

## Časopis ZAKLÁDÁNÍ

vydává:

Zakládání staveb, a. s.

K Jezu 1, P. O. Box 21

143 01 Praha 4 - Modřany

tel.: 244 004 111

fax: 241 773 713

E-mail: propagace@zakladani.cz

http://www.zakladani.cz

http://www.zakladani.com

## Redakční rada:

vedoucí redakční rady:

Ing. Libor Štěrba

členové redakční rady:

RNDr. Ivan Beneš

Ing. Martin Čejka

Ing. Alois Kouba

Ing. Jiří Mühl

Ing. Michael Remeš

Redakce:

Ing. Libor Štěrba

Design &amp; Layout:

Studio 66, s. r. o

Jazyková korektura:

Mgr. Antonín Gottwald

Sazba, lito:

Studio 66, s. r. o.

Tisk:

Tiskárna BKK

Foto na titulní straně:

Aerodata a Libor Štěrba

Překlady anotací:

Mgr. Klára Ouředníková

Ročník XVII

2/2005

Vyšlo 29.8. 2005

v nákladu 1300 ks

MK ČR 7986

ISSN 1212 – 1711

Vychází čtyřikrát za rok

Pro rok 2005 je cena časopisu 72 Kč.

Roční předplatné 296 Kč vč. DPH,

balného a poštovného.

Objednávky předplatného na tel.:

234 035 200, fax: 234 035 207 nebo na

myris@myris.cz, www.myris.cz

Myris Trade, s. r. o.

P. O. Box 2, V Štíhlách 1311/3

142 01 Praha 4

Podávání novinových zásilek

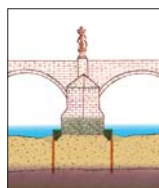
povolila PNS pod č.j. 6421/98

## Občanské stavby

## Úvod

Ing. Michael Remeš

2



## Projektční řešení ochrany základů pilířů č. 8 a 9 Karlova mostu

Doc. Ing. Jan Masopust, CSc.

3



## Kamenný most aneb Průvodce historií zakládání Karlova mostu

Ing. Jan Zemánek.

8



## Stavební řešení ochrany základů pilířů

Vladimír Malý, Ing. Michael Remeš

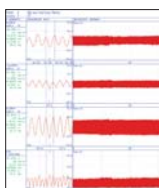
14



## Potápěčský průzkum základů pilířů Karlova mostu

Hynek Šorm, Petr Klíer

21



## Oprava Karlova mostu – sledování seismického zatížení konstrukce mostu

RNDr. Karel Víték

26



## Cíle památkové péče při obnově Karlova mostu

Ing. arch. Ondřej Šefců

28

# Projekční řešení ochrany základů pilířů č. 8 a 9 Karlova mostu

**Autor projektu „Ochrana pilířů č. 8 a 9 Karlova mostu“ nás v první části tohoto článku seznamuje s historií založení Karlova mostu a s opravami, které byly v souvislosti se zakládáním v minulosti na mostě provedeny. Podrobněji se dále věnuje způsobu založení pilířů č. 8 a 9. Následně je popsán návrh koncepce současné ochrany základů obou pilířů a vlastní stavební řešení, spočívající ve vytvoření ochranné obálky kolem základů obou pilířů zasahující až do skalního podloží, kterou tvořila na špicích pilířů štětová stěna a pod oblouky palisádová stěna z plochých štětovnic, sloupů tryskové injektáže a trubních mikropilot.**

## Historický úvod

Karlův most byl stavěn od roku 1357 do roku 1391. Most má celkem 16 klenb o světlosti 16,6–23,3 m a 17 podpěr šířky 6,3–10,8 m, délky po vodě kolem 23 m, půdorysného tvaru protáhlého šestiúhelníka s obdélníkovým jádrem délky asi 11 m, protáhlou špicí proti vodě délky kolem 7,5 m a méně protáhlou špicí po vodě v délce asi 5 m. Nejužívanější číslování označuje pilíř pod staroměstskou věží číslem 0 a malostranský břehový pilíř číslem 10. Návodní jsou tedy pilíře 1 až 9. Na Staroměstské straně se nachází ještě jedna klenba, na straně malostranské potom ještě dnešní břehové pilíře 11 až 15 a opěra 16 s Malostranskou věží. Původní návodní pilíře byly zřejmě pilíře 0 až 14, nicméně neregulovaná Vltava měla hlavní koryto mezi pilíři 4 až 14. V 15. a 16. století byl na Malé Straně vytvářen násyp dnešního ostrova Kampa a Vltava byla vytěsněna východním směrem, přičemž z hlavního koryta zůstala pouze Čertovka a pilíře 10 až 14 se staly pobřežními, přestože stavěny byly s největší pravděpodobností jako návodní.

O výstavbě původních základů Karlova mostu toho víme velmi málo. Základy pocházející ze 14. století nebyly v minulosti odkryty a most byl v důsledku povodní a ledochodů mnohokrát vážně poškozen a rekonstruován, tudíž i původní základy doznaly mnoha změn. Máme zde na mysli především návodní pilíře 3–9, jež byly vždy nejvíce ohroženy. O zbylých pilířích – dnes břehových – nemáme žádné informace. Je však pravděpodobné, že byly zakládány stejnými metodami jako pilíře ostatní, neboť se nacházely v obdobných podmínkách. Tím, že se od konce 15. století staly břehovými, zmenšilo se výrazně riziko jejich poškození a zůstávají pravděpodobně nedotčeny od doby své výstavby. Je tedy na našich následovnicích, aby při vhodné příležitosti odkryly základy některých malostranských pilířů a jejich stav a konstrukci prozkoumali.

Bažant (1973) se na základě studia historických pramenů a zejména na základě srovnání s asi o 30 let starším Roudnickým mostem, jehož provedení základů bylo spolehlivě známo, domnívá, že návodní pilíře Karlova mostu byly zakládány na dřevěných konstrukcích tvaru lodí, jež měly dno budováno jako nízký rošt. Ty byly připraveny na místo, kde dno řeky bylo při nízké vodě ručně urovňováno a lodi-skříně byly potopeny postupným zděním dřívku pilíře. Nejnovější poznatky tuto domněnku ani nezavrhují, ani zcela nepotvrzují. Je možné, že tomu tak v některých případech skutečně mohlo být, naopak jinde se

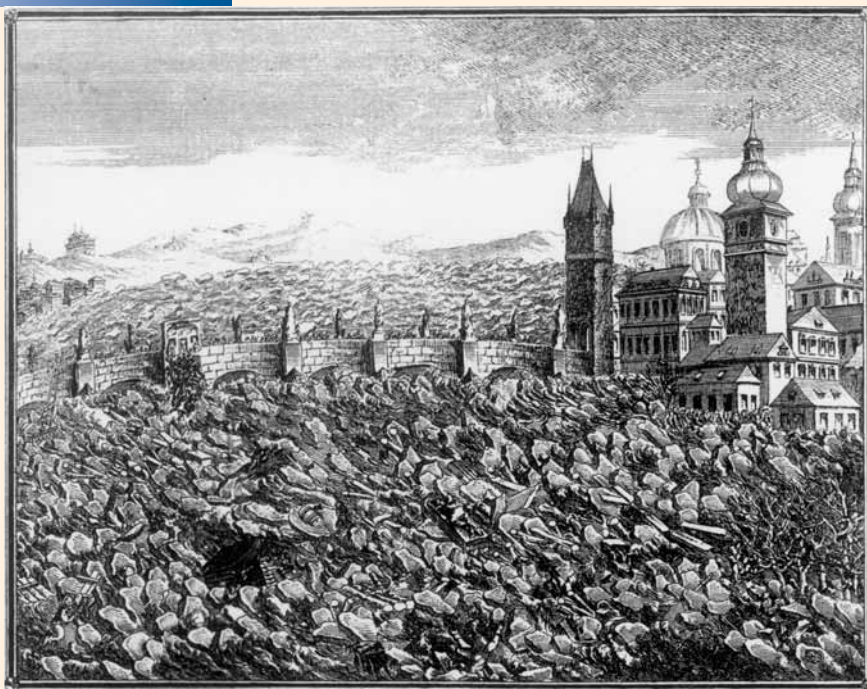
ukázalo, že dřevěný rošt chybí a zakládáno bylo jiným způsobem (pilíř č. 9). Nicméně je zřejmé, že z hlediska dnešního pohledu na věc nebyla dodržena bezpečná hloubka založení – ta byla dána možností ručního urovňování dna pod mělkou vodou (do 0,6–0,8 m), popř. v neregulovaném řečišti s širokou údolní nivou i na suchu při velmi nízkém stavu vody.

Návodní pilíře měly základovou spáru na kótě asi 182,2–182,8 m n. m. v prostředí písčitého štěrku a namáhaly základovou půdu napětím o velikosti 0,25–0,30 MPa. S ohledem na minimální hloubku založení pod okolní dno byly pilíře ohroženy především podemletím v základové spáře při zvýšeném průtoku vody v řece, vyvolaném jak povodněmi, tak i, do doby vybudování Vltavské kaskády, ledochody, nikoliv však překročením únosnosti základové půdy v základové spáře, eventuálně pak nepřipustnými velikostmi deformací.

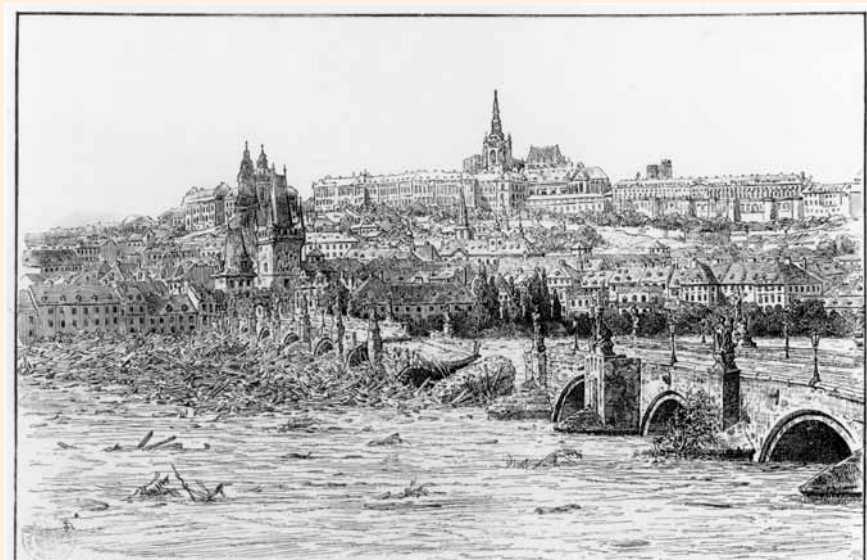
Most ve své historii přestál mnoho povodní a ledochodů, nicméně byl též mnohokrát porušen a rekonstruován. Velmi stručný přehled známého poškození některých pilířů Karlova mostu a jejich oprav je uveden v tabulce 1. Nejvýznamnější opravy mostu se uskutečnily jednak v době krátce po jeho výstavbě (v roce

