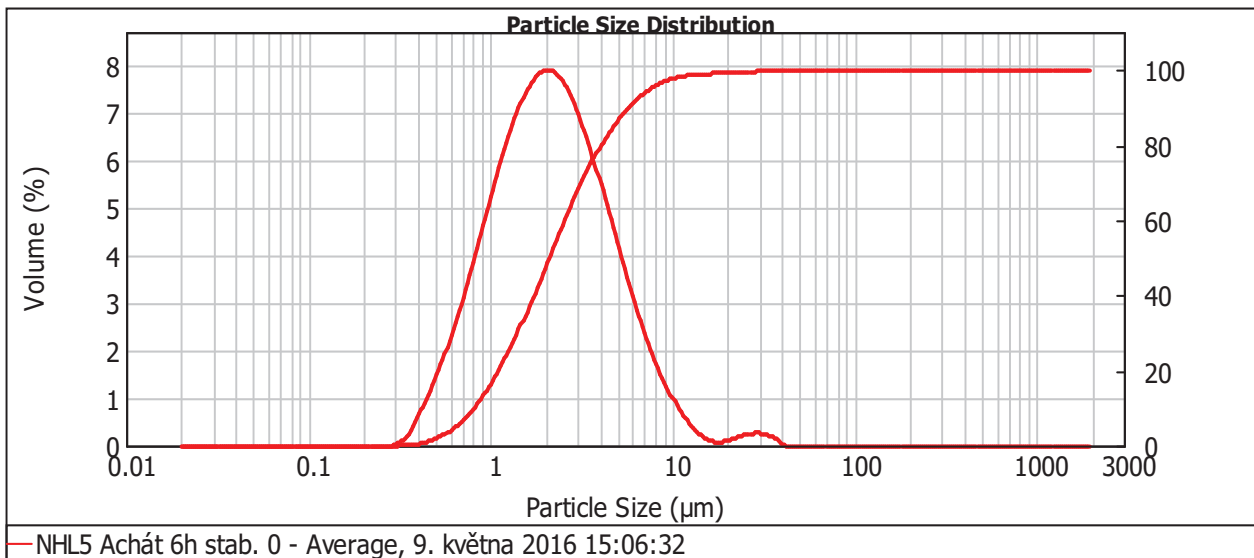
Surface Weighted Mean D[3,2]:
1.641 um

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
2.976 um

d(0.1): 0.810 um

d(0.5): 2.103 um

d(0.9): 5.724 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	5.52	11.482	0.42	120.226	0.00	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	6.16	13.183	0.21	138.038	0.00	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	6.67	15.136	0.09	158.489	0.00	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	7.00	17.378	0.07	181.970	0.00	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	7.13	19.953	0.13	208.930	0.00	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	7.03	22.909	0.20	239.883	0.00	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	6.72	26.303	0.24	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.01	2.884	6.23	30.200	0.21	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.13	3.311	5.61	34.674	0.12	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.47	3.802	4.91	39.811	0.00	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.87	4.365	4.16	45.709	0.00	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	1.36	5.012	3.42	52.481	0.00	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	1.95	5.754	2.72	60.256	0.00	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	2.59	6.607	2.10	69.183	0.00	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	3.31	7.586	1.56	79.433	0.00	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	4.05	8.710	1.10	91.201	0.00	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	4.81	10.000	0.72	104.713	0.00	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096		11.482		120.226	0.00	1258.925	0.00		

Operator notes:

Result Analysis Report

Sample Name:
NHL Achát 6H stab. 24h - Average

SOP Name:
Fraunhofer_isopropanol

Measured:
10. května 2016 8:26:42

Sample Source & type:

Measured by:
jalu0253

Analysed:
10. května 2016 8:26:43

Sample bulk lot ref:
123-ABC

Result Source:
Averaged

Particle Name:
Fraunhofer

Accessory Name:
Hydro 2000MU (A)

Analysis model:
General purpose

Sensitivity:
Enhanced

Particle RI:
0.000

Absorption:
0

Size range:
0.020 to 2000.000 μm

Obscuration:
12.68 %

Dispersant Name:
Propan-2-ol

Dispersant RI:
1.390

Weighted Residual:
0.578 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0030 %Vol

Span :
2.245

Uniformity:
0.81

Result units:
Volume

Specific Surface Area:
3.81 m_2/g

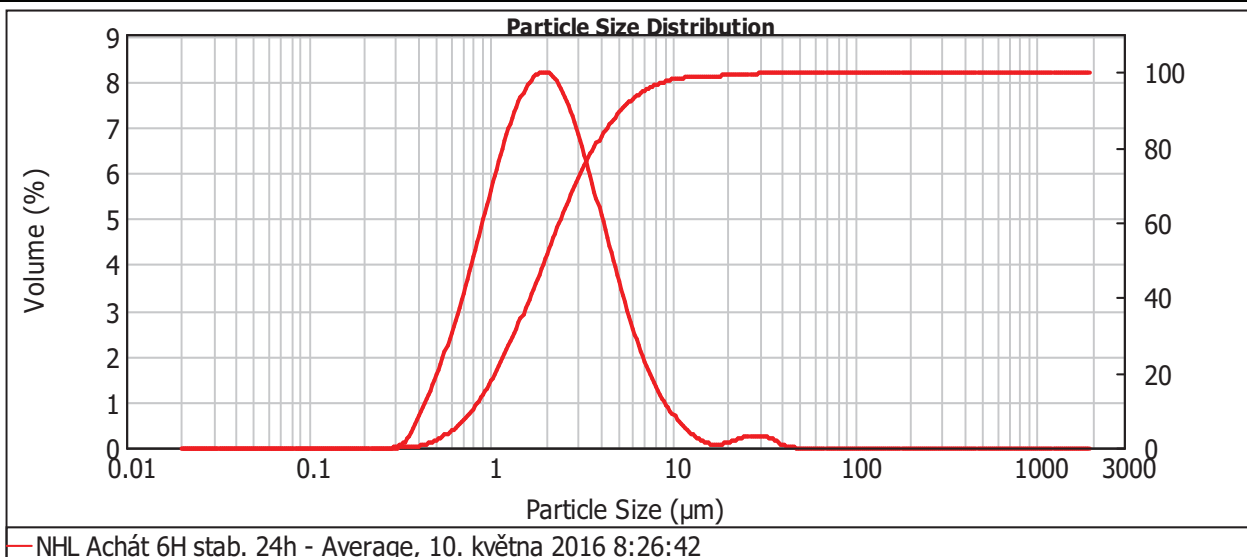
Surface Weighted Mean D[3,2]:
1.574 μm

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
2.814 μm

d(0.1): 0.789 μm

d(0.5): 1.980 μm

d(0.9): 5.234 μm



Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	5.92	11.482	0.31	120.226	0.00	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	6.58	13.183	0.15	138.038	0.00	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	7.07	15.136	0.08	158.489	0.00	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	7.36	17.378	0.08	181.970	0.00	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	7.36	19.953	0.13	208.930	0.00	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	7.40	22.909	0.20	239.883	0.00	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	7.19	26.303	0.24	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.01	2.884	6.12	30.200	0.22	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.11	3.311	5.36	34.674	0.13	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.49	3.802	4.54	39.811	0.03	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.93	4.365	3.71	45.709	0.00	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	1.46	5.012	2.94	52.481	0.00	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	2.09	5.754	2.25	60.256	0.00	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	2.79	6.607	1.68	69.183	0.00	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	3.57	7.586	1.20	79.433	0.00	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	4.37	8.710	0.83	91.201	0.00	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	5.17	10.000	0.53	104.713	0.00	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096		11.482		120.226	0.00	1258.925	0.00		

Operator notes:

Result Analysis Report

Sample Name:
NHL5 Achát 6h stab. 72 h - Average

SOP Name:
Fraunhofer_isopropanol

Measured:
12. května 2016 8:29:38

Sample Source & type:

Measured by:
jalu0253

Analysed:
12. května 2016 8:29:39

Sample bulk lot ref:
123-ABC

Result Source:
Averaged

Particle Name:
Fraunhofer

Accessory Name:
Hydro 2000MU (A)

Analysis model:
General purpose

Sensitivity:
Enhanced

Particle RI:
0.000

Absorption:
0

Size range:
0.020 to 2000.000 um

Obscuration:
12.55 %

Dispersant Name:
Propan-2-ol

Dispersant RI:
1.390

Weighted Residual:
0.466 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0030 %Vol

