

Památkový postup

Rekonstrukce cenných betonových mostních objektů

Verze se zpracovanými připomínkami oponentů a jejich posudky



**KLOKNERŮV
ÚSTAV
ČVUT V PRAZE**

České vysoké učení technické v Praze

Kloknerův ústav

Šolínova 7

Praha 6

160 00

Autoři:

MgA. Josef Červinka

MgA. Aleš Hvízdal

Ing. arch. MgA. Petr Tej, Ph.D.

Ing. arch. Michael Gabriel

Mgr. Roman Kocourek

Ing. arch. Oto Melter

Ing. Vítězslav Vacek, CSc.

Ing. David Čítek, Ph. D.

Oponenti:

Prof. Ing. Zbyněk Keršner, CSc. –

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta
stavební

Prof. Ing. Alois Materma, CSc., MBA -

Vysoká škola báňská – Technická
univerzita Ostrava, Fakulta stavební

Česká komora autorizovaných inženýrů
a techniků činných ve výstavbě

V Praze

V Praze

Ing. Petr Tej, Ph.D.
Řešitel projektu

doc. RNDr. Vojtěch Petráček,
CSc.
Rektor Českého vysokého učení
technického v Praze

1. Úvod

Památkový postup se zabývá výběrem a ověřením vhodnosti sanačních postupů betonových konstrukcí obloukové části Libeňského mostu (V009) především rekonstrukcí prefabrikovaných prvků zábradlí a také možnostmi opravy defektů menšího rozsahu. Předkládaný památkový postup je rozdělen do tří celků. Prvním je materiálový průzkum. Následuje výroba repliky části zábradlí a třetí částí je restaurování originálního prefabrikovaného dílce. Památkový postup řeší téma rekonstrukce nenosných betonových prvků historických mostů. Část postupu se hlouběji věnuje složení vysprávkové směsi a doplňování menších defektů na originálních částech. Vzhledem k povaze a architektonickému významu objektu je v postupu projevená snaha o akceptování nejen technických hledisek, ale i estetických, jak je běžné u kulturních stavebních památek. Předkládaný památkový postup je zpracován na základě poznatků zanesených v dokumentu: „Stanovení zatížitelnosti Libeňského mostu V009 a zhodnocení jednotlivých prvků konstrukce, ve smyslu proveditelnosti, použitelnosti, životnosti nebo případného zásahu Příloha 4 zprávy 04 REKONSTRUKCE A HODNOCENÍ SANAČNÍCH METOD“ vypracované Kloknerovým ústavem ČVUT v Praze Ing. Vítězslavem Vackem, CSc. a kolektivem spolupracovníků.

2. Cíle památkového postupu

Cílem předloženého památkového postupu je ověřit na referenčním zásahu způsob opravy betonové části zábradlí Libeňského mostu, který by splňoval v maximální možné míře podmínky pro sanaci betonových konstrukcí a zároveň byl proveden v intencích restaurátorských zásahů obvyklých na památkově chráněných předmětech z betonu. Při rekonstrukci a restaurování této části zábradlí byla použita technika úpravy povrchu, která by do budoucna mohla být cestou k efektivní ochraně bez výrazných estetických rozdílů.

3. Druh a umístění prvků

Prvky, na kterých byl prováděn restaurátorský zásah a podle kterých byla vytvořena replika, jsou součástí konstrukce zábradlí Libeňského mostu. Jde o prefabrikované prvky, které byly vytvořeny technikou předsádkového betonu.

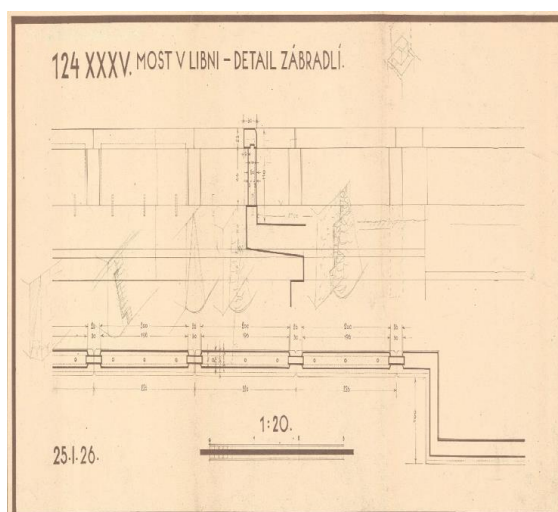
Madlo je osazeno na výplních a sloupcích, je tvarováno na spodním líci jako drážka, horní líc sloupku a výplně je tvarován jako pero, spoj madla a kompletu „sloupek s výplní“ je tedy na pero a drážku.

Výplň je osazena na mostní římsě, je tvarována na spodním líci jako pero, na horním líci také jako pero, mostní římsa ve styku je tvarována jako drážka, spoj výplně a mostní římsy je na pero a drážku.

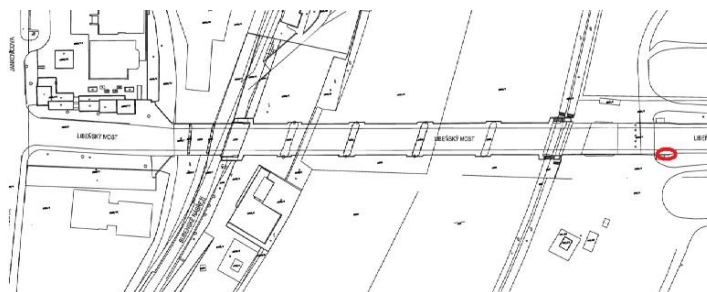
Sloupek je osazen v kapse v mostní římsě, je tvarován na spodním líci jako pero-čep se dvěma zahnutými trny výztuže, na horním líci také jako pero-čep, ale bez výztuže, mostní římsa ve styku je tvarována jako drážka-kapsa, spoj sloupku a mostní římsy je na pero a drážku, resp. jako čep do kapsy.

Svislý spoj výplň - sloupek - styčná plocha výplně je tvarována jako drážka, styčná plocha sloupku je tvarována jako pero, spoj výplně a sloupku je na pero a drážku.

