

Univerzita Pardubice
Fakulta restaurování

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2011

Dana Macounová

**Univerzita Pardubice
Fakulta restaurování**

**Restaurování vápencové sochy anděla z domu čp. 48 v Kutné
Hoře s využitím nanosuspenzí na bázi hydroxidu vápenatého /
Testování možností využití nanosuspenzí na bázi hydroxidu
vápenatého pro konsolidaci organodetritického vápence;**

Rozšířená restaurátorská zpráva

Dana Macounová

**Bakalářská práce
2011**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Dana Macounová**
Osobní číslo: **R07002**
Studijní program: **B8206 Výtvarná umění**
Studijní obor: **Restaurování a konzervace kamene a souvisejících materiálů**
Název tématu: **Restaurování vápencové sochy anděla z ohradní zdi domu čp. 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**
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 restaurování vápencové sochy anděla z domu čp. 48 z Kutné Hory se zaměřením na studium možností aplikace nano-suspenzí na bázi hydroxidu vápenatého pro konsolidaci vápenců z oblasti Kutnohorska.

Rozsah praktické části bakalářské práce: Bakalářská práce zahrnuje samostatné řešení restaurátorského úkolu v plném rozsahu od zpracování návrhu na restaurování, přes důkladný restaurátorský průzkum až po vlastní restaurování a zpracování restaurátorské dokumentace. Zvláštní pozornost bude věnována studiu možností aplikace nano-materiálů pro zpevnění karbonátových podkladů (v rámci projektu STONECORE ze 7. rámcového programu číslo: NMP-SE-2008-213651). Vzhledem ke skutečnosti, že výsledky bakalářské práce budou využity ve zmíněném projektu STONECORE, bude předpokládaný rozsah práce vyšší než v případě standardních bakalářských prací. Součástí práce bude i odzkoušení daných materiálů pro další účely stabilizace stavu sochy - injektáže prasklin, stabilizace okrajů korodovaných míst. Práce budou průběžně konzultovány s technologi, a budou probíhat s dohledem pedagogů restaurátorů. Používané postupy a technologie budou voleny na základě důkladných zkoušek.

Rozsah teoretické (experimentální) části bakalářské práce: příprava série referenčních vzorků z vybraného typu horniny odpovídajícího hornině použité na zhotovení sochy anděla z domu čp. 48 v Kutné Hoře (organodetrický vápenec z lokality Kutná Hora) a zjištění jejich základních vlastností; provedení zkoušek konsolidace a optimalizace aplikace prostředky na bázi nanosuspenzí hydroxidu vápenatého; vyhodnocení efektivity konsolidace resp. možných negativních vlivů souvisejících s aplikací testovaného typu konsolidantu; podle výsledků laboratorních zkoušek odzkoušení vybraného typu prostředku na referenční ploše reálného objektu; sumarizace a závěrečné vyhodnocení výsledků zkoušek

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

závěrečné práce studentů Fakulty restaurování Univerzity Pardubice a Institutu restaurování a konzervačních technik o. p. s.; Kotlík P.a kol., Stavební materiály historických objektů, Praha 1999; Zelinger, J., Chemie v práci konzervátora a restaurátora, Praha 1987; Odborná periodika: Studies in conservation, Restauro, Journal of the American Institute for Conservation, Zprávy památkové péče, Kámen, Publikace STOP; Internetové zdroje: www.sciencedirect.com, <http://aata.getty.edu/NPS/>, www.springerlink.com/

Vedoucí bakalářské práce:

Mgr. art. Jakub Ďoubal
Ateliér restaurování kamene

Datum zadání bakalářské práce: **30. října 2010**

Termín odevzdání bakalářské práce: **15. srpna 2011**

L.S.

Ing. Karol Bayer
děkan

doc. Jiří Novotný, akad. sochař
vedoucí ateliéru

V Litomyšli dne 5. května 2011

Prohlašuji:

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

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

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

Práce je podle § 5 odst. 2 autorského zákona dílem souborným a vztahují se na něj ustanovení vyplývající z tohoto odstavce.

Dále prohlašuji, že při restaurování jsem použila pouze materiálů a postupů uvedených v této rozšířené restaurátorské zprávě a nejsem si vědoma nových zjištění a skutečností na restaurované památce, které by nebyly uvedeny v této zprávě.

Také prohlašuji, že restaurátorský zásah byl proveden v mezích určených zadáním.

Restaurátorská dokumentace je chráněna ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů s tím, že právo k užití ve smyslu zákona číslo 20/1987 sb. v plném znění (o památkové péči) má objednavatel a příslušný orgán památkové péče.

V Litomyšli dne 13. 8. 2011

.....
Dana Macounová

Počet vyhotovení restaurátorské zprávy: 3 ks

Místa uložení:

Národní památkový ústav, územní odborné pracoviště středních Čech v Praze
Sabinova 373/5, 130 11 Praha 3

Vlastník: JUDr. Miroslav Ďoubal, U Kola 241, Kutná Hora

Univerzitní knihovna Univerzity Pardubice
Studentská 519, 532 10 Pardubice
- v tištěné a elektronické podobě

Poděkování

Ráda bych poděkovala ing. Karolu Bayerovi za odborné konzultace a jeho obětavou pomoc v celém průběhu práce, bez níž by nemohla být realizována v takovémto, technologicky a vědecky provedeném rozsahu.

Dále bych chtěla poděkovat kolegům z projektu Stonecore, ať už z fakulty restaurování, nebo zahraničním, kteří se podíleli na jednotlivých částech práce analýzami, nebo ovlivnili její směr svými cennými poznatky a zkušenostmi v dané problematice.

Také děkuji vedení ateliéru restaurování kamene, za důvěru, kterou mi projevili zadáním tohoto úkolu, a tím i za poskytnutí příležitosti nabytí rozsáhlé zkušenosti ve vědeckém přístupu k restaurování.

ANOTACE:

Bakalářská práce je zaměřená na komplexní restaurování sochy anděla z porézního organodetrického vápence umístěné na obvodové zdi domu čp. 48 v Kutné Hoře. Zahrnuje samostatné řešení restaurátorského úkolu v plném rozsahu od zpracování návrhu na restaurování, přes důkladný restaurátorský průzkum až po vlastní restaurování a zpracování restaurátorské dokumentace. Socha byla výrazně poškozena korozí, přičemž lze jako hlavní korozní projevy jmenovat tvorbu krust, prasklin, lokální hloubkové zhoršení mechanických vlastností vápence, částečnou ztrátu modelace a na exponovaných plochách biogenní povlaky. Původní modelace byla na mnoha místech doplňovaná nevhodnými tmely, které rovněž přispěly k poškození originální hmoty kamene.

Část bakalářské práce byla věnována studiu možností využití nanosuspenzí hydroxidu vápenatého pro strukturální zpevnění porézních vápenců z oblasti Kutnohorska. Hlavním cílem této části práce bylo testování možností konsolidace vápence s materiálově kompatibilním zpevňovacím prostředkem poskytujícím pojivo stejného složení, jako má původní hornina, což byl jeden z hlavních požadavků na konzervační část zásahu. Součástí práce bylo i odzkoušení a modifikace materiálů na bázi nanosuspenzí hydroxidu vápenatého pro další účely stabilizace stavu sochy – injektáže prasklin, stabilizace okrajů korodovaných míst (výsledky byly využity i v rámci projektu STONECORE, 7. rámcový program, projekt číslo: NMP-SE-2008-213651).

Vlastní restaurátorské práce na restaurovaném objektu zahrnovaly všechny kroky vyplývající ze zadání a stavu sochy – šetrné čištění, odstranění biogenních povlaků a nevhodných sekundárních doplňků, odsolení, strukturální zpevnění, injektáž prasklin a zabezpečení okrajů poškozených míst a jejich doplnění tmely odpovídajícího vzhledu i vlastností a závěrečnou barevnou retuš doplněných míst.

KLÍČOVÁ SLOVA

restaurátorská zpráva, konsolidace, hydroxid vápenatý, nanosuspenze, vápenec, CaLoSiL®

TITLE

Restoration of an angel limestone statue from the house No. 48 in Kutna Hora using nanosols based on calcium hydroxide/Testing the possibilities of use of calcium hydroxide nano-suspensions for consolidation of organodetrific limestone; *Extended restoration report*

ABSTRAKT

The Bachelor work is focused to a comprehensive restoration of an angel statue made from organodetrific porous limestone located on the outer wall of the house No. 48 in Kutna Hora. It includes the solving of the full proposal for the restoration process, through a thorough restoration research to the self restoration process and restoration documentation. The statue was significantly damaged by corrosion, and main decay phenomena are manifested as formation of crusts, cracks, local depth decrease of mechanical properties of the limestone, partial shape losses and biogenic deposits on the exposed surfaces. The original surface was supplemented on many places with inadequate repair mortars, which also contributed to the damage of the original mass of stone.

Part of the thesis was aimed to a study of possibilities of using calcium hydroxide nanosuspensions for structural consolidation of porous Kutná Hora limestone. The main objective of this study was to test the possibility of consolidation of the limestone with a compatible binder providing similar composition as the original rock, which was one of the main requirements for conservation intervention. Testing and modification of materials based on calcium hydroxide nanosuspensions for other useful stabilization purposes as grouting of cracks, stabilization of the edges heavily corroded parts on the statue were also included to this section of the thesis (the results were used also in the international project STONECORE, 7th Framework Programme, project number: NMP-SE-2008- 213,651).

The restoration work on the statue itself incorporated all conservation and restoration steps resulting from the basic idea and the statue condition - sensitive cleaning, removal of biogenic coatings and inappropriate secondary repair mortars, desalination, structural consolidation, grouting of cracks, stabilization the edges of damaged parts and their integration with adequate repair mortars and the final color retouching.

KEYWORDS

restoration report, consolidation, calcium hydroxide, nanosuspension, limestone, CaLoSiL®

OBSAH

Úvod	9
1 Popis objektu	11
1.1 Lokalizace památky	11
1.2 Údaje o památce	11
1.3 Údaje o akci	11
1.4 Popis památky.....	12
2 Nálezová, průzkumová zpráva.....	13
2.1 Historie objektu	13
2.2 Popis stavu památky před započítím restaurátorských prací	15
2.3 Použitý typ horniny – petrografická charakteristika.....	20
2.4 Průzkum stavu objektu přírodovědnými metodami a základní petrofyzikální vlastnosti použitého typu horniny.....	23
2.4.1 Měření nasákavosti kamene, zjištění schopnosti přijímat kapaliny.....	23
2.4.2 Měření odporu vrtáním (DRMS) – zjištění soudržnosti povrchové vrstvy kamene	26
2.4.3 Průzkum povrchových vrstev, tmelů a studium struktury horniny	32
2.4.4 Zjištění stavu sochy metodou ultrazvukové transmise	38
2.4.5 Základní vlastnosti vápence.....	42
2.4.6 Měření obsahu vodorozpustných solí v kameni	44
2.5 Sumarizace výsledků průzkumu objektu	45
3 Formulace základní ideje koncepce restaurování	46
4 Testování konsolidantu nanosuspenzí na bázi hydroxidu vápenatého pro potřeby konzervace restaurovaného objektu – experimentální část	49
4.1 Popis konsolidantů CaLoSiL®	50
4.2 Základní popis materiálu laboratorních vzorků.....	52
4.3 Popis a příprava laboratorních vzorků.....	53
4.4 Testování strukturální konsolidace přípravkem CaLoSiL® E25 na laboratorních vzorcích.....	54
4.4.1 Úvod	54
4.4.2 Předběžné testování	54
4.4.3 Seznam vzorků a metodika testování CaLoSiLu® E25	56
4.4.4 Gravimetrické zjištění průběhu karbonatace a stanovení množství přijaté účinné látky konsolidantu	58

4.4.5	Vizuální posouzení barevných změn	62
4.4.6	Posouzení efektivity konsolidace metodou ultrazvukové transmise	63
4.4.7	Srovnání mechanických a fyzikálních vlastností materiálu laboratorních vzorků před a po konsolidaci	66
4.4.8	Studium mikrostruktury horniny po konsolidaci	72
4.5	Zkoušky omezení negativních jevů při strukturální konsolidaci produkty CaLoSiL®	74
4.6	Sumarizace výsledků testování konsolidační řady CaLoSiL® pro potřeby restaurování	76
5	Restaurování	78
5.1	Koncepce restaurování	78
5.2	Průběh prací	80
5.2.1	Čištění pro potřeby úspěšné konsolidace	80
5.2.2	Konsolidace a injektáž sóly na bázi hydroxidu vápenatého (CaLoSiL® E25, CaLoSiL® E50, CaLoSiL® Pasty) a její zhodnocení měřením ultrazvukovou transmisí a měřením odporu vrtání	82
5.2.3	Zajišťovací tmelení	95
5.2.4	Osazení odlomeného rohu podstavy a doplnění jejích chybějících částí minerálním tmelem	97
5.2.5	Čištění	100
5.2.6	Plastická a barevná retuš	102
5.2.7	Transfer – osazení	103
5.3	Použité materiály a technologie	104
5.4	Doporučený režim památky	105
6	Závěr	105
7	Obrazová příloha	108
	Obrazová příloha k restaurování sochy anděla z domu čp. 48 z Kutné Hory - stav před restaurováním	109
	Obrazová příloha k restaurování sochy anděla z domu čp. 48 z Kutné Hory – zákresy poškození	Chyba! Záložka není definována.
	Obrazová příloha k restaurování sochy anděla z domu čp. 48 z Kutné Hory - stav v průběhu restaurování	Chyba! Záložka není definována.
	Obrazová příloha k restaurování sochy anděla z domu čp. 48 z Kutné Hory - stav po restaurování	Chyba! Záložka není definována.

Obrazová příloha k restaurování sochy anděla z domu čp. 48 z Kutné Hory – srovnání stavu před a po restaurování	Chyba! Záložka není definována.
Obrazová příloha k restaurování sochy anděla z domu čp. 48 z Kutné Hory – zákres kovových spojovacích prvků	Chyba! Záložka není definována.
Obrazová příloha k experimentální části práce – testování nanosuspenzí hydroxidu vápenatého	Chyba! Záložka není definována.
8 Použitá literatura a prameny	Chyba! Záložka není definována.
9 Přílohy	Chyba! Záložka není definována.
Příloha č. 1: Závazné stanovisko	Chyba! Záložka není definována.
Příloha č. 2: Popis projektu STONECORE	Chyba! Záložka není definována.
Příloha č. 3: Petrologické vyhodnocení horninového vzorku ze sochy Anděla v Kutné Hoře	Chyba! Záložka není definována.
Příloha č. 4: Měření nasákavosti na soše anděla.....	Chyba! Záložka není definována.
Příloha č. 5: Průzkum povrchových vrstev a studium struktury horniny ...	Chyba! Záložka není definována.
Příloha č. 6: Zpráva k měření ultrazvukové transmise před restaurováním	Chyba! Záložka není definována.
Příloha č. 7: Porozita kutnohorského vápence.....	Chyba! Záložka není definována.
Příloha č. 8: Měření odporu materiálu vrtáním před a po konsolidaci (DRMS)	Chyba! Záložka není definována.
Příloha č. 9: Měření ultrazvukové transmise na laboratorních vzorcích	Chyba! Záložka není definována.
Příloha č. 10: Přípravné zkoušky injektážních směsí pojených konsolidanty řady CaLoSiL®.....	Chyba! Záložka není definována.
Příloha č. 11: Výsledky analýzy účinnosti konsolidace pomocí elektronové mikroskopie	Chyba! Záložka není definována.

Seznam tabulek:

Tabulka 1 Popis míst měření nasákavosti a jeho výsledky.....	25
Tabulka 2 Popis míst měření odporu vrtání kladeného horninou.....	29
Tabulka 3 Výsledky měření odporu vrtáním	30
Tabulka 4 Výsledky měření UZ signálu v jednotlivých měřících bodech	40
Tabulka 5 Průměr, horní a dolní hranice naměřených hodnot při UZ transmisi	41
Tabulka 6 Základní údaje o hornině, nasákavost, porozita a hmotnost.....	43
Tabulka 7 Sumární výsledky rtuťové porozimetrie.....	43
Tabulka 8 Základní vlastnosti referenčního, nekonsolidovaného vápence	52
Tabulka 9 Seznam vzorků a popis napouštěcích cyklů	57
Tabulka 10 Hmotnost předpokládaného obsahu účinné látky konsolidantu před a po karbonataci.....	58
Tabulka 11 Popis způsobu gravimetrického sledování průběhu karbonatace	59
Tabulka 12 Popis časových rozestupů gravimetrického sledování vzorků	60
Tabulka 13 Sumarizace výsledků měření, podle způsobu ošetření viz. tabulka 9	64
Tabulka 14 Průměrné pevnosti v tlaku před a po konsolidaci (na sérii 3 testovacích tělísek)	67
Tabulka 15 Průměrné pevnosti v tahu za ohybu před a po konsolidaci (na sérii 3 testovacích tělísek).....	67
Tabulka 16 Srovnání objemové hmotnosti, nasákavosti a celkové otevřené porozity neošetřených a konsolidovaných testovacích tělísek.....	69
Tabulka 17 Výsledky měření odporu vrtáním na referenčních vzorcích před a po konsolidaci	70
Tabulka 18 Zkoušky odstraňování bílého zákalu z Kutnohorského mušlového vápence	75
Tabulka 19 První konsolidační fáze, měření spotřeby konsolidantu na definovaných plochách.....	84
Tabulka 20 Měření rychlosti průchodu signálu ultrazvukovou transmisí na soše anděla po první etapě konsolidace, srovnání výsledků s měřením před konsolidací.....	86
Tabulka 21 Měření rychlosti průchodu signálu ultrazvukovou transmisí po konsolidaci odlomeného levého zadního rohu podstavy	87
Tabulka 22 Spotřeba konsolidantu na ploše podstavy po druhé etapě konsolidace, tedy ve čtyřech napouštěcích cyklech	88
Tabulka 23 Spotřeba konsolidantů ve druhé napouštěcí fázi sochy anděla.....	89

Tabulka 24 Srovnání měření rychlosti průchodu signálu ultrazvukovou transmisí před a po restaurování.....	89
Tabulka 25 Místa měření odporu vrtáním po konsolidaci.....	92
Tabulka 26 Receptury zkoušených zajišťovacích tmelů	96
Tabulka 27 Legenda zkratk a výrazů k tabulce č. 19; popis použitých materiálů.....	96
Tabulka 28 Receptury zkoušených tmelů pro plastické retuše.....	98
Tabulka 29 Legenda zkratk a výrazů k tabulce č. 20; popis použitých materiálů.....	98
Tabulka 30 Zkoušky mokrých metod čištění.....	101

Seznam grafů:

Graf 1 Profil rychlostí UZ (závislost rychlosti na tloušťce měřeného místa).....	41
Graf 2 Distribuce velikosti pórů podle měření rtuťovou porozimetrií	43
Graf 3 Sledování změn hmotnosti po napouštění - odpar rozpouštědla	61
Graf 4 Přírůstky hmotnosti v průběhu karbonatce - po odpaření rozpouštědla	61
Graf 5 Předpokládaný a skutečný přírůstek hmotnosti po karbonataci	61
Graf 6 Závislost rychlosti UZ signálu na době od nanesení konsolidantu	65
Graf 7 Srovnání pevnosti v tlaku na testovacích tělískách	68
Graf 8 Srovnání pevnosti v tahu za ohybu na testovacích tělískách.....	68

Seznam obrázků:

Obrázek 1 Vápenec biodetritický písčité, hrubozrný; zvětšeno 32x; nikoly X; struktura – opracovaný kalcitový biodetrit, křemenné klasty, hematit – limonit	21
Obrázek 2 Rastrovací elektronová mikroskopie, fotografie nábrusu v režimu odražených elektronů (REM-BEI); nejsvětlejší částice jsou částice (úlomky) uhličitanu vápenatého (kalcitu), póry jsou tmavošedé až černé. Na fotografii je zřetelně viditelná vysoká porozita....	21
Obrázek 3 Rastrovací elektronová mikroskopie, fotografie nábrusu v režimu odražených elektronů (REM-BEI), detail horniny, na foto je poměrně zřetelně vidět relativně „slabé“ propojení jednotlivých zrn vápence dotykovým tmelem.....	22
Obrázek 4 rastrovací elektronová mikroskopie, fotografie nábrusu v režimu odražených elektronů (REM-BEI), detail horniny s vrstevnatými částicemi slídy přítomnými ve vápenci	22
Obrázek 5 Měření nasákavosti Karstenovou trubicí na soše anděla.....	24
Obrázek 6 Fotografie povrchů, na kterých byla měřena nasákavost.....	25

Obrázek 7	Zákres míst měření nasákavosti	25
Obrázek 8	Měření přístrojem DRMS Cordless (SINT, I) na podstavě sochy anděla.....	27
Obrázek 9	Zákres míst odběru vzorků na mikroskopii.....	33
Obrázek 10	Vzorek V1 (5955); nábrus, optický mikroskop, dopadající světlo, fotografováno při zvětšení 50x.....	34
Obrázek 11	Vzorek V1 (5955); nábrus, optický mikroskop, dopadající světlo, fotografováno při zvětšení 100x, detail s fragmenty povrchových úprav	34
Obrázek 12	Vzorek V1 (5955); nábrus, REM-BEI, foto v režimu odražených elektronů, barevné vrstvy.....	34
Obrázek 13	Vzorek V1 (5955); nábrus, REM-BEI, foto v režimu odražených elektronů, detail s korodovaným povrchem vápence.....	34
Obrázek 14	Vzorek V2 (5956); nábrus, optický mikroskop, dopadající světlo, fotografováno při zvětšení 50x.....	35
Obrázek 15	Vzorek V2 (5956) nábrus, REM-BEI, foto v režimu odražených elektronů	35
Obrázek 16	Vzorek V3 (5957); nábrus, optický mikroskop, dopadající světlo, fotografováno při zvětšení 50x.....	36
Obrázek 17	Vzorek V3 (5957); nábrus, REM-BEI, foto v režimu odražených elektronů, detail základní hmoty tmelu s fragmenty slínekových částic z cementu.....	36
Obrázek 18.	Vzorek V11; struktura korodovaného vápence, lomová plocha horniny, REM-SEI, foto v režimu sekundárních elektronů	37
Obrázek 19	Vzorek V11; struktura korodovaného vápence, lomová plocha horniny, REM-SEI, foto v režimu sekundárních elektronů	37
Obrázek 20	Zákres měřících bodů ultrazvukové transmise.....	39
Obrázek 21	Nábrus vápence, elektronová mikroskopie v režimu odražených elektronů; vizualizace porézního systému (vybarven červeně), vysoko porézní materiál – menší, „spojovací“ póry o velikosti 1-10 μm a větší o velikosti 30-150 μm	44
Obrázek 22	Konsolidany firmy IBZ-Freiberg s obchodním názvem CaLoSiL®	51
Obrázek 23	Laboratorní vzorek s korodovaným povrchem	53
Obrázek 24	Zkouška metody aplikace na penetraci; 2 vz. napuštěné kapáním vlevo, 2 vz. napuštěné štětcem vpravo	55
Obrázek 25	Vzorky VZ1 - VZ4,.....	62
Obrázek 26	Vzorky VZ1 - VZ4,.....	62
Obrázek 27	Vzorky VZ17 - VZ20,.....	62
Obrázek 28	Schématické vyznačení měřících bodů	64

Obrázek 29 Nábrus horniny vzorku po konsolidaci v pěti napouštěcích cyklech; viditelná místa depozice nanosolu (CaLoSiL [®] E25) v struktuře vápence*	72
Obrázek 30 Nábrus horniny vzorku po konsolidaci v pěti napouštěcích cyklech; barevná vizualizace míst depozice konsolidantu*	72
Obrázek 31 Lomová plocha horniny vzorku po konsolidaci v pěti napouštěcích cyklech; ve srovnání s původní strukturou bez pozorovatelných změn, otevřená, hruboporézní struktura**	73
Obrázek 32 Lomová plocha horniny vzorku po konsolidaci v pěti napouštěcích cyklech; ukládání konsolidantu mezi zrna vápence (v místech kontaktu)**	73
Obrázek 33 Lomová plocha horniny vzorku po konsolidaci v pěti napouštěcích cyklech; struktura karbonatovaného konsolidantu – karbonatovaného nanosolu hydroxidu vápenatého - po přeměně na uhličitán vápenatý s viditelnými krystalky kalcitu**	73
Obrázek 34 Detail zkoušky odstranění krusty mikropískováním; tenká plošná krusta s dobrou adhezí k povrchu	81
Obrázek 35 Detail zkoušky odstranění krusty UZ dlátkem z tmelu; na fotografii je viditelné špatné rozpoznání tmelu od kamene, z důvodu pokrytí krustou	81
Obrázek 36 Detail zkoušky odstranění krusty UZ mikrodítkem z kamene; plošná, silná „stékající“ krusta s dobrou adhezí k povrchu	81
Obrázek 37 Grafické znázornění napouštěných ploch v první fázi konsolidace CaLoSiLem [®] E25	84
Obrázek 38 Fotografie levého zadního rohu podstavy, který byl také napouštěn v první konzervační fázi	84
Obrázek 39 Zákres měřících bodů ultrazvukové transmise se zvýrazněním měření po dvou konsolidačních cyklech	85
Obrázek 40 Odlomený levý zadní roh podstavy po konsolidaci a injektáži se znázorněním měřících bodů ultrazvukové transmise po konsolidaci	87
Obrázek 41 Provedené zkoušky tmelů s vyznačením vybraného tmelu pro plastické retuše na soše anděla (tmel č. 2)	99

Úvod

Hlavním zadáním této bakalářské práce bylo komplexní restaurování vápencové sochy anděla z Kutné Hory¹, které zahrnovalo důkladný průzkum, vyhodnocení stavu, zpracování podrobné koncepce restaurování a následně realizaci jednotlivých restaurátorských kroků včetně standardní dokumentace stavu objektu před restaurováním, v jeho průběhu a po restaurování.

Součástí práce bylo otestování možností využití koloidních disperzí hydroxidu vápenatého v ethanolu, pro potřeby konzervace sochy anděla (využitého i jako referenční objekt v rámci mezinárodního projektu STONECORE²). V případě uspokojivých výsledků testování se předpokládalo využití nanosuspenzí i pro vlastní konzervaci restaurovaného objektu. Konkrétně se jednalo o konsolidanty řady CaLoSil[®]. Základní myšlenkou využití daného typu konsolidantu bylo zachování materiálové kompatibility prostředků pro strukturální konsolidaci a injektáž karbonátové horniny z oblasti Kutnohorska.

Tímto můžeme přirozeně obsah bakalářské práce, rozdělit na dvě části, teoreticko-experimentální, nebo pouze experimentální a praktickou část, tedy samotné využití poznatků experimentální části práce v reálných podmínkách. První část druhou podmiňuje, doplňuje a navzájem jsou velmi úzce provázané.

Teoreticko-experimentální část práce pojednává o laboratorním testování strukturální konsolidace materiály na bázi hydroxidu vápenatého, popisuje konsolidovaný materiál a shrnuje a vyhodnocuje zjištěné poznatky. V této přípravné, čili experimentální, části je popsáno systematické testování konsolidantu CaLoSil[®]E25³ v laboratorních podmínkách (a jeho metodika) na připravených vzorcích ze stejného typu kutnohorského sedimentu, s cílem přiblížit se reálným podmínkám jeho aplikace v praktické části práce. Testování zahrnovalo poznání fyzikálních a mechanických vlastností materiálu před i po aplikaci konsolidantu, nalezení nejvhodnějších metod aplikace, snahu minimalizovat vedlejší účinky aplikace a shrnutí, srovnání a vyhodnocení všech poznatků. Na základě výsledků testování strukturální konsolidace, které byly uspokojivé pro jejich další využití v praktické části, bylo přistoupeno ke konzervační části restaurování na soše anděla, na které již probíhaly práce předcházející prekonsolidaci a konsolidaci.

¹ Socha tvoří spolu s dalším andělem, dvěma vázami a ústřední figurou Panny Marie Svatohorské sochařskou výzdobu ohradní zdi domu čp. 48 na Náměstí národního odboje v Kutné Hoře, je datována rokem 1764

² Stone Conservation for the Refurbishment of Buildings; projekt v rámci 7.RP (NMP-SE-2008-213651)

³ obsah hydroxidu vápenatého rozptýleného v ethanolu 25g/l

Praktická část práce, kterou byl tedy samotný proces konzervace a restaurování sochy anděla s dítětem z Kutné Hory, zahrnuje restaurátorskou dokumentaci se všemi náležitostmi a její významná část (tedy experimentální část práce, která je včleněna do struktury restaurátorské dokumentace v kapitole č. 4., která předchází stanovení koncepce zásahu, jež byla formulována na základě jejího vyhodnocení) se zaměřuje na konsolidaci daného typu vápence vápennými nanosuspensemi v ethanolu řady CaLoSil[®].

Cílem této práce je dokumentovat a prezentovat nejen samotný restaurátorský zásah, ale současně i výsledky testování a reálného použití nového typu konsolidantu určeného pro karbonátové materiály formou podrobné restaurátorské dokumentace, která bude rozšířená o výše popsané kroky spojené s ověřováním použití nového materiálu v oblasti restaurování karbonátových sochařských děl.

1 Popis objektu

1.1 Lokalizace památky

Kraj:	<i>Středočeský</i>
Okres:	<i>Kutná Hora</i>
Obec:	<i>Kutná Hora</i>
Adresa:	<i>Národního odboje 48</i>
Název památky:	<i>sochařská výzdoba ohradní zdi – anděl s dítětem (vlevo od PM)</i>
Bližší určení:	<i>socha je součástí výzdoby ohradní zdi soukromého, městského domu</i>
Rejstříkové číslo restaurované památky:	<i>45019/2 – 1034/A22/3</i>

1.2 Údaje o památce

Autor (okruh; dílna apod.):	<i>kamenický mistr František Jelínek, nebo jeho dílna⁴; štafírováno malířem Čolícem⁵</i>
Sloh/datace:	<i>1764⁶</i>
Materiál/technika:	<i>kutnohorský, biodetritický, mušlový vápenec; sekané</i>
Rozměry:	<i>výška 147 cm, podstava sochy o rozměrech 83 cm (zepředu) x 48 cm (z boku),</i>
Předchozí známé restaurátorské zásahy:	<i>výzdoba ohradní zdi byla roku 1928 opravována sochařem Josefem Kafkou⁷ z Prahy</i>

1.3 Údaje o akci

Vlastník:	<i>JUDr. Miroslav Ďoubal, JUDr. Hana Ďoubalová, U Kola 241, Kutná Hora</i>
Investor:	<i>JUDr. Miroslav Ďoubal, JUDr. Hana Ďoubalová</i>
Závazné stanovisko:	<i>OÚ Kutná Hora, referát regionálního rozvoje; ze dne 27. 4. 1999</i>
Zadavatel:	<i>JUDr. Miroslav Ďoubal, U Kola 241, Kutná Hora</i>
Termín započetí prací:	<i>březen 2010</i>
Termín ukončení prací:	<i>březen 2011</i>

⁴ ZAHRADNÍK, Pavel. *Dějiny domu : Dějiny domu čp. 48 v Kutné Hoře*. 28 s. soukromý dokument JUDr. Miroslava Ďoubala (str. 10)

⁵ ZAHRADNÍK, Pavel. *Dějiny domu : Dějiny domu čp. 48 v Kutné Hoře*. 28 s. soukromý dokument JUDr. Miroslava Ďoubala (str. 10)

⁶ ALTOVÁ, Blanka. *Mariánský kult v Kutné Hoře ve 13. – 18. stol., Sborník muzea v Kolině. VI/96 (str. 232); ZAHRADNÍK, Pavel. Dějiny domu : Dějiny domu čp. 48 v Kutné Hoře*. 28 s. soukromý dokument JUDr. Miroslava Ďoubala (str. 10)

⁷ ZAHRADNÍK, Pavel. *Dějiny domu : Dějiny domu čp. 48 v Kutné Hoře*. 28 s. soukromý dokument JUDr. Miroslava Ďoubala (str. 19, 20)

1.4 Popis památky

Socha anděla s dítětem se nachází na zdi přiléhající k památkově významnému městskému domu v centru Kutné Hory. Spolu s dalším sousoším anděla s dítětem, dvěma vázami a ústřední figurou Panny Marie Kutnohorské, která je umístěna na větším, bohatě členěném a sochařsky pojednaném soklu se dvěma putti po stranách a centrálním členitým reliéfem zvěstování Panně Marii, tvoří sochařskou výzdobu ohradní zdi domu čp. 48 na náměstí Národního odboje. Zeď, na které se nachází sousoší „*Kutnohorské Panny Marie mezi anděly*“⁸ z kutnohorského písčitého vápence, je orientována pohledovou, tedy svojí venkovní stranou, na západ (viz. obrazová příloha str 110 a 134).

Socha anděla s dítětem, která je umístěna na nižším, profilovaném podstavci po pravici Panny Marie, je 147 cm vysoká. Po pravém boku anděla, který vzhlíží vlevo k Panně Marii, stojí dítě, jež mu svojí výškou dosahuje do pasu a rovněž hledí vzhůru směrem k Bohorodičce. Postava anděla s rozpuštěnými, polodlouhými vlasy je nakročena levou nohou ke hraně plintu sousoší, ta je pokrčená v kolenu. Pravá noha je zcela skryta. Levou ruku má položenou na prsou, pravá mu jemně spočívá na pravém rameni dítěte a nad ní je vidět velká část pravého křídla. U levého vyčnívají jen koncové perutě pod pokrčenou levou rukou. Anděl je oděn ve volném, až k zemi dlouhém rouchu či albě, kterou má v pase přepásanou látkou nebo šňůrou. Na ramenou má obdobu kratšího pluvialu s límcem a je obut do páskových bot, jejichž pásy pokračují nad polovinu lýtky.

Postava dítěte, rovněž s polodlouhými, rozpuštěnými, vlnitými vlasy, je oděna do dlouhého oděvu s rukávy vyhrnutými po lokty. V obou rukou drží v úrovni pasu předmět, který je vlivem vysokého stupně koroze těžko rozpoznatelný. Podle ikonografického výkladu by mohlo jít pravděpodobně o rybu, jakožto jeden z atributů Tobiáše, kterého chrání archanděl Rafael. V tomto případě by druhé sousoší znázorňovalo archanděla Michaela s Danielem.⁹ (viz. obrazová příloha str. 134 a 135).

⁸ ALTOVÁ, Blanka. *Mariánský kult v Kutné Hoře ve 13. – 18. stol.*, Sborník muzea v Kolině. VI/96 (str. 232);

⁹ „Andělé strážní, jejichž uctívání se stalo oblíbeným v 16. a 17. stol., se objevují ve Starém zákoně, a to Rafael (viz Tobiáš) a Michael, ochránce Izraelitů (Da 10, 13; 11,1).“ HALL, James. *Slovník námětů a symbolů ve výtvarném umění*. Praha, Litomyšl : Paseka, 2008. 520 s. ISBN 978-80-7185-902-4 (str. 46)

2 Nálezová, průzkumová zpráva

Tato samostatná kapitola je zaměřena na podrobné zjištění, shrnutí a vyhodnocení různorodých poznatků, na jejichž základě byla stanovena koncepce celého restaurátorského zásahu.

První část je věnována shromáždění informací o historických souvislostech vzniku a další existenci díla, jako jsou např. autor, původní úprava vzhledu a v neposlední řadě restaurátorské a další předchozí zásahy. V další části je popsán současný stav objektu, jsou zde charakterizovány hlavní korozní vlivy a zhodnocen jejich vliv na další životnost památky. Samostatná podkapitola je také věnována zjištění základních vlastností použitého materiálu a jeho stavu, dále je soustředěna na důkladný průzkum povrchových vrstev objektu, případných sekundárních zásahů, nebo fragmentů povrchových úprav. Její výsledky byly využity ke stanovení požadavků kladených na jednotlivé fáze konzervačních prací.

V závěru jsou všechny zjištěné poznatky shrnuty a vyhodnoceny a na jejich podkladě byl navržen detailní postup a vhodné technologie restaurátorského zásahu.

2.1 Historie objektu

První písemnou zmínkou o existenci domu, jehož součástí se později stala i výzdoba na přilehlé ohradní zdi, je zápis v městské knize z roku 1486 o prodeji domu, který by mu svojí polohou odpovídal. „*Na základě písemných pramenů jsme s to sledovat dějiny tohoto domu od poloviny 16. století.*“¹⁰ Celý dům prošel v rukou mnoha majitelů celou řadou stavebních úprav. K jedné z nejrozsáhlejších lze zařadit úpravy Antonína Weidmanna, při kterých došlo rovněž ke zhotovení výzdoby na ohradní zdi, jak dokládá tento záznam z roku 1765 o vyrovnávání účtů po Weidmannově smrti „*K dostavení statuae na zdi zahradní při domě Weidmannovským ke cti Nejsvětější Bohorodičky Kutnohorské – 21.0 (OA Kutná Hora, AMKH, kniha dědictví 175 –1769, str. 864-890).*“¹¹, který zemřel v roce 1764.

Ze stejného pramenu se rovněž, z účtu provedených stavebních prací od p. Müllera, dozvídáme informace o kamenickém mistru Františku Jelínkovi a štafíři Čoličovi, který „*je nepochybně totožný s Janem Čoličem, který je prvně připomínán k roku 1760 a který namaloval roku 1770 obrazy do kostela Nejsvětější Trojice (kopii Brandlova obrazu Nejsvětější Trojice na hlavní oltář a obrazy sv. Jana Nepomuckého a Boží Rodiny na*

¹⁰ ZAHRADNÍK, Pavel. *Dějiny domu : Dějiny domu čp. 48 v Kutné Hoře*. 28 s. str. 1; soukromý dokument JUDr. Miroslava Ďoubala (str. 1)

¹¹ Převzato z: ZAHRADNÍK, Pavel. *Dějiny domu : Dějiny domu čp. 48 v Kutné Hoře*. 28 s. str. 1; soukromý dokument JUDr. Miroslava Ďoubala (str. 10)

postranní oltáře) roku 1789 obraz Křtu Páně, jenž se nacházel v kostele sv. Bartoloměje, a roku 1795 údajně obraz na hlavní oltář kostela sv. Anny v Litomyšli (E. Leminger, *Umělecké řemeslo v Kutné Hoře, Praha 1926, str. 260-262*).¹² Vzhledem k tomu, že výše uvedené prameny hovoří o účtech za všechny provedené práce, hlavně stavební, není možné říci kdo byl stavitelem ani autorem sochařské výzdoby. Patrně však je, že sochařské prvky vznikly v roce 1764, což dokládá i datace uvedená na zahradní zdi.

Sochařská výzdoba byla s největší pravděpodobností celá štafirovaná, i když v Müllerových účtech se v souvislosti s malířem Čoličem hovoří pouze o štafírování třech státuů.

Jedinou dohledanou zmínkou o opravě či obnově sochařské výzdoby domu čp. 48 byl zásah z roku 1928. Ve zprávě zástupců Státního památkového úřadu z 28. května 1927 je záznam o plastikách na západní zahradní zdi „*Stav zdi i soch je označen jako chatrný, zejména sochy andělů jsou pryč (byvše dříve úplně porostlé divokým vínem) značně rozrušené; porost však již byl ze zdi i soch sňat a sochy už trochu vyschly.*“¹³ Další záznam pracovníků Státního památkového úřadu z 8. července 1927 uvádí „*zahradní zeď je však velmi sešlá*“¹⁴. Součástí této zprávy byl i rozpočet na opravu budovy a zahradní zdi se sochami, které měl opravit sochař Kavka. V následujícím roce byl na začátku měsíce srpna vyzván sochař Josef Kavka z Prahy, aby započal svoji práci. Z dopisu Státního památkového úřadu adresovaného tehdejší majitelce domu Anně Plačkové, ze dne 29. října 1928 vyplývá, že účet za práce na sochách již byl k tomuto datu památkovému úřadu předložen. O úspěšném ukončení naplánované opravy domu i soch svědčí i tato zpráva „*Dne 21. prosince 1928 se konala kolaudace provedených oprav průčelí i soch. Bylo konstatováno, že stavební práce provedl ing. arch. Rudolf Ryšán přesně podle rozpočtu ze 28. února 1928, a to „s odkrytím a očištěním všech kamenných částí průčelí způsobem přesně odpovídajícím jak programu památkovým úřadem stanovenému, tak rozpočtu ze dne 28.II.1928“; opravu pak provedl během září a října sochař Josef Kavka z Prahy.*“¹⁵

Další podrobnosti, zprávy ani záznamy o předešlých opravách výzdoby ohradní zdi nebyly nalezeny.

¹² Převezato z: ZAHRADNÍK, Pavel. *Dějiny domu : Dějiny domu čp. 48 v Kutné Hoře*. 28 s. str. 1; soukromý dokument JUDr. Miroslava Ďoubala (str. 11)

¹³ ZAHRADNÍK, Pavel. *Dějiny domu : Dějiny domu čp. 48 v Kutné Hoře*. 28 s. str. 1; soukromý dokument JUDr. Miroslava Ďoubala (str. 18)

¹⁴ ZAHRADNÍK, Pavel. *Dějiny domu : Dějiny domu čp. 48 v Kutné Hoře*. 28 s. str. 1; soukromý dokument JUDr. Miroslava Ďoubala (str. 18)

¹⁵ ZAHRADNÍK, Pavel. *Dějiny domu : Dějiny domu čp. 48 v Kutné Hoře*. 28 s. str. 1; soukromý dokument JUDr. Miroslava Ďoubala (str. 20)

2.2 Popis stavu památky před započítím restaurátorských prací

Na celém objektu jsou patrné značné úbytky původní hmoty kamene, místy až o desítky milimetrů. Původní, kamenosochařsky opracovaný povrch se nedochoval. Většina povrchu sochy je pokryta řasami a místy se vyskytují i lišejníky. Socha byla z velké části porostlá břečťanem, jehož úponky jsou vrostlé do hmoty kamene. Velká část plasticky výrazných tvarů, které vystupují z hmoty a modelují základní linie a tvary je provedena v sekundárním tmelu. Stejným způsobem jsou pojednány i hladké plochy v dolní části sochy. Na těchto plastických a povrchových retuších jsou silné, tmavé povlaky a krusty, které se tvoří i na samotné hornině, především v dešťových stínech. Hornina, hlavně ve spodní části objektu a na okrajích, kde stéká voda, ztrácí svou pevnost a část podstavy se při snímání sochy z ohradní zdi rozpadla.

Vápencová socha anděla strážce se nachází ve velmi špatném, až havarijním stavu. Kutnohorský vápenec, ze kterého je sousoší zhotoveno je vlivem několika nepříznivých činitelů v pokročilém stádiu degradace. Plochy namáhané a vystavené dešťové vodě, kde současně dochází k usazování biologických nečistot z okolních dřevin, jsou kolonizovány zelenými řasami a následně se stávají substrátem pro mechy a lišejníky. Povrch objektu je narušen úponky popínavé dřeviny (břečťan, nebo psí víno), kterým byla socha porostlá. Spodní část sousoší vlivem opakovaného zavlhání a vysychání ztrácí svoji pevnost.

Vnímání samotného objektu je narušeno nejenom ztrátou modelace původního povrchu a tím i jednotlivých detailů, ale také silnými barevnými kontrasty, které narušují integritu díla. Jedním z dalších významných činitelů dezinterpretace dochovaného tvarosloví sochy jsou rozsáhlé sekundární vysprávkky, které deformují tvary a na některých místech jsou naneseny v tenkých vrstvách a překrývají tak dochované povrchy objektu.

Ztráta původního povrchu sochy anděla byla zapříčiněna kombinací několika nepříznivých korozních vlivů. Mezi prvotní poškození můžeme zařadit ztrátu povrchových úprav, kterými byla socha původně opatřena. Ty bezesporu sloužily jako obětní vrstva a chránily tak materiál, ze kterého byla socha vysekána. Na exponovaném povrchu kamene pak došlo vlivem kyselých dešťů k postupnému vymývání měkčích složek sedimentu a obnažení jednotlivých zrn. Dalším nepříznivým vlivem bylo vyspravení sochy nevhodnými tmely, které ani složením, strukturou, ani barevností neodpovídají okolnímu kameni. Jejich fyzikální i chemické vlastnosti ve vztahu k hornině jsou nevyhovující a jsou pro objekt zdrojem dalšího poškození. Pod těmito vysprávkami se, vlivem odlišnosti vlastností

materiálů, původní kámen drolí a pískovatí. Na některých místech jsou takovými tmely, v tenkých vrstvách, přetaženy celé plochy původního materiálu.

Na mnoha místech jsou viditelné tmavé krusty a tmavé deposity na povrchu kamene, které jsou pravděpodobně důsledkem sulfatizace povrchu. Krusty deformují dochované tvarosloví sochy, vytvářejí puchýře, které se odlupují a kámen pod nimi je značně zkorodovaný. Část podstavy sochy, která byla osazena na kovaný čep, se vlivem koroze a ztráty pevnosti kamene odlomila, takže sochu není možné postavit (*viz. obrazová příloha str. 109 – 113 a zákresy poškození str. 114 – 116*).

Následující detailní fotografie a jejich stručný popis dokumentují typy poškození nacházející se na soše anděla:

Charakteristika a popis jednotlivých typů poškození

Fotografie poškození

Popis poškození

Degradovaný povrch horniny

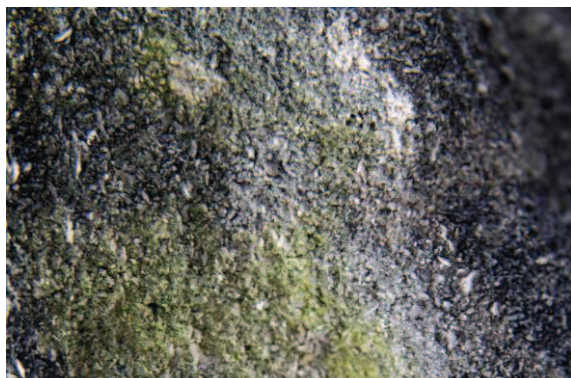
Detail - hrud' anděla vpravo



Postupná koroze povrchu tzv. odmývání povrchu vápence vlivem kyselých dešťů. Zvýraznění struktury kamene, rychlejší rozpouštění méně kompaktních a méně odolných součástí horniny.

Povlaky biologického původu

Detail - hlava anděla, vlasy



Vytváření povlaku v důsledku biologického osídlení (zejména řasami).

Ztráta modelace

Detail – pravá ruka anděla



Pokročilé stádium degradace povrchu horniny způsobující výraznou ztrátu modelace a její čitelnosti. Lokálně hloubková degradace materiálu

Krusty pevněji spojené s povrchem kamene

Detail – levá noha anděla



Tvorba kompaktních sádrovcových krust pevněji spojených s vlastní horninou, která je pod nimi silně sulfatizovaná.

Krusty oddělující se od povrchu kamene

Detail – pravá ruka dítěte



Tvorba kompaktních sádrovcových krust oddělujících se od vlastního kamene, pod krustou se tvoří praskliny a dutiny a vápenec je značně degradovaný.

Plastické retuše oddělující se od kamene

Detail – levé koleno anděla



Starší, vizuálně i mechanicky nevyhovující (velmi tvrdé a kompaktní) tmely, které se spolu s vrstvou degradované horniny odtrhávají od povrchu kamene. Pod nimi tvorba dutin, prasklin, písčovatění a ztráta materiálu.

Plastické retuše s lepší adhezí k povrchu

Detail – opasek anděla vpravo



Homogenní, kompaktní (vizuálně a mechanicky nevyhovující) tmely na chráněnějších místech. Na nich samotných a v jejich okolí se tvoří sádrovcové krusty.

Plastické plošné retuše povrchu kamene

Detail – drapérie dole na pravém boku sousoší



Tenké cementové, velmi tvrdé a kompaktní retuše dřívějších, pravděpodobně povrchových poškození. Tmel nanesen v tenkých vrstvách na velkých plochách kamene, pod ním degradace povrchu.

Praskliny

Detail – podstava sousoší



Tvorba prasklin v důsledku koroze nebo případného mechanického namáhání.

Odlomené části

Detail – podstava sousoší



Odpadávání větších částí sochy v důsledku koroze nebo mechanického namáhání.

2.3 Použitý typ horniny – petrografická charakteristika

Pro potřeby petrografického určení materiálu byl odebrán vzorek ze spodní části podstavy sochy (z rozdrobených kusů), která byla osazena na podstavci na řídkou maltovinu, pravděpodobně vápennou, i ta byla podrobena analýze, kterou provedl RNDr. Zdeněk Štafen. Vzorek horniny ze stejného místa, tedy z podstavy byl analyzován ing. Karolem Bayerem na elektronovém mikroskopu za účelem zjištění mikrostruktury kamene tj. velikosti částic a pórů a jejich vzájemné propojení.

Socha byla zhotovena ze sedimentární horniny, která je pro region Kutné Hory typická a v minulosti se těžila v jejím blízkém okolí, jak vyplývá z *Petrologického vyhodnocení horninového vzorku ze sochy Anděla v Kutné Hoře RNDr. Zdeňka Štafena* (viz. příloha č. 3) „*Makroskopicky je zřetelné, že se jedná o charakteristický materiál pro kutnohorský region, tedy tzv. příbojový písčitý vápenec, který je někdy kameníky a sochaři nazýván „mušlák“. Toto označení získal v důsledku přítomnosti morfologicky i barevně výrazných zlomků schránek měkkýšů, které tvoří spolu s pískem a drtí těchto schránek, zbývající hmotu kamene.*“¹⁶

Z petrologické analýzy dále vyplývá, že právě díky svému složení je kutnohorský vápenec vysoce porézni s velikostí pórů pohybující se v milimetrech. Složení materiálu, který je ve vyhodnocení označen jako „*hrubozrnný až velmi hrubozrnný písčitý biodetritický vápenec*“, je rovněž důsledkem nižší pevnosti horniny, jejímž důvodem je spojení jednotlivých zrn vápence pouze dotykovým, sekundárně vzniklým kalcitovým tmelem. Hornina díky svému složení snadno podléhá nepříznivému působení vnějších vlivů, které má za důsledek ztrátu, či přímo rozpuštěním tohoto dotykového tmelu a tím snadný rozpad struktury kamene tzv. pískovatění. Tento jev se pochopitelně nejvíce projevuje ztrátou pevnosti v povrchových vrstvách. Mezi typické vnější korozní činitele RNDr. Štafen zařadil sádrovec, který má za následek vznik sádrovcových krust. Mezi nimi a neporušenou horninou kámen v důsledku koroze ztrácí pojivo, čili pískovatí a po jejich „*destrukci dojde k uvolnění a vysypání písčité hmoty za současné ztráty objemu kamene a jeho tvarosloví.*“¹⁷.

Součástí vyhodnocení vzorku na petrografické určení byla i malta, která se nacházela ve spáře mezi sochou a podstavcem. Podle výsledků se jedná o vápennou maltu,

¹⁶ ŠTAFEN, Zdeněk. *Petrologické vyhodnocení horninového vzorku ze sochy Anděla v Kutné Hoře*, 2010. 4 s.

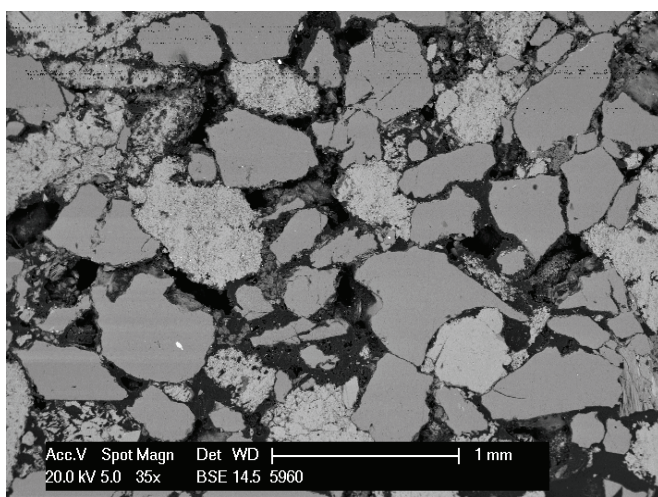
¹⁷ ŠTAFEN, Zdeněk. *Petrologické vyhodnocení horninového vzorku ze sochy Anděla v Kutné Hoře*, 2010. 4 s.

jejíž písčité plnivo obsahuje rovněž částice z hutní strusky. Malta má ve srovnání s použitým vápencem poměrně nízkou porozitu.



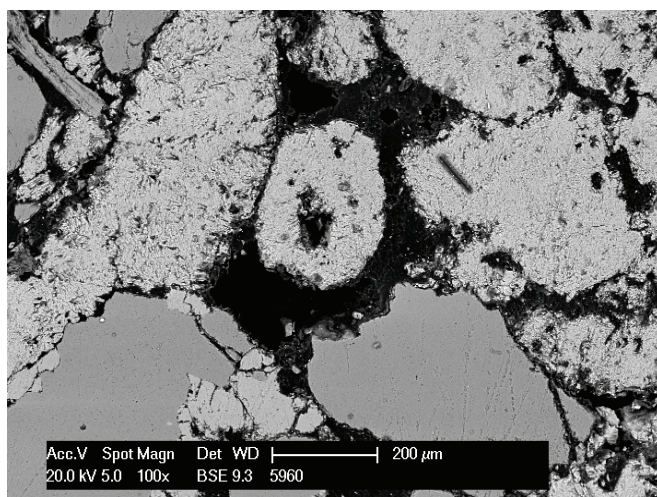
Obrázek 1 Vápenec biodetritický písčítý, hrubozrnný; zvětšeno 32x; nikoly X;
struktura – opracovaný kalcitový biodetrit, křemenné klasty, hematit – limonit

Analýza provedená ing. Bayerem doplňuje popis materiálu RNDr. Štafena fotografiemi z elektronového mikroskopu (rastrovací elektronový mikroskop Philips ESEM XL 30 a FEI Quanta 200 F¹⁸) s komentářem, ze kterého také vyplývá, že materiál je vysoce porézní a jeho jednotlivá zrna jsou slabě propojena dotykovým tmelem. Velikost pórů je v rozmezí 1-150 μm , jak vyplývá z analýz ing. Karola Bayera (viz obr. 21 v kapitole 2.4.5.).

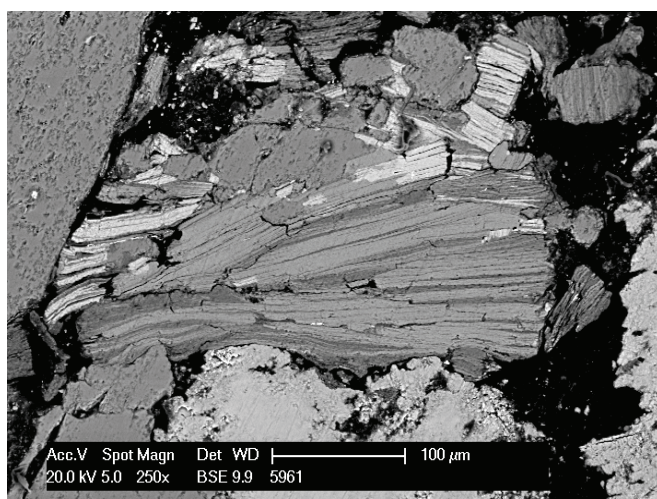


Obrázek 2 Rastrovací elektronová mikroskopie, fotografie nábrusu v režimu odražených elektronů (REM-BEI); nejsvětlejší částice jsou částice (úlomky) uhličitánu vápenatého (kalcitu), póry jsou tmavošedé až černé. Na fotografii je zřetelně viditelná vysoká porozita

¹⁸ Měření provedl ing. Karol Bayer, pracoviště Institutu pro umění a technologie, Univerzita pro užité umění ve Vídni



Obrázek 3 Rastrovací elektronová mikroskopie, fotografie nábrusu v režimu odražených elektronů (REM-BEI), detail horniny, na foto je poměrně zřetelně vidět relativně „slabé“ propojení jednotlivých zrn vápence dotykovým tmelem



Obrázek 4 rastrovací elektronová mikroskopie, fotografie nábrusu v režimu odražených elektronů (REM-BEI), detail horniny s vrstevnatými částicemi slídy přítomnými ve vápenci

Shrnutí:

Horninu, která byla použita na výrobu sochy můžeme označit jako *písčítý vápenec s velmi vysokou porozitou s dotykovým tmelem jednotlivých zrn*, co do vlastností a složení, nebo též *kutnohorský mušlový vápenec*, co do charakteristiky a původu materiálu. Jedná se o druhohorní, svrchnokřídový sediment z české křídové pánve na Kutnohorsku. Neobvyklý, oblý tvar jednotlivých vápencových zrn (bioklastů) svědčí o jeho původu z vyšších sedimentačních vrstev, kdy došlo v příbojových vodách svrchnokřídového moře k jejich opracování, proto je rovněž nazývaný jako *příbojový kutnohorský mušlový vápenec*. Materiál není mineralogicky homogenní, skládá se ze zrn křemene, úlomků hornin, slídy a

hlavně z tzv. *biodetritu*, jež v tomto případě tvoří hlavně zbytky schránek měkkýšů, především ústřic. Můžeme se tedy setkat i s označením *biodetritický kutnohorský vápenc*.

Ze studia horniny optickou, ale zejména rastrovací elektronovou mikroskopií vyplývá, že hornina má vysokou porozitu a jednotlivé částice jsou spojeny dotykovým kalcitovým tmelem. Vysoká porozita i slabé spojení jednotlivých zrn vysvětluje do jisté míry dobrou až lehkou opracovatelnost daného materiálu, ale zároveň jeho poměrně malou odolnost vůči korozi, zejména v prostředí zatíženém kyselými atmosférickými škodlivinami.

2.4 Průzkum stavu objektu přírodovědnými metodami a základní petrofyzikální vlastnosti použitého typu horniny

Součástí průzkumu sochy Anděla bylo i zjištění stavu objektu vybranými přírodovědnými metodami se zaměřením na hlavní typy poškození a další charakteristiku použité horniny.

Cílem průzkumu bylo získání komplexních informací o stavu daného objektu doplňujících vizuální průzkum, specifikaci typu poškození, případně i určení hlavních příčin koroze a potenciálních rizik v budoucnu. Dále byly zkoumány sekundární zásahy a případné zbytky povrchových úprav. Metody byly voleny tak, aby se maximálně omezilo destruktivní zasahování do samotného objektu. I proto byly vzorky odebírány až po důkladném vizuálním prozkoumání, jeho vyhodnocení a stanovení dalších cílů průzkumu.

2.4.1 Měření nasákavosti kamene, zjištění schopnosti přijímat kapaliny

Na objektu byla měřena nasákavost, neboli schopnost materiálu přijímat kapaliny. Měření bylo provedeno pomocí tzv. Karstenovy trubice bez nutnosti odběru vzorku. Cílem měření bylo zjistit, jakou nasákavost mají jednotlivé, vizuálně odlišné povrchy objektu. Nasákavost vodou je jednou ze základních fyzikálních vlastností horniny a zároveň poskytuje orientační informaci o porositě daného místa resp. odchylky v důsledku koroze, tvorby krust, případných předešlých konzervačních zásahů ve srovnání s vlastní horninou nebo se standardy pro daný typ materiálu. Dále byla měřena nasákavost rozpouštědlem, které by mohlo být nosičem konsolidantu, aby byla ověřena schopnost materiálu přijmout potřebné množství přípravku.

K výsledkům měření bylo přihlédnuto při stanovování koncepce restaurování a jeho jednotlivým krokům (čištění, konzervace), jejich řazení a zejména při volbě konsolidantu a hydrofobizace.

Metodika měření:

Metoda měření:

Neinvazivní měření bylo provedeno pomocí Karstenovy trubice, vertikální a horizontální, jako materiál zajišťující dobrý kontakt s horninou a k utěsnění trubice byl použit trvale plastický tmel na bázi silikonového kaučuku (bez přísady změkčovadel). Naměřené hodnoty byly sledovány v závislosti objemu přijaté kapaliny V (ml) na čase t (s).

Koeficient nasákavosti byl vypočítán ze vztahu:

$$W = m / S \cdot \sqrt{t} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-0,5}]$$

W	koeficient nasákavosti	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-0,5}]$
m	množství přijaté kapaliny	[kg]
S	plocha	$[\text{m}^{-2}]$
t	čas	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-0,5}]$



Obrázek 5 Měření nasákavosti Karstenovou trubicí na soše anděla

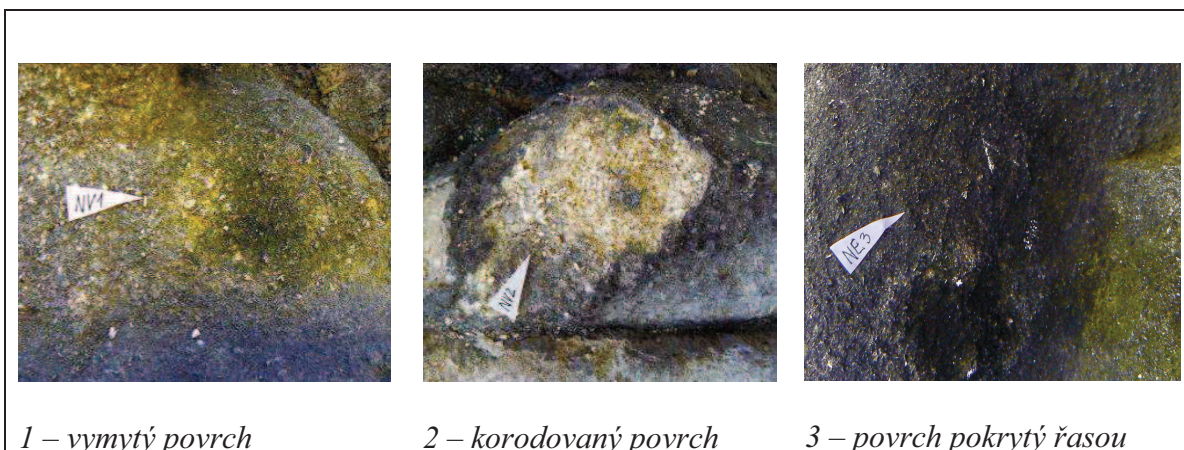
Pro výpočet byla použita série měření a pro upřesnění výpočtu byl koeficient nasákavosti vypočítán jako směrnice závislosti množství přijaté kapaliny definovanou plochou (m/S) v závislosti na čase (vyjádřeného jako \sqrt{t} - odmocnina času).