Datum, událost	Popis poškození	Místo poškození	Způsob a popis opravy
r. 1367 povodeň	Podemletí a zřícení 1 pilíře	?	Nová stavba pilíře během stavby mostu
22. 7. 1432 povodeň	Zřícení 8 klenb a podemletí pilířů mezi č. 0 až 10	Pilíře 1, 2, 4, 5, 6, 9	Nová stavba těchto pilířů zřejmě vč. zakládání nebo alespoň jeho opravy
leden 1496 povodeň	Zřícení pilíře a obou přilehlých klenb	Pilíř 3	Nová stavba pilíře – dokončení až v r. 1503, z této doby se pravděpodobně datuje výstavba dřevěných ochranných pilot kolem některých pilířů mostu
r. 1655 povodeň	Výmoly – obnažení dřevěných pilot obklopujících některé pilíře	?	Způsob event. opravy není znám (pravděpodobně záhozy výmolů)
28. 2. 1784 ledochod	Podemletí nejméně 3 pilířů	Pilíře č. 5, 6, 8	Oprava základů pilířů obklopujícím věncem budovaným v dřevěné jímce s jílovým těsněním dna
r. 1830 povodeň	Škody nejsou popsány	?	–
29. 3. 1845 povodeň	Zřejmě 2. největší povodeň v historii mostu – škody nejsou popsány	?	–
4. 9. 1890 povodeň	Zřícení 2 pilířů a 3 přiléhajících klenb	Pilíře č. 5 a 6	Založení nových pilířů na kesonech, zabezpečení pilířů 3, 4, 7 pomocí betonových věnců obklopujících základ – práce probíhaly v letech 1902–1904
srpen 2002 povodeň	Výmoly na věncích 2 pilířů nezasahující k původnímu dřívku pilíře	Pilíře č. 8, 9	Návrh sanačních opatření je popsán v tomto článku

Tabulka 1: Stručný přehled významnějších poškození návodních pilířů Karlova mostu v historii



Obr. 1: Faksimile rytiny, zobrazující povodeň a ledochod u Karlova mostu dne 27. a 28. února 1784, archiv Památník národního písemnictví



Obr. 2: Karlův most poničený po povodni v roce 1890, archiv Památník národního písemnictví

1432), o nichž však nemáme žádné informace, jednak po roce 1784 (barokní oprava řízená F. A. L. Hergetem, profesorem České stavovské inženýrské školy). Dobré informace pocházejí z opravy po povodni v roce 1890, a to zejména z článku tehdejšího stavebního rady Ing. Jiřího Soukupa v časopise *Technický obzor* z roku 1903. O utiřidění jednotlivých a dosti roztržitých informací se v současné době během realizace oprav zasloužil především Ing. Jan Zemánek z firmy TSK Praha, který vykonal záslužnou práci badatelskou (viz následující článek od tohoto autora).

Barokní oprava z roku 1784 se týkala zcela jistě pilířů č. 5, 6 a 8, pravděpodobně i pilíře č. 9 a možná i pilířů dalších. Dokumentována je zejména na mědirytině K. Salzera z této doby (viz

obrázek na str. 8) a podává dosti věrný obraz o metodě opravy v nasazené hrázové dřevěné jímce. Z ní se zachovaly jednak dubové piloty, porůznu situované v řečišti a dále dřevěná štětová stěna (tzv. špuntovnice), obemykající pilíř č. 9 ve vzdálenosti cca 1,20 m od jeho líce s vyzdívkou a dřevěným záklopem.

Po třetí největší povodni v historii mostu, která nastala dne 4. 9. 1890, byla zahájena dosud největší oprava Karlova mostu, která trvala – jistě s přestávkami – celkem 14 let. Při povodni se zřítily pilíře č. 5 a 6 a přilehlé 3 mostní klenby (obr. 2). Provoz na mostě byl obnoven pomocí dřevěných provizorií. Pilíře č. 5 a 6 byly v roce 1891 znovu založeny na ocelových kesonech zasahujících do předkvartérního podloží, tj. do hloubky cca 9,5 m pod normální hladinu vody

v řece, resp. 7,0 m pode dno řeky (viz obr. na str. 11). Pilíře č. 3, 4 a 7 byly provizorně zabezpečeny betonovými věnci obklopujícími dřívky, které měly ochránit dno řeky přiléhající k pilířům a základy pilířů před výmoly. Tato oprava však nebyla šťastná, neboť významně zužovala průtočný profil pod mostem. Po mnoha diskusích bylo v r. 1902 přistoupeno k vypracování projektu definitivního zabezpečení těchto pilířů (3, 4 a 7) pomocí obálek z dělených ocelových kesonů obklopujících pilíře a zasahujících až do skalního podloží na kótě cca 175,50 m n. m. Realizace uvedeného řešení byla technicky mimořádně náročná. Ocelová obálka sestávala celkem ze 7 dílů ocelových kesonů šířky 2,0 m (viz obr. na str. 12). Mezery mezi kesony byly důmyslně zapaženy a pod vodou betonovány. Kesonová obálka byla nastavena ocelovou jímkou z plechu tl. 4 mm vyztuženého žebry a ve vyčerpáné jímce byl opraven dřík pilíře a vybetonováno bylo dno řeky mezi dříkem a vlastní jímkou v tl. přes 1,0 m. Při spouštění dílu la kesonu u dříku pilíře č. 3 byl zastížen dřevěný rošt, jenž velmi pravděpodobně pocházel z původních základů mostu.

Je tedy zřejmé, že návodní pilíře č. 3 až 7 jsou v současné době dostatečně zabezpečeny zejména z doby své největší rekonstrukce v letech 1892–1904. Dostatečně nechráněny tedy byly návodní pilíře č. 8 a 9, z nichž pilíř 8 byl při povodni v roce 1890 částečně podemlet na přední špičce ohlaví a na pravém boku po vodě, pilíř 9 zůstal zcela nepoškozen. Základ pilíře 8 byl po roce 1890 opatřen ochrannou obálkou, pilíř 9 nebyl v této době vůbec sanován.

### Některé poznatky o stavu základů pilířů č. 8 a 9

#### Základy pilíře č. 8

Základy tohoto pilíře – druhého návodního od malostranského břehu Vltavy – jsou dle všech dostupných poznatků z větší části v původním stavu z doby jeho výstavby koncem 14. století, z menší části byl pilíř rekonstruován v roce 1784, kdy se po katastrofálním průchodu ledochodu koncem února zřítily jeho protivodní špiče s vojenskou strážnicí stojící na mostě. První skutečně významné poznatky o zakládání tohoto pilíře zprostředkoval až potápěčský průzkum, který probíhal v několika fázích v období od 28. 12. 2003 do března 2004. V důsledku výmolů ve dně řeky, vzniklých při pravděpodobně největší povodni v historii mostu v srpnu 2002, byly v chybějícím obkladním věnci základy z roku 1892 obnaženy z malé části původní základy tohoto pilíře. Výzkum byl realizován v kaverně a v odkryté části obvodového věnce délky 5,80 m, jež se nacházela ve špičce základu po vodě směrem k pilíři 9. Po podrobném studiu popsaného nálezu potápěčů dokumentovaného fotografiemi a videozáznamem bylo možné konstatovat, že pilíř je založen na úrovni cca 182,60 m n. m., tj. 2,0 m pod normální hladinou v řece na **dřevěném roštu**, který přesahuje



půdorys šestiúhelníkového dřívku o 0,9 m po celém obvodu. Za „normální“ hladinu považujeme kótu 184,70 m n. m. Podlaha z fošen tl. 12 cm spočívá na dřevěném roštu z trámů tl. 15–20 cm, přičemž lze jasně identifikovat jak trámy obvodové, tak i příčné, jdoucí pod zdivo pilíře. Tento rošt spočívá na dřevěných pilotách průměru cca 0,30 m, přičemž jejich zhlaví je upraveno (např. do čtvercového průřezu) a je (v jednom případě) zapuštěno do obvodového trámu. Celkem byly v odkryté délce zastíženy 3 svislé piloty, zasahující do neznámé hloubky. Nad fošnovou podlahou byla jasně identifikována vrstva malty, na níž spočívá vlastní pískovcové zdivo dřívku pilíře. Kvalita dřevěných prvků (pilot, trámů, fošen) byla popsána jako výborná. Tyto konstrukce nebyly zřejmě nikdy nad hladinou vody a nevykazují žádné poškození. Současně tak i malta je v dobré kvalitě. Základová spára dřívku pilíře se nachází na úrovni písčitéch štěrků, jež zasahují na kótu cca 175,50 m n. m., kde byl zastížena ordovický skalní podklad (vrstvy zahořanské). Pilíř, resp. jeho povodní část, je tedy založen hlubinně na systému dřevěných pilot neznámé délky podpírajících dřevěný rošt pravděpodobně pouze po obvodu. Z hlediska únosnosti základu a jeho ochrany proti výmólům však tyto dřevěné piloty nepředstavují žádný účinný základový prvek a základ působí jako plošný se základovou spárou na dně řeky.

Další nález se týkal **obvodového věnce kolem pilíře** ve vzdálenosti 2 m od dřívku s povrchem v hloubce kolem 0,7 m pod normální hladinou vody v řece. Po obvodu byl ohraničen dvojitými dřevěnými štětovnicemi s okovanou špicí, zaraženými mělce do okolního dna řeky. Štětovnice byly v hlavách lemovány dřevěným trámem cca 0,2/0,2 m. Vzniklý prostor byl vyplněn kamenným záhozem a povrch věnce byl vybetonován ve vrstvě tloušťky přes 1,0 m. V prostoru mezi původním dřevěným základovým rostem a štětovnicemi bylo zjištěno upravené dno tvořené jílem v hloubce 3,0 m pod hladinou vody. Jedná se pravděpodobně o jílové těsnění dna jímky prováděné v roce 1784. Dále bylo zjištěno, že svislá stěna po obvodu původního dřevěného roštu mezi původními pilotami je vyzděna kame-

ny i cihlami na maltu, a to na výšku až 0,60 m, jež je kompaktní a pochází pravděpodobně z barokní opravy

Významné a překvapující zjištění přinesla ochrana základů prováděná v dnešní době, kdy bylo rozhodnuto o zřízení dostatečně prostorných sond zasahujících na základovou spáru dřívku pilířů mostu tak, aby bylo možné prohlédnout tyto základy „suchou nohou“. Sonda u pilíře č. 8 byla po mnoha diskuzích s památkáři situována na kraj jeho jádra, do 9. mostního pole (obr. 3 a 4). Odkryla základy, jež jsou zde tvořeny pečlivě opracovanými pískovcovými bloky s „konzolou“, jež spočívají na dřevěné štětové stěně (špuntovnici) zasahující do neznámé hloubky. Nejedná se tedy bohužel o původní základy Karlova mostu, nýbrž zřejmě o část barokní opravy zříčené protivodní špice z r. 1784. Ukázalo se tedy, že situování této sondy nebylo šťastné, neboť původní základy pilíře č. 8 v této sondě nebyly nalezeny.

#### Základy pilíře č. 9

První návodní pilíř od malostranského břehu Vltavy nedoznal pravděpodobně ve své historii změn a oprav. Jak vyplývá z průzkumů, které realizovali potápěči, existoval kolem dřívku pilíře mohutný kamenný zához s povrchem mělce pod normální hladinou vody v řece. Povodeň v roce 2002 poškodila tento zához jen minimálně. Pod ním byla objevena konstrukce ochranné obálky sestávající z dřevěných „špuntovic“ ve vzdálenosti asi 1,2 m od dřívku pilíře, lemovaných dubovým trámem, který na vnější straně nesl podlahu z dubových fošen tl. 6–7 cm zapuštěných do drážky v dřívku pilíře. Vzniklý prostor byl vyzděn kamenným zdivem na maltu. Jedná se zřejmě o barokní opravu z roku 1784. Za zdivem se ve dně řeky nacházely zcela nepravidelně rozmístěné dřevěné piloty průměru kolem 0,20 m, které nesouvisejí se základy tohoto pilíře. Potápěčský průzkum z přelomu let 2003/2004 tedy neodhalil ani základovou spáru dřívku pilíře, ani existenci event. dřevěného roštu na pilotách, ani základovou spáru obvodového zdiva. Teprve v souvislosti se zahájením sanač-

ních prací koncem roku 2004 se uskutečnil další potápěčský průzkum, kterým byla kontrolována zejména prohrábka dna řeky v 9. a 10. mostním poli. Při této příležitosti narazili potápěči na otvor v dřevěné štětové stěně, jímž poprvé vyfotografovali skutečné základy tohoto pilíře. Objevily se „mlýnské kameny“ častokrát vzpomínané v archívních materiálech. Bylo tedy rozhodnuto prokopat skrz ochranný věnec pod vodou vertikální sondu, pomocí níž byl vyzvednut jeden mlýnský kámen, který byl zčásti podeklet a nacházel se v posunutém poloze. Současně byla výplňovou injektáží sanována drobná kaverna zasahující pod základ v tomto místě.