Span :
2.149

Uniformity:
0.68

Result units:
Volume

Specific Surface Area:
3.86 m²/g

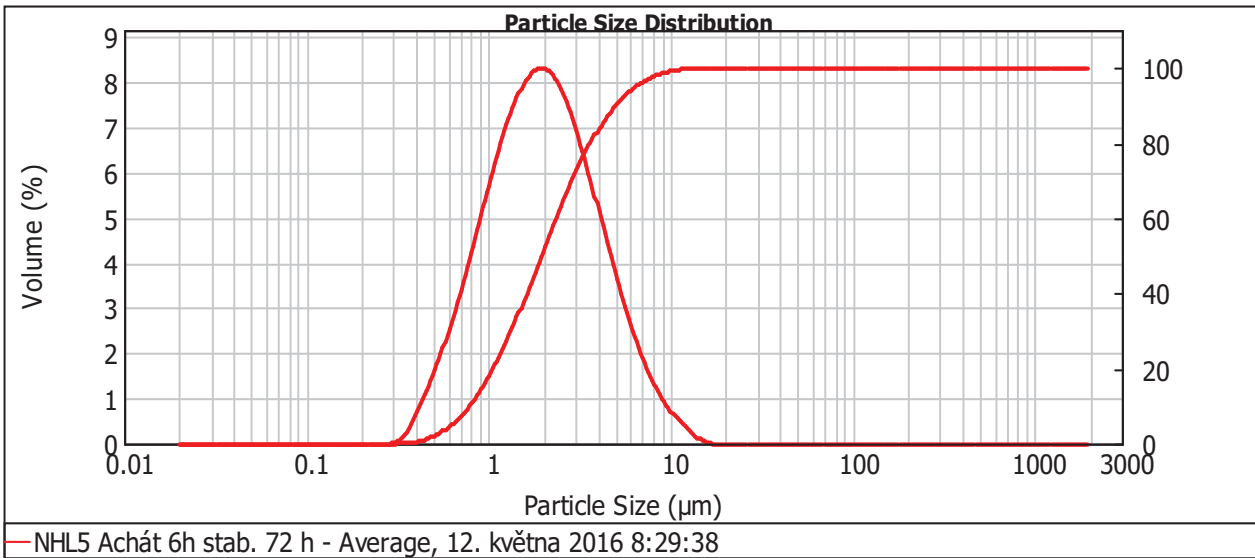
Surface Weighted Mean D[3,2]:
1.553 um

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
2.525 um

d(0.1): 0.784 um

d(0.5): 1.955 um

d(0.9): 4.985 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	6.00	11.482	0.28	120.226	0.00	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	6.66	13.183	0.11	138.038	0.00	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	7.16	15.136	0.02	158.489	0.00	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	7.45	17.378	0.00	181.970	0.00	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	7.45	19.953	0.00	208.930	0.00	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	7.28	22.909	0.00	239.883	0.00	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	6.82	26.303	0.00	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.01	2.884	6.19	30.200	0.00	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.12	3.311	5.41	34.674	0.00	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.50	3.802	4.58	39.811	0.00	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.95	4.365	3.74	45.709	0.00	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	1.49	5.012	2.96	52.481	0.00	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	2.13	5.754	2.27	60.256	0.00	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	2.84	6.607	1.68	69.183	0.00	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	3.62	7.586	1.21	79.433	0.00	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	4.43	8.710	0.82	91.201	0.00	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	5.25	10.000	0.52	104.713	0.00	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096		11.482		120.226	0.00	1258.925	0.00		

Operator notes:

Result Analysis Report

Sample Name:
NHL5 Achát 6h stabil. 7 d - Average

SOP Name:
Fraunhofer_isopropanol

Measured:
16. května 2016 8:06:57

Sample Source & type:

Measured by:
jalu0253

Analysed:
16. května 2016 8:06:58

Sample bulk lot ref:
123-ABC

Result Source:
Averaged

Particle Name:
Fraunhofer

Accessory Name:
Hydro 2000MU (A)

Analysis model:
General purpose

Sensitivity:
Enhanced

Particle RI:
0.000

Absorption:
0

Size range:
0.020 to 2000.000 um

Obscuration:
12.73 %

Dispersant Name:
Propan-2-ol

Dispersant RI:
1.390

Weighted Residual:
0.431 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0030 %Vol

Span :
2.254

Uniformity:
0.808

Result units:
Volume

Specific Surface Area:
3.82 m₂/g

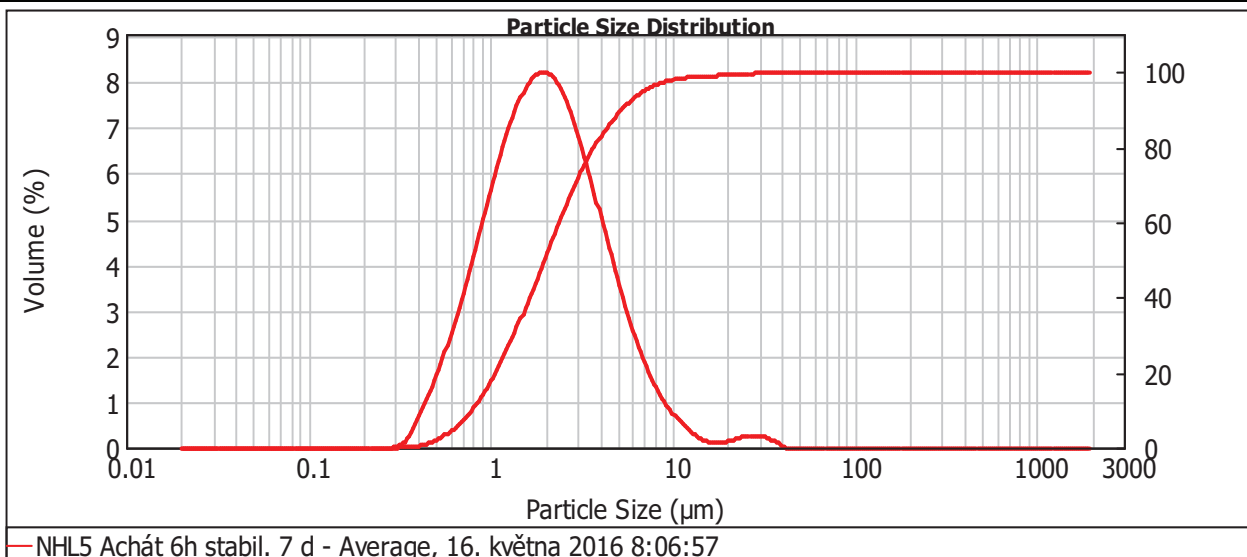
Surface Weighted Mean D[3,2]:
1.572 um

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
2.803 um

d(0.1): 0.788 um

d(0.5): 1.975 um

d(0.9): 5.239 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	5.94	11.482	0.33	120.226	0.00	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	6.60	13.183	0.18	138.038	0.00	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	7.09	15.136	0.10	158.489	0.00	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	7.38	17.378	0.10	181.970	0.00	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	7.41	19.953	0.15	208.930	0.00	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	7.19	22.909	0.21	239.883	0.00	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	6.74	26.303	0.24	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.01	2.884	6.09	30.200	0.20	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.11	3.311	5.32	34.674	0.11	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.49	3.802	4.50	39.811	0.00	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.93	4.365	3.67	45.709	0.00	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	1.46	5.012	2.90	52.481	0.00	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	2.10	5.754	2.22	60.256	0.00	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	2.80	6.607	1.66	69.183	0.00	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	3.58	7.586	1.20	79.433	0.00	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	4.38	8.710	0.84	91.201	0.00	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	5.19	10.000	0.55	104.713	0.00	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096		11.482		120.226	0.00	1258.925	0.00		

Operator notes:

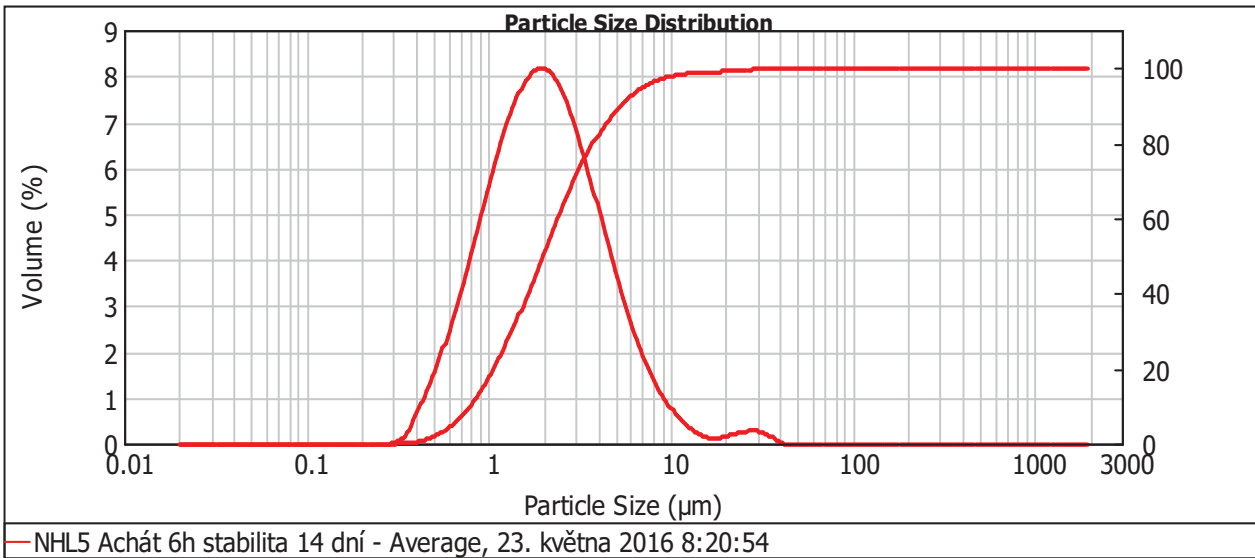
Result Analysis Report

Sample Name: NHL5 Achát 6h stabilita 14 dní - Average
SOP Name: Fraunhofer_isopropanol
Measured: 23. května 2016 8:20:54
Sample Source & type:
Measured by: jalu0253
Analysed: 23. května 2016 8:20:55
Sample bulk lot ref: 123-ABC
Result Source: Averaged

Particle Name: Fraunhofer
Accessory Name: Hydro 2000MU (A)
Analysis model: General purpose
Sensitivity: Enhanced
Particle RI: 0.000
Absorption: 0
Size range: 0.020 to 2000.000 um
Obscuration: 12.49 %
Dispersant Name: Propan-2-ol
Dispersant RI: 1.390
Weighted Residual: 0.483 %
Result Emulation: Off

