

RESTAUROVÁNÍ DROBNÝCH DEFECTŮ NA POVRŠÍCH Z PŘEDSÁDKOVÉHO BETONU

Josef Červinka, Aleš Hvízdal, Petr Tej, Michael Gabriel

V roce 2021 byl týmem Kloknerova ústavu a restaurátorem zaměřeným na restaurování betonových artefaktů zpracován památkový postup s názvem Rekonstrukce cenných betonových mostních objektů. Jeho součástí byl i experiment zaměřený na možnosti restaurování zábradlí Libeňského mostu. Experiment se věnoval složení vysprávkové směsi a postupu doplňování menších defektů na originálních částech zábradlí mostu. Vzhledem k povaze a architektonickému významu objektu byl experimentální zásah proveden se snahou o akceptování nejen technických, ale i estetických hledisek, jak je u stavebních kulturních památek běžné.

RESTORATION OF MINOR DEFECTS ON CHISELED CONCRETE SURFACES

In 2021, a team from the Klokner Institute together with a specialist in the restoration of concrete artefacts developed a conservation procedure for the reconstruction of non-load-bearing concrete elements of historic bridges. It included an experiment focused on the restoration of the parapet of the historic Libeň Bridge. The experiment included development of a mix design for the repair mortar and of the procedure of filling-in minor defects on the original parts of the parapet. Given the character and architectural significance of the bridge, the experimental repair process considered not only technical aspects of the remedial work but also aesthetic ones, as is appropriate in the case of restoration of architectural cultural heritage.

Koncepce restaurátorského zásahu

Restaurátorský zásah obecně by měl být veden snahou doplnit chybějící části objektu a vizuálně je sjednotit tak, aby finální vzhled co nejvíce odpovídal předpokládané podobě objektu v době svého vzniku. V našem případě byly zvažovány různé přístupy a kombinace restaurátorských metod s metodami běžnými ve stavební praxi. Pro restaurování byla zvolena řada komerčních výrobků, před jejichž aplikací bylo provedeno několik zkoušek modifikovatelnosti a zpraco-

vatelnosti. Důraz byl kladen zejména na maximální přiblížení vlastností doplňované hmoty původním materiálům a na to, aby použité materiály vizuálně neměnily původní materiálu objektu. Pro tyto účely byly navrženy materiály vyvzorkovány samostatně a následně byly aplikovány na referenční plochy objektu. (obr. 1 a 2)

Restaurovaný prvek

Zábradlí nad obloukovým mostem Libeňského soumostí je složeno ze tří typů do sebe vkládaných prefabrikovaných prvků, které jsou osazeny do

podélné drážky mostní římsy. Jedná se o sloupky, výplně a podélná madla, která mají dělicí spáry v místě sloupků. Díly jsou spojeny systémem pero-drážka. Obvod sloupku je perem, které je vloženo do drážek okolních částí. U výplně je horizontální spoj perem a vertikální drážkou. (obr. 3)

Restaurátorský zásah byl provádněn na sloupku (obr. 3), který je zhotoven z předsádkového betonu stejně jako výplně a madla, ale na rozdíl od nich neobsahuje vzhledem k tloušťce 90 mm jádrový beton.

Popis poškození

Betonová výplň zábradlí vykazovala několik poškození:

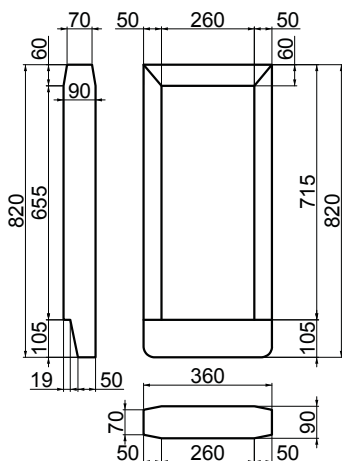
- povrch byl znečištěn tmavými depozity,
- na reliéfu povrchu se vedle autentického kamenického opracování podílela i částečná ztráta pojiva obnažující hrany zrn použitého kameniva,
- na styčných plochách s jinými dílci byly zbytky ložné cementové malty,
- v části tvořící pero pro drážku protilehlého kusu byl odpadlý beton nad výztuží, která byla poškozena povrchovou korozi a deformací, jež neumožňovala návrat výztuže do původní polohy,
- v souvislosti s mechanickým namáháním okraje dílce se ve hmotě