Medium použité pro měření:

Nasákavost byla měřena vodou (NV) a ethanolem (NE).

Charakteristika míst měření:

Sledovány byly nasákavosti tří vizuálně odlišných typů povrchů: 1 – *vymytý povrch*, 2 – *korodovaný povrch*, 3 – *povrch pokrytý řasou*, jak je znázorněno na následujících fotografiích.



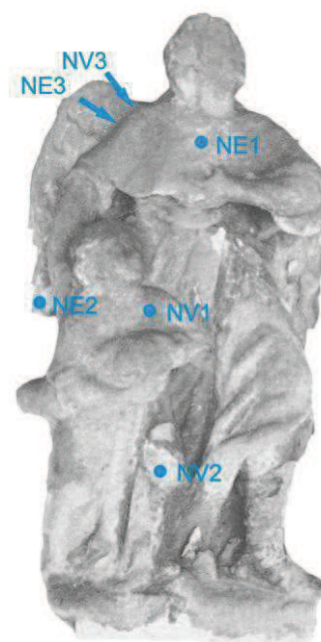
Obrázek 6 Fotografie povrchů, na kterých byla měřena nasákavost

Jako povrch 1 je označen dochovaný povrch sochy (bez viditelných povlaků), který tvoří největší část z celkové plochy objektu. Tento povrch, který je na horizontálních plochách a plochách nejvíce exponovaných srážkové vodě, pokrytý zelenou řasou je označen jako povrch 3. Povrch 2 označuje místa, na kterých došlo k mechanickému poškození (odpadnutí tmelu nebo krusty), tento povrch by měl odpovídat lomové ploše materiálu.

Výsledky měření:

Tabulka 1 Popis míst měření nasákavosti a jeho výsledky

Označení měření	Typ povrchu	Médium	Koeficient nasákavosti W [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-0,5}$]
NV1	vymytý povrch	voda	22,8
NV2	korodovaný povrch	voda	106,3
NV3	povrch pokrytý řasou	voda	41,3
NE1	vymytý povrch	ethanol	31,6
NE2	korodovaný povrch	ethanol	106,3
NE3	povrch pokrytý řasou	ethanol	68,6



Obrázek 7 Zákres míst měření nasákavosti

Tabulky a grafy s detailními výsledky měření nasákavosti jsou uvedeny v příloze č. 4.

Shrnutí:

Podle výsledků měření lze daný typ materiálu hodnotit jako vysoce nasákavý. Hodnoty pro příbuzný typ hornin, které byly používány pro zhotovování uměleckých a umělecko-řemeslných objektů – porézní organodetrické vápence z pohoří Leitha se pohybují v podobném rozpětí (podle ústní informace, vyplývající ze zkušeností restaurátora Christiana Gurtnera (A) od cca. $5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-0,5}$ pro masivnější typy vápenců do $60 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-0,5}$ pro vysoce porézní typy).

Vysoké hodnoty nasákavosti znamenají nejen vysokou schopnost přijímat kapaliny, ale svědčí i o vysoké porozitě dané horniny, což velmi dobře koreluje s výsledky mikroskopického studia použitého vápence.

Výrazný nárůst nasákavosti v korodovaných místech rovněž potvrzuje obecný předpoklad, že při destrukci hornin spojené se zhoršováním mechanických vlastností obvykle dochází ke zvyšování jejich porozity. Nasákavost v korodovaných místech pomocí Karstenovy trubice byla jen obtížně měřitelná. Jednak kvůli ztíženému uchycení a utěsnění trubice na degradovaném povrchu a jednak kvůli jeho až extrémně vysoké nasákavosti.

Vyšší nasákavost při použití ethanolu lze vysvětlit jeho nižším povrchovým napětím a lepším smáčením povrchu kamene.

Biogenní povlaky nesnižují nasákavost povrchu kamene, naopak vyšší nasákavost svědčí pravděpodobně o degradaci horniny pod nimi.

2.4.2 Měření odporu vrtáním (DRMS¹⁹) – zjištění soudržnosti povrchové vrstvy kamene

Měření odporu vrtáním je jednou z možností, jak získat údaje o mechanických vlastnostech zkoumaného materiálu. Měřením nelze přímo stanovit některé standardní mechanické vlastnosti, jako např. pevnost v tlaku, ale zjišťuje se odpor kladený materiálem vůči vrtání v jednotlivých hloubkách vrtu. Odpor vůči vrtání závisí na pevnosti (kompaktnosti) daného materiálu a výsledek měření – křivka znázorňující míru odporu kladenou materiálem vůči vrtání, může poměrně dobře vypovídat o pevnostním profilu měřeného místa.

¹⁹ Drilling resistance measurement system

Metoda patří mezi tzv. invazivní metody průzkumu, jelikož zasahuje do hmotné podstaty zkoumaného objektu. Měřenou veličinou je rychlost postupu vrtáku při konstantním přítlaku nebo odpor, resp. síla kladená zkoumaným materiálem v průběhu vrtání (síla nutná k dodržení konstantní rychlosti vrtání; N) při konstantní rychlosti vrtání.

Cílem měření bylo zjistit zmiňované profily odporu vůči vrtání na několika vybraných místech. Výsledky tohoto měření jsou využitelné při posuzování stavu sochy, při stanovení koncepce konzervačního zásahu, i jako srovnávací údaje pro hodnocení účinnosti provedené konsolidace materiálu (porovnání pevnostních profilů před a po zásahu).

Metodika měření:

Měření bylo provedeno v laboratoři KCHT Fakulty Restaurování v Litomyšli²⁰ pomocí přístroje DRMS Cordless (SINT Technology, I). Pro vrtání byly použity speciální diamantové vrtáky (korunka z tvrdokovu s diamantovými částicemi) o průměru 5 mm, zaručující stejné podmínky v průběhu celého měření.

Zařízení je ovládáno pomocí počítače s příslušným softwarem, který paralelně s prováděným vrtem zaznamenává hodnoty do grafu, kde je znázorněn pevnostní profil vrtu, tedy síla potřebná k průniku vrtáku *Force (N)* v závislosti na hloubce vrtu *Depth (mm)* do vrtané horniny.



Obrázek 8 Měření přístrojem DRMS Cordless (SINT, I) na podstavě sochy anděla

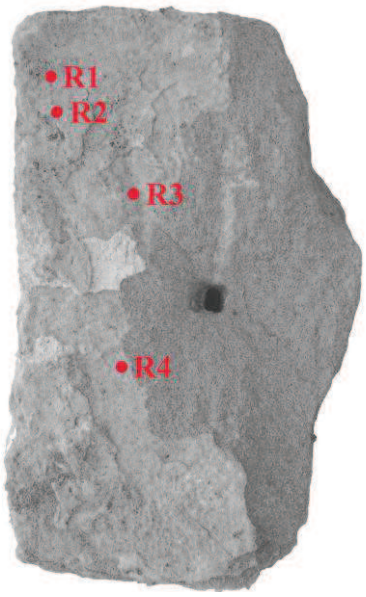

²⁰ Měření provedli Dana Macounová a Daniel Hvězda

Charakteristika míst měření:

Na objektu byla provedena měření na pěti vybraných místech. Z toho čtyři místa byla vybrána ze spodní strany podstavy sochy, kde vrty nebudou nijak vizuálně narušovat vnímání sochy (odvrtaný materiál byl zároveň použit na stanovení salinity viz. kapitola 2.4.6). Jeden vzorek byl odvrtán na zadní, nepohledové straně, konkrétně na zádech anděla - vrt R8, na exponovaném namáhaném povrchu, který je charakteristický pro většinu dochovaného povrchu sochy. Dva vzorky vyvrtané do podstavy sochy byly vrtány přibližně 5 cm od exponovaného povrchu - vrty R1, R2, zatímco dva zbývající byly provedeny ve středu podstavy - vrty R3, R4. Tyto by měly reprezentovat nejchráněnější, tedy nejméně poškozenou část horniny. Vrty R1 a R2 byly odvrtány s cílem porovnat rozdílnost pevnosti materiálu směrem k exponovanému povrchu sochy.

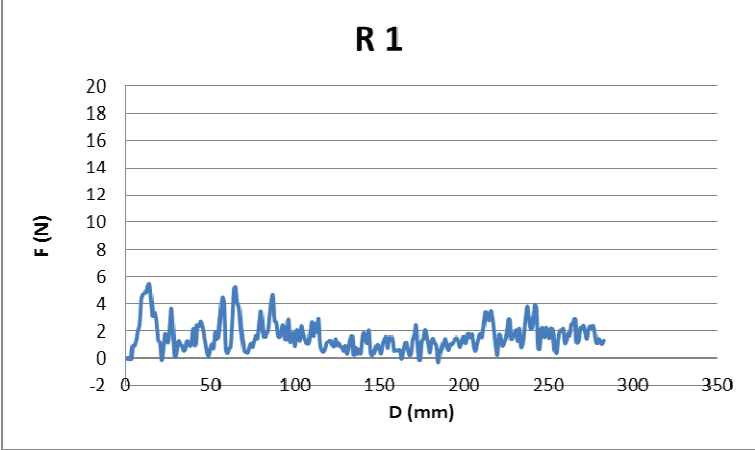
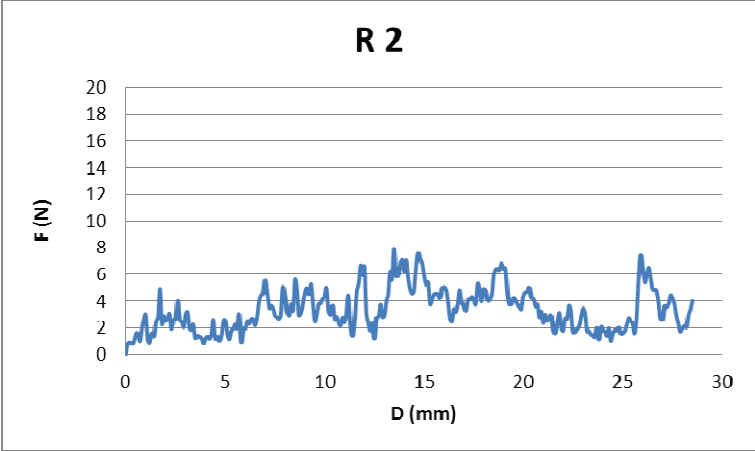
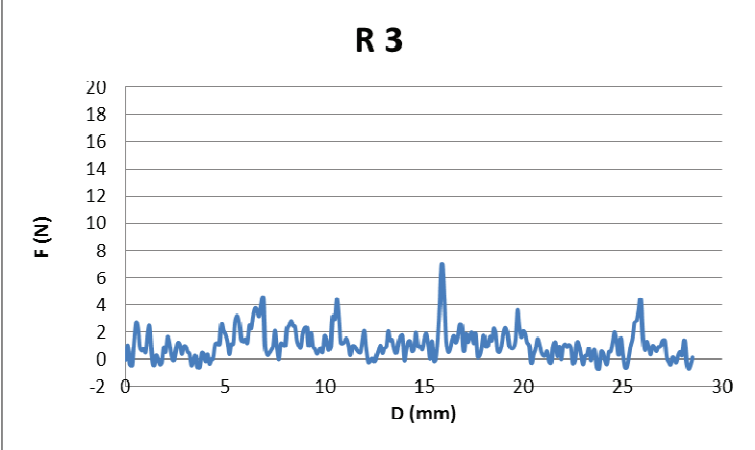
Před konsolidací nebylo možné provést měření na vysoce korodovaných místech, protože hornina se rozpadala při samotném přítlaku vrtáku (odzkoušeno na odlomených částech podstavy, jejichž stav nedovolovat jejich navrácení k původní hmotě), a také z důvodu vysokého rizika nevratné ztráty takto korodovaných částí. Vzorek R8 tedy reprezentuje povrchy sochy, které se v rámci objektu samotného, nacházejí ve velmi dobrém stavu.

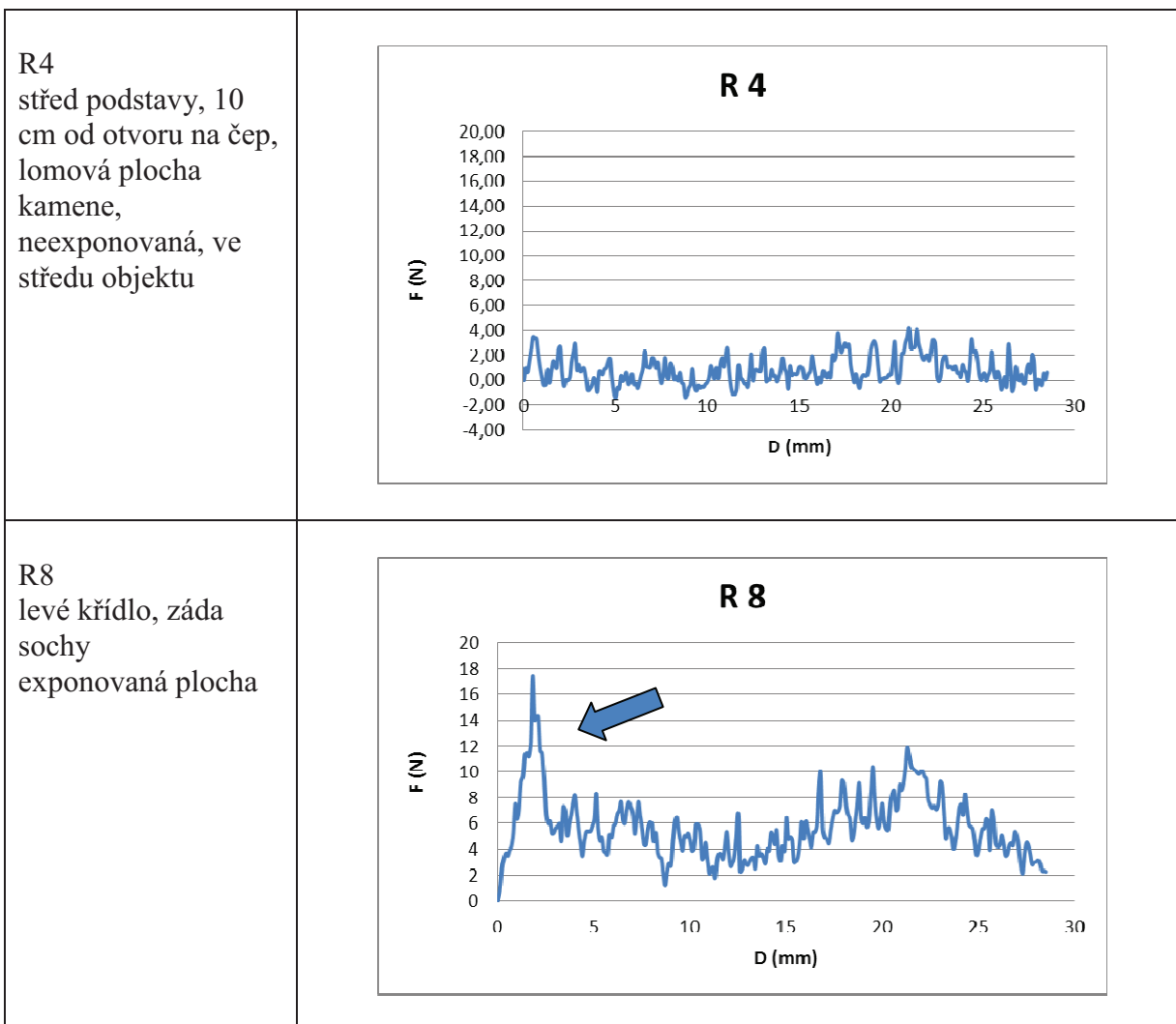
Tabulka 2 Popis míst měření odporu vrtání kladeného horninou

Označení vrtu	Místo vrtu	Popis místa vrtu	
R1, R2	zespodu, 5 cm od okraje podstavy	lomová plocha kamene, neexponovaná, blíže k povrchu	<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">pohledová strana sochy</p> 
R3, R4	střed podstavy, 10 cm od otvoru na čep	lomová plocha kamene, neexponovaná, ve středu objektu	
R8	levé křídlo, záda sochy	exponovaná plocha	

Výsledky měření:

Tabulka 3 Výsledky měření odporu vrtáním

Označení vrtu	Grafické znázornění profilu odporu vůči vrtání
<p>R1 zespodu, 5 cm od okraje podstavy, lomová plocha kamene, neexponovaná, blíže k povrchu</p>	 <p style="text-align: center;">R 1</p>
<p>R2 zespodu, 5 cm od okraje podstavy, lomová plocha kamene, neexponovaná, blíže k povrchu</p>	 <p style="text-align: center;">R 2</p>
<p>R3 střed podstavy, 10 cm od otvoru na čep, lomová plocha kamene, neexponovaná, ve středu objektu</p>	 <p style="text-align: center;">R 3</p>



Shrnutí:

Výsledky měření na spodní straně podstavy sochy se navzájem výrazně neodlišují. Nelze vypořádat významnější rozdíly mezi měřeními blíž k povrchu (měření R1 a R2) a měřeními ve středu postavy (měření R2 a R4). Podle profilu odporu vůči vrtání nelze předpokládat ani zřetelnější gradient pevnostního profilu v daných místech. Potvrdila se předpokládaná heterogenita vápence, což je patrné z profilu odporu vůči vrtání – poměrně velké odchylky v závislosti na hloubce (přístroj je poměrně citlivý a reaguje na přítomnost tvrdších zrn nebo úlomků schránek mořských živočichů – mušlí).

Výraznější profil lze vidět pouze v případě měření na exponované ploše na zádech anděla (měření R8), kde je poměrně zřetelná vyšší pevnost povrchu (do hloubky 2-3 mm). Tuto skutečnost lze vysvětlit pravděpodobně jako důsledek sulfatizace povrchu vápence, která často vede k vytvoření kompaktnějších, méně porézních zón.

2.4.3 Průzkum povrchových vrstev, tmelů a studium struktury horniny

Průzkum povrchových vrstev byl zaměřený na podrobnější charakteristiku jednotlivých poškození, zjištění složení nečistot a krust na povrchu sochy, jejich propojení se samotnou horninou i stav a strukturu vápence pod krustami. Dále byly analyzovány i vrstvy tmelů nanesené na povrchu sochy. Současně měl průzkum ukázat, zda nejsou lokálně na soše zachovány fragmenty původních nebo starších povrchových úprav a pokud ano, tak zjistit i jejich složení.

Pro zmiňované účely byla využita optická a rastrovací elektronová mikroskopie.

Metodika měření:

Odebrané vzorky byly prozkoumány přímo, jako úlomky a následně byly z části vzorků připraveny nábrusy. Nábrusy byly zhotoveny zalitím do akrylátové pryskyřice (bezbarvá pryskyřice Spofacryl[®], Spofa dental a.s.) a následně vybroušeny a vyleštěny. Nábrusy byly použity pro optickou i rastrovací elektronovou mikroskopii.

Optická mikroskopie:

Optická mikroskopie v dopadajícím světle (optický mikroskop NIKON Eclipse 600, digitální fotozařízení NIKON COOLPIX 990). Průzkum byl proveden v laboratoři KCHT Fakulty Restaurování v Litomyšli²¹

Rastrovací elektronová mikroskopie s energo-dispersní analýzou:

Rastrovací elektronový mikroskop s RTG energodisperzním analyzátozem, JEOL JSM 5500 LV s RTG energodisperzivním analyzátozem GRESHAM a detektorem Sirius 10 Si)²²

Rastrovací elektronový mikroskop Philips ESEM XL 30 a FEI Quanta 200 F²³

²¹ Průzkum provedla Dana Macounová

²² Měření provedeno ve spolupráci s ing. Milanem Vlčkem, CSc, pracoviště Společné laboratoře chemie pevných látek AV ČR a Univerzity Pardubice v Pardubicích

²³ Měření provedl ing. Karol Bayer, pracoviště Institutu pro umění a technologie, Univerzita pro užité umění ve Vídni

Místa odběru vzorků:

č. vz	popis místa odběru a specifikace
V1	krusta pod pravou rukou anděla
V2	světlý tmel z pravého boku sochy, v úrovni pasu dítěte
V3	tmel z drapérie v pase anděla, zepředu
V7	krusta pod levou rukou dítěte
V8	krusta u levé nohy anděla, u paty vpravo
V9	krusta, pravé podpaží anděla, u opasku
V11	pro účely analýzy morfologie povrchu horniny byl odebrán vzorek z fragmentů rozdrobené části podstavu, který není možné blíže lokalizovat

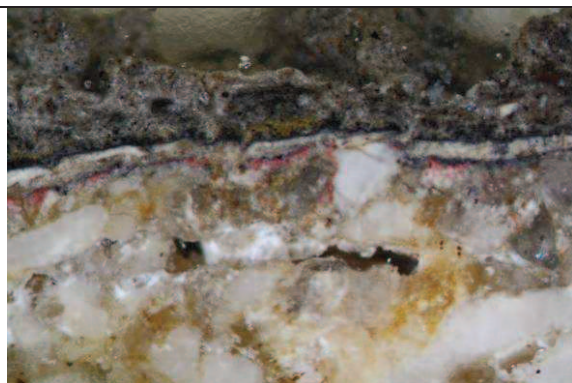


Obrázek 9 Zákres míst odběru vzorků na mikroskopii

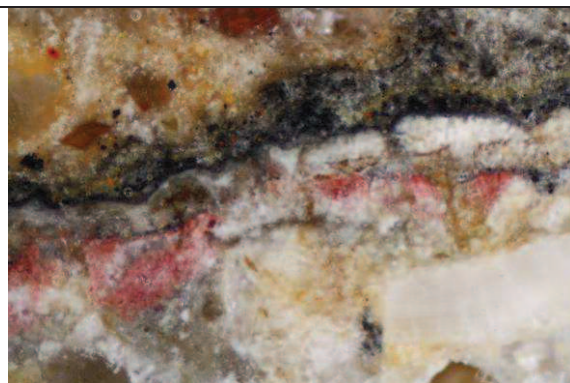
Výsledky měření:

Do popisu výsledků měření, uvedených níže, byly zařazeny pouze vybrané vzorky, které jsou pro zkoumaný povrch charakteristické. Kompletní zpráva k provedeným analýzám je v příloze číslo 5.

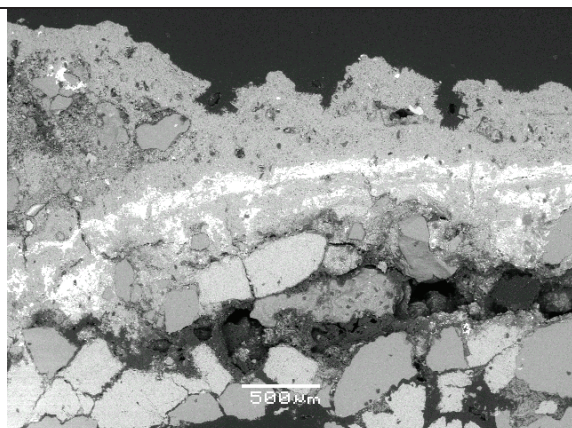
Vzorek V1 (5955) - povrch kamene s fragmenty barevné úpravy



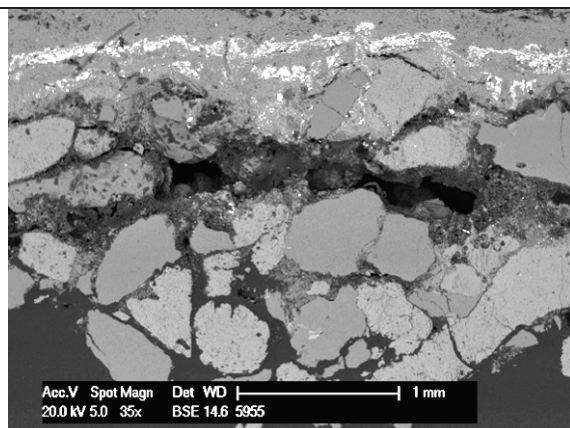
Obrázek 10 Vzorek V1 (5955); nábrus, optický mikroskop, dopadající světlo, fotografováno při zvětšení 50x



Obrázek 11 Vzorek V1 (5955); nábrus, optický mikroskop, dopadající světlo, fotografováno při zvětšení 100x, detail s fragmenty povrchových úprav



Obrázek 12 Vzorek V1 (5955); nábrus, REM-BEI, foto v režimu odražených elektronů, barevné vrstvy



Obrázek 13 Vzorek V1 (5955); nábrus, REM-BEI, foto v režimu odražených elektronů, detail s korodovaným povrchem vápence

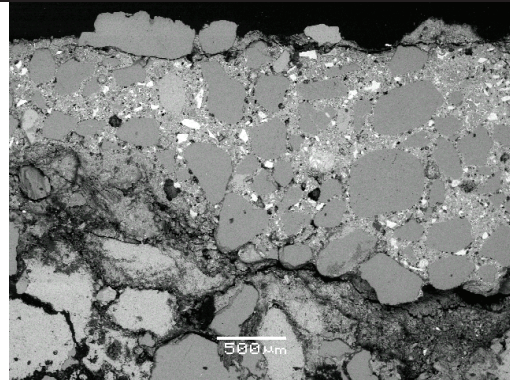
Popis vrstev:

0	Vápenec, viditelně korodovaná zóna s prasklinami paralelně k povrchu, uvolňování jednotlivých zrn horniny, částečná sulfatizace
1	Fragmenty červené vrstvy – nátěr obsahující olovnatou bělobu, příměs červeného okru a sádrovce (sádrovec pravděpodobně nebyl součástí barevné vrstvy, ale byl do ní zanesen z okolních vrstev a v důsledku sulfatizace povrchu vápence), mohlo by se jednat o původní povrchovou úpravu
-	Tenká vrstva nečistot obsahující hlavně sádrovec
2	Nepřavidelně zachovaná bílá, krakelovaná vrstva – obsahuje olovnatou bělobu a baryt (pozdější úprava), příměs sádrovce (zdroj je pravděpodobně stejný jako v případě vrstvy 1)
3	Silná vrstva tmavé krusty – obsahuje hlavně sádrovec, různé prachové částice (silikáty, sazové částice)

Vzorek V2 (5956) – povrch kamene s vrstvou tmelu



Obrázek 14 Vzorek V2 (5956); nábrus, optický mikroskop, dopadající světlo, fotografováno při zvětšení 50x

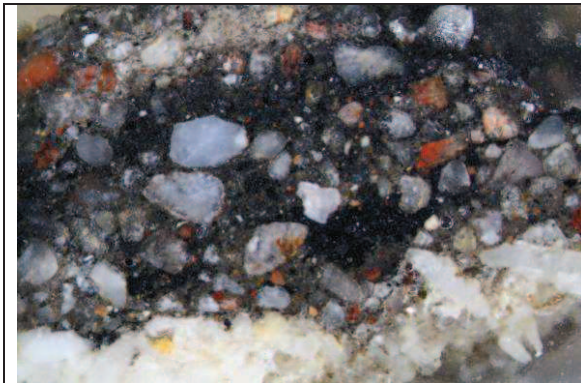


Obrázek 15 Vzorek V2 (5956) nábrus, REM-BEI, foto v režimu odražených elektronů

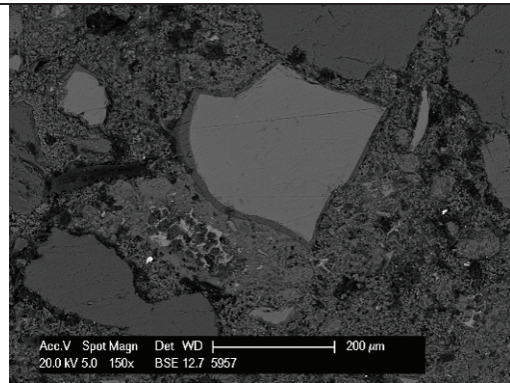
Popis vrstev:

0	Vápenec, viditelně korodovaná zóna pod vrstvou tmelu, oddělování tmelu od horniny, uvolňování jednotlivých zrn horniny, částečná sulfatizace
1	Kompaktní tmel šedé, nahnědlé barvy – pojivem je hlavně portlandský cement (prakticky výlučně portlandský cement), jako kamenivo byl použitý křemenný písek obsahující kromě oválných zrn křemene i malou příměs dalších hlinitokřemičitých částic (živce) s velikostí zrn do 1 mm (hlavní část tvoří zrna velikosti 0,2 – 0,5 mm), pro úpravu barevnosti byly pravděpodobně použité zemité pigmenty a uhlíkatá čern, povrch tmelu je částečně sulfatizovaný Tmel je velmi kompaktní, s nízkou porozitou, výrazně nižší než samotný vápenec.

Vzorek V3 (5957) – povrch kamene s vrstvou tmelu



Obrázek 16 Vzorek V3 (5957); nábrus, optický mikroskop, dopadající světlo, fotografováno při zvětšení 50x

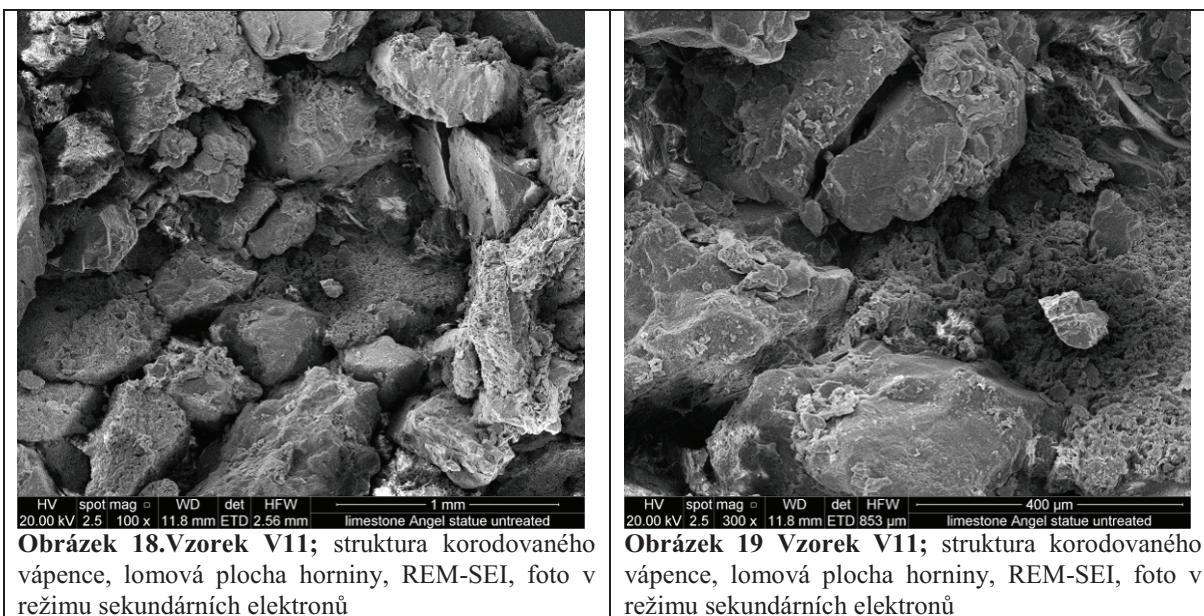


Obrázek 17 Vzorek V3 (5957); nábrus, REM-BEI, foto v režimu odražených elektronů, detail základní hmoty tmelu s fragmenty slínekových částic z cementu

Popis vrstev:

0	Vápenec, viditelně korodovaná zóna pod vrstvou tmelu, oddělování tmelu od horniny, uvolňování jednotlivých zrn horniny, částečná sulfatizace
1	Kompaktní tmel tmavošedé barvy – pojivem je opět hlavně portlandský cement, jako kamenivo byl použitý křemenný písek obsahující zrna křemene různorodé hlinitokřemičité částice (živce, drobné horninové úlomky) s velikosti zrn do 1 mm (hlavní část tvoří zrna velikosti 0,2 – 0,5 mm), pro úpravu barevnosti byly pravděpodobně použity zemité pigmenty a uhlíkatá čerň, povrch tmelu je částečně sulfatizovaný Tak jako v předcházejícím vzorku i v tomto případě je tmel velmi kompaktní, s výrazně nižší porozitou než samotný vápenec.

Vzorek V11 – hornina, ze které je socha zhotovena



Popis morfologie povrchu vzorku:

Vápenec má vysokou porozitu, vzhledem k velikosti pórů (do velikosti 100-150 μm) jej lze označit jako hruboporézní. Jedním z důsledků koroze dané horniny je i další zvyšování porozity. Zrna vápence jsou propojeny pouze dotykově, vzájemné propojení je poměrně slabé. V hornině je viditelná síť mikrotrhlin.

Shrnutí:

Krusta, která se vytváří resp. v průběhu doby vytvořila na povrchu vápence, jako samostatná vrstva je podle očekávání tvořena hlavně sádrovcem – hlavním produktem chemické koroze vápenců v důsledku tzv. sulfatizace (přeměna uhličitanu vápenatého na síran vápenatý). Částečně je pod krustou sulfatizovaný i povrch samotného vápence. Je poměrně kompaktní a podle její struktury lze předpokládat, že její vlastnosti (pórovitost, nasákavost, paropropustnost, roztažnost atd.) jsou značně odlišné od vlastností původní horniny – vápence. Z tohoto důvodu dochází na rozhraní krusty a vápence nejen ke vzniku pnutí a odtrhávání krusty, ale i k urychlení degradace samotného vápence (viditelná tvorba mikrotrhlin, nebo uvolňování zrn horniny).

V krustě, nebo pod ní byly nalezeny fragmenty dvou starších povrchových úprav, přičemž první světle červená vrstva je zřejmě původní. Nedostatek zachovaných vrstev barevných úprav na více místech sochy však neumožňuje přibližnou interpretaci původního barevného pojednání sochy (je možná i varianta polychromní i monochromní úpravy).

Vzhledem k fragmentárnímu zachování barevných vrstev a výrazné tvorbě krust nebylo možné spolehlivě určit typ pojiva barevných vrstev.

Všechny zkoumané tmely použité v průběhu minulých restaurátorských zásahů jsou spojeny portlandským cementem. Jako kamenivo byl použitý křemenný písek a tmely byly pravděpodobně dobarvovány ve hmotě zemitými pigmenty v kombinaci s uhlíkatou černí. Podobně jako krusta, tak i tmely jsou výrazně kompaktnější a méně porézní než doplňovaný vápenec. Pramení z toho pravděpodobně podobné problémy, jako bylo zmíněno v případě krust.

Na rozdíl od tmelu a krust potvrzuje studium struktury vápence jeho vysokou porozitu a přítomnost poměrně velkých pórů (do velikosti 100-150 μm), což souhlasí s měřením koeficientu nasákavosti. Porózní prostor se v důsledku koroze dále zvyšuje, zvětšuje se pravděpodobně i velikost pórů. Na fotografiích zachycujících strukturu na lomové ploše korodovaného vápence je dobře viditelné i slabé propojení jednotlivých částic horniny.

2.4.4 Zjištění stavu sochy metodou ultrazvukové transmise

Tato metoda je jednou z možností nedestruktivního zjištění stavu kamene. Měření metodou ultrazvukové transmise je založeno na sledování průchodu ultrazvukového signálu skrz daný materiál. Hlavním hodnotícím kritériem je rychlost UZ signálu (longitudálního vlnění), dále lze pro hodnocení využít i amplitudu nebo tvar signálu. Rychlost průchodu signálu je závislá na složení i kompaktnosti dané horniny (pevnosti, porozity), v kompaktnějších horninách je rychlost UZ vyšší, v méně stmelených materiálech naopak. Nepřímo tak lze získat informace související s pevností zkoumaného materiálu resp. místa, určit případný rozsah poškození, lokalizovat destrukce.atd.

Cílem měření tedy bylo zjistit míru poškození materiálu a zaznamenat jeho rozsah. Měření bylo rovněž provedeno ve snaze prověřit vizuálně neidentifikovatelné poškození (vnitřní dutiny, trhliny a praskliny), např. v oblasti podstavy sochy, nebo ověřit adhezi starších vysrávek ke kameni a tím jejich funkčnost.

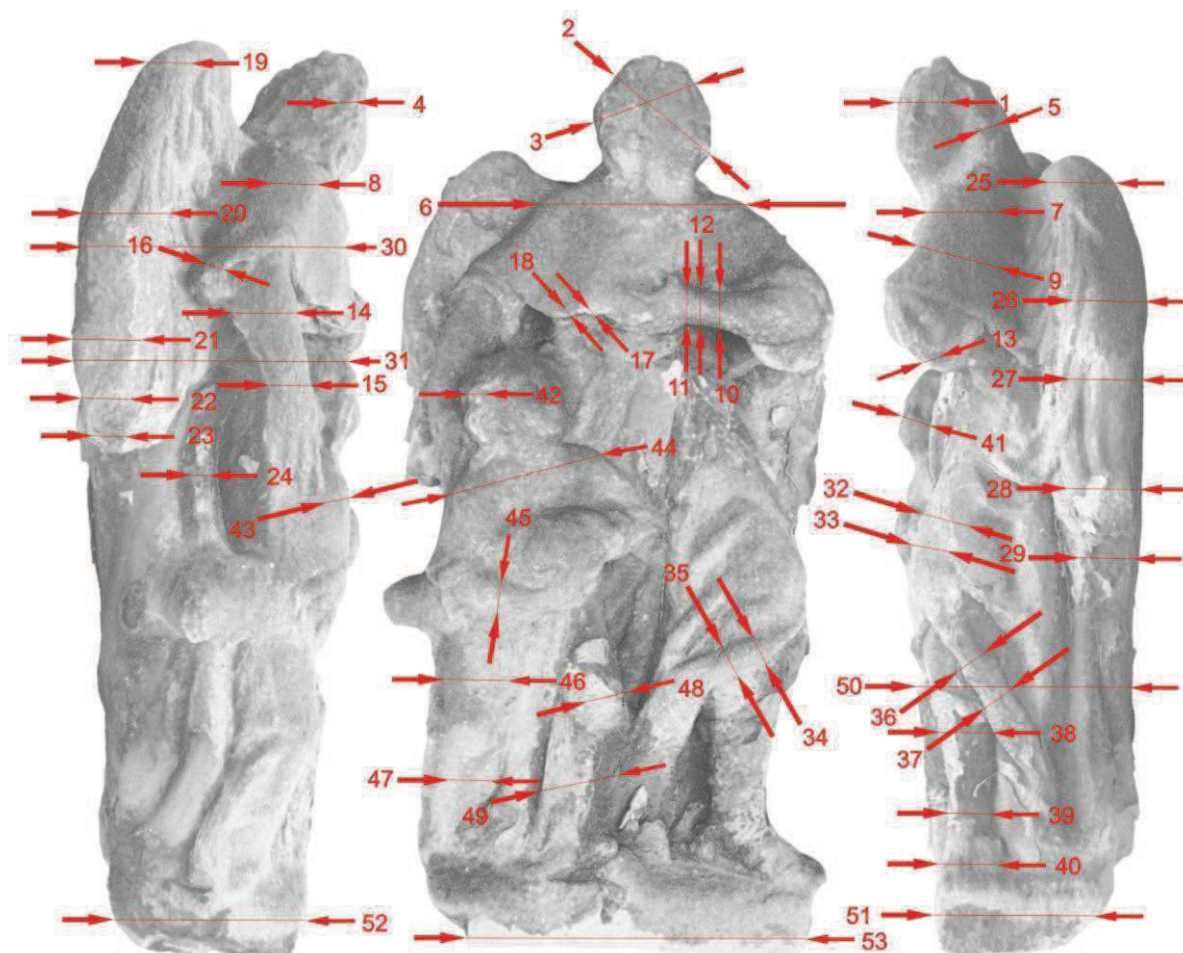
Měřicí body byly zvoleny tak, aby mohla být vzájemně porovnána místa s různým typem i mírou poškození.

Výsledky měření jsou stejně, jako v případě odporového vrtání, využitelné při posuzování stavu sochy, při stanovení koncepce konzervačního zásahu, i jako srovnávací údaje pro hodnocení účinnosti provedené strukturální konsolidace materiálu a injektáží problematických míst.

Měření bylo provedeno ve spolupráci s technologem Ing. Karolem Bayerem na Fakultě restaurování Univerzity Pardubice v Litomyšli, (kompletní zprava k provedenému měření je v příloze č. 6.)

Charakteristika míst měření:

Na objektu bylo celkem provedeno 53 měření. Měření byla provedena na různých místech sochy tak, aby obsáhla a reprezentovala jednotlivá místa a různé typy poškození na objektu. Měřená byla také místa, kde byly na kameni krusty nebo sekundární vrstvy např. tmely, aby byl prověřen stav materiálu pod nimi, nebo míra jejich adheze k hornině. Dále byla místa měření vybrána tak, aby zahrnovala širší rozsah vzdáleností měřících bodů, z důvodu hodnocení povrchu a hlubších vrstev vápence. Zvláštní pozornost byla věnována poškozené podstavě sochy, kde bylo provedeno systematické měření, které mělo za cíl prověřit statickou odolnost základny objektu.



Obrázek 20 Zákres měřících bodů ultrazvukové transmise

Výsledky měření:

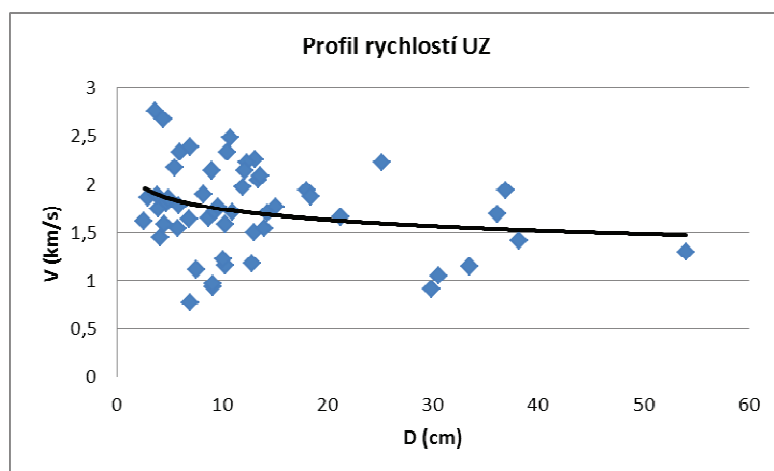
Tabulka 4 Výsledky měření UZ signálu v jednotlivých měřicích bodech

č.m.	Místo měření	směr	d (cm)	v (km/s)
1	přes spánky	lpz	18	1,93
2	brada-temeno	v	21,2	1,66
3	čelo zátylek	pz	18,4	1,87
4	vlasý vedle pravého ucha	pz	7	2,38
5	vlasý vedle levého ucha	pz	6	2,33
6	přes ramena	lp	36,9	1,93
7	levé rameno	pz	13,4	2,04
8	pravé rameno	pz	13,1	2,25
9	levá paže	pz	14,3	1,7
10	levé předloktí	pz	9	2,13
11	levé zápěstí-mimo krust	pz	5,5	2,17
12	levé zápěstí-přes krustu	pz	5,8	1,54
13	drapérie pod levým loktem	pz	4,7	1,79
14	pravé předloktí	pz	8,7	1,64
15	pravé zápěstí	pz	5,9	1,77
16	drapérie u pravého loktu	pz	2,6	1,61
17	drapérie na hrudi	pz	3,6	2,75
18	drapérie na hrudi-krusta	pz	3,9	1,74
19	křídlo pravé nahoře	pz	9,3	1,71
20	křídlo pravé v pŕlce	pz	12,3	2,22
21	křídlo pravé dole	pz	15,1	1,76
22	křídlo pravé dole-korodovaná	pz	13	1,5
23	křídlo pravé dole-korodovaná (vedle 22)	pz	10,3	1,58
24	drapérie pod pravým křídlem	pz	4,5	1,58
25	křídlo levé nahoře	pz	13,6	2,08
26	křídlo levé střed	pz	12,1	2,13
27	křídlo levé na úrovni levého loktu	pz	12	1,96
28	křídlo levé spodek - přes tmel	pz	9,1	0,93
29	křídlo levé spodek - mimo tmel	pz	7,5	1,11
30	hrud' - záda	pz	36,1	1,69
31	břicho - záda	pz	38,2	1,41
32	levé stehno - přes tmel	lp	12,8	1,17
33	levé koleno	lp	10,8	2,48
34	drapérie pod levým kolenem	v	2,9	1,86
35	drapérie pod levým kolenem	v	4,9	1,85
36	drapérie vedle levého lýtka přes tmel	pz	4,1	1,44
37	drapérie vedle levého lýtka přes tmel	pz	4,4	2,67
38	levé lýtko	lp	9,1	0,96
39	levý kotník	pz	7	0,77
40	levé chodidlo	lp	9,6	1,76
41	dítě - tváře	lp	10,5	2,33
42	dítě - vlasý	pz	3,8	1,88
43	dítě - pravé rameno	pz	14	1,54
44	dítě - ramena	lp	25,2	2,22
45	dítě - pravé předloktí	v	6,9	1,63

46	dítě - pravé stehno	lp	11	1,71
47	dítě - pravé lýtko	lp	8,2	1,89
48	dítě - levé koleno, přes krustu/tmel?	lp	10,3	1,15
49	dítě - levé lýtko	lp	10,1	1,22
50	dítě - lýtko-zadní strana	pz	33,5	1,14
51	plinta-pod levou nohou	pz	29,9	0,91
52	plinta - pod pravou nohou	pz	30,5	1,05
53	plinta-z předu	lp	54	1,29

Tabulka 5 Průměr, horní a dolní hranice naměřených hodnot při UZ transmisi

Průměr naměřených rychlostí	1,73 km/s
Nejnižší naměřená rychlost	0,77 km/s
Nejvyšší naměřená rychlost	2,75 km/s



Graf 1 Profil rychlostí UZ (závislost rychlosti na tloušťce měřeného místa)

Vyhodnocení:

„Výsledky měření lze shrnout do následujících bodů:

- Průměrná rychlost UZ je poměrně nízká (1,73 km/s), což je dáno na jedné straně tím, že vlastní použitá hornina je vápenec s vyšší porozitou a nižší mírou stmelení i nižší pevností a na druhé straně rozsáhlou korozi kamene, vysokým počtem silně degradovaných míst, které výrazně ovlivňují celkovou průměrnou rychlost. I z tohoto důvodu je mezi nejvyššími a nejnižšími naměřenými hodnotami poměrně velký rozdíl (maximální rychlost UZ – 2,75 km/s, minimální rychlost – 0,77 km/s).

Pro masivnější, méně porézní typy vápenců se rychlost UZ pohybuje v rozpětí 2,5 až 3,5 km/s, pro leštitelné vápence a mramory až do 6-6,5 km/s.

- *Pod krustami a pod tmely jsou často praskliny nebo silně degradované zóny. Tmely jsou na většině ploch nefunkční, mají tendenci se odtrhávat od podkladové horniny. Místa, kde lze stav kamene považovat za vysoce ohrožený resp. silně narušený jsou v tabulce označeny červeně.*
- *Podstava sochy je rovněž silně narušená a bez provedení důsledné konsolidace může způsobit statické ohrožení sochy po jejím opětovném osazení.*
- *Zajímavým fenoménem je mírně vzrůstající trend rychlostí UZ směrem k povrchu. Podobně, jako při hodnocení podobného fenoménu v rámci měření DRMS, lze i tady předpokládat mírné „zhutnění“ povrchu vápence, jako důsledek jeho sulfatizace.“²⁴*

2.4.5 Základní vlastnosti vápence

Cílem měření bylo zjistit základní charakteristické vlastnosti vápence, zejména jeho porozitu a velikosti pórů s ohledem na možnosti dalšího příjmu kapalin (konsolidantu).

Metodika měření:

Objemová hmotnost, nasákavost a celková otevřená porozita byly stanoveny gravimetricky.²⁵ Tyto jednotlivé charakteristické parametry byly měřeny standardními postupy vycházejícími z příslušných norem a směrnic (Zkušební metody přírodního kamene - Stanovení nasákavosti vodou za atmosférického tlaku (ČSN EN 13755; EN 13755:2001) a Stanovení měrné a objemové hmotnosti a celkové a otevřené pórovitosti (ČSN EN 1936; EN 1936:2006)).

Distribuce velikosti pórů (rtuťová porozimetrie - MIP, přístroj Quantachrome, model PM-60-13) byla změřena v Ústavu teoretické a aplikované mechaniky AV ČR. Výsledky měření jsou uvedeny v příloze č. 7 (materiálu, ze kterého je zhotovena socha anděla se týká druhý graf - Pore size distribution of limestone Kutná Hora 2, první graf (Pore size distribution of limestone Kutná Hora (pinnacle)) je uveden pro ilustraci rozpětí porozity u jednoho typu materiálu z různých objektů, v tomto případě se jedná o fiálu z chrámu sv. Barbory v Kutné Hoře, kde byl použit masivnější typ vápence.)

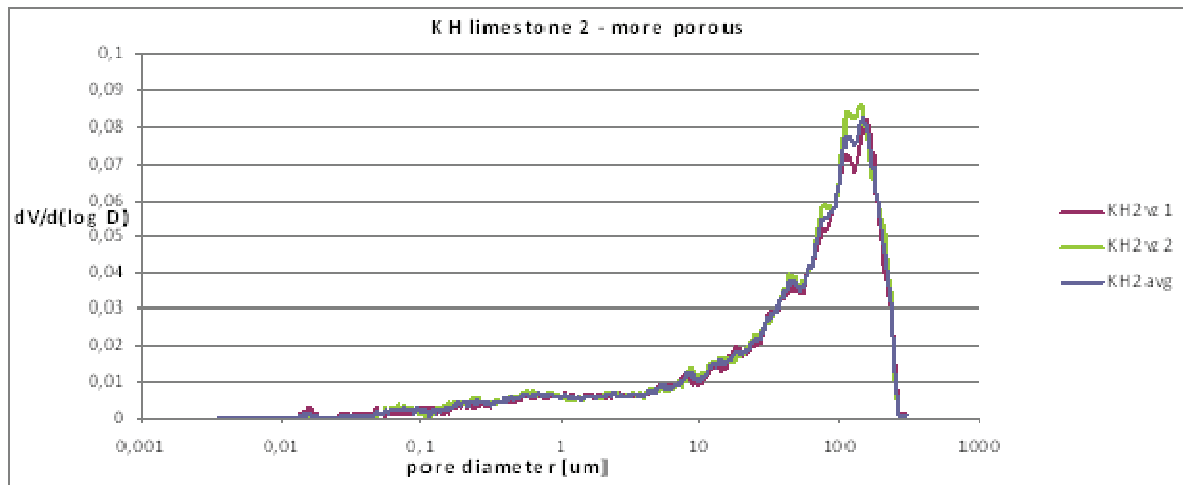
²⁴ Karol Bayer; Příloha č. 6: Zpráva k měření ultrazvukové transmise před restaurováním

²⁵ Měření provedla Dana Macounová v laboratoři Katedry chemické technologie Fakulty Restaurování University Pardubice v Litomyšli

Výsledky měření:

Tabulka 6 Základní údaje o hornině, nasákavost, porozita a hmotnost

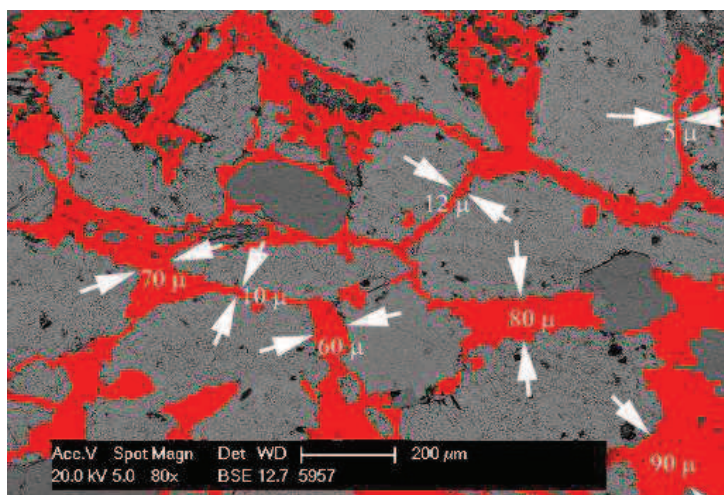
Objemová hmotnost (kg/m ³)	Nasákavost vodou po 48 hod (% hm.)	Celková otevřená porozita (% obj.)
1377	11,1	15,3



Graf 2 Distribuce velikosti pórů podle měření rtuťovou porozimetrií

Tabulka 7 Sumární výsledky rtuťové porozimetrie

Vzorek	Vtlač. objem [cm ³ /g]	Hustota [g/cm ³]	Průměrná velikost pórů [μm]	Celková porozita [% obj.]
KH2vz1	0,07	2,26	80,39	15,16
KH2vz2	0,07	2,23	80,94	15,73



Obrázek 21 Nábrus vápence, elektronová mikroskopie v režimu odražených elektronů; vizualizace porézního systému (vybarven červeně), vysoko porézní materiál – menší, „spojovací“ póry o velikosti 1-10 μm a větší o velikosti 30-150 μm .

Shrnutí:

Měření potvrdila vlastnosti použitého vápence zjištěné zkoumáním nábrusu a úlomků vápence rastrovací elektronovou mikroskopií. Z níž vyplývá, že porézní systém tvoří dva typy pórů – menší tzv. propojovací, jejichž velikost se pohybuje v rozmezí 1 - 10 μm a větší, které jsou nimi navzájem propojeny o velikosti 30 - 150 μm .

Horninu lze i na základě měření rtuťové porozimetrie charakterizovat jako velmi nasávkovou a porézní, s poměrně vysokým podílem větších pórů (průměrná velikost pórů je cca 80 μm , pro srovnání lze uvést průměrnou velikost pórů masivnějšího typu vápence z lokality Kutná Hora, zjištěnou stejným způsobem – cca. 30 μm , viz příloha č. 7).

2.4.6 Měření obsahu vodorozpustných solí v kameni

Z materiálu, který byl odvrtán při měření odporu vrtání byl stanoven obsah vodorozpustných solí v kameni.

Metoda měření:

Stanovení obsahu anionů vodorozpustných solí (sírany, dusičnany, chloridy) z vodních extraktů vzorků – VIS spektrofotometrie přístrojem Beckmann-Coulter DU©720.²⁶

²⁶ Měření provedla Dana Macounová v laboratoři KCHT fakulty restaurování UPCE

Výsledky měření:

Vzorek	$c_{(\text{SO}_4)_2^-}$ (hm.%)	$c_{(\text{SO}_4)_2^-}$ (mmol/kg)	c_{Cl^-} (hm.%)	c_{Cl^-} (mmol/kg)	$c_{(\text{NO})_3^-}$ (hm.%)	$c_{(\text{NO})_3^-}$ (mmol/kg)
R1	0,11	11	0,01	2	0,05	10
R2	0,03	3	0,02	4	0,03	7
R3	0,10	10	0,01	2	0,04	8

Modře zvýrazněné hodnoty znamenají podle rakouské normy Önorm B 3355-1 mírně zvýšení koncentrace vodorozpustných solí v materiálu.

Vyhodnocení:

Podle rakouské normy Önorm B 3355-1 určené k vyhodnocení nutnosti přistoupit k nějakým opatření v závislosti na naměřených koncentracích solí lze říci, že u sochy anděla není nutné zvažovat žádná opatření. Z naměřených hodnot vyplývá, že u jednoho vzorku – R1 je velmi mírně zvýšena koncentrace dusičnanů a síranů, což je možné vysvětlit jako výsledek koroze materiálu v důsledku sulfatizace.

V případě sochy anděla tedy nebude nutné přistoupit k odsolování.

2.5 Sumarizace výsledků průzkumu objektu

Vizuální průzkum památky prokázal, že se socha nachází v havarijním stavu. Nevratné ztráty hmoty celého povrchu, který je nadále ohrožován vysokým stupněm koroze a dalšími korozními vlivy, jako jsou např. tvrdé a velmi pevné sekundární tmely, krusty, nebo biogenní povlaky, významně narušuje hmotnou podstatu objektu a dezinterpretuje jeho vnímání i funkci. Silné krusty, které jsou v mnoha případech pravděpodobně posledními nositeli nejstaršího dochovaného povrchu sochy, jsou velmi homogenní, které se na mnoha místech odtrhávají od kamene a deformují, či silně pozměňují původní tvary objektu. Tento jev je také důsledkem vzniku četných trhlin a dutin. Pod nepropustnými vrstvami (krusty a tmely), ale i na dalších místech je samotný kámen zasažen hloubkovou korozi. To je za statického hlediska nejvíce problematické hlavně u podstavu objektu.

Z jednotlivých podkapitol přírodovědného průzkumu vyplývá, že socha byla v minulosti opatřena povrchovou úpravou. V nábrusu, který byl odebrán za účelem analýzy sekundární vrstvy tj. krusty byly náhodně objeveny dvě vrstvy barevných úprav, podle čehož je možné usuzovat, že s největší pravděpodobností byla socha v minulosti opatřena nejméně dvěma úpravami. První vrstva by mohla být na základě studia historických pramenů označena za původní. Díky charakteru nalezených fragmentů barevných úprav, které se nachází mezi vrstvami masivní sádrovcové krusty na povrchu korodovaného vápence, lze ale tuto informaci považovat pouze za hypotetickou.

Z průzkumu sekundárních povrchových vrstev tj. krust a starších tmelů dále vyplývá, že ve většině případů jsou tyto odtrženy od samotné hmoty objektu. Pod nimi se vytváří korozní zóny, kde dochází především ke kumulaci sádrovce v důsledku sulfatizace a zadržování vlhkosti. Kámen pod těmito vrstvami vlivem koroze ztrácí kohezi drolí se a pískovatí. U těchto vrstev byla také prokázána velmi nízká nasákavost, z čehož lze usuzovat, že i jejich schopnost propouštět vodní páry bude velmi nízká. Obecně lze říci, že z hlediska všech mechanických i fyzikálních vlastností tj. mimo jiné i barva a struktura jsou tyto vrstvy pro objekt nevhodné.

Ze studia vlastností jednotlivých povrchů mateřské horniny je patrné, že kámen má vysokou schopnost přijímat tekutiny, což do jisté míry souvisí i s vysokou mírou jeho koroze. Vlastnosti horniny zkoumané dalšími metodami ukázaly, že se jedná o vysoko porézní materiál se slabším, dotykovým, propojením jednotlivých zrn, které je také umocněno degradací kamene citlivého na kyselé prostředí (oxidy síry a dusíku), zejména v povrchových vrstvách. Všechny tato zjištění byla prokázána i dalšími metodami, jako je měření rychlosti průchodu ultrazvukové transmise, nebo měření odporu materiálu vůči vrtání a také elektronová mikroskopie. Na základě těchto měření můžeme snad jen doplnit zjištění vysoké nehomogenity materiálu, který může mít v jednotlivých zónách jednoho bloku kamene odlišné vlastnosti.

Ze vzorků kamene odebraných při měření odporu vrtáním byly také analyzovány aniony vodorozpuštěných solí v kameni. Z tohoto měření vyplynulo, že koncentrace solí jsou nízké a není potřeba přistoupit k opatřením, která by jejich obsah redukovala.

Na základě těchto výsledků a požadavků vyplývajících jednak ze závazného stanoviska (viz. příloha číslo 1) a požadavků investora, tedy navrácení zrestaurovaného objektu zpět na původní místo do exteriéru, bude stanovena koncepce konzervačního a restaurátorského zásahu.

3 Formulace základní ideje koncepce restaurování

Socha, která má být po restaurování navrácena do exteriéru, prošla za dobu její existence několika úpravami, jejichž cílem bezesporu bylo zušlechtit její vzhled v duchu momentálních zvyklostí, využívaných metod a postupů, které vždy byly poplatné svojí době, stejně tak, jako asi jednou budou ty naše.

Z průzkumu se dozvídáme, že socha byla v minulosti opatřena povrchovými úpravami, ať už barevnými, nebo monochromními. Právě tyto úpravy, které měly bezesporu i význam estetický, poskytovaly ochranu materiálu, ze kterého byla socha vysekána, v podobě tzv. obětní vrstvy. Ta byla vystavena odolávání povětrnosti i dalším nepříznivým vlivům s ní spojených. Postupem času, když došlo ke ztrátě takových ochranných vrstev, byl těmto negativním vlivům vystaven samotný nositel tvaru – kámen. Mušlový, kutnohorský vápenec, jehož jednotlivá zrna jsou pojena snadno rozpustným kalcitem, jak dokládá petrologické určení horniny (viz. kapitola 2.3 nebo příloha č. 3), má nižší odolnost, která má v dlouhodobém horizontu za následek masivní úbytky povrchu. Tento fakt se spolu s dalšími vnějšími korozními vlivy podepsal na současném stavu sochy anděla a dalších mnoha objektů, zhotovených z tohoto typu sedimentu nejen na Kutnohorsku.