V rámci vlastní sanace byla i u tohoto pilíře vyhloubena podél jeho jádra zapažená sonda, která umožnila prohlídku základové spáry „v suchu“ (obr. 5 a 6). Sonda skutečně odhalila již vzpomínané mlýnské kameny o průměru kolem 0,8 m, výšky 0,2–0,3 m, ležící jeden vedle druhého a spojené železnými „kramlemi“ zalitými olovem ve vysekaných otvorech. Jedná se ve skutečnosti o polotovary k výrobě mlýnských kamenů (tzv. otesky), které, pokud nebyly vybrány k použití ve mlýně, představovaly v podstatě odpadní materiál. Tak lze snad vysvětlit jejich použití do základů Karlova mostu.

Jistou záhadou zůstává metoda výstavby základů z otesků. Je zřejmé, že jejich spojování nemohlo probíhat pod vodou a vytvoření suché – těsněné jímky si nedovedeme představit metodami druhé poloviny 14. století. Je však možné, že celá výstavba proběhla velmi jednoduše – při nízkém stavu vody v suchu. Pisatel se však nemůže ubránit jistému zklamání nad těmito otesky, jež z hlediska vytvoření základové konstrukce představují prvky zcela nevhodné. Na straně druhé překvapuje „ekonomické chování“ našich předků, kteří takto dokázali využít v podstatě odpadní materiál. Nedovedeme si totiž představit, že plošné zakládání na



Obr. 3 a 4: Průzkumná sonda u pilíře č. 8 s pohledem na „konzolu“ a dřevěnou špuntovnici







Obr. 5 a 6: Průzkumná sonda u pilíře č. 9 s „otesky“ mlýnských kamenů, které tvořily základovou spáru tohoto pilíře

kruhových kamenech mohl být stavební záměr, pro nějž byly tyto otesky speciálně vyráběny.

### Koncepce návrhu ochrany základů pilířů č. 8 a 9

Na základě zhodnocení výsledků průzkumu vypsal v roce 2004 investor Hlavní město Praha výběrové řízení na vypracování studie a projektové dokumentace na sanaci základů pilířů č. 8 a 9 a řízením příslušných prací pověřil firmu Mott MacDonald, spol. s r. o., Praha. Ve veřejné soutěži zvítězila firma FG Consult, spol. s r. o., jež vypracovala projekční řešení, dle něhož uvedené práce provedla společnost Zakládání staveb, a. s. Při návrhu koncepce sanace základů obou pilířů jsme vycházeli z následujících úvah a z nich vyplývajících dílčích závěrů:

- Vlastní základy dřívku obou pilířů není třeba sanovat, rekonstruovat, podchytávat a doplňovat.
- Z hlediska obecného poznání historických souvislostí se naskytá mimořádná šance realizovat podrobnější průzkum základů obou pilířů, a to v sondách v suchu.
- Sanační a rekonstrukční práce by se měly

soustředit na vybudování ochranné obálky kolem stávajících základů, která je ochrání před výmoly, jejichž tvorba souvisí především s hloubkou a rychlostí proudění vody kolem pilířů, tedy zvláště pro případy povodní, jež i v dnešní době nejsou neobvyklé. Domníváme se ostatně, že z hlediska více jak 600leté historie Karlova mostu nemá naše generace zvláštní právo zasahovat do konstrukce základů mostu způsobem, který není nezbytný pro zachování jeho životnosti pro další generace.

- Při návrhu a realizaci této ochranné obálky lze využít technologií speciálního zakládání staveb odpovídajících dnešním možnostem.

Podrobněji bylo ve zvláštních technicko-kvalitativních podmínkách stanoveno, že ochrana základů pilířů musí být navržena tak, aby odolala výmolum kolem pilířů zasahujícím do hloubky 2,5 m pod dno řeky. Z toho samozřejmě vyplynulo, že ochranná obálka musí být založena dostatečně hluboko do předkvartérního podloží, jež se v případě obou pilířů nachází od úrovně cca 175,50 m n. m. a je tvořeno ordovickými břidlicemi. Návrh obálky byl dále limitován

těmito faktory a skutečnostmi:

- omezenou pracovní výškou pod klenbami mostu, neumožňující využít těžkých mechanismů,
- nutností realizace všech prací z vody,
- dynamickými účinky na konstrukci mostu při realizaci některých druhů prací (beranění, vibrování),
- existencí velkých balvanů, které se v průběhu let dostaly do výmolů kolem pilířů a vyplňují je; tyto balvany tvoří prakticky neprůchodnou překážku pro klasickou ražbu štětových stěn

### Vlastní návrh trvalé ochrany základů

Návrh trvalé ochrany základů obou pilířů spočívá tedy ve zřízení odolné obálky kolem pilířů vetknuté do skalního podloží. Obálky obou pilířů jsou prakticky shodné, jejich konstrukce je však odlišná pro část podél povodní a protivodní špiče a část podél boků pilířů (pod oblouky mostu).

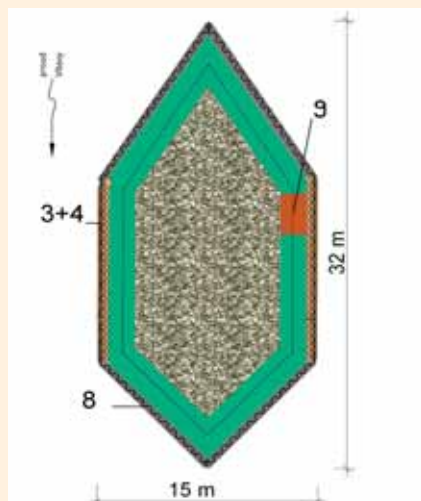
### Podél šikmých špicí – protivodní a povodní

– byla navržena konstrukce ochranné obálky skládající se z ocelových štětovic Larssen III, které byly stráženy do vrtů prům. 600 mm, hloubených průběžným šnekem až do skalního (ordovického) podloží a vyplněných jílocementovou suspenzí vhodného složení a pevnostních parametrů. Vrty byly prováděny pilotážní vrtnou soupravou, jednalo se o mimořádně náročnou práci, zahrnující časté odstraňování balvanů. Štětovnice délky 11,0 m byly později dovibrované do skalního podloží na délku 2,0 m.

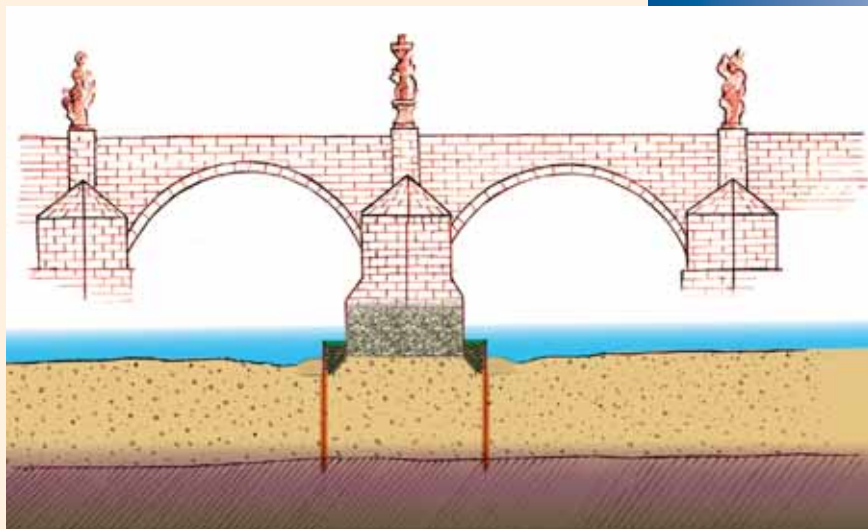
(Poznámka: V průběhu prosince 2004 bylo učiněno několik beranících pokusů za účelem zjištění, je-li v oblasti pilířů č. 8 a 9 Karlova mostu reálné razit ocelové štětovnice typu Larssen skrz šterky přímo do skalního podloží, a to jak z hlediska razitelnosti v daném geotechnickém prostředí, tak i z hlediska vyvozených dynamických účinků na konstrukci mostu. Výsledek této zkoušky byl zcela jasný – geotechnické prostředí neumožňuje klasické ražení štětovic, tj. beranění, vibrování, resp. kombinace těchto technologií.)

**Pod oblouky mostu** byla navržena palisádová stěna skládající se z těchto prvků:

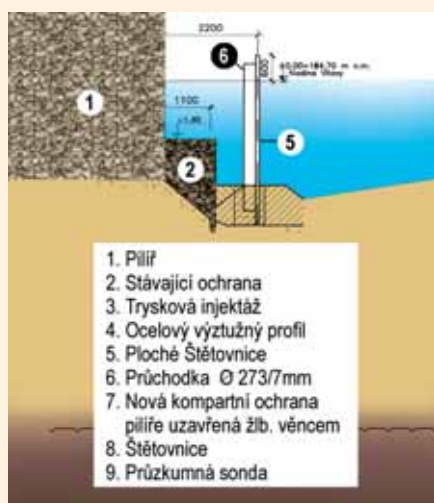
- plochých ocelových štětovic ARBED AS 500-12 v délkách 4,0 m s navařenými průchodkami z ocelových trub prům. 273/7 mm z vnitřní strany; takto upravené štětovnice byly zavibrovány na hl. asi 0,5 m pod upravené dno v řece ve vzdálenosti asi 2,2 m od dřívku pilíře;
- sloupů jednofázové tryskové injektáže (TI) o průměru 0,7–0,8 m, realizovaných skrz tyto průchodky a ukončených na délku asi 1,0 m ve skalním podloží; sloupy vytvořily převrtnou těsnicí stěnu;
- převrtání sloupů TI v jejich ose (skrz průchodky) a osazení ocelových trub prof. 194/10 mm délky 11,0 m, zapuštěných 2,0 m do skalního podloží, přeinjektovaných a vyplněných cementovou suspenzí; tyto trubní mikropiloty tvořily spolu se sloupy TI stěnu schopnou odolá-



Půdorys pilíře č. 8 s vyznačením použitých technologií a místa průzkumné sondy



Koncepce ochrany základů pilířů č. 8 a 9 obálkou zasahující až do skalního podloží



1. Pilíř
2. Stávající ochrana
3. Trysková injektáž
4. Ocelový výztužný profil
5. Ploché štětovnice
6. Průchodka Ø 273/7mm
7. Nová kompartní ochrana pilíře uzavřená žlb. věncem
8. Štětovnice
9. Průzkumná sonda

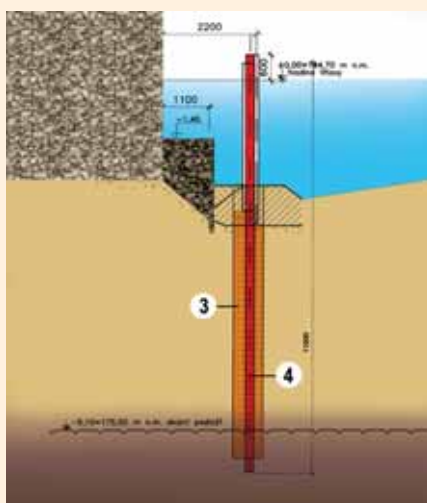
Fáze 1 opravy pilíře č. 8

vat ohybovému namáhání při event. jednostranném odhalení této stěny.