Concentration: 0.0030 %Vol
Span : 2.274
Uniformity: 0.815
Result units: Volume
Specific Surface Area: 3.8 m₂/g
Surface Weighted Mean D[3,2]: 1.580 um
Vol. Weighted Mean D[4,3]: 2.833 um

d(0.1): 0.791 um **d(0.5): 1.986 um** **d(0.9): 5.308 um**



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	5.91	11.482	0.34	120.226	0.00	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	6.56	13.183	0.19	138.038	0.00	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	7.06	15.136	0.11	158.489	0.00	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	7.34	17.378	0.11	181.970	0.00	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	7.38	19.953	0.17	208.930	0.00	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	7.16	22.909	0.22	239.883	0.00	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	6.72	26.303	0.25	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.01	2.884	6.09	30.200	0.20	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.10	3.311	5.33	34.674	0.11	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.48	3.802	4.52	39.811	0.00	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.92	4.365	3.71	45.709	0.00	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	1.45	5.012	2.95	52.481	0.00	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	2.08	5.754	2.27	60.256	0.00	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	2.78	6.607	1.71	69.183	0.00	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	3.56	7.586	1.24	79.433	0.00	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	4.36	8.710	0.87	91.201	0.00	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	5.16	10.000	0.57	104.713	0.00	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096		11.482		120.226		1258.925			

Operator notes:

Result Analysis Report

Sample Name:
NHL5 Achát 6h stabilita 28 dní -

SOP Name:
Fraunhofer_isopropanol

Measured:
6. června 2016 8:09:36

Sample Source & type:

Measured by:
jalu0253

Analysed:
6. června 2016 8:09:37

Sample bulk lot ref:
123-ABC

Result Source:
Averaged

Particle Name:
Fraunhofer

Accessory Name:
Hydro 2000MU (A)

Analysis model:
General purpose

Sensitivity:
Enhanced

Particle RI:
0.000

Absorption:
0

Size range:
0.020 to 2000.000 um

Obscuration:
12.46 %

Dispersant Name:
Propan-2-ol

Dispersant RI:
1.390

Weighted Residual:
0.669 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0030 %Vol

Span :
2.257

Uniformity:
0.809

Result units:
Volume

Specific Surface Area:
3.81 m₂/g

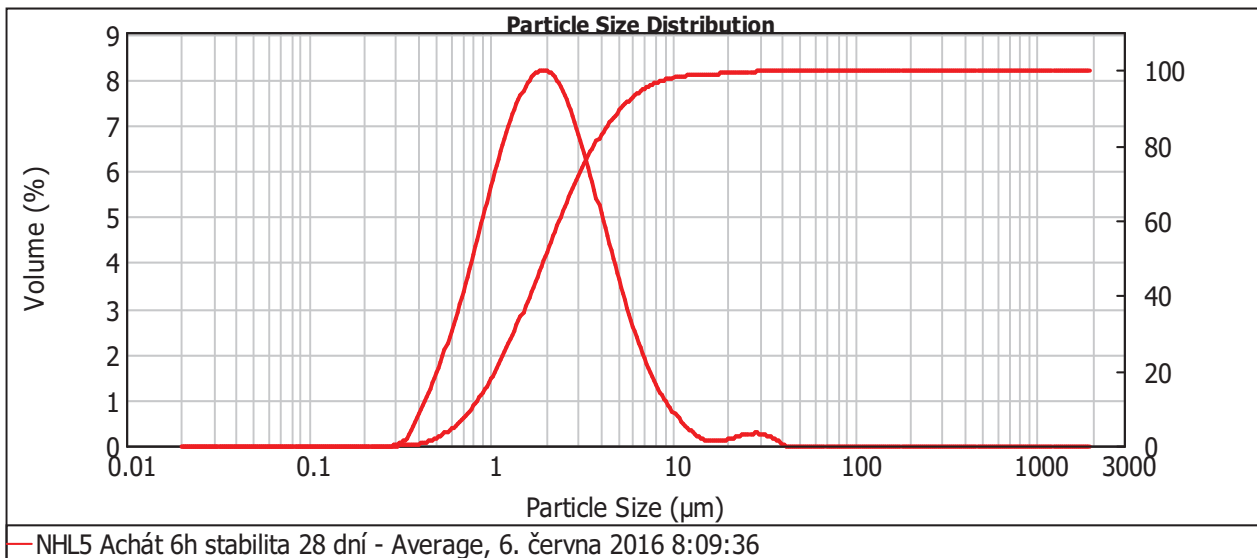
Surface Weighted Mean D[3,2]:
1.573 um

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
2.807 um

d(0.1): 0.788 um

d(0.5): 1.978 um

d(0.9): 5.251 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	5.94	11.482	0.32	120.226	0.00	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	6.59	13.183	0.16	138.038	0.00	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	7.07	15.136	0.09	158.489	0.00	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	7.35	17.378	0.09	181.970	0.00	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	7.39	19.953	0.15	208.930	0.00	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	7.17	22.909	0.21	239.883	0.00	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	6.72	26.303	0.25	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.01	2.884	6.09	30.200	0.20	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.11	3.311	5.33	34.674	0.12	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.49	3.802	4.52	39.811	0.00	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.93	4.365	3.70	45.709	0.00	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	1.46	5.012	2.94	52.481	0.00	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	2.10	5.754	2.26	60.256	0.00	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	2.80	6.607	1.69	69.183	0.00	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	3.58	7.586	1.21	79.433	0.00	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	4.38	8.710	0.84	91.201	0.00	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	5.19	10.000	0.54	104.713	0.00	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096		11.482		120.226	0.00	1258.925	0.00		

Operator notes:

Result Analysis Report

Sample Name:
NHL5 Zirkon 2h stab. 0 - Average

SOP Name:
Fraunhofer_isopropanol

Measured:
9. května 2016 16:46:15

Sample Source & type:

Measured by:
jalu0253

Analysed:
9. května 2016 16:46:16

Sample bulk lot ref:
123-ABC

Result Source:
Averaged

Particle Name:
Fraunhofer

Accessory Name:
Hydro 2000MU (A)

Analysis model:
General purpose

Sensitivity:
Enhanced

Particle RI:
0.000

Absorption:
0

Size range:
0.020 to 2000.000 um

Obscuration:
12.46 %

Dispersant Name:
Propan-2-ol

Dispersant RI:
1.390

Weighted Residual:
0.407 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0021 %Vol

Span :
1.828

Uniformity:
0.584

Result units:
Volume

Specific Surface Area:
5.34 m₂/g

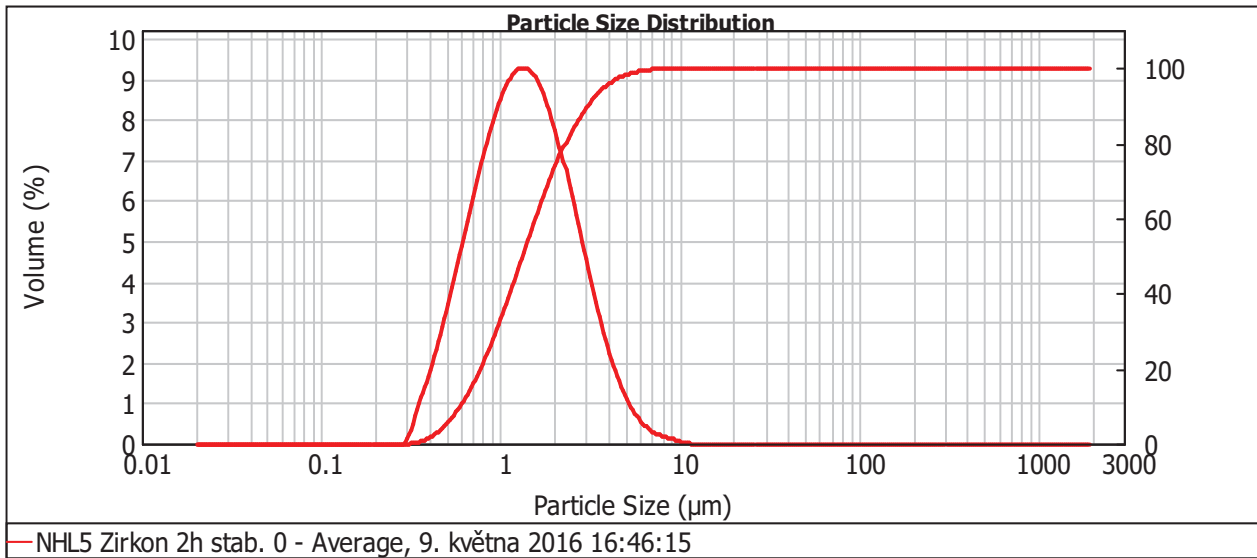
Surface Weighted Mean D[3,2]:
1.123 um

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
1.645 um

d(0.1): 0.598 um

d(0.5): 1.342 um

d(0.9): 3.051 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	8.21	11.482	0.00	120.226	0.00	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	8.38	13.183	0.00	138.038	0.00	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	8.21	15.136	0.00	158.489	0.00	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	7.73	17.378	0.00	181.970	0.00	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	7.73	19.953	0.00	208.930	0.00	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	6.96	22.909	0.00	239.883	0.00	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	5.99	26.303	0.00	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.04	2.884	4.91	30.200	0.00	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.76	3.311	3.82	34.674	0.00	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	1.40	3.802	2.82	39.811	0.00	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	2.24	4.365	1.96	45.709	0.00	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	3.16	5.012	1.28	52.481	0.00	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	4.17	5.754	0.79	60.256	0.00	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	5.19	6.607	0.46	69.183	0.00	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	6.18	7.586	0.27	79.433	0.00	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	7.05	8.710	0.16	91.201	0.00	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	7.75	10.000	0.10	104.713	0.00	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096	7.75	11.482	0.02	120.226	0.00	1258.925	0.00		