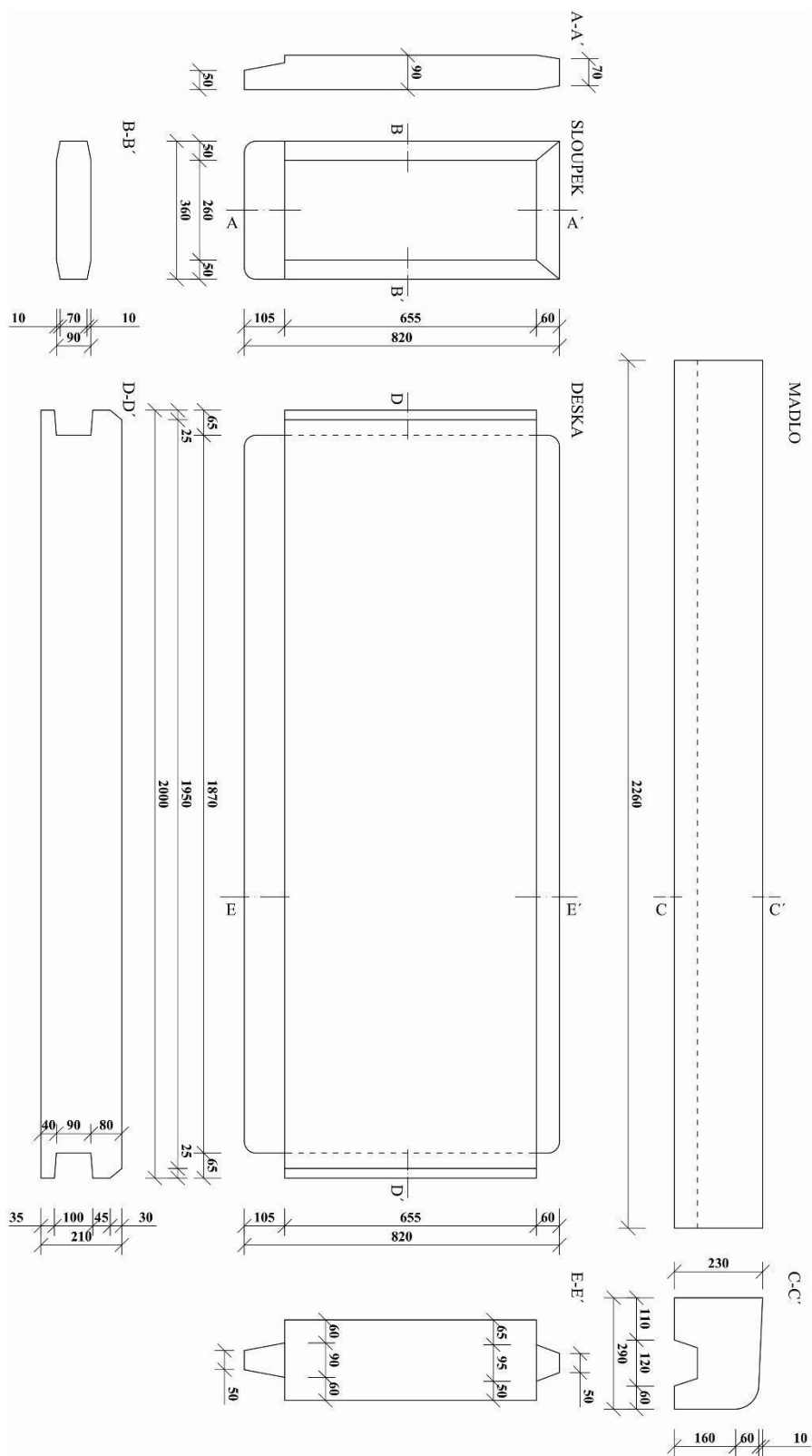
Lze konstatovat, že tvarově zábradlí víceméně odpovídá dohledanému výkresu původní dokumentace (viz. výše).



obr.1. Ukázka dostupné části původní projektové dokumentace zábradlí



obr.2. Schéma vyznačení demontovaných dílů zábradlí



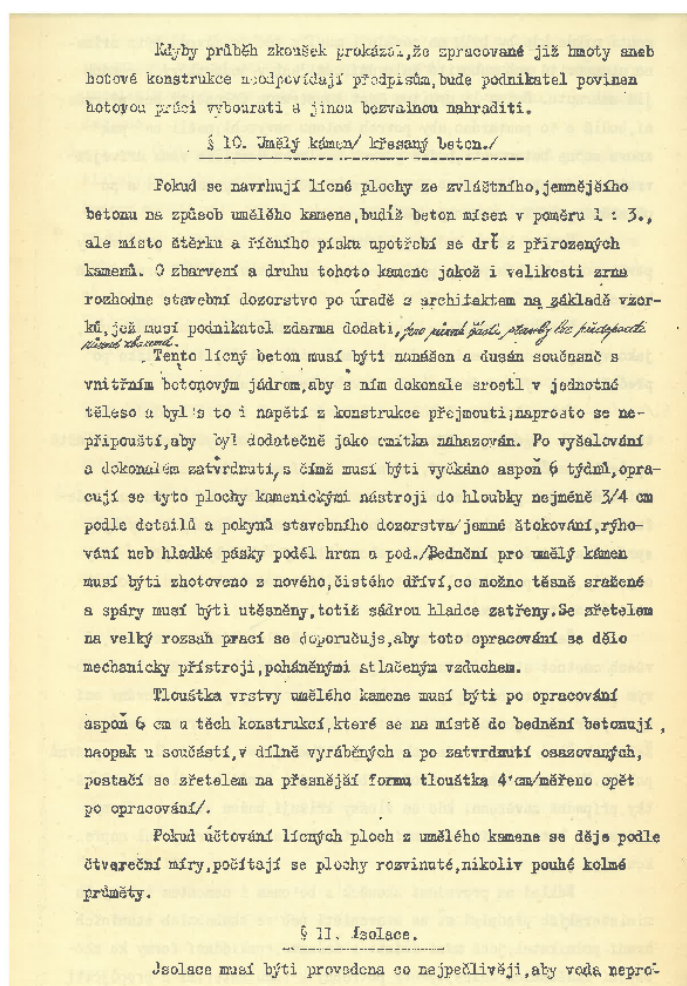
obr.3. Rozměry demontovaných dílců

4. Popis a diagnostiky

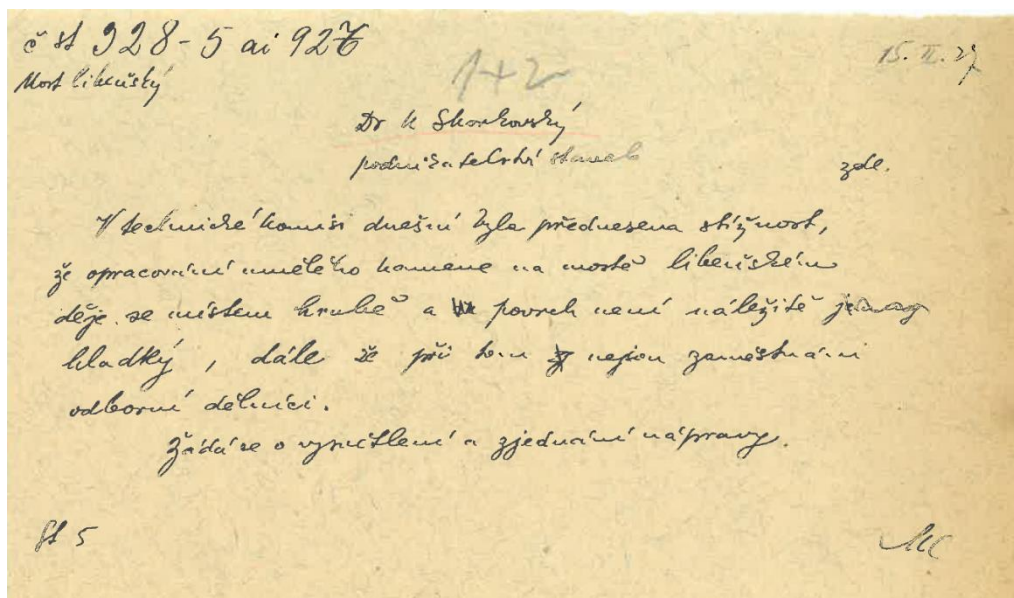
Prakticky veškeré boční pohledové povrchy mostu nad žulou obloženými boky a břity pilířů a spodní části opěry L, tj. od vnější strany krajních kleneb přes boční zdi pilířů, konzoly, viditelné povrchy schodišť a zábradlí i kandelábrů jsou provedeny z předsádkového betonu o typické tloušťce cca 30-40 mm u prefabrikovaných částí a 40-70 mm u monolitických částí, s výrazným podílem bílého kameniva vápencového typu a kamenickým opracováním (hrubé pemrlování s lemy).

Tato zjištění jsou v souladu se získanou původní specifikací díla, jejíž příslušný výňatek následuje na Obr. 1

Nespokojenost s kvalitou prováděných prací a kvalifikací na ni nasazených dělníků dokumentuje např. následující stížnost adresovaná dozorem generálnímu dodavateli na Obr. 2.



obr.4. Výňatek ze zachovalé části původní specifikace



obr.5. Ukázka záznamu komunikace dozoru s dodavatelem stran nekvality díla

Pod povrchem z předsádkového betonu je jádrový, vnitřní beton, který má zpravidla horší parametry, zejména odolnost. Celkově lze konstatovat, že nasákavost betonového souvrství je relativně nízká (průměrně 4%). To je způsobeno zejména obsahem velkých zrn nenasákavého kameniva, více či méně mezerovitou strukturou betonu a dále skutečností, že součástí zkoušených vzorků byl i předsádkový beton.

