|  |  |
| --- | --- |
| **Archivní číslo vzorku** |  |
| **Odběrové číslo vzorku** | K1, K2, S1-S3, T1, K3, K4, ST1, S4-S6 |
| **Pořadové číslo karty vzorku v databázi** | 105 |
| **Místo** | Choceň |
| **Objekt** | Mariánský sloup |
| **Místo odběru popis** | |  |  |  | | --- | --- | --- | | **Vzorky k analýze** - byly odebrány ze všech tří částí tvořící sloup | | | | **Místa odběru** | **Označení vzorku** | **Stručný popis**  **(požadovaná analýza)** | | socha_nahore-celo2  Panna Maria Immaculata | **K1**  **(drapérie)** | povrchová vrstva nečistot (složení nečistot) | | **K2**  **(drapérie)** | povrchová vrstva nečistot (složení nečistot) | | **S1-S3**  **(zeměkoule)** | degradovaný vzorek horniny pod cementovým tmelem, hloubková sonda (vlhkost, obsah vodorozpustných solí) | | **T1**  **(zeměkoule)** | tmel použitý pro doplňky na celém sloupu, lokálně nanesený ve dvou vrstvách – hrubozrnné jádro, jemnozrnný štuk na povrchu (složení, základní fyzikální vlastnosti) | |  |  |  | | sloup-celni_strana-vrch  Dřík sloupu | K3  (dřík, nad oblakem) | tmavě šedá kompaktní vrstva depozitů na hrubozrnném pískovci (složení povrchového znečištění) | | K4 (dřík, srážkový stín) | tmavě šedá kompaktní vrstva depozitů v dešťovém stínu (složení povrchového znečištění) | | ST1 (dřík) | zbytky okrového nátěru lokálně dochovaný na dříku i plastické výzdobě. Okrový nátěr je velmi tenký, silně degradovaný (složení nátěru, posouzení stavu) | | S4-S6 (dřík) | vzorek horniny, hloubková sonda (vlhkost, obsah vodorozpustných solí) | |  |  |  | | sloup-celni_strana-spodek  Podstavec s figurální výzdobou | **S7-S9 (tympanon)** | vzorek horniny, hloubková sonda (vlhkost, obsah vodorozpustných solí) | | **S10-S11 (římsa)** | vzorek horniny, hloubková sonda (vlhkost, obsah vodorozpustných solí) | | **V1 (římsa)** | bílý výkvět, povrch (složení) | |
| **Místo odběru foto** |  |
| **Typ díla** | socha |
| **Typ podložky (v případě vzorků povrchových úprav / barevných vrstev)** |  |
| **Datace objektu** | Kolem roku 1762 |
| **Zpracovatel analýzy** | Tišlová Renata, Bayer Karol |
| **Datum zpracování zprávy k analýze** | 1. 12. 2008 |
| **Číslo příslušné zprávy v databázi zpráv** | 2008\_1 |

|  |
| --- |
| **Výsledky analýzy** |
| Výsledky obsahu vodorozpustných solí byly vyhodnoceny na základě rakouské normy Önorm-B3355-1, která klasifikuje obsah vybraných typů solí v minerálních stavebních materiálech a zároveň doporučuje opatření vedoucí k redukci jejich obsahu. Norma je citována v Tab. 1.  **Tab.1:** Koncentrace vodorozpustných solí v Hm.%, jak je definuje rakouská norma Önorm-B3355-1.   |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | **Stupeň zasolení** | **chloridy (Cl-)** | **dusičnany (NO3-)** | **sírany (SO42-)** | | **nízký** | **<0,03** | **<0,05** | **<0,1** | | **středně vysoký** | **0,03-0,1** | **0,05-0,15** | **0,1-0,25** | | **vysoký** | **>0,1** | **>0,15** | **>0,25** |   **Vyhodnocení výsledků:**  **Obsah vodorozpustných solí –** průzkumem salinity použitého pískovce bylo zjištěno vysoké zasolení originálního kamene a to prakticky v celé hmotě sloupu – vrcholové soše Panny Marie, dříku i v podstavci. Z analyzovaných solí se na korozi horniny podílí především sírany a dusičnany, které jsou ve vysokých koncentracích distribuovány na povrchu i v hloubce horniny. Obsah síranů v povrchových vrstvách může částečně souviset s obsahem sádrovce prokázaného prvkovou analýzou v povrchových vrstvách nečistot (viz. Kapitola Průzkum povrchových vrstev); přítomnost síranů v hloubkách horniny pravděpodobně souvisí s jiným typem síranů. Zdrojem síranových iontů jsou v silně znečištěném městském prostředí oxidy síry, které v prostředí srážek působí korozivně na minerální materiály. Obzvlášť některé druhy síranů se vyznačují vysoce destruktivní účinkem.  