Operator notes:

Result Analysis Report

Sample Name:
NHL5 Zirkon 2h stab. 24h - Average

SOP Name:
Fraunhofer_isopropanol

Measured:
10. května 2016 8:45:13

Sample Source & type:

Measured by:
jalu0253

Analysed:
10. května 2016 8:45:14

Sample bulk lot ref:
123-ABC

Result Source:
Averaged

Particle Name:
Fraunhofer

Accessory Name:
Hydro 2000MU (A)

Analysis model:
General purpose

Sensitivity:
Enhanced

Particle RI:
0.000

Absorption:
0

Size range:
0.020 to 2000.000 um

Obscuration:
12.40 %

Dispersant Name:
Propan-2-ol

Dispersant RI:
1.390

Weighted Residual:
0.391 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0021 %Vol

Span :
1.913

Uniformity:
0.725

Result units:
Volume

Specific Surface Area:
5.25 m₂/g

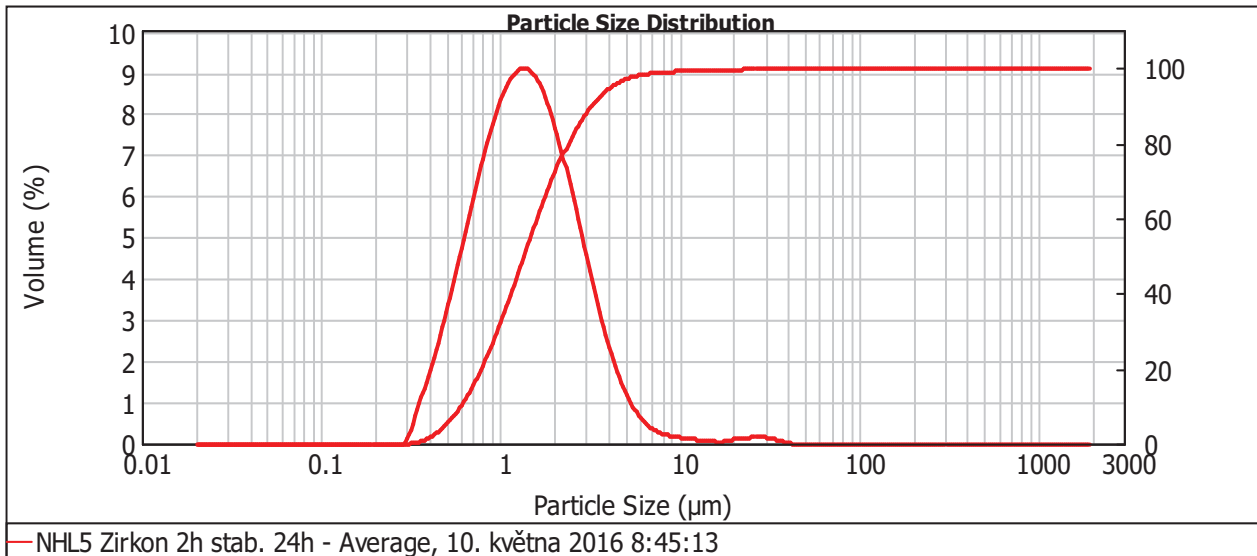
Surface Weighted Mean D[3,2]:
1.143 um

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
1.865 um

d(0.1): 0.603 um

d(0.5): 1.367 um

d(0.9): 3.219 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	8.05	11.482	0.09	120.226	0.00	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	8.23	13.183	0.07	138.038	0.00	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	8.09	15.136	0.04	158.489	0.00	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	7.64	17.378	0.06	181.970	0.00	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	6.91	19.953	0.11	208.930	0.00	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	5.97	22.909	0.13	239.883	0.00	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	4.93	26.303	0.14	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.04	2.884	3.87	30.200	0.11	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.74	3.311	2.88	34.674	0.06	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	1.36	3.802	2.04	39.811	0.00	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	2.18	4.365	1.36	45.709	0.00	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	3.08	5.012	0.86	52.481	0.00	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	4.06	5.754	0.52	60.256	0.00	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	5.06	6.607	0.32	69.183	0.00	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	6.03	7.586	0.21	79.433	0.00	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	6.89	8.710	0.16	91.201	0.00	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	7.59	10.000	0.12	104.713	0.00	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096		11.482		120.226	0.00	1258.925	0.00		

Operator notes:

Result Analysis Report

Sample Name:
NHL5 Zirkon 2h stab. 72 h

SOP Name:
Fraunhofer_isopropanol

Measured:
12. května 2016 8:12:57

Sample Source & type:

Measured by:
jalu0253

Analysed:
12. května 2016 8:12:58

Sample bulk lot ref:
123-ABC

Result Source:
Measurement

Particle Name:
Fraunhofer

Accessory Name:
Hydro 2000MU (A)

Analysis model:
General purpose

Sensitivity:
Enhanced

Particle RI:
0.000

Absorption:
0

Size range:
0.020 to 2000.000 um

Obscuration:
12.57 %

Dispersant Name:
Propan-2-ol

Dispersant RI:
1.390

Weighted Residual:
0.415 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0022 %Vol

Span :
1.862

Uniformity:
0.599

Result units:
Volume

Specific Surface Area:
5.29 m₂/g

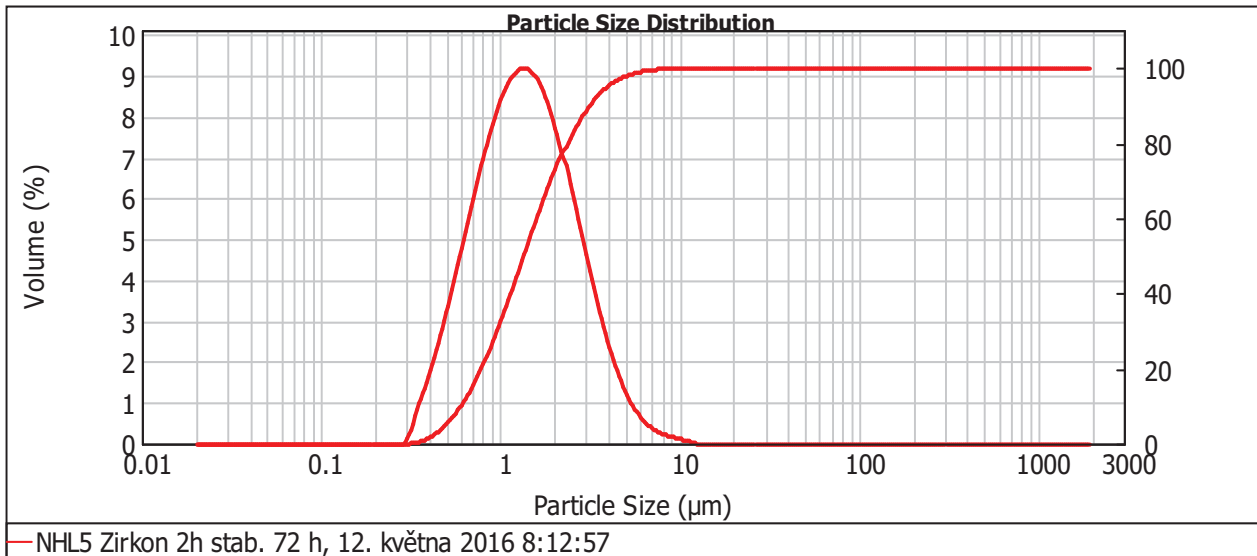
Surface Weighted Mean D[3,2]:
1.135 um

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
1.685 um

d(0.1): 0.602 um

d(0.5): 1.359 um

d(0.9): 3.133 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	8.12	11.482	0.00	120.226	0.00	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	8.30	13.183	0.00	138.038	0.00	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	8.16	15.136	0.00	158.489	0.00	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	7.70	17.378	0.00	181.970	0.00	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	6.97	19.953	0.00	208.930	0.00	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	6.03	22.909	0.00	239.883	0.00	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	4.97	26.303	0.00	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.04	2.884	3.91	30.200	0.00	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.74	3.311	2.92	34.674	0.00	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	1.37	3.802	2.07	39.811	0.00	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	2.19	4.365	1.38	45.709	0.00	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	3.10	5.012	0.88	52.481	0.00	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	4.09	5.754	0.54	60.256	0.00	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	5.09	6.607	0.33	69.183	0.00	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	6.07	7.586	0.21	79.433	0.00	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	6.94	8.710	0.14	91.201	0.00	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	7.65	10.000	0.09	104.713	0.00	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096		11.482		120.226	0.00	1258.925	0.00		

Operator notes:

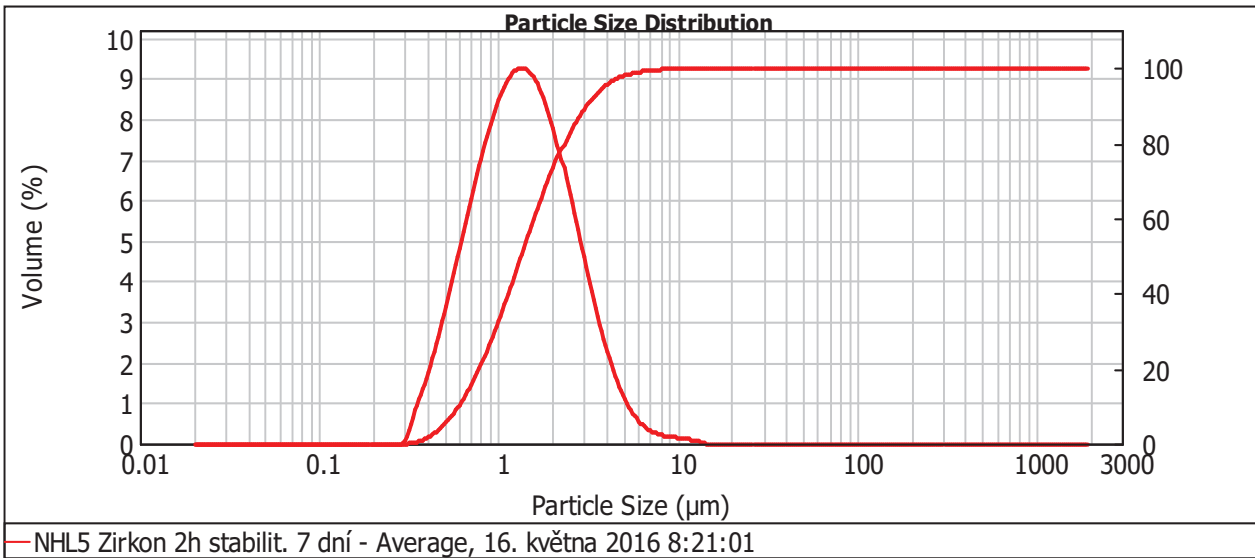
Result Analysis Report

Sample Name: NHL5 Zirkon 2h stabilit. 7 dní - Average
Sample Source & type:
Sample bulk lot ref: 123-ABC
SOP Name: Fraunhofer_isopropanol
Measured by: jalu0253
Result Source: Averaged
Measured: 16. května 2016 8:21:01
Analysed: 16. května 2016 8:21:02

Particle Name: Fraunhofer
Particle RI: 0.000
Dispersant Name: Propan-2-ol
Accessory Name: Hydro 2000MU (A)
Absorption: 0
Dispersant RI: 1.390
Analysis model: General purpose
Size range: 0.020 to 2000.000 um
Weighted Residual: 0.402 %
Sensitivity: Enhanced
Obscuration: 11.59 %
Result Emulation: Off

Concentration: 0.0020 %Vol
Specific Surface Area: 5.3 m₂/g
Span : 1.839
Surface Weighted Mean D[3,2]: 1.131 um
Uniformity: 0.599
Vol. Weighted Mean D[4,3]: 1.677 um
Result units: Volume

d(0.1): 0.601 um **d(0.5): 1.352 um** **d(0.9): 3.087 um**



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	8.18	11.482	0.08	120.226	0.00	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	8.36	13.183	0.01	138.038	0.00	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	8.21	15.136	0.00	158.489	0.00	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	7.74	17.378	0.00	181.970	0.00	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	6.99	19.953	0.00	208.930	0.00	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	6.02	22.909	0.00	239.883	0.00	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	4.94	26.303	0.00	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.04	2.884	3.85	30.200	0.00	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.73	3.311	2.84	34.674	0.00	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	1.36	3.802	1.97	39.811	0.00	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	2.19	4.365	1.28	45.709	0.00	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	3.11	5.012	0.79	52.481	0.00	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	4.12	5.754	0.46	60.256	0.00	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	5.13	6.607	0.28	69.183	0.00	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	6.12	7.586	0.19	79.433	0.00	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	7.00	8.710	0.15	91.201	0.00	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	7.71	10.000	0.12	104.713	0.00	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096		11.482		120.226	0.00	1258.925	0.00		

Operator notes:

Result Analysis Report

Sample Name:
NHL5 Zirkon 2h stabilita 14 dni -

SOP Name:
Fraunhofer_isopropanol

Measured:
23. května 2016 8:35:17

Sample Source & type:

Measured by:
jalu0253

Analysed:
23. května 2016 8:35:19

Sample bulk lot ref:
123-ABC

Result Source:
Averaged

Particle Name:
Fraunhofer

Accessory Name:
Hydro 2000MU (A)

Analysis model:
General purpose

Sensitivity:
Enhanced

Particle RI:
0.000

Absorption:
0

Size range:
0.020 to 2000.000 um

Obscuration:
12.56 %

Dispersant Name:
Propan-2-ol

Dispersant RI:
1.390

Weighted Residual:
0.411 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0021 %Vol

Span :
1.848

Uniformity:
0.6

Result units:
Volume

Specific Surface Area:
5.32 m₂/g

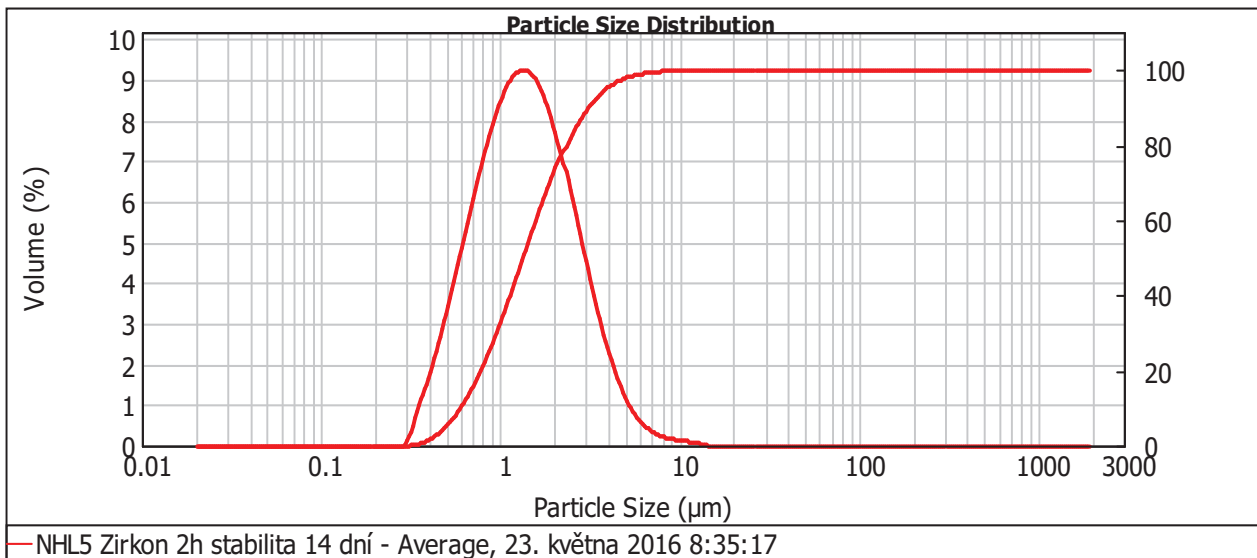
Surface Weighted Mean D[3,2]:
1.127 um

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
1.672 um

d(0.1): 0.599 um

d(0.5): 1.347 um

d(0.9): 3.088 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	8.18	11.482	0.07	120.226	0.00	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	8.35	13.183	0.01	138.038	0.00	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	8.19	15.136	0.00	158.489	0.00	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	7.71	17.378	0.00	181.970	0.00	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	6.95	19.953	0.00	208.930	0.00	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	5.98	22.909	0.00	239.883	0.00	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	4.90	26.303	0.00	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.04	2.884	3.82	30.200	0.00	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.75	3.311	2.82	34.674	0.00	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	1.39	3.802	1.97	39.811	0.00	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	2.22	4.365	1.29	45.709	0.00	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	3.14	5.012	0.81	52.481	0.00	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	4.15	5.754	0.49	60.256	0.00	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	5.16	6.607	0.30	69.183	0.00	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	6.15	7.586	0.20	79.433	0.00	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	7.02	8.710	0.14	91.201	0.00	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	7.72	10.000	0.10	104.713	0.00	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096		11.482		120.226	0.00	1258.925	0.00		

Operator notes:

Result Analysis Report

Sample Name:
NHL5 Zirkon 2h stabilita 28 dní

SOP Name:
Fraunhofer_isopropanol

Measured:
6. června 2016 8:27:16

Sample Source & type:

Measured by:
jalu0253

Analysed:
6. června 2016 8:27:17

Sample bulk lot ref:
123-ABC

Result Source:
Measurement

Particle Name:
Fraunhofer

Accessory Name:
Hydro 2000MU (A)

Analysis model:
General purpose

Sensitivity:
Enhanced

Particle RI:
0.000

Absorption:
0

Size range:
0.020 to 2000.000 um

Obscuration:
12.40 %

Dispersant Name:
Propan-2-ol

Dispersant RI:
1.390

Weighted Residual:
0.429 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0021 %Vol