Současné možnosti konsolidace těchto typů karbonátových hornin vyhovující ideji kompatibility zpevňovaného materiálu a konsolidantu nenabízejí vhodný prostředek, kterým by mohly být objekty v takovémto stádiu degradace ošetřeny bez dalších rizik. Ve skutečnosti je jedinou takovou metodou zpevňování vápennou vodou, která má však velmi nízký obsah zpevňující látky (okolo 1,6g/l, jak uvádí Z. Slížková a M. Drdácý²⁷) a proto musí být opakováno v desítkách cyklů, což vzhledem k snadné rozpustnosti tmelu těchto sedimentů a k jejich stavu obecně není příliš efektivní. Tato metoda by mohla být v mnoha případech označena přímo za kontraproduktivní. Chceme-li tedy konsolidovat podobné karbonátové materiály, jakými je kutnohorský vápenec, bez dalších zřejmých rizik, nabízí se nám použití ověřených, na trhu dostupných prostředků na bázi křemičitých solů. Přesto, že zkušenosti s aplikací těchto organokřemičitých prostředků na karbonátové materiály jsou dobré, nesplňují jeden ze zásadních požadavků současných přístupů k restaurování a to kompatibilitu se zpevňovaným kamenem.

Jedním z hlavních cílů této bakalářské práce je tedy odzkoušet nový konsolidační prostředek, který by toto důležité kritérium splňoval. Když „*princip konsolidace spočívá ve vnášení zpevňovací látky do zpevňovaného materiálu*“²⁸, jehož tmel je tvořen kalcitem, nemůžeme hledat ideálnější konsolidant, než materiál na bázi hydroxidu vápenatého, který v průběhu karbonatace konvertuje na uhličitán vápenatý, stejně jako vápenná voda. Takovým materiálem, avšak s několikanásobně vyšším obsahem částic Ca(OH)_2 jsou např.

²⁷ DRDÁCKÝ, Miloš; SLÍŽKOVÁ, Zuzana. Calcium hydroxide based consolidation of lime mortars and stone. In J.M.MIMOSO, J.Delgado-Rodrigues, et al. *In Proceedings of the Int. Symp. „Stone consolidation in cultural heritage“*. Lisabon : LNEC, May 2008. s. 299-308. ISBN 978-972-49-2135-8.

²⁸ DUNAJSKÁ, Jana. *Zhodnocení současných možností konsolidace vápenných omítek konsolidanty na bázi hydroxidu vápenatého*. Litomyšl, 2009. 53 s. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování v Litomyšli.

koloidní disperze nanočástic hydroxidu vápenatého v alkoholových rozpouštědlech s obchodním názvem CaLoSiL® (popis produktů CaLoSiL® viz. kapitola 4.1; viz. *obrazová příloha str 147*), jehož testování s cílem využití na reálných objektech je klíčovou aktivitou naší fakulty v rámci mezinárodního projektu STONECORE (viz. příloha č. 2 - Popis projektu STONECORE). Tento projekt se ve spolupráci s dalšími partnery z několika evropských zemí zabývá právě zkoumáním výše zmíněné konsolidační řady.

Plánovanému restaurátorskému zásahu na soše anděla bude tedy předcházet systematické testování tohoto nového typu konsolidantu na laboratorních vzorcích (které se stane teoretickou, neboli experimentální částí této práce) s ambicí jej využít pro nutný konzervační zásah. Tato fáze bude zařazena před všechny zásadní kroky restaurování a na základě jejího vyhodnocení bude stanovena koncepce celého zásahu, která bude podřízena zvolenému typu konsolidantu.

4 Testování konsolidantu nanosuspenzí na bázi hydroxidu vápenatého pro potřeby konzervace restaurovaného objektu – experimentální část

Myšlenka využití konsolidantu stejné materiálové podstaty, jakou je původní pojivo zrn konsolidovaného materiálu (vápence) by byla ideálním řešením pro strukturální zpevňování sedimentárních karbonátových hornin typu vysoce porézních biotritických vápenců po stránce kompatibility. Toto řešení by naopak, od běžně používaných organokřemičitých prostředků, vyhovovalo dnešním trendům v restaurování, které se týkají zachování materiálové podstaty díla. Pro používání takového nového materiálu je ale nutné se zabývat nejenom chemickým složením sekundárně vnášené látky do zpevňovaného materiálu, ale musí být sledovány i jeho vlivy na mechanické a fyzikální vlastnosti původní horniny. Dnes máme k dispozici mnoho metod, jak můžeme tyto změny posuzovat, ať už jsou to jednoduché zkoušky základních vlastností, nebo složité instrumentální metody. Využití těchto výzkumných metod je také cestou k získání poznatků o procesu konsolidace obecně a jeho sledování může přivést pozorovatele k optimalizaci jejího průběhu.

Vzhledem k existenci potřeby tuto problematiku konsolidace sedimentárních karbonátů řešit a k vývoji materiálů, kterým by mohly být organokřemičité prostředky nahrazeny jsme se v rámci projektu STONECORE (viz. příloha č. 2 - Popis projektu STONECORE), v němž, jako jeden z partnerů, zastává Fakulta restaurování právě tuto úlohu, rozhodli pro systematické otestování výše popsaných vlivů a účinků konsolidace prostředky na bázi solí hydroxidu vápenatého. Naším cílem v rámci projektu bylo na základě získaných poznatků vyhledat vhodný referenční objekt a v případě kladných výsledků testování využít tento typ konsolidantů na konzervační část komplexního restaurátorského zásahu.

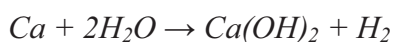
Vzhledem k nalezení cíleně hledaného objektu, jehož komplexní restaurování se navíc stalo předmětem zadání mé praktické části bakalářské práce, jsme mohli výše popsaný cíl naplnit v plném rozsahu. Jednotlivé kroky, které nás dovedli až k cíli, který jsme si v ideálním případě stanovili a který bylo možné na základě výsledků popsaných v této části práce dodržet, jsou popsány v následujících kapitolách.

4.1 Popis konsolidantů CaLoSiL®

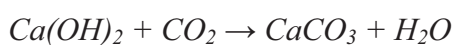
Charakterizací a popisem konsolidantů firmy IBZ-Freiberg s obchodním názvem CaLoSiL® se ve své bakalářské práci podrobně zabývala Jana Dunajská²⁹. Náplní této práce bylo v rámci projektu STONECORE jedno z prvních rozsáhlých systematických testování těchto prostředků na různých anorganických karbonátových materiálech (kámen, malty, omítky). Specifikace a popis těchto konsolidantů byly tedy převzaty z bakalářské práce Jany Dunajské.

„CaLoSiL® je první dostupný komerční konsolidant založený na nanosuspenzích hydroxidu vápenatého. Od října 2006 jej vyrábí firma IBZ-Freiberg (Ingenieurbüro Dr. Ziegenbalg GbR). CaLoSiL® je sol obsahující stabilní nanočástice hydroxidu vápenatého rozptýlené v rozličných alkoholech jako etanol, n-propanol a isopropanol nebo případně i nepolární rozpouštědla jako např. pentan. Je dostupný v koncentraci 5, 15, 25 a 50 g/l. (Jen pro porovnání, obsah hydroxidu vápenatého v nasycené vápenné vodě se pohybuje okolo 2,2 g/l).

Výroba: reakce Ca s vodou v alkoholovém prostředí



Střední velikost částic je cca 150 nm, což je zhruba stokrát menší velikost částic než u "běžných" vápenných suspenzí. Velikostí částic je výrazně ovlivněna lepší penetrace tohoto sólu do materiálu a díky tomu je možné dosáhnout jeho proniknutí i do takových hloubek, kde běžné vápenné suspenze (připravené z hašeného vápna) nepronikají. Možnosti ovlivnění hloubky penetrace spočívají jednak v přidání malého množství dalších rozpouštědel jako aceton nebo pentan, nebo výběrem vhodné aplikační techniky. Díky extrémně nízké velikosti částic je tento konsolidant potenciální možností zpevňování karbonátových materiálů jako vápenec, mramor či vápenné malty a omítky. Nanesený CaLoSiL® vytvoří po odpaření rozpouštědla pevný hydroxid vápenatý, který se přemění na CaCO₃ podobným způsobem jako tradiční vápenné omítky reakcí s atmosférickým oxidem uhličitým.



²⁹ DUNAJSKÁ, Jana . *Zhodnocení současných možností konsolidace vápenných omítek konsolidanty na bázi hydroxidu vápenatého* . Litomyšl, 2009. 53 s. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování v Litomyšli.

Rozpouštědlo se odpaří bez vzniku reziduí. Nevytváří se ani se neuvolňují žádné látky, které by poškozovaly zpevňovaný materiál. Při kontaktu s vodou dochází v závislosti na množství vody, nejdříve ke zvýšení velikosti částic. Další zvýšení množství vody způsobuje vznik velkých aglomerátů $\text{Ca}(\text{OH})_2$, které rychle sedimentují jako vločky. Tvorba zbarvení zpevňovaného povrchu CaLoSiLem se může projevit ve formě bílých zákalů. Vznik těchto bílých povlaků je zásadním způsobem ovlivněn způsobem nanášení, vlastnostmi ošetřovaného materiálu i koncentrací hydroxidu vápenatého. Výrobce uvádí, že při správném uložení (5 až 30°C, vyloučení vzdušné vlhkosti) zůstávají sóly stabilní nejméně po dobu 3 měsíců.“

„CaLoSiL[®] je dostupný v několika variantách lišících se koncentrací a druhem disperzního prostředí. Je dostupný v koncentraci 5, 15, 25 a 50 g/l. Jako disperzní prostředí slouží ethanol, ethanol s přídavkem acetonu, ethanol s přídavkem heptanu, isopropanol, isopropanol s přídavkem acetonu, isopropanol s přídavkem heptanu nebo n-propanol.“³⁰

V současné době firma IBZ-Freiberg rozšířila výrobu o konsolidanty s vyšším obsahem $\text{Ca}(\text{OH})_2$, které by mohly být využitelné nejen pro strukturální konsolidaci značně narušených míst karbonátových materiálů, ale také jako přípravky pro injektaž drobných prasklin, trhlin, nebo dutin. Tyto přípravky pod názvem CaLoSiL[®] Pasty jsou vyráběny s vyšším obsahem účinné látky, v rozsahu 150 – 300 g hydroxidu vápenatého na litr suspenze.

Pro naše účely byl na základě výsledků předešlých testování a zhodnocení jeho efektivity v ohledu na praktické využití v reálné restaurátorské praxi zvolen CaLoSiL[®] E25. Tedy konsolidant dispergovaný v ethanolu s obsahem 25 gramů účinné látky na litr konsolidantu. Tento materiál byl podroben systematickému odzkoušení na laboratorních vzorcích. Odzkoušen byl rovněž CaLoSiL[®] Pasty, který by mohl být využit na další konzervační části zásahu doplňující strukturální konsolidaci.



Obrázek 22 Konsolidanty firmy IBZ-Freiberg s obchodním názvem CaLoSiL[®]

³⁰ Převzato z DUNAJSKÁ, Jana . *Zhodnocení současných možností konsolidace vápenných omítek konsolidanty na bázi hydroxidu vápenatého* . Litomyšl, 2009. 53 s. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování v Litomyšli.

4.2 Základní popis materiálu laboratorních vzorků

Jako referenční materiál byl použitý stejný resp. srovnatelný typ vápence, jako na soše anděla, rovněž pocházel ze stejného objektu, tedy z ohradní zdi domu čp.48 v Kutné Hoře. Díky tomu bylo možné přiblížit se nejenom vlastnostem daného typu vápence, ale materiál použitý pro testování byl také vystaven zvětrávání ve stejných podmínkách, jako vlastní socha (i obsah vodorozpustných solí byl srovnatelný, jako v případě sochy anděla viz. kapitola 2.4.6. *Měření obsahu vodorozpustných solí v kameni*).

Referenční materiál lze zařadit mezi vysoko porézní typy příbojového kutnohorského, mušlového vápence, jehož vlastnosti, jako pevnost, porozita, nasákavost a mineralogické složení, přibližně odpovídají vlastnostem vápence na restaurované soše. Jednotlivé vlastnosti, uvedené v následující tabulce jsou pak dále využity při srovnání nekonsolidovaného a konsolidovaného vápence, kde je uvedena i metodika měření těchto vlastností. Důležitou informací, která je obecně platná pro všechny typy této horniny je vysoká heterogenita materiálu, v jednom bloku kamene se nacházejí různé zóny, které se od sebe ve výše uvedených vlastnostech navzájem odlišují.

Tabulka 8 Základní vlastnosti referenčního, nekonsolidovaného vápence

Objemová hmotnost (kg/m³)	Celková porozita (% obj.)	Nasákavost (% hm.)	Pevnost v tlaku³¹ (MPa)	Pevnost v tahu za ohybu³² (MPa)	Průměrná rychlost UZ (km/s)
2205	15,2	6,9	7,68	2,99	3,12

³¹ měření provedeno v UTAM AV ČR Praha (ing. Zuzana Slížková)

³² měření provedeno v UTAM AV ČR Praha (ing. Zuzana Slížková)

4.3 Popis a příprava laboratorních vzorků

Pro potřeby testování strukturální konsolidace bylo připraveno celkem 34 vzorků ze srovnatelného typu kutnohorského mušlového vápence. Vzorky byly připraveny nařezáním kvádrů z kamene, který byl exponován ve velmi podobných podmínkách jako samotná socha anděla (jednalo se o vyměněnou krycí desku ohradní zdi). Jednu stranu vzorků tvořil exponovaný, korodovaný povrch a zbývající plochy byly řezané. Průměrná velikost vzorků byla 3,6 x 4,6 x 3,8 cm (výška x šířka x hloubka). Vzorky byly umístěny na Petriho misky a byly podloženy plastovou mřížkou, aby mezi nimi a miskou byl prostor a bylo tak možné kontrolovat případný nadbytek protékajícího konsolidantu (viz. obrázek č. 22).

Cílem testování bylo co nejvěrnější napodobení podmínek, se kterými se setkáme při použití přípravků na strukturální konsolidaci v běžné praxi. Proto i modelové vzorky byly připraveny tak, aby co nejvíce napodobily reálné povrchy. Korodované povrchy vzorků, na které měl být aplikován konsolidant, byly pouze mechanicky očištěny od nečistot a depozitů, tak jak by to



Obrázek 23 Laboratorní vzorek s korodovaným povrchem

bylo možné u samotného reálného objektu, v tomto případě sochy anděla, kde degradace materiálu vyžadovala zařadit konsolidaci před všechny běžné kroky čištění. Ve struktuře povrchů vzorků, jejichž zrna byla částečně obnažena, se také vyskytovaly řasy i jiné biogenní nečistoty (podobně jako u povrchu sochy anděla).

4.4 Testování strukturální konsolidace přípravkem CaLoSiL[®] E25 na laboratorních vzorcích

4.4.1 Úvod

Celková koncepce testování byla podřízena snaze využít CaLoSiL[®] E25 na strukturální konsolidaci sochy anděla z Kutné Hory, jako prvního kamenného referenčního objektu u nás, a tím ověřit nové možnosti konsolidace podobných karbonátových hornin konsolidantem, který by vyhovoval požadavku kompatibility se zpevňovaným materiálem.

Byla připravena série vzorků (viz. kapitola 4.3) na které byla testována strukturální konsolidace sólem Ca(OH)₂ v ethanolu s komerčním názvem CaLoSiL[®] E25 (25g Ca(OH)₂ na litr). Testování bylo zaměřeno na využití přípravku v běžné praxi, a z tohoto důvodu byly sledovány vlivy různých metod, způsobů aplikace, orientace napouštěné plochy, péče po aplikaci aj. na hloubku penetrace a případnou zpětnou migraci konsolidantu.

Snahou bylo optimalizovat metodu a způsob aplikace a minimalizovat případné negativní vlivy tak, aby v případě uspokojivých výsledků testování, mohl být konsolidant použit na restaurování sochy anděla.

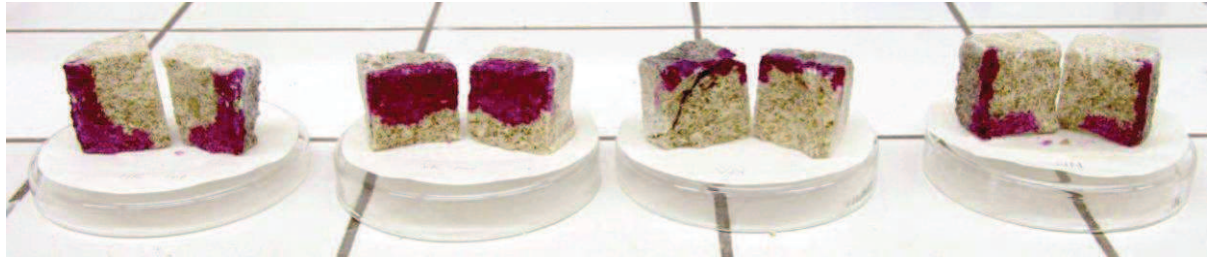
4.4.2 Předběžné testování

Před samotným systematickým testováním bylo provedeno předběžné testování na několika vzorcích (jak byly popsány v kapitole 4.3). Jeho cílem bylo vyjasnit některé zásadní otázky práce a na základě jeho výsledků byla pevně stanovena koncepce systematického testování konsolidace.

Jednou z hlavních otázek bylo určit metodu a potřebné množství konsolidantu, které bude aplikováno na vzorek v jednom cyklu. Množství mělo zaručit dostatečnou hloubku penetrace, ale vzorek neměl být prosycen celý, abychom mohli sledovat pevnostní profil a distribuci konsolidantu v materiálu. Důležitým kritériem byla také orientace napouštěné plochy. Testována byla aplikace stejného množství prostředku na vodorovnou a svisle orientovanou plochu.

Byly odzkoušeny dvě metody aplikace stejného množství CaLoSiLu[®] E25 a čtyřech vzorcích. Nátěr vzorku stanoveným množstvím konsolidantu štětcem a kapáním jehlou z injekční stříkačky (viz. obrazová příloha str. 147). Oba tyto způsoby byly

odzkoušeny na horizontálně a vertikálně orientované ploše. Po vyschnutí rozpouštědla byly vzorky rozlomeny a byla posouzena hloubka penetrace vybarvením zásaditého prostředí 1% fenolftaleinem.



Obrázek 24 Zkouška metody aplikace na penetraci; 2 vz. napuštěné kapáním vlevo, 2 vz. napuštěné štětcem vpravo

Zhodnocení výsledků předběžného testování:

Po vyhodnocení zkoušek provedených za účelem definování vhodného objemu konsolidantu jsme stanovili objem 7ml CaLoSiLu® E25 na jeden napouštěcí cyklus pro vzorky o průměrné velikosti 3,6 x 4,6 x 3,8 cm (výška x šířka x hloubka). Jak je patrné z obrázku č.2, metoda nanášení konsolidantu štětcem se z hlediska hloubky penetrace neosvědčila. Výsledky aplikace konsolidantu kapáním byly velmi uspokojivé.

Shrnutí a stanovení koncepce další práce:

Po zhodnocení výsledků předběžného testování bylo rozhodnuto, že aplikace konsolidantu při vlastním testování bude provedena pouze metodou kapáním z injekční stříkačky. Nanášení konsolidantu štětcem se při stejném objemu přípravku neosvědčila. Objem konsolidantu v závislosti na vhodné hloubce penetrace byl stanoven na 7ml CaLoSiLu® E25. Testovány budou 3 série vzorků v následující četnosti napouštěcích cyklů – 1x, 2x, 5x, kdy v každém cyklu bude aplikováno 7ml konsolidantu

Předběžné zkoušky také prokázaly, že se na povrchu vzorků vytváří bílý zákal. Při samotném testování bude odzkoušeno několik možností, jak tento negativní jev minimalizovat. Bylo navrženo několik způsobů, jak by bylo možné tvorbu zákalů zmírnit, ty budou popsány metodice testování v následující kapitole.

4.4.3 Seznam vzorků a metodika testování CaLoSiLu® E25

Testováno bylo celkem 34 vzorků (jejich popis je uveden v kapitole 4.3; viz. *obrazová příloha str. 148*) z toho 16 vzorků bylo napuštěno ve dvou napouštěcích cyklech (tzn. aplikace byla opakována po 24h) a 16 v pěti napouštěcích cyklech. Dva vzorky byly napuštěny v jednom napouštěcím cyklu, aby mohl být vysledován průběh karbonatace a zjištěna délka jejího trvání, protože u vzorků ošetřených ve více cyklech by se karbonatace jednotlivých aplikací překrývala a nebylo by možné její průběh přesně ověřit.

Jednotlivé série vzorků byly napouštěny na odlišně připravené povrchy a lišila se i jejich následná péče ve snaze vypořádat její vliv na minimalizaci vzniku bílých zákalů. Některé byly napouštěny nasucho, jiné na povrch předvlhčený ethanolem (v předběžných zkouškách bylo pro předvlhčení povrchu zvoleno množství - 1 ml ethanolu), některé byly po aplikaci otupovány vatou napuštěnou ethanolem, některé byly mezi jednotlivými cykly zakrývány aluminiovou folií. Tyto metody byly různě kombinovány a konkrétně jsou popsány v následujícím textu.

Každý z popisovaných způsobů aplikace a následné péče byl testován na dvou vzorcích, abychom objektivizovali výsledky testování a minimalizovali případné odchylky a chyby měření.

Testování bylo provedeno v laboratorních podmínkách s průměrnou teplotou 17,9 °C (v rozmezí od 16,3 °C do 23,5 °C) a průměrnou relativní vzdušnou vlhkostí 55,3 % (v rozmezí 38,8 – 61,9 %).

Metodika testování

- v jednotlivých napouštěcích cyklech byly vzorky napouštěny 7 ml CaLoSiLu® E25
- konsolidant byl na korodované povrchy aplikován ve vodorovné a ve svislé poloze kapáním z injekční stříkačky s jehlou o průměru 1,6 mm
- vzorky byly napuštěny a ošetřeny těmito způsoby³³:
 - *na sucho – zakryté/nezakryté*
 - *na sucho – zakryté/nezakryté a otupované vatou namočenou ethanolem*
 - *na povrch před vlhčený 1 ml ethanolu – zakryté/nezakryté*
 - *na povrch před vlhčený 1 ml ethanolu – zakryté/nezakryté a otupované vatou namočenou ethanolem*

³³ Vzorky napuštěné ve dvou napouštěcích cyklech nebyly zakrývány, aby byl ověřen vznik zákalů bez tohoto typu péče, také bylo předpokládáno, že zákal nebude tak výrazný, jako u vzorků napouštěných v pěti napouštěcích cyklech. Podrobně je systém péče zaznamenán v tabulce.

Tabulka 9 Seznam vzorků a popis napouštěcích cyklů

Číslo vzorku	Způsob napouštění	Orientace napouštěné plochy	Počet cyklů	Objem aplikovaného konsolidantu v ml
VZ 1; VZ 2	nasucho, nezakryto	vodorovná	2	14
VZ 3; VZ 4	nasucho, nezakryto	svislá		
VZ 5; VZ 6	předvlhčeno, nezakryto	vodorovná		
VZ 7; VZ 8	předvlhčeno, nezakryto	svislá		
VZ 9; VZ 10	nasucho, nezakryto, otupováno	vodorovná		
VZ 11; VZ 12	nasucho, nezakryto, otupováno	svislá		
VZ 13; VZ 14	předvlhčeno, nezakryto, otupováno	vodorovná		
VZ 15; VZ 16	předvlhčeno, nezakryto, otupováno	svislá		
VZ 17; VZ 18	nasucho, zakryto	vodorovná	5	35
VZ 19; VZ 20	nasucho, zakryto	svislá		
VZ 21; VZ 22	předvlhčeno, zakryto	vodorovná		
VZ 23; VZ 24	předvlhčeno, zakryto	svislá		
VZ 25; VZ 26	nasucho, zakryto, otupováno	vodorovná		
VZ 27; VZ 28	nasucho, zakryto, otupováno	svislá		
VZ 29; VZ 30	předvlhčeno, zakryto, otupováno	vodorovná		
VZ 31; VZ 32	předvlhčeno, zakryto, otupováno	svislá		
VZ 33; VZ 34	nasucho, zakryto	vodorovná	1	7

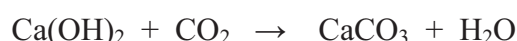
Rozestupy mezi jednotlivými napouštěcími cykly trvaly přibližně 24 hodin. V prvním cyklu byly napouštěny vzorky, které měly být napuštěny 5x (VZ17 – VZ32), bylo tedy napouštěno 16 vzorků současně³⁴. Stanovené množství CaLoSiLu® E25 pro každý vzorek, tedy 7 ml, bylo připraveno do kádinek zakrytých hodinovým sklem a na jednotlivé vzorky bylo vždy aplikováno takové množství konsolidantu, které byl schopen při jedné aplikaci absorbovat, tak aby se na něm nevytvářely ostrůvky (v případě vodorovně orientovaných napouštěcích ploch vzorků), nebo aby konsolidant nestékal na Petriho misku (v případě svisle orientovaných napouštěcích ploch vzorků). Vzorky byly napouštěny ve třech až čtyřech napouštěcích kolech v jednom cyklu. Čas, ve kterém byl jeden vzorek napuštěn stanovenými 7ml CaLoSiLu® E25 se tedy značně prodloužil od délky času aplikace při předběžném testování. To mělo překvapivý vliv na hloubku penetrace, která

³⁴ Další vzorky (tj. vzorky napouštěné 1x a 2x) byly do aplikačních cyklů přidány postupně, tak, aby všechny napouštěcí cykly končily v jeden den (kvůli gravimetrickému sledování karbonatace).

spolu s delšími pauzami mezi jednotlivými aplikacemi vzrůstala. U většiny vzorků došlo k úplnému prosycení konsolidantem (viz. obrazová příloha str. 149).

4.4.4 Gravimetrické zjištění průběhu karbonatace a stanovení množství přijaté účinné látky konsolidantu

Sledováním hmotnostních změn po ukončení napouštění je možné sledovat průběh karbonatace, neboli konverze Ca(OH)_2 na CaCO_3 , při které dochází ke změně velikosti částic a tím k navýšení jejich hmotnosti.



z 1 molu Ca(OH)_2 o molární hmotnosti $M_h = 74,09 \text{ g/mol}$ vzniká \rightarrow

\rightarrow 1 mol CaCO_3 o $M_h = 100,09 \text{ g/mol}$

z toho vyplývá, že při 100% konverzi 1 g Ca(OH)_2 vzniká 1,35g CaCO_3

Tabulka 10 Hmotnost předpokládaného obsahu účinné látky konsolidantu před a po karbonataci

Objem konsolidantu V/ml	počet napouštěcích cyklů	zaokrouhlená spotřeba konsolidantu (l/m^2)	předpokládaný obsah Ca(OH)_2 /g	přepočítaný obsah CaCO_3 po karbonataci /g
1000			25	33,74
7	1	4	0,175	0,236
14	2	8	0,35	0,472
35	5	20	0,875	1,18

U vybrané, reprezentativní části vzorků bylo po dokončení posledního napouštěcího cyklu prováděno podrobné sledování váhových změn v pravidelných časových intervalech, aby bylo možné určit kdy se z nich odpaří rozpouštědlo a nastartuje se samotný proces karbonatace. Ostatní vzorky byly gravimetricky sledovány v delších časových rozestupech, aby mohl být po ukončení karbonatace u všech vzorků vypočítán přírůstek jejich hmotnosti a z něho vypočítáno množství nově vzniklého pojiva. Hmotnost vzorků byla sledována do

chvíle ustálení jejích hodnot, kdy jsme předpokládaly, že je proces karbonatace z velké části ukončen³⁵.

Výpočet je založen na přepočtu z navýšené hmotnosti vzorků o konvertovaný CaCO_3 , na hmotnostní obsah původního, konsolidací přidaného Ca(OH)_2 . Předpokládanou hmotnost obsahu Ca(OH)_2 v jednotlivých vzorcích je možné vypočítat z jasně definovaného objemu přijatého konsolidantu o jasně definovaném hmotnostním obsahu v jednom litru konsolidantu podle molárních hmotností (jak je na začátku této kapitoly).

Metodika sledování změn:

Vzorky byly nějakou dobu před napouštěním uloženy v laboratoři se stálým klimatem, o průměrné teplotě $22,2^\circ\text{C}$ a průměrné vzdušné vlhkosti 56,1%. Před začátkem napouštění byly vzorky zváženy a jejich váha byla zaznamenána. Bezprostředně po ukončení posledního aplikačního cyklu bylo zahájeno vážení všech vzorků, přičemž z každé série byly vybrány vzorky, které byly podrobněji sledovány. Seznam vzorků a způsobů gravimetrického sledování s časovým rozptylem je uveden v následujících tabulkách.

Tabulka 11 Popis způsobu gravimetrického sledování průběhu karbonatace

Číslo vzorku	Způsob gravimetrického sledování	Počet cyklů	Objem aplikovaného konsolidantu v ml	Objem aplikovaného konsolidantu na m^2
VZ 1 - VZ 4	podrobný	2	14	8 l/m^2
VZ 5 - VZ 16	méně podrobný			
VZ 17 - VZ 20	podrobný	5	35	20 l/m^2
VZ 21 - VZ 32	méně podrobný			
VZ 33; VZ 34	podrobný	1	7	4 l/m^2

³⁵ Před ukončením gravimetrického sledování vzorků bylo prověřeno stádium karbonatace výpočtem, který byl využit pro stanovení množství přijaté účinné látky konsolidantu.

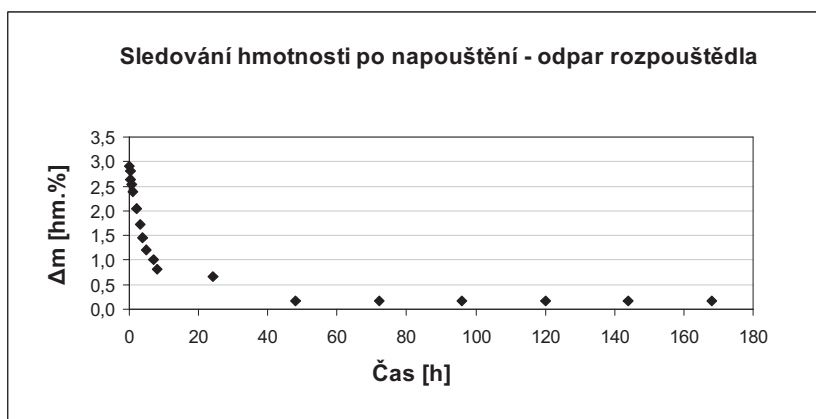
Tabulka 12 Popis časových rozestupů gravimetrického sledování vzorků

Podrobné sledování hmotnosti	
sledované hmotnosti	čas vážení/časové rozestupy vážení
m0	před napuštěním (suchý vzorek před posledním napouštěcím cyklem)
m1	ihned po ukončení napouštění
m2 – m5	po čtvrt hodinách od napuštění
m6 – m12	po hodinách od m5
m13	po 24 hodinách od napuštění
m14 – m18	po dnech od m13
m19 – m21	po týdnech od m19
m22	po dvou měsících od napuštění

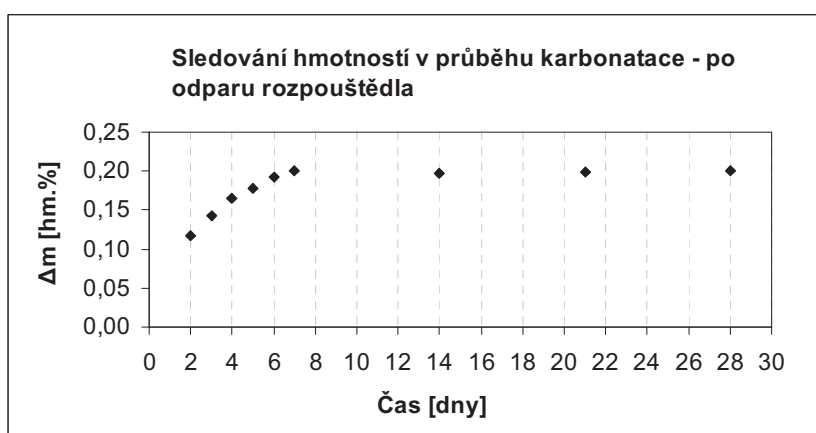
Méně podrobné sledování hmotnosti	
sledované hmotnosti	čas vážení/časové rozestupy vážení
m0	před napuštěním (suchý vzorek před posledním napouštěcím cyklem)
m1	ihned po ukončení napouštění
m2	po 24 hodinách od napuštění
m3	po 7 dnech od napuštění
	po 2 týdnech od napuštění
	po 1 měsíci od napuštění
	po 2 měsících od napuštění

Vyhodnocení:

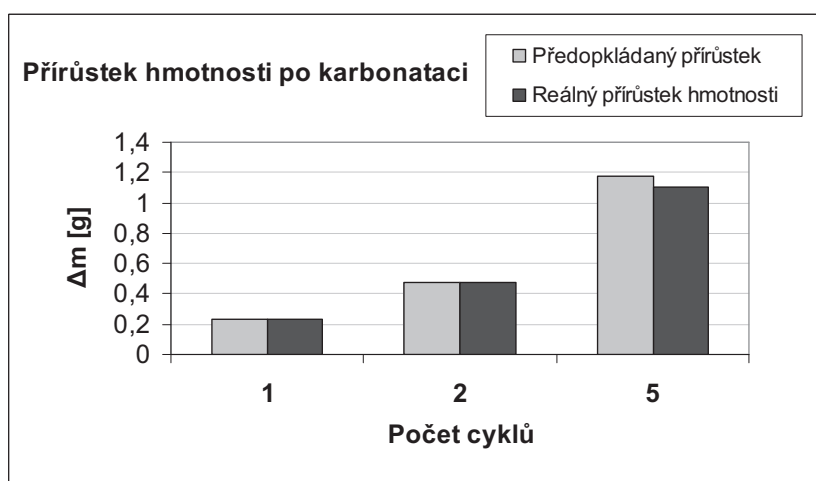
Z výsledků gravimetrického měření vyplývá, že proces karbonatace je z velké části ukončen 7 dní po napouštění viz. graf č. 2, kdy v prvním dnu dochází k odparu rozpouštědla viz. graf č.1. Obsah nově přidaného pojiva CaCO_3 , tedy produktu konsolidace a následné karbonatace odpovídá počtu cyklů, v nichž byly vzorky napouštěny stanoveným množstvím konsolidantu s definovaným hmotnostním obsahem Ca(OH)_2 viz. graf č. 3. Hodnoty zanesené do grafů jsou průměrem naměřených hodnot u jednotlivých sérií podrobně sledovaných vzorků, tyto se nijak nelišily od průměrů naměřených hodnot na sériích, které byly sledovány v delších časových rozestupech, proto byly pro lepší názornost použity výsledky podrobnějšího sledování.



Graf 3 Sledování změn hmotnosti po napouštění - odpar rozpouštědla³⁶



Graf 4 Přírůstky hmotnosti v průběhu karbonatace - po odpaření rozpouštědla³⁷



Graf 5 Předpokládaný a skutečný přírůstek hmotnosti po karbonataci³⁸

³⁶ Graf tvoří průměr naměřených hmotnostních rozdílů na sérii vzorků, které byly ošetřeny v jednom napouštěcím cyklu, tedy VZ 33 a VZ34.

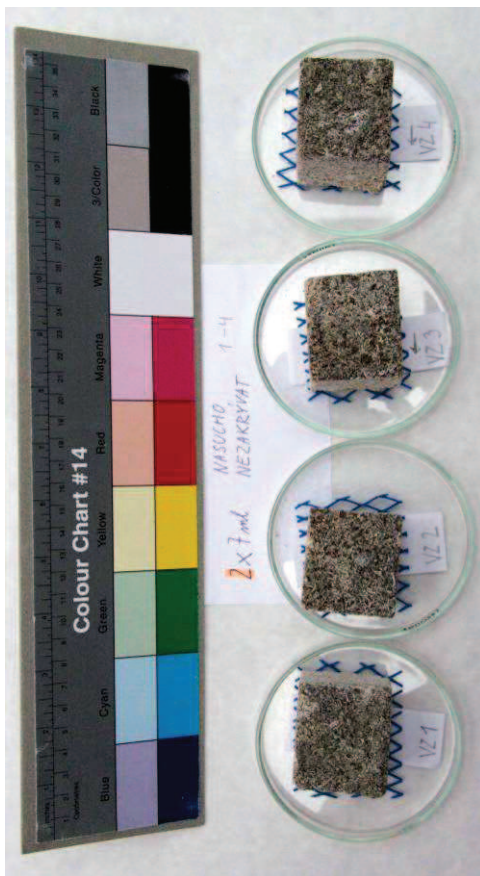
³⁷ Graf tvoří průměr naměřených hmotnostních rozdílů na sérii podrobně sledovaných vzorků, které byly napuštěny v pěti napouštěcích cyklech, tedy VZ 17 – VZ20.

³⁸ Do grafu byly zaneseny průměry hmotnostních přírůstků sérii podrobně sledovaných vzorků, které byly napuštěny v jednom, dvou a pěti napouštěcích cyklech (viz. tabulka č. 9).

4.4.5 Vizuální posouzení barevných změn

V předchozích kapitolách byly popsány způsoby aplikace CaLoSiLu[®] E25 na vzorky a jejich ošetřování a péče v průběhu napouštěcích cyklů. Tyto faktory, různě působící na vznik bílých zákalů z $\text{Ca}(\text{OH})_2$ usazeného a zkarbonatovaného na napouštěném povrchu vzorků, byly nastaveny různě, aby mohl být sledován jejich vliv na intenzitu zákalů. Cílem bylo najít způsob aplikace a následné péče, kterým by bylo možné tento negativní vliv minimalizovat.

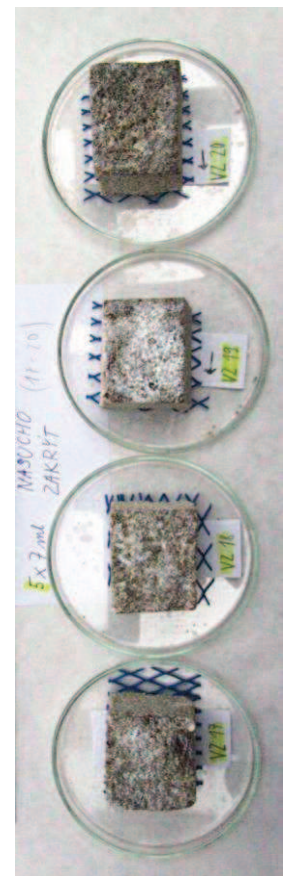
Reprezentativní ukázka vzorků po aplikaci konsolidantu je zobrazena na následujících třech fotografiích.



Obrázek 25 Vzorky VZ1 - VZ4, ze série 2 aplikačních cyklů před napouštěním



Obrázek 26 Vzorky VZ1 - VZ4, ze série 2 aplikačních cyklů po konci napouštění a karbonataci (vzorky nebyly v průběhu napouštění zakrývány)



Obrázek 27 Vzorky VZ17 - VZ20, ze série 5 aplikačních cyklů po konci napouštění a karbonataci (vzorky byly v průběhu napouštění zakrývány)

Vyhodnocení:

Přes veškeré snahy minimalizovat tento jev vznikl vlivem konsolidace na povrchu všech vzorků bílý zákal viz. obr. 25, 26 a 27. Zkoušky jednoznačně prokázaly, že zakrýváním povrchu je však možné tento negativní účinek potlačit.

Vzorky ze série dvou aplikačních cyklů, které nebyly po aplikaci konsolidantu zakrývány aluminiovou folií vykazují vyšší míru vzniku zákalu než vzorky ošetřené v pěti napouštěcích cyklech viz. obr. 26 a 27. Vzorky ošetřené pětkrát byly vždy mezi jednotlivými cykly zakrývány alobalem, tedy přibližně 24 hodin, stejně tak i po posledním napuštění.

Rozdíl mezi vlivy jednotlivých metod napouštění a následného typu péče o povrch vzorků není možné definovat z důvodu nehomogenity napouštěné horniny. Povrchy a vlastnosti jednotlivých vzorků se od sebe významně odlišovaly, proto není možné stanovit, který z popsanych způsobů ošetřování byl nejvhodnější z hlediska vizuálních kvalit povrchu tohoto kamene. Tento jev je zřejmý z obrázku č. 27, na kterém jsou vzorky ze série 5ti napouštění, které byly ošetřeny stejnou metodou.

4.4.6 Posouzení efektivity konsolidace metodou ultrazvukové transmise

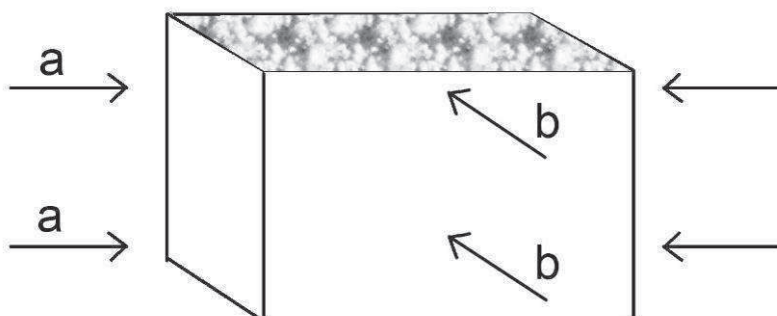
Cílem měření (*viz. obrazová příloha str. 149*) bylo vzájemné srovnání konsolidovaných a neošetřených vzorků i různých způsobů aplikace vybraného zpeňovacího prostředku, jako jedno z kritérií hodnocení efektivity konsolidace.

Metodika měření:

Měření bylo provedeno vždy v 4 různých měřících bodech (*viz obrázek 28*) na 8 sériích (vždy 4 série od četnosti napouštěcích cyklů a způsobu jejich ošetření, jak je posáno v kapitole 4.4.3. Seznam vzorků a metodika testování CaLoSiLu® E25), vždy stejným způsobem na nekonsolidovaných a konsolidovaných vzorcích (po 4 testovacích tělískách, ošetřených stejným způsobem – 2 vertikálně a 2 horizontálně), stejnou metodikou, jako je popsána v kapitole 2.4.4. Na obr 28. jsou schematicky vyznačeny měřící body na testovacích tělískách.

Metoda:

Viz kapitola 2.4.4. Zjištění stavu sochy metodou ultrazvukové transmise



Obrázek 28 Schématické vyznačení měřících bodů

Srovnání účinnosti konsolidace podle způsobu aplikace prostředku CaLoSil E25

Tabulka 13 Sumarizace výsledků měření, podle způsobu ošetření viz. tabulka 9

Číslo vzorku	Aplikace	Počet cyklů	Průměrná rychlost UZ před konsolidací (km/s)	Průměrná rychlost UZ po konsolidaci (km/s)	Změna (%)
VZ1 – VZ4	nasucho, nezakryto	2x	1,96	2,84	46
VZ5 – VZ8	předvlhčeno, nezakryto	2x	1,91	2,73	44
VZ9 – VZ12	nasucho, nezakryto, otupováno	2x	2,13	2,86	35
VZ13 – VZ16	předvlhčeno, nezakryto, otupováno	2x	2,05	2,91	43
VZ17 – VZ20	nasucho, zakryto	5x	2,02	3,28	63
VZ21 – VZ24	předvlhčeno, zakryto	5x	2,11	3,39	62
VZ25 – VZ28	nasucho, zakryto, otupováno	5x	2,03	3,41	69
VZ29 – VZ32	předvlhčeno, zakryto, otupováno	5x	2,11	3,46	65

Vyhodnocení:

U všech měřených vzorků byl zjištěný zcela zřetelný nárůst rychlosti UZ. Zvýšení rychlosti UZ koresponduje s počtem impregnačních cyklů a podle výsledků měření lze předpokládat, že způsob péče tj. modifikace nanášení předvlhčením konsolidovaného povrchu čistým rozpouštědlem, nebo jeho zakrytím fólií po ukončení impregnace nemá významný vliv na účinnost zpevnění.

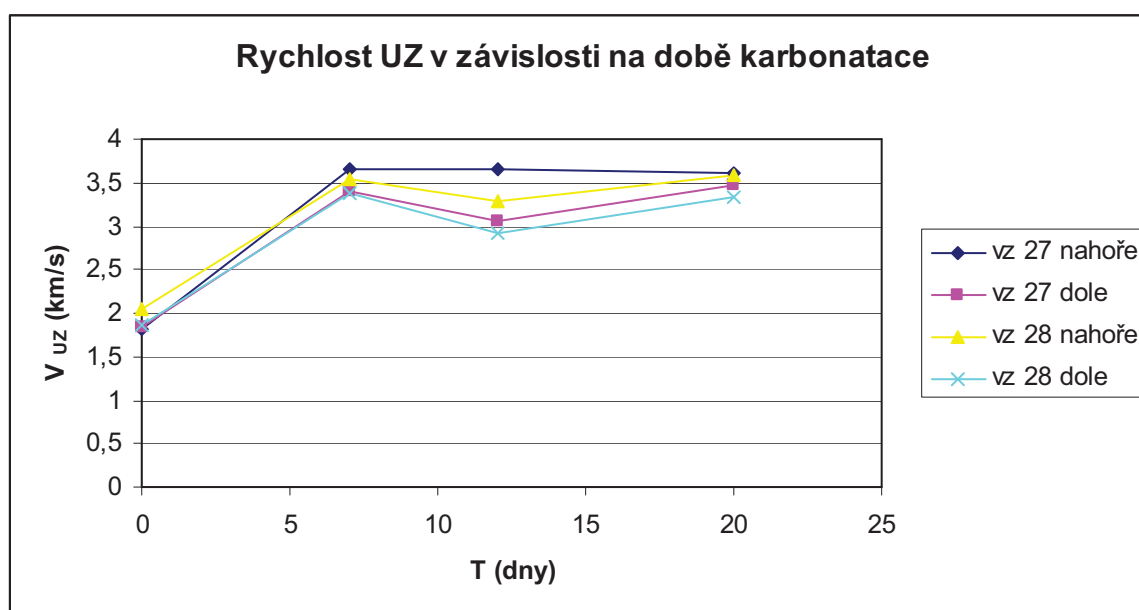
Rychlost UZ pro neošetřené vzorky se pohybovala v rozpětí 1,91 až 2,13 km/s, pro vzorky impregnované 2x v rozpětí 2,73 - 2,91 km/s a pro vzorky impregnované 5 x v rozpětí 3,28-3,46 km/s. To znamená průměrné přírůstky pro vzorky impregnované 2x mezi 35-46% a v případě vzorků impregnovaných 5x mezi 62-69 %. Lze proto zcela důvodně předpokládat, že konsolidace přináší patrné zvýšení pevnosti vápence a lze ji považovat za velmi účinnou. Na výslednou efektivitu konsolidace má jednoznačný vliv počet cyklů nanášení konsolidantu (tedy množství aplikovaného prostředku). Dodatečné modifikace aplikačních metod konečný výsledek z hlediska pevnosti zřejmě neovlivňují.

Měření průběhu karbonatace

Rychlost UZ signálu byla také sledována u všech vzorků i v závislosti na době karbonatace (doba od nanesení konsolidačního prostředku resp. ukončení impregnace a následného odparu rozpouštědla). Cílem bylo získat informace o průběhu procesu zpevňování po nanesení konsolidantu, které je závislé na rychlosti přeměny hydroxidu vápenatého na uhličitán vápenatý.

Kompletní výsledky jsou v příloze bakalářské práce číslo. 9.

Pro ilustraci je níže uveden typický graf závislosti rychlosti UZ signálu na době karbonatace pro vzorek 5 x ošetřený prostředkem CaLoSil E 25.



Graf 6 Závislost rychlosti UZ signálu na době od nanesení konsolidantu

Vyhodnocení:

Z měření závislosti změn rychlosti průchodu UZ signálu v čase prakticky u všech vzorků vyplývá, že nebyly zjištěny rozdíly v jednotlivých měřených místech ve vztahu k povrchům zkušebních tělísek. Rychlost UZ signálu se po 7-10 dnech významně nemění a lze předpokládat, že hlavní proces zpevnění je po této době prakticky ukončený. Zjištění platí pro použitý typ materiálu do hloubky přibližně 2 cm (což bylo dáno rozměry zkušebních tělísek cca 4 x 4 cm) ve výše uvedených laboratorních podmínkách (viz. kapitola 4.3.3. Seznam vzorků a metodika testování CaLoSiLu® E25)

4.4.7 Srovnání mechanických a fyzikálních vlastností materiálu laboratorních vzorků před a po konsolidaci

Podobně, jako v předchozí kapitole 4.4.6, tak i v tomto případě bylo cílem měření vzájemné srovnání konsolidovaných a neošetřených vzorků pro hodnocení efektivity konsolidace i případných změn dalších vlastností vápence v důsledku zpevnění.

Kapitola obsahuje ilustrativní výsledky měření pevností, výsledky měření nasákavosti, objemové hmotnosti a celkové otevřené porozity před a po ošetření referenčních vzorků.

Měření pevností:

Jedním z důležitých kritérií při posuzování efektivity a vhodnosti konsolidačních prostředků jsou měření pevností materiálu. Jak bylo již v textu zmíněno, na fakultě již v rámci projektu STONECORE proběhla jedna testovací fáze konsolidantů řady CaLoSiL®, jejímž cílem bylo vzájemně porovnat efektivitu konsolidantů v různých rozpouštědlových systémech a zúžit tak zorné pole dalšího testování. V rámci tohoto porovnávacího testování byly měřeny i pevnosti v tlaku a tahu za ohybu na tělískách z masivnějšího typu kamene, než v našem případě. Vzhledem k různým metodám, kterými jsme prokázali efektivitu konsolidace a k výsledkům měření prvního testování provedeného na fakultě, jsme pevnosti na našich vzorcích neměřili. Jako doklad o nezpochybnitelném nárůstu pevností vlivem konsolidace prostředky CaLoSiL® jsou zde ale uvedeny výsledky měření pevností provedených v rámci prvního, porovnávacího testování³⁹.

³⁹ První srovnávací testování prostředků CaLoSiL® v rámci projektu STONECORE na KCHT fakulty restaurování UPa provedli: ing. Karol Bayer, ing. Renata Tišlová, Jana Dunajská a Michal Vedral

V tabulkách jsou tučným písmem zvýrazněny výsledky měření vzorků ošetřených CaLoSiLem[®] E25, výsledky ošetření CaLoSiLem[®] IP25 (stejný konsolidant v odlišném disperzním prostředí) jsou uvedeny pouze pro porovnání. Použitý referenční materiál je rovněž kutnohorský vápenec, ale jedná se o masivnější typ. Výsledky tedy pouze ilustrují efektivitu konsolidantu.

Metodika měření:

Měření bylo provedeno na Ústavu aplikované a teoretické mechaniky akademie věd ČR standardními metodami pro měření pevnosti v tlaku a pevnosti tahu za ohybu (vždy na 3 testovacích tělískách), za využití elektromechanického zatěžovacího přístroje WOLPERT Testatron 100 kN.

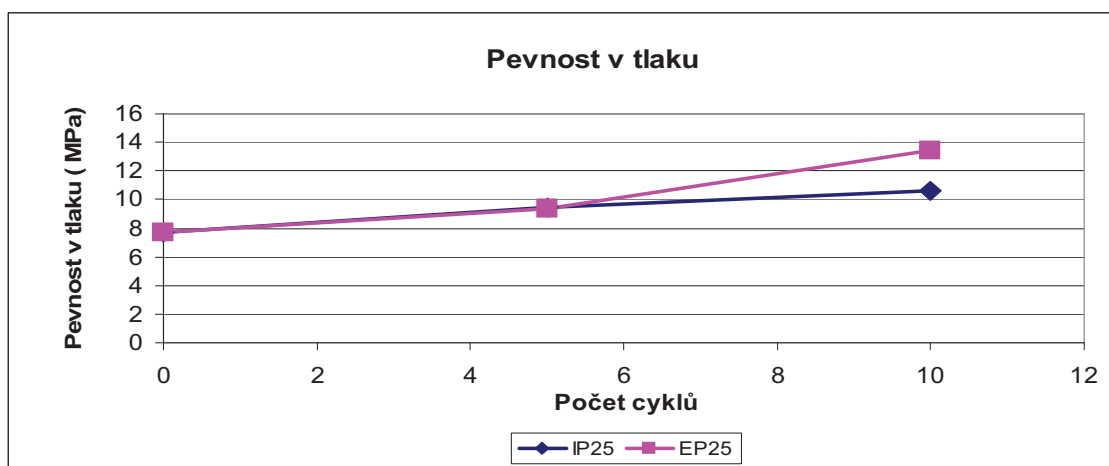
Výsledky měření:

Tabulka 14 Průměrné pevnosti v tlaku před a po konsolidaci (na sérii 3 testovacích tělísek)

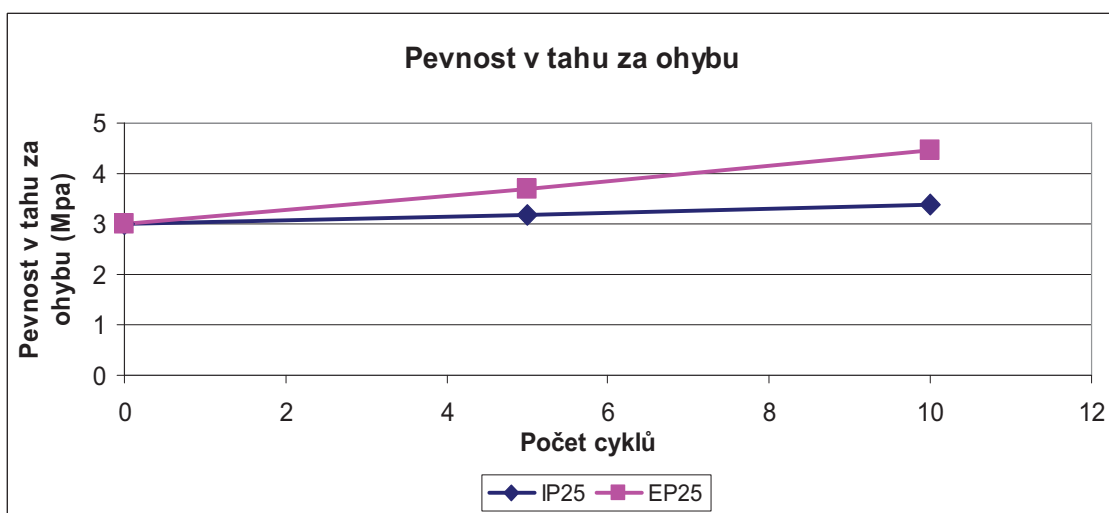
Konsolidant	CaLoSil IP25		CaLoSil E25	
	Pevnost v tlaku (MPa)	Nárůst (%)	Pevnost v tlaku (MPa)	Nárůst (%)
0	7,68	-	7,68	-
5	9,42	23	9,33	22
10	10,61	38	13,43	75

Tabulka 15 Průměrné pevnosti v tahu za ohybu před a po konsolidaci (na sérii 3 testovacích tělísek)

Konsolidant	CaLoSil IP25		CaLoSil E25	
	Pevnost v tahu za ohybu (MPa)	Nárůst (%)	Pevnost v tahu za ohybu (MPa)	Nárůst (%)
0	2,99	-	2,99	-
5	3,18	6	3,68	23
10	3,38	13	4,45	49



Graf 7 Srovnání pevnosti v tlaku na testovacích tělíscích



Graf 8 Srovnání pevnosti v tahu za ohybu na testovacích tělíscích

Vyhodnocení:

Nárůst pevnosti byl prokazatelně měřitelný v případě všech konsolidovaných vzorků, konsolidaci lze tedy z hlediska zlepšení mechanických vlastností považovat za účinnou.

Z měření provedených týmem prvního testování (Bayer, Tišlová, Dunajská, Vedral) mimo jiné vyplynulo, že podobně, jako v případě měření rychlosti UZ (které rovněž provedli) i měření pevnosti v tlaku i pevnosti v tahu za ohybu lze dosáhnout lepších výsledků prostředkem CaLoSil E25 - na základě těchto výsledků byl také tento produkt zvolen pro další testování.

Zvýšení pevnosti koreluje s počtem cyklů, tedy i s množstvím dodaného konsolidantu a dosahuje až 75 % ního nárůstu v pevnosti v tlaku (CaLoSil E25, 10x) a **49 % ního nárůstu v pevnosti v tahu za ohybu (CaLoSil E25, 5x)**. Vzhledem k vyšší „výchozí“

pevnosti neošetřené horniny lze předpokládat, že u silně degradovaného vápence, tedy vápence ze kterého je zhotovena socha anděla, bude velmi pravděpodobně nárůst pevnosti horniny výraznější.

Měření nasákavosti, objemová hmotnost a celková otevřená porozita:

Měření nasákavosti, celkové porosity a objemové hmotnosti byla provedena na námi testovaných vzorcích. Výsledné hodnoty jsou průměrným výsledkem měření provedeného vždy na třech zkušebních vzorcích stejného typu ošetření.

Metodika měření:

Měření bylo provedeno stejnou metodikou popsanou v kapitole 2.4.5.

Tabulka 16 Srovnání objemové hmotnosti, nasákavosti a celkové otevřené porozity neošetřených a konsolidovaných testovacích tělísek

Vzorek	Objemová hmotnost (kg/m ³)	Nasákavost vodou po 48 hod (% hm.)	Celková otevřená porozita (% obj.)
Neošetřený	2205	6,9	15,2
Konsolidovaný prostředkem CaLoSil [®] E25, 2x	2078	8,3	17,3
Konsolidovaný prostředkem CaLoSil [®] E25, 5x	2176	6,3	13,7

Vyhodnocení:

Celková otevřená porozita i nasákavost zůstává nadále vysoká, na podobné úrovni jako u neošetřené horniny, pouze u nasákavosti lze zaznamenat v případě 5 cyklů mírný pokles. To však vzhledem k připomínané, výrazně se projevující nehomogenitě materiálu nemusí být nutně připisováno vlivu konsolidantu.

Zachovaná porozita současně naznačuje, že i schopnost propouštět vodní páry je na podobné úrovni, jako u neošetřené horniny.

Tato měření a jejich výsledky byly významně ovlivněny nehomogenitou materiálu, které je pro horninu charakteristická, a je tedy nutné je považovat za orientační.

Měření odporu materiálu vůči vrtání – DRMS⁴⁰:

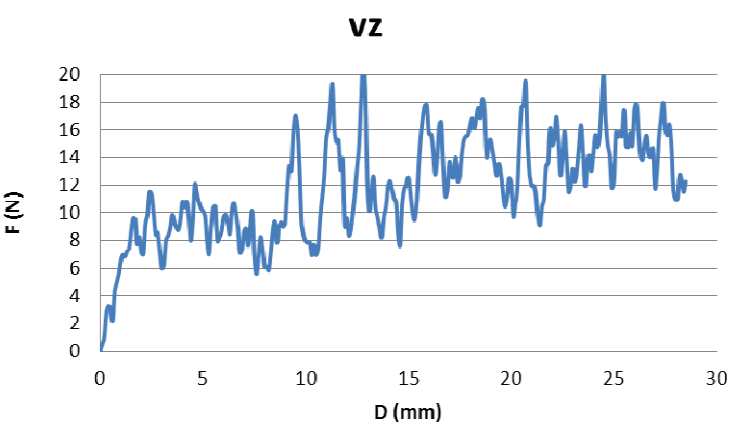
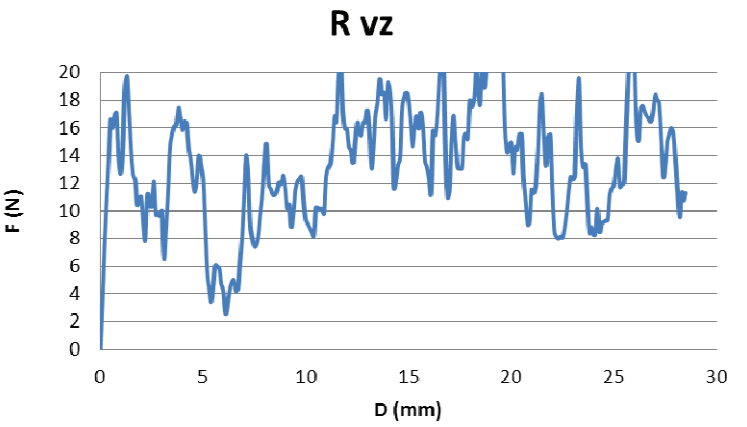
Metodika měření:

Měření bylo provedeno stejnou metodikou jako v kapitole 2.4.2. *Měření odporu vrtáním (DRMS) – zjištění soudržnosti povrchové vrstvy kamene.*

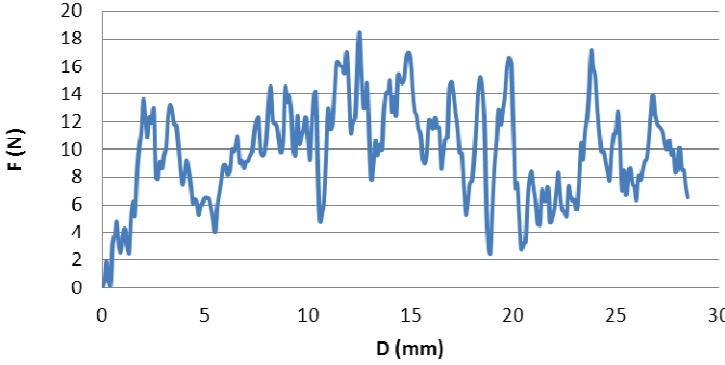
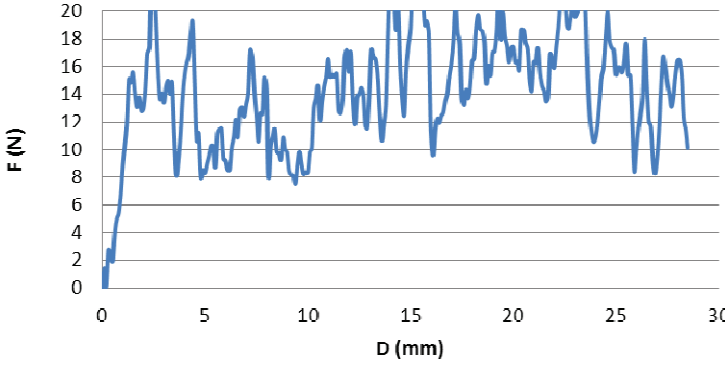
Výsledky měření:

Kompletní výsledky měření jsou uvedeny v první části přílohy číslo 8. Následující čtyři grafy znázorňují profily odporu vrtání u dvou neošetřených vzorků, u jednoho vzorku napuštěného ve dvou cyklech a u vzorku napuštěného v pěti cyklech.