Kromě zábradlí nad klenbami a částí rámových konstrukcí, která jsou z prefabrikovaných prvků (desky, sloupky a madla), jsou ostatní konstrukční části s předsádkovým betonem provedeny monolitickou technologií.

Provedená diagnostika zábradlí konstatovala, že:

- Přibližně 30 % prefabrikovaných prvků zábradlí je poškozeno. Několik prvků muselo být v minulosti již nahrazeno.
- Typickým poškozením prefabrikovaných desek je odlomení hrany desky, zpravidla u sloupku. Místa, kde v minulosti došlo k odpadnutí odlomené hrany, jsou provizorně doplněna maltovou vysprávkou. V několika případech bylo zjištěno poškození desky trhlinami.
- Monolitické desky zábradlí v rozšířené části konzoly nad pilíři jsou zpravidla poškozeny trhlinami šířek 1 - 4 mm u podstavců kandelábrů či v půdorysném zalomení tvaru.
- Typickým poškozením sloupků je odlomení horní hrany sloupku pod madlem.
- Typickým poškozením madel je odlomení hrany madla. Některá místa, kde v minulosti došlo k odpadnutí odlomené hrany, jsou provizorně doplněna maltovou vysprávkou.

- Z povrchu madel a povrchu většiny desek a sloupků směrem k chodníkům je vymyté pojivo, zpravidla do hl. 1 - 3 mm.
- Poruchy zábradlí jsou situovány převážně nad klouby oblouků, kde již neprocházejí přiznané dilatační spáry jako u níže položených částí konstrukcí.

4.1. Předsádkový beton

- Struktura předsádkového betonu je zpravidla hutná. Cementový tmel v některých případech obsahuje větší množství makropórů. Lokálně byla zjištěna místa, kde pod kompaktním povrchem je struktura slabě mezerovitá. Typický max. rozměr zrna drceného kameniva je 25 - 30 mm.
- Pevnost v tlaku předsádkového betonu prefabrikovaných i monolitických částí konstrukcí je variabilní. Charakteristická krychelná pevnost odvozená z výsledků zkoušek se pohybuje v rozmezí 35-50 MPa.
- Pevnost povrchových vrstev předsádkového betonu v tahu je vysoká:
 - průměrně 4,8 MPa - zábradlí
 - průměrně 1,9 MPa - boční líc kleneb
- Povrchová nasákavost předsádkového betonu je nízká např. $V_{30} = 0,08 \text{ l/m}^2$
- Předsádkový beton má dostatečnou odolnost proti působení CH.R.L., dle kritérií pro stavby pozemních komunikací s předpokládanou životností 100 let .
- Tloušťka zkarbonatované vrstvy předsádkového betonu je:
 - průměrně 5 mm - zábradlí (rozmezí 0 - 10 mm)
 - průměrně 3 mm - boční líc kleneb (rozmezí 2 - 4 mm)
- Průměrný zjištěný obsah Cl⁻ v předsádkovém betonu vztažený k hmotnosti cementu je:
 - 0,08 % hm. << 0,4 % hm., - zábradlí, tzn. nepředstavuje riziko vzniku a rozvoje koroze ocelové výztuže
 - 0,32 % hm. < 1 % hm., - boční líc kleneb, tzn. nepředstavuje riziko z hlediska degradace betonu
- Průměrné tloušťky krycí vrstvy výztuže zábradelních desek jsou 80 mm (svislá výztuž), resp. 65 mm (vodorovná výztuž) a madel 65 mm. Výjimkou je však výztuž po obvodu desky, která má krytí podél svislé drážky pouze 15 - 20 mm.
- Sloupky nesplňují aktuálně platný požadavek na min. tloušťku krycí vrstvy 55 mm – nelze splnit vzhledem k subtilnosti průřezu - tl. sloupku 100 mm.

4.2. Jádrový beton

- Struktura jádrového (vnitřního) betonu prefabrikovaných i monolitických částí není homogenní, její hutnost kolísá od hutné až místy po slabě mezerovitou.

Beton obsahuje vyvážený podíl drobného a hrubého těžného kameniva. Max. rozměr zrn hrubého kameniva běžně dosahuje 50 - 70 mm.

- Průměrná objemová hmotnost vnitřního betonu prefabrikovaných i monolitických zábradelních desek je 2270 kg/m³. Jednotlivé hodnoty se pohybují v rozmezí 2190 - 2350 kg/m³.
- Pevnost v tlaku vnitřního betonu prefabrikovaných i monolitických zábradelních desek je velmi variabilní ($v = 30 \%$). Charakteristická pevnost odvozená z výsledků zkoušek odpovídá pevnostní třídě betonu C 20/25 (doporučeno uvažovat C 16/20).
- Mrazuvzdornost jádrového betonu odpovídá pouze T25, takže nesplňuje požadavky na mrazuvzdornost betonu pro stavby pozemních komunikací s předpokládanou životností 100 let pro stupně vlivu prostředí XF.
- V jádrovém betonu nebyly identifikovány zjevné typické znaky alkalicko-křemičité reakce kameniva.

4.3. Ocelová výztuž zábradlí

- V neporušených částech s dostatečným krytím je zasažena pouze slabou povrchovou korozí bez úbytku plochy průřezu.
- V místech poruch betonu, kde je výztuž částečně nebo zcela odhalená, bylo zjištěno korozní napadení s úbytky plochy průřezu cca 10 - 20 %.

5. Materiálový průzkum

5.1. Zkoumání povrchu předsádkového betonu

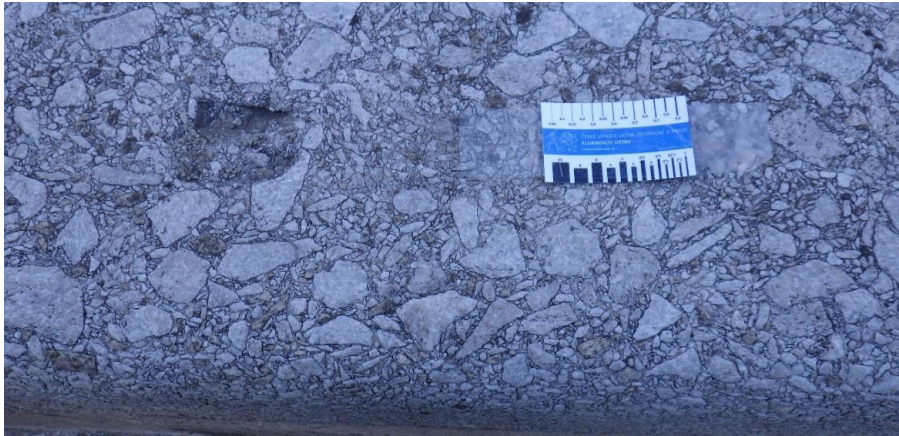
Z hlediska stanovení vhodné granulometrie a největšího zrna bílého plniva byl zkoumán vzhled povrchu předsádkových betonů na mostě.