Dále popsané činnosti jsou pak již společně pro „špice“ i pro střední část jímky pod oblouky mostu:

- vyčerpání takto vytvořené jímky podél celého pilíře, vyčištění jímky od nánosů, obnažení stávajících (historických) konstrukcí obálek a jejich separace zakrytím geotextilií;
- prohlídka obnaženého dřívku pilíře, sanace historického zdiva (injektáž, výměna zdiva);
- zřízení železobetonového věnce v celé šířce jímky (tj. přes 2,20 m) tl. 0,4–0,5 m, do něhož jsou vetknuty štětovnice a trubní mikropiloty; povrch věnce je cca 0,60 m pod normální hladinou vody v řece;
- odříznutí přečnivajících štětovnic v úrovni povrchu věnce (za pomoci potápěčů).

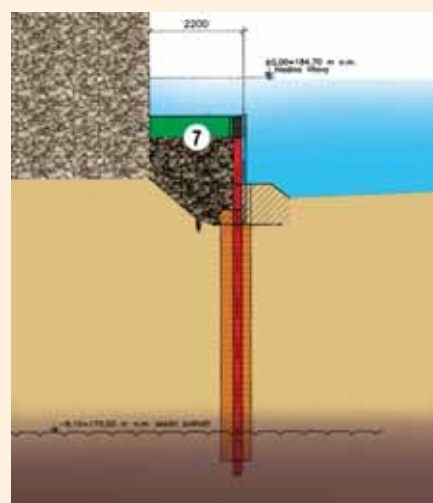
Samostatnou kapitolou bylo **vytvoření průzkumných sond ve tvaru jímek** délky cca 3 m uvnitř hlavní jímky kolem dřívků pilířů za účelem prozkoumání původních základů Karlova mostu. Jímky byly těšněny systémem sloupů TI a byly vykopány ručně. Přítok vody byl zcela minimální, a jímky tedy umožnily přístup k základům „suchou nohou“, čehož v průběhu asi dvou



Fáze 2 opravy pilíře č. 8

týdnů využilo mnoho odborníků i řady nadšenců. Veškeré práce na sanaci základů obou pilířů byly prováděny z lodí a pontonů. V průběhu vrtných prací a během dorážení štětovnic byla měřena dynamická odezva těchto prací na mnoha bodech umístěných na konstrukci mostu. Měření prováděla firma Inset, s. r. o. Praha. Lze konstatovat, že v celém průběhu prací nenastala z titulu dynamických účinků nebezpečná situace, která by znamenala přerušení prací či změnu technologie, resp. strojního vybavení. V celém průběhu prací významně pomáhali potápěči, bez nichž bychom si opravu základů nedovedli představit. V průběhu zimních a jarních měsíců 2005 musely být práce třikrát přerušeny vždy na dobu 1–2 týdnů v důsledku zvýšeného stavu vody v řece. S tímto opatřením bylo samozřejmě v projektu počítáno – vlastní jímka byla navržena na maximální úroveň vody na kótě 187,10 m n. m. a po jejím překročení se počítalo s jejím zatopením.

V současné době (červenec 2005) – po betonáži železobetonového věnce obálek obou pilířů – je stavba tedy prakticky dokončena a uzavřen je tak i problém protipovodňové ochrany základů Karlova mostu na dobu mnoha dalších generací



Fáze 3 opravy pilíře č. 8

### Design solution for the protection of foundations of the Charles Bridge pillars no. 8 and 9

In the opening part of this article we are introduced by the author of the project "Protection of pillars no. 8 and 9 of the Charles Bridge" to the history of the Charles Bridge construction as well as to reconstructions that were carried out on its foundations in the past times. The author then deals in more detail with the way pillars no. 8 and 9 are founded. The article further describes the draft concept of present protection of both pillar foundations and the structural solution lying in creating a protective cover envelope around both pillars reaching the bedrock. The cover envelope consists of a sheet pile wall on the pillar tops and palisade wall made of level sheet piles under the bridge-arches, then also jet grouted columns and tube micropiles.

Doc. Ing. Jan Masopust, CSc., FG Consult, s. r. o.  
VUT Brno, Ústav geotechniky  
Foto: Libor Štěrba



# Kamenný most aneb Průvodce historií zakládání Karlova mostu

**Článek o zakládání Karlova mostu nás provede nejprve tou nejvzdálenější historií vzniku tohoto přemostění Vltavy. O způsobu původního založení mostu je k dispozici velice málo informací. Mozaiku použitých technologií skládáme z historických pramenů, zejména pak z poznámek stavebních inženýrů, kteří se podíleli na rekonstrukci mostu na přelomu 19. a 20. století. Tehdy kesonové zakládání pilířů 5 a 6 a ochrana pilířů 3, 4 a 7 kesonovými obálkami umožnily detailní archeologický průzkum provizorních ochranných jednotlivých podpěr z minulých období. Poznámky ve stavebních denících a výkresech jsou v článku konfrontovány s psanou historií a se zjištěními, vycházejícími ze současného potápěčského průzkumu a s nálezy v průzkumných sondách u pilířů č. 8 a 9, učiněnými při jejich ochraně v letošním roce.**

## Úvod

Kamenný most v Praze, později přejmenovaný na Karlův, je stavbou, která nemá v historii mostního stavitelství období. Plány na jeho zbudování se zřejmě zrodily již v době plného vytížení Juditina mostu.

Ve třicátých letech 14. stol. končil český biskup Jan IV. z Dražic jedenáctiletý pobyt na papežském dvoře v Avignonu. V té době se v Evropě prosazoval gotický sloh, který se nemohl nepromítnout do mostních staveb. Zakládání staveb ve vodě bylo velmi náročné. Zkušenosti se dědily ve stavebních hutích přes kamenické mistry, kteří si byli vědomi své výjimečnosti. Toto takzvané mostní bratrstvo bylo vyhledáváno a ceněno pro své bohaté zkušenosti. Jedním z nich byl stavitel Vilém z Avignonu, znalý zakládání staveb do vody.

Jan IV. z Dražic po návratu do Prahy zamýšlel propojit svoje sídlo na Malé Straně s plánovanou stavbou kláštera novým mostem<sup>01</sup>). Narazil však na odpor v té době posíleného bohatého měšťanstva. Svoje velkorysé plány pak uskutečnil v Roudnici nad Labem, ve městě, které miloval a kde bylo jedno z jeho sídel. V roce 1333 nechal založit klášter a kamenný most přes Labe, na jehož stavbu stačilo sedm let. Potom co první oblouk překlenul dva pilíře, vrátil se bohatě vyplacený kamenický mistr Vilém do vlasti a stavební huť převzal zřejmě český kameník Otto. Novému mostu nebyly ani dva roky a byl prověřen povodní, která v roce 1342 pobořila i pražský Juditin most. V té době, za panování Jana Lucemburského a jeho syna Karla IV., bylo rozhodnuto a listinami stvrzeno, že Juditin most bude opraven již pouze do podoby dřevěné lávky, která překlene zborcené klenby<sup>02</sup>). Kdo dal povel k zahájení projekčních prací na novém mostě a kdo se zúčastnil přípravných prací, není dosud doloženo. Nabízí

se vysvětlení, že právě kamenický mistr Otto po zkušenostech nabytých v Roudnici byl jedním z autorů kamenného mostu. S biskupem Janem spojovala mistra kamenického nejen společná stavba v Roudnici, ale zřejmě i společné sídlo na Malé Straně. Jedním ze společných architektonických prvků je spodní patro Staroměstské mostecké věže, která se velmi podobá věži dodnes stojící v bývalém biskupském sídle v Praze<sup>03</sup>). A tak s velkou pravděpodobností mistr Otto zakládá most a staví první patro mostecké věže na druhé podpěře mostu. Po jeho smrti přebírá stavbu Petr Parlář, aby dílo zdárně dokončil<sup>04</sup>). Co vedlo stavitele k tomu, že most z větší části založili na mlýnských kamenech, položených na upravené šterkové dno, se můžeme pouze domnívat. Dost možná, že doba, ve které se stavba rodila, nebyla připravena na velkorysé stavby. Země byla ekonomicky rozvrácena válečnickými výpravami krále Jana Lucemburského. Královské statky

byly zastaveny a peníze soustředěné z výběru mostného a daní určené na provoz mostu byly vyčerpány na obnovu Juditina mostu. Mohla tak nastat situace, kdy z úsporných důvodů byl nápad založit most na snadno dostupných mlýnských kamenech vysvobozením z dané situace. To, že tento způsob založení se našim předkům několikrát vymstíl, popíšeme dále. Nebylo jediného století, aby se velká voda více či méně nepodepsala na mělce založených pilířích.

Založení Karlova mostu můžeme rozdělit na dvě části. Za prvé na podpěry nábrežní a ostrovní, jejichž provedení je zahaleno tajemstvím z důvodu zapuštění pod zem, a na podpěry říční, které musely odolat od doby založení mostu stu povodní. Ne každá povodeň se podepsala na mělce založených pilířích. Byly to velké vody, které přinesly splávi nebo ledy z horního toku a navršily překážku, někdy až do úrovně kamenného zábradlí. Historici zaznamenali mimořádné události, kdy Pražané přecházeli přes most a dotýkali se naplaveného dříví. V těchto případech se voda prodírala překážkami, mezi které můžeme zařadit i masivní pilíře, a zvýšenou rychlostí odebírala dno mezi podpěrami. Voda a její hlavní proudnice nabíhala šikmo na pilíře, a tudíž u řady z nich vytvářela prohlubně podél stěn. Často tak obnažovala historii původního založení mostu. V jednom z archivních materiálů z roku 1655 můžeme číst, že ... „voda vypláchla grunty mostu Karlova pod bářkami, že koly, na kterých most byl, spatřiti se mohly“<sup>05</sup>). Tato povodeň je příkladem poruchy, která se odehrávala v podzákladí, aniž by byl narušen nosný systém mostu a přerušen provoz na důležité spojnicí mezi Starým Městem a Malou Stranou. Do historie se výrazně zapsaly povodně, které



Obr. 1: Mědirytina, vyhotovená po povodni, která postihla Prahu v r. 1784 a znázorňující rekonstrukci pilířů č. 5, 6; archiv Památník národního písemnictví

měly devastující vliv na pilíře mostu a o kterých postupně pojednáme v dalším textu.

### Povodeň z roku 1432

Ta první přišla dne 22. 7. 1432, pobořila 5 pilířů a zničila velkou část konstrukce, brzy po dokončení mostu. O tom, do jaké hloubky byly zbořené pilíře zasaženy, nezůstaly žádné informace. Víme jen, že most byl opraven a zprovozněn v roce 1503.

### Opravy základů Karlova mostu po povodni v roce 1784

Povodeň, která měla vliv na změny v založení mostu, postihla Prahu v roce 1784. Dravý proud při této povodni zřejmě vytvořil kaverny v předních částech pilířů č. 5, 6 a 8, do nichž se následně zřítila jejich přední zhlaví. Pro tuto katastrofu bylo příznačné, že most jako celek odolal a mohl tak sloužit přepravě materiálu na poškozená místa (obr. 1).