1



2



3

betonu vyskytovala trhlina. Ztráta hmoty zde byla zapříčiněna odložením hran, pera a rohu dílce. Tato poškození prezentovala plastický defekt s nepravidelným okrajem o mocnosti chybějící hmoty od nuly do několika centimetrů. Další typ plastického defektu tvořil otvor po jádrovém vrtání. (obr. 4)

Materiálový průzkum

Petrografický rozbor

V rámci odebraného vzorku betonu byly v základní hmotě zastoupeny prakticky výhradně horninové klasty (zrna) mramorů (krystalických vápenců). Pouze výjimečně bylo možno v základní hmotě betonu pozorovat drobné klasty granitoidů (křemen-živcový agregát) nebo zaoblená zrna křemene. Generálně byly horninové klasty mramorů zastoupeny angulárními až subangulárními zrny velikosti do 10 mm. V základní hmotě betonu se nacházela četná zrna mramorů (většinou jednotlivá zrna, která jsou tvořena jedním krystalem – jedincem – středně až hrubě krystalického kalcitu), jež byla omezena vlastními krystalografickými plochami (krystalografické omezení podle klenců). Struktura vzorku byla zubovitá (zubovitě granoblastická), z hlediska mineralogického složení se jednalo o kalcit a sekundární součásti (oxid-hydroxid Fe–Mn). Horninové klasty mramorů byly složeny výhradně z krystalického agregátu kalcitových zrn. Tento krystalický agregát velikosti 0,25 až 10 mm (středně až hrubě krystalický) byl tvořen většinou ze zubovitě (nevýrazně laločnatě) omezených kalcitových zrn, která byla pigmentova-



4

ná (zakalená) oxidy-hydroxidy Fe–Mn. Běžně byla patrná lamelovaná nebo dvojčteně lamelovaná zrna kalcitů, která byla tlakově deformovaná (různě velké zprohýbání lamel). Ojedinele byl v intergranulárních spárách (mezi zrny) zastoupen jemný mikroagregát kalcitu, který vznikl drčením a rekrytalizací zrn (plastické deformace).

Z petrografického rozboru vyplynulo, že součástí betonové směsi bylo drčené mramorové kamenivo (obr. 5), s největší pravděpodobností z lomů v Jeseníkách (Supíkovice, Dolní Lipová). Svědčí o tom fakt, že jediným nalezištěm nerostu s těmito vlastnostmi v ČR je právě zmiňovaná lokalita. Zde je mimo jiné těžen i materiál na

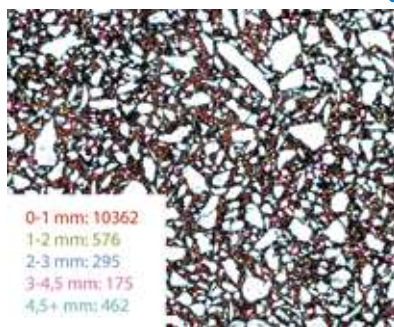


5a



5b

1 Vzorky cementů: A – portlandský směsný cement: CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R Českomoravský cement, B – portlandský směsný cement: CEM I 42,5 R Českomoravský cement, C – portlandský směsný cement CEM II/B-M (S-V-LL) 32,5 R Prachovice Cemex, D – portlandský cement CEM II/A-LL 32,5 R Schwenk, E – portlandský cement CEM II/A-LL 32,5 R Čížkovický cement **2** Vzorky mramorových drtí z lokality Jeseník: 0,5–1; 1,5–2; 2,5–3; 3–4,5; 4,7; 6–9; 9–12; 16–25; 25–50 mm **3** Rozměry betonové výplně zábradlí **4** Stav před restaurováním **5** Petrografický rozbor vzorku betonu z Libeňského mostu: a) makrosnímek, b) tenký řez vzorkem, polarizace **6** Výsledek součtu zrn a rozdělení podle frakcí **7** Zainjektování nízkoviskózní epoxidovou pryskyřicí Injektionsharz 100 **1** Cement samples: A – portland blended cement: CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R Českomoravský cement, B – portland blended cement CEM I 42,5 R Českomoravský cement, C – portland mixed cement CEM II/B-M (S-V-LL) 32,5 Prachovice Cemex, D – portland cement CEM II/A-LL 32,5 R Schwenk, E – portland cement CEM II/A-LL 32,5 R Čížkovický cement **2** Samples of the crushed marble aggregate from the site of Jeseník: 0,5–1; 1,5–2; 2,5–3; 3–4,5; 4,7; 6–9; 9–12; 16–25; 25–50 mm **3** Dimensions of the concrete element/post **4** Condition of the bridge before the restoration **5** Petrographic analysis of a sample of existing concrete from the Libeňsky bridge: a) macroshot, b) thin section of sample, polarization **6** Result of granulometry and size distribution **7** Grouting with a low viscosity epoxy resin Injektionsharz 100