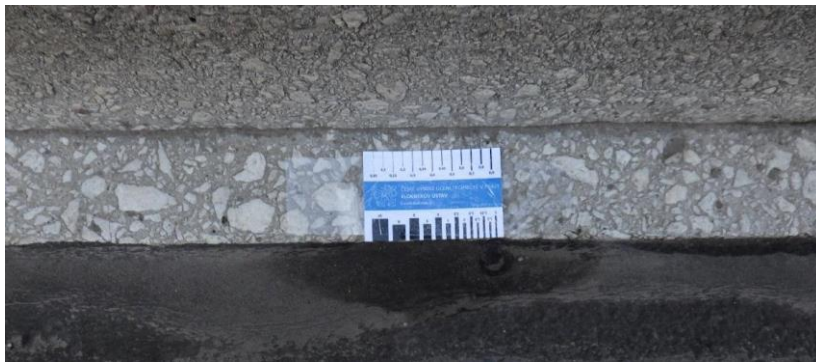
obr.6. Příklad hrubozrného plniva – drti s patinou stávajícího stavu povrchu na kandelábru



obr.7. Příklad středně hrubého plniva – přirozeně vymyté drti na horní ploše madla



obr.8. Příklad výrazně hrubšího plniva – přirozeně vymyté drti na horní ploše jiného madla



obr.9. Příklad hrubšího plniva monolitické části mostovky pod zábradelním panelem, ve styku s povrchem chodníku



obr.10. Příklad panelu s jemnější drtí a velmi nekvalitním povrchem s řadou trhlin



obr.11. Příklad sousedství evidentně rozdílných madel – vlevo patrně vyměněno, viditelná porucha podobného madla v jiném úseku mostu



obr.12. Příklad plniva jemnější struktury s ojedinělými většími zrny



obr.13. Příklad rozdílného vzhledu povrchů desek, spodního proužku u chodníku madel pravděpodobně s velmi starou vysprávkou

Ačkoli tedy most při celkovém pohledu působí jednotným dojmem, struktura povrchu předsádkového betonu je při bližším zkoumání velmi proměnná a rozdílná. Po zhodnocení celkové prohlídce se domníváme, že lze stanovit zhruba čtyři základní struktury bílého plniva v povrchové vrstvě:

- střednězrnnou s výraznými velkými zrny – např. většina kandelábrů,
- střednězrnnou s ojedinělými většími zrny,
- hrubozrnnou s vyrovnanou skladbou,
- jemnozrnnou, případně s ojedinělými většími zrny

Jejich hranice je někdy totožná s ohraničením prefabrikovaných prvků. V některých případech přechází uvnitř plochy jednotlivého prvku plynule nebo skokově.

5.2. Petrografický rozbor

V rámci odebraného vzorku betonu jsou v základní hmotě zastoupeny prakticky výhradně horninové klasty mramorů (krystalických vápenců). Pouze výjimečně pozorujeme v základní hmotě betonu drobné klasty (zrna) granitoidů (křemen–živcový agregát) nebo zaoblená zrna křemene. Generelně jsou horninové klasty (zrna) mramorů zastoupeny angulárními až subangulárními zrny velikosti do 10 mm. V základní hmotě betonu pozorujeme četná zrna mramorů (většinou jednotlivá zrna, která jsou tvořena jedním krystalem (jedincem) středně až hrubě krystalického kalcitu), která jsou omezena vlastními krystalografickými plochami (krystalografické omezení podle klenců).

Struktura: zubovitá (zubovitě granoblastická) Minerální složení: kalcit; sekundární součásti (oxid–hydroxid Fe–Mn) Horninové klasty (zrna) mramorů jsou výhradně složena z krystalického agregátu kalcitových zrn. Tento krystalický agregát vel. 0,25–10 mm (středně až hrubě krystalický) je tvořen většinou ze zubovitě (nevýrazně laločnatě) omezených kalcitových zrn, která jsou více či méně pigmentovaná

(zakalená) oxidy–hydroxidy Fe–Mn. Běžně jsou patrná lamelovaná, nebo dvojčatně lamelovaná zrna kalcitů, která jsou více či méně tlakově deformovaná (různě velké zprohýbání lamel). ojediněle je v intergranulárních spárách (mezi zrny) zastoupený jemný mikroagregát kalcitu, který vznikl drcením a rekrystalizací zrn (plastické deformace).

Z petrologického rozboru vyplývá, že součástí betonové směsi je mramorové kamenivo. S největší pravděpodobností byla vrchní vrstva vytvořena z drtí z lomů v Jeseníkách (Supíkovice, Dolní Lipová). Naznačuje tomu to, že jediným českým nalezištěm nerostu s těmito vlastnostmi je právě tato lokalita. Zde je mimo jiné těžen materiál na výrobu bílých dlažebních kostek, kterými je vydlážděna část Prahy.



Foto 1. Makrofotografie odebraného vzorku betonu z Libeňského mostu. V rámci odebraného vzorku betonu jsou v základní hmotě zastoupeny prakticky výhradně horninové klasty (zrna) mramorů (krystalických vápenců). Generelně jsou horninové klasty (zrna) mramorů zastoupeny angulárními až subangulárními zrny velikostí do 10 mm.

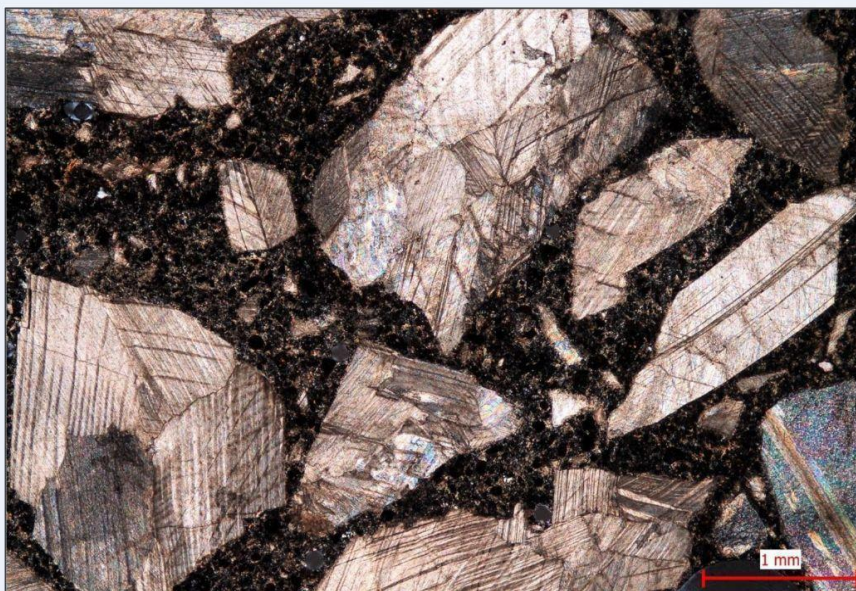
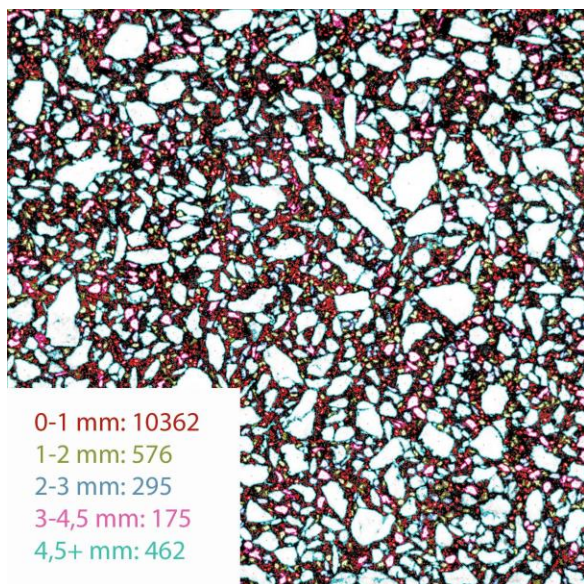


Foto 2. Odebraný vzorek betonu z Libeňského mostu. XPL, zvětšení 40x. V rámci odebraného vzorku betonu jsou v základní hmotě zastoupeny prakticky výhradně horninové klasty (zrna) mramorů (krystalických vápenců). Generelně jsou horninové klasty (zrna) mramorů zastoupeny angulárními až subangulárními zrny velikostí do 10 mm. V základní hmotě betonu pozorujeme četná zrna mramorů, která jsou omezena vlastními krystalografickými plochami (krystalografické omezení podle klenců).

obr.14. Petrografický průřez

5.3. Granulometrie směsi

Pro zjištění zrnitosti směsi nebylo možno postupovat chemickou metodou rozpuštěním cementového pojiva, 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 x 200 mm byl pomocí počítačového programu zjištěn počet zrn a následně byla tato zrna roztříděna podle velikosti. Tento výsledek je však jen orientační pro určení přibližného poměru frakcí ve směsi.



obr.15. Výsledek součtu zrn a rozdělení podle frakcí pomocí počítačového programu

6. Demontáž zábradelního dílu

Pro ověření skutečného provedení prefabrikovaných částí zábradlí bylo po konzultacích a se souhlasem NPÚ přistoupeno k demontáži jednoho koncového dílu, který byl v laboratoři KÚ ČVUT v Praze podrobně prozkoumán a posloužil jako předloha k vytvoření replik. Demontážní práce na mostě proběhly pod vedením a dozorem pracovníků společnosti Pontex s.r.o.