Tabulka 17 Výsledky měření odporu vrtáním na referenčních vzorcích před a po konsolidaci

Označení a popis vrtu	Výsledek měření – profil odporu vůči vrtání
vz laboratorní vzorek méně porézního Kutnohorského vápence, neošetřený	
R vz laboratorní vzorek méně porézního Kutnohorského vápence, neošetřený	

⁴⁰ Drilling resistance measurement system

<p>vz 14 laboratorní vzorek méně porézního Kutnohorského vápence, 2x ošetřený Calosilem E 25</p>		<p style="text-align: center;">vz 14</p> 	
<p>vz 29 laboratorní vzorek méně porézního Kutnohorského vápence, 5x ošetřený Calosilem E 25</p>		<p style="text-align: center;">vz 29</p> 	

Vyhodnocení:

Z profilů odporu vrtání vyplývá, že v hornině není pozorovatelný žádný výrazný pevnostní gradient, který následně nevzniká ani vlivem konsolidace. Což lze považovat za jednu z obecně platných a i v tomto případě pozitivních vlastností zkoušeného konsolidantu. Na prvních dvou grafech v tabulce můžeme rovněž zaznamenat odlišnost profilů vrtů provedených na dvou neošetřených vzorcích, což dokládá a znovu potvrzuje již výše zmíněnou nehomogenitu materiálu. Třetí graf, profil pevnosti vrtu u vzorku napuštěného 2x neproказuje výraznou změnu, což může být také připisováno zmíněné nehomogenitě kamene. U posledního grafu, který dokumentuje zpevnění u vzorku 5x ošetřeného CaLoSiLem®.E25 můžeme prokazatelněji pozorovat navýšení síly odporu v celé hloubce vrtu bez tvorby gradientu.

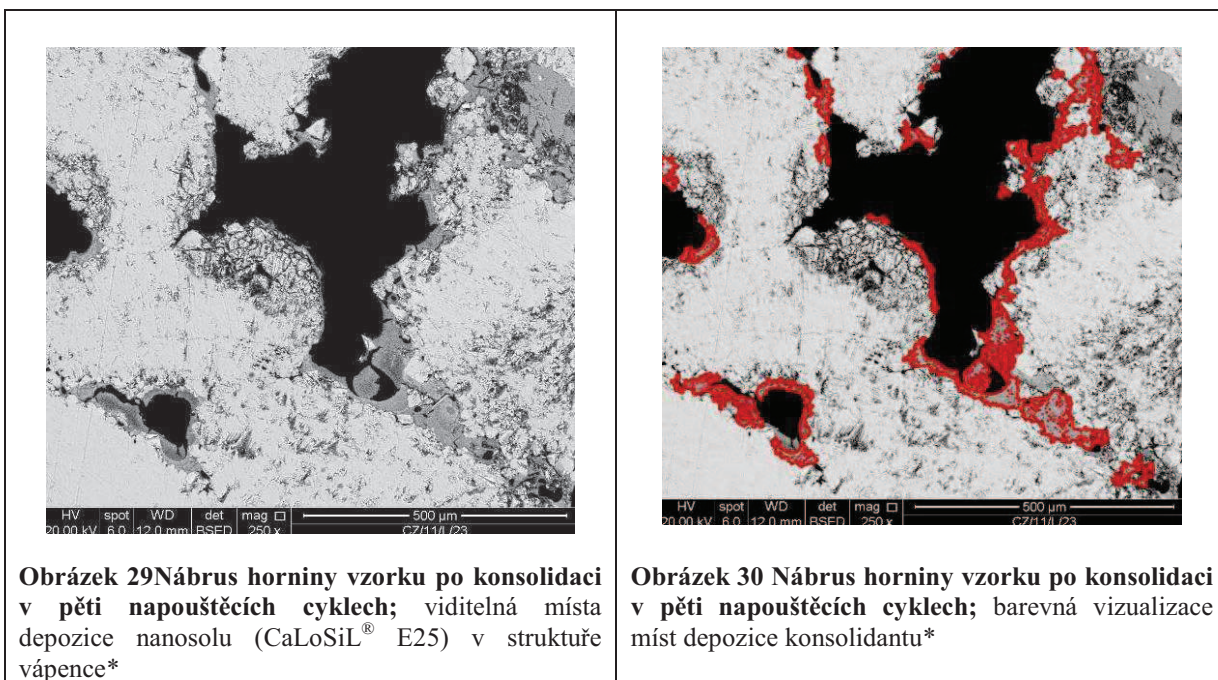
4.4.8 Studium mikrostruktury horniny po konsolidaci

Cílem bylo srovnání struktury konsolidované a nekonsolidované horniny, prozkoumání způsobu ukládání konsolidantu v porézním systému vápence a zjištění případné tvorby gradientů tj. hromadění konsolidantu v závislosti na vzdálenosti od ošetřovaného povrchu, příp. vznik gradientu podmíněný jinými faktory (např. zpětná migrace konsolidantu).

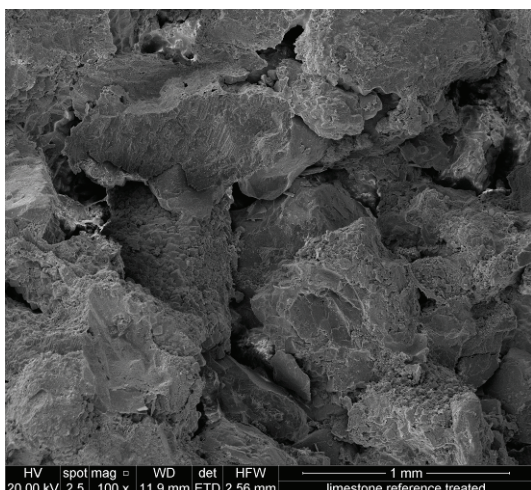
Rozsáhlá dokumentace těchto jevů je přílohou č. 12 této práce, jejíž podklady zpracovala Mgr. Elizabeth Ghaffari.

Metodika měření:

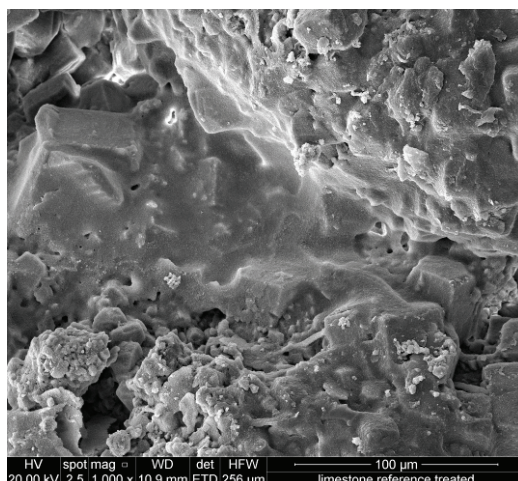
Metodika měření byla totožná s jejím popisem v kapitole 2.4.3 *Průzkum povrchových vrstev, tmelů a studium struktury horniny.*⁴¹



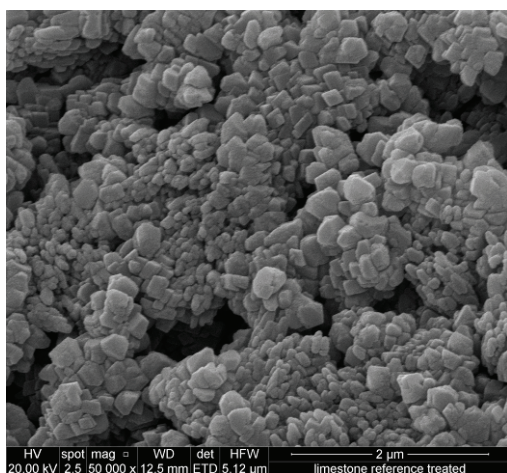
⁴¹Průzkum vzorků a jejich fotografie pořídili: Mgr. Elizabeth Ghaffari, Univerzita pro užité umění ve Vídni, a ing. Karol Bayer, Fakulta restaurování UPa Litomyšl (rastrovací elektronový mikroskop FEI Quanta 200 F)



Obrázek 31 Lomová plocha horniny vzorku po konsolidaci v pěti napouštěcích cyklech; ve srovnání s původní strukturou bez pozorovatelných změn, otevřená, hrubopórná struktura**



Obrázek 32 Lomová plocha horniny vzorku po konsolidaci v pěti napouštěcích cyklech; ukládání konsolidantu mezi zrna vápence (v místech kontaktu)**



Obrázek 33 Lomová plocha horniny vzorku po konsolidaci v pěti napouštěcích cyklech; struktura karbonatovaného konsolidantu – karbonatovaného nanosolu hydroxidu vápenatého - po přeměně na uhličitán vápenatý s viditelnými krystalky kalcitu**

* Mgr. Elizabeth Ghaffari, Univerzita pro užité umění ve Vídni, rastrovací elektronový mikroskop FEI Quanta 200 F

* *Ing. Karol Bayer, Fakulta restaurování UPa v Litomyšli, rastrovací elektronový mikroskop FEI Quanta 200 F

Vyhodnocení:

Mikrostruktura byla zkoumána na nábrusech i přímo na úlomcích konsolidovaného vápence. Podle studia nábrusů lze předpokládat, že se v konsolidované hornině nevytváří výraznější gradient z hlediska distribuce konsolidantu – částic hydroxidu vápenatého, které se karbonatací mění na uhličitan vápenatý. Větší póry zůstávají i po konsolidaci otevřené, prakticky bez významnějších změn, celková porosita se v důsledku konsolidace významně nemění. Konsolidant se ukládá ve struktuře horniny zejména v místech kontaktu jednotlivých zrn vápence, což zřejmě vyvolává zvýšení pevnosti zpevněného vápence (měřitelný konsolidační efekt), nebo i na stěnách větších pórů, kde zvýšení pevnosti očekávat nelze.

Samotný konsolidant se podle předpokladu mění na uhličitan vápenatý (tj. proces karbonatace) a postupně se vytváří mikrokrystalická struktura (pravděpodobně kalciové krystaly průměrné velikosti 0,1 – 0,3 μm). Samotný konsolidant není úplně kompaktní, ale mikroporézní (velikost pórů v průměru 0,5-2 μm).

4.5 Zkoušky omezení negativních jevů při strukturální konsolidaci produkty CaLoSiL®

Jedním z hlavních cílů provedeného testování bylo ověřit účinnost konsolidantu na bázi nanosuspenze hydroxidu vápenatého s názvem CaLoSiL® E25 a posoudit jeho vliv na mechanické a fyzikální vlastnosti zpevňovaného kamene s cílem využití na vybraném referenčním objektu, tedy soše anděla z mušlového vápence.

Testováním byl ověřen vliv množství aplikované látky na materiál, byl shromážděn dostatek informací o vlivech způsobu jeho aplikace a následné péče a další výše uvedené informace.

Všechny výsledky testování byly z hlediska negativních vlivů na konsolidovaný materiál uspokojivé, až na tvorbu bílého povlaku na povrchu kamene. Vzhledem k ambici použít tento konsolidant na dílo umělecké podstaty, v tomto případě navíc státem chráněnou kulturní památku, se jedná o velmi zásadní překážku. Socha je také součástí souboru výzdoby ohradní zdi, jejíž části byly v nedávné době restaurovány za pomoci jiných technologií a její vzhled po restaurování musí korespondovat s ostatními prvky výzdoby. Proto byly provedeny zkoušky možností odstranění zákalů z povrchu materiálu.


Provedené zkoušky:

Na referenční ploše kutnohorského vápence stejného typu, který byl použit na zhotovení vzorků, byl záměrně vytvořen aplikací konsolidantu zákal. Pro zefektivnění tvorby povlaku nebyl povrch nijak ošetřován před ani po aplikaci, byl pouze mechanicky očištěn (stejně jako materiál vzorků) a byl napuštěn konsolidantem s dvojnásobným obsahem $\text{Ca}(\text{OH})_2$ CaLoSiLem[®] E50 (50 g/l).

Vyhodnocení zkoušek:

Tabulka 18 Zkoušky odstraňování bílého zákalu z Kutnohorského mušlového vápence

zkouška číslo	metoda odstranění zákalu
ZK1	abrazivní metoda mikropískování (4Ba, množství abraziva – volba na přístroji - abr. 4- nejvyšší možné množství)
ZK2	abrazivní metoda mikropískování (4Ba, množství abraziva - volba na přístroji - abr. 2)
ZK3	abrazivní metoda mikropískování (2Ba, množství abraziva - volba na přístroji - abr. 1)
ZK4	abrazivní metoda mikropískování (1Ba, množství abraziva - volba na přístroji - abr. 1- nejnižší možné množství)
ZK5	mechanicky, vodou s měkkým kartáčem
ZK6	regulovatelná tlaková vodní pára
ZK7	10% kyselina citrónová / 30 minut
ZK8	10% kyselina citrónová / 15 minut



Výsledky a shrnutí:

Jak je patrné z obrázku v tabulce číslo 12, všechny odzkoušené metody byly úspěšné. Zkoušky odstraňování zákalu chemickou cestou, tedy zábaly kyseliny citrónové (ZK 7 a 8), se sice osvědčily (u zkoušek nebylo možné vzhledem k rozpítí roztoku účinné látky ze zábalu udržet přesné okraje, proto vypadají na obrázku méně efektivně), ale jejich použití bylo vzhledem k výsledku ostatních metod a vzhledem k rizikům, které by mohly při použití na zásaditém podkladu hrozit, pro další použití vyloučeny.

Mokré metody čištění, tedy zkoušky 5 a 6, byly vzhledem k nutnému očištění povrchu sochy od dalších nečistot (nejenom odstranění zákalu) vyhodnoceny jako dostačující pro očištění většiny z reziduí konsolidace.

V případě, že by kombinací těchto metod nebylo možné bezpečně dosáhnout dostatečně uspokojivého výsledku čištění a očištění zákalu bude následně využita suchá, abrazivní metoda pro lokální dočištění povrchu.

Z abrazivních zkoušek se jako dostačující projevila zkouška 4 s nejnižším tlakem a nejnižším množstvím abraziva, které je možné na regulovatelném přístroji Sandmaster FG1 – 93 Restauro nastavit. V některých případech by mohla být tato metoda označena jako jedna z nejšetrnějších, protože při jejím využití je minimalizován mechanicky vyvíjený tlak na obnažené částice kamene z boku a nedochází tak k jejich dalšímu uvolňování.

Pro potřeby čištění sochy anděla budou tedy podle potřeby a charakteru čištěného místa kombinovány vybrané metody, které byly odzkoušeny jako ZK4, ZK5 a ZK6.

4.6 Sumarizace výsledků testování konsolidační řady CaLoSiL® pro potřeby restaurování

Testování strukturální konsolidace bylo zaměřeno na jedné straně na zjištění účinnosti konsolidace a na druhé straně na zjištění případných negativních důsledků zpevnění. Metodika a volba konkrétního konsolidačního prostředku vycházela z předběžných zkoušek a předchozích zkušeností s daným typem konsolidantu.

Sledována byla tato hodnotící kritéria: hloubka penetrace konsolidantu, jeho účinnost a vliv na základní, mechanické a fyzikální vlastnosti (nasákavost, porozita, pevnost, vizuální kvality povrchů aj.). Nedílnou součástí bylo také posouzení důležitých technologických aspektů aplikace konsolidantu, zejména vliv různých aplikačních metod na jednotlivé výsledné vlastnosti. Dále byla sledována i doba jeho zrání tj. konverze jeho účinné látky na výsledné pojivo (CaCO_3).

Vybraný konsolidant CaLoSil E25 má velmi dobrou schopnost penetrace do testovaného vápence a to minimálně do hloubky až 3,5 cm, což byla maximální přibližná hloubka zkušebních tělísek. Hloubka penetrace byla prokázána rozličnými metodami - vybarvením pomocí roztoku fenolftaleinu, ultrazvukovou transmisí, měřením odporu vrtání, sledováním struktury elektronovou mikroskopií.

Z pozorování vlivů různých modifikací metodiky napouštění kapáním (na základě předběžných zkoušek byla vyřazena aplikace štětcem z důvodu neuspokojivých výsledků) a zejména délky jeho trvání v jednom napouštěcím cyklu vyplynulo, že délka doby, v níž je aplikováno stejné stanovené množství přípravku, má prokazatelný vliv na hloubku jeho průniku do materiálu (čím je delší, tím je hloubka penetrace vyšší). Další modifikace způsobu aplikace (předvlhčení, zakrytí povrchu po aplikaci, otupování vatou napuštěnou v ethanolu) které byly testovány ve snaze potlačit vznik bílých zákalů, nevedly k výrazné změně. Patrná redukce tvorby bílého zákalu byla zjištěna při zakrývání povrchu aluminiovou fólií.

Dalším podrobně sledovaným procesem po aplikaci konsolidantu byl průběh konverze účinné látky sólu - hydroxidu vápenatého na výsledný produkt - uhličitán vápenatý. V první fázi byl tento proces sledován gravimetricky, aby mohl být monitorován jeho průběh od dokončení napouštění, odparu rozpouštědla a samotnou karbonataci v závislosti na čase. Současně byly v průběhu zrání sledovány změny rychlosti ultrazvuku, díky kterým je také možné sledovat stádia přeměny účinné látky konsolidantu, v našem případě ve dvou výškových úrovních, ve vztahu k aplikačnímu povrchu. Z těchto měření vyplývá, že délka karbonatace, tedy doba od dokončení napouštění a odparu rozpouštědla až po samotnou konverzi Ca(OH)_2 na CaCO_3 trvá v hloubkách do 2 cm (vychází z velikosti vzorků - 3,6 x 4,6 x 3,8 cm) 7 – 10 dní. Co se týče efektivity konsolidace, která byla prokázána popsáním gravimetrickým sledování, měřením ultrazvukové transmise, měřením odporu vrtáním a měřením pevnosti, můžeme říci, že se podle očekávání projevilo zpevnění v závislosti na počtu aplikačních cyklů, tedy na celkovém množství aplikovaného konsolidantu. Míra zpevnění byla u všech napouštěných vzorků zaznamatelná všemi metodami a vzhledem ke změně jednotlivých vlastností, které o ní vypovídají, byla uspokojivá, přičemž v jejím důsledku nedošlo k zásadním negativním změnám původních vlastností ošetřeného materiálu ani k tvorbě pevnostních gradientů. Jedinou negativní změnou je vznik zákalu na ošetřovaném povrchu, který se ale ukázal jako snadno odstranitelný běžně využívanými metodami čištění, které jsou ve většině případech standardní součástí restaurátorského zásahu.

Na základě výsledků testování může být prostředek otestován i na referenčních plochách vybraného reálného objektu, tedy na soše anděla z Kutné Hory. Výsledky tohoto testování se stanou jedním ze zásadních kritérií při stanovování konzervačního a restaurátorského zásahu na zmíněném objektu.

5 Restaurování

5.1 Koncepce restaurování

Stanovení koncepce restaurování bylo podřízeno několika základním cílům a požadavkům, vyplývajících jednak ze současných přístupů k restaurování, s ohledem na hmotnou podstatu památky samotné, jakožto nedílné součásti souboru výzdoby ohradní zdi městského domu, kam má být po restaurování navracena, ale také jako vhodného referenčního objektu, který by díky svému materiálovému složení mohl napomoci k exemplifikaci a rozšíření nové, požadavek materiálové kompatibility splňující, možnosti strukturální konsolidace podobných typů karbonátových hornin.

Koncepce zásahu byla stanovena na základě podrobného a systematického vizuálního a přírodovědného průzkumu, který byl od počátku veden, mimo jiné, s důrazem na možnost strukturální konsolidace materiálu nanosuspencemi hydroxidu vápenatého. Vzhledem k výsledkům průzkumu, které jsou podrobně popsány v kapitole 2 *Nálezová, průzkumová zpráva* a v přílohách, na které jednotlivé podkapitoly odkazují, a k výstupům systematického testování konsolidantu CaLoSiL® E25, kterým se zabývá kapitola 4 *Testování konsolidantu nanosuspencí na bázi hydroxidu vápenatého pro potřeby konzervace restaurovaného objektu – experimentální část* a jejích přílohách, byla stanovena následující koncepce.

Socha byla sejmuta z ohradní zdi a transferována do ateliéru restaurování kamene a souvisejících materiálů fakulty restaurování v Litomyšli. Při snímání sochy z podstavce, na kterém byla osazena na kovaný čep, došlo vlivem vysokého stupně koroze k poškození podstavy objektu. Po převozu do ateliéru nebylo tedy možné sochu postavit.

Socha bude nejprve mechanicky očištěna měkkými štětci od prachu a usazených nečistot z okolních stromů. Dále budou mechanicky, pomocí skalpelu, pneumatického a ultrazvukového mikrodlátka, sochařského dláta a kladívka odstraněny uvolněné a nevhodné části, jako jsou nevhodné tmely a krusty, které jsou puchýřovitě oddělené od materiálu a deformují dochované tvarosloví.

Před dalšími kroky čištění bude provedena strukturální konsolidace CaLoSiLem[®] E25, následně budou okraje defektů, praskliny, dutiny a silně degradovaná místa injektovány CaLoSiLem[®] E50 a CaLoSiLem[®] Pasty. Okraje a místa, kde by v průběhu dalších prací hrozila ztráta hmoty, budou obtmelena zajišťujícím tmelem, který bude vybrán na základě zkoušek.

Po uplynutí doby technologické pauzy (karbonatace konsolidantu) bude přistoupeno k dolepení části podstavy a jejímu doplnění v minerálním tmelu, aby mohla být socha vztyčena do původní polohy. Následně bude provedeno očištění objektu.

Tato fáze bude zahrnovat nejprve mokré a následně suché metody čištění. Přibližně týden před mokrým čištěním bude povrch sochy ošetřen biocidním prostředkem, aby došlo k zahubení biologického napadení a jeho následnému odstranění v průběhu čištění. Po vyschnutí kamene budou lokálně dočištěna problematická místa a případná rezidua konsolidace, budou ztenčeny krusty a minimalizovány případné barevné kontrasty. Míra čištění bude podřízena jednotnosti objektu s ostatními prvky výzdoby ohradní zdi a bude provedena tak, aby byly potlačeny prvky, zejména tmavé kontrasty, které narušují integritu díla a deformují modelaci povrchu sochy.

Po očištění bude následovat částečná plastická retuš, jejíž míra bude spíše konzervačního charakteru. Tmel bude vybrán na základě zkoušek tak, aby svým složením, barvou a strukturou odpovídal okolnímu kameni. Budou obtmelena místa, která by mohla být v budoucnu ohrožena povětrnostními vlivy a částečně budou doplněny některé chybějící tvary, které narušují skulptivní podstatu objektu a jejichž původní vzhled je zřejmý z jejich okolí.

V poslední fázi prací bude provedena lokální barevná retuš, jejímž cílem bude barevné zapojení plastických retuší a případné zmírnění barevných kontrastů, které nebylo možné odstranit v průběhu čištění.

Zrestaurovaná socha bude navrácena zpátky na původní místo, tedy na ohradní zeď domu čp. 48 v Kutné Hoře, kam bude osazena na čep z nerezavějící oceli. Přibližně po roce bude socha opatřena hydrofobizačním nátěrem na nejvíce exponovaných a srážkovou vodou namáhaných plochách.

5.2 Průběh prací

5.2.1 Čištění pro potřeby úspěšné konsolidace

Socha anděla byla ometena od prachu a jiných depozitů měkkými štětci. Částečně byly odstraněny odumřelé stonky popínavých rostlin. Úponky některých však byly pevněji vrostlé do struktury kamene a při jejich odstraňování by hrozilo narušení povrchu objektu, proto bylo jejich odstranění v takových případech odloženo.

V další fázi čištění povrchu sochy anděla, před strukturální konsolidací, bylo přistoupeno ke zmapování a zhodnocení stavu silných sádrovcových krust a starších vysprávek, které byly často pod nimi skryty. Na některých místech nebylo možné pouhým okem rozpoznat, jestli jsou krusty utvořené na tmelech, nebo přímo na kameni, proto byly provedeny sondy a tím došlo i k odzkoušení metod čištění.

Sondáž krust a tmelů a zkoušky jejich redukce či odstranění:

Byly provedeny zkoušky čištění tj. ztenčení, nebo úplného odstranění krust v závislosti na jejich charakteru. Zkoušky byly provedeny mikroabrazivní metodou tzv. mikropískováním a ultrazvukovým dlátkem. V rámci zkoušek čištění bylo provedeno okolo dvou desítek sond o přibližné velikosti 2 x 2 cm (*viz. obrazová příloha str. 118*), díky kterým byla zmapována síla a vlastnosti krust, dále materiál na kterém se vytvořily a kondice materiálu pod nimi. Na základě těchto sondážních zkoušek byly také vybrány vhodné metody k redukci, nebo odstranění jednotlivých typů krust, které byly na objektu zastoupeny v široké škále co se týče jejich vlastností (síle, adhezi atd.) a došlo k rozpoznání a lokalizaci tmelů, které byly skryty pod krustami.

Na následující stránce jsou zobrazeny vybrané sondy, které reprezentují charaktery vyskytujících se povrchových krust na předtím přesně neidentifikovatelných površích sochy.

Fotografie dokumentující provedenou sondáž:



Na kameni se vyskytovalo několik typů krust, jejichž charakter lze shrnout v následujících bodech:

- Tenké krusty pokrývající větší plochy s dobrou adhezí ke kameni
- Tenké krusty pokrývající větší plochy s dobrou adhezí k povrchové vrstvě kamene, která se ale spolu s nimi odtrhává (puchýře)
- Silné krusty pokrývající větší plochy s dobrou adhezí k hornině, kámen pod nimi pískovatí

- Silné krusty pokrývající větší plochy odtržené s vrstvou horniny od povrchu, vznik dutin, deformace tvarů, pískovatění kamene pod nimi
- Silné krusty pokrývající větší plochy, vytvářející reliéf (tvoří zvlněný povrch), kámen pod nimi je relativně pevný

Shrnutí sondážního průzkumu sekundárních vrstev a další postup práce:

Analýzy a vizuální zhodnocení tmelů a povrchových vrstev kamene pokrytých krustami (viz. kapitola 2.4.3. *Průzkum povrchových vrstev tmelů a studium struktury horniny*) prokázaly, že tmely jsou pro objekt nevhodné svým složením i mechanickými a fyzikálními vlastnostmi a že silné sádrovcové krusty se od povrchu horniny odtrhávají a kumulace sádrovce pod nimi zapříčiňuje další degradaci horniny. Bylo tedy rozhodnuto o jejich odstranění (viz. obrazová příloha str. 118 - 120).

V případě tenkých krust s dobrou adhezí ke kameni a jeho dobrém stavu pod nimi byly krusty ztenčeny mikroabrazivní metodou (Sandmaster FG1 – 93 Restauro). Pro odstraňování silných krust a tmelů bylo využito ultrazvukové mikrodlátka (typ art piezo firmy C.T.S.), pneumatické mikrodlátka (microscalpello mod. CTS 178 firmy C.T.S.), skalpel a výjimečně sochařské dlátko a kladívko. Vyjmenované metody byly kombinovány podle potřeby tak, aby byly minimalizovány ztráty materiálu v průběhu odstraňování krust a tmelů.

5.2.2 Konsolidace a injektáž sóly na bázi hydroxidu vápenatého (CaLoSiL® E25, CaLoSiL® E50, CaLoSiL® Pasty) a její zhodnocení měřením ultrazvukovou transmisí a měřením odporu vrtání

Po očištění bylo přistoupeno ke strukturální konsolidaci nejvíce narušených míst sochy CaLoSiLem®. Na základě výsledků testování strukturální konsolidace, které jsou podrobně popsány v kapitole 4. *Testování konsolidantu nanosuspenzí na bázi hydroxidu vápenatého pro potřeby konzervace restaurovaného objektu – experimentální část*, byla zvolena aplikace konsolidantu kapáním neboli poléváním konsolidovaného povrchu konsolidantem (viz. obrazová příloha str.121).

V první fázi konsolidace byla napouštěna plocha podstavy a její část, která měla být dolepena nazpět, a plochy, ze kterých byly sejmuty tmely a krusty. Na těchto místech byla koroze horniny způsobena sníženou kohezí jednotlivých zrn vlivem pnutí mezi horninou a

sekundárními vrstvami, ztrátami dotykového tmelu a jeho sulfatizací, jak vyplývá z kapitoly 2.4.3. *Průzkum povrchových vrstev tmelů a studium struktury horniny.*

V další fázi napouštění kamene konsolidantem byla ošetřena místa, kde se kámen na dotyk drotil a v rámci posledního napouštěcího cyklu byla provedena injekce způsobem „mokrý do mokrého“.

Injektovány byly okraje krust, které byly nositelem tvaru a neodtrhávaly se od kamene, dále praskliny a velmi narušená místa, která měla být v další části práce překryta tmelem.

Konzervační práce byly provedeny v laboratorních podmínkách s průměrnou teplotou 17,9 °C (v rozmezí od 16,3 °C do 23,5 °C) a průměrnou relativní vzdušnou vlhkostí 55,3 % (v rozmezí 38,8 – 61,9 %).

První fáze konsolidace – ošetření vybraných definovaných ploch, sledování spotřeby konsolidantu

První fáze konsolidace byla provedena na plochách, které byly obnaženy od sekundárních vrstev (tmelů a krust), na podstavě sochy a její části – odlomeném levém zadním rohu, které byly narušeny do takové míry, že ohrožovaly statiku objektu. Tyto narušené plochy byly pro první fázi konsolidace vybrány záměrně i proto, aby byl konsolidant, tedy CaLoSiL[®] E25, i přes systematické testování a jeho kladné výsledky, odzkoušen na plochách (*viz. obrazová příloha str. 121*), kde by případné vizuální negativní vlivy nebyly tak problematické, jako na ostatním dochovaném povrchu sochy (tj. nebyla plánována jejich prezentace v jejich současné podobě - měly být překryty tmelem/počítalo se u nich s barevnou retuší/nebyly pohledovou plochou, v případě podstavy).

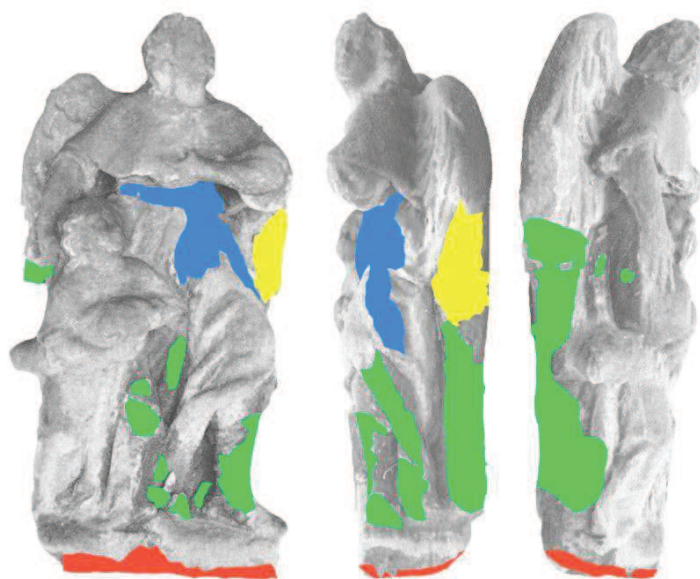
U části konsolidovaných míst, konkrétně u tří, byly před konsolidací orientačně změřeny jejich plochy (pomocí milimetrového papíru), aby mohla být sledována spotřeba konsolidantu. Plochy, které jsou podrobně popsány spolu se spotřebou na m² a konkrétním množstvím aplikovaného konsolidantu v následující tabulce (Tab. 19) a znázorněny na grafickém záznamu (Obr. 37 a 38), byly napouštěny ve dvou napouštěcích cyklech.

Plochy byly vždy po napuštění zakryty aluminiovou folií a celý objekt byl zabalen do igelitové fólie, aby se zpomalil odpar rozpouštědla a minimalizovala se tak zpětná migrace nanočástic hydroxidu vápenatého směrem k povrchu. Konsolidovaná místa byla po napuštění takto ponechána přibližně 24 hodin (*viz. obrazová příloha str.121*), pak byla na přibližně 24 hodin odkryta, aby se mohl odpařit zbytek rozpouštědla, a navazoval další napouštěcí cyklus. Pouze u odlomeného rohu podstavy bylo napouštění opakováno po 24

hodinách, protože za tuto dobu už bylo rozpouštědlo z velké části odpařeno (doba odparu rozpouštědla je závislá na rozměrech napouštěného objektu). Míra odparu rozpouštědla byla hodnocena subjektivně přičichnutím a vizuálně nebo dotekem podle zavlhčení kamene. Časové rozpětí jednoho napouštěcího cyklu, tedy doby od začátku aplikace stanoveného množství konsolidantu po jeho dokončení s pauzami pro absorpci konsolidantu materiálem, se pohybovalo v rozmezí 2 – 3 hodin. Odlomený kus postavy byl v rámci posledního, čtvrtého napouštěcího cyklu vyinjektován CaLoSiLem® Pasty, aby byl připraven na osazení k podstavě, ta mohla být doplněna a socha mohla být postavena do původní polohy.

Tabulka 19 První konsolidační fáze, měření spotřeby konsolidantu na definovaných plochách

označení napouštěné plochy	lokalizace ploch	počet cyklů	CaLoSiL® E25 V/objem v ml	spotřeba na 1m ² v litrech/l
žlutá plocha	levé křídlo	2	800	18
modrá plocha	břícho a levý bok anděla	2	1400	18
červená plocha	podstava	2	2600	13,5
zelené plochy	ostatní místa po odstranění tmelů a krust	2	3050	neměřeno
odlomený roh podstavy	levý zadní roh podstavy	4	1100	neměřeno
Celková spotřeba konsolidantu v litrech			8,95 l	



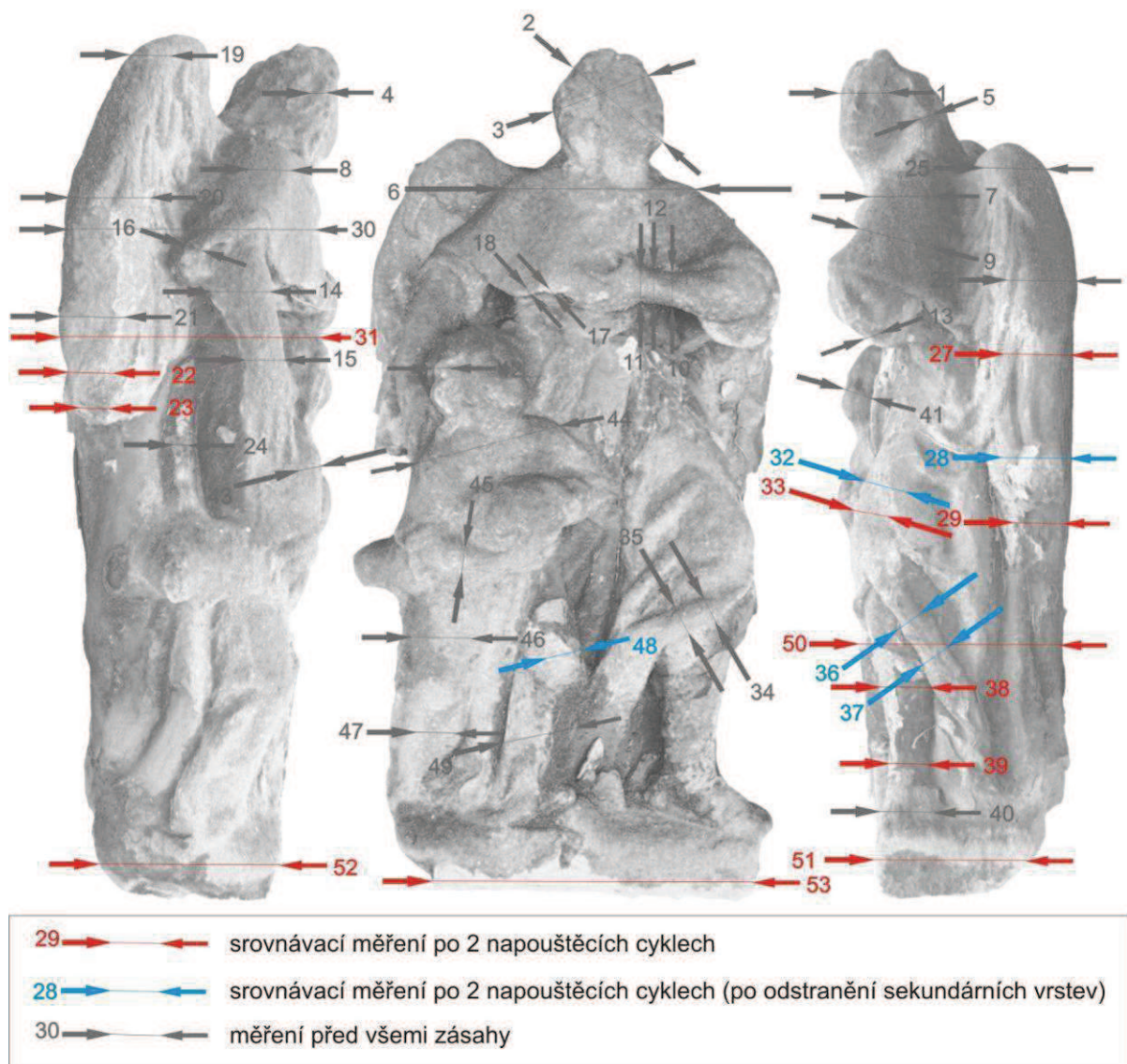
Obrázek 37 Grafické znázornění napouštěných ploch v první fázi konsolidace CaLoSiLem® E25



Obrázek 38 Fotografie levého zadního rohu podstavy, který byl také napouštěn v první konzervační fázi

Ověření efektivity první konsolidační fáze pomocí ultrazvukové transmise

Po sedmi dnech od napuštění bylo na vybraných místech sochy provedeno srovnávací měření ultrazvukovou transmisí. Měření bylo provedeno celkem v 17 měřících bodech, shodných s místy měření před konsolidací (čísla měření UZ jsou shodná s čísly měření před konsolidací viz. kapitola 2.4:4: Zjištění stavu sochy metodou ultrazvukové transmise). U pěti z nich však došlo v průběhu čištění k odstranění sekundárních vrstev, přes které bylo první měření provedeno, proto mohou být tyto výsledky měření zkreslené a v následující tabulce budou uvedeny pouze pro představu, budou odlišeny modrou barvou, stejně jako v zákresu měřících bodů na Obr. 39.



Obrázek 39 Zákres měřících bodů ultrazvukové transmise se zvýrazněním měření po dvou konsolidačních cyklech

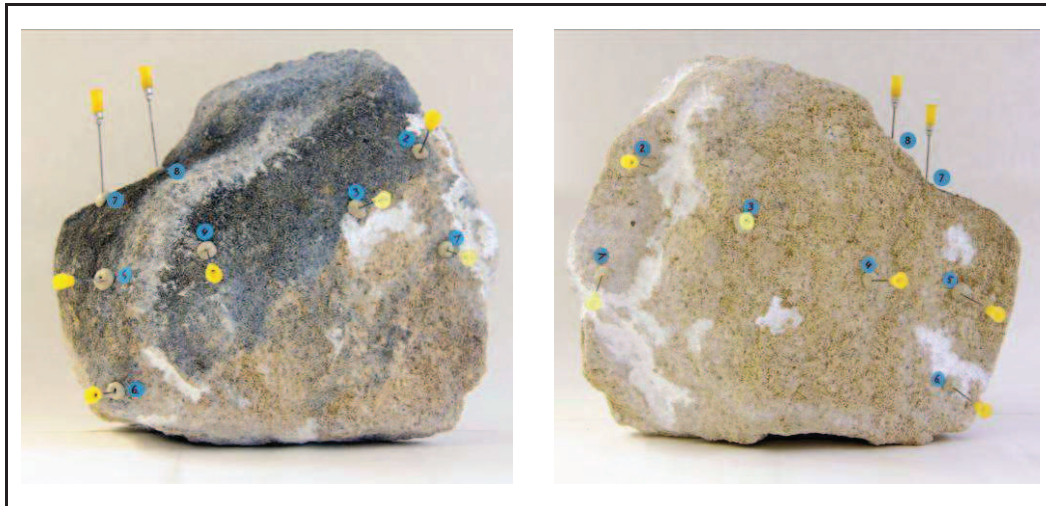
Tabulka 20 Měření rychlosti průchodu signálu ultrazvukovou transmisí na soše anděla po první etapě konsolidace, srovnání výsledků s měřením před konsolidací

č.m.	Místo měření	Měření před všemi zásahy			Měření po dvou napouštěcích cyklech	
		směr	d (cm)	v (km/s)	d (cm)	v (km/s)
22	křídlo pravé dole-korodovaná	pz	13	1,5	13	1,91
23	křídlo pravé dole-korodovaná (vedle 22)	pz	10,3	1,58	10,3	2,22
27	křídlo levé na úrovni levého loktu	pz	12	1,96	12	1,94
28	křídlo levé spodek - přes tmel	pz	9,1	0,93	9	2,28
29	křídlo levé spodek - mimo tmel	pz	7,5	1,11	7,5	1,91
31	břicho - záda	pz	38,2	1,41	38,2	1,7
32	levé stehno - přes tmel	lp	12,8	1,17	11,5	1,94
33	levé koleno	lp	10,8	2,48	10	1,89
36	drapérie vedle levého lýtka přes tmel	pz	4,1	1,44	3	2,1
37	drapérie vedle levého lýtka přes tmel	pz	4,4	2,67	2,5	2,6
38	levé lýtko	lp	9,1	0,96	8	2,17
39	levý kotník	pz	7	0,77	5,5	1,83
48	dítě - levé koleno, přes krustu/tmel?	lp	10,3	1,15	9	1,91
50	dítě - lýtko-zadní strana	pz	33,5	1,14	37,5	1,59
51	plinta-pod levou nohou	pz	29,9	0,91	29,9	2,04
52	plinta - pod pravou nohou	pz	30,5	1,05	26,5	1,69
53	plinta-z předu	lp	54	1,29	54	2,39
Průměrná naměřená rychlost průchodu UZ signálu u všech měřených míst (včetně modře vyznačených)				1,38		2,01
Průměr porovnatelných míst měření (bez modře vyznačených)				1,35		1,94
Průměrný nárůst rychlosti signálu u porovnatelných míst						44%

Srovnávací měření bylo rovněž provedeno na odlomeném kusu podstavy, který byl napouštěn ve čtyřech napouštěcích cyklech a v rámci posledního byly injektovány praskliny a trhliny CaLoSiLem[®] Pasty, které se vytvořily zejména na lomové ploše fragmentu.

Měření průchodu uz signálu před zpevňováním levého zadního rohu podstavy nebylo možné provést resp. uz signál nebyl spolehlivě měřitelný, protože ve hmotě se nacházely praskliny a kámen byl velmi narušen. Pro získání představy o rychlosti průchodu signálu tímto materiálem byla ultrazvuková transmise naměřena na pěti menších kusech odlomené podstavy (lze předpokládat, že materiál se nacházel ve velmi podobném stavu) a

hodnoty měření byly zprůměrnovány. Podle výsledků měření můžeme říci, že rychlost průchodu uz signálu nekonsolidovaným materiálem z oblasti podstavy sochy se pohybuje okolo 1,1 km/s.



Obrázek 40 Odlomený levý zadní roh podstavy po konsolidaci a injektáži se znázorněním měřících bodů ultrazvukové transmise po konsolidaci

Tabulka 21 Měření rychlosti průchodu signálu ultrazvukovou transmisí po konsolidaci odlomeného levého zadního rohu podstavy

č.m.	Místo měření	d (cm)	v (km/s)
1	přes injektovanou prasklinu	2,8	2,2
2	přes injektovanou prasklinu	2,8	2,11
3	přes injektovanou prasklinu	7,6	1,85
4	bez viditelného poškození	9,3	1,71
5	bez viditelného poškození	8,1	1,86
6	přes injektovanou prasklinu	8,3	2,09
7	bez viditelného poškození	10,5	2,29
8	bez viditelného poškození	13,3	2,21
Průměrná naměřená rychlost po konsolidaci a injektáži			2,04
Průměrná naměřená rychlost na nezpevněných kusech kamene			1,1
Průměrný nárůst rychlosti signálu			84%

Ze srovnávacího měření ultrazvukovou transmisí vyplývá, že první fáze konsolidace byla úspěšná. U míst měřených před a po konsolidaci na soše anděla došlo k nárůstu rychlosti průchodu ultrazvukového signálu o 44% (tedy z průměrné rychlosti 1,35 na 1,94 km/s) a u injektovaného odlomeného kusu podstavy o 84% (tedy z průměrné naměřené rychlosti 1,1 na 2,04 km/s). Rychlost podobných, masivnějších, méně porézních, nepoškozených typů vápenců se podle zprávy k měření ultrazvukové transmise viz. příloha

č. 6 pohybuje v rozmezí 2,5 až 3,5 km/s. Vzhledem k tomu faktu a k subjektivnímu hodnocení míry zpevnění jednotlivých povrchů bylo rozhodnuto v konsolidaci dále pokračovat.

Druhá fáze konsolidace – dodatečná konsolidace již napouštěných ploch, zpevnění dalších narušených míst a injektáž prasklin CaLoSiLem® Pasty

V další etapě konsolidace byly napouštěny plochy, kde se kámen na dotek drolil, byla dozpevněna již konsolidovaná místa a zvláštní pozornost byla věnována okrajům a místům, kde byl kámen narušen a jeho povrch byl oproti ostatnímu povrchu na pohled znatelně otevřený. Systém konsolidace (tj. metoda aplikace a péče o napuštěné plochy) byl stejný jako v první fázi napouštění. Jedinou výjimkou bylo lokální použití CaLoSiLu® E50 (totožný konsolidant s dvojnásobným obsahem účinné látky – 50 g/l) na místech, kde byl kámen značně narušen, aby nemusel být proces opakován např. v 3 - 4 cyklech.

V závěru napouštěcích cyklů byly okraje krust a defektů a narušená místa injektovány CaLoSiLem® Pasty (konsolidant na stejné bázi s vyšší viskozitou způsobenou vyšším obsahem účinné látky okolo 280 g/l) – ověřeného v testování provedeného v rámci projektu STONECORE nad rámec této bakalářské práce – viz příloha číslo 10. Přípravek byl aplikován injekční stříkačkou s jehlou do problematických míst, případné přebytky byly odsávány vatou a lehce dočištěny vatou napuštěnou ethanolem (*viz. obrazová příloha str. 122, 123, 126*).

V této etapě konsolidace byla dále sledována spotřeba konsolidantu pouze u plochy podstavy, kde bylo ze statických důvodů rozhodnuto o další systematické etapě konsolidace. Plocha podstavy byla tedy systematicky napuštěna celkem ve čtyřech napouštěcích cyklech, stejně jako její odlomený levý zadní roh (první etapa konsolidace).

U ostatních míst nebyla dále sledována spotřeba konsolidantu v závislosti na definovaných plochách, bylo pouze zaznamenáno množství přípravků, které byly na další zpevnění použity. Všechny popsané hodnoty jsou uvedeny v následujících tabulkách.

Tabulka 22 Spotřeba konsolidantu na ploše podstavy po druhé etapě konsolidace, tedy ve čtyřech napouštěcích cyklech

označení napouštěné plochy	lokalizace ploch	počet cyklů v první etapě konsolidace	CaLoSiL® E25 V/objem v ml	počet cyklů ve druhé etapě konsolidace	CaLoSiL® E25 V/objem v ml	celková spotřeba na 1m ² v litrech (l)
červená plocha	podstava	2	2600	2	2400	26,1

Tabulka 23 Spotřeba konsolidantů ve druhé napouštěcí fázi sochy anděla

den napouštění	CaLoSiL® E25 V/objem v ml	CaLoSiL® E50 V/objem v ml	poznámka
první	2500		
druhý	3000	2000	provedena injektáž CaLoSiLem® Pasty
třetí		2000	provedena injektáž CaLoSiLem® Pasty
čtvrtý	1000		
Celková spotřeba konsolidantů/ l	6,5	4	

Zhodnocení efektivity konsolidace metodou ultrazvukové transmise po jejím dokončení

Přibližně dva měsíce po dokončení konsolidace a po dokončení ostatních konzervačních a restaurátorských prací bylo na soše provedeno kontrolní měření ultrazvukové transmise, aby mohl být zhodnocen efekt konsolidace. Měření bylo provedeno ve 47 měřících bodech totožných s místy měření před započítáním všech restaurátorských prací (viz. příloha 6).

Tabulka 24 Srovnání měření rychlosti průchodu signálu ultrazvukovou transmisí před a po restaurování

č.m.	Místo měření	Měření před všemi zásahy				měření po konzervaci a restaurování		
		směr	d (cm)	v (km/s)	poznámka	d (cm)	v (km/s)	poznámka
1	přes spánky	lpz	18	1,93		13	2,63	
2	brada-temeno	v	21,2	1,66		21	1,97	
3	čelo zátylek	pz	18,4	1,87		16,4	2,01	
4	vlasý vedle pravého ucha	pz	7	2,38		7,5	3,02	
5	vlasý vedle levého ucha	pz	6	2,33		6,1	2,52	
6	přes ramena	lp	36,9	1,93		39	2,41	
7	levé rameno	pz	13,4	2,04		12,6	2,31	
8	pravé rameno	pz	13,1	2,25		11,2	2,27	
9	levá paže	pz	14,3	1,7		12,9	2,12	
10	levé předloktí	pz	9	2,13		8,3	2,26	
11	levé zápěstí-mimo krust	pz	5,5	2,17		5,5	2,3	
12	levé zápěstí-přes krustu	pz	5,8	1,54	vs			neměřeno
13	drapérie pod levým loktem	pz	4,7	1,79	korodované místo	4,3	2	
14	pravé předloktí	pz	8,7	1,64		8,8	2,14	
15	pravé zápěstí	pz	5,9	1,77		6	2,58	
16	drapérie u pravého loktu	pz	2,6	1,61		2,3	1,67	
17	drapérie na hrudi	pz	3,6	2,75		2,8	2,48	
18	drapérie na hrudi-krusta	pz	3,9	1,74				neměřeno
19	křídlo pravé nahoře	pz	9,3	1,71		8,8	1,9	

20	křídlo pravé v pŕlce	<i>pz</i>	12,3	2,22		12,7	2,17	
21	křídlo pravé dole	<i>pz</i>	15,1	1,76		11,1	2,11	
22	křídlo pravé dole- korodovaná	<i>pz</i>	13	1,5	ss	11,3	1,91	
23	křídlo pravé dole- korodovaná (vedle 22)	<i>pz</i>	10,3	1,58	ss	8,8	1,85	
24	drapérie pod pravým křídlem	<i>pz</i>	4,5	1,58		4,5	1,99	
25	křídlo levé nahoře	<i>pz</i>	13,6	2,08		12	2,19	
26	křídlo levé střed	<i>pz</i>	12,1	2,13		13,2	2,31	
27	křídlo levé na úrovni levého loktu	<i>pz</i>	12	1,96		11,5	2,04	
28	křídlo levé spodek - přes tmel	<i>pz</i>	9,1	0,93	vss			neměřeno
29	křídlo levé spodek - mimo tmel	<i>pz</i>	7,5	1,11	vss	9	1,83	
30	hrud' - záda	<i>pz</i>	36,1	1,69		39,2	1,62	
31	břicho - záda	<i>pz</i>	38,2	1,41		35,3	1,62	
32	levé stehno - přes tmel	<i>lp</i>	12,8	1,17	ds			neměřeno
33	levé koleno	<i>lp</i>	10,8	2,48	ds	10,5	2,87	ds,prasklina ?
34	drapérie pod levým kolenem	<i>v</i>	2,9	1,86		2,4	2,14	
35	drapérie pod levým kolenem	<i>v</i>	4,9	1,85		4	2,61	
36	drapérie vedle levého lýtka přes tmel	<i>pz</i>	4,1	1,44	ds	3,4	2,43	
37	drapérie vedle levého lýtka přes tmel	<i>pz</i>	4,4	2,67	ss, ds			
38	levé lýtko	<i>lp</i>	9,1	0,96		8,7	1,03	
39	levý kotník	<i>pz</i>	7	0,77	ss,ds, korodované místo	7,2	1,31	ds, prasklina
40	levé chodidlo	<i>lp</i>	9,6	1,76		9,1	2,06	
41	dítě - tváře	<i>lp</i>	10,5	2,33		10,4	2,83	
42	dítě - vlasy	<i>pz</i>	3,8	1,88		5,1	2,59	
43	dítě - pravé rameno	<i>pz</i>	14	1,54		7,6	2,74	
44	dítě - ramena	<i>lp</i>	25,2	2,22		23,1	2,98	
45	dítě - pravé předloktí	<i>v</i>	6,9	1,63		6,5	2,43	
46	dítě - pravé stehno	<i>lp</i>	11	1,71		9,8	2,93	
47	dítě - pravé lýtko	<i>lp</i>	8,2	1,89	ds	8,8	2,49	
48	dítě - levé koleno, přes krustu/tmel?	<i>lp</i>	10,3	1,15	ds, prasklina	9,2	2,71	
49	dítě - levé lýtko	<i>lp</i>	10,1	1,22		9,6	2,2	
50	dítě - lýtko-zadní strana	<i>pz</i>	33,5	1,14		36,7	1,47	
51	plinta-pod levou nohou	<i>pz</i>	29,9	0,91		39	1,57	přes lepený roh
52	plinta - pod pravou nohou	<i>pz</i>	30,5	1,05		31,5	1,91	ss
Průměrná naměřená rychlost průchodu uz signálu				1,73			2,20	
Procentuelní nárůst rychlosti průchodu uz signálu							27%	

Závěrečné měření po zrestaurování sochy anděla prokázalo průměrné zvýšení všech naměřených hodnot o 27% (v měření jsou zahrnuta i místa, kde nebyl konsolidant aplikován, nebo kde došlo k nějaké změně na měřeném povrchu; u míst, kde byla konsolidace systematicky sledována došlo k průměrnému nárůstu 44%), tedy z předchozí průměrné rychlosti 1,73 na 2,2 km/s, v porovnání s měřením provedeným před zahájením všech restaurátorských a konzervačních prací.

Stejně jako u dalších měření, jsou i tyto výsledky zatíženy jistou chybou, která vyplývá z nehomogenity materiálu, tím lze také vysvětlit zdánlivý pokles rychlosti průchodu signálu u některých míst, která v kontrolním měření vykazovala vyšší hodnoty. Naměřené hodnoty se vztahují ke konkrétnímu místu měření s jeho charakteristickými vlastnostmi, které nebylo vždy možné v průběhu třech měření přesně vyhledat, ať už z důvodu nějaké změny, která se udála v průběhu práce (odstranění sekundárních vrstev, nebo naopak doplnění, nebo vyplnění místa sekundárním materiálem), nebo vlivem ne zcela přesně opakovatelného měření.

Zhodnocení konsolidace pomocí odporu vrtáním - DRMS:

Efektivita konsolidace byla také ověřena metodou měření odporu vrtáním, jak je popsáno v kapitole 2.4.2 *Měření odporu vrtáním (DRMS⁴²) – zjištění soudržnosti povrchové vrstvy kamene*. Měření po konsolidaci bylo provedeno na v 7 kontrolních vrtech. 3 měření byla provedena na nejvíce poškozených místech, kde před konsolidací nebylo měření proveditelné z důvodu silné koroze kamene a vysokého rizika ztráty dalších hmot, a 4 na podstavě sochy, kde bylo měřeno i před konsolidací. Před konsolidací byly tedy provedeny vrty na kompaktních částech objektu, které jsou popsány v kapitole 2.4.2, nebo také v příloze číslo 8.

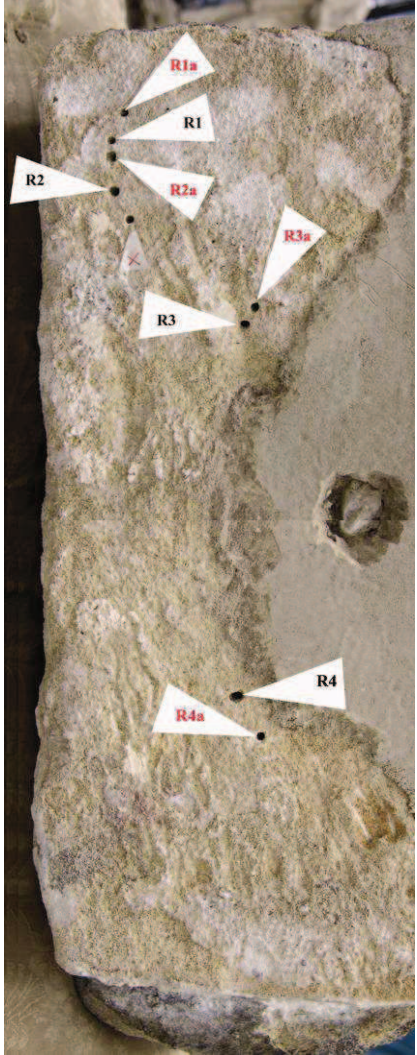

Pro přesnější porovnání profilů odporu vrtání před a po konsolidaci poslouží vrty provedené na podstavě sochy (R1 – R4) a pro ostatní vrty vrt R8 provedený před konsolidací, který reprezentuje nejlépe dochované povrchy na soše a poskytuje srovnání s vrty provedenými na nejvíce poškozených místech sochy.

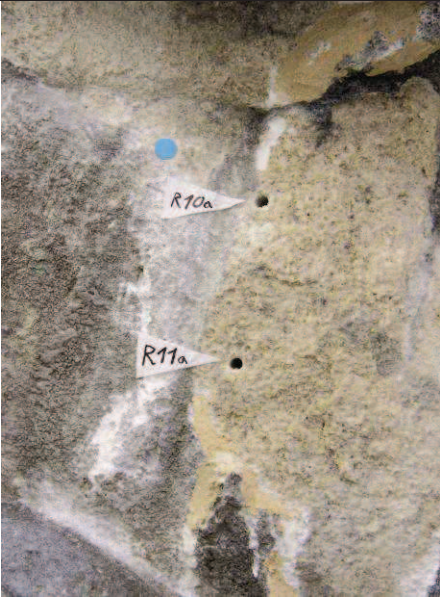
Vrty provedené po konsolidaci jsou popsány v následující tabulce.