Oprava této trojice pilířů byla rozdělena na dvě samostatná pracoviště. Pilíře č. 5 a 6 byly

obehnány dvouřadou špuntovnicí, beraněnou z pomocných konstrukcí umístěných na pilotách. Prostor mezi špuntovnicemi byl vyplněn jímlem a celá jímka se čerpala pomocí důmyslného systému přírodním pohonem. Do připraveného dna, zbaveného zříceného zhlaví, byly na jeho místě zaberaněny piloty, které byly svázány dubovým roštem. Do míst křížení byly pak uloženy mlýnské kameny jako první vrstva kamenné přízdívky (obr. 2 a 3).

(Způsob provedení této rekonstrukce po roce 1784 je popsán v dalším století díky pečlivým poznámkám stavebního inženýra Jiřího Soukupa<sup>06)</sup>, který dozoroval stavební práce na rekonstrukci pilířů č. 5 a 6 po povodni, která postihla Prahu v roce 1890. Kesony, které tehdy prořezávaly jednotlivé vrstvy historie, umožnily dobře zmapovat způsob opravy založení v roce 1784.)

Předpokládám, že obdobným způsobem byl na konci 18. stol. opraven i pilíř č. 8. Zda zůstalo pouze u doplnění přední části pilíře novostavbou zhlaví, nejsou bohužel dostatečné informace. Současné objevy z podzákladí pilíře č. 8. mne vedou k domněnce, že spolu s masivní rekonstrukcí předmětného zhlaví pilíře byl současně doplněn i pilotový rošt po celém obvodu pilíře a následně pak obnoven i jeho plášť, a to od tohoto nového roštu až po ústupek na pilíři. Jedním z důvodů pro toto tvrzení mohou být stejné kamenické značky a stejný způsob opracování kamene od předního hrotu pilíře až po západní bok podpěry, kam by zborcená část pilíře bez poruchy klenby nemohla dosáhnout (obr. 4 a 5).

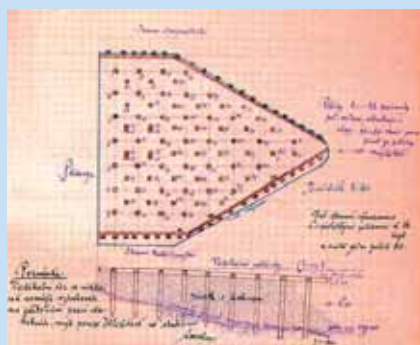
S velkou pravděpodobností však při této rekonstrukci nezůstalo jen u opravy vyjmenované trojice pilířů. Kamenným pasem zděným do

jímky umístěné v blízkosti pilířů byly následně posíleny i zbylé pilíře č. 2, 3, 4, 7 a 9.

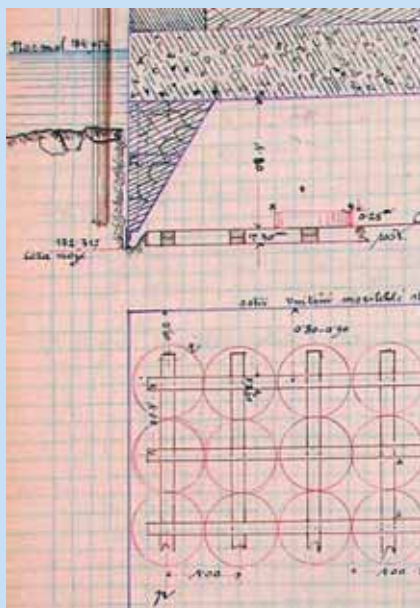
Pro toto tvrzení svědčí několik archivních dokumentů. Prvním je stavební výkres z konce 18. století s popisem rekonstrukce dvou pilířů pojmenovaných po svatém Josefu a svatém Františku Serafinském (obr. 6). (Podle ustáleného číslování se jedná o pilíře č. 2 a 9.) Do tohoto výkresu je dokreslen detail, který zjednodušenou formou popisuje skutečně provedenou opravu (obr. 7).

Druhým dokumentem jsou náčrtky a výkresy vypracované při kesonovém zakládání po roce 1890, v nichž je detailně popsána nalezená minulé ochrana pilířů (obr. 8). Tyto archivní materiály byly potvrzeny a upřesněny při průzkumných pracích na pilířích č. 8 a 9 prováděných v současné době (obr. 9).

Sanační práce po povodni v roce 1784 zřejmě probíhaly v následujícím pořadí. Do šterkové dna byly spolu s okovanou špuntovnicí (obr. 10)



Obr. 2: Náčrtek sítě pilot v přední části pilíře č. 6; zakresleno dne 16. listopadu 1891 mostním inženýrem Jiřím Soukupem do stavebního deníku; archiv Hlavního města Prahy, Chodov



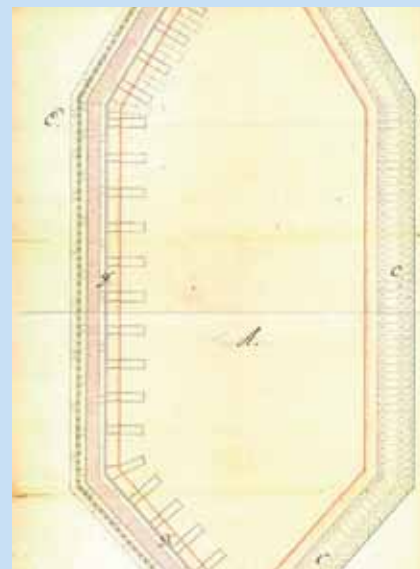
Obr. 3: Náčrtek dřevěného roštu s mlýnskými kameny v přední části pilíře č. 6; zakresleno dne 11. listopadu 1891 mostním inženýrem Jiřím Soukupem do stavebního deníku; archiv Hlavního města Prahy, Chodov



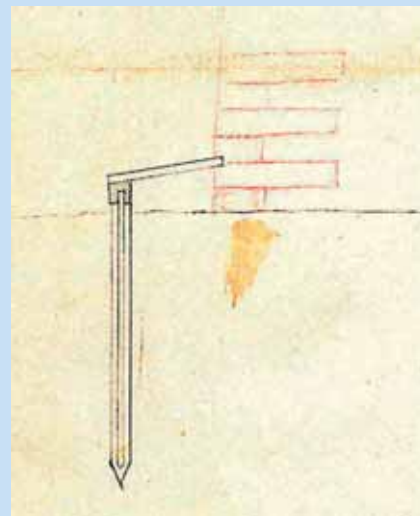
Obr. 4: Kamenická značka na špičce předního zhlaví pilíře č. 8, archiv Zemánek



Obr. 5: Kamenické značky na západním boku pilíře č. 8 v oblasti sondy, archiv Zemánek



Obr. 6: Půdorys pilíře č. 9, pravděpodobně z konce 18. stol., archiv TSK

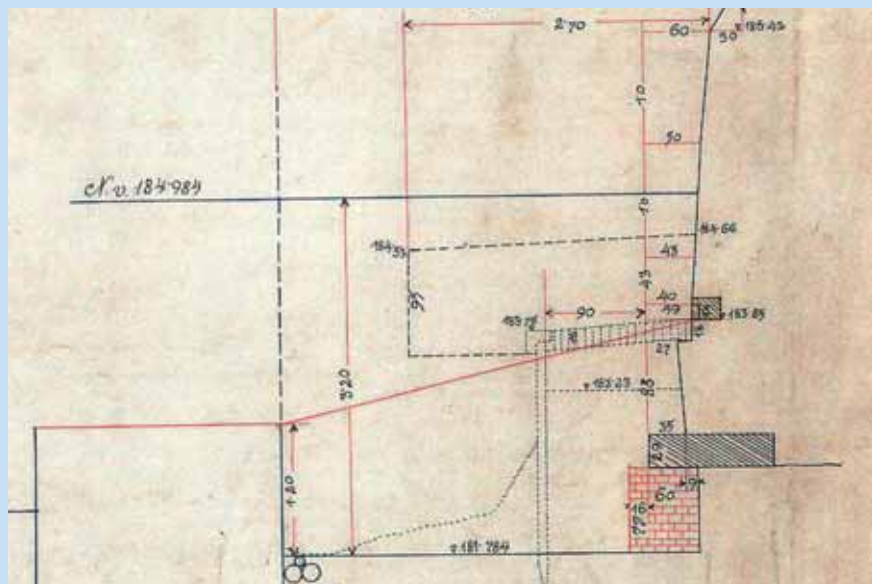


Obr. 7: Detail příčného řezu podzákladí pilíře č. 9 se zakreslenou špuntovnicí, archiv TSK

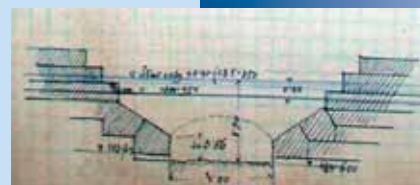








Obr. 16: Příčný řez základem východní části pilíře č. 7 na hrotu předního zhlaví, zakreslen je mlýnský kámen a cihelná podezdívka provedená po povodni 1890, archiv TSK



Obr. 18 Náčrtek prostoru mezi přední a zadní částí základu pilíře č. 6, zakresleno dne 21. dubna r. 1892 mostním inženýrem Jiřím Soukupem do stavebního deníku, archiv Hlavního města Prahy, Chodov

kovat příčiny zřícení pilířů.

Postupný sestup kesonu a následný průzkum byl navíc skvělou příležitostí pro sledování průběhu založení obou pilířů č. 5 a 6 od zahájení stavby ve 14. století až po tehdejší dobu. Díky pečlivým poznámkám inženýra Jiřího Soukupa se můžeme dočíst zajímavá fakta.

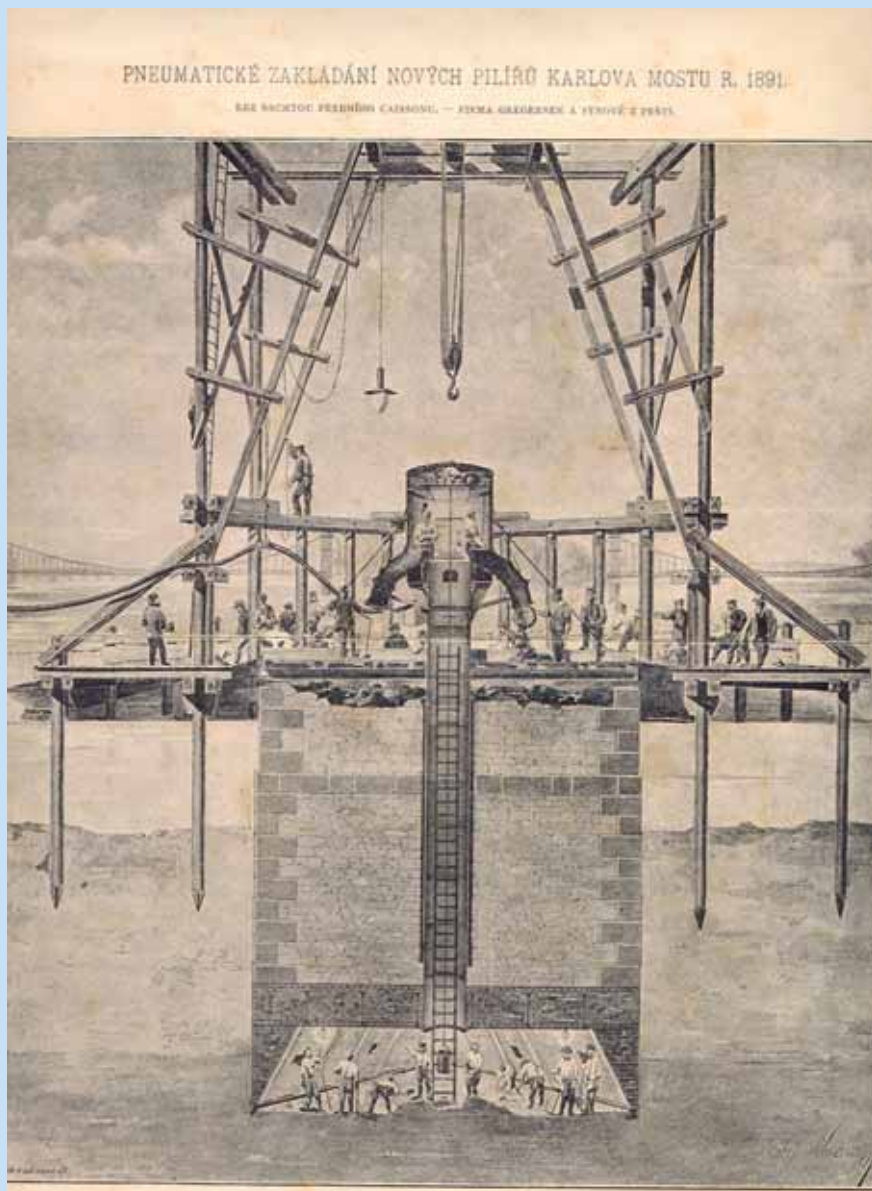
Pilíře č. 5 a 6 byly zakládány na kesonech, postupně spuštěných až na skalní podloží, přičemž každý mostní pilíř stojí na dvou samostatných kesonových komorách. Z pomocné dřevěné konstrukce byly masivní ocelové skříně, vyrobené v dílnách bratří Prášilů, spuštěny na upravené kamenné plošiny (obr. 17).