V souladu se schváleným programem referenčních ploch bylo provedeno rozebrání části zábradlí. S ohledem na snahu neohrozit bezpečnost provozu na mostě byl jako referenční část zábradlí vybrán konec pravého zábradlí za mostem u golfu (most ev.č. X-652).

Bylo ověřeno, že původní zábradlí je prefabrikované z umělého kamene. Při demontáži byly spáry jednotlivých prvků prořezány, dílce byly obvrtny a spoje rozvíklány až do rozvolnění. Postupovalo se z jedné strany odebíráním po jednotlivých

prvcích. Začalo se uvolněním a odebráním madel, pokračovalo se odebráním výplně a nakonec sloupku.

Práce byly prováděny velmi opatrně, aby nedošlo k jakémukoliv poškození pohledových ploch jednotlivých prvků kromě římsy. Na rozebírání jednoho pole zábradlí (madlo + výplň + sloupek) pracovali aktivně 4 velmi šikovní dělníci po dobu 10 hodin za dohledu stavbyvedoucího a autorizovaného inženýra v oboru „zkoušení a diagnostika“ a kromě běžného nářadí využívali auto s hydraulickou rukou. Je nutno konstatovat, že práce probíhaly mnohem pomaleji, než bylo předpokládáno. Spojovací malta všech níže popsanych zámek je vysoké kvality a současně vykazuje velmi vysokou soudržnost s podkladem (povrch jednotlivých prvků).



obr.16. Referenční část zábradlí před zahájením rozebírání



obr.17. K uvolnění madel byly použity dřevěné klínky



obr.18. Nadzvednutí madla pro protažení závěsů



obr.19. Demontované madlo na závěsech



obr.20. Detail horního pera výplně



obr.21. Prořezávání spodní spáry mezi výplní a římsou



obr.22. Dobourávání částí spárové malty ze svislého zámku, podklínování výplně



obr.23. Částečně uvolněné spáry mezi sloupkem a výplní



obr.24. Uvolňování sloupku, spodní líc sloupku a detail kotevního prvku sloupku



obr.25. Po dohodě se správcem objektu bylo zábradlí doplněno panelem vyrobeným z řeziva.

6.1. Zjištění ze získaných částí zábradlí

Demontované části zábradlí - zábradelní panel, sloupek a dva díly madla, byly převezeny do laboratoří KÚ ČVUT v Praze, kde byly podrobně zkoumány.

Fyzicky bylo ověřeno, že zábradelní panel je stejně jako ostatní prefabrikované části zábradlí spojen s nosnou konstrukcí a ostatními částmi navzájem pouze systémem pero-drážka.

Deska zábradelního panelu je provedena z jádrového betonu, opatřené na obou površích vrstvou předsádkového betonu s kamenicky opracovaným povrchem. Deska zábradelního panelu je vyztužena betonářskou výztuží pouze v jedné vrstvě. Její pera z jádrového betonu jsou prakticky bez dalšího vyztužení pouze sponami napojena na deskovou část prvku. Boční části drážek z předsádkového betonu nejsou vyztuženy vůbec.

Madla mají profil masivního koryta, tzn. obdélníkového průřezu s drážkou pro napojení pera zábradelní desky a sloupku.

Sloupky jsou tvořeny deskovými prvky z předsádkového betonu v tloušťce pera, po celém obvodu zapadají do drážek navazujících částí. Vyztuženy jsou obdobně jako deska zábradlí.



obr.26. Demontovaný zábradelní panel ve fázi destruktivního sondování na dvoře KÚ ČVUT v Praze



obr.27. Bližší pohled provedené vývrty – jádrový beton a betonářská výztuž



obr.28. Velmi slabě vyztužené pero panelu po odříznutí a odvrtání od deskové části



obr.29. Pohled na boční stranu panelu – drážku pro spojení se sloupkem



obr.30. Pohled na druhou podélnou stranu panelu – návaznost spojovací drážky a pera



obr.31. Pohled na prefabrikovaný sloupek po jádrovém provrtání, vystupující zahnutá ocelová výztuž, zbytky cementové zálivky na okrajích jeho per



obr.32. Bližší pohled do provedeného vývrtu – předsádkový beton



obr.33. Detail zbytků cementového tmele ve stycích

7. Rekonstrukce betonového dílce

Pro výrobu repliky bylo navrženo provedení v ležaté dřevěné formě. Betonová směs byla navržena jako základní sanační beton s mírnou světlou pigmentací, blízkou současnému vzhledu očištěného povrchu předsádkového betonu, doplněný bílou vápencovou drtí. Při detailnějším petrografickém rozboru kameniva pro vysrávkovou hmotu bylo zjištěno, že plnivem není vápencová, ale mramorová drť (viz. Materiálový průzkum). Jelikož tento průzkum byl udělán až později, byla replika vytvořena z vápencové drti.



obr.34. Vápencová drť použita pro vytvoření repliky betonového dílce



obr.35. Vápencová drť použita pro vytvoření repliky betonového dílce

7.1. Výroba repliky

Výroba repliky proběhla v poloprovozním režimu prefy. Záměs betonu odpovídala velikosti betonovaného prvku a sady kontrolních zkušebních těles. Výroba proběhla na připravené směsi s plnivem z vápencové drti a současně i na běžném betonu třídy C35/45 spolupracující výrobny.

Vzhledem ke složení základní směsi a velmi nízkému vodnímu součiniteli, jehož udržení bylo motivováno dosažením co nejvyšší trvanlivosti, vykazoval beton panelů následující parametry:

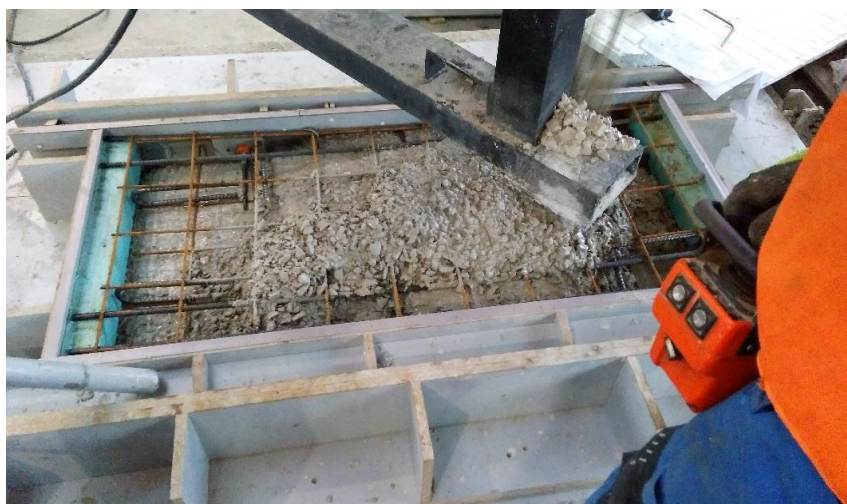
- Průměrná objemová hmotnost cca 2 460 kg/m³.
- Průměrná krychelná pevnost v tlaku po 7 dnech cca 75 MPa.
- Průměrná krychelná pevnost v tlaku po 28 dnech cca 85 MPa.
- Hloubka průsaky vody při zkoušce vodotěsnosti max. 8 mm.