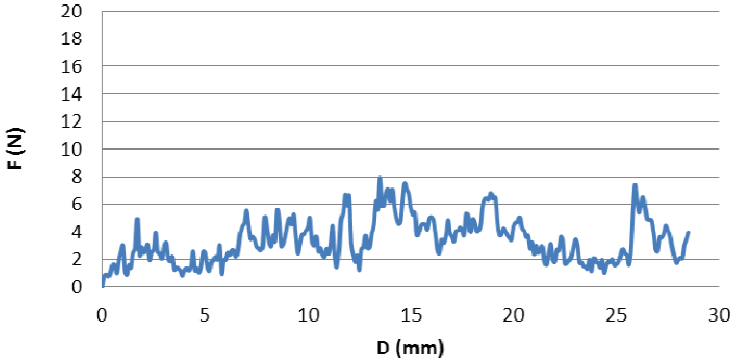
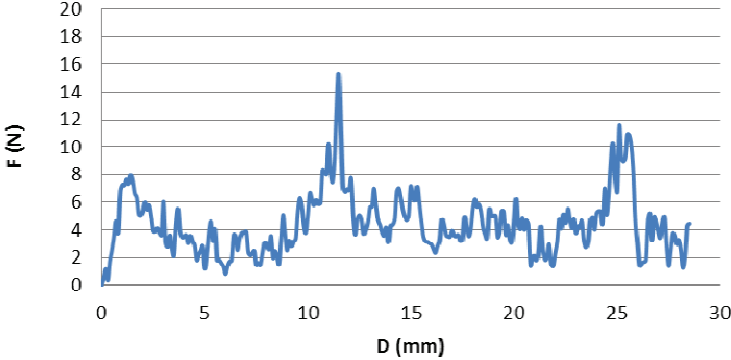
⁴² Drilling resistance measurement system

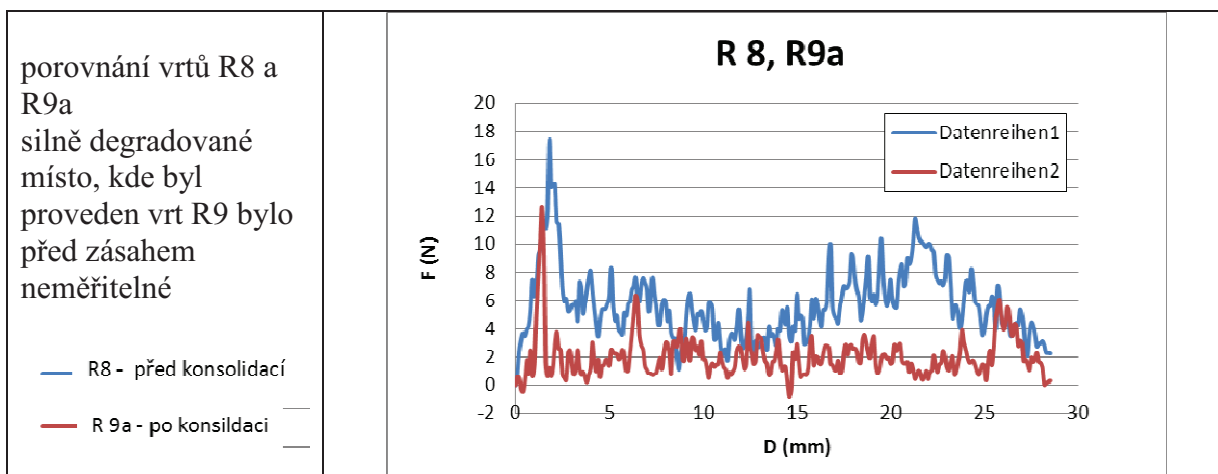
Místa měření:

Tabulka 25 Místa měření odporu vrtáním po konsolidaci

Označení vrtu	Místo vrtu	Popis místa vrtu	
R1a, R2a	zespodu, 5 cm od okraje podstavy	lomová plocha kamene, neexponovaná, blíže k povrchu	
R3a, R4a	střed podstavy, 10 cm od otvoru na čep	lomová plocha kamene, neexponovaná, ve středu objektu	
R9a	levé křídlo, spodní část,	před konsolidací byl kámen překryt tmelem, koroze byla ve vysokém stádiu	

<p>R10a, R11a</p>	<p>břicho anděla, pod opaskem, nad levým ramenem dítěte</p>	<p>před konsolidací byl kámen překryt tmelem, koroze byla ve vysokém stádiu</p>	
-----------------------	---	---	--

<p>R2 zespodu, 5 cm od okraje podstavy, lomová plocha kamene, neexponovaná, blíže k povrchu</p>	<p style="text-align: center;">R 2</p> 
<p>R2a vrt vedle R2, po konsolidaci</p>	<p style="text-align: center;">R 2a</p> 



Z měření vyplývá, že nejlépe dochovaný povrch sochy vykazuje pevnostní gradient blíže k povrchu, což je pravděpodobně způsobeno korozním procesem, jelikož na jiných měřených, chráněných místech se tento jev neprokázal. Co se týče efektu konsolidace, u některých vzorků můžeme při jejich srovnání před a po konsolidaci pozorovat prokazatelný nárůst pevnosti, zaznamenanou vykreslením pevnostních profilů. U některých vzorků je však měření rozporuplné, což je zřejmě způsobeno již několikrát vzpomínanou silnou nehomogenitou materiálu.

V zásadě ale můžeme říci, jak je patrné z grafů vrtu R2 a R2a (podstava sochy), že vlivem konsolidace došlo ke zvýšení měřeného odporu kladného materiálem. I v případě porovnání vrtů R8 (vrt reprezentující nejlépe dochované povrchy před konsolidací) s vrtem R9a (vrt velmi korodovaného místa po konsolidaci) je možné vyhodnotit výsledek konsolidace za úspěšný, protože v místě vrtu R9a nebylo před zásahem měření proveditelné. Z grafu je zřejmé, že vlivem zpevňování bylo dosaženo prokazatelného zpevnění bez vzniku gradientů v celé hloubce vrtu (křivka profilu po zpevnění se pohybuje v nižších hodnotách pevnosti, má však velmi podobný vzhled jako křivka vrtu bez ošetření). Na základě toho je také možné předpokládat velmi dobrou penetraci do materiálu. I vizuální a subjektivní posouzení dotekem vypovídá o efektivním zpevnění kamene.

Shrnutí výsledků konsolidace:

Konsolidace prostředky na bázi nanosuspenzí hydroxidu vápenatého byla na základě měření rychlosti průchodu signálu ultrazvukovou transmisí vyhodnocena jako úspěšná. Z původní průměrné rychlosti 1,73 km/s bylo provedenou konsolidací docíleno průměrného nárůstu rychlosti průchodu ultrazvukového signálu materiálem o 27%, konkrétně naměřené rychlosti stouply v průměru na 2,2 km/s. Což je, při porovnání se

standardně uváděnými hodnotami u nekorodovaných, méně porézních a masivnějších typů vápence, které se pohybují v rozmezí 2,5 až 3,5 km/s, možné označit za výsledek velmi úspěšné konsolidace materiálu. Podle spotřeby a zkušeností na ref. tělískách lze očekávat hloubku penetrace konsolidantu až několik centimetrů (i měření UZ prokázalo, že nebyl zpevněn pouze povrch vápence, ale konsolidace byla hloubková). Tyto poznatky je možné potvrdit i vizuálním a subjektivním posouzením stavu kamene. Na místech, kde se kámen při doteku drolil je nyní kompaktní a nedochází k dalšímu uvolňování jeho zrn.

Na konsolidaci sochy anděla s dítětem bylo použito celkem 17,85 l CaLoSiLu[®] E25 a 4 l CaLoSiLu[®] E50, objem spotřebovaného CaLoSiLu[®] Pasty na injektáže byl okolo 100 ml. V první fázi testování bylo na třech měřených plochách naměřeno, že ve dvou efektivních napouštěcích cyklech bylo průměrně na jeden metr čtvereční spotřebováno přibližně 16,5 l CaLoSiLu[®] E25. U podstavy sochy byly systematicky provedeny 4 napouštěcí cykly, kde spotřeba CaLoSiLu[®] E25 činila celkem přibližně 26 l na m².

Po konsolidaci následovala 10 ti denní technologická pauza, v rámci níž byl 8 dní po ukončení napouštěcích cyklů aplikován postřikem na dva dni předvlhčovaný povrch biocidní prostředek Porosan (výrobce AQUA obnova staveb s.r.o) ředěný v poměru 1:5 v ethanolu.

5.2.3 Zajišťovací tmelení

Před dalšími kroky restaurátorských prací bylo ještě provedeno konzervační, zajišťující obtmelení ohrožených míst. Zajišťující tmely byly provedeny na okrajích krust, na rozhraních zdravého a poškozeného kamene, byly vyplněny hluboké praskliny vytvářející ostrý reliéf a podobná místa, u nichž by v průběhu čištění hrozilo další poškození (*viz. obrazová příloha str.123, 127, 128*).

Tmel, kterým bylo zajištění provedeno byl zvolen na základě zkoušek, které jsou uvedeny v následující tabulce č. 19.

Receptury zkoušených tmelů (zajišťovacích, a následně i tmelů pro plastické retuše) byly zvoleny po konzultaci s rakouským restaurátorem Christianem Gurtnerem, který má s takto připravovanými tmely na podobný typ horniny téměř 30ti leté zkušenosti. Informace

o těchto recepturách byly čerpány rovněž z bakalářské práce Josefa Čepelky⁴³, který se jimi zabýval po návratu ze stáže u p. Gurtnera.

Tabulka 26 Receptury zkoušených zajišťovacích tmelů

Č. tmelu	Pojivo	Vzájemný poměr pojiv	Plnivo	Vzájemný poměr plniv	Poměr (pojivo : plnivo)
1	cement+vápenný hydrát	(2:1)	SMb 0-1 + PKŽ	1:1	(1:4)
2	cement+vápenný hydrát+Al cement	(2:1:0,2)	SMb 0-1 + PKŽ	1:1	(1:4)
3	cement+vápenný hydrát	(1:1)	SMb 0-1 + PKŽ	1:1	(1:4)
4	cement+vápenný hydrát+Al cement	(1:1:0,2)	SMb 0-1 + PKŽ	1:1	(1:4)

Tabulka 27 Legenda zkratk a výrazů k tabulce č. 19; popis použitých materiálů

zkratka/výraz uvedený v tabulce	Bližší popis zkratky/výrazu
cement	Bílý portlandský cement (slow) CEM I 52,5 N (podle EN 197/1); Holcim (Rohožník - SR) a. s.
vápenný hydrát	Vápno CL 90 – vápenný hydrát, Výrobek odpovídá EN 459-1; VÁPENKY VITOŠOV s.r.o., (ČR)
Al cement	Hlinitanový cement FONDU Lafarge, hnědošedé barvy; distributor pro ČR Ditherm a. s.; výrobce Kerneos Aluminate technologies, (FR)
PKŽ	jemný, křemitý, žlutý písek; sekundární produkt z poloprovozní výroby lomu Záměl
SMb 0-1	drť z mušlového vápence Kalksandstein St. Margarethener z lomu Römersteinbruch o velikosti zrn 0-1 mm; (A)

U testovaných tmelů byla hodnocena zejména jejich pevnost. Všechny tmely byly pro zpracování připravovány mísením se záměsovou vodou s přídavkem akrylátové disperze Primal AC35 (SF016) s konečným obsahem sušiny 5%. Množství přidané záměsové vody bylo stanoveno podle dobré zpracovatelnosti tmelu pomocí špachtle (ne sytký, ale plastický).

Pro potřeby zajišťujícího tmelení na soše anděla byl vybrán tmel číslo 3, který je v tabulce zvýrazněn tučným písmem. Tmel z vápencové drtě z rakouského ekvivalentu restaurovaného kamene a jemného, okrového, křemitého písku byl pojen směsným pojivem bílého portlandského cementu a vápenného hydrátu v poměru 1:4 objemových dílů. Tento

⁴³ ČEPELKA, Josef. *Srovnání vybraných vlastností vápenno-cementových tmelů modifikovaných přídavkem hlinitanového cementu*. Litomyšl, 2004. 54 s. Bakalářská práce. Institut restaurování a konzervačních technik Litomyšl, o. p. s.

tmel, určený na zajištění okrajů, které bylo v některých místech dočasné (počítalo se s jeho částečnou ztrátou během čištění), vybrán především proto, že byl spolu s tmelem č. 4 vyhodnocen jako nejměkčí.

Tmel číslo 4 se lišil pouze přidavkem malého množství hlinitanového cementu, který by v této míře neměl mít vliv na jeho konečnou pevnost a tvrdost, pouze modifikuje proces tuhnutí a tvrdnutí, konkrétně ho urychluje, a tím umožňuje snazší a dřívější opracovávání zhotovených tmelů. V tomto případě nebyl kladen nárok na snadnou opracovatelnost tmelu s kratšími technologickými pauzami, protože, jak již bylo v textu zmíněno, tmely měly posloužit dočasnému zajištění rizikových míst při čištění objektu, nebo měly být aplikovány na místa, kde nebudou vizuálně prezentovány.

Zajišťovací tmely byly nanášeny špachtlí na předvlhčený povrch.

5.2.4 Osazení odlomeného rohu podstavy a doplnění jejích chybějících částí minerálním tmelem

Po napuštění a uplynutí doby nutné pro zkarbonatování větší části konsolidantu a zajištění problematických míst mohlo být se sochou poprvé do transferu manipulováno. Do této chvíle socha ležela na zádech. Při nějaké další manipulaci s objektem hrozily ztráty materiálu, zejména okrajů a zbytků již ztracených hmot, které byly posledními nositeli informace o jejich původním tvaru.

Socha byla otočena pohledovou stranou dolů, tedy na břicho, aby mohla být osazena konsolidovaná část podstavy a zbytek chybějící hmoty doplněn ve vhodném minerálním tmelem.

Po zkoušce spasování odlomeného rohu podstavy a jednoho menšího mezi kusu kamene (který byl rovněž zpevněn CaLoSiLem[®] E25) bylo zjištěno, že styčné plochy mezi podstavou a oddělenými částmi jsou tak malé, že je nebude možné dolepit. Bylo rozhodnuto nejprve doplnit chybějící hmotu podstavy ve vybraném tmelem a odlomené části osadit až dodatečně.

Proto byly už v této fázi provedeny zkoušky tmelů pro doplnění chybějící části podstavy a pro další plastické retuše na soše anděla.

Zkoušky tmelů pro konzervační plastickou retuš a doplňování některých chybějících tvarů:

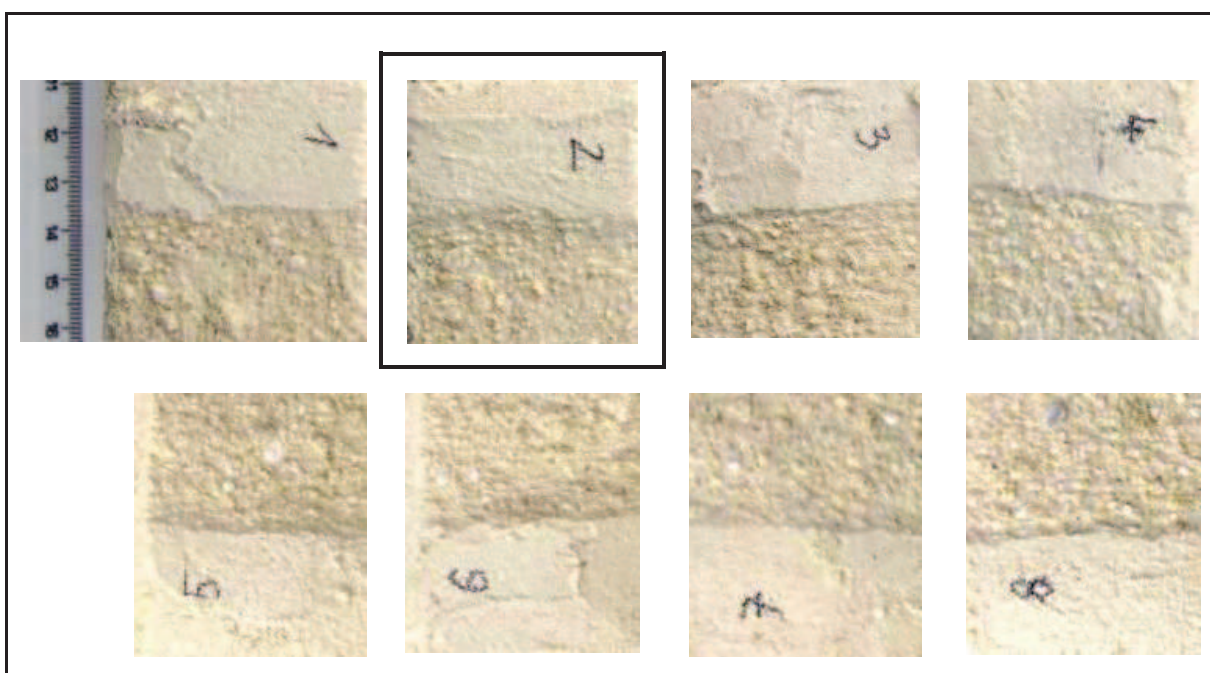
Celkem bylo připraveno 8 tmelů. Plniva a pojiva byla odzkoušena ve čtyřech vzájemných poměrech, z tohoto směsné pojivo bylo u čtyř vzorků tvořeno bílým portlandským cementem, hlinitanovým cementem a vápenným hydrátem a u dalších čtyř, namísto hydrátu, vápennou kaší. Všechny tmely byly míchány v poměru plniva a pojiva 1:4. Podrobněji jsou receptury tmelů popsány v následujících tabulkách.

Tabulka 28 Receptury zkoušených tmelů pro plastické retuše

Č. tmelu	Pojivo	Vzájemný poměr pojiv	Plnivo	Vzájemný poměr plniv	Poměr (pojivo : plnivo)	UZ signál km/s
1	cement + vápenný hydrát + Al cement	(2:1:0,2)	SMb 0-1+ SMb 0-2+SMb 0-4	(1:1:1)	(1:4)	2,38
2			Pžl + SMb 0-2+SMb 0-4	(1:1:1)	(1:4)	2
3			PKž + SMb 0-4	(1:2)	(1:4)	2,33
4			Carolith + PKž + Smb 0-4	(1:1:2)	(1:4)	2,19
5	cement + vápenná kaše + Al cement	(2:1:0,2)	SMb 0-1+ SMb 0-2+SMb 0-4	(1:1:1)	(1:4)	1,93
6			PKž + SMb 0-2+SMb 0-4	(1:1:1)	(1:4)	2,12
7			PKž + SMb 0-4	(1:2)	(1:4)	2,07
8			Carolith + PKž + Smb 0-4	(1:1:2)	(1:4)	2,25

Tabulka 29 Legenda zkratk a výrazů k tabulce č. 20; popis použitých materiálů

zkratka/výraz uvedený v tabulce	Bližší popis zkratky/výrazu
cement	Bílý portlandský cement (slow) CEM I 52,5 N (podle EN 197/1); Holcim (Rohožník - SR) a. s.
vápenný hydrát	Vápno CL 90 – vápenný hydrát, Výrobek odpovídá EN 459-1; VÁPENKY VITOŠOV s.r.o., (ČR)
Al cement	Hlinitanový cement FONDU Lafarge, hnědošedé barvy; distributor pro ČR Ditherm a. s.; výrobce Kerneos Aluminate technologies, (FR)
PKž	jemný, křemitý, žlutý písek; sekundární produkt z poloprovozní výroby lomu Záměl
SMb 0-1; SMb 0-2; Smb 0-4	drť z mušlového vápence Kalksandstein St. Margarethener z lomu Römersteinbruch o velikosti zrn 0-1 mm; 0-2 mm; 0-4 mm (A); typ brown – tmavší, nahnědlá
Carolith	hrubozrnná tříděná vápencová drť o velikosti zrn 2,0 – 2,5 mm



Obrázek 41 Provedené zkoušky tmelů s vyznačením vybraného tmelu pro plastické retuše na soše anděla (tmel č. 2)

Na základě provedených zkoušek byl pro potřeby dalších prací vybrán tmel číslo 2 (v tabulce tučně vyznačen). Tato směs plniv nejlépe korespondovala s doplňovaným materiálem po stránce struktury i barevnosti.

Tmely s obsahem drti Carolithu neměly dobrou strukturu a světlá zrna plniva se výrazně uplatňovala na povrchu tmelů.

Tmel (č. 2) s vápenným hydrátem byl před stejnou směsí s vápennou kaší (tmel č. 6) preferován především kvůli snazšímu míchání a lepší zpracovatelnosti tmelu. U tmelů byla také subjektivně, podle vrypu skalpelem hodnocena jejich tvrdost a měřena rychlost průchodu ultrazvukového signálu (viz. tabulka 28), jejíž hodnoty také vypovídají o tvrdosti měřeného materiálu. Tmel číslo 2 byl i podle posouzení tvrdosti a dalších mechanických vlastností vyhodnocen jako nejvhodnější, rychlost průchodu ultrazvukového signálu u něj byla naměřena jako druhá nejnižší a to 2 km/s. Ve srovnání s průměrnou rychlostí naměřenou u samotného materiálu po zpevnění 2,2 km/s je tento výsledek uspokojivý, protože vypovídá o tom, že vybraný tmel je o něco měkčí než doplňovaný materiál, čímž vyhovuje obecným požadavkům na mechanické vlastnosti hmoty doplňků. Vybraný tmel barevně vyhovoval doplňovanému kameni a nemusel být dobarvován pigmenty ve hmotě.

Další postup práce:

Podstava byla doplněna minerálním, modifikovaným tmelem vybraným na základě zkoušek dodusáním. K podstavě byla připevněna dřevotřísková deska, potažená igelitovou folií a do původního otvoru na čep byla zasunuta záslepná výplň, aby v průběhu dusání zůstal zachován otvor na čep. V místě, kam měl být dolepen levý zadní roh byla část podstavy doplněna nad požadovaný tvar. Zcela nevytvrdlý tmel byl pak postupně upraven tak, aby pod dolepovaným levým zadním rohem vznikla větší styčná plocha. Po vytvrnutí a vyschnutí tmelu byl odlomený roh osazen na svoje původní místo. Vzhledem k poloze a nosné funkci doplňovaného dílu bylo rozhodnuto o jeho osazení na nerezový, šroubovicový prut HeliBar (výrobce helikální výztuže pro statické zajišťování staveb Helifix CZ s. r. o.). Odlomený roh byl přilepen vysokoviskózní epoxidovou pryskyřicí zahuštěnou křemennou moučkou do připraveného lůžka z minerálního tmelu. Následně, po vytvrnutí lepeného spoje, byl v jeho nejmasivnější části, v místě, kde se nacházel styčný bod lomových ploch vyvrtán otvor. Tento otvor jedním násobkem svojí délky v doplňku zasahoval do hmoty podstavy sochy. Do připraveného otvoru byl vložen spirálovitý nerezový čep HeliBar o průměru 6 mm a následně byl zalit nízkoviskózní epoxidovou pryskyřicí (*viz. obrazová příloha str. 124 a zakres kovových spojovacích prvků na str. 145*).

Po vytvrnutí lepeného spoje byly doplněny venkovní okraje chybějících částí tmelem tak, aby mohly být případné mezery mezi doplňovaným rohem a plochou doplněné podstavy efektivně vyplněny řídkou směsí Ledanu D3 a jemného křemitého písku, který byl použit na přípravu tmelů. Po vytvrnutí injektážní směsi byla podstava doplněna tmelem do požadovaného tvaru (*viz. obrazová příloha str. 124, 125*).

Přibližně 12 hodin od nanesení byla upravena struktura tmelů pomocí pilových listů a tvrdších nekovových kartáčů do podoby okolního kamene. Tmely byly v průběhu zrání ošetřovány rosením vodou.

5.2.5 Čištění

Po vytvrnutí tmelu doplňované podstavy byla socha postavena do svojí původní polohy. Následně byla očištěna od biologických nečistot, prachu a od reziduí konsolidace v podobě bílých zákalů. V první fázi byly uplatněny mokré metody čištění a po vyschnutí sochy byla zbylá problematická místa dočištěna suchými metodami, především abrazivně mikropískováním. V případě mokrého čištění byly provedeny zkoušky čištění, u suchého

čištění bylo vycházeno z poznatků získaných během mapování sekundárních vrstev a jejich odstraňování, které je popsány v kapitole 5.2.1. Čištění pro potřeby úspěšné konsolidace.


Mokrý čištění:

Zkoušky mokrého čištění:

Mokrý metody čištění byly odzkoušeny tři. Jednou z nich byla regulovatelná tlaková vodní pára, mechanické čištění měkkými kartáči s vodou a v posledním případě stejná metoda s využitím koncentrovaného roztoku čpavkové vody a peroxidu.

Výsledek zkoušek čištění je uveden v následující tabulce.

Tabulka 30 Zkoušky mokrých metod čištění

	<p>Zkouška čištění 1 Čpavková voda <i>byl připraven roztok čpavkové vody a peroxidu v poměru 1:1 a ten byl dále naředěn vodou v poměru 1:8, po aplikaci byly nečistoty mechanicky odstraněny měkkými kartáči a vodou</i></p>
	<p>Zkouška čištění 2 Voda + kartáč <i>po namokření byly nečistoty mechanicky odstraněny měkkými nekovovými kartáči a vodou</i></p>
	<p>Zkouška čištění 3 <i>regulovatelná tlaková vodní pára, lokálně využití mechanického čištění měkkými nekovovými kartáči</i></p>

Jako nejvhodnější byla na základě zkoušek čištění zvolena třetí metoda, tedy čištění regulovatelnou, tlakovou vodní párou (Vapor 3000). Povrch sochy byl několik dní před čištěním ošetřen biocidním prostředkem. V případě první zkoušky nebylo tedy nutné dodávat další účinné (čistící a biocidní) látky, v toto případě bylo také nadměrné vyčištění, vzhledem k míře čištění dalších soch ze souboru, povrchu nežádoucí. Druhá zkouška, co se efektivity a míry čištění týče, byla srovnatelná s první zkouškou. Při procesu byl však povrch sochy více namáhán a docházelo tak k uvolňování obnažených částic horniny.

Postup práce:

Socha byla tři dny před čištěním vlhčena na místech s biogenními povlaky, aby došlo k jejich neměkčení a staly se snáze odstranitelnými. Poté byl povrch sochy očištěn za pomoci regulovatelné tlakové vodní páry a lokálního využití měkkých kartáčů (*viz. obrazová příloha str. 129*). Při čištění bylo postupováno tak, že vybrané místo bylo nějakou dobu naměkčováno horkou parou s minimálním tlakem a poté spolu se zvýšením tlaku šetrně odstraněno. Některé kompaktnější biogenní povlaky byly v průběhu naměkčování rozrušeny měkkým nekovovým kartáčem. V oblastech se silnějším bílým zákalem bylo postupováno podobně.

Suché čištění:

K dočištění míst, kde se usadila rezidua konsolidantu a ke ztenčení tenkých kompaktních tmavých (převážně sádrovcových) povlaků, bylo využito abrazivní metody mikropískování (*viz. obrazová příloha str.123*). Tlak a množství abraziva byly voleny podle potřeby na základě provedených zkoušek při sondáži sekundárních vrstev (*viz. kapitola 5.2.1. Čištění pro potřeby úspěšné konsolidace.*)

5.2.6 Plastická a barevná retuš

Plastická retuš:

Po dočištění reziduí konsolidace a zmírnění barevných kontrastů tmavých depozitů byla provedena plastická retuš.

Míra doplnění byla podřízena konzervační funkci tmelů a částečně byla provedena rekonstrukce tvarů na místech, kde byl jejich původní vzhled zřejmý z dochovaných fragmentů (*viz. obrazová příloha str.128, 141, 142*). Tmelem byly doplněny především chybějící části větších, obrysových hmot, aby došlo ke scelení a ujasnění modelace. Charakter doplňků respektoval míru dochování objektu a byl jí zcela podřízen. Většina dochovaného, autentického povrchu bude prezentována v nezměněné podobě.

Tmel, kterým byly plastické retuše provedeny byl zvolen na základě zkoušek. Jedná se o totožný tmel, kterým byla doplněna část chybějící podstavky. Jeho podrobnější popis a vyhodnocení zkoušek tmelů, ze kterých byl vybrán jsou uvedeny v kapitole *5.2.4 Osazení odlomeného rohu podstavky a doplnění jejich chybějících částí.*

Barevná retuš:

Tmely byly v průběhu tuhnutí lokálně barevně zapojeny do celku. K barevné retuši byly použity světlostálé barevné pigmenty Bayferrox (výrobce Lanxes - Bayer). Barevné retuše byly provedeny lazurně, a protože byly nanášeny na tmely na vápeno-cementové bázi v prvotní fázi zrání nebyly pojeny žádným pojivem.

Barevná retuš byla lokálně provedena i na místech, ze kterých byly odstraněny tmely, nebo silné krusty a jejichž povrch zůstal nadále obnažený. Tato místa se barevně odlišovala od většiny exponovaného povrchu a proto byla také barevně potlačena. Retuše na těchto místech také nebyly pojeny žádným pojivem.

Socha bude v průběhu následujícího roku, po uplynutí doby nutné k přirozenému barevnému zapojení objektu mezi ostatní části výzdoby ohradní zdi, opatřena hydrofobizačním nátěrem a v rámci něho bude stav retuší revidován. Stejným způsobem bylo postupováno i po osazení sochy anděla napravo od centrální figury Panny Marie.

5.2.7 Transfer – osazení

Zrestaurovaná socha anděla byla transferována od Kutné Hory, kde byla osazena na svoje původní místo. Objekt byl osazen na řídkou vápennou matu (připravenou v poměru 1:4 s křemitým pískem) na čep z nerezavějící oceli o stejné délce a průměru, jako měl původní spojovací prvek (*viz. zákres kovových spojovacích prvků v obrazové příloze str. 145*).

5.3 Použité materiály a technologie

Testování strukturální konsolidace:

- CaLoSiL® E25, CaLoSiL® E50, CaLoSiL® Pasty
- vata
- ethanol
- vlasový štětec
- injekční stříkačka s jehlou o průměru 1,6 mm
- aluminiová fólie

Restaurování sochy anděla:

- měkké štětce, měkké nekovové kartáče
- ultrazvukové mikrodlátko (typ art piezo firmy C.T.S.)
- pneumatické mikrodlátko (microscalpello mod. CTS 178 firmy C.T.S.),
- mikropískovač Sandmaster FG1 – 93 Restauro
- sochařské dlátko a kladívko
- CaLoSiL® E25, CaLoSiL® E50, CaLoSiL® Pasty
- laboratorní stříčka, tlakový postřikovač, injekční stříkačka s jehlou o průměru 1,6 mm
- vata
- ethanol
- vlasový štětec
- aluminiová fólie, igelitová fólie
- biocidní prostředek Porosan (výrobce AQUA obnova staveb s.r.o)
- Bílý portlandský cement (slow) CEM I 52,5 N (podle EN 197/1); Holcim (Rohožník - SR) a. s.
- Vápno CL 90 – vápenný hydrát, Výrobek odpovídá EN 459-1; VÁPENKY VITOŠOV s.r.o., (ČR)
- Hlinitanový cement FONDU Lafarge, hnědošedé barvy; distributor pro ČR Ditherm a. s.; výrobce Kerneos Aluminate technologies, (FR)
- jemný, křemitý, žlutý písek; sekundární produkt z poloprovozní výroby lomu Záměl
- drť z mušlového vápence Kalksandstein St. Margarethener z lomu Römersteinbruch o velikosti zrn 0-1 mm; 0-2 mm; 0-4 mm (A); typ brown – tmavší, nahnědlá záměsová voda s přísadkou akrylátové disperze Primal AC35 (SF016) s konečným obsahem sušiny 5%
- epoxidová pryskyřice Epoxy 1200 (Kittfort Praha s.r.o.)
- amorfní SiO₂ Aerosil 380
- šroubovicový prut HeliBar o průměru 6 mm
- Ledan D3
- pilový list, kované špachtle
- regulovatelná tlaková vodní pára (Vapor 3000)
- abrazivum – korund
- světlostálé barevné pigmenty Bayferrox (výrobce Lanxes - Bayer)
- řídká vápenná malta (1:4)
- čep z nerezavějící oceli

5.4 Doporučený režim památky

Sochu, která je umístěna v exteriéru, tedy na svém původním místě, na ohradní zdi domu čp. 48 je nutné v pravidelných intervalech monitorovat. Důraz by měl být kladen zejména na stav horniny a funkčnost a stav vysprávek i po vizuální stránce. Je nutné pravidelně ošetřovat povrch tak, aby nedocházelo k jeho nadměrnému znečištění způsobenému biologickými vlivy. S tím souvisí i nutnost pravidelně kontrolovat a upravovat okolní dřeviny a popínavé rostliny, aby jejich stav nepůsobil pro objekt jako zdroj dalšího rizika a nepřispíval vzniku biogenních povlaků. Po provedení nezbytné hydrofobizace by měla být pravidelně kontrolována její funkčnost a v případě nutnosti tj. nedostatečné vodoodpudivosti by měla být na nejvíce namáhaných plochách obnovena. Zmíněný monitoring uvedených aspektů by měl probíhat nejméně jednou za dva roky.

V případě špatné, nebo prokazatelně se zhoršující pevnosti a soudržnosti kamene by měla být provedena opakovaná konsolidace materiálu.

6 Závěr

Hlavním cílem celé práce, jak již bylo v textu několikrát zmíněno, bylo restaurování sochy anděla z kutnohorského vápence. Její stav, zejména pokročilá degradace materiálu, ze kterého byla zhotovena, vyžadoval nutné kroky vedoucí ke strukturálnímu zpevnění kamene a tím bylo předurčeno i další, rozšířené zaměření bakalářské práce. Ideou, vyplývající jednak z úkolů fakulty v rámci věcné náplně již zmiňovaného projektu STONECORE, ale hlavně z obecné potřeby hledat nové, materiálově vyhovující tzn. kompatibilní, prostředky na strukturální zpevnění tohoto typu kamene, bylo ověřit a posléze optimalizovat použití vybraného konsolidantu, který by mohl sloužit k hloubkovému zpevnění poškozených částí sochy anděla. Díky těmto stanoveným cílům, které byly formulovány i v zadání bakalářské práce, nabyla práce svojí současnou, poměrně objemnou podobou, přesahující běžný rozsah bakalářských prací. Je v ní zahrnuta velká část poznatků, spojených nejenom se zkoumáním možnosti konsolidace kamene nanosoly hydroxidu vápenatého, ale také těch, které se týkají předmětu restaurování jako takového, ke kterým jsme během více než roční práce dospěli.

Cílem této bakalářské práce bylo shrnout všechny důležité, vědecky i prakticky, nebo subjektivně zjištěné poznatky vyplývající z mnoha úkonů spojených se všemi částmi, restaurátorského zásahu i těmi, které mu předcházeli.

Jedním ze neopomenutelných aspektů procesu konzervace a restaurování všech objektů výtvarného charakteru jsou časové a finanční hlediska zásahu. Součástí práce by proto mělo být posouzení prostředku, nebo testované metody, nejenom ve vztahu k hornině a jeho vlivům na změny jejích vlastností v důsledku konzervace, ale také srovnání jeho kvalit a dalších praktických aspektů práce s ostatními, na trhu dostupnými, prostředky. V původním plánu bakalářské práce bylo zahrnuto i srovnání s výsledky a zkušenostmi s restaurováním sochy anděla ze stejného souboru soch zhotoveného ze stejného typu vápence, ale konsolidovaného organokřemičitými zpevňovacími prostředky.⁴⁴, ale s ohledem na její současný rozsah bylo od tohoto záměru upuštěno⁴⁵. Takové zhodnocení je možné provést, na základě jistých znalostí a orientaci v problematice, alespoň obecně, s uvedením některých zjištěných, kvantitativně vyjádřených výsledků.

Na základě sledovaných hledisek, laboratorních zkoušek i výsledku vlastní aplikace, je možné říci, že pro efektivní strukturální zpevnění daného typu kutnohorského vápence je nutné proces konsolidace opakovat v několika, v našem případě 3 – 5, cyklech v závislosti na míře degradace konsolidovaného materiálu. Tím, v porovnání s jinými konsolidanty, značně stoupá spotřeba prostředku - v našem případě jsme spočítali průměrnou spotřebu 13,5 – 18 l/m² ve dvou napouštěcích cyklech a 26,1 l/m² ve čtyřech cyklech. Na konsolidaci sochy bylo celkově spotřebováno 17,85 litrů CaLoSiLu[®] E25 a 4 litry CaLoSiLu[®] E50, z čehož lze také předpokládat velmi dobrou penetraci do hloubky materiálu. Spotřeba okolo 20 litrů tohoto typu konsolidantu však značně převyšuje spotřebu konsolidantů např. na bázi esterů kyseliny křemičité, což by mělo nezpochybnitelný vliv i na finanční hlediska zásahu.

Pro zefektivnění penetrace konsolidantu do materiálu je také nutné věnovat dostatek času dílčím napouštěcím cyklům, mezi nimiž musí být dodržovány technologické pauzy, aby došlo k odpaření rozpouštědla a uvolnění porézního systému pro vnášení dalšího objemu zpevňovací látky. Dále je vhodné ošetřované povrchy vždy na nějakou dobu zakrýt (v tomto případě na 24h), aby se zpomalil odpar rozpouštědla a omezila zpětná migrace nanočástic účinné látky, a poté je, před další aplikací, nechat nějakou dobu odkryté (opět 24 h), aby došlo ke zmíněnému uvolnění pórů. Tímto se samotná doba aplikace a další čas jí věnované, v porovnání s organokřemičitými prostředky (nyní běžně používanými pro zpevňování těchto materiálů), značně prodlužuje. Na druhé straně po konsolidaci není třeba dodržovat

⁴⁴ Sochu druhého anděla restauroval za využití organokřemičitých prostředků Daniel Hvězda

⁴⁵ Realizace tohoto, systémově připraveného, srovnání bude provedeno nad rámec této bakalářské práce, aby bylo vyčerpáno všech možností, které okolnosti práce nabízejí.

tak dlouhou technologickou pauzu, jako v případě organokřemičitých konsolidantů, způsobenou hydrofobitou povrchu. Jedním z dalších důležitých momentů procesu konsolidace je jeho vliv na finální vizuální kvalitu povrchu objektu. V případě aplikace solů hydroxidu vápenatého dochází v závislosti na charakteru aplikační plochy k ulpívání části účinné látky na povrchu ošetřovaného materiálu, což vede ke vzniku bílých povlaků v různé intenzitě. Na základě provedených zkoušek a samotného výsledku restaurování sochy anděla ale můžeme říci, že tento negativní jev je možné v průběhu práce snadno, vizuálně posouzeno – téměř bezzbytku, odstranit. Oproti tomu u aplikace organokřemičitých prostředků dochází, v jisté míře, k nevratnému zvýraznění a prohloubení barevného odstínu ošetřeného povrchu. Z materiálové podstaty konsolidantu se dá také předpokládat, že v budoucnosti nebude ošetřený kámen ohrožen poškozením vyvolaným jeho odlišným chemickým složením a procesem jeho stárnutí.

V závěru práce, jejíž velká část je věnována konzervační části zásahu posuzovaného několika přírodovědnými metodami i nezbytným subjektivním pohledem budoucího restaurátora, je možné říci, že tento typ materiálu lze efektivně zpevňovat prostředky na bázi nanosolů hydroxidu vápenatého za výše popsanych podmínek a okolností. Tyto prostředky je také možné využít i k dalším krokům konzervace popisovaného materiálu, jako je injektáž a stabilizace okrajů korodovaných míst.

I přes velmi uspokojivé výsledky celé práce je nutné ji považovat za jednu z prvních aktivit vedoucích k ověřování použití nového materiálu, využitelného v oblasti památkové péče. Práce byla věnována především momentu konsolidace a jeho bezprostřednímu vlivu na konsolidovaný materiál, ale nejsou a ani nemohou v ní být zohledněny vlivy prostředku prověřené časem tj. jeho přirozené stárnutí a jeho vliv na mateřskou horninu. I přesto, že potenciál tohoto prostředku je pro jeho další využití dobrý, je nutné se tomuto tématu nadále věnovat. Tato práce otevírá dveře do nového, pravděpodobně velkého tématu využití nanosolů hydroxidu vápenatého na konsolidaci anorganických materiálů, které nabízí širokou škálu dalších aspektů k jejich dalšímu zkoumání.

7 Obrazová příloha

*Obrazová příloha k restaurování sochy anděla z domu čp. 48 z Kutné Hory - **stav před restaurováním***



Socha anděla s dítětem na ohradní zdi
domu čp.48 v Kutné Hoře
stav před transferem



Pohled na ohradní zeď a dům čp.48 v Kutné Hoře
vlevo socha anděla před transferem, vpravo Panna Maria Svatohorská



Socha anděla s dítětem z domu čp.48 v Kutné Hoře
stav před restaurováním - pohled zepředu



Socha anděla s dítětem z domu čp.48 v Kutné Hoře
stav před restaurováním - pohled z boku



Socha anděla s dítětem z domu čp.48 v Kutné Hoře
stav před restaurováním - pohled z boku

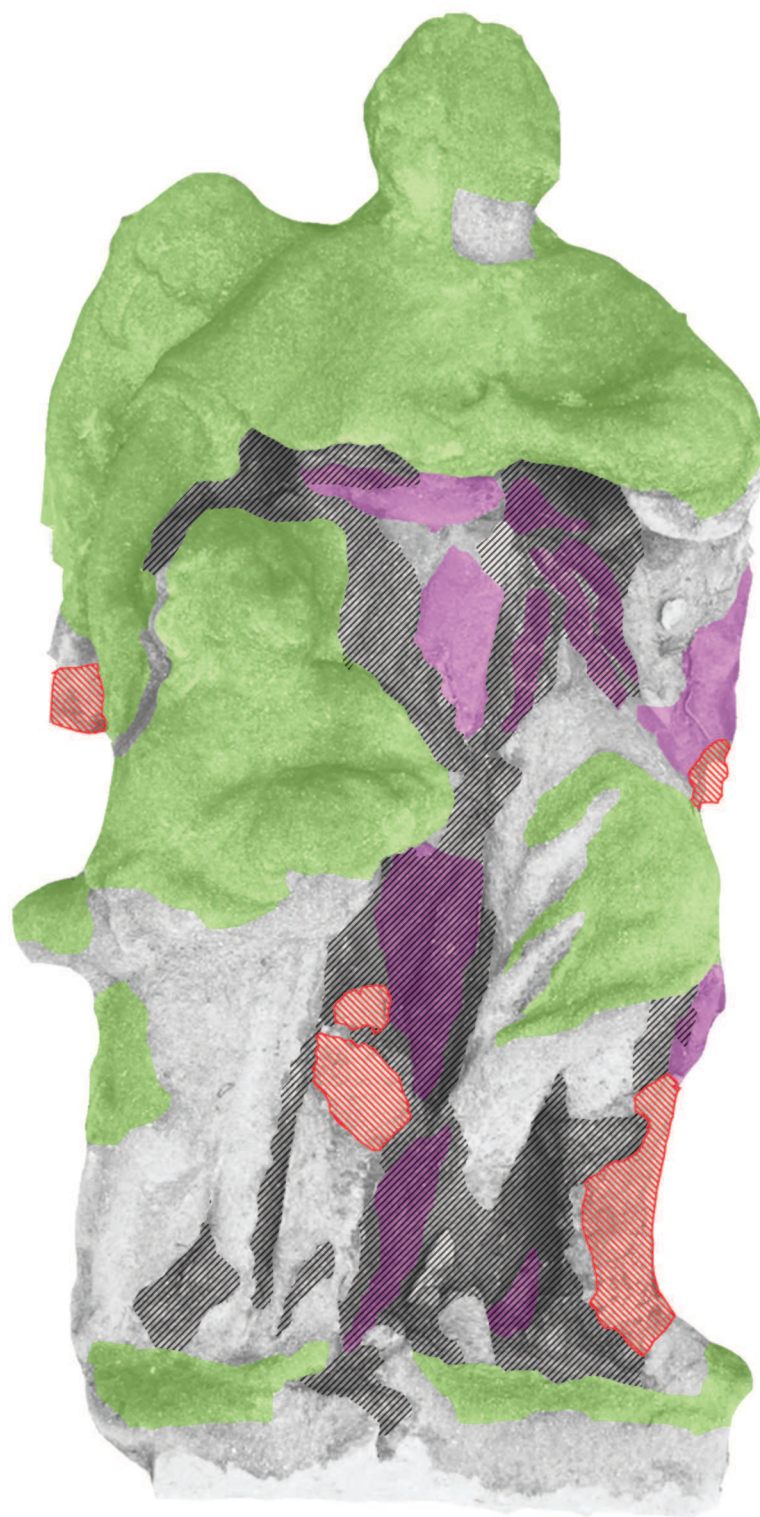


Socha anděla s dítětem z domu čp.48 v Kutné Hoře
stav před restaurováním - pohled na podstavu sochy



Fragmenty z poškozené podstavy
stav před restaurováním

*Obrazová příloha k restaurování sochy anděla z domu čp. 48 z Kutné Hory – **zákresy poškození***



Legenda k zakresu poškození:



**povlaky
biologického
původu**



**staré,
nefunkční
vysprávky**



**chybějící,
nebo silně
narušené části**



**tmavé
nepropustné
krusty**



Legenda k zakresu poškození:



**povlaky
biologického
původu**



**staré,
nefunkční
vysprávky**



**chybějící,
nebo silně
narušené části**

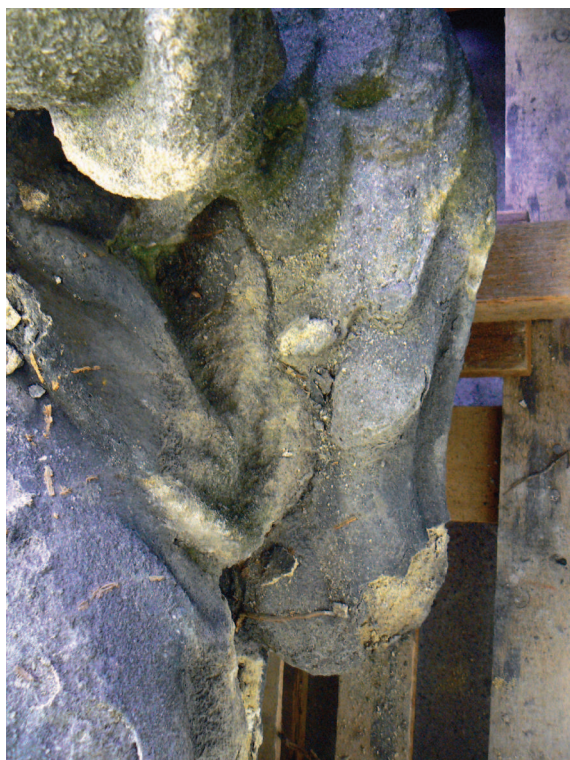


**tmavé
nepropustné
krusty**

*Obrazová příloha k restaurování sochy anděla z domu čp. 48 z Kutné Hory - **stav v průběhu restaurování***



Detail - draperie pod opaskem, levý bok anděla
*v průběhu prací - čištění před konsolidací, odstraňování nevhodných tmelů;
 vlevo tmel s provedenou sondáží; vpravo stejné místo po odstranění tmelu*



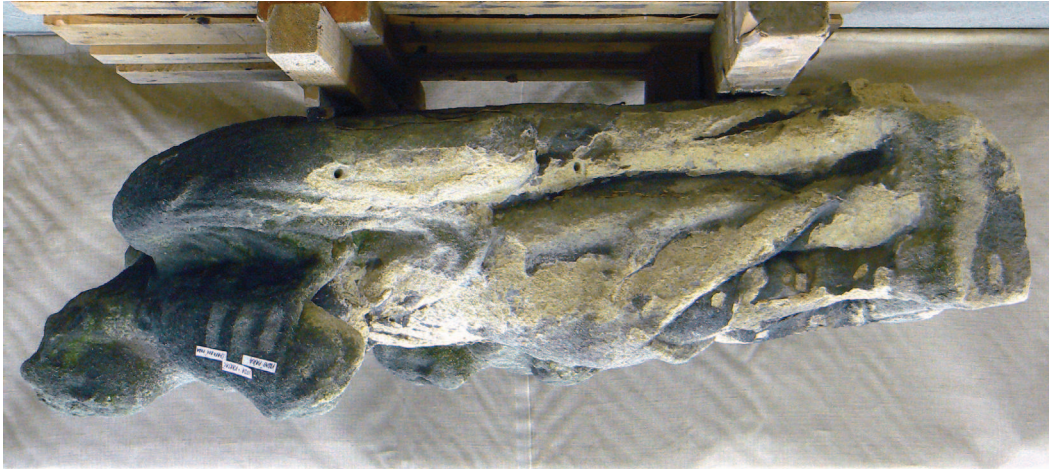
Detail - levé křídlo anděla
*v průběhu prací - čištění před konsolidací, odstraňování nevhodných tmelů;
 vlevo povrch křídla pokrytý tmelem; vpravo křídlo po odstranění tmelu*



Detail - pravý bok sochy, oděv dítěte
*v průběhu prací - čištění před konsolidací, odstraňování nevhodných tmelů;
tenká vrstva tmelu kopírující povrch objektu*



Detail - pravý bok sochy, oděv dítěte
*v průběhu prací - čištění před konsolidací, odstraňování nevhodných tmelů;
stejně místo po odstranění tmelu*



*Socha anděla s dítětem z domu čp.48 v Kutné Hoře
v průběhu prací - po očištění před konsolidací - stav po odstranění tmelů a odtržených sádrovcových kruz*



Detail - levé křídlo anděla
v průběhu prací - konsolidace, první fáze;
napouštění CaLoSiLem ® E25 na
definované ploše



Detail - socha anděla s dítětem
v průběhu prací - konsolidace, první fáze;
vyznačené, definované plochy (modrá a
žlutá) po napuštění CaLoSiLem ® E25



Detail - socha anděla s dítětem
v průběhu prací - konsolidace, první fáze;
zakrytí napuštěné plochy aluminiovou folií



Socha anděla s dítětem
v průběhu prací - konsolidace, první fáze;
zakrytí objektu aluminiovou a igelitovou
folií po aplikaci konsolidantu



Socha anděla s dítětem; stav sochy v jednotlivých fázích konsolidace
zleva: stav po 1. napouštěcím cyklu na definovaných plochách; stav po 2. napouštěcím cyklu na definovaných plochách;
stav sochy po dokončení strukturální konsolidace prostředky CaLoSiL



před restaurováním



injektáž okrajů krust CaLoSiLem® Pasty



*po mokrém čištění následovalo suché čištění;
poloviční čištění mikropískováním*



po strukturálním zpevnění CaLoSiLem® E25



po provedení zajišťovacích tmelů, před čištěním



po plastické a barevné retuši

Detail - levé koleno dítěte
sledování místa v průběhu prací



Detail - odlomený levý zadní roh podstavy
zleva: stav fragmentu před restaurováním; stav fragmentu po konsolidaci a injektáži prostředky CaLoSiL - z vnější strany a z vnitřní (lomová plocha)



Detail - podstava sochy zleva
lepení odlomených částí



Detail - podstava sochy - zespodu
doplnění minerálním tmelem pro osazení fragmentu



Detail - podstava sochy zezadu
dodusané lůžko, kam byly fragmenty dolepeny; fixace čepem HeliBar



Detail - podstava sochy - zespodu
stav po dolepení odlomených částí, injektáži a doplnění minerálním tmelem po osazení fragmentu



Detail - odlomený levý zadní roh podstavy (z leva a zezadu)
v průběhu prací - dotmelení chybějících částí podstavy



Detail - odlomený levý zadní roh podstavy (z leva a zezadu)
v průběhu prací - po dolepení odlomených kusů



Socha anděla s dítětem z domu čp.48 v Kutné Hoře
v průběhu prací - stav po strukturální konsolidaci a injektáží prostředky CaLoSiL



Detail - levá noha anděla
před restaurováním



Detail - levá noha anděla
*v průběhu prací - po konsolidaci, injektáži a
zajišťovacím tmelení před čištěním*



Detail - nohy dítěte
před restaurováním



Detail - nohy dítěte
*v průběhu prací - po konsolidaci, injektáži a
zajišťovacím tmelení před čištěním*



Detail - levý bok sochy anděla
stav před restaurováním



Detail - levý bok sochy anděla
*v průběhu prací - po konsolidaci a dodusání
chybějící části podstavy - před osazením
levého zadního rohu*



Detail - levý bok sochy anděla
*v průběhu prací - po konsolidaci, dodusání
podstavy, po osazení zadního rohu, dopl-
nění a provedení zajišťovacích tmelů*



Detail - levý bok sochy anděla
*v průběhu prací - po plastické retuši
minerálním tmelem*



Socha anděla s dítětem zezadu; průběh prací zleva: stav po 2. napouštěcím cyklu na definovaných plochách, po dodání podstavy - vztyčení objektu (ještě bez osazeného levého zadního rohu); po dokončení konsolidace, zkouška mokrého čištění (obdélník), poloviční čištění zad mokřými metodami (již s osazeným levým rohem); po mokřém čištění

*Obrazová příloha k restaurování sochy anděla z domu čp. 48 z Kutné Hory - **stav po restaurování***



Socha anděla s dítětem z domu čp.48 v Kutné Hoře
stav po restaurování - pohled zepředu



Socha anděla s dítětem z domu čp.48 v Kutné Hoře
stav po restaurování - pohled z boku



Socha anděla s dítětem z domu čp.48 v Kutné Hoře
stav po restaurování - pohled z boku



Socha anděla s dítětem z domu čp.48 v Kutné Hoře
stav po restaurování - pohled zezadu



Výzdoba ohradní zdi domu čp. 48

vlevo stav anděla s dítětem po restaurování prostředky na bázi solí hydroxidu vápenatého; uprostřed socha Panny Marie Stvatohorské s putti a vázami po stranách, vpravo socha anděla s dítětem, která byla restaurována organokřemičitými prostředky na přelomu roku 2009/10 Danielem Hvězdou

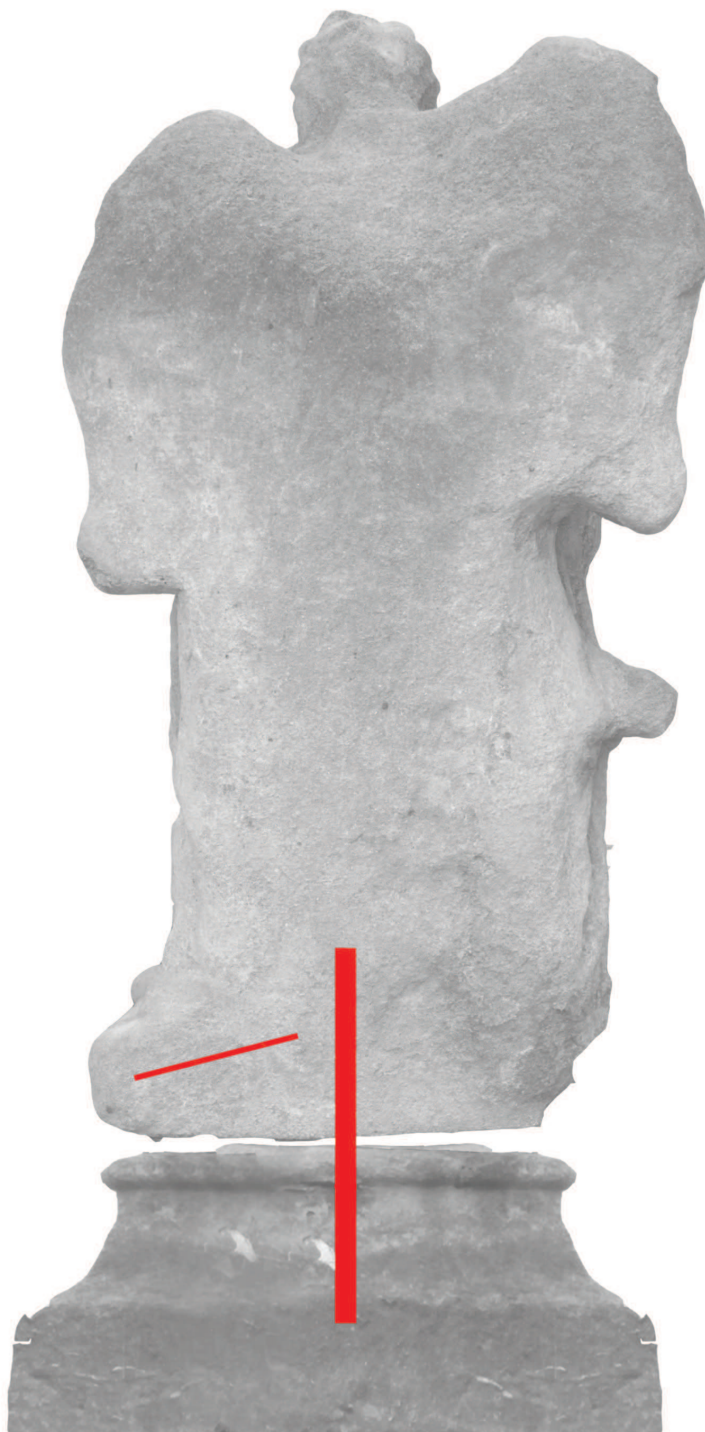


Socha anděla s dítětem z domu čp.48 v Kutné Hoře (na ohradní zdi vlevo - pravděpodobně archanděl Rafael s Tobiašem) *stav po restaurování prostředky na bázi solí hydroxidu vápenatého*



Socha anděla s dítětem z domu čp.48 v Kutné Hoře (na ohradní zdi vpravo - pravděpodobně archanděl Michael s Danielem) *socha byla restaurována organokřemičitými prostředky (2009/10)*

*Obrazová příloha k restaurování sochy anděla z domu čp. 48 z Kutné Hory – **zákres kovových spojovacích prvků***



Znázornění kovových spojovacích prvků
*uprostřed nerezový čep - trubka; fixace lepeného rohu šroubovicovým
nerezovým čepem HeliBar*

Obrazová příloha k restaurování sochy anděla z domu čp. 48 z Kutné Hory – srovnání stavu před a po restaurování



Socha anděla s dítětem z domu čp.48 v Kutné Hoře
stav před restaurováním - pohled zepředu



Socha anděla s dítětem z domu čp.48 v Kutné Hoře
stav po restaurování - pohled zepředu



Socha anděla s dítětem z domu čp.48 v Kutné Hoře
stav po restaurování - pohled z boku



Socha anděla s dítětem z domu čp.48 v Kutné Hoře
stav před restaurováním - pohled z boku



Socha anděla s dítětem z domu čp.48 v Kutné Hoře
stav po restaurování - pohled z boku



Socha anděla s dítětem z domu čp.48 v Kutné Hoře
stav před restaurováním - pohled z boku



Detail - levé koleno a pravá ruka dítěte -
pohled zepředu
stav před restaurováním



Detail - levé koleno a pravá ruka dítěte -
pohled zepředu
stav po restaurování



Detail - pravá ruka anděla spočívající na
rameni dítěte - pohled z boku
stav před restaurováním



Detail - pravá ruka anděla spočívající na
rameni dítěte - pohled z boku
stav po restaurování



Detail - levé koleno anděla - pohled z boku
stav před restaurováním



Detail - levé koleno anděla - pohled z boku
stav po restaurování



Detail - levá noha anděla - pohled z boku
stav před restaurováním



Detail - levá noha anděla - pohled z boku
stav po restaurování



Detail - draperie pod opaskem, hlava dítěte - pohled zepředu
stav před restaurováním



Detail - draperie pod opaskem, hlava dítěte - pohled zepředu
stav po restaurování



Socha anděla s dítětem z domu čp.48 v Kutné Hoře
stav před transferem a před restaurováním

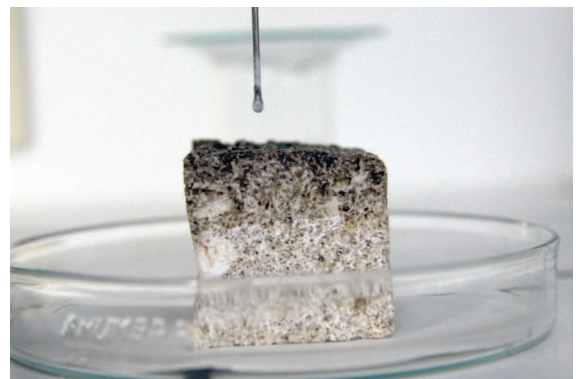
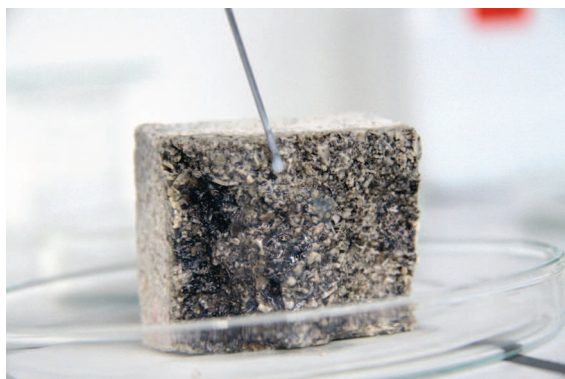


Socha anděla s dítětem z domu čp.48 v Kutné Hoře
stav po restaurování a po osazení

***Obrazová příloha k experimentální části práce – testování
nanosuspenzí hydroxidu vápenatého***



Produkty firmy IBZ-Freiberg
CaLoSiL® E50, CaLoSiL® Pasty



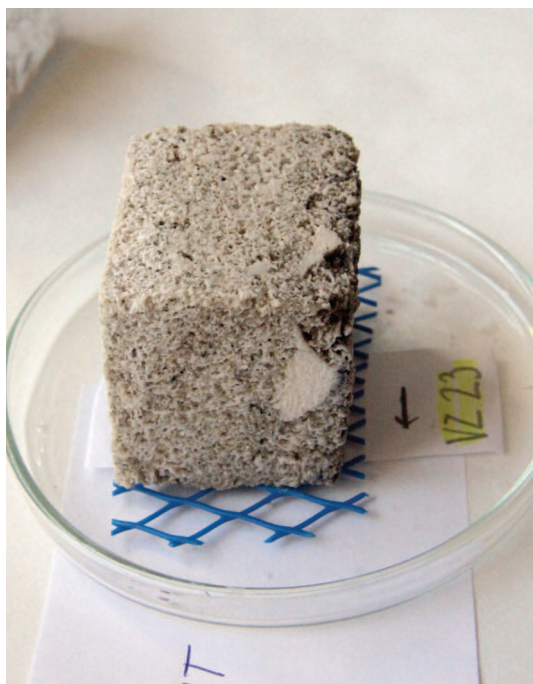
Vzorky z biodetritického vápence z oblasti Kutnohorska s korodovaným povrchem
system napouštění kapáním z injekční stříkačky - aplikace na svislou a vodorovně orientovanou plochu



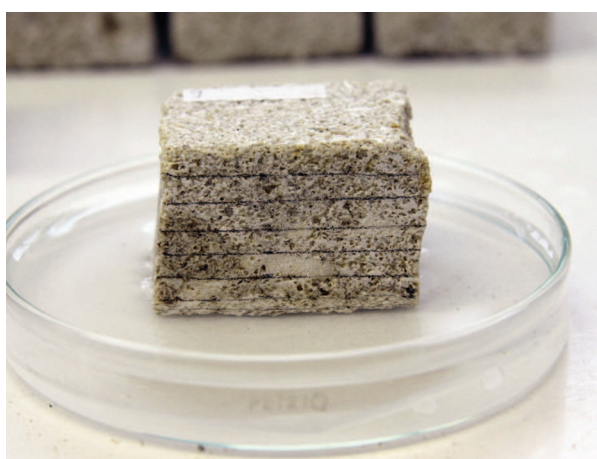
Vzorky vápence po aplikaci konsolidantu - test hloubky penetrace
vzorky po aplikaci, rozlomení a vybarvení 1% fenolftaleinem; v levo aplikace na vodorovnou plochu, vpravo na svislou plochu



Napouštění 34 testovacích tělísek
průběh napouštění



Vzorky vápence - ukázka hloubky penetrace
na vzorcích je viditelná míra penetrace konsolidantu po prvním napouštěcím cyklu (provlhčení kamene), hloubka penetrace je v důsledku prodloužení doby aplikace stanoveného objemu konsolidantu výrazně vyšší, než už předběžných testů (jak je vidět na obrázku na předchozí straně)



Měření nasákavosti vzlínáním na vzorku
fotografie dokumentuje vzpomínanou nehomogenitu materiálu, díky které nebylo některá měření možné provést



Měření ultrazvukové transmise na vzorcích vápence po konsolidaci

8 Použitá literatura a prameny

Literatura:

- HALL, James. *Slovník námětů a symbolů ve výtvarném umění*. Praha, Litomyšl : Paseka, 2008. 520 s. ISBN 978-80-7185-902-4.
- ALTOVÁ, Blanka. *Mariánský kult v Kutné Hoře ve 13. – 18. stol., Sborník muzea v Kolině. VI/96 (str. 232)*
- DRDÁČKÝ, Miloš; SLÍŽKOVÁ, Zuzana. Calcium hydroxide based consolidation of lime mortars and stone. In J.M.MIMOSO, J.Delgado-Rodrigues, et al. *In Proceedings of the Int. Symp. „Stone consolidation in cultural heritage“*. Lisabon : LNEC, May 2008. s. 299-308. ISBN 978-972-49-2135-8.