6



7



8



9a



9b



9c



10

8 Stav před restaurováním **9** Ošetření armatur adhezivním můstkem s konzervačním účinkem (Rostschutz EP, Betofix RM) **10** Vlepení nerezové armatury o průměru 4 mm pomocí epoxidového tixotropního lepidla (Akepox 5010)

8 Condition before the restoration **9** Treatment of the reinforcement using an adhesive coating which had a preservative effect (Rostschutz EP, Betofix RM) **10** Bonding-in of a 4 mm diameter stainless steel reinforcement using a thixotropic epoxy based adhesive (Akepox 5010)

výrobu bílých dlažebních kostek, kterými je vydlážděna část Prahy. Po vypracování petrografického průřezu byla domněnka o původu kameniva potvrzena i historickým článkem v časopise Věstník hlavního města Prahy ze dne 13. 12. 1926 (ročník 33, číslo 721). V článku věnovaném výstavbě mostu přes Vltavu na Maninách je zmínka o firmě, která dodávala kamenivo pro výrobu předsádkového betonu. Tou společností byl Orlit z Kyšperka (od roku 1950 Letohrad). Blízkost sídla společnosti a mramorových lomů v Jeseníkách lze považovat za důkaz, že použité kamenivo bylo skutečně z Jeseníků.

Granulometrie směsi

Pro zjištění zrnitosti směsi nebylo možno postupovat chemickou metodou, při které se rozpouští cementové pojivo, jako je to běžné u silikátových směsí. Proto bylo nutno zjistit granulometrii z 2D obrazu povrchu. Nejprve byl povrch vzorku opískován a následně vyfocen. Na vzorku o rozměru 200 × 200 mm byl pomocí počítačového programu zjištěn počet zrn a následně byla tato zrna roztržena podle velikosti. Tento výsledek je však jen orientační pro určení přibližného poměru frakcí ve směsi. (obr. 6)

Čištění

V rámci předloženého zásahu byly provedeny zkoušky čištění povrchu betonové části zábradlí od atmosférických depozitů. Při čištění byl kladen důraz na ohleduplnost k autentickému povrchu betonu, na snadné provedení a na šetrnost k životnímu prostředí. Výše uvedené podmínky vyloučily chemické čištění.

Byla provedena zkouška čištění studenou tlakovou vodou do 130 bar, čištění horkou tlakovou vodou 130 bar / 130 °C a přímé tryskání hnědým korundem FEPA 180 za nízkého tlaku do 5 bar. Na základě vizuálního hodnocení lze konstatovat, že všechny tři metody čištění nepoškozují povrch betonu a čistí jej účinně. Nejrychlejší a nejefektivnější bylo čištění horkou tlakovou vodou.

Povrch dílce určeného pro referenční zásah byl proto očištěn horkou tlakovou vodou 130 bar / 130 °C a byly odstraněny zbytky ložné malty pomocí ručního kamenického náradí.

Trhliny

Identifikované trhliny šířky 0,1 až 1,1 mm byly po vyčištění horkou vodou a po následném vyschnutí zainjektovány nízkoviskózní epoxidovou pryskyřicí Injektionsharz 100. Po vytvrdnutí pryskyřice byl povrch trhliny zaplněn jemnou minerální reprofilační maltou Betofix RM2. (obr. 7)

Ošetření obnažené kovové armatury

Korozní produkty z povrchu obnažených armatur byly otryskány a očištěné armatury ošetřeny adhezivním můstkem s konzervačním účinkem (Rostschutz EP, Betofix RM). Nefunkční a deformované armatury byly odříznuty a nahrazeny nerezovou hladkou kulatinou o průměru 4 mm, která byla do betonu vlepena pomocí epoxidového tixotropního lepidla (Akepox 5010). (obr. 8 až 10)

Tmelení

Hluboký kolmo ohraničený defekt prezentovaný kruhovým otvorem po jádrovém vrtu byl doplněn směsí tvořenou jedním dílem šedého cementu (Prachovice) a třemi díly mramorové drti tvořené frakcemi 0,5 až 5 mm (Jesenický mramor). Do předvlhčeného defektu byla směs nadusána tak, aby doplněk převyšoval autentický povrch minimálně o 5 mm.