obr.36. Pohled do bedně – formy s osazenou výztuží



obr.37. Míchání betonové směsi



Ukládání betonové směsi do formy



obr.38. Hutnění uložené směsi ponornou vibrací



obr.39. Vyrobené panely po odformování

7.2. Kamenická úprava povrchu repliky

Po 7 dnech zrání za vlhka byly prefabrikáty převezeny z výroby do laboratoří KÚ ČVUT v Praze, kde dále zrály volně na vzduchu a zde byla 15. 12. 2017 provedena kamenická úprava jejich povrchu, jak z vrchní strany, tak ze strany spodní od formy. Přes rozdílný charakter obou typů povrchů se potvrdilo, že lze obě plochy opracovat kamenickými postupy s obdobným výsledným vzhledem.



obr.40. Replika panelu před provedením kamenické úpravy



obr.41. Ruční provedení páskování podél hrany panelu



obr.42. Vzorok plochy s rúznou hĺbkou a hrúbkú opracovú na replice panelu z obyčejného betonu (bez bílého plniva)



obr.43. Vzorek s vybraným typem hrubšího pemrlovúú obdobného jako u originálu



obr.44. Vzorok replik prefabrikátu zábradelního panelu na dvoře KÚ ČVUT v Praze



obr.45. Vzorek replika prefabrikátu madla, v obrácené poloze, na dvoře KÚ
ČVUT v Praze



obr.46. Prakticky nevyztužené ozuby drážky styku originálních prefabrikátů



obr.47. Pohled do formy – výztuž obou povrchů dovedena až do ozubů drážky
styku

8. Restaurování betonového dílce

8.1. Koncepce zásahu

Cílem restaurátorského zásahu bylo vytvořit repliku prefabrikovaných dílů zábradlí a také doplnit chybějící části objektu a vizuálně sjednotit tak, aby co nejvíce odpovídala předpokládané podobě v době svého vzniku. Při volbě přístupu k restaurování byly zvažovány různé přístupy a kombinace restaurátorských metod s metodami běžnými ve stavební obnově. Pro restaurování byla zvolena řada komerčních výrobků před jejichž aplikací bylo provedeno několik zkoušek jejich modifikovatelnosti a zpracovatelnosti. Zejména byl kladen důraz na maximální přiblížení vlastnostem doplňované hmoty a na to, aby použité materiály vizuálně neměnily původní materií objektu. Pro tyto účely byly navržené materiály vyzkoušeny samostatně a následně byly aplikovány na referenční plochy objektu.



obr.48. Vzorčky cementů: 1. Portlandský směsný cement EN 197-1 - CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R Českomoravský cement. 2. Portlandský směsný cement EN 197-1 - CEM I 42,5 R Českomoravský cement. 3. Portlandský směsný cement CEM II/B-M (S-V-LL) 32,5 Prachovice Cemex. 4. Portlandský cement CEM II/A-LL 32,5 R Schwenk. 5. Portlandský cement CEM II/A-LL 32,5 R Čížkovický cement.



obr.49. Vzorčky 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

8.2. Popis poškození restaurovaného dílce

Betonový dílec zábradlí, který byl určen k restaurování vykazoval následující poškození. Povrch byl znečištěn tmavými depozity. Na reliéfu povrchu se podílí vedle autentického kamenického opracování i částečná ztráta pojiva obnažující hrany zrn použitého kameniva. Na styčných plochách s jinými dílci jsou zbytky ložné cementové malty. V části tvořící pero pro drážku protilehlého kusu je odpadlý beton nad výztuží. Ta je poškozena povrchovou kózí a deformací, která neumožňuje návrat výztuže do původní polohy. V souvislosti s mechanickým namáháním okraje dílce se ve hmotě betonu vyskytuje trhlinka. Ztráta hmoty je zde zapříčiněna odlomením hran, pera a rohu dílce. Tato poškození prezentují plastický defekt se nepravidelným okrajem o mocnosti chybějící hmoty od nuly do několika centimetrů. Další typ plastického defektu tvoří otvor po jádrovém vrtání.



obr.50. Stav před restaurováním



obr.51. Stav před restaurováním



obr.52. Stav před restaurováním



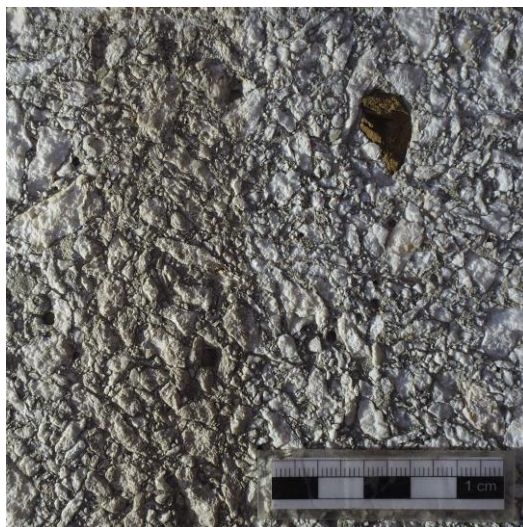
obr.53. Stav před restaurováním

8.3. Čištění

V rámci předloženého zásah u byly prací byly provedeny zkoušky čištění povrchu betonové části zábradlí od atmosferických depozitů. Při čištění byl kladen důraz na šetrnost k autentickému povrchu betonu, na snadné provedení a 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 nepoškozující povrch betonu a účinně jej čistí. (viz foto zkušebních ploch v razantním bočním osvětlení) Nejrychleji a nejefektivněji funguje čištění horkou tlakovou vodou.

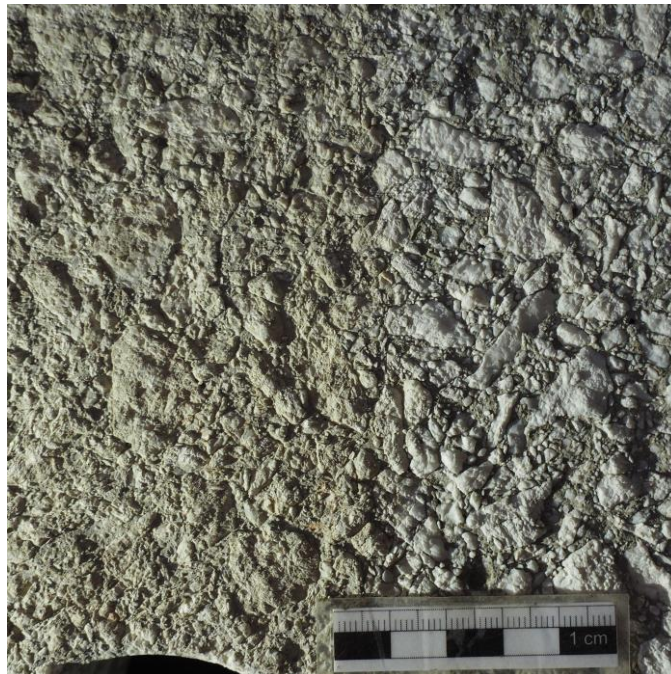
Povrch dílce určeného pro referenční zásah byl očištěn horkou tlakovou vodou 130 bar / 130°C. V rámci čištění byly odstraněny zbytky ložné malty pomocí ručního kamenického nářadí.