Prameny:

- ZAHRADNÍK, Pavel. *Dějiny domu : Dějiny domu čp. 48 v Kutné Hoře*. 28 s. soukromý dokument JUDr. Miroslava Ďoubala
- ŠTAFEN, Zdeněk. *Petrologické vyhodnocení horninového vzorku ze sochy Anděla v Kutné Hoře*, 2010. 4 s.

Oborové práce:

- DUNAJSKÁ, Jana . *Zhodnocení současných možností konsolidace vápenných omítek konsolidanty na bázi hydroxidu vápenatého* . Litomyšl, 2009. 53 s. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování v Litomyšli.
- ČEPELKA, Josef. *Srovnání vybraných vlastností vápenno-cementových tmelů modifikovaných přísadkou hlinitanového cementu* . Litomyšl, 2004. 54 s. Bakalářská práce. Institut restaurování a konzervačních technik Litomyšl, o. p. s.

Odborná periodika:

- Zpravodaj STOP 2/2000 - na téma Vápno z pohledu památkářů a technologů

Internetové zdroje:

- <http://cs.wikipedia.org/wiki/síla>
- <http://www.stonecore-europe.eu/>

9 Přílohy

Příloha č. 1: Závazné stanovisko

OKRESNÍ ÚŘAD KUTNÁ HORA
referát regionálního rozvoje
Radnická 178, PSČ 284 22 Kutná Hora

V Kutné Hoře dne 27.4.1999

č.j.: 165/99 č.ev.:RR/549/722/750/MA

vyřizuje: Seifert

telefon: 501 151

ROZHODNUTÍ

Okresní úřad Kutná Hora, referát regionálního rozvoje na základě ustanovení § 5 odst. 1 písm. b) zákona č. 425/1990 Sb., o okresních úřadech ve znění pozdějších předpisů a ustanovení § 29 odst. 2 písm. d) zákona č. 20/1987 Sb., o státní památkové péči ve znění pozdějších předpisů, k Vašemu záměru ze dne 26.3.1999 opravy ohradní zdi a restaurování mariánského sousoší na této ohradní zdi, která je součástí areálu domu č.p. 48 na náměstí Národního odboje v Kutné Hoře, vydává po písemném vyjádření Památkového ústavu středních Čech Praha (PÚSČ), Sabinova 5, Praha 3 ze dne 13.4. a 19.4.1999, toto

závazné stanovisko

Rekonstrukce ohradní zdi včetně restaurování sochařské výzdoby umístěné na koruně této zdi, která je součástí areálu domu č.p. 48 na náměstí Národního odboje v Kutné Hoře, který je jako nemovitá kulturní památka zapsán v Ústředním seznamu nemovitých kulturních památek pod rejstříkovým číslem 2 - A 22 je z hledisek ochrany zájmů státní památkové péče ve smyslu ustanovení § 14 odst. 1 a 8 zákona č. 20/1987 Sb., o státní památkové péči ve znění pozdějších předpisů, dle restaurátorského posudku zpracovaného panem Mgr. Janišem, PÚSČ Praha, duben 1999, *přípustné* při dodržení následujících podmínek:

Oprava ohradní zdi:

1. Na přední části zdi do náměstí Národního odboje budou zachovány lizénové rámy s hladkou omítkou a výplně s omítkou hrubou. Při opravě nebude poškozena koruna zdi z kamenných desek. Na zadní straně zdi je patrná pouze hrubá omítka, porostlá břechtanem, který před započítím opravy zdi bude odstraněn.
2. Oprava zdi bude provedena ostře hozenou hrubou omítkou, lžíci rovnanou. Vzorek struktury omítky a zrnitosti malty bude na místě odsouhlasen zástupcem PÚSČ Praha.
3. Povrch hladkých částí bude opatřen vápenným nátěrem, který bude nanášen štětkou nebo tupováním.
4. Barevnost zdi naváže na barevnost domu č.p. 48 a bude odsouhlasena na vzorku pracovníkem PÚSČ Praha.

Restaurování:

- 1.1. Sousoší a celá zeď budou zbaveny břečťanu, který bude odstraněn i v okolí zdi. Pně budou podříznuty v předstihu nejméně tří až čtyř týdnů, aby úponky ztratily přilnavost. Rovněž bude redukován dosah větví borovice nad sochou Madony.
- 2.2. Repase kamenných ploten koruny zdi bude posouzena na místě pracovníkem PÚSČ Praha. Lokální plastické defekty na hranách desek nebudou tmeleny s výjimkou úbytku hmoty ohrožující okapní funkci. Bude provedeno čištění desek, jejich hloubková konsolidace a hydrofobizace.
- 3.3. V rozsahu celého sousoší bude provedena injektáž uvolněných partií sochařského díla za synchronní hloubkové konsolidace kamene.
- 4.4. Bude provedeno celkové čištění krustosních nárůstů ve srážkových stínech.
- 5.5. Vzhledem ke kompoziční úplnosti sousoší (s výhradou skrytého anděla) se nepočítá s výraznějšími modelačními doplňky, tmelení bude prováděno když se bude jednat o zabezpečení konzervace. Zástupcem PÚSČ Praha bude posouzena případná možnost barevných retuší.
- 6.6. Po opravách sousoší bude provedena závěrečná hydrofobizace.
- 7.7. Před započítím restaurování bude s vybraným restaurátorem a s příslušným pracovníkem PÚSČ Praha konzultován na místě technologický postup.
- 8.8. Restaurování bude provádět restaurátor s příslušným povolením Ministerstva kultury České republiky (MK ČR) pro restaurování kamenosochařských uměleckých děl v kameni. Průběh prací bude dokumentován v restaurátorské zprávě, která bude v jednom provedení předána do archivu PÚSČ Praha a Okresnímu úřadu Kutná Hora, referátu regionálního rozvoje.

Toto rozhodnutí nenahrazuje řízení podle zákona č. 50/1976 Sb. o územním plánování a stavebním řádu ve znění pozdějších předpisů, úplné znění vyhlášeno pod č. 197/1998 Sb., ke kterému je příslušný Městský úřad Kutná Hora, stavební úřad.

Odůvodnění

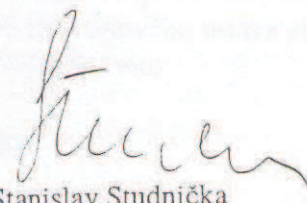
Jedná se o umělecky pojednanou hodnotnou zeď na kterém je vztyčeno mariánské sousoší na východní straně náměstí a tvoří je hmotově a výškově graduující soubor kamenných soch s ústřední figurou Panny Marie Svatohorské na bohatě dekorovaném postamentu. Dle letopočtu je dílo asi z roku 1764 a autor díla není znám. Sousoší je intenzivně obrostlé břečťanem, který se sem volně šíří z přilehlé zahrady a to tak, že figura anděla přimlouve vpravo (pohled z ulice) je zcela skryta a statue Madony jen zčásti. Výtvarný materiál skulpturální části je v pokročilém stavu korose a nárustu krust, zejména ve srážkových stínech,

které se otevírají a odpadávají s původní sochařsky traktovanou hmotou. V kompozičním smyslu jsou sochy (s výhradou skrytého anděla) úplné. Restaurování sousoší spolu s opravou ohradní zdi podstatně vylepší vzhled náměstí Národního odboje. Požadovaná licence MK ČR u prováděcího restaurátora vyplývá z příslušných ustanovení zákona o státní památkové péči.

Poučení

Proti tomuto rozhodnutí je možno se odvolat do 15 dnů ode dne doručení k Ministerstvu kultury České republiky v Praze písemným podáním u Okresního úřadu Kutná Hora - referátu regionálního rozvoje.




Ing. Stanislav Studnička
vedoucí referátu

Obdrží:

- JUDr. Jana Prokopová, Na Trávníku 755, Kutná Hora
- ✓ JUDr. Bedřich Prokop, Na Trávníku 755, Kutná Hora
- JUDr. Hana Ďoubalová, U Kola 241, Kutná Hora

Na vědomí:

Městský úřad Kutná Hora, stavební úřad, Havlíčkovo náměstí 552

Příloha č. 2: Popis projektu STONECORE

V rámci projektu STONECORE, jehož partnerem je i Fakulta restaurování Univerzity Pardubice, prováděla jedno z prvních rozsáhlých testování řady konsolidantů, kterými se projekt zabývá, Jana Dunajská. Ta svoje poznatky shrnula ve své bakalářské práci (*DUNAJSKÁ, Jana . Zhodnocení současných možností konsolidace vápenných omítek konsolidanty na bázi hydroxidu vápenatého . Litomyšl, 2009. 53 s. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování v Litomyšli.*), kde věnovala jednu podkapitolu právě popisu projektu STONECORE. Její formulaci, která se v práci nachází na straně 28 a 29, jsem si dovolila odcitovat:

„Vývoj, modifikace a testování aplikačních možností nanomateriálů na bázi hydroxidu vápenatého (případně hydroxidu hořečnatého, uhličitanu vápenatého nebo hořečnatého), je hlavní náplní mezinárodního projektu STONECORE (Stone Conservation for Refurbishment of Buildings, EU-projekt v 7. rámcovém programu, NMP-SE-2008-213651; <http://www.stonecore-europe.eu/index.php>), do kterého je zapojená i Fakulta restaurování Univerzity Pardubice. Jednotlivé dílčí cíle projektu jsou formulovány následovně :

- *vyvinout nanomateriál kompatibilní s přírodním i umělým kamenem vhodný pro obnovu budov, soch, fresek, omítek a malt,*
- *vyvinout nanomateriál použitelný k bezpečnému a ekologickému odstraňování plísní a řas,*
- *vyvinout a testovat vhodné technologie aplikace nanomateriálů pro obnovu památek*
- *vyvinout nové pomůcky, přístroje a zařízení pro nedestruktivní průzkum, zlepšit účinnost vyvinutých materiálů in situ pomocí nedestruktivních metod*

Šest tzv. SME (small and medium enterprises – malé a střední podniky), čtyři univerzity, jedna veřejná výzkumná a jedna státní organizace ze sedmi zemí se spojili, aby našli nový přístup obnovy přírodního i umělého kamene. Myšlenkou projektu je spojit aplikovaný průzkum provedený participujícími SME s důležitým výzkumem realizovaným na univerzitách. Projekt by měl vést od laboratorního výzkumu a aplikaci na zkušebních plochách k použití vyvinutého materiálu na vybraných reprezentačních objektech.

STONECORE kombinuje výzkum na poli aplikované anorganické chemie, materiálové vědy, mikrobiologie, geofyziky a sofistikované charakteristice materiálů s tradičním restaurováním a konzervací.

Jedná se o kompletně nový koncept založený na znalostech a vedoucí k obnově staveb a konzervaci kulturního dědictví. Snahou je uvést nanomateriály a sofistikované nedestruktivní metody průzkumu do běžného stavebního a konzervátorského provozu.

Řešitelský kolektiv projektu:

- *Ingenieurbuero Dr. Ziegenbalg GbR IBZ Freiberg, D*
- *Geoservice, GR*
- *Strotmann & Partner, D*
- *Restauero, D*
- *GEOTRON, D*
- *Industrial Microbiological Services LTD, GB*
- *University of Fine Arts Dresden, D*
- *Direction for the Restoration of Ancient Monuments (Greek Ministry of Culture), GR*
- *UTAM AV ČR, Praha, CZ*
- *Delft University of Technology, NL*
- *University of Applied Arts, Institute of Art and Technology, Vinna, A*
- *Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování, CZ“*

Příloha č. 3: Petrologické vyhodnocení horninového vzorku ze sochy Anděla v Kutné Hoře

Petrologické vyhodnocení horninového vzorku ze sochy Anděla v Kutné Hoře

Z. Štaffen, 2010

V ateliéru restaurování Pardubické univerzity v Litomyšli byl odebrán vzorek ze sochy anděla přemístěného sem k opravě z Kutné Hory. Makroskopicky je zřetelné, že se jedná o charakteristický materiál pro kutnohorský region, tedy tzv. příbojový písčité vápenec, který je někdy kameníky a sochaři nazýván „mušlák“. Toto označení získal v důsledku přítomnosti morfologicky i barevně výrazných zlomků schránek měkkýšů, které tvoří spolu s pískem a drtí těchto schránek, zbývající hmotu kamene. Toto složení ovlivňuje známým způsobem fyzikálně-mechanické vlastnosti tohoto materiálu. Je příčinou jeho zvýšené až velmi vysoké porozity s rozměry pórů v milimetrech. Rovněž zpevnění (diagenese) je u hrubozrnných forem těchto vápenců nízké, neboť biodetrit a křemenné úlomky jsou vzájemně spojeny sekundárním kalcitem (sparitem) pouze v místech jejich dotyku. Z toho je zřejmé, že destrukcí tmelu vnějšími vlivy (zpravidla sádrovcem) dochází k snadnému rozpadu struktury kamene a jeho tzv. „pískovatění“, kdy se struktura vápence mění v písčité sediment. Ten se nejprve hromadí v prostoru mezi nepoškozenou horninou a krustou, po jejíž destrukci dojde k uvolnění a vysypání písčité hmoty za současné ztráty objemu kamene a jeho tvarosloví.

Odebraný vzorek ze sochy anděla náleží litologicky do výše uvedené skupiny druhohorních sedimentů svrchnokřídové sedimentace v české křídové pánvi na Kutnohorsku. Stratigraficky patří s nejvyšší pravděpodobností k příbojovým sedimentům bělohorského souvrství (spodního turonu) v tomto regionu. Je charakteristickým stavebním a sochařským materiálem Kutné Hory prakticky do závěru 19. století.

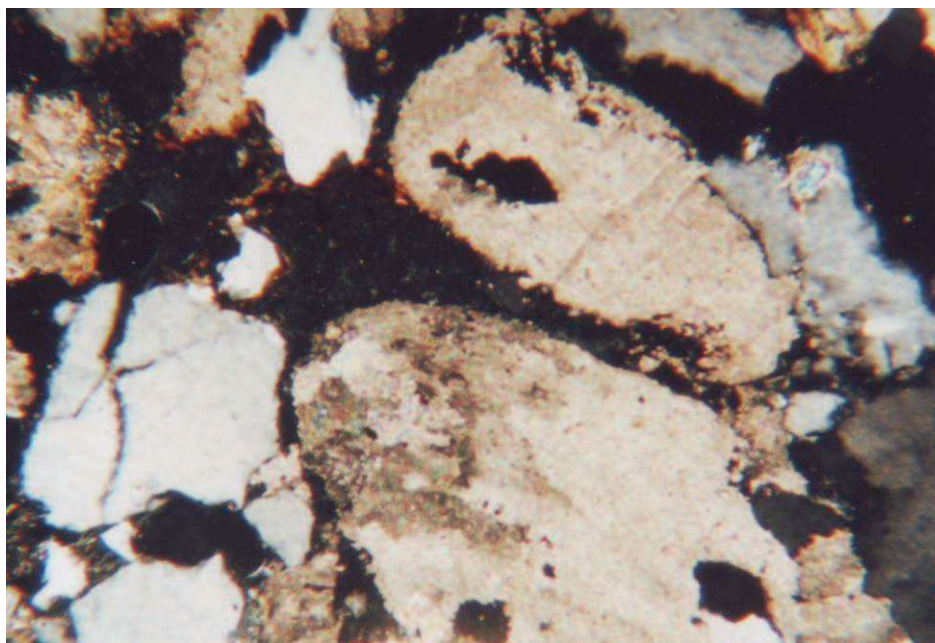
Klastický materiál hodnoceného vzorku je tvořen jednak pobřežní klastikou splavenou do sedimentačního prostoru z pevniny (křemen, úlomky hornin – metamorfik, slída), jednak biodetritem, ve kterém v tomto případě převažují prizmatické vrstvičky schránek měkkýšů (ústřic). Neobvyklé (ve srovnání s jinými vzorky) je výrazné suboválné až oválné opracování těchto vápencových (sparitových) bioklastů. Svědčí o původu písčitého vápence z vyšších stratigrafických poloh bělohorského souvrství, kdy již došlo k opracování jinak ostrohranného biodetritu v pobřežních vodách (příboji) svrchnokřídového moře.

Strukturně se jedná o **hrubozrnný až velmi hrubozrnný písčité biodetritický vápenec**. Diagenetickým (zpevňujícím) procesem je nepochybně druhotná kalcifikace (sparitizace) míst dotyku jednotlivých klastů, tvořících strukturu sedimentu. V důsledku toho si hornina zachovává vysoké procento porozity mezi klasty, která může být v přípovrchových vrstvách kamene ještě druhotně zvýšena rozpouštěním a úbytkem jeho tmelu.

Součástí hmoty hodnoceného vzorku je rovněž identifikovaná antropogenní směs na povrchu kamen, která je pravděpodobně vápennou (mikritovou) maltou nebo vápenným tmelem. Umělý původ směsi naznačuje přítomnost úlomků hutní strusky. Ostatní plnivo tvoří obvyklá klastika, která je směsí úlomků hornin, vápence a křemene. Porozita této směsi (malty, tmelu?) je nízká. Patrně jsou pouze dilatační trhliny ve vápenném pojivu, které však patrně nevedou k jeho destrukci. Přílnavost na povrch kamene je u hodnoceného vzorku dobrá.

V okolí hematitizovaných úlomků primárně patrně metamorfovaných hornin byla zaznamenána poměrně výrazná koroze kalcitových klastů (biodetrit). Porozita sedimentu je na fotodokumentaci vyznačena zelenými šipkami, umístěnými do středu pórů, kterými prosvítá brusný materiál (černé tečky). Kámen je nepochybně kutnohorského původu.

Kutná Hora – anděl
petrologické vyhodnocení



Vápenec biotritický písčítý, hrubozrný
zvětšeno 32x. nikoly X
struktura – opracovaný kalcitový biotrit, křemenné klasty, hematit - limonit

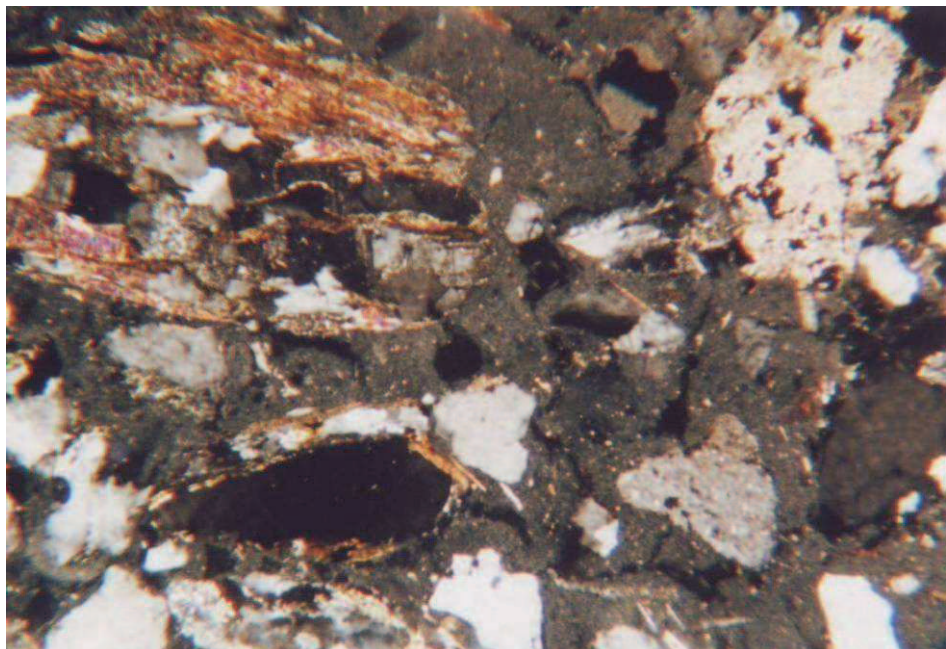


Vápenec biotritický písčítý, hrubozrný
zvětšeno 32x. nikoly X
struktura – opracovaný kalcitový biotrit, křemenné klasty

Kutná Hora – anděl
petrologické vyhodnocení

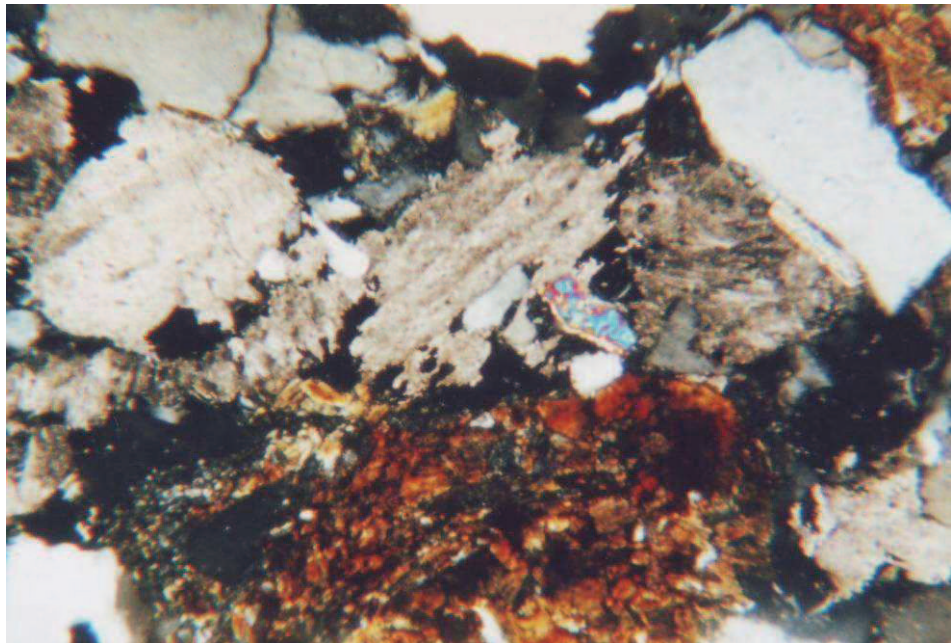


Malta mikritická – tmel? na povrchu kamene
zvětšeno 32x. nikoly X
struktura – mikritové pojivo s klastikou – pojivem (horniny, hutní struska)



Malta mikritická – tmel? na povrchu kamene
zvětšeno 32x. nikoly X
struktura – mikritové pojivo s klastikou – pojivem (horniny, hutní struska, křemen)

Kutná Hora – anděl
petrologické vyhodnocení

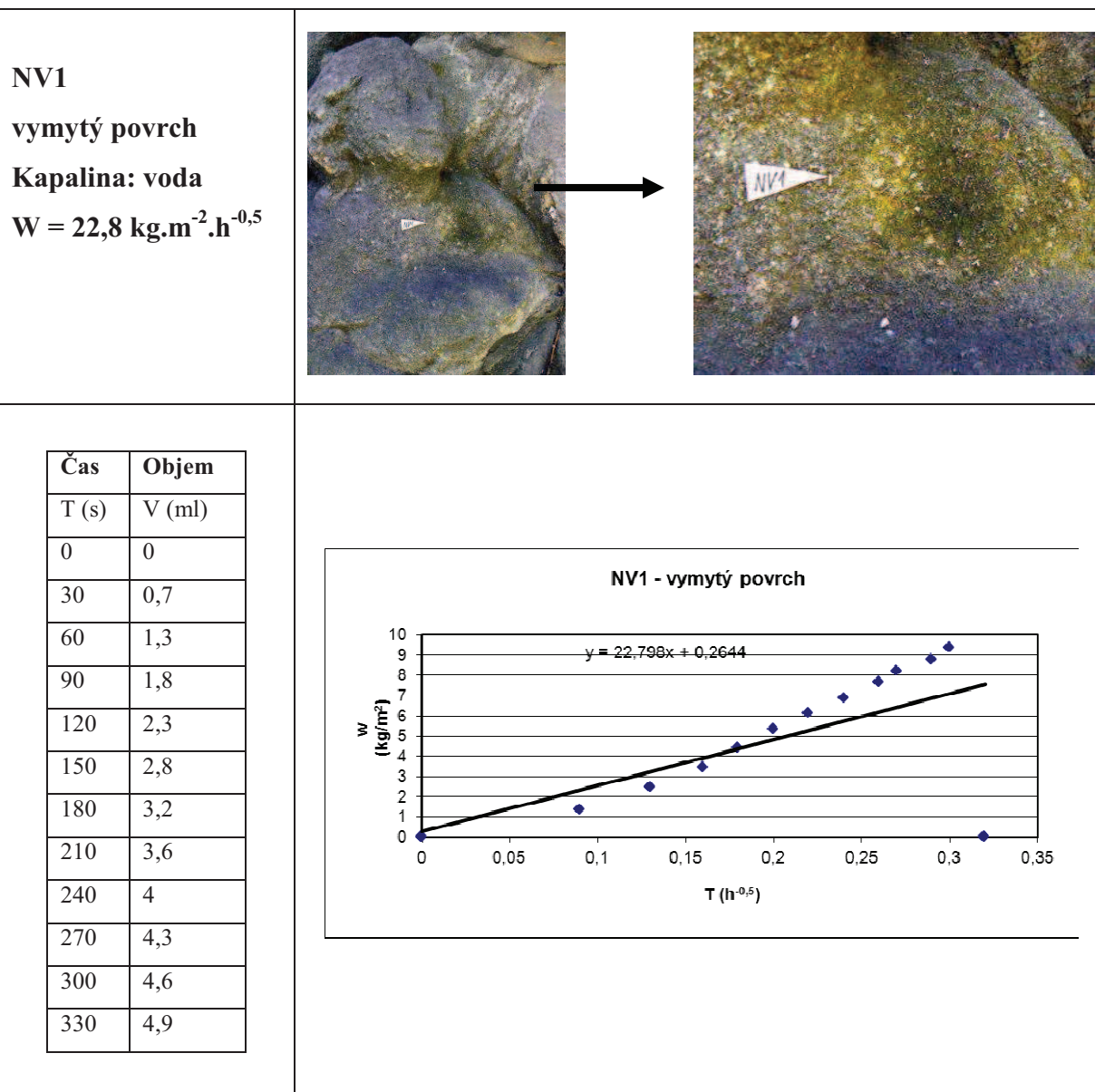


Vápenec biodetritický písčítý, hrubozrný
zvětšeno 32x. nikoly X
struktura - hematizace slídového obsahu hornin, koroze kalcitu v biodetritu



Vápenec biodetritický písčítý, hrubozrný
zvětšeno 32x. nikoly II
vysoká porozita mezi klasty

Příloha č. 4: Měření nasákavosti na soše anděla¹



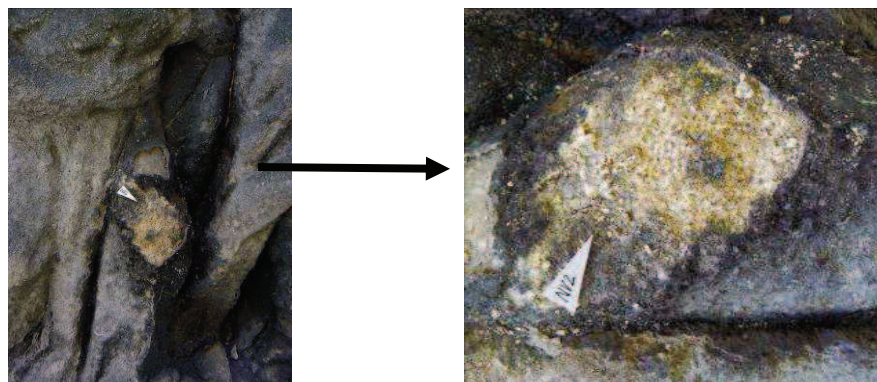
¹ Vypracovali Dana Macounová a ing. Karol Bayer

NV2

korodovaný povrch

Kapalina: voda

$W = 106,3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-0,5}$



Čas	Objem
T (s)	V (ml)
0	0
30	5,0

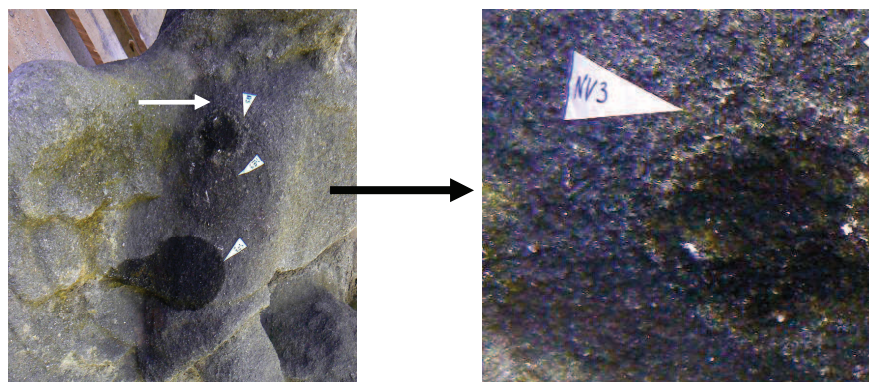
Rychlost vsakování vody neumožnila provést sérii měření a proto byl koeficient v tomto případě vypočítán přímo

NV3

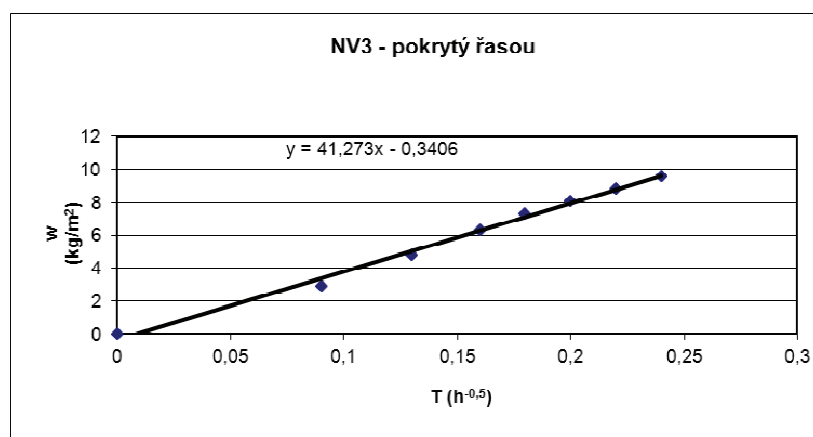
povrch pokrytý řasou

Kapalina: voda

$W = 41,3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-0,5}$



Čas	Objem
T (s)	V (ml)
0	0
30	1,5
60	2,5
90	3,3
120	3,8
150	4,2
180	4,6
210	5

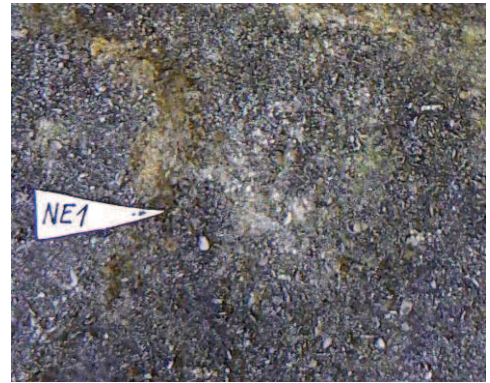


NE1

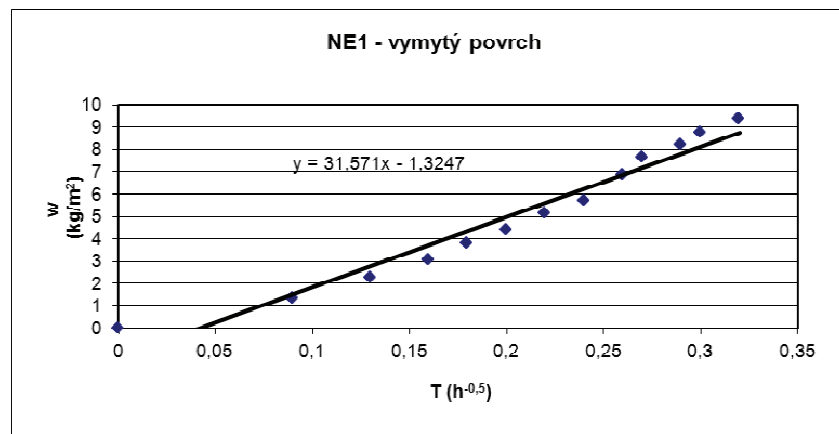
vymytý povrch

Kapalina: ethanol

$W = 31,6 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-0,5}$



Čas	Objem
T (s)	V (ml)
0	0
30	0,7
60	1,2
90	1,6
120	2
150	2,3
180	2,7
210	3
240	3,6
270	4
300	4,3
330	4,6
360	4,9

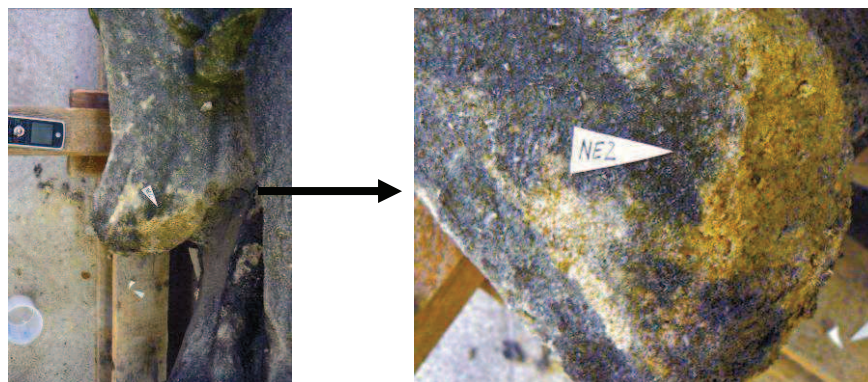


NE2

korodovaný povrch

Kapalina: ethanol

$W = 106,3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-0,5}$



Čas	Objem
T (s)	V (ml)
0	0
30	5,0

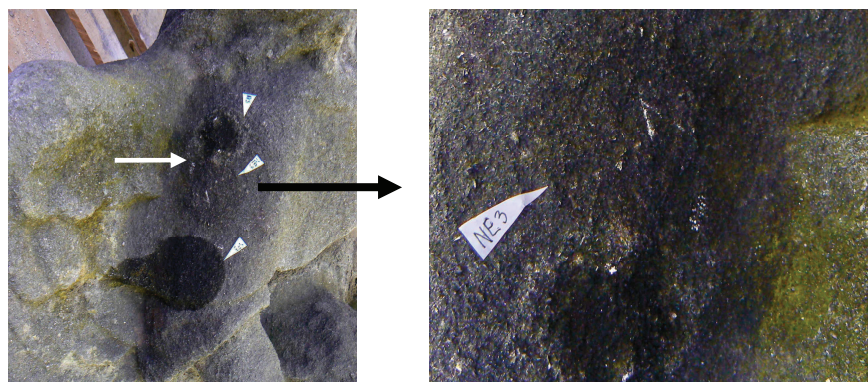
Rychlost vsakování vody neumožnila provést sérii měření a proto byl koeficient v tomto případě vypočítán přímo

NE3

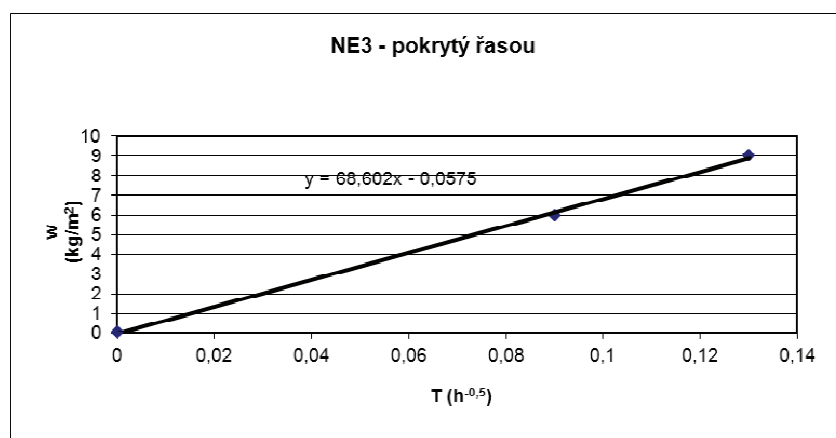
povrch pokrytý řasou

Kapalina: ethanol

$W = 68,6 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-0,5}$



Čas	Objem
T (s)	V (ml)
0	0
30	3,1
60	4,7



Příloha č. 5: Průzkum povrchových vrstev a studium struktury horniny²

Socha Anděla z domu čp. 48 v Kutné Hoře

Objekt: Vápencová socha anděla, sochařská výzdoba ohradní zdi domu čp.48 v Kutné Hoře

Zadání:

- specifikace typu nečistot a krust na povrchu kamene
- průzkum korodovaného povrchu vápence
- identifikace použitých doplňovacích materiálů
- studium struktury korodovaného vápence se zaměřením na jeho porozitu

Metody analýz:

Optická mikroskopie (optický mikroskop NIKON Eclipse 600, digitální fotozařízení NIKON COOLPIX 990)

Rastrovací elektronová mikroskopie s energo-dispersní analýzou (rastrovací elektronový mikroskop s RTG energodisperzním analyzátozem, JEOL JSM 5500 LV s RTG energodisperzivním analyzátozem GRESHAM a detektorem Sirius 10 Si)³; (Rastrovací elektronový mikroskop Philips ESEM XL 30 a FEI Quanta 200F)⁴

Postup přípravy vzorků:

Odebrané vzorky byly prozkoumány přímo jako úlomky a následně byly z části vzorku připravené nábrusy. Nábrusy byly zhotoveny zalitím do akrylátové pryskyřice (bezbarvá pryskyřice Spofacryl[®], Spofa dental a.s.) a následně vybroušeny a vyleštěny. Nábrusy byly použity pro optickou i rastrovací elektronovou mikroskopii.

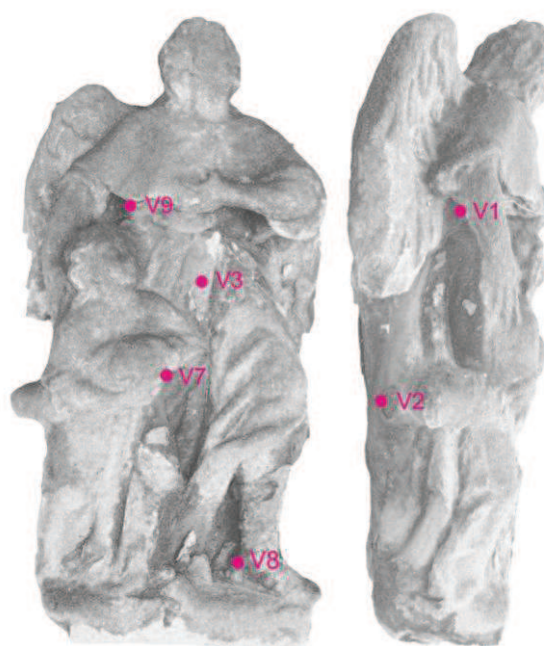
² Vypracovali Dana Macounová a ing. Karol Bayer

³ měření provedeno ve spolupráci s ing. Milanem Vlčkem, CSc, pracoviště Společné laboratoře chemie pevných látek AV ČR a Univerzity Pardubice v Pardubicích

⁴ Analýzu zpracoval ing. Karol Bayer, pracoviště Institutu pro umění a technologie, Univerzita pro užité umění ve Vídni

Místa odběru vzorků:

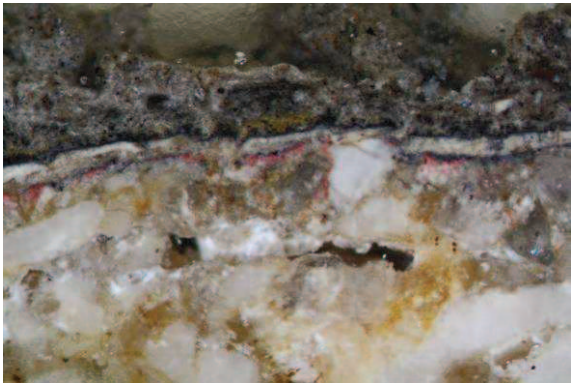
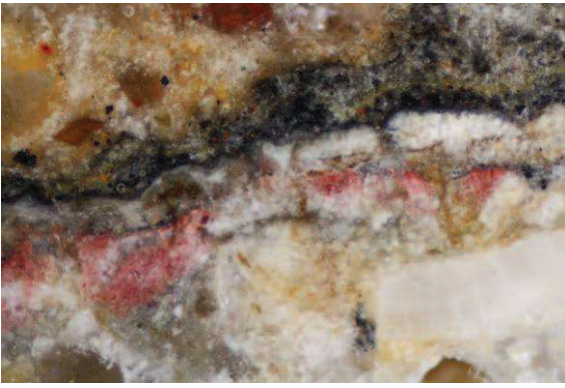
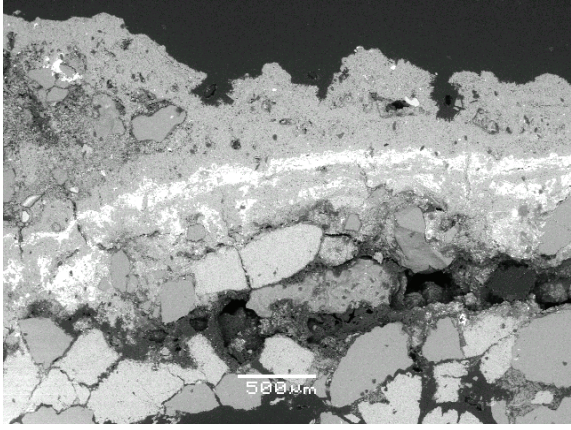
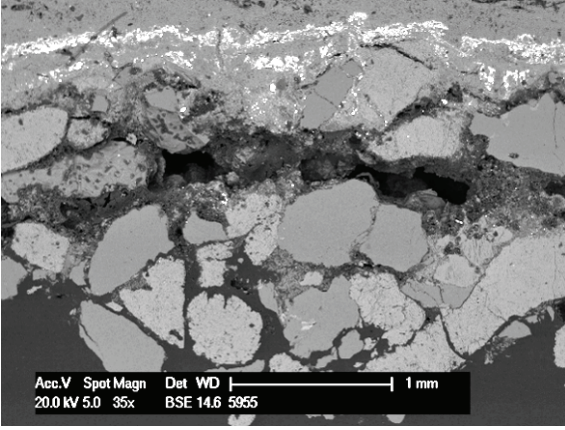
č. vz	popis místa odběru a specifikace
V1	krusta po pravou rukou anděla
V2	světlý tmel z pravého boku sochy, v úrovni pasu dítěte
V3	tmel z drapérie v pase anděla, zepředu
V7	pod levou rukou dítěte
V8	u levé nohy anděla, u paty vpravo
V9	pravé podpaží anděla, u opasku
V11	Pro účely analýzy morfologie povrchu horniny byl odebrán vzorek z fragmentů rozdrobené části podstavy, který není možné blíže lokalizovat



Zákres míst odběru vzorků na mikroskopii

Výsledky měření:

Vzorek V1 (5955) - povrch kamene s fragmenty barevné úpravy

	
<p>Obr.1. Nábrus, optický mikroskop, dopadající světlo, fotografováno při zvětšení 50x</p>	<p>Obr.2. Nábrus, optický mikroskop, dopadající světlo, fotografováno při zvětšení 100x, detail s fragmenty povrchových úprav</p>
	
<p>Obr.3. Nábrus, REM-BEI, foto v režimu odražených elektronů, barevné vrstvy</p>	<p>Obr.4. Nábrus, REM-BEI, foto v režimu odražených elektronů, detail s korodovaným povrchem vápence</p>

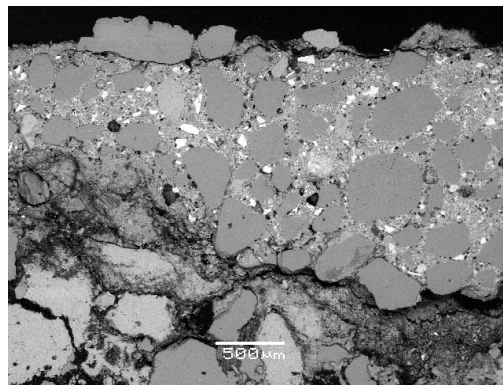
Popis vrstev:

0	Vápenec, viditelně korodovaná zóna s prasklinami paralelně k povrchu, uvolňování jednotlivých zrn horniny, částečná sulfatizace
1	Fragmenty červené vrstvy – nátěr obsahující olovnatou bělobu, příměs červeného okru a sádrovce (sádrovec pravděpodobně nebyl součástí barevné vrstvy, ale byl do ní zanesený z okolních vrstev a v důsledku sulfatizace povrchu vápence), mohlo by se jednat o původní povrchovou úpravu
-	Tenká vrstva nečistot obsahující hlavně sádrovec
2	Nepřavidelně zachovaná bílá, krakelovaná vrstva – obsahuje olovnatou bělobu a baryt (pozdější úprava), příměs sádrovce (zdroj je pravděpodobně stejný jako v případě vrstvy 1)
3	Silná vrstva tmavé krusty – obsahuje hlavně sádrovec, různé prachové částice (silikáty, sazové částice)

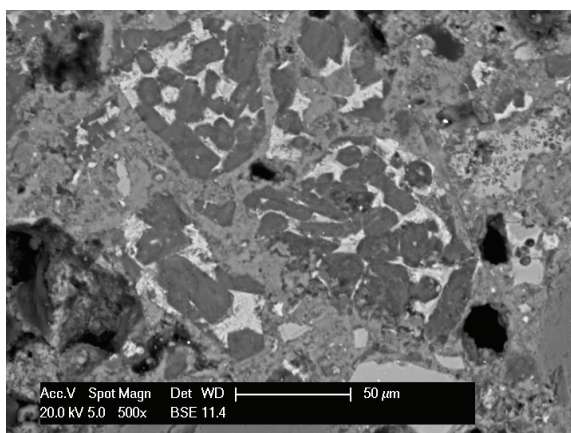
Vzorek V2 (5956) – povrch kamene s vrstvou tmelu



Obr.5. Nábrus, optický mikroskop, dopadající světlo, fotografováno při zvětšení 50x



Obr.6. Nábrus, REM-BEI, foto v režimu odražených elektronů

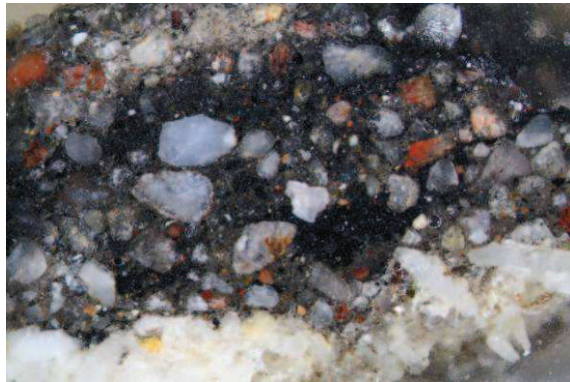


Obr.7. Nábrus, REM-BEI, foto v režimu odražených elektronů, tmel, detail fragmentu slínkových částic

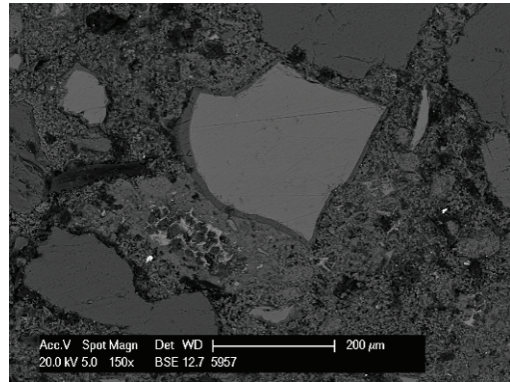
Popis vrstev:

0	Vápenec, viditelně korodovaná zóna pod vrstvou tmelu, oddělování tmelu od horniny, uvolňování jednotlivých zrn horniny, částečná sulfatizace
1	Kompaktní tmel šedé, nahnědlé barvy – pojivem je hlavně portlandský cement (prakticky výlučně portlandsky cement), jako kamenivo byl použitý křemenný písek obsahující kromě oválných zrn křemene i malou příměs dalších hlinitokřemičitých částic (živce) s velikostí zrn do 1 mm (hlavní část tvoří zrna velikosti 0,2 – 0,5 mm), pro úpravu barevnosti byly pravděpodobně použité zemité pigmenty a uhlíkatá čern, povrch tmelu je částečně sulfatizovaný Tmel je velmi kompaktní, s nízkou porositou, výrazně nižší než samotný vápenec.

Vzorek V3 (5957) – povrch kamene s vrstvou tmelu



Obr.8. Nábrus, optický mikroskop, dopadající světlo, fotografováno při zvětšení 50x

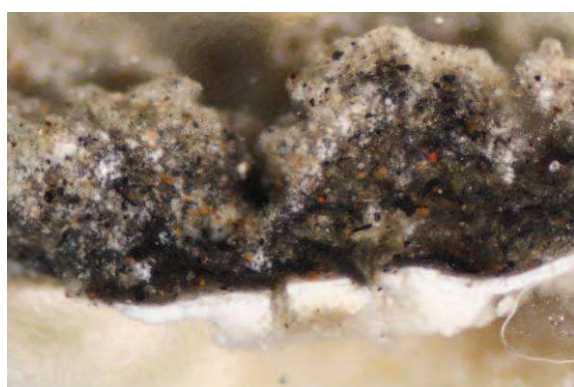


Obr.9. Nábrus, REM-BEI, foto v režimu odražených elektronů, detail základní hmoty tmelu s fragmenty slínkových částic z cementu

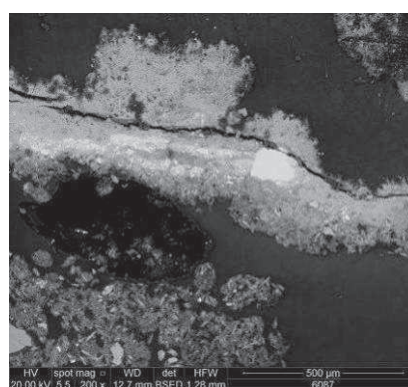
Popis vrstev:

0	Vápenec, viditelně korodovaná zóna pod vrstvou tmelu, oddělování tmelu od horniny, uvolňování jednotlivých zrn horniny, částečná sulfatizace
1	Kompaktní tmel tmavošedé barvy – pojivem se opět hlavně portlandský cement, jako kamenivo byl použitý křemenný písek obsahující zrna křemene různorodě hlinitokřemičité částice (živce, drobné horninové úlomky) s velikosti zrn do 1 mm (hlavní část tvoří zrna velikosti 0,2 – 0,5 mm), pro úpravu barevnosti byly pravděpodobně použité zemité pigmenty a uhlíkatá čerň, povrch tmelu je částečně sulfatizovaný Tak jako v předcházejícím vzorku i v tomto případě je tmel velmi kompaktní, s výrazně nižší porositou než samotný vápenec.

Vzorek V7 (6087) – povrch kamene s krustou



Obr.10. Nábrus, optický mikroskop, dopadající světlo, fotografováno při zvětšení 100x

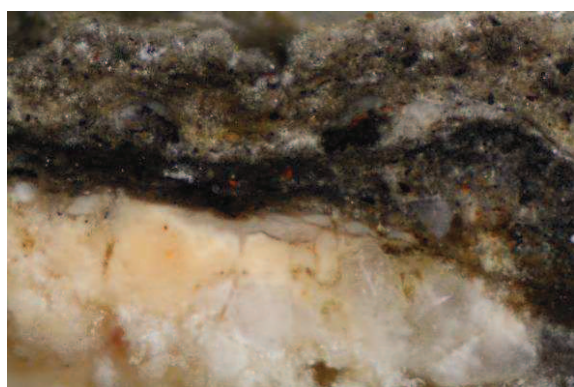


Obr.11. Nábrus, REM-BEI, foto v režimu odražených elektronů

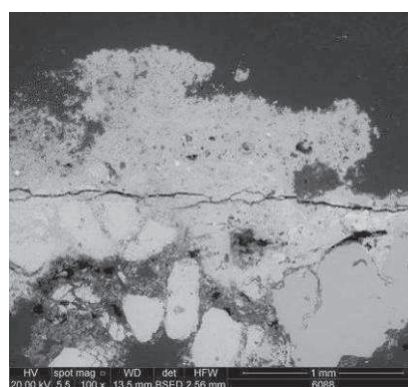
Popis vrstev:

0	Fragmenty korodovaného povrchu vápence
1	Tmavá sádrovcová krusta (sádrovec, prachové částice) s fragmenty povrchových úprav – pravděpodobně dvě vrstvy, spodní obsahuje olovnatý pigment (pravděpodobně olovnatá běloba) a horní obsahuje barytovou bělobu a olovnatý pigment (pravděpodobně olovnatá běloba)

Vzorek V8 (6088) – povrch kamene s krustou



Obr.12 Nábrus, optický mikroskop, dopadající světlo, fotografováno při zvětšení 100x



Obr.13. Nábrus, REM-BEI, foto v režimu odražených elektronů

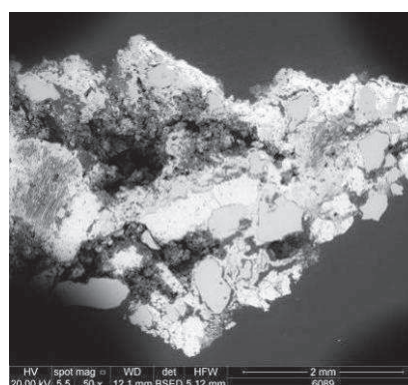
Popis vrstev:

0	Korodovaný povrch vápence, částečná sulfatizace
1	Tmavá sádrovcová krusta (sádrovec, prachové částice), ojedinělé fragmenty barevné vrstvy obsahující olovnatý pigment

Vzorek V9 (6089) – povrch kamene s krustou



Obr.14. Nábrus, optický mikroskop, dopadající světlo, fotografováno při zvětšení 50x

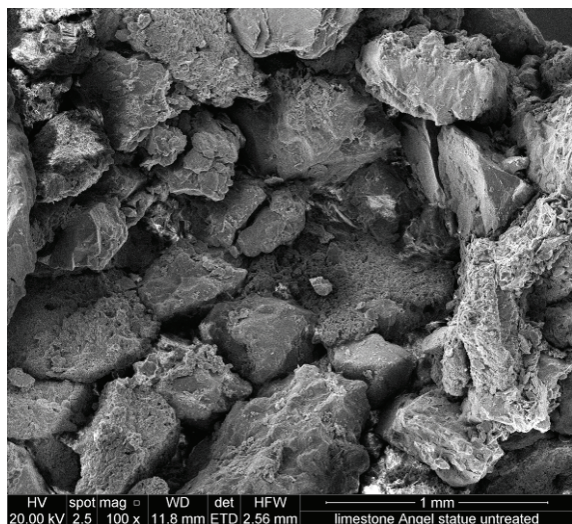


Obr.15. Nábrus, REM-BEI, foto v režimu odražených elektronů

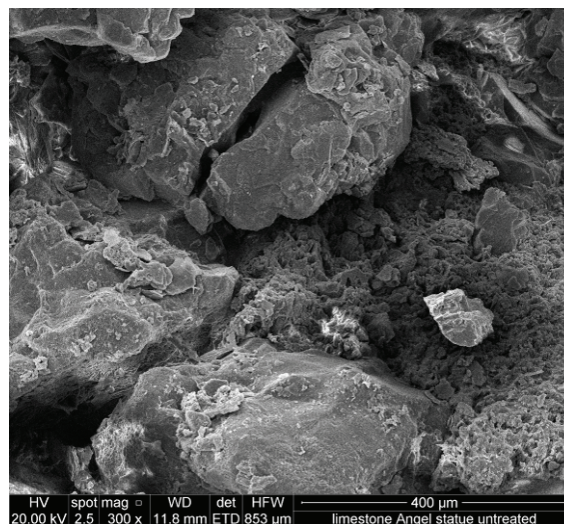
Popis vrstev:

0	Fragmenty korodovaného povrchu vápence
1	Fragmenty bílé vrstvy – obsahuje olovnatý pigment (pravděpodobně olovnatá běloba) a příměs sádrovce (sádrovec pravděpodobně nebyl součástí barevné vrstvy, ale byl do ni zanesený z okolních vrstev a v důsledku sulfatizace povrchu vápence), mohlo by se jednat o původní povrchovou úpravu
2	Tmavá sádrovcová krusta (sádrovec, prachové částice)

Vzorek V11 - Vzorek horniny - korodovaný vápenec z podstavy sochy



Obr.16. Struktura korodovaného vápence, lomová plocha horniny, REM-SEI, foto v režimu sekundárních elektronů



Obr.17. Struktura korodovaného vápence, lomová plocha horniny, REM-SEI, foto v režimu sekundárních elektronů

Popis morfologie povrchu vzorku:

Vápenec má vysokou porozitu, vzhledem k velikosti pórů (do velikosti 100-150 μm) jej lze označit jako hruboporézní. Jedním z důsledků koroze dané horniny je i další

zvyšování porozity. Zrna vápence jsou propojeny pouze dotykově, vzájemné propojení je poměrně slabé. V hornině je viditelná síť mikrotrhlin.

Příloha č. 6: Zpráva k měření ultrazvukové transmise před restaurováním⁵

Socha Anděla z domu čp. 48 v Kutné Hoře

Průzkum stavu sochy metodou ultrazvukové transmise

Objekt: Vápencová socha anděla, sochařská výzdoba ohradní zdi domu čp.48 v Kutné Hoře

Zadání:

- nedestruktivní zjištění stavu sochy
- posouzení míry degradace na jednotlivých místech
- lokalizace případných skrytých poškození
- hodnocení funkčnosti tmelů (propojení s horninou)

Metoda měření:

Princip metody spočívá v měření rychlosti přechodu longitudální vlny (p-vlny) zkoumaným materiálem. Rychlost uz-signálu je pro daný materiál charakteristickou veličinou. V masivnějších horninách s vyšší mírou stmelení je rychlost ultrazvuku vyšší než v horninách poréznějších, obvykle méně stmelených. Tato souvislost platí i mezi stejným typem zvětrané a nezvětrané horniny. V poškozených, korodovaných kamenných objektech, jejich částech nebo vrstvách, je proto rychlost ultrazvuku nižší než v nepoškozených, „zdravých“ objektech resp. jeho částech. V případě existence poškození, nehomogenit a trhlin je signál zpomalený, deformovaný nebo neprochází vůbec.