Span :
1.840

Uniformity:
0.592

Result units:
Volume

Specific Surface Area:
5.33 m₂/g

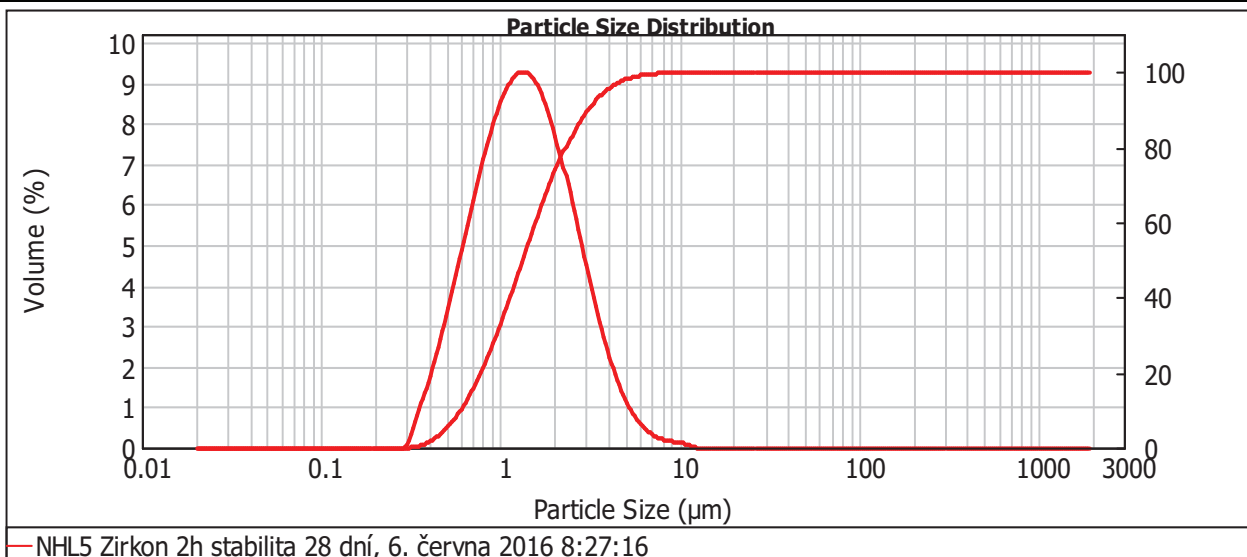
Surface Weighted Mean D[3,2]:
1.126 um

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
1.658 um

d(0.1): 0.600 um

d(0.5): 1.343 um

d(0.9): 3.070 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	8.22	11.482	0.01	120.226	0.00	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	8.38	13.183	0.00	138.038	0.00	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	8.20	15.136	0.00	158.489	0.00	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	7.71	17.378	0.00	181.970	0.00	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	6.93	19.953	0.00	208.930	0.00	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	5.96	22.909	0.00	239.883	0.00	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	4.88	26.303	0.00	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.03	2.884	3.80	30.200	0.00	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.72	3.311	2.81	34.674	0.00	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	1.37	3.802	1.96	39.811	0.00	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	2.21	4.365	1.29	45.709	0.00	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	3.15	5.012	0.81	52.481	0.00	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	4.17	5.754	0.48	60.256	0.00	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	5.19	6.607	0.29	69.183	0.00	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	6.19	7.586	0.18	79.433	0.00	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	7.07	8.710	0.13	91.201	0.00	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	7.77	10.000	0.09	104.713	0.00	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096		11.482		120.226	0.00	1258.925	0.00		

Operator notes:

RTG difrakční analýza NHL nanosuspenze

zpracoval Mgr. Dalibor Všianský, Ph.D.

Rtg-difrakční analýza

Zadavatel a kontaktní osoba:

Fakulta restaurování
Univerzita Pardubice
Jiráskova 3
570 01 Litomyšl

Kontaktní osoba: ing. Renata Tišlová Ph.D.

Zhotovitel:

Mgr. Dalibor Všianský, Ph.D.
Karáskovo nám. 17
615 00 Brno
e-mail: daliborv@centrum.cz

Zodpovědný řešitel:

Mgr. Dalibor Všianský, Ph.D.

Mgr. Dalibor Všianský, Ph.D.
komplexní analýzy anorganických
materiálů a poradenství
Karáskovo náměstí 17, 615 00 Brno
+420 777 891 934, daliborv@centrum.cz
IČO: 02921928, DIČ: CZ7606253765

Brno, 7. 5. 2016

I. Materiál

Analyzovány byly vzorky označené č. 2 a č. 3.

II. Metodika

Vzorek č. 3 byl analyzován dvakrát:

1. po usušení při 40 °C na vzduchu
2. po usušení při 40 °C ve vakuu

V obou případech byl následně ke vzorku přidán vnitřní standard v množství 20 hmot. % (t. j. po přidavku: 80 % vzorku + 20 % standardu) a byla provedena homogenizace v isopropylalkoholu pomocí mlýnku McCrone Micronising Mill a vysušení na vzduchu a ve vakuu. Jako standard byl použit fluorit (CaF_2). Přídavek vnitřního standardu umožňuje kvantifikaci amorfni fáze.

Vzorek č. 2 byl analyzován bez přídavku vnitřního standardu.

Prášková rtg – difrakční (PXRD) analýza byla provedena na aparatuře Panalytical Empyrean s Cu-anodou ($\lambda_{\text{K}\alpha} = 0,15418\text{nm}$), 2-D pozičně citlivým detektorem použitým v 1-D modu při konvenční Bragg-Brentano parafokusační $\Theta - \Theta$ reflexní geometrii. Krok: $0,013^\circ 2\theta$, čas na krok: 149 s, měřená úhlová oblast: $5 - 80^\circ 2\theta$, celková doba trvání jednoho skenu: 3371 s.

Získaná data byla zpracována pomocí software Panalytical HighScore 3 plus. Kvantitativní fázová analýza byla provedena Rietveldovou metodou. Ke strukturnímu vypřesnění a kvantifikaci byly použity strukturní vzory z databáze ICSD 2012.

III. Výsledky

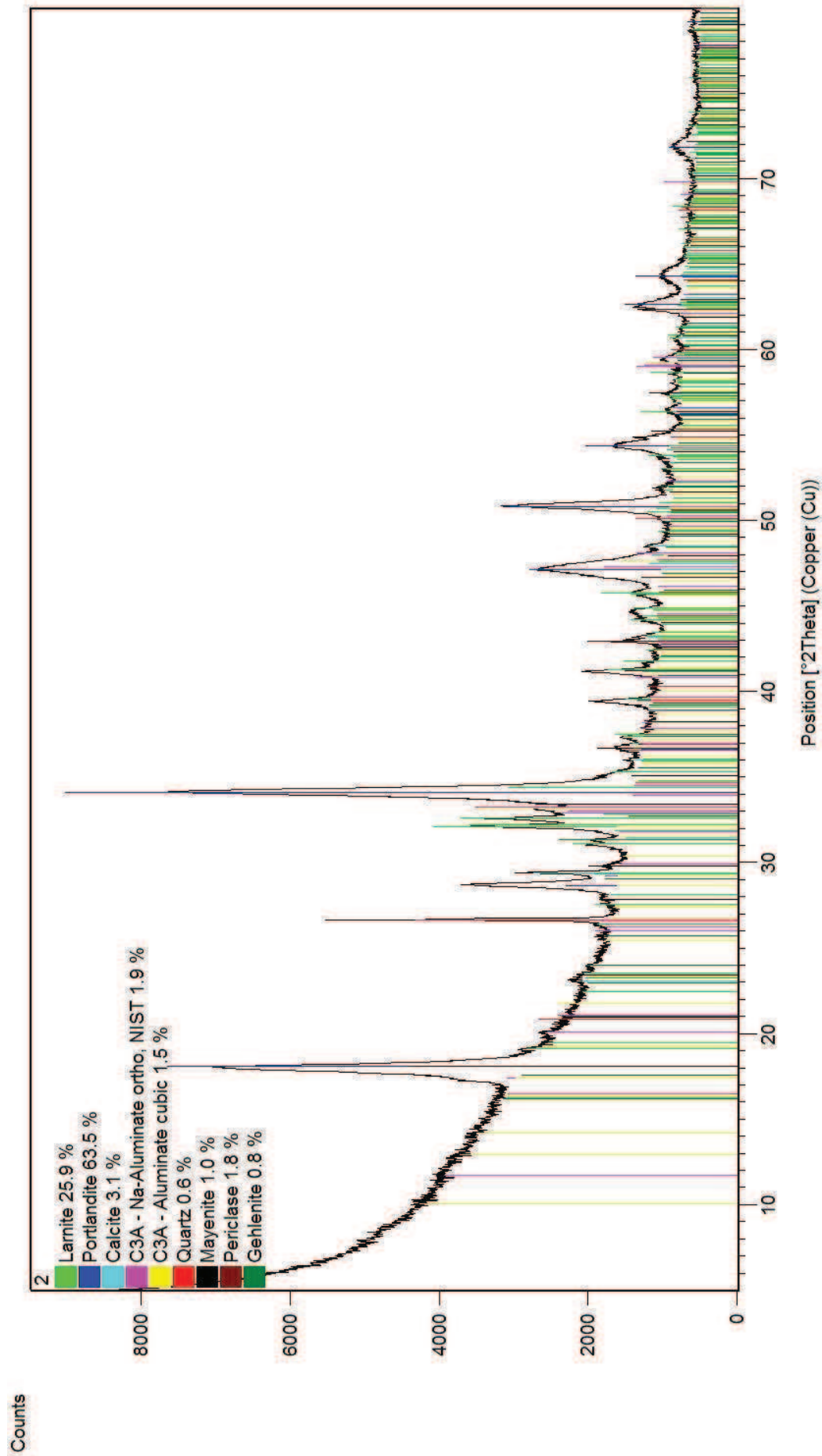
Výsledky kvantitativní fázové analýzy jsou uvedeny v tabulkách 1 a 2. Difraktogramy – viz obr. 1 – 3.