obr.54. Zkouška čištění studenou tlakovou vodou do 130 bar



obr.55. Čištění horkou tlakovou vodou 130 bar / 130 °C

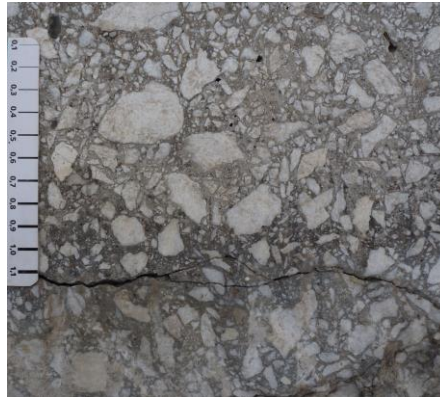


obr.56. Přímé tryskání hnědým korundem FEPA 180 za nízkého tlaku do 5 bar

8.4. Trhliny

Identifikované trhliny o šíři 0,1 - 1,1 mm byly po vyčištění horkou vodou a po následném vyschnutí zainjektovány nízkoviskózní epoxidovou pryskyřicí

Injektionsharz 100 (fa Remmers). Po vytvrdnutí pryskyřice byl povrch trhliny zaplněn jemnou minerální reprofilační maltou Betofix RM2 (fa Remmers)



obr.57. Identifikace šíře trhlín



obr.58. Zainjektování nízkoviskózní epoxidovou pryskyřicí Injektionsharz 100 (fa Remmers)



obr.59. Zaplnění povrchu jemnou minerální reprofilační maltou Betofix RM2 (fa Remmers)

8.5. Ošetření obnažené kovové armatury

Korozní produkty z povrchu obnažených armatur byly otryskány a očištěné armatury ošetřeny adhezním můstkem s konzervačním účinkem (*Rostschutz EP, Betofix RM fa Remmers*). Nefunkční a deformované armatury byly odříznuty a nahrazeny nerezovou hladkou kulatinou o průměru 4 mm, který byla do betonu vlepena pomocí epoxidového tixotropního lepidla (*Akepox 5010 Akemi*).



obr.60. Stav před restaurováním



obr.61. Ošetření armatur adhezním můstkem s konzervačním účinkem (*Rostschutz EP, Betofix RM fa Remmers*)



obr.62. Ošetření armatur adhezním můstkem s konzervačním účinkem (*Rostschutz EP, Betofix RM fa Remmers*)



obr.63. Ošetření armatur adhezním můstkem s konzervačním účinkem (*Rostschutz EP, Betofix RM fa Remmers*)



obr.64. Vlepení nerezové armatury o průměru 4 mm pomocí epoxidového tixotropního lepidla (*Akepox 5010 Akemi*).

8.6. 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 - 5 mm (*Jesenický mramor*). Do předvlhčeného defektu byla směs nadasána tak, aby doplněk převyšoval autentický povrch minimálně o 5 mm.

Defekty tvořené ztrátou hmoty od 50 mm do 0 mm byly doplněny reprofilační maltou betofix RM2 plněnou mramorovou drtí 0,5 - 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.65. Proces tmelení



obr.66. Proces tmelení



obr.67. Proces tmelení



obr.68. Proces tmelení

8.7. Lokální plastické retuše

Po pěti dnech zrání byl povrch tmetů opracován. Nejprve byl odbroušen diamantovým kotoučem přebytečný tmel do úrovně doplňovaného povrchu. Obroušený povrch tmelu byl dále upravován pemrlováním a jehlováním, tak aby reliéf povrchu odpovídal co nejvíce okolnímu autentickému povrchu.



obr.69. Broušení povrchu diamantovým kotoučem



obr.70. Pemrlování povrchu



obr.71. Ukázka fází povrchové úpravy: 1. povlak cementového pojiva po nanesení 2. jehlování 3. pemrlování 4. broušení diamantovým kotoučem

8.8. Lokální barevné retuše

Povrch barevně nesourodých tmelů, byl lokálně barevně retušován, aby byl esteticky přizpůsoben a sjednocen s okolním materiálem. Retuš byla provedena anorganickými pigmenty (*Kremer Pigmente a Bayferrox*) pojenými 5% akrylátovou disperzí (*Primal FS 061*).

8.9. Závěrečná povrchová úprava

Navzdory poměrně nízké nasákavosti původního materiálu byla provedena hydrofobní ochrana povrchu. Po vyžrání použitých materiálů byl povrch celé sochy opatřen opakovaným nátěrem hydrofobizačního prostředku na bázi silanů (*Funcosil BI fa. Remmers*).



obr.72. tmelení větších konstrukčních nepohledových částí



obr.73. Povrch je jen broušený



obr.74. Stav po restaurování



obr.75. Stav po restaurování



obr.76. Stav po restaurování

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 " Technologie a postupy pro ochranu historických betonových mostů ", č. DG20P02OVV005.

Protokol o ověření památkového postupu v praxi

Název památkového postupu:

Rekonstrukce cenných betonových mostních objektů

Instituce, kde byl ověřen:

České vysoké učení technické v Praze
Kloknerův ústav
Šolínova 7, Praha 6
160 00

Doba ověřování:

2020 – 2021

Osoby podílející se na tvorbě a ověřování památkového postupu:

MgA. Josef Červinka, MgA. Aleš Hvízdal, Ing. arch.
MgA. Petr Tej, Ph.D., Ing. arch. Michael Gabriel,
Mgr. Roman Kocourek, Ing. arch. Oto Melter,
Ing. Vítězslav Vacek, CSc., Ing. David Čítek, Ph. D.

Popis ověření památkového postupu:

Památkový postup se zabývá výběrem a ověřením vhodnosti sanačních postupů betonových konstrukcí obloukové části Libeňského mostu (V009) především rekonstrukcí prefabrikovaných prvků zábradlí a také možnostmi opravy defektů menšího rozsahu. V postupu je projevená snaha o akceptování nejen technických hledisek, ale i estetických, jak je běžné u kulturních stavebních památek.

Výstupy:

Textová a obrazová dokumentace památkového postupu ve formátu .pdf

V Praze

V Praze

Ing. Petr Tej, Ph.D.
Řešitel projektu

doc. Ing. Jiří Kolísko, Ph.D.
Ředitel Kloknerova ústavu Českého
vysokého učení technického v Praze

OPONENTNÍ POSUDEK

Formulář pro posudek oponenta z oboru
Památkový postup
(dále Npam)

Název Npam: Rekonstrukce cenných betonových mostních objektů

Autor/autoři: MgA. Josef Červinka, MgA. Aleš Hvizdal, Ing. arch. MgA. Petr Tej, Ph.D., Ing. arch. Michael Gabriel, Mgr. Roman Kocourek, Ing. arch. Oto Melter
Ing. Vítězslav Vacek, CSc., Ing. David Čítek, Ph.D.

Předkládající organizace: Kloknerův ústav Českého vysokého učení technického v Praze

Projekt č.: / podpora na rozvoj výzkumné organizace č.: DG20P02OVV005

1) Splňuje Npam požadavky na specializaci a odbornost?

ANO / NE

ANO NE

I) Název Npam a jeho specializace

Komentář:

Předložený památkový postup se zabývá výběrem a ověřením vhodnosti sanačních postupů betonových konstrukcí obloukové části Libeňského mostu (V009), především rekonstrukcí prefabrikovaných prvků zábradlí, jakož i možnostmi opravy defektů menšího rozsahu. Svým obsahem a strukturou odpovídá dané specializaci.

ANO NE

II) Popis novosti Npam (nový přínos)

Komentář:

Lze souhlasit s autory postupu, že popsaný restaurátorský zásah byl veden snahou naplnit koncept restaurování betonu s ocelovou výztuží, jak je chápán například při restaurování kamenných uměleckých památek. Doposud při sanacích stavebních památek z betonu převažují technická hlediska nad estetickými. V tomto případě byly použity běžně dostupné komerční výrobky pro sanaci betonových konstrukcí. K tomuto záměru byli autoři postupu vedeni ideou aplikace osvědčených dostupných technologií, které splňují technické požadavky na konzervaci betonových objektů a zároveň jsou schopny splnit estetická kritéria pro restaurování uměleckého díla. Úspěšné dosažení této ideje by mohlo napomoci větší dostupnosti kvalitnější péče o betonová stavební a umělecká díla, která postupně získávají pozornost širší veřejnosti, ale většinou nejsou zapsány památkami. Restaurování těchto děl je aktuální a postupně na nich dochází k prvním opravám a restaurátorským zákrokům. Tím, že se většinou nejedná o zapsané památky mimo jiné znamená, že obnova těchto uměleckých děl není nikterak korigována a diskutována odbornou veřejností a vinou této skutečnosti může dojít k nevratným poškozením nevhodně opravovaných objektů.