Měřením se zjišťuje čas t přechodu uz-signálu zkoumaným objektem o tloušťce d .

zdroj signálu ➤ objekt ➤ příjem signálu

Z naměřeného času t a vzdálenosti (tloušťky) d lze rychlost v vypočítat dle vztahu:

$v = d/t$ (m/s) příp. (km/s)

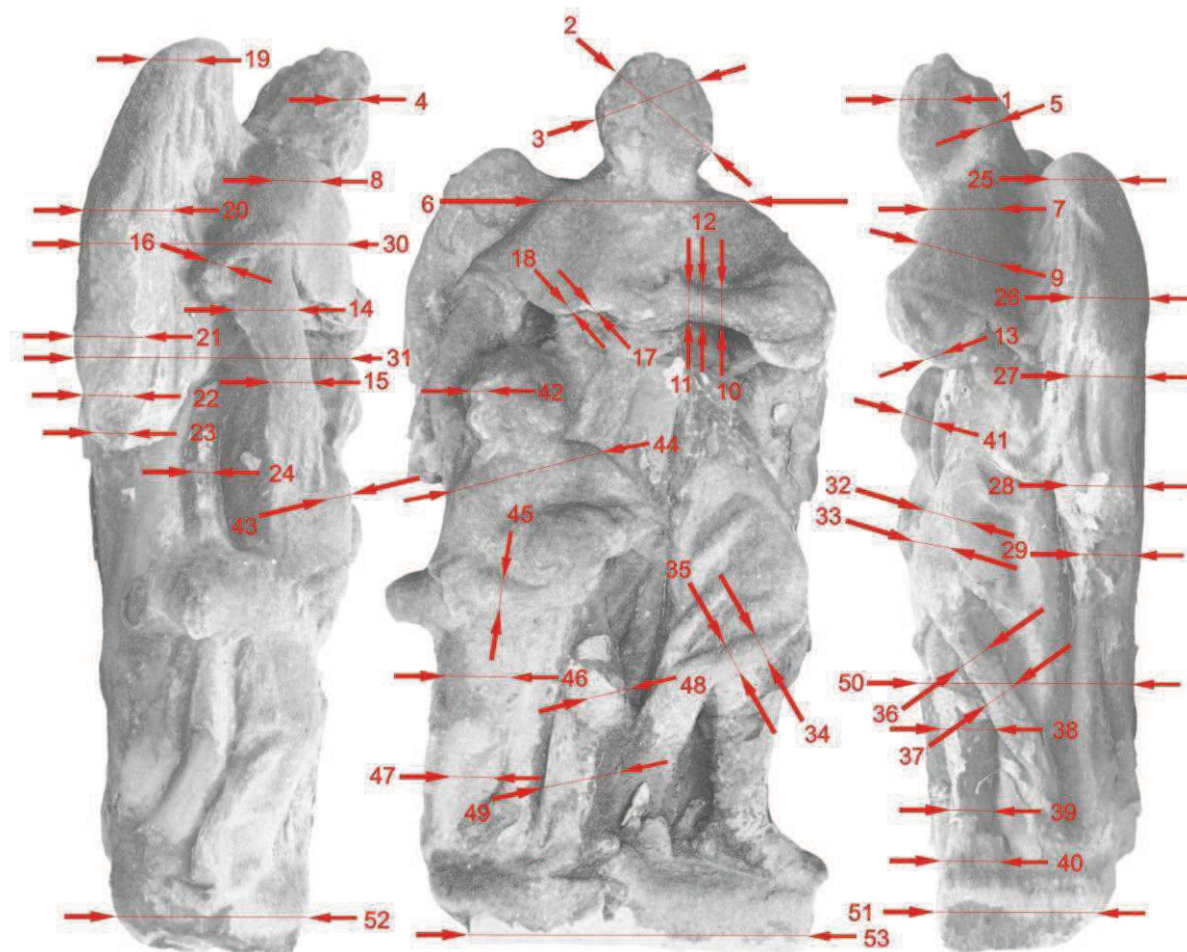
v - rychlost uz

d - měřená vzdálenost

t - čas přechodu signálu

⁵ Vypracovali Dana Macounová a ing. Karol Bayer

Vlastní měření bylo provedeno přístrojem USME-C (fa. Krompholz, BRD) s měřicí frekvencí 250 kHz. Jako spojovací materiál pro přiložení sond byl použitý trvale plastický tmel na bázi silikonového kaučuku (bez přídavku změkčovadel).

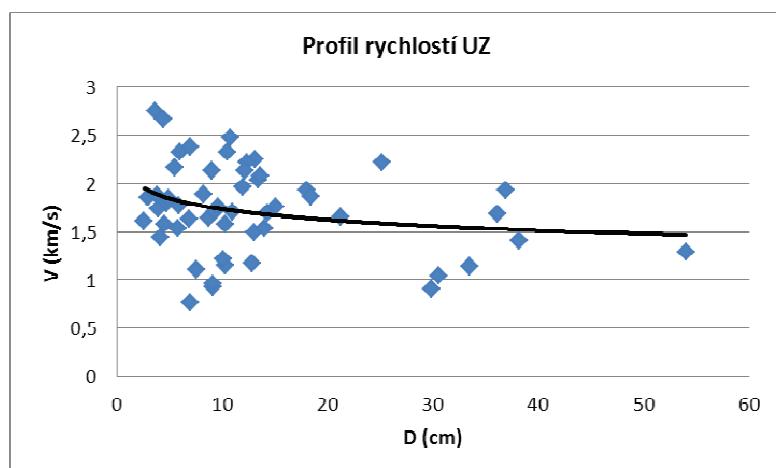


Zákres měřících bodů ultrazvukové transmise

č.m	Místo měření	směr	t (μs)	t _{kor} (μs)	d (cm)	v (km/s)	poznámka
1	přes spánky	lpz	94,7	93,3	18	1,93	
2	brada-temeno	v	129,3	127,9	21,2	1,66	
3	čelo zátylek	pz	100	98,6	18,4	1,87	
4	vlasý vedle pravého ucha	pz	30,8	29,4	7	2,38	
5	vlasý vedle levého ucha	pz	27,1	25,7	6	2,33	
6	přes ramena	lp	192,7	191,3	36,9	1,93	
7	levé rameno	pz	67,1	65,7	13,4	2,04	
8	pravé rameno	pz	59,5	58,1	13,1	2,25	
9	levá paže	pz	85,6	84,2	14,3	1,7	
10	levé předloktí	pz	43,7	42,3	9	2,13	
11	levé zápěstí-mimo krust	pz	26,8	25,4	5,5	2,17	
12	levé zápěstí-přes krustu	pz	39,1	37,7	5,8	1,54	vs
13	drapérie pod levým loktem	pz	27,6	26,2	4,7	1,79	korodované místo
14	pravé předloktí	pz	54,3	52,9	8,7	1,64	
15	pravé zápěstí	pz	34,7	33,3	5,9	1,77	
16	drapérie u pravého loktu	pz	17,5	16,1	2,6	1,61	
17	drapérie na hrudi	pz	14,5	13,1	3,6	2,75	
18	drapérie na hrudi-krusta	pz	23,8	22,4	3,9	1,74	
19	křídlo pravé nahoře	pz	55,7	54,3	9,3	1,71	
20	křídlo pravé v pŕlce	pz	56,8	55,4	12,3	2,22	
21	křídlo pravé dole	pz	87	85,6	15,1	1,76	
22	křídlo pravé dole-korodovaná	pz	88,2	86,8	13	1,5	ss
23	křídlo pravé dole-korodovaná (vedle 22)	pz	66,4	65	10,3	1,58	ss
24	drapérie pod pravým křídlem	pz	29,9	28,5	4,5	1,58	
25	křídlo levé nahoře	pz	66,7	65,3	13,6	2,08	
26	křídlo levé střed	pz	58,1	56,7	12,1	2,13	
27	křídlo levé na úrovni levého loktu	pz	62,6	61,2	12	1,96	
28	křídlo levé spodek - přes tmel	pz	99,6	98,2	9,1	0,93	vss
29	křídlo levé spodek - mimo tmel	pz	68,8	67,4	7,5	1,11	vss
30	hrud' - záda	pz	214,4	213	36,1	1,69	
31	břicho - záda	pz	271,8	270,4	38,2	1,41	
32	levé stehno - přes tmel	lp	110,7	109,3	12,8	1,17	ds
33	levé koleno	lp	45	43,6	10,8	2,48	ds
34	drapérie pod levým	v	17	15,6	2,9	1,86	

	kolenem						
35	drapérie pod levým kolenem	<i>v</i>	27,9	26,5	4,9	1,85	
36	drapérie vedle levého lýtka přes tmel	<i>pz</i>	29,9	28,5	4,1	1,44	ds
37	drapérie vedle levého lýtka přes tmel	<i>pz</i>	17,9	16,5	4,4	2,67	ss, ds
38	levé lýtko	<i>lp</i>	96	94,6	9,1	0,96	
39	levý kotník	<i>pz</i>	92	90,6	7	0,77	ss,ds, korodované místo
40	levé chodidlo	<i>lp</i>	55,9	54,5	9,6	1,76	
41	dítě - tváře	<i>lp</i>	46,4	45	10,5	2,33	
42	dítě - vlasy	<i>pz</i>	21,6	20,2	3,8	1,88	
43	dítě - pravé rameno	<i>pz</i>	92,3	90,9	14	1,54	
44	dítě - ramena	<i>lp</i>	114,8	113,4	25,2	2,22	
45	dítě - pravé předloktí	<i>v</i>	43,8	42,4	6,9	1,63	
46	dítě - pravé stehno	<i>lp</i>	65,6	64,2	11	1,71	
47	dítě - pravé lýtko	<i>lp</i>	44,8	43,4	8,2	1,89	ds
48	dítě - levé koleno, přes krustu/tmel?	<i>lp</i>	90,7	89,3	10,3	1,15	ds, prasklina
49	dítě - levé lýtko	<i>lp</i>	84	82,6	10,1	1,22	
50	dítě - lýtko-zadní strana	<i>pz</i>	295,8	294,4	33,5	1,14	
51	plinta-pod levou nohou	<i>pz</i>	329,3	327,9	29,9	0,91	
52	plinta - pod pravou nohou	<i>pz</i>	291	289,6	30,5	1,05	
53	plinta-z předu	<i>lp</i>	420,6	419,2	54	1,29	

Průměr rychlostí	1,73 km/s
Minimální naměřená rychlost	0,77 km/s
Maximální naměřená rychlost	2,75 km/s



Graf: Profil rychlosti UZ (závislost rychlostí od tloušťky měřeného místa)

Vyhodnocení:

Výsledky měření lze shrnout do následujících bodů:

- Průměrná rychlost UZ je poměrně nízká (1,73 km/s), což je dáno na jedné straně tím, že vlastní použitá hornina je vápenec s vyšší porozitou a nižší mírou stmelení i nižší pevností a na druhé straně rozsáhlou korozí kamene, vysokým počtem silně degradovaných míst, které výrazně ovlivňují celkovou průměrnou rychlost. I z tohoto důvodu je mezi nejvyššími a nejnižšími naměřenými hodnotami poměrně velký rozdíl (maximální rychlost UZ – 2,75 km/s, minimální rychlost – 0,77 km/s). Pro masivnější, méně porézní typy vápenců se rychlost UZ pohybuje v rozpětí 2,5 až 3,5 km/s, pro lešitelné vápence a mramory až do 6-6,5 km/s.
- Pod krustami a pod tmely jsou často praskliny nebo silně degradované zóny. Tmely jsou na většině ploch nefunkční, mají tendenci se odtrhávat od podkladové horniny. Místa kde lze stav kamene považovat za vysoce ohrožený resp. silně narušený jsou v tabulce označeny červeně.
- Podstava sochy je rovněž silně narušená a bez provedení důsledné konsolidace může způsobit statické ohrožení sochy po jejím opětovném osazení
- Zajímavým fenoménem je mírně vzrůstající trend rychlostí UZ směrem k povrchu. Podobně jako při hodnocení podobného fenoménu v rámci měření DRMS, lze i tady předpokládat mírné „zhutnění“ povrchu vápence jako důsledek jeho sulfatizace.

Ing. Karol Bayer

Příloha č. 7: Porozita kutnohorského vápence⁶

Porosity of limestones Kutná Hora

Characteristics of pores were measured using mercury porosimeter Quantachrome, model PM-60-13.

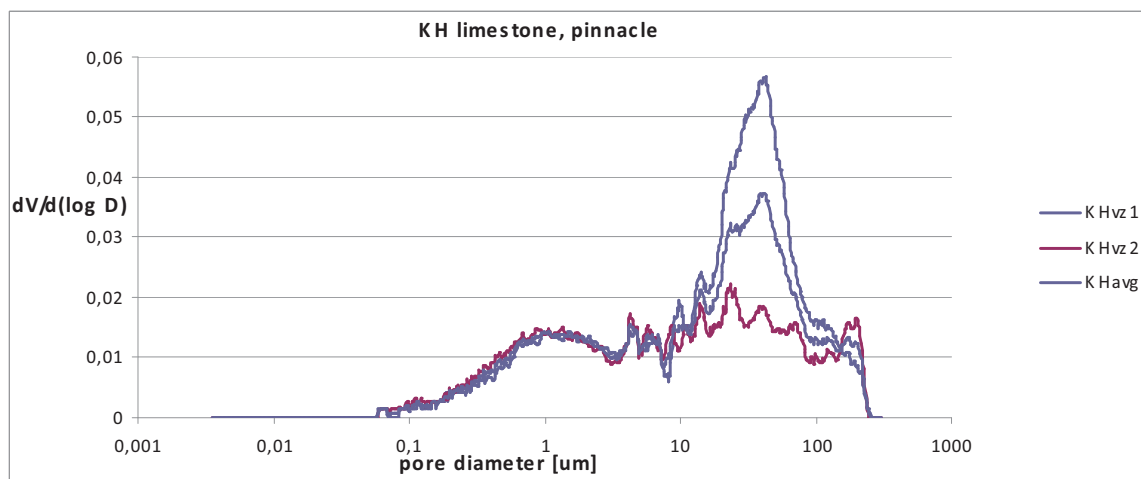


Fig. 1 Pore size distribution of limestone Kutná Hora (pinnacle)

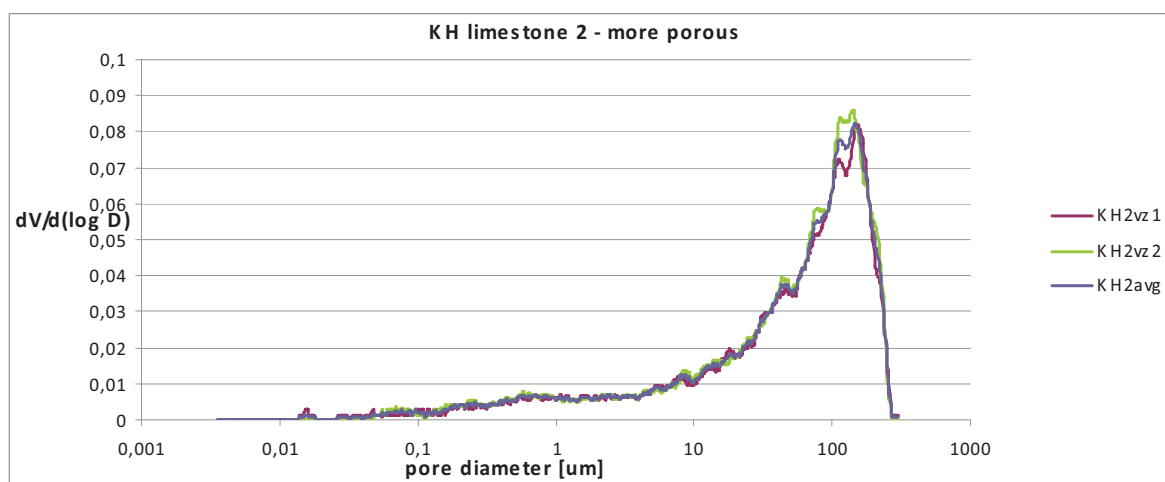


Fig. 2 Pore size distribution of limestone Kutná Hora 2

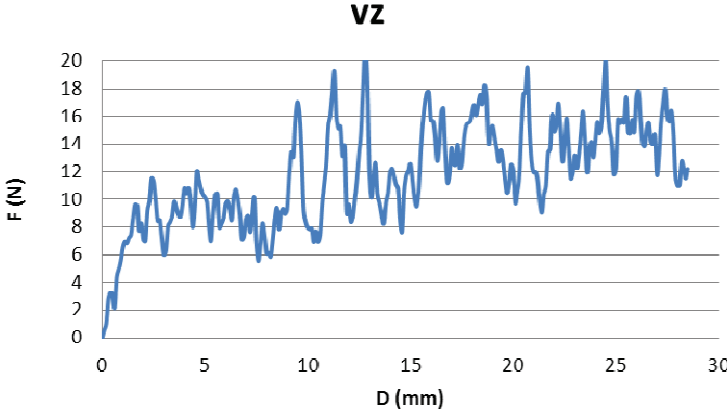
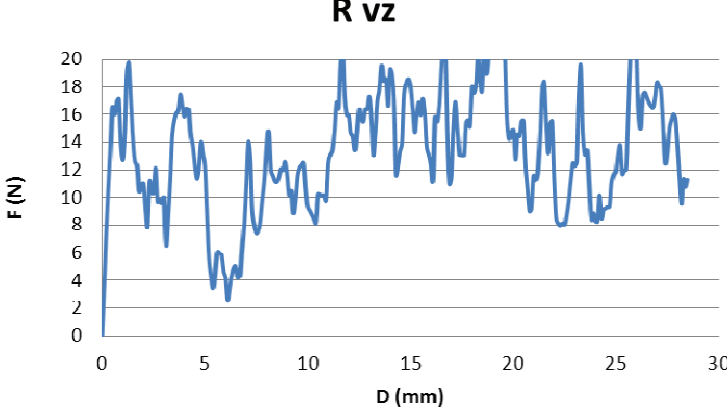
	sample	intr_vol	density	avg_pore_diam.	total_porosity
	name	[cc/g]	[g/cc]	[um]	[%]
KH limestone pinnacle	KHvz1	0,06	2,30	34,61	13,07
KH limestone pinnacle	KHvz2	0,04	2,40	32,78	9,69
KH limestone 2	KH2vz1	0,07	2,26	80,39	15,16
KH limestone 2	KH2vz2	0,07	2,23	80,94	15,73

Table 1 Porosity of Kutná Hora limestones

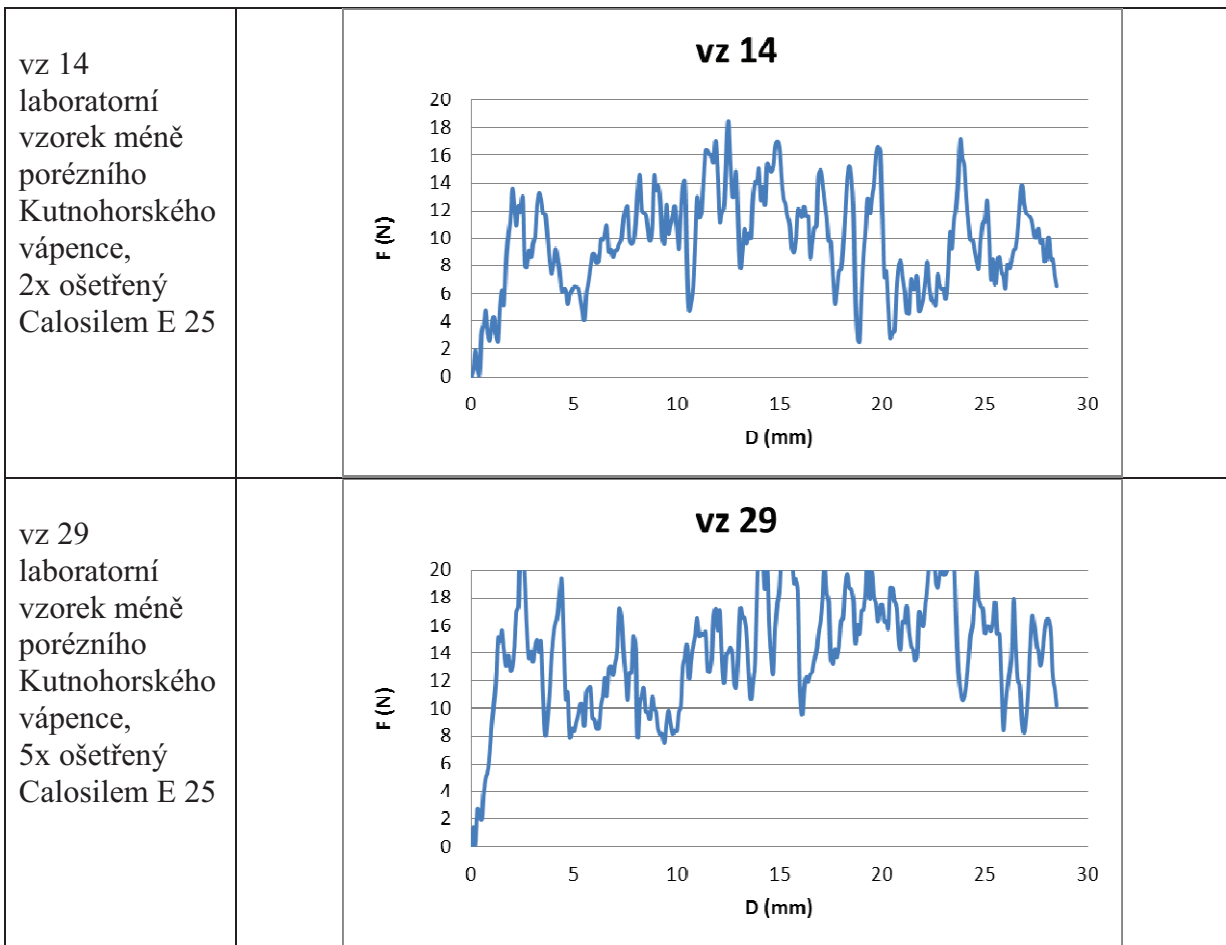
⁶ Měření bylo provedeno v Ústavu teoretické a aplikované mechaniky AV ČR

Příloha č. 8: Měření odporu materiálu vrtáním před a po konsolidaci (DRMS)⁷

Výsledky měření DRMS na laboratorních vzorcích před a po konsolidaci

Označení a popis vrtu	Výsledek měření – profil odporu vůči vrtání	
vz laboratorní vzorek méně porézního Kutnohorského vápence, neošetřený		 <p style="text-align: center;">VZ</p>
R vz laboratorní vzorek méně porézního Kutnohorského vápence, neošetřený		 <p style="text-align: center;">R vz</p>

⁷ Měření provedli Dana Macounová a Daniel Hvězda, vyhodnocení bylo provedeno ve spolupráci s ing. Karolem Bayerem



vrt	vz	R vz	vz14	vz29
vrt DRM	270211#05_vz.drm	220211#01_r vz .drm	270211#08_vz14.drm	270211#07_vz29.drm
Depth	Force [N]	Force [N]	Force [N]	Force [N]
0	0	0	0	0
0,1	0,58	3,49	0,52	1,45
0,2	1,03	7,26	1,91	0,11
0,3	2,79	10,49	0,62	2,73
0,4	3,25	13,33	0,17	2,59
0,5	3,07	16,55	3,15	1,97
0,6	2,2	16,02	3,77	3,92
0,7	4,35	17,03	4,8	5
0,8	4,93	17,15	3,11	5,43
0,9	5,59	13,69	2,6	6,78
1	6,51	12,72	3,69	8,88
1,1	6,96	14,76	4,29	10,38
1,2	6,84	19,14	2,99	11,96
1,3	7,24	19,74	2,57	15,14
1,4	7,45	17,09	5,19	14,85
1,5	8,57	14,38	6,23	15,62
1,6	9,62	12,67	5,24	14,19
1,7	9,54	12,25	8,56	13,09
1,8	7,77	10,48	10,09	13,8
1,9	8,26	10,97	11,39	12,8
2	7,1	11,01	13,63	12,95
2,1	7	9,01	12,42	14,33
2,2	9,22	7,9	10,94	17
2,3	9,89	11,15	12,31	17,47

2,4	11,51	10,39	11,96	23,34
2,5	11,3	10,35	12,92	22,65
2,6	9,92	12,15	7,99	19,38
2,7	8,43	9,72	7,89	15,87
2,8	8,55	9,87	9,13	13,69
2,9	7,22	9,63	8,63	14,08
3	6,02	10	9,57	13,42
3,1	6,33	6,56	10,17	14,57
3,2	8,06	8,71	12,41	14,96
3,3	8,35	11,32	13,24	14,05
3,4	8,8	14,49	12,85	14,83
3,5	9,84	15,57	11,85	11,13
3,6	9,4	16,1	11,76	8,17
3,7	8,96	16,27	10,38	9,15
3,8	8,76	17,47	8,5	11,04
3,9	9,55	16,75	7,48	13,59
4	10,82	15,86	8,13	15,29
4,1	10,4	16,47	9,23	16,21
4,2	10,84	16,35	8,52	16,75
4,3	9,83	14,58	7,57	18,2
4,4	8	13,69	6,15	19,23
4,5	9,36	12,27	6,41	14,96
4,6	12,04	11,37	6,24	10,67
4,7	11,46	12,14	5,28	11,2
4,8	10,79	14	5,94	7,99
4,9	10,35	13,18	6,23	8,55
5	10,14	12,3	6,52	8,36
5,1	9,79	8,94	6,49	9,01
5,2	8,01	5,7	6,42	9,54
5,3	7,01	4,35	5,76	10,3
5,4	9,01	3,46	4,9	10,3
5,5	10,32	4,69	4,11	8,76
5,6	10,46	6,09	5,99	11,2
5,7	7,97	5,97	6,86	11,48
5,8	8,24	5,86	7,87	11,58
5,9	8,61	4,7	8,86	9,33
6	9,65	4,21	8,88	9,24
6,1	9,86	2,58	8,22	8,57
6,2	9,3	3,45	8,49	8,57
6,3	8,48	4,38	9,99	10,18
6,4	10,17	4,93	9,87	10,9
6,5	10,75	5,04	10,35	12,2
6,6	10,05	4,2	10,92	10,89
6,7	8,9	4,34	9,06	12,85
6,8	7,14	6,2	9,19	13,06
6,9	7,35	8,1	8,65	12,41
7	8,64	11,05	9,13	13,32
7,1	8,84	14,02	9,18	14,12
7,2	7,65	12,91	9,59	17,21
7,3	8,89	8,92	9,9	16,68
7,4	10,09	8,03	11,22	14,36
7,5	6,69	7,42	12,1	12,53
7,6	5,57	7,59	12,3	10,61
7,7	6,77	8,33	9,86	12,64
7,8	8,26	9,87	9,58	12,58
7,9	7,48	11,2	9,73	15,24
8	6,13	13,5	11,06	14,3
8,1	6,13	14,8	13,24	8,05
8,2	5,89	11,99	14,58	10,31
8,3	7,15	11,58	12,09	10,98
8,4	8,63	11,19	11,88	11,5
8,5	9,4	11,14	11,74	9,82

8,6	7,86	11,49	10,7	9,76
8,7	9,03	12,08	9,81	9,29
8,8	9,34	12,01	10,7	10,88
8,9	8,98	12,59	14,51	10,03
9	9,31	11,75	13,44	9,81
9,1	11,65	10,21	13,87	8,5
9,2	13,4	10,48	12,58	8,18
9,3	13,09	8,87	10,01	8,11
9,4	16,01	9,93	9,6	7,56
9,5	17,03	11,6	12,43	8,97
9,6	16,14	12,17	10,43	9,88
9,7	13,33	12,34	10,96	9,02
9,8	9,23	12,5	11,47	8,23
9,9	8,35	10,6	12,31	8,38
10	7,96	9,34	10,81	8,38
10,1	7,86	9,05	9,26	9,82
10,2	7,89	8,76	11,94	10,15
10,3	6,93	8,47	13,9	13,03
10,4	7,71	8,18	14,14	13,68
10,5	6,95	10,25	8,25	14,58
10,6	7,45	10,21	4,83	12,15
10,7	9,65	10,18	5,4	13,52
10,8	11,09	10,15	6,42	14,53
10,9	12,57	9,81	9,51	15,28
11	15,26	12,45	12,95	16,54
11,1	16,15	13,13	11,49	15,26
11,2	17,73	13,42	11,92	15,43
11,3	19,29	14,79	14,19	15,33
11,4	15,96	16,92	16,36	15,52
11,5	15,12	16,45	16,36	12,82
11,6	15,27	19,74	16,05	12,64
11,7	13,14	21,03	16,01	13,56
11,8	13,88	17,47	15,55	16,61
11,9	9,01	15,98	17,05	17,22
12	9,63	15,95	14,42	15,66
12,1	8,37	14,68	11,24	17,09
12,2	8,77	14,4	11,93	13,7
12,3	10,16	13,45	12,3	11,87
12,4	11,48	14,88	15,15	13,76
12,5	13,36	16,4	18,47	14,05
12,6	14,91	15,73	15,83	14,47
12,7	18,14	15,52	13,03	14,03
12,8	20,91	16,42	13,05	11,81
12,9	19,05	16,39	14,8	11,54
13	12,38	17,32	10,95	14,15
13,1	10,14	15,81	7,88	17,22
13,2	11,49	13,06	9,06	16,63
13,3	12,65	14,6	10,7	16,55
13,4	10,38	16,97	9,6	15,44
13,5	9,74	17,81	10,35	12,79
13,6	8,9	19,53	10,02	10,69
13,7	8,25	18,46	12,67	11,85
13,8	9,74	18,59	14,07	13,24
13,9	10,47	16,64	14,04	18,23
14	11,89	19,26	15	22,51
14,1	12,28	18,94	12,76	21
14,2	11,7	17,02	13,77	21,05
14,3	11,09	11,67	12,45	18,63
14,4	10,79	12,34	15,42	20,28
14,5	8,36	13,38	15,1	15,93
14,6	7,68	13,94	14,82	13,6
14,7	10,61	17,48	15,14	12,54

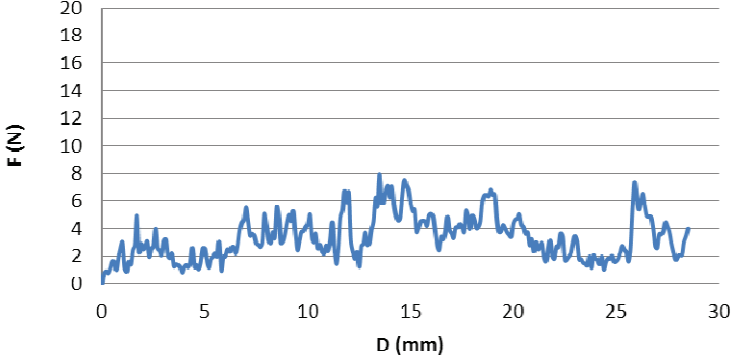
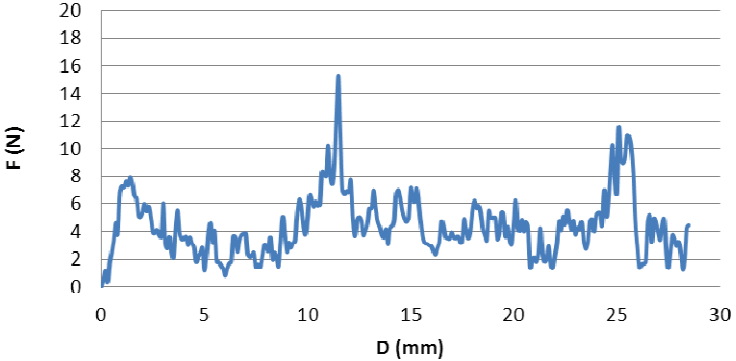
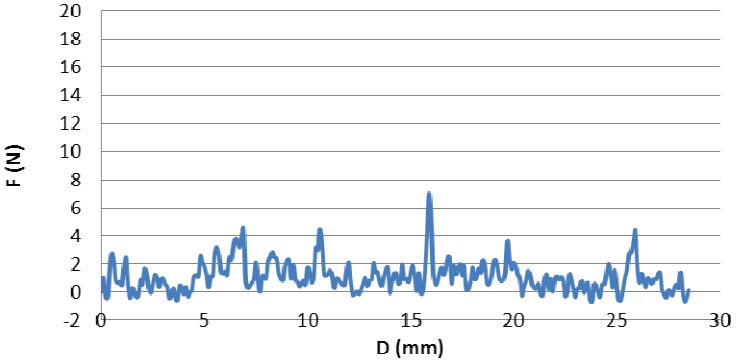
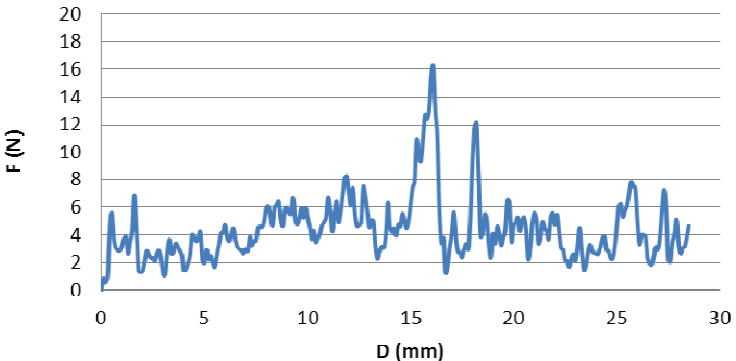
14,8	11,7	18,23	16,63	15,86
14,9	12,05	18,59	17,02	17,59
15	12,58	17,97	16,45	18,61
15,1	11,31	16,37	14,29	21,7
15,2	9,99	14,7	12,86	22,68
15,3	9,51	15,96	12,49	23,57
15,4	10,64	16,91	11,54	24,18
15,5	13,48	15,98	11	26,28
15,6	15,51	17,17	9,34	21,47
15,7	16,94	16,08	9	19,05
15,8	17,76	13,7	9,86	19,31
15,9	17,79	13,14	12,11	18,41
16	15,72	12,37	12,03	11,33
16,1	15,7	11,26	11,52	9,58
16,2	14,66	15,79	12,28	11,44
16,3	12,81	15,52	11,58	12,27
16,4	13,98	16,81	11,62	11,98
16,5	16,36	19,4	8,67	12,47
16,6	16,58	21,42	9,57	12,69
16,7	13,36	20,81	10,76	13,54
16,8	11,23	14,66	10,96	14,1
16,9	11,72	11	14,57	15,39
17	13,7	11,45	14,92	16,36
17,1	12,61	15,09	14,04	17,99
17,2	12,55	16,94	12,7	20,67
17,3	14	14,99	11,58	18,47
17,4	12,29	13,13	9,82	17,64
17,5	12,66	13,04	9,73	13,69
17,6	14,4	13,06	7,23	13,24
17,7	15,3	15,43	5,31	14,34
17,8	15,54	15,61	6,15	13,72
17,9	15,62	15,19	7,55	14,45
18	16,25	17,97	7,8	16,37
18,1	16,82	17,58	9,36	16,6
18,2	16,12	18,2	11,76	18,9
18,3	16,85	20,42	14,3	19,75
18,4	17,6	18,55	15,26	18,72
18,5	16,88	17,72	14,47	18,61
18,6	18,25	20,6	11,82	17,8
18,7	17,47	18,96	6,02	14,79
18,8	14,09	20,52	2,69	16,1
18,9	14,94	25,03	2,52	15,41
19	15,3	25,81	5,91	17,07
19,1	14,52	22,75	8,73	17,15
19,2	13,61	22,06	10,54	18,45
19,3	12,74	21,92	12,86	20,98
19,4	13,55	22,71	11,83	17,97
19,5	12,88	22,77	12,9	19,9
19,6	11,5	20,86	13,96	18,18
19,7	10,45	16	15,95	17,56
19,8	11	14,28	16,63	16,34
19,9	12,53	14,66	16,25	17,32
20	12,12	14,9	12,15	17,44
20,1	9,76	12,74	7,23	16,33
20,2	10,61	14,59	7,61	16,37
20,3	11,72	14,43	5,17	15,79
20,4	15,07	15,53	2,82	18,71
20,5	17,64	15,57	3,24	18,69
20,6	17,76	12,42	3,35	17,74
20,7	19,52	10,64	6,45	17,27
20,8	15,19	9,01	7,98	14,86
20,9	12,8	9,18	8,41	14,26

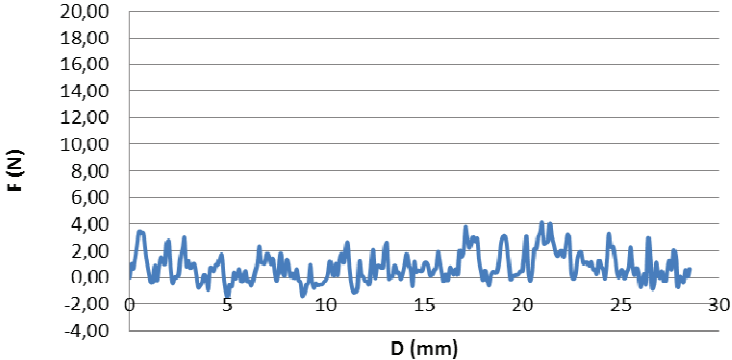
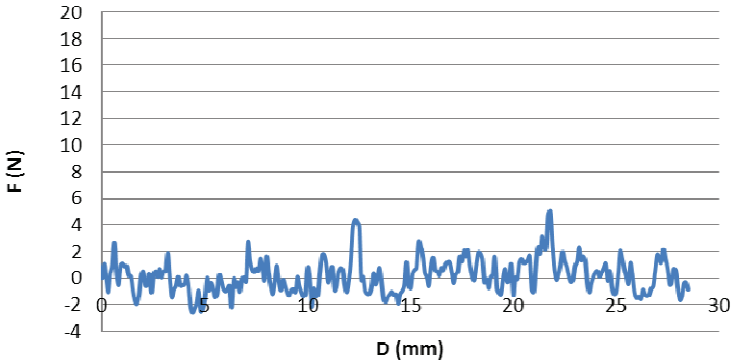
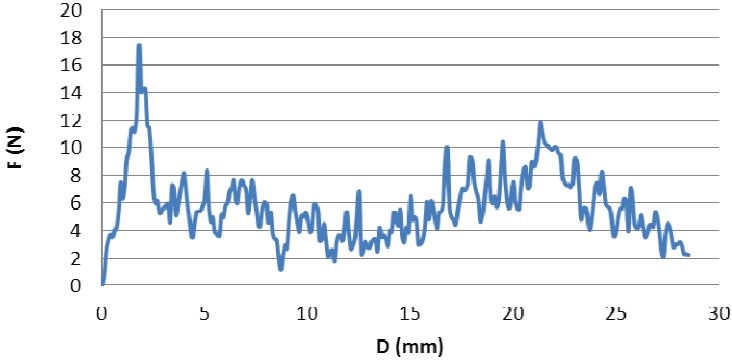
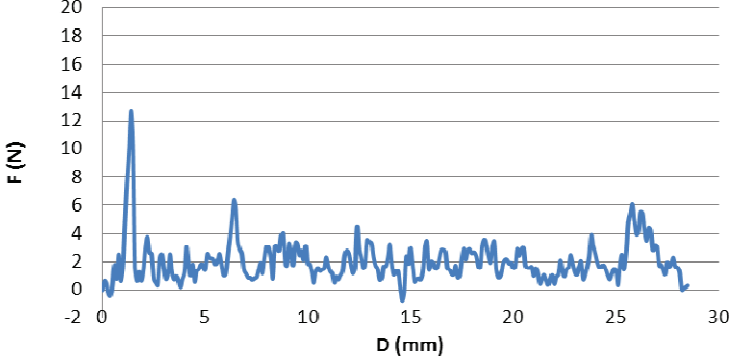
21	11,95	11,57	7,25	16,34
21,1	11,98	11,27	6,23	16,26
21,2	11,31	11,89	4,67	17,37
21,3	9,7	14,38	4,58	15,56
21,4	9,08	17,88	7,03	14,63
21,5	10,43	18,4	6,35	14,29
21,6	10,99	15,59	6,34	13,5
21,7	13,38	13,24	7,29	13,77
21,8	13,65	15,35	4,78	16,92
21,9	16,14	15,53	5,12	16,25
22	14,92	11,38	5,75	15,96
22,1	15,39	8,52	7,04	17,5
22,2	16,94	8,15	8,34	18,79
22,3	15,23	8,01	6,61	20,83
22,4	12,77	8,14	5,61	23,11
22,5	14,02	8,08	5,51	22,07
22,6	15,89	8,81	5,19	19,14
22,7	13,92	9,84	7,36	18,73
22,8	11,54	11,27	6,67	19,61
22,9	11,87	12,47	6,32	20,32
23	13,19	12,29	6,36	19,64
23,1	12,27	12,61	5,71	19,84
23,2	13,19	17,62	7,62	20,35
23,3	14,82	19,53	10,45	21,91
23,4	16,37	14,67	9,29	21,3
23,5	14,47	13,15	11,21	20,92
23,6	11,94	13,44	12,36	16,31
23,7	13,59	10,98	14,23	12,95
23,8	14,19	8,43	17,18	11,37
23,9	13,05	8,86	15,86	10,59
24	14,27	8,31	15,34	10,81
24,1	15,62	8,29	13,05	11,78
24,2	14,79	10,18	11,24	13,45
24,3	15,48	8,53	9,9	15,26
24,4	17,78	9,12	9,87	15,98
24,5	20,14	9,21	9,06	18,12
24,6	16,82	9,31	8,35	19,93
24,7	14,98	9,34	7,81	17,9
24,8	14,23	11,1	9,85	17,43
24,9	11,82	11,67	11,1	17,17
25	12,31	11,93	11,25	15,49
25,1	15,8	13,18	12,75	15,95
25,2	15,5	13,77	10,43	15,94
25,3	15,83	11,73	7,05	15,61
25,4	15,56	11,99	8,5	16,3
25,5	17,44	12,04	6,71	17,68
25,6	14,86	15,87	8,23	15,44
25,7	14,79	19,79	8,65	15,39
25,8	15,78	23,65	7,57	11,97
25,9	14,89	20,38	7,32	8,47
26	17,5	20,92	6,36	10,02
26,1	17,86	16,24	8,08	11,58
26,2	15,87	15,04	7,81	12,59
26,3	14,06	17,43	8,5	13,9
26,4	13,83	17,61	9,16	17,97
26,5	15,09	17,27	9,32	14,72
26,6	15,56	16,9	10,5	12,09
26,7	14,22	16,67	12,38	11,74
26,8	14,04	16,48	13,88	9,31
26,9	14,66	17,17	12,57	8,26
27	11,78	18,36	11,88	9,27
27,1	13,09	18,03	11,69	11,24

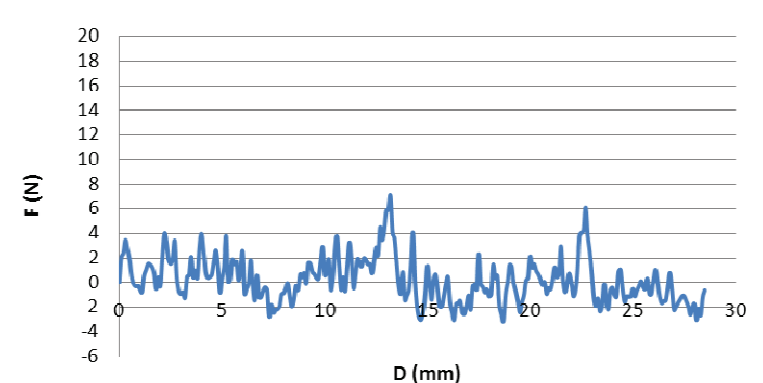
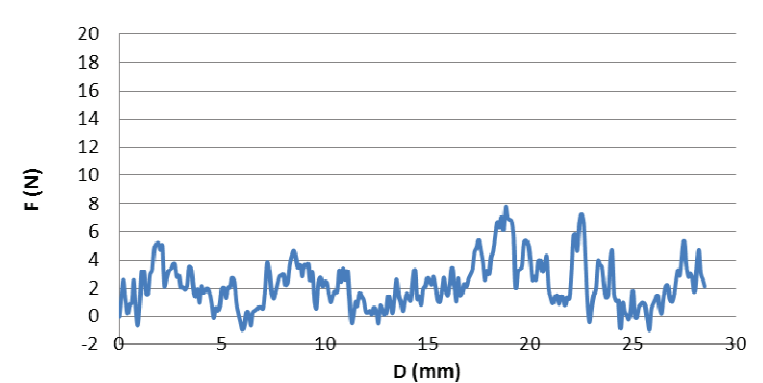
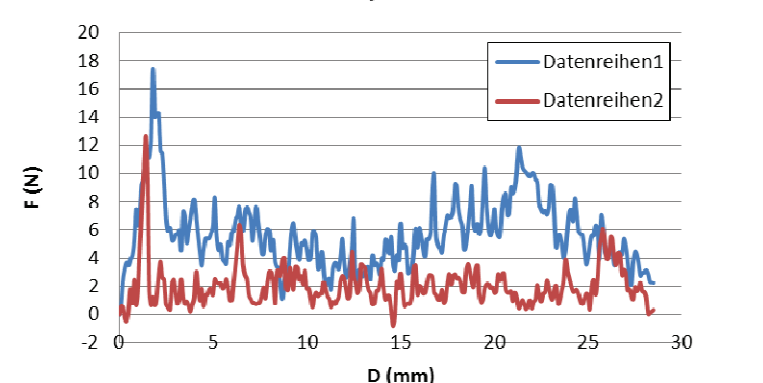
27,2	15,5	17,83	11,52	14,26
27,3	16,86	15,58	11,2	16,66
27,4	17,96	12,53	10,31	16
27,5	16,12	13,25	10,04	14,87
27,6	15,61	15,05	10,72	14,07
27,7	16,43	15,62	9,65	13,11
27,8	14,92	16,02	9,93	13,81
27,9	11,66	15,67	8,35	15,4
28	11,01	13,67	8,57	16,41
28,1	11,05	11,46	10,11	16,44
28,2	12,75	9,54	8,54	15,43
28,3	12,35	11,33	8,51	12,34
28,4	11,52	10,78	7,34	11,49
28,5	12,24	11,3	6,54	10,16
28,6	13,88	14,98	8,65	12,46
28,7	13,67	16,49	8,59	15,41
28,8	17,85	16,62	7,61	16,64
28,9	18,1	17,23	8,88	14,94
29	21,11	18,79	9,21	13,71
29,1	18,09	17,72	10,64	12,44
29,2	14,69	15,38	10,82	11,73
29,3	13,88	13,69	11,93	13,77
29,4	11,45	10,7	12,85	12,15
29,5	10,85	11,28	11,7	10,14
29,6	13,61	11,88	13,04	9,57
29,7	14,43	8,63	10,9	8,18
29,8	13,57	6,81	9,68	8,67
29,9	10,33	7,5	10,25	9,14
30	10,07	10,37	12,53	8,43

Výsledky měření DRMS na soše anděla z domu čp. 48 v Kutné Hoře před a po konsolidaci

Označení a popis vrtu	Výsledek měření – profil odporu vůči vrtání
<p>R1 zespodu, 5 cm od okraje podstavy, lomová plocha kamene, neexponovaná, blíže k povrchu</p>	<p style="text-align: center;">R 1</p>
<p>R1a vrt vedle R1, po konsolidaci</p>	<p style="text-align: center;">R 1a</p>

<p>R2 zespodu, 5 cm od okraje podstavy, lomová plocha kamene, neexponovaná, blíže k povrchu</p>	<p style="text-align: center;">R 2</p> 
<p>R2a vrt vedle R2, po konsolidaci</p>	<p style="text-align: center;">R 2a</p> 
<p>R3 střed podstavy, 10 cm od otvoru na čep, lomová plocha kamene, neexponovaná, ve středu objektu</p>	<p style="text-align: center;">R 3</p> 
<p>R3a vrt vedle R3, po konsolidaci</p>	<p style="text-align: center;">R 3a</p> 

<p>R4 střed podstavy, 10 cm od otvoru na čep, lomová plocha kamene, neexponovaná, ve středu objektu</p>	<p style="text-align: center;">R 4</p> 
<p>R4a vrt vedle R4, po konsolidaci</p>	<p style="text-align: center;">R 4a</p> 
<p>R8 levé křídlo, záda sochy, exponovaná plocha, <i>vzorek reprezentuje většinu dochovaného povrchu sochy</i></p>	<p style="text-align: center;">R 8</p> 
<p>R9a křídlo silně degradované exponované místo, po konsolidaci</p>	<p style="text-align: center;">R 9</p> 

<p>R10a břicho anděla, silně exponovaný povrch, po konsolidaci</p>	<p style="text-align: center;">R 10a</p> 
<p>R11a břicho anděla, silně exponovaný povrch, po konsolidaci</p>	<p style="text-align: center;">R 11a</p> 
<p>porovnání vrtů R8 a R9a <i>silně degradované místo, kde byl proveden vrt R9 bylo před zásahem neměřitelné</i></p> <p>— R8 - před konsolidací</p> <p>— R9a - po konsolidaci</p>	<p style="text-align: center;">R 8, R9a</p> 

Tab. Hodnoty měření DRMS v jednotlivých měřených místech

vrt	R1	R1a	R2	R2a	R3	R3a	R4	R4a
vrt DRM S	_R1_F001N N.DRM	180211#01_ r1a.drm	_R2_F001N N.DRM	180211#02_ r2a.drm	_R3_F001N N.DRM	180211#03_ r3a.drm	_R4_F001N N.DRM	180211#04_ r4a.drm
Depth [mm]	Force [N]	Force [N]	Force [N]	Force [N]	Force [N]	Force [N]	Force [N]	Force [N]
0	0	0	0	0	0	0	0,00	0
0,1	0,91	1,24	0,82	0,53	1,06	0,81	0,99	1,08
0,2	0,9	0,19	0,91	1,13	-0,3	0,55	0,64	-0,08
0,3	1,38	0,66	0,78	0,33	-0,4	0,9	1,51	-1,04
0,4	2,03	0,8	1,08	1,7	1,46	4,09	2,44	0,31
0,5	2,49	2,68	1,6	2,47	2,76	5,6	3,48	0,95
0,6	4,31	3,63	1,56	3,44	2,28	3,82	3,38	2,68
0,7	4,67	2,87	1	4,59	0,84	3,04	3,36	0,22
0,8	4,85	2,4	1,94	3,82	0,63	2,88	2,12	-0,52
0,9	4,82	4,78	2,63	6,84	0,77	2,84	1,09	0,96
1	5,31	6,67	3	7,28	0,51	3,2	0,31	1,1
1,1	5,44	5,38	1,14	7,23	1,88	3,74	-0,39	0,89
1,2	4,24	5,59	0,88	7,65	2,44	3,84	-0,32	0,92
1,3	3,11	5,55	1,58	7,33	0,39	2,62	0,87	0,18
1,4	3,32	5,94	1,4	7,94	-0,42	3,56	-0,20	0,09
1,5	2,46	5,92	2,47	7,53	0,27	4,31	0,71	-0,97
1,6	1,3	7,22	2,82	6,63	0,03	6,86	1,53	-1,77
1,7	1,16	7,18	4,93	6,35	-0,35	4,24	1,26	-1,95
1,8	-0,07	6,5	2,28	5,14	-0,21	1,37	1,01	-1,21
1,9	0,48	4,25	2,9	5,07	0,91	1,27	2,54	0,14
2	1,75	3,87	2,51	5,37	0,52	1,34	2,72	0,51
2,1	1,55	4,61	2,7	6	1,65	2,02	0,59	-0,56
2,2	1,15	8,3	3,07	5,47	1,2	2,78	-0,46	-0,51
2,3	2,21	5,62	1,92	5,79	0,3	2,56	0,01	0,34
2,4	3,65	3,65	2,58	4,99	-0,05	2,31	0,00	-1,06
2,5	1,93	0,73	2,69	3,91	0,6	2,31	0,23	0,31
2,6	0,19	1,16	3,99	3,9	1,25	2,11	1,51	0,52
2,7	0,6	2,79	2,55	4,12	1,1	2,66	2,20	0,08
2,8	1,32	4,09	2,45	3,77	0,37	2,81	2,94	0,71
2,9	0,97	3,96	2,04	3,62	0,97	2,19	0,84	0,03
3	0,91	4,12	3,05	6,04	0,98	1,08	1,26	0,51
3,1	0,54	3,31	3,2	3,08	0,54	1,08	0,71	0,55
3,2	0,6	3,87	1,97	2,75	0,39	2,72	0,90	1,87
3,3	1,29	4,18	1,84	3,61	-0,41	3,66	0,98	-0,16
3,4	1,22	2,45	2,22	2,59	-0,13	2,64	0,21	-1,48
3,5	0,88	1,08	1,26	2,14	0,26	2,74	-0,78	-0,87
3,6	1,29	1,78	1,4	4,37	-0,52	3,39	-0,66	-0,58
3,7	2,15	0,7	1,34	5,53	-0,54	3,17	-0,41	0,06
3,8	0,91	1,93	1,18	3,86	0,45	2,83	0,18	-0,56
3,9	2,4	2,91	0,82	3,47	0,38	2,54	-0,05	-0,51
4	2,32	3,55	1,24	3,51	-0,12	1,42	-0,93	-0,48
4,1	2,69	4,16	1,35	3,62	0,35	1,52	0,71	0,16
4,2	2,4	2,67	1,2	3	-0,3	1,96	0,70	-0,37
4,3	1,78	3,12	1,49	3,58	-0,01	2,48	0,46	-2,11
4,4	1,02	2,34	2,6	3,16	0,12	3,99	0,89	-2,6
4,5	0,37	1,48	1,2	2,86	1,13	3,89	0,99	-2,3
4,6	0,15	2,5	1,35	1,81	1,22	3,57	1,43	-1,87
4,7	0,69	3,81	1,05	2,21	1,14	3,75	1,71	-0,93
4,8	1,01	4,6	1,51	2,46	2,58	4,2	0,07	-2,5
4,9	0,73	3,71	2,57	2,79	2,1	2,14	-0,99	-2,23
5	1,89	3,64	2,52	1,16	1,83	1,96	-1,46	-1,54
5,1	1,46	3,28	1,51	2,27	1,3	2,89	-0,59	0,01
5,2	2,07	3,81	1,16	3,87	0,36	2,23	-0,69	-0,92
5,3	3,28	2,41	1,77	4,57	1,15	2,44	0,36	-0,36
5,4	4,47	3,48	1,92	3,17	1,16	1,98	-0,06	-0,7

5,5	4,02	1,7	2,23	4,04	2,84	1,69	0,23	-1,47
5,6	0,6	2,76	1,97	1,82	3,24	2,48	0,61	-1,16
5,7	0,35	3	3,03	1,8	2,71	3,23	-0,30	0,21
5,8	0,67	3,05	0,95	1,57	1,5	4,06	-0,09	-0,14
5,9	0,85	2,07	1,93	1,31	1,34	4,2	0,49	-0,79
6	2,68	1,72	1,94	0,78	1,51	4,74	-0,33	-0,98
6,1	5,08	1,98	2,51	1,34	1,24	3,83	-0,23	-0,85
6,2	5,23	3,08	2,28	1,71	2,48	3,56	-0,64	-0,6
6,3	4,07	4,08	2,67	1,8	2,26	3,97	-0,15	-2,21
6,4	3,71	5,18	2,66	3,64	3,24	4,45	0,42	-0,08
6,5	2,23	4,43	2,17	3,58	3,76	3,67	0,98	-0,67
6,6	1,4	3,45	2,77	2,52	3,61	3,1	2,33	-0,31
6,7	0,5	1,5	3,87	3,37	3,2	2,94	1,11	-1,02
6,8	0,46	2,88	4,42	3,74	3,95	2,86	1,09	-0,12
6,9	0,39	3,6	4,65	3,83	4,54	2,63	1,04	0,03
7	0,8	2,46	5,53	3,85	0,82	2,97	1,78	-0,26
7,1	1,06	2,28	4,57	2,37	0,31	2,82	1,57	2,74
7,2	0,8	2,4	3,49	2,16	0,44	3,85	0,98	1,33
7,3	1,31	3,42	3,62	2,29	0,65	3,24	1,44	0,68
7,4	1,65	3,04	3,46	2,44	0,99	3,57	0,36	0,43
7,5	1,5	3,57	2,93	1,44	2,11	3,59	-0,24	0,74
7,6	2,53	4,37	2,82	1,62	0,87	4,48	0,54	0,56
7,7	3,44	4,55	2,67	1,43	0,04	4,57	1,80	1,46
7,8	2,1	5,13	3	2,23	1,2	4,57	0,27	0,79
7,9	1,61	3,7	5,04	3,05	1,08	5,04	0,14	-0,2
8	1,8	2,35	4,27	3,02	1	5,96	1,34	1,62
8,1	2,05	2,15	3,24	2,57	2,24	6,05	1,01	0,42
8,2	3,24	2,47	2,94	3,57	2,51	5,41	0,09	-0,63
8,3	4,23	3,45	3,74	1,98	2,86	4,65	0,30	-1,18
8,4	4,61	3,51	3,32	2,45	2,46	5,97	-0,03	-0,27
8,5	2,75	2,85	5,58	2,07	2,4	6,15	0,61	0,95
8,6	2,63	2,15	4,94	1,51	1,4	6,41	-0,18	-0,2
8,7	1,73	2,43	2,96	3,34	1,01	5,12	-0,32	-0,9
8,8	1,59	2,78	3,1	5,09	0,85	4,64	-1,39	-0,13
8,9	1,9	4,56	3,65	3,79	1,84	5,9	-1,17	-0,54
9	2,42	4,64	4,48	2,5	2,28	5,95	-0,61	-1,06
9,1	1,66	3,14	4,99	3,22	2,31	5,58	-0,33	-1,33
9,2	1,39	3,08	4,55	2,81	0,99	5,54	0,92	-0,95
9,3	2,84	2,33	5,25	3,14	1,93	6,69	-0,41	-0,83
9,4	1,18	2,14	3,63	3,38	0,94	5,2	-0,82	-1,03
9,5	1,35	0,84	2,45	5,31	0,74	4,75	-0,41	0,08
9,6	1,84	2,66	3,08	6,3	0,4	5,21	-0,61	-0,62
9,7	0,87	1,87	3,76	5,81	0,59	5,91	-0,50	-1,08
9,8	2,04	2,4	3,8	4,36	0,85	5,26	-0,54	-1,4
9,9	1,93	4,3	4,14	3,78	0,51	5,95	-0,31	-1,12
10	1,26	3,67	4,33	5,03	1,71	5,28	-0,17	0,83
10,1	2,35	4,14	5,01	6,65	1,5	4,62	0,21	-0,04
10,2	1,82	5,21	3,32	6,27	0,67	3,7	1,16	-2,16
10,3	1,48	4,49	3,01	5,78	0,94	4,3	0,60	-0,77
10,4	1,09	5,18	3,64	6,15	3,19	3,49	0,14	-1,41
10,5	1,09	4,95	2,59	5,87	2,99	3,75	1,00	-1,25
10,6	1,84	4,54	2,83	5,96	4,47	4,07	0,17	0,44
10,7	2,65	3,16	2,3	8,34	3,3	4,66	1,40	1,75
10,8	1,68	4	2,15	8,22	1,25	4,94	1,78	1,76
10,9	2,53	2,78	2,79	8,03	1,2	5,27	1,09	1,15
11	1,92	1,67	2,39	10,24	1,31	6,71	2,02	-0,31
11,1	2,9	1,04	3,14	8,2	1,55	5,92	2,59	0,3
11,2	0,98	1,59	4,44	7,45	1,12	4,25	0,63	0,83
11,3	0,55	1,74	2,26	8,92	0,29	5,34	-0,56	-0,9
11,4	0,45	2,38	1,42	12,59	0,98	6,43	-1,10	-0,65
11,5	0,64	2,59	2,63	15,32	0,97	4,94	-1,11	0,48
11,6	1,09	2,95	4,79	11,17	0,68	5,49	-0,80	0,76