Defekty tvořené ztrátou hmoty od 50 do 0 mm byly doplněny reprofilační maltou Betofix RM2 plněnou mramorovou drtí frakce 0,5 až 4 mm. Směs byla opět nanášena na předvlhčený povrch v přebytku cca 2 mm. Dle textury doplňovaného místa byly do tmelu lokálně vloženy větší kusy drti. (obr. 11)

Lokální plastické retuše

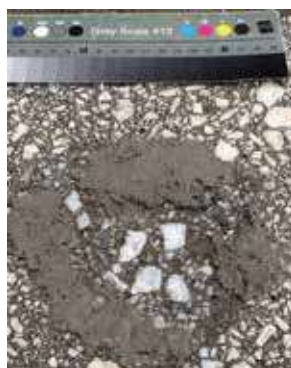
Po pěti dnech zrání byl povrch tmeľů opracován. Nejprve byl přebytečný tmel obroušen diamantovým kotoučem do úrovně doplňovaného povrchu. Obroušený povrch tmelu byl dále upravován pemrlováním a jehlováním, tak aby reliéf povrchu co nejvíce odpovídal okolnímu autentickému povrchu. V již zmíněném článku v časopise Věstník hlavního města Prahy je zmínka, že štokování pemrlicí se dělo pneumatickými nástroji. (obr. 12 až 14)



11a



11b



11c



11d



12



13

11 Proces tmelení **12** Broušení povrchu diamantovým kotoučem **13** Pemrlování povrchu **14** Ukázka fází povrchové úpravy: povlak cementového pojiva po nanesení – jehlování – pemrlování – broušení diamantovým kotoučem **15** Stav po restaurování

11 Filling-in process **12** Surface grinding with a diamond disc **13** Treatment of the surface by a bush hammer **14** Example of the stages in the surface treatment: surface of the cementitious binder coating after its application – needling – bush hammering – diamond disc grinding **15** Condition after the restoration



14

Lokální barevné retuše

Povrch barevně nesourodých tmelů byl lokálně barevně retušován, aby byl sjednocen s okolním materiálem. Retuš byla provedena s použitím anorganických pigmentů (Kremer Pigmente a Bayferrox) pojených 5% akrylátovou disperzí (Primal FS 061).

Závěrečná povrchová úprava

Navzdory poměrně nízké nasákavosti původního materiálu byla provedena hydrofobní ochrana povrchu. Po vyzrání použitých materiálů byl povrch opakovaně natřen hydrofobizačním prostředkem na bázi silanů (Funcosil BI).

Závěr

Při volbě přístupu k restaurování sloupku Libeňského mostu byly zvažovány různé kombinace restaurátorských a kamenických metod s metodami běžnými ve stavební praxi. Důraz byl kladen na vlastnosti doplňované hmoty a na to, aby použité materiály vizuálně neměnily původní materií objektu. Důležitým přínosem bylo ověření zdroje použitého mramorového kameniva z lokality Jeseník a opracování doplňků broušením a pemrlováním. U provedených doplňků byly konstatovány i limity napodobení textury doplňovaného prvku v případě,

15



kdy má defekt menší rozměr než největší zrna kameniva. Na základě provedeného experimentu lze konstatovat, že restaurování povrchů Libeňského mostu předloženou metodou je možné. (obr. 15)

Tato práce byla podpořena z programu Ministerstva kultury České republiky na podporu aplikovaného výzkumu a experimentálního vývoje národní a kulturní identity na léta 2016 až 2022 (NAKI II), grantový projekt č. DG20P02OV005 Technologie a postupy pro ochranu historických betonových mostů.



MgA. Josef Červinka
restaurátor
info@josefcervinka.cz



MgA. Aleš Hvizdal
Kloknerův ústav ČVUT v Praze
ales.hvizdal@cvut.cz



Ing. arch. MgA. Petr Tej, Ph.D.
Kloknerův ústav ČVUT v Praze
petr.tej@cvut.cz



Ing. arch. Michael Gabriel
Atelier Gabriel
michal.gabriel@agn-atelier.com