ANO NE

III) Informace o rozsahu využití Npam

Komentář:

viz bod. IV

ANO NE

IV) Informace o přínosech Npam pro uživatele (pro koho je určen, jakým způsobem bude uplatněn)

Komentář :

Instituce památkové péče
Architekti a projektanti rekonstrukcí betonových mostních staveb
MŠMT ČR – výuka na středních a vysokých školách
ČKAIT a ČKA v rámci celoživotního vzdělávání

ANO NE

V) Seznam odborných podkladů, které předcházely vypracování Npam

Komentář :

Seznam použité odborné literatury viz Průvodní zpráva k památkovému postupu je úplný a splňuje požadavky kladené na tento typ výstupu (Npam).

2) Dedikace

= uvedení odkazu na příslušný projekt VaV/podporu na rozvoj výzkumné organizace

3) Uzavřená smlouva o využití výsledku (Npam) s konkrétním uživatelem

Komentář:

4) SOUHRNNÉ VYJÁDŘENÍ

(Odpovídá požadavkům na Npam s odborným obsahem?) Komentář:

Předložený památkový postup jednoznačně odpovídá požadavkům na kategorii Npam s odborným obsahem. Jde o dokument logicky a přehledně strukturovaný a je kompletní. Po formální stránce obsahuje pouze zanedbatelný počet překlepů (např. na straně 5 se má odkazovat na Obr. 4 a 5, na straně 26 má být obrázek číslován, apod.). Doporučuji památkový postup přijmout.

POSUDEK ZPRACOVAL/A: prof. Ing. Zbyněk Keršner, CSc.

Pracoviště: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební

Ulice: Veveří 331/95

PSČ, Obec: 602 00, Brno

Telefon: +420541147362

E-mail: kersner.z@fce.vutbr.cz

Prohlašuji, že nejsem v zaměstnaneckém či obdobném vztahu k subjektům, které předložily metodiku, nemám osobní ani obdobný vztah k žádnému z předkladatelů a není mi známa žádná skutečnost, která by mohla ovlivnit moji nepodjatost.

16.5.2022

.....
Datum



.....
Podpis / elektronický podpis
zpracovatele posudku

Prof. Ing. Alois Materna, CSc., MBA
Nad Vrbím 552
664 52 Sokolnice
Mobil: 733 746 768
alois.materna@seznam.cz

Posudek památkového postupu

Rekonstrukce cenných betonových mostních objektů

Autorský kolektiv:
MgA. Josef Červinka,
MgA. Aleš Hvízdal,
Ing. arch. MgA. Petr Tej, Ph.D.,
Ing. arch. Michael Gabriel,
Mgr. Roman Kocourek,
Ing. arch. Oto Melter,
Ing. Vítězslav Vacek, CSc.

Památkový postup vznikl na základě výzkumu provedeného v rámci projektu:
NAKITEchnologie a postupy pro ochranu historických betonových mostů.

Na pracovišti:

České vysoké učení technické v Praze Kloknerův ústav Šolínova 7 Praha 6 160 00

Památkový postup se zabývá výběrem a ověřením vhodnosti sanačních postupů betonových konstrukcí obloukové části Libeňského mostu (V009) především rekonstrukcí prefabrikovaných prvků zábradlí a také možnostmi opravy defektů menšího rozsahu. Předkládaný památkový postup je rozdělen do tří celků. Prvním je materiálový průzkum. Následuje výroba repliky části zábradlí a třetí částí je restaurování originálního prefabrikovaného dílce. Památkový postup řeší téma rekonstrukce nenosných betonových prvků historických mostů. Část postupu se podrobně věnuje složení vysprávkové směsi a odstraňování menších defektů na originálních částech. Vzhledem k povaze a architektonickému významu objektu je v postupu zřejmá snaha o akceptování nejen technických hledisek, ale i estetických, jak je běžné u kulturních stavebních památek. Předkládaný památkový postup je zpracován na základě poznatků publikovaných v dokumentu: „Stanovení zatížitelnosti Libeňského mostu V009 a zhodnocení jednotlivých prvků konstrukce, ve smyslu proveditelnosti, použitelnosti, životnosti nebo případného zásahu.“

Cílem předloženého památkového postupu bylo ověřit na referenčním zásahu způsob opravy betonové části zábradlí Libeňského mostu, který by splňoval v maximální možné míře podmínky pro sanaci betonových konstrukcí a zároveň byl v souladu s prováděním restaurátorských zásahů obvyklých na památkově chráněných stavbách z betonu. Při rekonstrukci a restaurování části

zábradlí byla použita technika úpravy povrchu, která by do budoucna mohla být cestou k efektivní ochraně bez výrazných estetických rozdílů.

Prvky, na kterých byl prováděn restaurátorský zásah a podle kterých byla vytvořena replika, jsou součástí konstrukce zábradlí Libeňského mostu. Jde o prefabrikované prvky, které byly vytvořeny technikou předsádkového betonu. Pro účely materiálového a petrografického výzkumu byly prvky zábradlí šetrně demontovány a zkoumány v KÚ ČVUT. V průvodní zprávě jsou přehledně uvedeny výsledky zkoumání, včetně velkého počtu fotografií (76 obrázků).

Cílem restaurátorského zásahu bylo vytvořit repliku prefabrikovaných dílů zábradlí a také doplnit chybějící části a vizuálně sjednotit tak, aby co nejvíce odpovídala předpokládané podobě v době svého vzniku. Při volbě přístupu k restaurování byly zvažovány různé přístupy a kombinace restaurátorských metod s metodami běžnými ve stavební obnově. Pro restaurování byla zvolena řada komerčních výrobků, před jejichž aplikací bylo provedeno několik zkoušek jejich modifikovatelnosti a zpracovatelnosti. Zejména byl kladen důraz na maximální přiblížení vlastnostem doplňované hmoty a na to, aby použité materiály vizuálně neměnily původní povrch. Pro tyto účely byly navržené materiály hodnoceny samostatně a následně byly aplikovány na referenční plochy restaurovaných prvků.

K průvodní zprávě je přiložen protokol o ověření památkového postupu v praxi. Protokol podepsal Ing. arch. MgA. Petr Tej, Ph.D., a ředitel Kloknerova ústavu prof. Ing. Jiří Kolísko, Ph.D., v Praze 10. 1. 2022.

Hodnocený výstup splňuje požadavky šetrné rekonstrukce speciálně povrchově upravených betonových konstrukcí.

V případě prefabrikovaných částí jistě stojí za úvahu posoudit, zda není výhodnější z hlediska pracnosti a ekonomické náročnosti nahradit silně poškozené prvky replikami. Na str. 20 je v posledním řádku místo slova desky uvedeno slovo deky. Na str. 30 je v 1. odstavci špatně uvedena shoda podmětu s přísudkem. Tyto dvě poslední připomínky se týkají formální úpravy textu důvodové zprávy.

Doporučuji památkový postup přijmout.

Hodnocení zpracoval:

Prof. Ing. Alois Materna, CSc., MBA

Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě,

I. místopředseda a předseda komise pro celoživotní vzdělávání ČKAIT

Sokolská 15

120 00 Praha 2

Telefon: +420 733 746 768

E-mail: alois.materna@seznam.cz

(další pracoviště Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava,

Fakulta stavební, proděkan pro vnější vztahy)

V Sokolnicích dne 24. 4. 2022



Prof. Ing. Alois Materna, CSc., MBA