Zdroj dusičnanů, vysoký především v soklové části, nelze jednoznačně určit; dusičnany se ve vysokých koncentracích obvykle vyskytují v místech shromažďování a rozkladu organických zbytků (např. ptačího trusu, apod.), příp. by se mohlo jednat o zbytky předchozích oprav sloupu, např. po razantním očištění pomocí minerálních kyselin.  **Obsah vlhkosti –** ze sloupu byly odebrány dva typy vzorků hornin – S1-S3 byly odebrány pod hrubou vrstvou tvrdého doplňku, kde byla pozorována největší míra koroze, která se projevovala úplným rozpadem horniny pod povrchem tmelu do hloubky cca 2 cm. Ostatní vzorky byly odebrány z pískovce, bez povrchové vrstvy tmelu. Z výsledků je patrné, že použití stávajícího typu tmelu výrazně přispívá ke korozi původní horniny. Ve vrstvách pod tmely se zadržuje srážková vlhkost (až 4,5%, tj. cca 2x vyšší obsah vlhkosti než je normální vlhkost pískovce), příp. vodorozpustné sole. Zvýšená vlhkost je zvláště problematická v zimních měsících, kdy může docházet k její fázové přeměně na led. Tato přeměna je vždy doprovázena zvýšením objemu vyvolávajícím napětí v hornině.   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | **vzorek** | h (cm) | místo odběru | vlhkost  (hm.%) | c (Cl-) | | c (NO3-) | | c (SO42-) | | | hm.% | mmol/kg | hm.% |  | mmol/kg | hm.% | | **S1** | **0-1** | **zeměkoule** | 3,1 | 0,01 | 2,37 | 0,05 | 7,44 | 0,14 | 14,24 | | **S2** | **1-2** | 3,3 | 0,01 | 5,32 | 0,15 | 24,49 | 0,19 | 19,91 | | **S3** | **2-3,5** | 4,4 | 0,02 | 3,35 | 0,03 | 4,57 | 0,26 | 27,07 | | **S4** | **0-1,5** | **dřík** | 2,1 | 0,01 | 1,63 | 0,83 | 133,90 | 0,73 | 75,93 | | **S5** | **1,5-3** | 2,0 | 0,01 | 2,33 | 0,02 | 3,67 | 0,70 | 72,85 | | **S6** | **3-4** | 1,6 | 0,01 | 2,93 | 0,05 | 8,46 | 0,83 | 86,14 | | **S7** | **0-1,5** | **podstavec** | 2,0 | 0,05 | 13,42 | 0,67 | 108,61 | 0,42 | 43,99 | | **S8** | **1,5-3** | 1,6 | 0,06 | 14,12 | 0,30 | 47,66 | 0,22 | 23,14 | | **S9** | **3-4** | 1,2 | 0,05 | 16,93 | 0,42 | 68,14 | 0,13 | 13,66 | | **S10** | **0-1** | **podstavec** | 0,7 | 0,02 | 5,27 | 0,02 | 3,72 | 0,99 | 103,05 | | **S11** | **1-2,5** | 0,5 | 0,01 | 1,67 | <0,01 | <1,86 | 0,09 | 9,04 |   **Doplňky a složení umělého kamene**  V rámci předchozích oprav sloupu došlo k rozsáhlé výměně některých částí za doplňky. Rozsáhlejší opravy (výměna figurální výzdoby, rozsáhlejších architektonických prvků) byly provedena v kameni; méně rozsáhlé defekty, menší doplňky, byly provedeny v umělém kameni. Dokumentace a rozsah kamenických doplňků byla samostatně zpracována v petrografickém průzkumu, který zpracoval RNDr. Zdeněk Štaffen.  Na sloupu byl identifikován pouze jeden typ umělého kamene. Jedná se o velmi tvrdý tmel šedé až okrové barvy, v závislosti na jeho probarvení. Tmel je nanesen v jedné nebo dvou vrstvách (v místě hlubších defektů); hlubší vrstvy jsou nejprve vyplněny jádrovým, hrubozrnným tmelem; povrch je „přeštukován“ tenkou vrstvou jemnozrnného tmelu. Přesné složení tmelu bylo určeno průzkumem, stejně jako byly u tohoto materiálu určeny základní fyzikální vlastnosti, které slouží pro porovnání kompatibility tohoto typu tmelu s přírodní horninou.    **vzorek T1:** Socha Panny Marie, zeměkoule – tmel nanesený ve dvou vrstvách – hrubozrnný jádrový tmel, na kterém je nanesena tenká vrstva jemnozrnného štuku.   |  |  | | --- | --- | | kosatky,chocen 046  **vzorek T1 – tmel, socha Panny Marie, zeměkoule.** | T1_tmel ze zeměkoule  Povrch tmelu s degradovanou povrchovou úpravou-bílé světlo, zvětšení 3x. | | T3_jádrový tmel  Hrubozrnný jádrový tmel - bílé světlo, zvětšení 3x. | T3_štukový tmel  Jemnozrnný štukový tmel - bílé světlo, zvětšení 3x. | | N  REM-BEI – charakteristická struktura cementového tmelu – vysoce kompaktní matrix s přítomností kulovitých makropórů. | VZP2B  REM-BEI – slínková částice cementového tmelu. |   **Popis vzorků a složení vrstev dle REM-EDX:**   |  |  |  | | --- | --- | --- | | vrstva | | popis a složení vrstvy | | 1 | okrová | obsahuje žlutý okr, příměs barytu a vápna; vrstva je částečně sulfatizovaná  vrstva je bohatá na Si – mohlo by se jednat o nátěr s křemičitým pojivem (vodním sklem nebo fluátem)  **složení dle REM-EDX:** **Si**, Al, Ca, S, Ba (Fe) | | 0 | pískovec | křemičitý pískovec |   **Stanovení fyzikálních vlastností použitých doplňků, srovnání s přírodními horninami**  U vzorku T1 (dva vzorky) byly určeny základní fyzikální charakteristiky, které jsou důležité z hlediska ohodnocení kompatibility použitých doplňků na přírodní pískovec – nasákavost vodou (NV), otevřená porozita pro vodu (Pz). Výsledky jsou shrnuty v Tab. 3, pro porovnání byly uvedeny stejné vlastnosti pro jemnozrnný a střednězrnný křemičitý pískovec, podobné horniny byly identifkovány na Mariánském sloupu. Kromě tohoto vykazuje největší poškození jílový pískovec okrové barvy, u něhož lze předpokládat ještě vyšší hodnoty nasákavosti vodou a porozity.  Tab. 3: Nasákavost vodou NV (hm.%), porozita Pz (obj. %) použitých doplňků, porovnání s vybranými typy pískovců.   |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | Vzorek/pískovec | Nasákavost vodou ponořením za atmosférického tlaku NV (hm.%) | Porozita otevřená vodě Pz (obj.%) | Pevnost v tlaku (MPa)\* | | T1/1 | 8,2 | 14,3 | - | | T1/2 | 7,6 | 13,1 | - | | pískovec, lokalita Podhorní Újezd | 8-11 | 16,6-23,2 | 28-44 | | Božanov, střednězrnný pískovec | 4-7 | - | 55-70 |   Pozn.: \* převzato z archivu hornin FR, UPCe  **Vyhodnocení výsledků:**  Z naměřených fyzikálních charakteristik je zřejmé, že vysoký obsah vodorozpustných solí a vysoká vlhkost na sloupu použitého materiálu jsou zvláště nebezpečné v kombinaci méně nasákavých a málo porézních tmelů s partiemi, které byly zhotoveny z jemnozrnného či jílového pískovce. Použitý typ tmelu omezuje přirozenou výměnu vlhkosti s okolním prostředím (obzvlášť, pokud je nanesen v hrubších vrstvách), voda zůstává uzavřená ve hmotě kamene (ještě více zadržovaná jílovým typem pískovce), lépe řečeno v podpovrchové vrstvě pod tmelem. Zde dochází ke krystalizaci solí, případně v zimních měsících k „vymrzání“ vody v pórech, které jsou vždy doprovázeny objemovými změnami. Je zcela logické, že absolvování několika takových cyklů dochází k překročí pevnosti horniny (obzvlášť méně kvalitní jílový pískovec se bude vyznačovat nižší pevností) a nastává poškození pozorovaná na choceňském sloupu.    **Složení povrchových nečistot**  **vzorek K1:** drapérie Panny Marie, tmavá kompaktní vrstva depozitů.   |  |  |  | | --- | --- | --- | | kosatky,chocen 029  **vzorek K2 – drapérie Panny Marie, tmavá vrstva depozitů.** | K2_100x  **bílé světlo, zvětšeno 100x** | 2  1  0 | | K2_skrusta na povrchu silikátového pískovce  **bílé světlo, zvětšeno 3x.