Práce byly zahájeny na přední části pilíře č. 6; postupnými záběry kesonu se ukrajoval původní pilíř, kde byly nalezeny již zmíněné mlýnské kameny na dřevěném roštu. Posléze se objevily i piloty, na kterých byl rošt svázan. Při sestupu zadního kesonu téhož pilíře však byla odhalována odlišná historie minulých založení. Zřejmě byla zadní část tohoto pilíře ochráněna před podobnou zkázou jako částí přední, jak to vykresluje mědirytina na obr. 1 – nebylo ji třeba zakládat na pilotách. Nejlépe, když budu citovat mostního inženýra Jiřího Soukupa,<sup>98)</sup> který ve stavebním deníku uvádí: „...přičemž se poznamenává, že dnešního dne prořízlo ostří tohoto caissonu spodní líc starých základů bývalého pilíře, úroveň tato konfrontována byla ve výšce 182,714 m, je tedy rozhraní starého bývalého základu 2,24 cm pod normálem. Důležité je zde konstatovat faktum, že spodní úroveň zděného pilíře starého v této polovině pilíře nespočíval ni na roštu ni na pilotách. Spodní vrstva starých trosk se stávala v okrajích z mlýnských kvadrů, kteréž mezi sebou spojeny byly třízramennými železy. Uvnitř této ochrany nalézal se stavební šutr...“

Oba kesony vytvořily pod hladinou dva samostatné pilíře, opřené o skalní podloží, s mezerou velikosti cca 3 metry, která byla pod vodou přemostěna kamennou klenbou (obr. 18).

Z vody již vystupuje masivní monolitický blok podpěry. Spolu s těžebními pracemi v kesonu se na vybetonovaném stropu vyzdíval dřík pilíře do tzv. hausses plechů, tedy ochranných plechů, které se měly odstranit 2 metry pod normální hladinou vody. Zbytky těchto plechů byly nalezeny při potápěčském průzkumu pilíře po povodni v roce 2002.

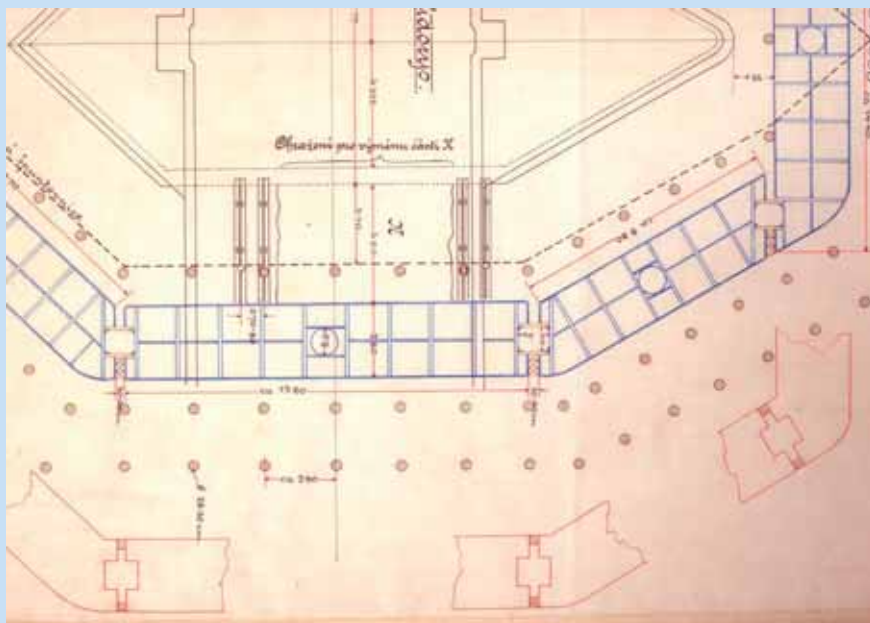
Podmínky pro používání stavebních hmot byly přísné a byly jednoznačně určeny. Pro příklad uvádím podmínky pro použití cihel na dozdvíky:



Obr. 17: Kesonové zakládání pilířů Karlova mostu v roce 1891, archiv Ing. arch. Tomáš Šantavý







Obr. 24: Půdorys pilíře č. 4 se zakresleným návrhem příček mezi kesonem a pláštěm pilíře pro zabezpečení pracoviště po povodni r. 1890; archiv TSK

č. 5 a 6 provedeny na jaře následného roku ochranné betonové límce kolem pilířů č. 3, 4, 7 a 8 (obr. 19). Tyto límce přikryly původní ochranný kamenný prstenec z 18. století a vznikl tak sendvič dvou ochran proti přicházející vodě. Tento detail se zachoval v archiválii z konce 19. století, která byla zhotovena v době sanace pilíře č. 3, 4 a 7 (obr. 20).

Betonové obálky byly zhotoveny obdobným způsobem jako špuntovnice z 18. století. Do dna byly ve dvou řadách zaberaněny fošny, posunuté o jednu polovinu šíře, a v horní části svázány trámem. Na pilíři č. 8, kde se tato konstrukce zachovala, byl nalezen detail tohoto spoje posílený svorníky (obr. 21).

Prostor mezi dřevěnou obálkou a pláštěm pilíře byl vyplněn betonem, o jehož kvalitě svědčí to, jak při sanaci prováděné v současnosti odolával bouracím pracím při snižování jeho úrovně před pokládkou výztuže.

Betonové obálky se zachovaly pouze u pilíře č. 8. Ostatní prstence ustoupily generální obnově v prvních letech 20. století, která se postupně prosadila u pilířů č. 3, 4 a 7, jež nebyly povodní pobořeny, avšak mělký způsob jejich založení nedával žádnou bezpečnou záruku do budoucna. Variant na jejich posílení byla řada, nakonec zvítězila ta nejdražší, avšak nej kvalitnější. Jednotlivé pilíře č. 3, 4 a 7 byly obehnány samostatnými kesony šíře 2,5 metru, postupně spouštěnými na skalnaté dno (obr. 22).

Technologie spouštění a vyzdívání pilířů byla obdobná jako u pilířů č. 5 a 6. Dokonce předpisy připojené ke smlouvě jsou v kapitole pracovních postupů a použitých materiálů identické. V čem se jednotlivé práce lišily? Zatímco pilíře č. 5 a 6 byly díky kesonům přímo opřeny o skalní podloží, u pilířů č. 3, 4 a 7 se jednalo o vytvoření kesonových obálek kolem vlastních dřívků pilířů, které pilířům poskytují ochranu proti přicházející vodě, avšak pilíře se o ně nijak neopírají.

K jímkování se využil ochranný plášť kesonu, který se nastavil až nad úroveň vody a vzepřel pomocnými vzpěrami do vybetonovaného tělesa kesonu (obr. 23).

Mezikruží bylo rozděleno na osm segmentů přepážkami vzepřenými do pilíře a stěny kesonu (obr. 24). Aby byl prostor dokonale utěsněn, bylo nutné na spojích dvou sousedních kesonů zhotovit zámeč odolný proti tlakové vodě (obr. 25). Z prostoru se odčerpala voda a bylo započato se sanačními pracemi. Nejprve byla odstraněna ochranná obálka z konce 18. století, zřízená po povodni v roce 1784 spolu s betonovým věncem provedeným po povodni v roce 1890. V řadě případů se objevily původní základy z mlýnských kamenů. Podemletá část pilíře a vzniklé kaverny byly vyčištěny od naplavenin a posléze vyzděny cihelným zdívem.

Prostor mezi pláštěm pilíře a kesonem byl zabetonován do výše vnitřní hrany kesonů s mírným spádem od pilíře. Beton vytváří desku o síle až 2 metry; jeho kvalitu a mocnost dokládají výsledky ze zkušebních vrtů, které byly provedeny při průzkumných pracích u pilíře č. 4 (obr. 26).

### Závěr

Posílením základů pilířů č. 3, 4 a 7 kesonovou obálkou se po celé délce mostu v řece, vyjma pilířů č. 8 a 9, vytvořil souvislý pás podpor, schopný odolávat velkým vodám. Pilíře, v řadě případů původní, „sedí“ v pískových hrncích a spolu s pilíři č. 5 a 6 jsou kotvami kamenného mostu. Proč pilíře č. 8 a 9 zůstaly bez ochrany, vysvětluje skutečnost, že veškeré povodně včetně té poslední v roce 1890 přinesly z horního toku splávi, které se nahromadilo u Kamy a vytvořilo špunt, ochraňující tyto pilíře na konkávní straně řeky. Zúžené koryto a rychle proudící voda zdevastovala pilíře v hlavní proudnici na úkor dvou jmenovaných podpěr. Povodně v roce

2002 naznačila, díky čistému korytu prostěmu naplavenin, kde by mohlo dojít k dalším poruchám. Proto bylo nezbytně nutné v brzké době přistoupit i k ochraně základů zbývajících pilířů č. 8 a 9...

Ing. Jan Zemánek, TSK, a. s.

Literatura a poznámky:

01/ Jakub Vítovský: Zprávy památkové péče 1/1994, s. 1–2.

02/ Václav Bělohávek: Dějiny křížovníků s červenou hvězdou, r. 1930, s. 201–205.

03/ Jakub Vítovský: Zprávy památkové péče 1/1994.

04/ tamtéž

05/ Josef Dlouhý: Povodně na řekách českých, Zprávy spolku architektů a inženýrů 54 B 254 r. 1899.

06/ Jiří Soukup; Archiv Chodov, B18/2-IV. část, B1018; Deník o rekonstrukci sesuté části mostu Karlova v Praze.

07/ Jiří Soukup, Zpráva o rekonstrukci mostu Karlova, Praha 1892.

08/ Jiří Soukup; Archiv Chodov, B18/2-IV. část, B1018; Deník o rekonstrukci sesuté části mostu Karlova v Praze.

09/ Podmínky, za kterých obec Pražská zadá opravu, t.j. zabezpečení starých pilířů č. 4.a 7, event. č. 3 u mostu Karlova, Praha, 24. ledna 1902.