Tab. 1: Výsledky kvantitativní fázové analýzy vzorku č. 2 v hmotnostních procentech, zaokrouhleno na jedno desetinné místo

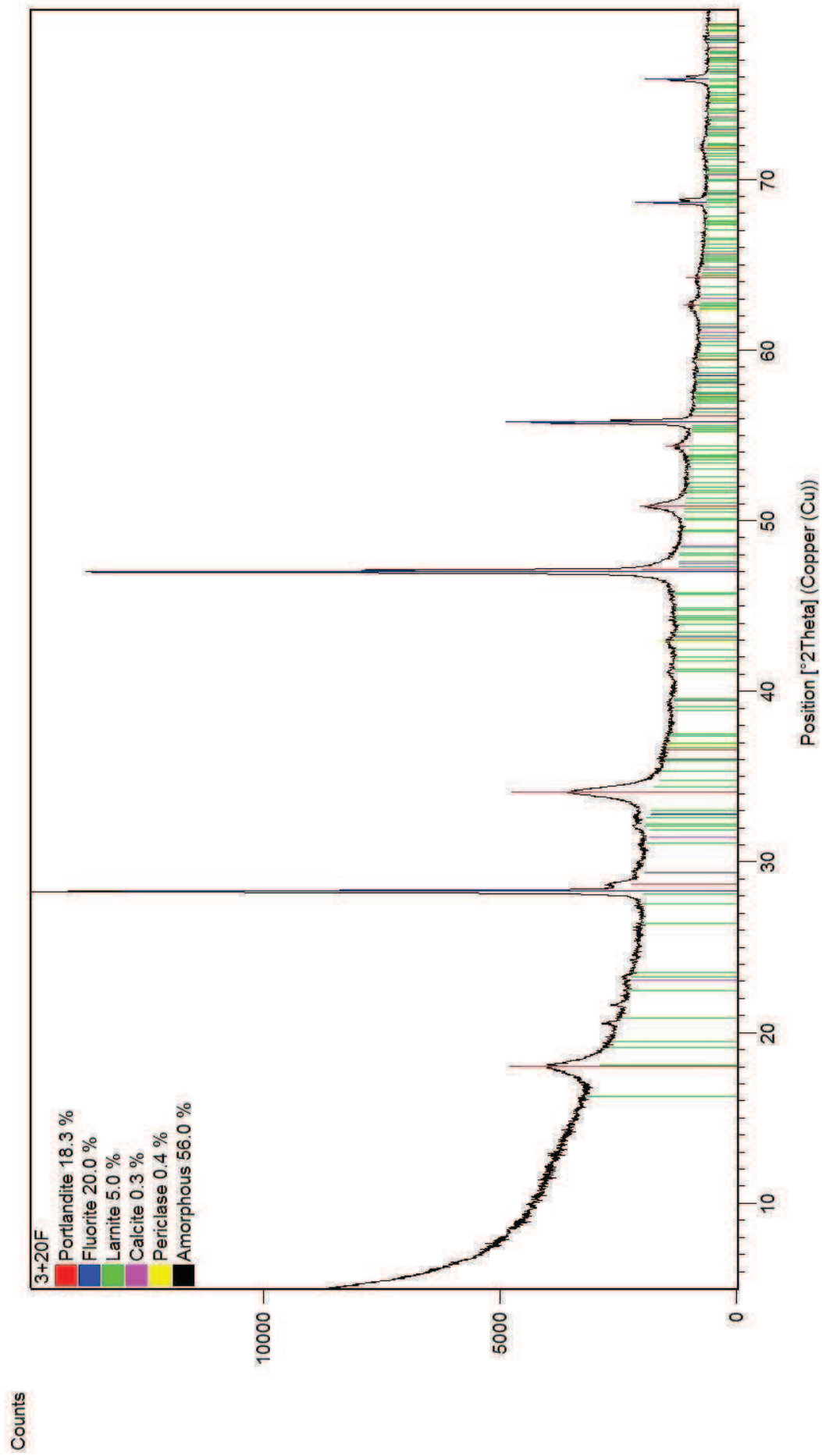
vzorek/minerál	č. 2
larnit	25,9
portlandit	63,5
kalcit	3,1
C3A - kubický	1,5
C3A - ortorombický	1,9
mayenit	1,0
gehlenit	0,8
periklas	1,8
křemen	0,6

Tab. 2: Výsledky kvantitativní fázové analýzy vzorku č. 3 v hmotnostních procentech, zaokrouhleno na jedno desetinné místo

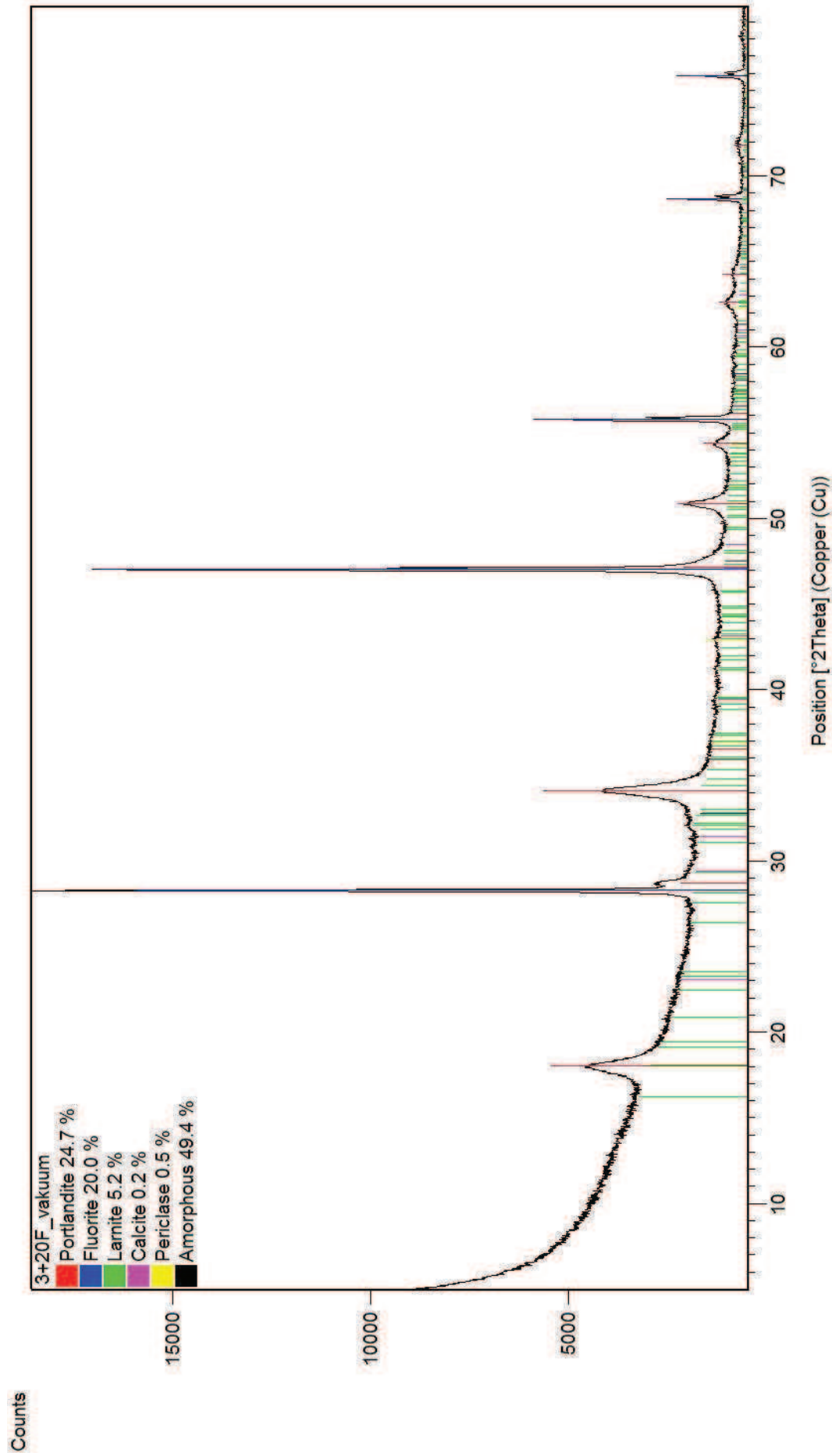
vzorek/minerál	č. 3 – sušeno na vzduchu	č. 3 – sušeno ve vakuu
portlandit	22,8	30,8
kalcit	0,4	0,3
larnit	6,3	6,5
periklas	0,5	0,6
amorfní fáze	70,0	61,8



Obr. 1: Difraktogram vzorku č. 2



Obr. 2: Difraktogram vzorku č. 3 – sušeno na vzduchu (fluorit byl použit jako vnitřní standard)



Obr. 3: Difraktoqram vzorku č. 3 – sušeno ve vakuu (fluorit byl použit jako vnitřní standard)

Seznam použité literatury v teoretické části práce

Projekt STONECORE, Stone Conservation for the Refurbishment of Buildings, informace na: <http://www.upce.cz/fr/veda-vyzkum/zahranicni/stonecore.html>

Projekt NANOFORART, informace na: <http://www.upce.cz/fr/veda-vyzkum/zahranicni/nanoforart.pdf>

Projekt NANOLITH, informace na: <http://www.upce.cz/fr/veda-vyzkum/zahranicni/nanolith.pdf>

ANTOŠ, Petr, ANTOŠOVÁ, Barbora, KOUTNÍK, Petr, RYŠÁNEK, Petr, ČMELÍK, Jiří, HÁJKOVÁ, Pavlína, PACINA, Jan, BRŮNA, Vladimír. Vápence a písky Čech, Moravy a Slezska. Vydání první. V Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, Fakulta životního prostředí, 2015. ISBN 978-80-7414-975-7.