** | K2  **REM-BEI** | |   **Složení povrchové vrstvy depozitů dle REM-EDX:** stejné složení bylo zjištěno u vzorku K4.  **Prvkové složení dle REM-EDX:**  **org.**, Si – povrchová vrstva nečistot tvořena pouze prachovými depozity, které jsou velmi dobře propojeny s horninou. Povrch není sulfatizován.  **vzorek K2:** drapérie Panny Marie, tmavá křehká vrstva povrchových nečistot, v místech chráněných před srážkovou vodou.   |  |  |  | | --- | --- | --- | | kosatky,chocen 043  **vzorek K2 – povrchová vrstva nečistot, drapérie Panny Marie.** | 4372  **bílé světlo, zvětšeno 100x** | 1  0 | | K1_sádrovcová krusta_dřík  **bílé světlo, zvětšeno 100x.** | H1  **REM-BEI – povrch pískovce, sádrovec s prachovými depozity obaluje křemenná zrna pískovce.** | |   **Prvkové složení dle REM-EDX:** stejné složení bylo zjištěno u vzorku K3  **Prvkové složení dle REM-EDX:**   |  |  |  | | --- | --- | --- | | vrstva | | popis a složení vrstvy | | 1 | šedo-černá | vrstva nečistot tvořená sádrovcem  **složení dle REM-EDX:** **Ca**, **S**, Si | | 0 | pískovec | křemičitý pískovec |   **vzorek V1:** římsa, podstavec sloupu.   |  |  | | --- | --- | | P1050723  **vzorek V1 – bílé výkvěty na povrchu pískovce.** |  | | **P1**  **bílé světlo, zvětšeno 2x** | **S**  **REM-BEI – kompaktní struktura sádrovce.** |   **Prvkové složení dle REM-EDX:**  **Ca,** **S**, Si, Al (Mg, Fe) – povrchová vrstva nečistot je v místech chráněných před vymýváním srážkovou vodou (záhyby drapérie figurální výzdoby, římsa podstavce) tvořena sádrovcem (síranem vápenatým), který vznikl přeměnou uhličitanu vápenatého (přítomného např. v tmelech, příp. povrchových úpravách) na síran vápenatý vlivem působení atmosférických podmínek (působení oxidů síry a atmosférických vlivů – vlhkosti). Vrstva tvořená sádrovcem váže tmavé prachové depozity a saze .  **Složení povrchových úprav a retuší**  **vzorek ST1:** dřík sloupu, hnědo-okrová barevná úprava pískovce.   |  |  |  | | --- | --- | --- | | ST1_zbytky okrové barevnosti_dřík **vzorek P/1 –** bílé světlo, zvětšeno 100x. | ST1_100x  **bílé světlo, zvětšeno 100x.** | 2  1  0 | | ST1  **REM-BEI** | ST1U **REM-BEI – povrch pískovce se zbytky barevné úpravy (mezi zrny).** |  |   **Popis vzorků a složení vrstev dle REM-EDX:**   |  |  |  | | --- | --- | --- | | vrstva | | popis a složení vrstvy | | 2 | **černá** | vrstva depozitů tvořená sádrovcem a prachovými depozity.  **složení dle REM-EDX:** **Ca, S**, Si | | 1 | **okrová** | Zbytky vrstvy zachované v prostoru mezi zrny;  obsahuje žlutý okr s malou příměsí umbry, příměs titanové běloby a uhličitanu vápenatého; ve vrstvě byl identifikována přítomnost olova, které může pocházet z některé ze starších povrchových úprav, příp. je součástí prachových depozitů. Vrstva je částečně sulfatizovaná.  Vrstva je bohatá na organické sloučeniny – pojivo povrchové úpravy by mohlo být organického původu.  **složení dle REM-EDX:** **Si**, Al (Fe, K, Ti) (Pb, Ca, S) | | 0 | **pískovec** | křemičitý pískovec, na povrchu vrstva nečistot. |   **vzorek P2:** dřík sloupu, tmel - hnědo-okrová barevná úprava tmelu.   |  |  |  | | --- | --- | --- | | T2_tmel spodní část s pvorch úprav  **vzorek P/2 – bílé světlo, zvětšeno 100x.** | P2_100x  **bílé světlo, zvětšeno 100x.** | 1  0 | | VZP2  **REM-BEI** | VZP  **REM-BEI – povrch tmelu se zbytky barevné úpravy (mezi zrny).** |  |   **Popis vzorků a složení vrstev:**   |  |  |  | | --- | --- | --- | | vrstva | | popis a složení vrstvy | | 1 | **okrová** | zbytky povrchové úpravy dochované ve fragmentech, především v prostorech mezi zrny pískovce. Obsahuje žlutý okr, pravděpodobně s příměsí umbry (přítomnost Mn), titanovou bělobu a malou příměs uhličitanu vápenatého, který je částečně sulfatizovaný.  **složení dle REM-EDX:** **Si**, Al, Ti, Fe, Al (S, Mn) | | 0 | **šedá** | cementový tmel (analýza viz. kap. doplňky) |   **Shrnutí výsledků chemicko-technologického průzkumu**  Chemicko-technologický průzkum Mariánského sloupu v Chocni je součástí komplexního restaurátorského průzkumu, který provedla Fakulta restaurování Univerzity Pardubice v říjnu-listopadu 2008.  Chemicko-technologický průzkum byl zaměřen na ohodnocení stavu sloupu s důrazem na originální materiál objektu (pískovec), stav doplňků pocházejících z předchozích oprav a restaurátorských zásahů a popis hlavních korozních fenoménů, které jsou příčinou současného špatného stavu sloupu.  **Průzkum prokázal:**  **- Aktuální stav sloupu, popis hlavních korozních fenoménů:** Stav originálního materiálu sloupu lze hodnotit jako havarijní; původní materiál figurální výzdoby i architektury sloupu jsou dochovány fragmentárně, s přítomností rozsáhlých kamenických oprav a sekundárních doplňků v umělém kameni, které jsou přítomny na celé ploše sloupu. Celoplošně je povrch znečištěn, v místech srážkových stínů je v důsledků sulfatizace povrchu hornina rozrušena do hloubky několika mm. Hloubkové poškození, několik cm, je patrné v místech, kde byly provedeny opravy umělým kamenem na bázi Portlandského cementu s odlišnými vlastnostmi než byly zjištěny u původního materiálu. Originální materiál je silně zavlhnutý a zasolený vodorozpustnými solemi, zvláště dusičnany a sírany, které jsou přítomny v celém sloupu od povrchu do hloubky několika cm. Lze tak jednoznačně říci, že nevhodné použití umělého kamene pro doplňky v tak rozsáhlé míře, v kombinaci se špatným stavem horniny (především vysoký obsah vodorozpustných solí a vysokou vlhkostí) i z petrografického průzkumu vyplývající nižší kvalita pískovců (především jílový typ pískovce, viz. petrografický průzkum) použitých pro doplňky, jsou hlavní příčinou havarijního stavu Mariánského sloupu.  **- Dokumentace stavu předchozích restaurátorských zásahů** (složení a vlastnosti umělého kamene použitého pro doplňky, dokumentace povrchových úprav)**:** Pro doplňky defektů a poškození byl použit jeden typ tmelu. Z hlediska složení se jedná o umělý kámen na bázi Portlandského cementu, který je na povrchu nanesen v místech mělkých defektů v tenké štukové vrstvě, pro vyplnění hlubších defektů byl použit nejprve hrubozrnný jádrový tmel. Barevně byl umělý kámen tónován do barevnosti originálního kamene, povrch byl na závěr barevně ucelen retuší v okrové až okrově-hnědém tónu. Povrchová retuš vznikla pravděpodobně při rozsáhlé opravě sloupu výše popsaným umělým kamenem.  Současný stav doplňků uvedeného typu umělého kamene je velmi dobrý; avšak ve styku s originální horninou sloupu způsobuje použití tohoto typu tmelu rozsáhlá poškození vedoucí až k odpadávání částí sloupu. Důvodem jsou zcela odlišné fyzikální a mechanické vlastnosti umělého kamene, které se odlišují od pískovcového podkladu - především u jemnozrnných typů (jemnozrnný křemičitý i jílový pískovec). Především nižší porozita a nasákavost tmelů (souvisí i s paroporpustností), zabraňují pro přírodní horniny přirozenou výměnu vody s okolím (vysušování horniny). Vlhkost a vodorozpsutné soli se koncentrují ve vrstvách pod tmely a působí korozivně na stav pískovcového podkladu. |

|  |
| --- |
| **Fotodokumentace analýzy** |
|  |