10/ tamtéž

11/ tamtéž

### Stone bridge: A historical guide on the Charles Bridge foundation

The article dealing with the foundation of the Charles Bridge guides us through the most remote history of this bridging over the Vltava River. There is very little information available about the original bridge foundation technique. The mosaic of applied technologies is pieced together from historical sources, especially from the notes made by civil engineers involved in the bridge reconstruction realised on the turn of the 19th and 20th centuries. At that time caisson foundations of pillars no. 5 and 6 as well as caisson cover protection of pillars no. 3, 4 and 7 enabled detailed archaeological survey of provisional protections of individual supports built in the past times. This article confronts notes from the building logs and drawings with historical documents, with findings of the currently carried out diving survey, and last but not least with the detections made in exploratory boring wells on pillars 8 and 9 carried out within this year's protection works.



# Stavební řešení ochrany pilířů

**V příspěvku je shrnut rozsah všech prací provedených společností Zakládání staveb, a. s., v rámci ochrany pilířů č. 8 a 9 Karlova mostu, popsány jsou rovněž použité stavební postupy a nasazená mechanizace.**

## Přípravné práce

Navrhované sanační práce si vyžádaly úpravu plavebního provozu na Vltavě. Mezi pilířem č. 7 a 8 se totiž v současnosti nachází obousměrná plavební dráha a mezi pilířem č. 8 a 9 se nachází jednosměrná plavební dráha. Postup výstavby vyvolal v jednotlivých etapách nutnost přesunu plavebních drah, jejich částečnou uzavírku a s tím související opatření jako odtěžením náplavů v upravených plavebních drahách, osazení nových provizorních plavebních znaků,

zakrytí starých atd. Po dokončení stavby bude plavba opět převedena do původních drah s obnovou původních plavebních znaků.

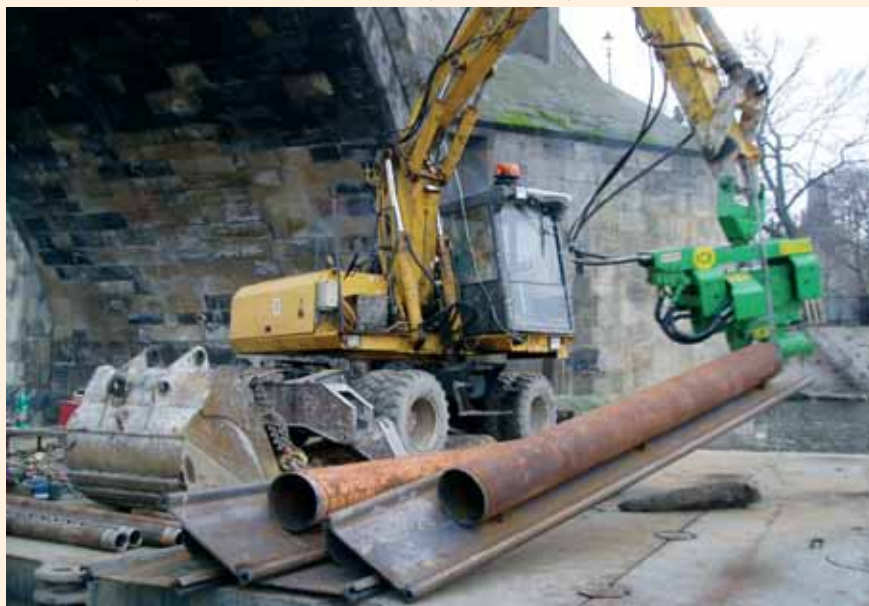
## Konstrukce ochranné obálky

V podmínkách zadání bylo stanoveno, že ochrana základů pilířů musí být navržena tak, aby odolala možným budoucím výmolům kolem pilířů, zasahujícím až do hloubky 2,5 m pod současné dno řeky, což prakticky znamená odplavení dna řeky na hloubku 2,5 m. Z toho vy-

plynulo, že ochranná obálka musí být založena dostatečně hluboko do předkvartérního podloží, jež se v případě obou pilířů nachází od úrovně cca 175,50 m n. m. a je tvořeno ordovickými břidlicemi.

Před započatím vlastních prací na vytvoření ochranné obálky bylo vyčištěno dno od starých dřevěných štětovic, dřevěných pilot, těžkého kamenného záhozu, starého zdiva a ostatních překážek, které se v okolí pilířů nahromadily při předchozích historických opravách. Odtěžování bylo prováděno bagrem SENNEBOGEN SM 15 umístěným na pontonovém soulodí. Následně byl vytyčen nový obvod obálky – půdorysně těsně za původní ochrannou konstrukcí, tj. cca ve vzdálenosti 2,20 m od pláště pilíře. V další fázi byly instalovány štětovnice. Několik beranicích

*Instalace plochých štětovic ARBED AS 500 délky 4 m s navařenými průchodkami 273/7 mm*



*Odstraňování zbytků starých konstrukcí a prohlubování dna v okolí pilířů mostu pomocí drapaků*



*Zavibrované ploché štětovnice ARBED AS 500 s navařenými průchodkami 273/7 mm tvořily první část nově vytvářené ochranné obálky*



pokusů odhalilo nemožnost zavibrování štetovnic do skalního podloží – vibrování přestávalo být účinné vždy cca 4 m nad úrovní požadovanou projektem pro zatažení ochranné obálky. Proto bylo nutné přistoupit k hloubení předvrtů pro štetovnice velkoprofilovou vrtnou soupravou SOILMEC SR 12. Jako vrtný nástroj byl použit průběžný šnek o průměru 500 mm. Stabilitu vrtu zajišťovala samotuhnoucí suspenze, která byla do vrtu vpravována během vytažování vrtného nástroje. Následně byly do takto provedených předvrtů zavibrovány štetovnice LARSEN III n dlouhé 11 m. Vibrování bylo stejně jako předvrtů prováděno z jeřábového tlačného člunu JTC 1000 t JANTAR, štetovnice byly instalovány vibrátorem ICE RF 18 zavěšeným na pásovém jeřábu RDK 300. Tímto způsobem byly zhotoveny stěny jámek u pilířů č. 8 a 9 na jejich protivodní a povodní straně.

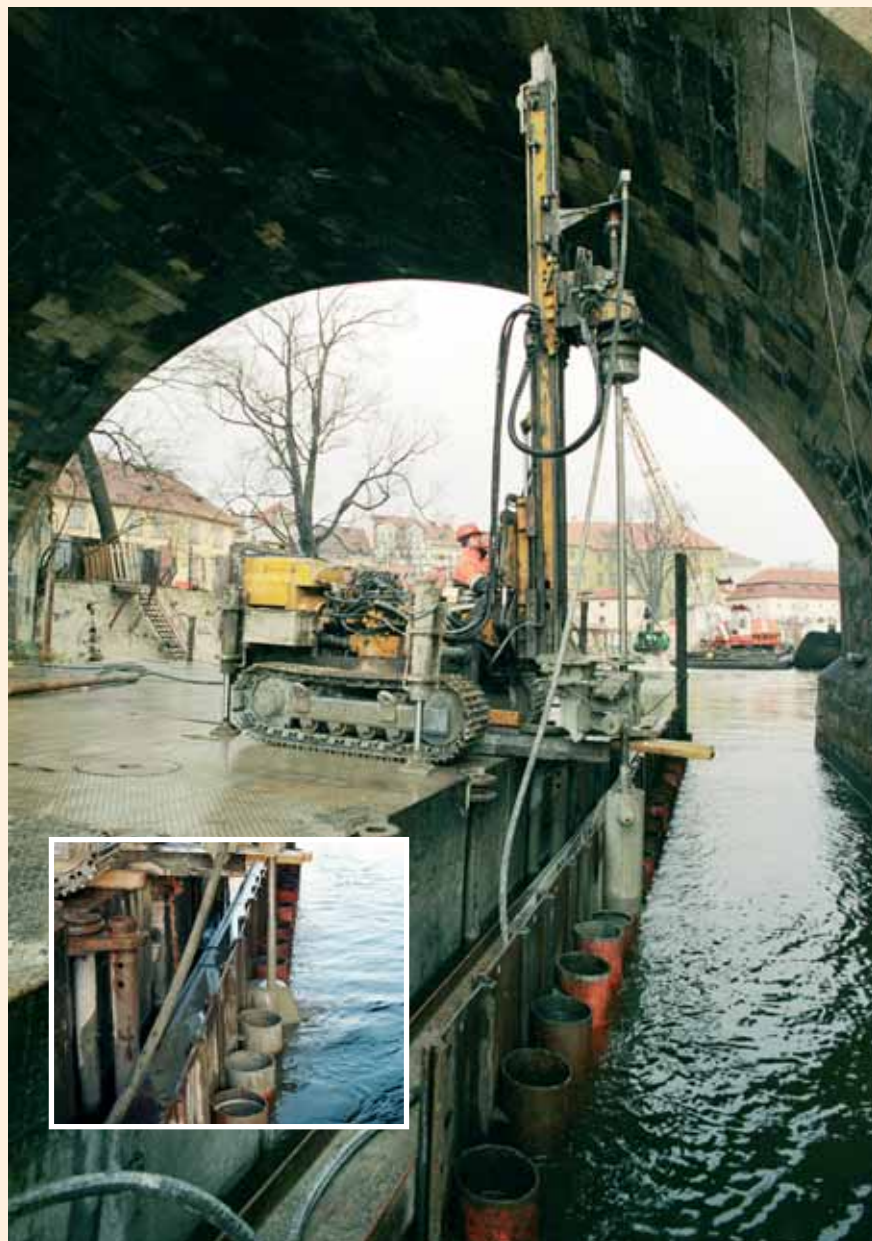
*Provádění sloupů tryskové injektáže z pontonového soulodí soupravou Hütte 200/2*

Jelikož malá výška mostních oblouků neumožnila použít technologii vibrování 11 m dlouhých štetovnic i v oblasti pod oblouky, byla v těchto místech ochranná obálka provedena kombinací několika technologií. Nejprve byl na vyčištěné dno položen šterkopiskový zásyp; do něho byly nastraženy ploché štetovnice ARBED AS 500 délky 4 m s průchodkami o průměru 273/7, které byly pomocí neprůběžných profilů L 200/200/30 mm navařeny v podélném směru v horní části (nad vodou) na štetovnice ze strany převrácené k pilířům. Takto upravené štetovnice byly zavibrovány do upraveného dna na hloubku cca 0,5–0,9 m (hlava štetovnic byla na úrovni nejméně +0,60 m, tj. 185,2 m n. m.). Pro zavibrování byl použit stroj SENNEBOGEN SM 15 s vibrátorem ICE 230. Přes takto připravené průchodky byla prováděna těsnicí trysková injektáž (TI) metodou M1 se zahlučením sloupů minimálně

1 m do skalního podloží v osových vzdálenostech jednotlivých vrtů 500 mm. Jedná se o jednoduchou souvislou řadu překrývajících se sloupů jednofázové tryskové injektáže. Sloupy TI byly průměru 600 mm a o rozteči 0,50 m. Zvláštní pozornost bylo třeba věnovat především napojení TI na štetovnice. V další fázi byl každý jednotlivý sloup TI převrtán a vyztužen trubkou 194/10 mm (s povrchovou ochranou) systémem TUBEX až do skalního podloží s vetknutím do břidlic na hloubku 1,50 m. Tato metoda zaručuje i provrtání balvanů bez výrazných dynamických účinků na okolí.