11,7	1,23	3,56	5,32	7,06	0,51	6,73	1,20	0,67
11,8	1,34	4,8	6,7	6,75	0,51	8	0,23	-0,45
11,9	1,06	3,43	5,94	6,96	1,53	8,27	0,05	-1,04
12	0,85	1,9	6,6	6,89	2,08	7,07	-0,25	-0,21
12,1	1,45	2	3,14	7,71	0,72	6,12	-0,29	1,23
12,2	0,92	2,26	2,35	4,96	-0,18	7,38	-0,53	3,79
12,3	1,08	1,63	1,79	3,66	-0,1	5,55	0,69	4,38
12,4	0,84	2,83	2,31	4,74	0,04	4,63	2,08	4,22
12,5	0,77	3,61	1,23	5,07	-0,11	4,71	0,00	3,86
12,6	0,52	2,57	2,74	4,85	0,22	4,91	0,79	-0,16
12,7	0,9	3,71	2,88	3,75	0,64	7,44	0,86	0,07
12,8	0,31	1,58	3,7	4,02	1,04	6,88	0,74	-0,97
12,9	0,71	0,99	2,83	4,51	0,44	5,73	0,75	-1,16
13	1,45	1,55	2,93	5,64	0,82	4,53	2,30	-1,16
13,1	1,6	0,75	3,92	5,69	0,94	5,08	2,57	-0,75
13,2	0,24	1,54	4,54	7	2,07	4,98	-0,08	0,38
13,3	0,75	3,07	6,24	5,77	1,42	3,06	0,10	-0,47
13,4	0,29	4,79	5,62	4,72	1,47	2,25	0,07	0,02
13,5	0,62	5,83	7,94	4,33	0,75	2,8	0,86	0,79
13,6	0,35	5,74	5,88	3,8	0,46	3,15	0,36	-0,48
13,7	1,56	4,96	5,93	3,59	1,17	3,04	0,36	-1,66
13,8	1,87	3,35	6,83	4,16	1,68	4,09	-0,10	-1,8
13,9	1,29	1,55	7,07	3,07	1,76	6,35	0,23	-1,4
14	1,12	1,31	6,26	4,2	-0,03	4,55	0,86	-1,19
14,1	2,04	2,3	7,05	4,37	0,67	4,22	1,76	-1,01
14,2	0,39	2,53	5,7	4,72	1,33	4,44	0,96	-1,25
14,3	0,19	2,21	4,92	6,75	1,35	3,94	0,54	-1,22
14,4	0,45	2,49	4,58	7,03	0,58	4,77	-0,68	-1,93
14,5	0,77	3,32	4,75	6,38	0,72	4,6	1,13	-1,17
14,6	0,97	4,56	6,39	5,51	1,96	5,53	0,42	-0,97
14,7	0,62	2,7	7,56	4,97	0,95	5,07	0,52	-0,55
14,8	0,33	0,95	7,1	4,68	0,98	4,47	0,49	1,19
14,9	1,03	0,57	6,77	5,06	0,72	5,08	0,51	-0,52
15	1,43	3,3	5,8	7,15	1,48	6,23	1,04	-0,75
15,1	1,55	2,89	5,25	6,41	1,89	7,42	1,10	0,33
15,2	0,73	1,77	5,38	6,15	1,15	7,85	0,88	0,64
15,3	1,53	2,04	3,76	7,13	0,08	10,9	0,17	0,77
15,4	1,32	1,76	4,04	5,87	1,37	9,69	0,20	2,75
15,5	1,52	0,89	4,51	4,55	-0,09	9,38	0,52	2,33
15,6	0,53	1,22	4,56	3,51	0,05	10,98	0,74	1,66
15,7	0,58	2,24	4,53	3,16	1,5	12,69	1,93	0,35
15,8	0,54	1,44	4,2	3,13	4,01	12,38	1,18	0,05
15,9	0,58	0,32	4,96	3,01	7	13,01	0,35	-0,58
16	0	0,86	5,06	2,91	4,79	15,5	-0,31	0,88
16,1	0,4	1,9	4,88	2,59	1,35	16,22	0,22	1,52
16,2	1,02	0,44	3,85	2,32	0,53	12,97	-0,18	0,6
16,3	1,16	1,2	2,69	2,78	0,69	11,12	0,72	0,51
16,4	0,59	3,57	2,45	3,28	1,39	6,02	0,52	0,18
16,5	0,19	2,25	3,4	4,71	1,73	3,43	0,22	0,78
16,6	0,33	2,98	3,2	4,32	1,26	3,76	0,61	0,59
16,7	1,42	2,41	3,71	3,61	1,65	1,26	0,25	1,04
16,8	1,71	2,53	4,85	3,53	2,54	1,86	1,98	1,2
16,9	2,41	1,91	3,89	3,51	2,48	3,13	1,58	1,2
17	0,79	1,09	3,64	3,93	0,59	4,12	1,94	0,48
17,1	-0,08	1,07	3,3	3,59	1,86	5,63	3,78	-0,38
17,2	1,19	2,03	4,08	3,54	1,3	3,79	2,99	0,25
17,3	1,5	2,18	4,08	3,63	1,74	2,76	2,24	0,49
17,4	2,07	3,21	4,33	3,18	1,96	2,68	2,58	1,61
17,5	1,67	3,11	4,09	3,26	1,21	2,35	2,99	1,25
17,6	1,02	3,82	3,75	4,92	1,89	2,97	2,69	2,05
17,7	0,4	5,3	5,27	4,13	0,19	3,37	2,88	1,61
17,8	1,31	4,8	4,97	3,53	0,24	2,97	1,22	2,11

17,9	1,49	4,61	3,97	4,09	0,75	5,27	0,45	0,95
18	1,09	5,55	4,91	5,57	1,75	9,46	-0,18	0,2
18,1	0,89	7,64	4,7	6,22	0,95	11,92	0,50	-0,15
18,2	-0,26	8,93	4,03	5,69	0,99	12,11	-0,24	0,99
18,3	0,42	10,05	4,1	5,84	1,67	8,35	-0,62	1,91
18,4	0,72	8,95	4,53	5,32	1,41	3,89	0,16	1,87
18,5	1,1	9,61	5,95	4,2	2,27	4,09	0,42	1,43
18,6	1,46	8,18	6,4	3,7	1,91	5,5	0,36	-0,31
18,7	0,81	5,29	6,43	3,38	0,61	5,17	0,41	-0,08
18,8	0,58	5,2	6,35	5,46	0,52	3,23	1,06	-0,75
18,9	1,01	5,48	6,81	4,96	0,96	2,34	2,56	0,07
19	0,99	5,58	6,44	5,03	1,88	4,06	3,03	0,22
19,1	1,16	6,14	6,5	5,01	2,31	3,38	3,15	1,59
19,2	1,45	2,84	4,67	3,47	1,86	4,57	2,63	-0,75
19,3	1,51	4,66	3,75	3,78	0,97	4,08	1,20	-1,11
19,4	1,2	4,56	3,79	5,35	0,79	3,26	-0,10	-1,2
19,5	0,8	2,2	4,26	5,34	0,87	3,8	0,10	-0,07
19,6	1,31	3,71	4,05	3,64	1,51	4,45	0,15	0,71
19,7	1,56	5,42	3,72	4,32	3,62	6,54	0,20	-0,28
19,8	1,08	4,3	3,55	3,32	2,38	6,34	0,23	-0,21
19,9	1,74	3,1	3,41	3,06	1,65	3,52	0,45	1,05
20	1,78	4,8	4,39	4,47	2,07	4,7	0,48	-1,3
20,1	1,57	4,5	4,67	6,24	1,91	4,85	1,73	0,01
20,2	1,74	5,47	4,73	4,25	1,25	5,27	3,10	-0,09
20,3	0,85	4,21	5,03	4,04	1,05	4,26	0,35	1,17
20,4	0,52	4,85	4,29	4,87	-0,23	5	-0,23	1,43
20,5	1,01	4,73	4,1	4	0,36	5,28	0,35	1,16
20,6	1,55	4,24	3,6	4,65	0,77	4,4	2,10	1,19
20,7	1,79	4,21	3,71	4,34	1,52	2,24	2,17	1,35
20,8	1,59	3,23	2,79	1,42	1,16	3,07	3,03	1,66
20,9	2,42	2,53	3,23	2,02	0,51	4,76	3,47	-0,86
21	3,36	1,48	2,34	2,12	0,27	5,59	4,12	-1,03
21,1	3,03	1,97	3	1,8	0,28	5,2	2,54	0,97
21,2	2,79	2,13	2,51	2,39	0,58	3,41	2,59	2,36
21,3	3,47	1,21	2,7	4,23	-0,11	3,67	2,74	1,82
21,4	2,95	2,42	2,94	2,48	-0,22	4,94	4,04	3,13
21,5	1,93	2,24	1,87	1,82	0,92	4,44	3,01	2,25
21,6	0,84	2,02	1,6	2,05	1,28	4,28	2,44	2,17
21,7	0,23	1,3	2,46	2,94	0,22	3,7	1,82	4,7
21,8	1,72	0,41	3,13	1,56	0,97	5,34	1,63	5,01
21,9	1,61	0,84	1,96	1,35	0,04	5,57	1,90	2,57
22	0,91	1,64	1,79	2,24	0,98	4,72	1,99	0,69
22,1	1,02	1,87	2,72	3,13	1,14	5,48	1,57	-0,13
22,2	1,46	1,81	2,65	4,77	0,89	4,2	2,40	0,26
22,3	1,99	1,7	3,63	4,08	1,1	2,99	3,27	1,07
22,4	2,86	1,27	3,38	5,12	0,93	2,95	2,96	1,95
22,5	1,45	1,37	1,68	4,48	-0,26	2,17	0,30	1,29
22,6	1,65	2,17	1,71	5,53	0,05	2,08	-0,08	0,87
22,7	1,8	1,97	1,92	4,76	1,28	1,7	0,29	0,18
22,8	2,03	1,94	2,14	4,11	0,95	2,33	1,51	-0,29
22,9	1,24	1,2	2,89	4,8	0,21	2,58	1,89	-0,17
23	2,17	0,6	3,45	3,77	-0,34	2,12	1,89	0,88
23,1	0,8	0,63	3,05	4,25	0,23	3,16	1,05	1,26
23,2	0,96	1,33	1,74	4,18	0,29	4,48	1,11	2,33
23,3	1,86	1,46	1,77	4,63	0,82	2,76	1,07	1,35
23,4	3,07	1,16	1,51	3,2	-0,04	1,46	0,87	1,63
23,5	3,8	1,65	1,46	2,71	0,47	1,75	1,13	1,29
23,6	2,9	2,11	1,33	3,21	0,67	2,65	0,59	-0,39
23,7	2,16	3,84	1,96	4,72	-0,54	3,3	0,60	-1,05
23,8	2,63	3,73	1,15	4,9	-0,66	2,84	0,26	-0,36
23,9	3,93	0,96	2,04	4	0,56	2,67	1,24	0,09
24	3,66	1,1	1,81	5,2	0,47	2,65	0,82	0,45

24,1	0,72	0,86	1,71	5,36	-0,05	2,6	0,59	0,53
24,2	0,66	1,87	1,41	5,33	-0,32	3,05	-0,06	0,11
24,3	2,15	1,89	1,94	4,42	0,53	3,7	1,17	0,45
24,4	2,21	1,5	1,03	7,01	0,57	3,86	3,31	0,82
24,5	1,59	1,49	1,53	5,1	1,3	2,91	2,30	1,09
24,6	2,23	0,53	1,81	6,31	2	2,78	2,31	-0,21
24,7	1,83	0,72	1,78	8,77	1,31	2,27	1,63	0,56
24,8	1,53	1	1,98	10,27	0,32	2,28	0,42	-0,68
24,9	2,18	0,85	1,58	7,76	1,57	3,02	0,01	-1,19
25	1,81	0,72	1,62	6,82	0,29	4,6	0,46	-1,08
25,1	0,56	0,69	1,78	11,52	-0,55	6,03	0,54	0,2
25,2	0,37	0,64	2,23	9,24	-0,55	6,24	-0,04	1,99
25,3	1,54	1,87	2,75	8,96	0,16	5,32	0,39	1,48
25,4	2,01	1,6	2,48	9,24	1,01	5,74	0,78	0,73
25,5	1,98	1,94	2,3	10,92	1,58	6,12	2,27	0,13
25,6	2,14	1,72	1,59	10,86	2,72	7,01	0,90	-0,42
25,7	1,1	3,09	2,58	10,09	2,84	7,78	0,18	1,15
25,8	1,26	1,49	5,44	8,19	3,57	7,54	0,70	0,23
25,9	1,82	2,85	7,4	4,71	4,38	7,37	0,30	-1
26	1,72	1,42	6,38	2,92	1,82	5,12	-0,75	-1,53
26,1	2,48	2,02	5,38	1,4	0,66	3,33	-0,27	-1,38
26,2	2,53	1,32	5,97	1,61	1,33	3,97	0,27	-1,6
26,3	2,84	1,52	6,53	1,69	0,89	3,97	-0,49	-0,85
26,4	1,14	2,87	5,69	1,81	0,34	3,86	2,88	-1,18
26,5	1,25	3,83	4,93	4,65	1,01	2,23	1,47	-1,37
26,6	2,21	3,15	4,87	5,19	0,9	1,94	-0,83	-1,26
26,7	2,18	1,99	4,82	3,26	0,58	1,87	-0,52	-0,79
26,8	2,38	1,84	3,96	4,92	0,94	2,44	1,08	-0,6
26,9	1,88	2,06	2,72	4,55	0,93	3,14	0,30	0,59
27	1,48	1,85	2,6	3,91	1,36	2,94	-0,02	1,74
27,1	2,07	2,2	3,59	3,41	1,42	3,97	0,46	1,49
27,2	2,34	0,4	3,56	4,45	0,15	5,93	-0,24	1,17
27,3	2,21	-0,43	3,79	4,91	-0,17	7,28	-0,23	2,15
27,4	2,35	-0,5	4,46	2,58	-0,36	5,52	0,92	1,44
27,5	1,7	0,33	4,17	1,36	0,13	2,14	1,30	0,71
27,6	1,09	0,75	3,74	2,49	0,01	2,05	0,59	-0,48
27,7	1,46	1,46	2,95	3,73	-0,2	3,48	2,04	-0,4
27,8	1,14	0,66	2,31	3,52	0,3	4,02	1,58	0,7
27,9	1,04	0,68	1,73	2,94	0,53	5,13	-0,72	0,58
28	1,35	0,47	1,93	3,27	0,29	3,42	0,04	-0,73
28,1		-0,29	2,09	2,48	1,43	2,64	-0,13	-1,68
28,2		0,87	2,05	1,22	-0,09	3,03	-0,39	-1,41
28,3		0,75	3	1,98	-0,66	3,17	0,55	-0,41
28,4		0,42	3,43	4,25	-0,38	3,82	0,06	-0,32
28,5		0,61	3,99	4,43	0,13	4,64	0,63	-0,84
28,6		0,1	2,07	3,52	0,53	5,27	1,63	-1,08
28,7		0,4	1,44	3,07	0,34	4,98	2,97	-1,3
28,8		0,36	2,03	1,86	1	5,03	0,11	-0,59
28,9		0,15	1,69	1,74	0,57	6,53	1,23	0
29		0,32	1,19	1,58	0,34	7,37	0,85	0,71
29,1		0,62	0,65	4,62	0,96	5,85	1,66	0,58
29,2		0,15	2,51	3,59	0,42	5,05	-0,13	1,05
29,3		-0,42	1,9	0,21	-0,72	5,21	-0,33	0,67
29,4		-0,07	1,87	0,72	-0,81	5,92	-0,97	-1,36
29,5		-0,15	3,32	3,04	0,33	5,83	-0,94	-2,15
29,6		-0,07	1,61	3,01	-0,68	5,57	-0,33	-1,43
29,7		1,33	1,51	2,02	-0,24	5,24	-0,54	-0,38
29,8		0,81	2,04	3,3	0,23	5,62	0,02	1,51
29,9		-0,06	3,66	2,51	0,69	5,89	1,44	1,62
30		-0,24	1,73	3,21	1,05	4,79	0,74	0,67

vrt	R8	R9a	R10a	R11a
vrt DRM	270211#0_r 8.drm	270211#02_ r9.drm	270211#03_ r10.drm	270211#04_ r11.drm
Depth	Force [N]	Force [N]	Force [N]	Force [N]
0	0	0	0	0
0,1	0,8	0,64	2,07	1,44
0,2	2,51	0,51	2,38	2,59
0,3	3,26	-0,3	3,42	1,29
0,4	3,69	-0,4	2,7	0,24
0,5	3,49	0,43	1,89	0,81
0,6	3,94	1,8	0,54	0,99
0,7	4,23	0,78	-0,14	2,58
0,8	5,32	2,5	-0,34	0,55
0,9	7,5	0,64	-0,24	-0,65
1	6,32	1,52	-0,55	0,92
1,1	7,04	4,75	-0,8	3,18
1,2	9,18	7,62	0,52	3,16
1,3	9,64	9,97	1,01	1,57
1,4	11,3	12,7	1,48	1,59
1,5	11,4	10,3	1,42	2,97
1,6	11,2	1,61	1,24	3,24
1,7	12,4	0,64	0,7	4,71
1,8	17,4	1,25	-0,55	5,12
1,9	14,1	0,64	0,43	5,22
2	14,3	1,35	-0,32	4,69
2,1	14,3	2,94	2,08	5,07
2,2	11,6	3,76	4,01	2,19
2,3	11,4	2,63	3,2	2,75
2,4	9,35	2,53	1,86	3,23
2,5	6,8	0,76	1,49	3,38
2,6	5,97	0,52	2	3,72
2,7	6,15	0,35	3,35	3,73
2,8	5,25	2,28	0,47	2,8
2,9	5,3	2,51	-0,76	2,89
3	5,65	1,5	-0,94	2,09
3,1	5,74	0,75	-0,8	2,09
3,2	5,95	1,15	-1,23	1,92
3,3	4,59	2,52	0,48	2,17
3,4	7,28	1,25	0,6	3,53
3,5	6,99	0,74	2,1	3,43
3,6	5,1	0,95	0,44	2,16
3,7	5,91	0,63	0,96	1,39
3,8	6,74	0,21	0,39	1,95
3,9	7,67	0,77	2,76	0,96
4	8,14	1,23	3,99	2,16
4,1	6,8	3,06	2,61	1,72
4,2	5,49	1,83	0,87	1,87
4,3	4,34	1,01	0,4	1,99
4,4	3,47	1,82	0,46	1,63
4,5	4,58	0,57	0,62	0,86
4,6	5,37	1,35	1,64	-0,1
4,7	5,4	1,44	2,62	0,6
4,8	5,42	1,81	1,3	0,42
4,9	5,82	1,78	-0,83	0,82
5	6,31	1,41	0,33	2,01
5,1	8,33	2,53	1,23	2,03
5,2	5,63	2,31	3,82	1,29
5,3	4,61	2,21	0,06	2,08
5,4	4,95	2,19	0,23	2,06
5,5	3,9	1,84	1,86	2,72
5,6	3,76	1,99	1,46	2,45

5,7	3,59	2,55	1,7	0,95
5,8	5,13	1,88	0,21	0,22
5,9	4,93	1,04	1,01	-0,38
6	5,8	1,07	2,54	-0,95
6,1	5,97	2,31	-0,92	-0,51
6,2	6,76	3,62	-0,49	0,34
6,3	7,01	4,96	-0,09	0,12
6,4	7,67	6,38	1,84	-0,65
6,5	6,22	5,88	-0,21	0,28
6,6	5,98	3,52	-1,45	0,41
6,7	7,1	2,84	0,58	0,52
6,8	7,64	2,55	-1,19	0,65
6,9	7,25	1,39	-1,2	0,63
7	6,87	1,13	-0,7	0,57
7,1	5,22	0,87	-0,42	1,86
7,2	6,29	0,86	-0,62	3,82
7,3	7,66	0,72	-2,79	3,22
7,4	6,55	0,82	-1,8	1,86
7,5	5,53	0,92	-2,48	1,25
7,6	4,33	1,46	-2,26	1,73
7,7	4,31	1,91	-2,2	2,33
7,8	5,57	1,16	-1,93	2,83
7,9	6,07	2,16	-0,98	2,9
8	5,96	3,04	-0,89	2,96
8,1	4,56	2,99	-0,54	2,24
8,2	5,3	2,23	-0,04	2,43
8,3	3,71	0,79	-1,11	3,68
8,4	3,37	3,1	-1,99	4,29
8,5	3,29	3,12	-1,41	4,65
8,6	1,99	2,77	-0,29	4,08
8,7	1,13	3,82	-0,62	3,48
8,8	2,26	4	0,66	3,65
8,9	2,93	1,81	0,45	2,83
9	2,68	1,74	0,76	3,68
9,1	4,69	3,3	-0,14	3,59
9,2	6,06	2,58	1,55	3,73
9,3	6,49	1,77	1,5	2,56
9,4	5,31	3,38	0,85	3,09
9,5	4,5	3,29	0,69	1,03
9,6	3,9	2,44	0,38	0,58
9,7	5,06	2,76	0,31	2,42
9,8	4,97	2,13	1,61	2,76
9,9	5,25	3,12	2,86	2,16
10	4,7	1,85	0,61	2,47
10,1	3,88	1,83	0,87	2,4
10,2	4,02	1,23	1,89	1,57
10,3	5,88	0,5	-0,61	1
10,4	5,9	1,3	0,33	1,42
10,5	5,46	1,56	2,62	1,8
10,6	3,25	1,33	3,78	1,78
10,7	3,37	1,47	1,39	3,3
10,8	4,47	1,51	-0,62	2,46
10,9	3,22	2,3	0,43	3,42
11	2,11	1,77	-0,74	2,61
11,1	2,47	1,3	1,37	3,22
11,2	2,56	1,13	3,23	1,4
11,3	1,75	0,51	1,91	-0,43
11,4	3,19	0,93	-0,47	0,07
11,5	3,64	0,73	0,59	1,02
11,6	3,59	1,01	1,93	0,74
11,7	3,24	1,31	1,56	1,65
11,8	4,21	2,42	1,28	1,4

11,9	5,37	2,77	1,98	1,1
12	3,78	2,57	1,88	0,33
12,1	2,67	1,83	1,46	0,28
12,2	2,88	1,16	1,47	0,4
12,3	3,45	1,52	0,74	0,16
12,4	4,91	4,46	1,68	0,63
12,5	6,74	2,86	2,84	0,3
12,6	2,26	2,25	2,24	-0,5
12,7	2,44	1,52	4,49	0,76
12,8	3,17	1,72	3,42	0,6
12,9	2,86	3,55	4,24	0,14
13	2,74	3,42	5,86	0,28
13,1	3,12	3,32	5,94	1,44
13,2	3,35	2,33	7,04	0,96
13,3	3,34	1,73	4,13	0,25
13,4	2,48	1,51	3,55	1,29
13,5	4,19	0,72	1,63	2,62
13,6	3,52	0,84	-0,27	1,45
13,7	3,65	1,67	-0,93	1,02
13,8	3,29	1,7	0,84	0,39
13,9	2,86	2,34	-1,42	1,1
14	4	3,25	-1,08	1,65
14,1	3,88	1,93	-0,62	1,29
14,2	5,29	1,09	1,44	1,11
14,3	4,99	1,34	4,08	2,55
14,4	4,35	1,31	-0,01	3,29
14,5	5,51	0,16	-2,03	1,22
14,6	3,52	-0,8	-2,92	1,48
14,7	3,12	-0,2	-3,03	0,83
14,8	4,22	2,33	-2,33	1,95
14,9	3,88	1,87	-0,74	2,18
15	6,46	2,94	1,32	2,72
15,1	4,76	1,78	-0,11	2,5
15,2	4,96	0,59	-1,4	2,27
15,3	4,79	0,73	0,27	2,82
15,4	2,96	0,81	0,65	2,16
15,5	3,04	0,74	-0,73	1,17
15,6	3,34	1,25	-1,99	1,02
15,7	4,34	3,07	-1,97	1,86
15,8	6,1	3,47	-1,13	2,74
15,9	4,77	1,46	-0,16	1,83
16	6,13	2	0,45	1,47
16,1	5,63	1,95	-1,62	2,33
16,2	4,78	1,52	-2,4	3,46
16,3	4,14	1,55	-3,06	2,22
16,4	5,33	2,19	-1,73	1,05
16,5	5,35	2,8	-1,7	2,7
16,6	5,84	2,82	-1,49	1,49
16,7	8,94	2,71	-2,47	1,7
16,8	9,95	1,56	-2,57	2,3
16,9	5,52	1,42	-1,84	2,14
17	4,94	1,1	-1,06	2,68
17,1	4,73	1,1	-2,25	2,96
17,2	4,42	1,75	-0,38	3,35
17,3	5,5	0,87	-0,13	4,54
17,4	6,28	1,01	-0,57	4,84
17,5	7	2,13	2,32	5,43
17,6	6,87	2,9	-0,16	4,61
17,7	6,95	2,15	-0,39	3,89
17,8	7,36	2,78	-0,82	2,58
17,9	9,3	2,88	-0,58	3,28
18	9,1	2,59	-1,13	3

18,1	7,49	2,64	-0,98	4,16
18,2	6,74	2,36	1,41	4,65
18,3	6,28	1,62	0,36	5,79
18,4	4,66	1,59	0,57	6,72
18,5	5,1	3,18	-1,84	6,33
18,6	6,32	3,59	-2,6	7,05
18,7	7,65	3,06	-3,12	6,16
18,8	9,11	2,29	-0,98	7,78
18,9	6,32	1,96	0	7,05
19	5,97	3,17	1,4	6,89
19,1	6,44	3,45	1,28	6,8
19,2	5,71	1,37	-0,06	5,81
19,3	6,31	0,87	-0,74	2,11
19,4	8,62	1,06	-1,49	3,25
19,5	10,4	1,87	-2,45	3,32
19,6	7,85	2,14	-1,61	3,59
19,7	6,22	2,14	-1,04	5,29
19,8	5,62	1,88	0,14	5,4
19,9	6,36	1,91	0,46	5,12
20	7,53	1,54	2,14	4,14
20,1	6,08	1,63	1,2	2,59
20,2	5,58	2,88	1,46	2,82
20,3	5,5	2,41	0,94	2,61
20,4	7,3	2,81	0,68	3,91
20,5	8,26	2,95	0,28	3,97
20,6	8,55	1,73	-0,24	3,18
20,7	7,03	1,56	0,06	3,6
20,8	7,16	1,56	-0,94	4,25
20,9	8,99	1,64	-0,48	2,04
21	8,59	0,98	-0,57	1,31
21,1	9,04	1,55	0,26	0,93
21,2	10,2	1,15	1,21	1,29
21,3	11,8	0,44	0,43	1,53
21,4	11,3	0,71	0,75	0,89
21,5	10,5	1,06	2,92	1,44
21,6	10,2	0,74	0,24	1,38
21,7	10,1	0,37	-0,8	0,8
21,8	9,91	0,7	-0,09	1,32
21,9	9,82	1,03	0,73	1,24
22	10	0,42	0,05	3,08
22,1	10	0,93	-1,12	5,73
22,2	9,62	1,09	-0,79	5,85
22,3	9,44	2,09	0,83	4,63
22,4	7,86	1,39	3,82	6,56
22,5	7,46	0,95	4,07	7,26
22,6	7,22	1,49	4,28	6,66
22,7	7,35	1,58	6,11	3,89
22,8	7,08	2,45	3,82	0,8
22,9	7,52	1,98	2,49	-0,41
23	9,23	1,34	0,7	0,72
23,1	9,05	1,08	-1,21	1,52
23,2	7,07	1,69	-1,95	2,04
23,3	4,79	2,01	-1,29	3,95
23,4	5,58	0,76	-2,38	3,67
23,5	5,65	0,99	-1,96	3,52
23,6	5,06	1,66	-0,12	2,16
23,7	4,04	2,36	-1,38	1,32
23,8	4,66	3,9	-2,21	1,52
23,9	6,02	3,1	-0,66	4,15
24	7,28	2,58	-0,45	4,64
24,1	7,46	1,98	-0,99	1,55
24,2	6,63	1,62	-1,17	1,08

24,3	8,26	1,67	0,82	1,1
24,4	7,28	1,75	1,03	-0,86
24,5	5,93	1,42	-0,59	0,94
24,6	5,73	0,99	-1,57	0,34
24,7	5,61	0,74	-1,14	0,09
24,8	4,63	1,12	-1,16	-0,2
24,9	3,56	1,49	-1,11	0,46
25	3,98	1,39	-0,54	1,83
25,1	4,91	0,34	-1,13	-0,04
25,2	5,59	1,84	-0,67	-0,08
25,3	5,62	2,48	-0,32	0,66
25,4	6,33	1,43	0,13	0,86
25,5	6,12	2,53	-0,34	0,97
25,6	3,94	4,69	-0,55	0,77
25,7	6,98	5,43	0,33	-0,18
25,8	6,41	6,08	-0,94	-0,95
25,9	4,46	4,88	-0,95	0,51
26	4,18	3,94	0,18	0,91
26,1	4,28	4,1	1,03	1,21
26,2	5,11	5,51	0,07	1,51
26,3	4,41	5,41	-1,11	0,59
26,4	3,52	4,1	-1,65	0,23
26,5	3,59	3,5	-1,5	1,37
26,6	4,26	4,39	-1,45	2,15
26,7	4,45	4,26	-0,42	2,22
26,8	4,27	2,83	0,78	1,26
26,9	5,36	3,18	-0,59	1,03
27	4,97	3,04	-2,25	1,56
27,1	4	1,72	-1,98	2,62
27,2	2,59	1,81	-1,64	3,32
27,3	2,13	1,43	-1,37	2,9
27,4	3,72	1,1	-1,1	4,38
27,5	4,48	1,94	-1,12	5,36
27,6	4,3	1,66	-1,51	3,59
27,7	3,65	1,84	-1,92	2,8
27,8	2,79	2,28	-2,63	3,03
27,9	2,97	1,67	-2,01	2,71
28	3	1,6	-1,73	1,77
28,1	3,14	1,27	-3,06	3,24
28,2	2,87	0,03	-2,1	4,69
28,3	2,3	0,14	-2,68	3,04
28,4	2,3	0,21	-1,21	2,63
28,5	2,24	0,32	-0,65	2,14
28,6			-0,15	4,38
28,7			0,3	4,91
28,8			0,58	3,53
28,9			0	1,5
29			-1,16	1,11
29,1			-1,08	0,73
29,2			-1,29	1,02
29,3			-1,63	2,58
29,4			-0,6	3,22
29,5			-0,59	2,54
29,6			-1,5	0,81
29,7			-0,45	0,12
29,8			-1,48	0,52
29,9			-2,2	0,19
30			-2,07	1,81

Příloha č. 9: Měření ultrazvukové transmise na laboratorních vzorcích⁸

⁸ Měření provedla Dana Macounová

Tab. Výsledky měření UZ transmise referenčních zkušebních tělísek (různé způsobí aplikace).

vzorék	kde	směr	před konsol		změna (%)	průměr		průměr podle aplikace před konsol	průměr podle aplikace po konsol	průměr změna (%)	po konsol	průměr podle aplikace v (km/s)	průměr podle aplikace v (km/s)
			v (km/s)	v (km/s)		před konsol	v (km/s)						
vz1	nasucho, nezakryto	nahore	a	2,26	3,23	43							
		dole	a	2,22	2,54	14							
	nahore	b	2,21	3,26	48								
		dole	b	2,25	2,36	5	2,24	2,85	27				
vz2	nasucho, nezakryto	nahore	a	1,95	3,15	62							
		dole	a	1,9	2,67	41							
	nahore	b	1,99	3,16	59								
		dole	b	1,71	2,52	47	1,89	2,88	52				
vz3	nasucho, nezakryto	nahore	a	1,67	2,97	78							
		dole	a	1,77	2,55	44							
	nahore	b	1,78	3,16	78								
		dole	b	1,92	2,53	32	1,79	2,80	58				
vz4	nasucho, nezakryto	nahore	a	2,06	3,26	58							
		dole	a	1,82	2,53	39							
	nahore	b	1,97	3,13	59								
		dole	b	1,95	2,45	26	1,95	2,84	45	1,96	2,84	46	
vz5	předv/lhčeno, nezakryto	nahore	a	1,65	2,91	76							
		dole	a	1,8	2,43	35							
	nahore	b	1,99	2,94	48								
		dole	b	1,99	2,41	21	1,86	2,67	45				
vz6	předv/lhčeno, nezakryto	nahore	a	1,6	3,02	89							
		dole	a	1,74	2,66	53							
	nahore	b	1,93	2,94	52								
		dole	b	1,93	2,94	52							

Příloha č. 10: Přípravné zkoušky injektážních směsí pojených konsolidanty řady CaLoSiL®⁹

⁹ Zkoušky a jejich dokumentaci provedla Dana Macounová

Přípravné zkoušky injektážních směsí pojených Calosilem E25 a E50

Pro potřeby restaurování sochy anděla s dítětem z Kutné hory z kutnohorského biodetritického vápence, která byla vybrána jako referenční objekt pro projekt Stonecore a konsolidována přípravky Calosil E 25 a Calosil E 50, byly odzkoušeny injektážní směsi pojené těmito konsolidanty.

Pro odzkoušení připravených injektážních směsí byly připraveny vzorky z kutnohorského vápence o přibližné velikosti 6,5 x 5,5 x 3,5 cm, které byly rozlomeny, odrovnáním v horní části v nich byla vytvořena prasklina klínovitého charakteru a pak byly obě části k sobě opět přiloženy a pevně spojeny po obvodu vzorku lepící páskou.



Socha anděla s dítětem

V přípravné fázi bylo připraveno osm vzorků a 4 druhy plniva. U prvních čtyř vzorků byl zvolenými plnivými plněn Calosil E25 (VZ1/25-VZ4/25) a u druhých čtyř Calosilem E50 (VZ1/50-VZ4/50). Před aplikací injektážních směsí byly vzorky předpenetrovány 12 ml Calosilu E 25. Po injektáži byla na vzorcích měřena rychlost průchodu UZ signálu. Následně byly vzorky rozlomeny, přičemž byla subjektivně hodnocena soudržnost spoje, hloubka zatečení směsí a její tvrdost vrypem.



Příčný řez vzorkem s imitovanou prasklinou; naznačení směří měření UZ signálu



Měření UZ signálu po injektáži

Jako plniva byla vybrána mramorová moučka Carolith 0,125 – 0,25 mm a dvě blíže neurčené zrnitosti mletého křemene MT8 a Mletý SiO₂ Štřeleč. Podrobněji jsou jednotlivé receptury a jejich hodnocení popsán v následující tabulce.

Použitá plniva:

Carolith – mramorová moučka z Cararského mramoru (0,125 – 0,25 mm)

MT8 – mletý křemen

Mletý SiO₂ – mletý křemen; sklopísky Štřeleč

Použitá pojiva:

Calosil E25, Calosil E50

č.m. vzorek	směs	poměr ml/ml	měření UZ po injekci	rozlomení vzorku - popis	popis injektáže	hloubka vyplnění/mm vryp skalpelem
1	VZ 1/25	Carolith	kde	rozlomení vzorku - popis	popis injektáže	hloubka vyplnění/mm vryp skalpelem
2		3g + 1,5ml	nahore uprostřed	rozlomeno - lehce 3	ucpává s kovovou jehlou	1,2
3			dole			
1	VZ 2/25	1:1 1,5g + 1,5g + 1,5ml	nahore uprostřed	rozlomeno - lehce 1	dobré	1
2			dole			
1	VZ 3/25	2:1 2g + 1g + 2ml	nahore uprostřed	rozlomeno - lehce 2	příliš husté, ředěno (+0,5ml)	0,6
2			dole			
3						
1	VZ 4/25	1:1 1,5g + 1,5g + 1,5ml	nahore uprostřed	praskl sám při rozbalování	dobré na růžovou jehlu (1,2mm)	0,6
2			dole			
3						
1	VZ 1/50	Carolith	nahore uprostřed	praskl sám při rozbalování	dobré, trochu se ucpává -kov.j.	1
2		3g + 1,5ml	dole			skoro pevně pevnější než 25
3						
1	VZ 2/50	1:1 1,5g + 1,5g + 1,5ml	nahore uprostřed	praskl sám při rozbalování	výborné zprac. - kov.j.	0,8
2			dole			drolí se 2 pevnější než 25
3						
1	VZ 3/50	2:1 2g + 1g + 2ml	nahore uprostřed	rozlomeno - pevné	dobré, troch husté - kov. j.	0,7
2			dole			pevně pevnější než 25
3						
1	VZ 4/50	1:1 1,5g + 1,5g + 1,5ml	nahore uprostřed	rozlomeno - velmi pevné	zpracování výborné kov. j.	0,95
2			dole			drolí se 1 pevnější než 25
3						

Záznamová tabulka přípravných zkoušek injektážních směsí pojených Calosilem

Všechny tyto odzkoušené směsi měly poměrně malou zatékavost a po odpaření rozpouštědla se sprašovaly. Všechny byly vyhodnoceny jako nepoužitelné. Měřením UZ signálu jsme ale i přesto dospěli k dobrým výsledkům, průměrná rychlost průchodu UZ signálu u neošetřených kompaktních vzorcích před rozlomením je 2,73 km/s.

Přípravné zkoušky injektážích směsí pojivých Calosilem E50 s ohledem na viskozitu Calosilu Pasty a jejich porovnání

Po vyzkoušení přípravku Calosil Pasty jsme se rozhodli udělat další sérii zkoušek. Jako plniva byly zvoleny materiály s menšími částicemi a jako pojivo byl testován pouze Calosil E50. Calosil Pasty byl pro testování směsí plněného Calosilu E50 výchozí. Abychom zajistili podobné podmínky pro testování, míchali jsme směsi tak, aby měly podobnou viskozitu jako Calosil Pasty. Viskozita byla měřena rychlostí průtoku daného objemu injektážní směsi daným průměrem laboratorní nálevky o objemu trychtýře 25 ml. Připravené směsi s podobnou viskozitou byly aplikovány do prasklin ve vzorcích z kutnohorského vápence (jako v předešlém případě) o velikost 4 x 3,5 x 3,5 cm předvličených 2ml ethanolu.

Použitá plniva:

CaCO₃ – sražený CaCO₃

Aero – Aerosil

MM – Mramorová moučka Deffner & Johann; 32 μ

Použitá pojiva:

Calosil E50

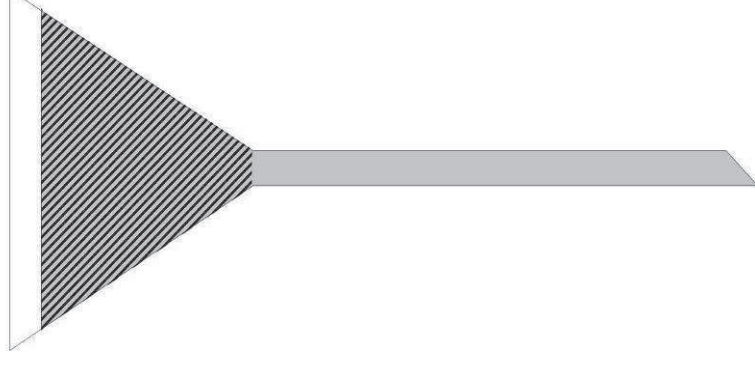
Srovnání s přípravkem:

Calosil Pasty (u daného přípravku byl naměřen obsah Ca(OH)₂ přibližně 200g/l)

číslo směsi	plnivo	poměr plniva	plnivo - m1/g	plnivo - m2/g	pojivo/ ml	v průtoku/ s
voda						0:03:19
1	Calosil Pasty					0:56:54
2	CaCO ₃		51		65	0:58:17
3	MM		85		60	0:59:38
4	Aero + CaCO ₃	1:1	4,2	4,2	75	0:57:58
5	MM + CaCO ₃	1:1	33,2	33,2	60	0:58:36
6	Aero + CaCO ₃	1:2	3,75	7,5	86,5	0:56:08
7	MM + CaCO ₃	1:2	22	44	68	0:57:69
8	MM + Aero	1:1	4,05	4,05	85	0:54:97
9	MM + Aero	1:2	8	4	70	0:52:15

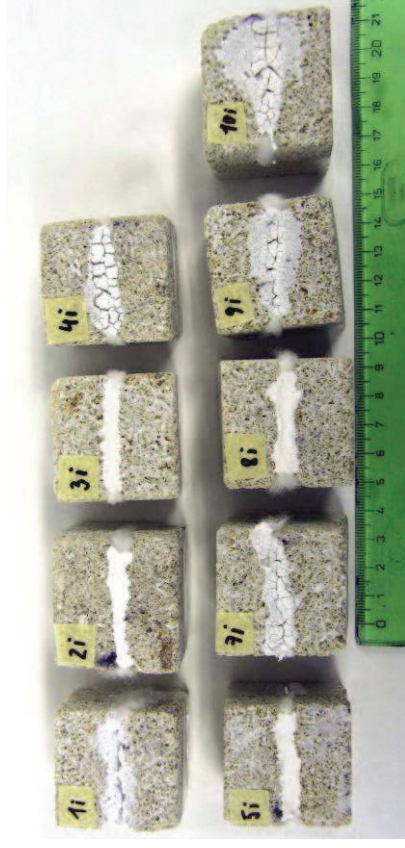
Složení směsí a jejich viskozita

Nálevka na měření viskozity;
šrafovaná část má objem 25ml



Před aplikací do prasklin byla každá injektážní směs 15 s důsledně protřepána.

číslo vzorku	číslo směsi	injektovaný V /ml	zpracovatelnost	poznámka
vz1i	1	3	1	výborné, přemostí jen malou prasklinu
vz2i	2	0,8	3	dobré
vz3i	3	0,85	2	dobré
vz4i	4	0,5	6	úplně špatné, netekuté
vz5i	5	1	3	velmi dobré
vz7i	6	1,1	5	husté
vz8i	7	0,8	4	husté, ucpává se
vz9i	8	1	4	husté, ucpává se, ale z Aero to nejlip zatéká
vz10i	9	0,5	6	úplně špatné, netekuté



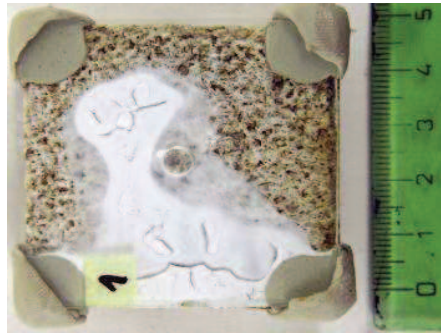
Výhodnocení testovaných injektážních směsí

Vzorky vyplněné injektážními směsí

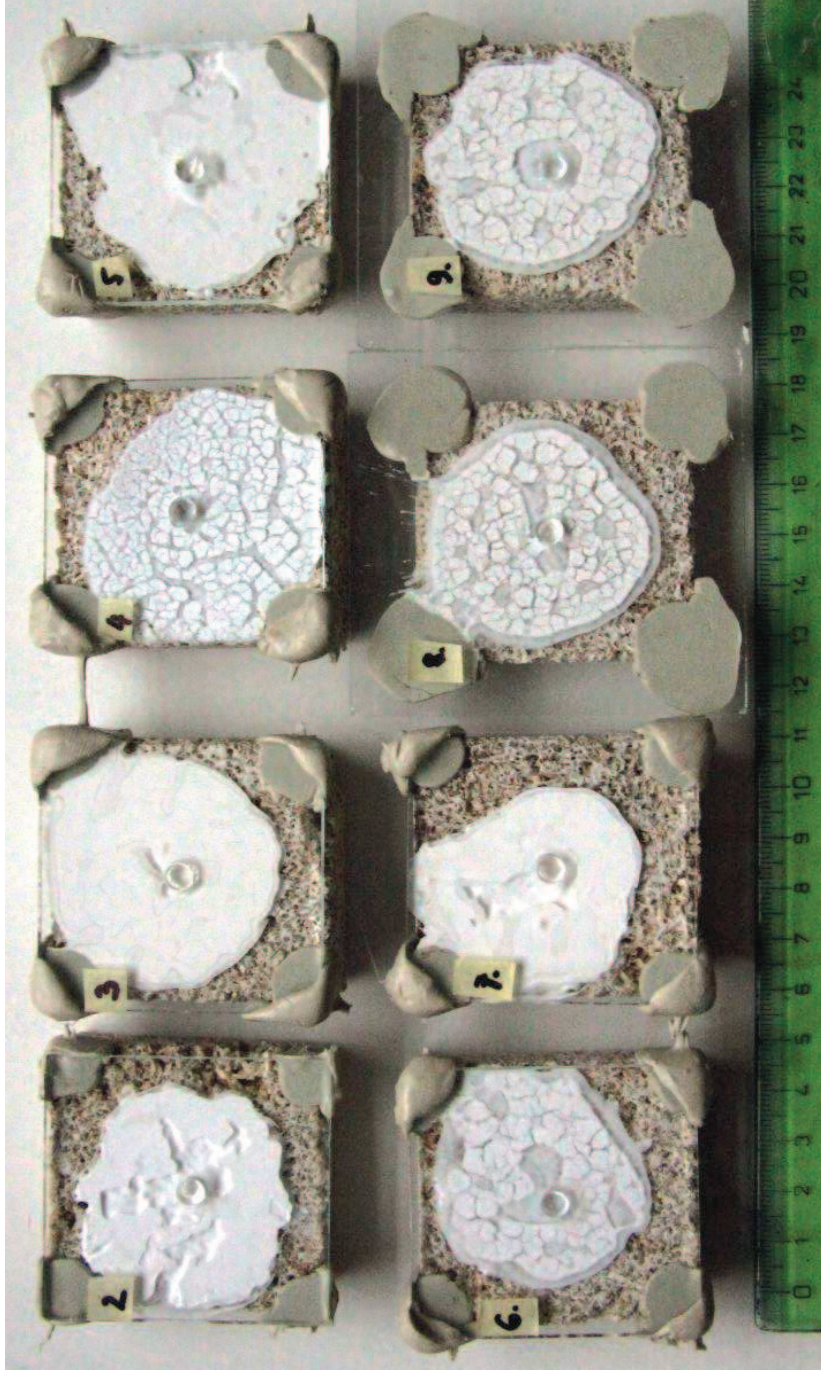
Se stejnými směsí byl také proveden test rozlivu na stejném vápenci do 1mm silné mezery pod sklíčkem.

číslo směsi	injektovaný V /ml	zpracovatelnost	poznámka	rozsazí rozlivu/cm	popis rozlivu
1	2	1	velmi dobrý, vysoká zatékavost	4,75 - 4,6	dutina uprostřed; vypraskané
2	0,75	5	sedimentuje, nešel vpravit celý V	3,6 - 4,15	zaplněné
3	2	2	velmi dobrý	4 - 4,2	zaplněné; trochu vypraskané
4	2	4	dost hustý, jinak bez problémů		úplně vypraskané
5	2	2	velmi dobrý	3,7 - 5	krásně zaplněné; jemně popraskané
6	2	3	dobré, z Aero nejlepší		úplně vypraskané
7	2	3	dobrá zpracovatelnost	3,8 - 3,5	zaplněné; nejmenší rozliv
8	2	6	husté, ucpává se v jehle		úplně vypraskané
9	2	4	husté		úplně vypraskané

Popis rozlivu injektážních směsí pod sklíčkem



Calosil Pasty; injektáž pdo sklíčko



Injektáže pod sklíčko; označení čísel směsí

číslo směsi	Plinivo	poměr plniva	injektovaný V /ml	rozmezí rozlivu/cm	popis rozlivu
1	Calosil Pasty		2	4,75 - 4,6	dutina uprostřed; vypraskané
2	CaCO3		0,75	3,6 - 4,15	zaplněné
3	MM		2	4 - 4,2	zaplněné; trochu vypraskané
4	Aero + CaCO3	1:1	2		úplně vypraskané
5	MM + CaCO3	1:1	2	3,7 - 5	krásně zaplněné; jemně popraskané
6	Aero + CaCO3	1:2	2		úplně vypraskané
7	MM + CaCO3	1:2	2	3,8 - 3,5	zaplněné; nejmenší rozliv
8	MM + Aero	1:1	2		úplně vypraskané
9	MM + Aero	1:2	2		úplně vypraskané

Popis vzhledu injektáže pod skličkem

číslo vzorku	číslo směsi	po rozlomení	vryp	rozsah zatečení
vz1i	1	pevný spoj; popraskané 3	tvrdý	2,4 - 3,25
vz2i	2	pevný spoj 1	velmi měkké	0,25 - 0,75
vz3i	3	lehce rozlomitelné; popraskané	velmi měkké	0,6 - 1,2
vz4i	4	nepoužitelné		
vz5i	5	pevný spoj 2	měkké	0,6 - 1,7
vz7i	6	nepoužitelné		
vz8i	7	pevný spoj 2	měkké	0,6 - 0,85
vz9i	8	nepoužitelné		
vz10i	9	nepoužitelné		

Popis injektáží po rozlomení vzorků

U této druhé série byla naměřena rychlost průchodu UZ signálu před rozlomením, po rozlomení a po vyplnění prasklin. Změny rychlostí jsou zaznamenány v následující tabulce. Vybrány byly jenom vzorky se směsmi, které nepopraskaly. Ty popraskané jsou v tabulce označeny šedou barvou.



Ukázka injektovaných vzorků po rozlomení; pouze směsi, které nepopraskaly

číslo vzorku	místo měření	v (km/s) před rozlomením	v (km/s) po rozlomení	v (km/s) po injektáži
Vz 1i	nahore	2,41	2,03	2,33
	uprostřed	2,36	2,02	2,31
	dole	2,33	1,83	2,18
Vz 2i	nahore	2,57	1,84	1,83
	uprostřed	2,77	2,02	2,09
	dole	2,71	1,83	1,81
Vz 3i	nahore	2,65	1,85	1,99
	uprostřed	2,79	2,04	2,2
	dole	2,79	2,01	2,12
Vz 5i	nahore	2,77	2,12	2,22
	uprostřed	2,81	1,96	1,98
	dole	2,87	1,95	1,92
Vz 8i	nahore	2,73	2,08	1,99
	uprostřed	2,85	2,06	2,03
	dole	2,77	1,77	1,89

Příloha č. 11: Výsledky analýzy účinnosti konsolidace pomocí elektronové mikroskopie¹⁰

Metoda analýzy:

Rastrovací elektronový mikroskop Philips ESEM XL 30 a FEI Quanta 200 F

Zadání:

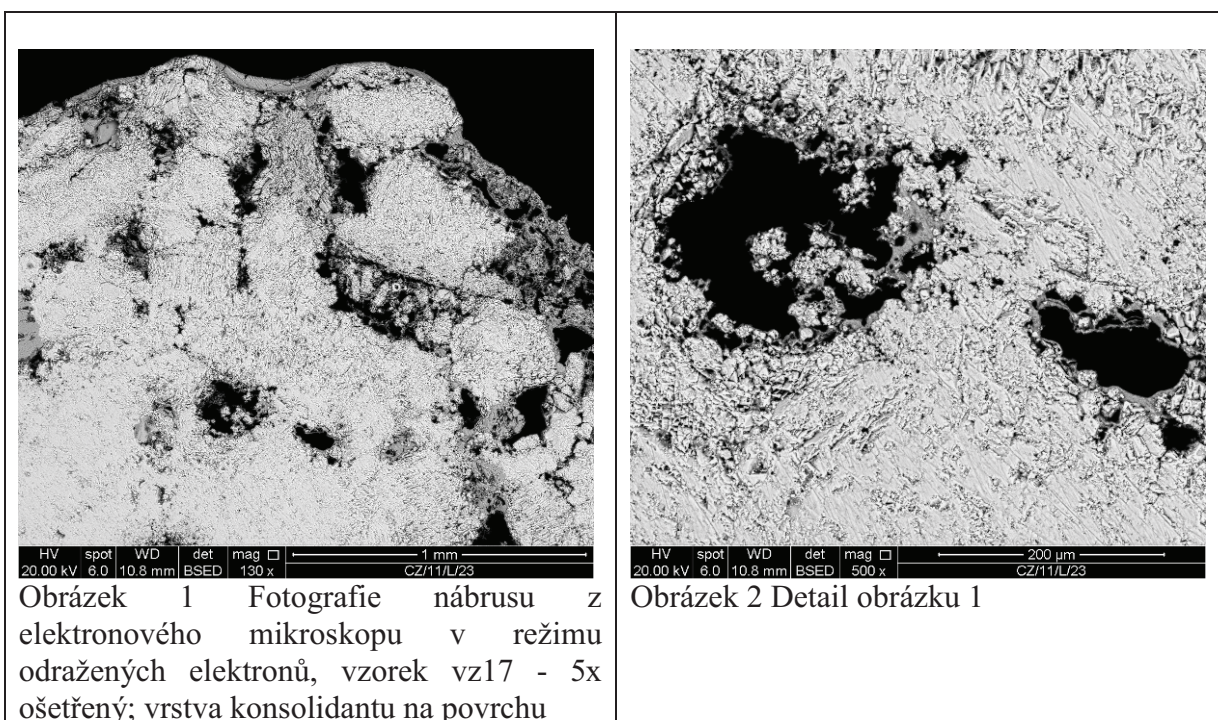
ověření efektivity konsolidace, zjištění systému ukládání konsolidantů a jeho přítomnosti v porézním systému horniny v různých hloubkách od ošetřovaného povrchu

Testovaný vzorek:

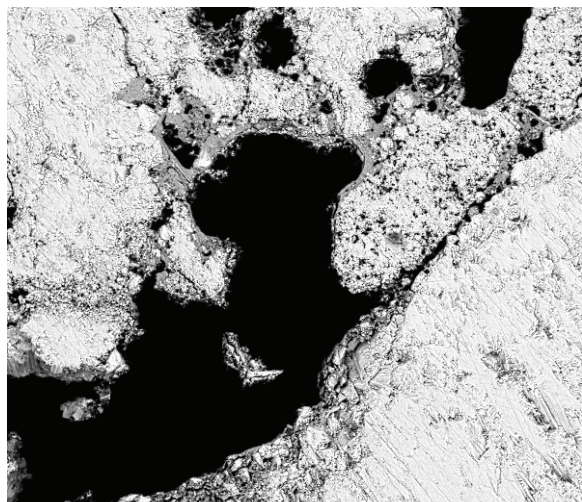
vz 17, vysoce porézní kutnohorský vápenec, ošetřený konsolidantem na bázi hydroxidu vápenatého CaLoSiL® E25 v pěti napouštěcích cyklech

Analýzu provedla:

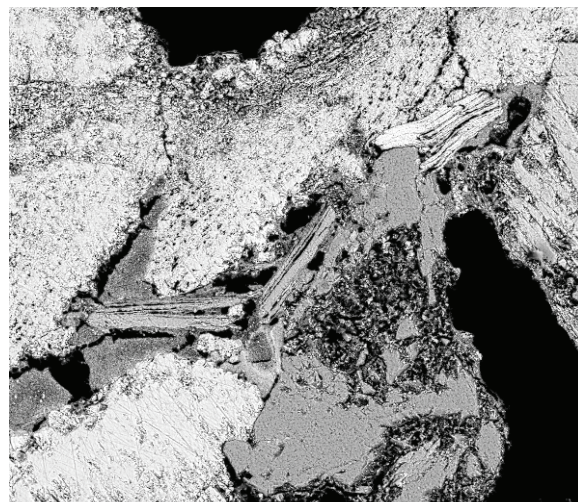
Mgr. Elizabeth Ghaffari, Univerzita pro užité umění ve Vídni



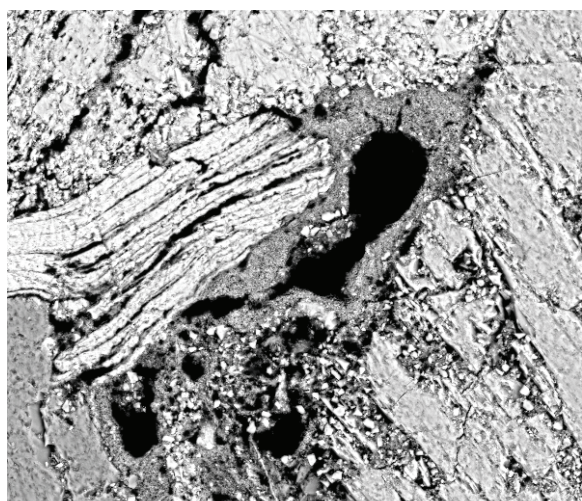
¹⁰ Zprávu na základě analýzy Mgr. Elizabeth Ghaffari zpracovala Dana Macounová



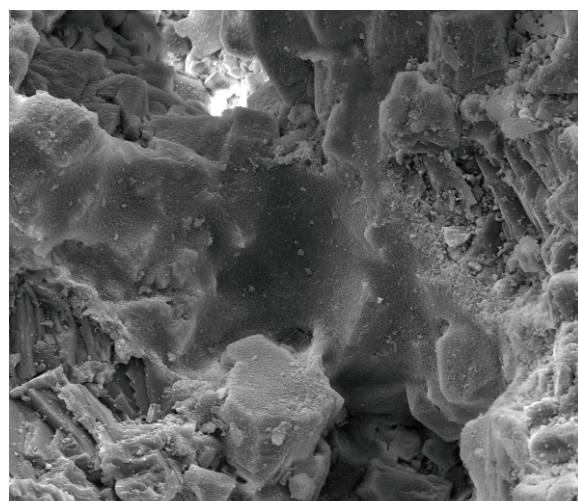
Obrázek 3 Fotografie nábrusu z elektronového mikroskopu v režimu odražených elektronů, vzorek vz17 - 5x ošetřený; konsolidant přibližně 1 cm pod aplikačním povrchem



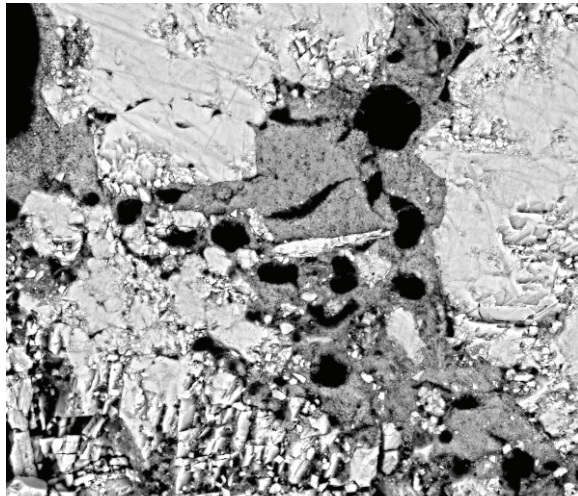
Obrázek 4 Fotografie nábrusu z elektronového mikroskopu v režimu odražených elektronů, vzorek vz17 - 5x ošetřený; konsolidant přibližně 2 cm pod aplikačním povrchem



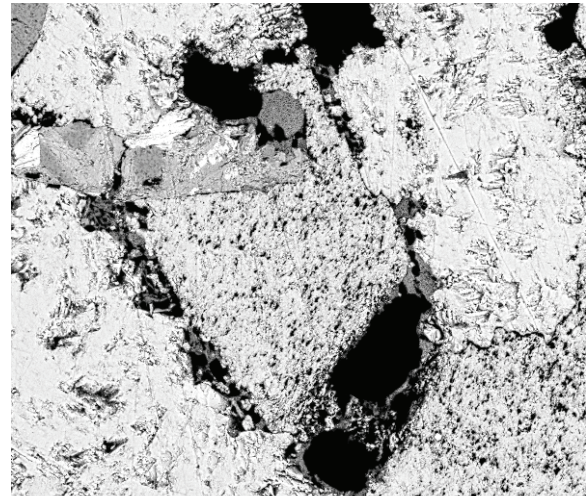
Obrázek 5 Fotografie nábrusu z elektronového mikroskopu v režimu odražených elektronů, vzorek vz17 - 5x ošetřený; detail obrázku 4 při zvětšení 1000x



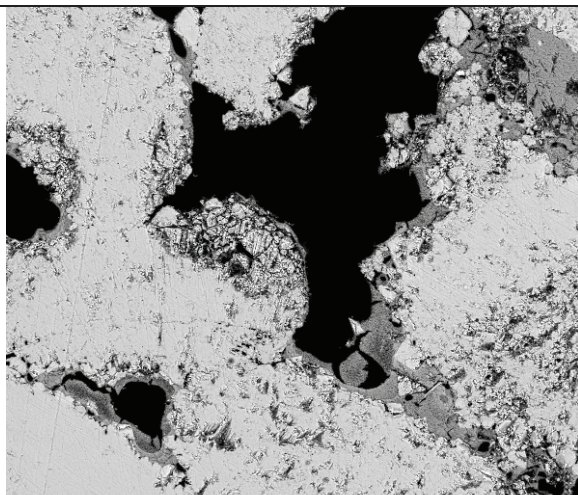
Obrázek 6 Fotografie nábrusu z elektronového mikroskopu v režimu sekundárních elektronů, vzorek vz17 - 5x ošetřený; konsolidantů uvnitř póru v první třetině vzorku



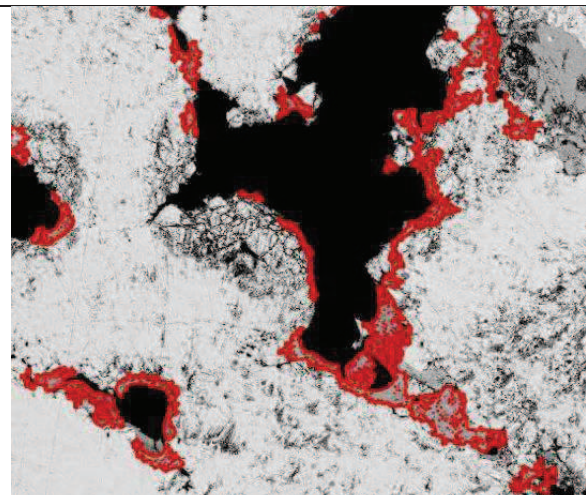
Obrázek 7 Fotografie nábrusu z elektronového mikroskopu v režimu odražených elektronů, vzorek vz17 - 5x ošetřený; konsolidant přibližně 3 cm pod aplikačním povrchem



Obrázek 8 Fotografie nábrusu z elektronového mikroskopu v režimu odražených elektronů, vzorek vz17 - 5x ošetřený; přibližně 1,5 cm od podstavy vzorku – menší množství CaLoSilu, ale je identifikovatelný



Obrázek 9 Fotografie nábrusu z elektronového mikroskopu v režimu odražených elektronů, vzorek vz17 - 5x ošetřený; spodní třetina vzorku – póry vyplněné CaLoSiLem



Obrázek 10 zvýraznění konsolidantu na obrázku 9