BAYER, K. Možnosti hodnocení efektivity konsolidace porézních anorganických materiálů. In Organokřemičitany v české památkové praxi. Praha: Národní památkový ústav, 2008. s. 35-41. ISBN 978-80-87104-15-6

BAYER, Karol, MACOUNOVÁ, Dana, - MACHAČKO, Luboš, Nanosuspenze hydroxidu vápenatého jako konsolidanty porézních vápenců a vápenatých omítek - od laboratorních testů k praktické aplikaci. In Acta Artis Academica 2012 - znalost a praxe ve výtvarném umění. Praha: Akademie výtvarných umění v Praze, 2012. s. 325-345. ISBN 978-80-87108-33-8

CARMICHAEL, Jemimah a Prince ARULRAJ. Influence of nano materials on consistency, setting time and compressive strength of cement mortar. In: Engineering Science and Technology: An International Journal. 2012, vol. 2, issue 1, s. 158-162. ISSN 2250-3498. Dostupné z: <http://www.estij.org/papers/vol2no12012/25vol2no1.pdf>

DUNAJSKÁ, Jana, Zhodnocení současných možností konsolidace vápenných omítek konsolidanty na bázi hydroxidu vápenatého, Bakalářská práce, Fakulta restaurování, Univerzita Pardubice, 2009

GEMRICH, Jan, LAHOVSKÝ, Jiří, TÁBORSKÝ, Tomáš. Ochrana životního prostředí a využití vápenců. Praha: Ministerstvo životního prostředí ČR, 1998. ISBN 80-7212-049-2.

GIRSA, V., MICHONOVÁ, D.: Prosazujeme v praxi konzervaci omítek vápennou vodou a Závěry a doporučení z 2. odborné dílny Odborně metodické aspekty konzervace omítek tradičními technologiemi v souvislosti s konzervačním přístupem obnovy památek, Zpráva památkové péče, roč. 62, č. 7, 2002

GLÁSER, Petr a Vratislav NEJEDLÝ (eds.). Organokřemičitany v české památkové praxi: sborník z konference Padesát let používání organokřemičitanů na území České republiky, konané pod záštitou ICOMOS, Národního památkového ústavu a Národního muzea 16. dubna 2008. 1. vyd. Praha: Národní památkový ústav, ústřední pracoviště, 2008. Práce (Národní památkový ústav). ISBN 978-80-87104-15-6

GRYDILOVÁ, Kateřina, Současný stav a provenience lithothamniových vápenců historických památkových objektů města Brna, Diplomová práce, Masarykova univerzita v Brně, Ústav geologických věd, Fakulta přírodovědecká, 2007.

GUALTIERI A. F., VIANI T. A., MONTANARI C., 2005. Quantitative phase analysis of hydraulic limes using the Rietveld method. Elsevier, Cement and Concrete Research, Science direct, 36, str. 401-406.

HAVLÍN, Jakub, Monika SLAVÍKOVÁ, Jan VÁLEK a Karel PAVELKA. Metodika využití neinvazivních průzkumových metod – georadaru, impakt echa a povrchového měření šíření ultrazvuku k posouzení stavu a konstrukčních detailů pískovcového pláště stavebních konstrukcí. In: Univerzita Pardubice [online]. Pardubice, 2015 [cit. 2016-02-29]. Dostupné z: <http://projekty.upce.cz/naki27/cert-metodiky/cert-met-02/cert-met-02-text.pdf>

HLAVÁČ, Jan. Základy technologie silikátů. 1. vyd. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1981. <http://departments.fsv.cvut.cz/k135/wwwold/webkurzy/mikro/vapenec.html>

CHAMRA, Svatoslav, kol., virtuální galerie mikroskopických výbrusů hornin

JO, Byung Wan, Ji Sun CHOI a Seok Won KANG. An Experimental Study on the Characteristics of Chemically Synthesized Nano-Cement for Carbon Dioxide Reduction. Advanced Materials Research. 2010, 148-149, s. 1717-1721. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.148-149.1717. Dostupné z: <http://www.scientific.net/AMR.148-149.1717>

KIESLINGER alois, Zerstörungen an steinbauten, Vien 1932

KOTLÍK, Petr. Stavební materiály historických objektů: materiály, koroze, sanace. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 1999. ISBN 80-7080-347-9.

KOZLOCEV, Petr, Experimentální výzkum paleozoických vápenců barrandienské oblasti s ohledem na jejich možné využití pro výpal hydraulických vápen a přírodního cementu , diplomová práce, Přírodovědecká fakulta, Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů, 2012

KOZLOCEV, Petr, Vápence Českého krasu a jejich využití pro hydraulická vápna a přírodní cementy, Bakalářská práce, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů, 2010

LABAJ, Martin, Vysokohodnotné betony s využitím nanočástic, bakalářská práce, vysoké učení technické v Brně, fakulta stavební, 2014

LIN, Zhibin, Ismael FLORES a Konstantin SOBOLEV. Nano-engineered cements with improved early strength. In: 4th International Symposium on Nanotechnology in Construction. Greece, 2012. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/235978581_Nanoengineered_cements_with_improved_early_strength

MACOUNOVÁ, Dana, Restaurování vápencové sochy anděla z domu č. p. 48 v Kutné Hoře s využitím nanosuspenzí na bázi hydroxidu vápenatého / Testování možností využití nanosuspenzí na bázi hydroxidu vápenatého pro konsolidaci organodetrického vápence; Rozšířená restaurátorská zpráva, Bakalářská práce, Fakulta restaurování, Univerzita Pardubice, 2011

MAXOVÁ, Ivana, Vratislav NEJEDLÝ a Pavel ZAHRADNÍK. Mariánské, trojiční a další světecké sloupy a pilíře v Jihočeském kraji: (okresy České Budějovice, Český Krumlov, Jindřichův Hradec, Písek, Prachatice, Strakonice a Tábor). Praha: Národní památkový ústav, 2009. ISBN 978-80-87104-33-0.

MAXOVÁ, Ivana, Vratislav NEJEDLÝ a Pavel ZAHRADNÍK. Mariánské, trojiční a další světecké

sloupy a pilíře v kraji Vysočina: (okresy Havlíčkův Brod, Jihlava, Pelhřimov, Třebíč a Žďár nad Sázavou). Praha: Národní památkový ústav, 2006. Edice Vysočiny. ISBN 80-86234-87-8.

MICHOINOVÁ, D.: Konsolidace vápennou vodou I., Zprávy památkové péče, roč. 62, č. 5, 2002

NOVÁK, Josef. Soupis památek historických a uměleckých v politickém okrese Jindřicho-Hradeckém. V Praze: nákladem Archeologické komise při České Akademii císaře Františka Josefa pro vědy, slovesnost a umění, 1901. Soupis památek historických a uměleckých v Království českém, 14.

PAŘENICOVÁ Petra, Možnosti konzervace povrchu leštitelných vápenců, diplomová práce, fakulta restaurování, univerzita Pardubice 2011

PERUTKOVÁ, Jana, Kamila KREJČÍŘÍKOVÁ a Jana PETROVÁ. Zahrada jako obraz ráje. Průvodce zámeckým parkem v Jaroměřicích nad Rokytnou. 1. vyd. České Budějovice: Národní památkový ústav, 2014. 50 s. ISBN 978-80-87890-06-6.

PROŠKOVÁ, Pavlína, Srovnávání vlastností vápna připravovaného tradičními technologiemi s průmyslově vyrobenými produkty, bakalářská práce, Fakulta restaurování, univerzita Pardubice, 2008

RIEGL, Alois, HLOBIL, Ivo a Ivan KRUIS (eds.). Moderní památková péče. Překlad Tomáš Hlobil. Praha: Národní památkový ústav, 2003. ISBN 80-86234-34-7.

ROVNANÍKOVÁ, Pavla, Doc. RNDr. CSc, O vápně, Keiminfo magazín, 2., 2000, dostupné na: <http://www.keim.cz/info/00-2/info1.htm>

SLÍŽKOVÁ, Zuzana, DRDÁCKÝ, Miloš, VIANI, Alberto, Consolidation of weak lime mortars by means of saturated solution of calcium hydroxide or barium hydroxide, in Journal of Cultural Heritage Volume 16, Issue 4, July–August 2015, Pages 452–46

SLÍŽKOVÁ, Zuzana, FRANKEOVÁ, Dita, TIŠLOVÁ, Renata, Metodika určení rozhodných materiálových charakteristik historických stavebních materiálů pro plánovaný restaurátorský zásah.

ŠTELCL Jindřich, kol., Multimediální atlas hornin, Ústav geologických věd, PřF MU, Brno, 2013, dostupné na <http://atlas.horniny.sci.muni.cz/sedimentarni/vapenec.html>

ŠULCOVÁ P., BENEŠ L.: Experimentální metody v anorganické technologii, Univerzita Pardubice, 2008.

ŠULCOVÁ P., DOHNALOVÁ: Anorganické pigmenty, vlastnosti a metody hodnocení, Univerzita Pardubice, 2015.

TĚHNÍK, Vladimír, kol, Vápenec jako základní kámen maltovin, Výzkumný ústav stavebních hmot a. s., dostupné na www.svcement.cz/includes/.../pdf/sd2008-prednaska-vt-vapence.pdf

TIŠLOVÁ, Renata, NOVOTNÁ, Adéla, Opravné malty-umělý kámen pro biodetritické vápence, sborník konference Maltoviny 2015, ISBN 978-80-214-5294-7

TIŠLOVÁ, Renata, SLÍŽKOVÁ, Zuzana, NOVOTNÁ, Adéla, FRANKEOVÁ, Dita, KUNEŠ, Petr, DOUBAL, J. Metodika pro určení mezí a intervalů významných materiálových charakteristik opravných materiálů a technologií pro kompatibilní zásah. 2015.

VÁVRA, Václav a Jindřich ŠTELCL. Významné geologické lokality Moravy a Slezska. Brno: Masarykova univerzita, 2014. ISBN 978-80-210-6715-8.

VOJTĚCHOVSKÝ, Jan, Konsolidace povrchových úprav vápenných omítek pomocí alkoholových suspenzí na bázi $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Rozprava k disertační práci, Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze, nepublikováno, 2013