### Potíže s výztužnými ocelovými trubkami

Výztužné trubky byly zatahovány po dílech délky cca 3 m se spoji, které byly původně projektantem navrženy jako svařované v průběhu osazování přímo nad vrtem. A u této fáze stavby nám dovolte se chvíli zastavit. Na první pohled běžná technologická operace se ve světle práce na jedné z našich nejvýznamnějších památek stala průběžným kamenem spolupráce mezi realizační stavební složkou, technickým dozorem investora a projektantem. Dle požadavků technického dozoru byl na tuto činnost vypracován velmi podrobný technologický postup a navrženy zkoušky kvality svarů včetně testů ultrazvukem. Před vlastní realizací systémových svarů bylo předepsáno provedení pokusného svařovaného spoje na dvou vzorcích přímo na staveništi nad vrtem a předání výsledného spojení do autorizované zkušebny k provedení všech testů kvality svarů. Ukázalo se však, že i když práce byla prováděna vyškolenými specialisty s předepsaným osvědčením, nebyl výsledek vzhledem k složitým a nepříliš vhodným pracovním podmínkám při provádění (svařování na pontonu na vodě na zavěšených dílech trubek přímo nad vrtem) zcela stoprocentní. Přestože se v tomto případě nejedná o klasickou ocelovou konstrukci, ale o výztužný prvek zabudovaný do tělesa vytvořeného z tryskové injektáže, proběhlo několik různých pokusů in situ, následně několik zjištěných jednání, bylo schváleno a následně zamítnuto několik alternativních řešení a nakonec – po dohodě technického dozoru stavby a projektanta – schválen na místo svařovaného spoje modifikovaný spoj šroubovaný. Aby nedocházelo k oslabení únosnosti trubek v místě spojů, byl po jejich kompletním osazení do jejich horní, nejvíce namáhané části vkládán ještě ocelový H-profil přemostující první dva spoje. Trubky byly navíc v celé délce vyplněny cementovou maltou. Toto nezanedbatelné intermezzo v průběhu realizace stavby jenom potvrdilo, že žádná exponovaná stavba se nerodí lehce, ale že pokud je komunikace mezi všemi zúčastněnými vedena společným zájmem na zdárném dokončení díla a snahou vzniklé problémy řešit, východisko se nakonec vždy najde.







*Dokončovací práce při uzavírání ochranné obálky (vpravo) a utěsnění prostoru pro kovanou sondu (vlevo) u piliře č. 8.*







### Dokončení komplexní ochrany pilířů

Dokončíme však popis konstrukce. Výztužné trubky byly tedy provedeny v délkách 11 m a zapuštěny cca 1,5 m do skalního podloží. Tryskovou injektáží s výztužnými trubkami (mikrozápory) pod oblouky mostu spolu se štětovnicemi na protivodní a povodní straně

byla vytvořena požadovaná kompaktní ochrana podzákladí pilířů č. 8 a 9. Ve stavebním stadiu byly všechny ocelové prvky ochranné obálky vytaženy s přesahem až nad hladinu, čímž byly vytvořeny kolem obou pilířů vodotěsné jímky. Pokud jde o nasazenou mechanizaci, pro tryskovou injektáž byla použita vrtná souprava

HUTTE 200/2 a vysokotlaké čerpadlo GEO-ASTRA, výztužné trubky (mikrozápory) byly prováděny vrtnou soupravou WIRTH B0.

Již v minulosti byly kolem obou pilířů provedeny ochranné obálky – jakési límce –, které sloužily jako ochrana základů mostu. U pilíře č. 8 byla nalezena obálka betonová, u pilíře č. 9 byla

*Předvrtávání otvorů průběžným šnekem soupravou Soilmec SR 12 pro následné vibrování štětovnic Larssen IIIIn*

*Vibrování štětovnic Larssen IIIIn bezrezonančním vibrátorem ICE RF 18 na nosiči RDK 300 z jeřábového člunu Jantar*



*Uzavřená obálka ze štětovnic Larssen IIIIn v přední části pilíře po částečném vyčerpání*

*Výztužné trubky 194/10 mm před zavrtáváním systémem TUBEX do sloupů trykové injektáže*





ochrana tvořena kamenným zdívem po obvodě obehnaným dubovými štětovnicemi s dubovým hlavovým trámem. Projekt původně počítal s kompletním odstraněním těchto konstrukcí, avšak vzhledem k jejich kompaktnosti v některých částech byla obava, že při jejich odstraňování těžkou mechanizací by mohlo dojít k poškození vlastních pilířů. Projektant proto na tuto skutečnost pružně zareagoval a začlenil původní ochranné konstrukce do nové trvalé ochrany. Obálky u obou pilířů byly provrtány po 1,5 m na hloubku cca 3,5 m, do vrtů byly osazeny injekční trubky a materiál pod obálkami byl proinjektován. Injekční vrty byly hloubeny vrtnou soupravou MSV. Zároveň byly částečně vyčerpány takto vzniklé jímky podél obou pilířů a v některých částech odstraněn betonový kryt a vytaženy dřevěné štětovnice vytvářející původní obálku kolem základů. Podél obvodu pilíře mezitím pokračovaly dále práce na odstranění nánosů bahna z prostoru mezi ochrannou obálkou a dřikem pilíře. Následovalo zřízení nových záhozů v prostoru mezi ochrannou obálkou a základem pilíře a uložení podkladního betonu kvality C12/15 za současného čerpání vody a zřízení provizorních ocelových rozpěr a převázek.

Následným vyčerpáním vody z jímek a odstraněním vrchní části původních ochranných

obálek do výšky požadované projektem byl umožněn volný přístup ke kamennému zdívu pilířů a odhalen plný rozsah poškození zdíva. Zjistilo se, že rozsah jeho potřebné sanace bude časově mnohem náročnější, nežli se původně předpokládalo. Po podrobných prohlídkách za účasti pracovníků Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy a Národního ústavu památkové péče, byly vytipovány kameny, které je potřeba vyměnit, a byl stanoven způsob čištění spár. Nové kamenné kvádry budou dodány z pískovcového lomu Božanov, čištění spár bude prováděno ručním nářadím a tlakovou vodou. Nejvyšší pracovní tlak byl s ohledem na pevnost použitých materiálů stanoven na 70 barů. Sanace zdíva je navržena ve dvou fázích odspoda nahoru. Nejprve je prováděna sanace jen těsně nad úroveň, do které bude zasahovat železobetonová deska, která je součástí poslední fáze výstavby ochranné jímky. Po betonáži se bude pokračovat v sanaci zdíva až do výšky cca 1 m nad normální hladinu vody.

V poslední fázi stavby byl zhotoven vyztužený železobetonový věnec tl. 0,40 m u pilíře č. 8 a tl. 0,50 m u pilíře č. 9 z betonu C25/30 – XA1, který nově vybudovanou ochranou obálkou podzákladí uzavřel shora. Tento věnec staticky působí jako vodorovný uzavřený rám, do něhož je

přivařenou výztuží kotvena obálka ze štětovnic i palisáda z mikrozápor. Svoji tuhostí je věnec schopen zachytit případné vodorovné síly od zemního tlaku základové půdy uvnitř obálek v případě, že bude materiál vltavského dna před touto obálkou odplaven a vznikne výmol hloubky

*Kotevní výztuž v hlavách výztužných trubek ochranné obálky v oblasti budoucího žlb. věnce*



*Práce v prostoru vyčerpáné jímky mezi pilířem a uzavřenou ochrannou obálkou před realizací žlb. věnce*



*Dotěšňování přechodu mezi štětovou stěnou na špicích pilířů a ochrannou obálkou pod mostem technologií tryskové injektáže*







Kopaná archeologická sonda v zapažené jímce pro průzkum základů pilíře č. 9 s obnaženými mlýnskými kameny



Betonáž žlb. věnce z betonu C25/30-XA1, který nově vybudovanou ochrannou obálku uzavřel shora

až 2,5 m. Od samotného pilíře a původních obálek je železobetonový věnec oddělen separačním materiálem. Po zhotovení věnce budou pokračovat práce na dokončení opravy a sanace dřívků pilířů v části nad jeho úrovní (spárování, výměna zdiva apod.) a nakonec budou odříznuty vyčnívající roury a štětové stěny obálky v úrovni horní hrany žlb. věnců, tj. cca 400–700 mm pod běžnou hladinou (za pomoci potápěčů).

### Zařízení staveniště

Zařízení staveniště bylo umístěno na levém břehu pod Karlovým mostem na staveništi protipovodňových opatření – část 21 – Čertovka. Vlastní sanační práce na pilířích č. 8 a 9 byly realizovány vesměs z lodí. Na pracovišti u Karlova mostu byla tato plavidla zhotovitele:

- lodní bagr „Hanka“ – beranění jímek, pomocné konstrukce;
- jeřábový tlačný člun JTC 1000t Jantar – beranění jímek;
- vana TČ 500t – zařízení staveniště – sila, inj. čerpadla, materiál;
- hornopalubový TČ 300t – doprava materiálu;
- pontonové soulodí – 8 ks pontonů 9x3x2 m – pracovní plošina pro vrtnou soupravu T1;
- pontonové soulodí PMS 50 (10x6,5 m) pracovní plocha pro beranidlo;

- tažný remorkér MO 634 – manipulace;
- tažný remorkér – přípomoc;
- tlačný remorkér TR 500 – přípomoc při poproudním proplavování tlačných souprav při velkém průtoku.

Z uvedeného je zřejmé, že se jednalo o dosti složitou stavbu s velkou koncentrací mechanizace na malém prostoru a vzhledem k navrženému postupu prací i o stavbu technologicky náročnou, o čemž svědčí i následující objemy zabudovaného materiálu:

- štětovnice LARSEN IIIIn – 925 m<sup>2</sup>,
- štětovnice ARBED AS 500 – 83 m<sup>2</sup>,
- trysková injektáž metoda M1 – 1 600 m,
- mikrozápory 194/10 – 1 774 m,
- železobeton – 145 m<sup>3</sup>.

### Závěr

Stavba byla zahájena koncem listopadu 2004, tedy ne zrovna v ideálních klimatických podmínkách. Chladné počasí bylo nepříjemné pro lidi na stavbě a činilo stavbu daleko náročnější i z hlediska bezpečnosti práce, jelikož prakticky všechny činnosti se odehrávaly na vodě. Dvakrát stavbu významněji zdržela vyšší hladina vody, kdy před zákazem plavby bylo nutno odstranit veškeré zařízení, které měla firma na řece. Znamenalo to vyklidit prakticky staveniště a po přestávce zase vše umístit na původní

místo. I přes všechny tyto nesnáze však můžeme říci, že díky vysokému nasazení pracovníků všech zúčastněných stran byla stavba úspěšně dokončena ve velmi dobré jakosti.

**Vladimír Malý, Ing. Michael Remeš,**

*Zakládání staveb a. s.*

*Foto: Libor Štěrba*

*Hlavní účastníci stavby:*

*Název stavby: OPRAVA KARLOVA MOSTU – OCHRANA PILÍŘŮ Č. 8 a 9*

*Investor: HLAVNÍ MĚSTO PRAHA – OMI MAGISTRÁTU HLAVNÍHO MĚSTA PRAHY*

*Projektant: FG CONSULT, S. R. O.*

*Zmocněnec investora a technický dozor: MOTT MACDONALD PRAHA, S. R. O.*

*Dodavatel: ZAKLÁDÁNÍ STAVEB, A. S.*

*Termín výstavby: 12/2004–6/2005*

### **Structural solution of the pillar foundation protection**

*This short report summarises all works carried out by the Zakládání staveb Co. within the framework of protection works on the pillars no. 8 and 9 of the Charles Bridge, including the descriptions of applied structural procedures and mechanization used.*