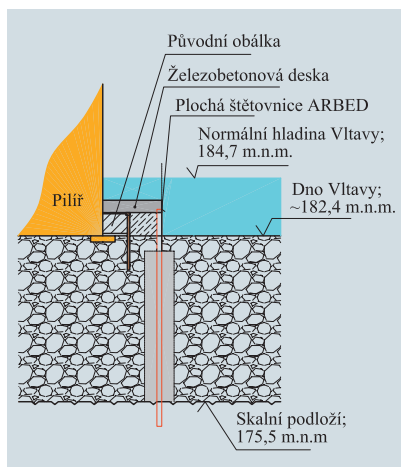


OPRAVA KARLOVA MOSTU - OCHRANA ZÁKLADŮ PILÍŘŮ Č. 8 A 9 RECONSTRUCTION OF THE CHARLES BRIDGE - PROTECTION OF FOUNDATIONS OF PIERS NO. 8 AND 9

MICHAEL REMEŠ,
LUCIE ŠVERMOVÁ, JAN ZEMÁNEK

Oprava Karlova mostu pokračuje zajištěním stability spodní stavby. Z tohoto hlediska bylo nutno zamezit možnost podemletí pilířů č. 8 a 9, které jediné nebyly proti tomuto nebezpečí zabezpečeny. Článek popisuje způsoby zajištění základů zmíněných pilířů.

The repair of the Charles Bridge continues securing of stability of foundations. From this point of view, it was necessary to preclude a possibility of scouring piers no. 8 and 9, because only these two piers were not protected against this danger. This paper describes methods used for a protection of foundations of these piers.



Obr. 2 Řez ochranné obálky
Fig. 2 A cross section of a protecting cover

Obr. 3 Instalování štětovnic Larsen III
Fig. 3 An erection of sheet piles Larsen III



Magistrát hlavního města Prahy – Odbor městského investora pověřil konzultační a projektovou společnost Mott MacDonald Praha, s. r. o., inženýrskou činností přípravy opravy Karlova mostu. Na její doporučení byla firmou FG Consult, s. r. o., vypracována dokumentace pro výběrové řízení zhotovitele ochrany základů pilířů č. 8 a 9. Ve výběrovém řízení zvítězila firma Zakládání staveb, a. s., a realizační dokumentace byla provedena opět firmou FG Consult, s. r. o.

Jedno z nebezpečí, které hrozí mostním konstrukcím s pilíři uloženými v řečišti, je jejich podemletí. V případě Karlova mostu byla většina návodních pilířů důkladně ochráněna po povodni v roce 1890, kromě pilířů č. 8 a 9, které při této povodni nebyly téměř porušeny. Vzhledem k tomu, že pilíře č. 8 a 9 jsou založeny plošně na štěrkopisku vltavského dna [1], bylo po povodni v roce 2002 zdůrazněno nebezpečí možnosti jejich podemletí. Z tohoto důvodu byly základy těchto pilířů nejprve provizorně ochráněny kamenným záhozem a po vypracování projektu a provedení výběrového řízení na dodavatele byly zahájeny práce na trvalé ochraně jejich základů ochrannou obálkou. Ochranná obálka je zapuštěna 1 m do skalního podloží a dostatečně těsná, aby zabránila pronikání proudící vody do prostoru podzákladí pilířů a zamezila tak vyplavování materiálu. Dále umožnila vyčerpat vodu z oblasti okolo pilířů, takže bylo možné provést sanaci zdiva, které se jinak nachází pod vodní hladinou.

Obr. 1 Foto mědirytiny vyhotovené po povodni r. 1784 znázorňující rekonstrukci pilířů č. 5, 6 a 8; archiv Památník písemnictví na Strahově
Fig. 1 A photo of a copper engraving which was made after a flood in 1784. The engraving shows a reconstruction of piers no. 5, 6 and 8; Archive Památník písemnictví at Strahov

dení výběrového řízení na dodavatele byly zahájeny práce na trvalé ochraně jejich základů ochrannou obálkou. Ochranná obálka je zapuštěna 1 m do skalního podloží a dostatečně těsná, aby zabránila pronikání proudící vody do prostoru podzákladí pilířů a zamezila tak vyplavování materiálu. Dále umožnila vyčerpat vodu z oblasti okolo pilířů, takže bylo možné provést sanaci zdiva, které se jinak nachází pod vodní hladinou.

Obr. 4 Provádění tryskové injektáže pod mostním obloukem
Fig. 4 Carrying out of jet-grouting under an arch of bridge



KONSTRUKCE ZÁKLADŮ PŘED REKONSTRUKCÍ

Karlův most má celkem 17 podpěr a 16 kleneb číslovaných směrem od Starého Města po Malou Stranu. Návodní jsou dnes pilíře č. 1 až 9.

Základová spára z mlýnských kamenů [3] se pravděpodobně dochovala u pilířů, jejichž základy jsou ochráněny kesonovou obálkou (pilíře č. 3, 4, 7) a u pilířů č. 2 a 9. Pilíře č. 5 a 6 byly po povodni v roce 1890 založeny na kesonech.

Pilíř č. 8 byl stranou od ničivé povodně 1890. Jeho stabilitu narušila povodeň, která postihla Prahu v roce 1784. Spolu s pátým a šestým pilířem se zřítlo přední zhlaví podpor. Pro opravu mostu byly použity dvě jámky, jedna okolo pilíře č. 8 a druhá okolo pilířů č. 5 a 6. Neporušená část mostu byla použita pro dopravu materiálu (obr. 1). Opravené přední zhlaví pilíře č. 8 bylo zřejmě založeno na pilotách a roštu, stejně jako u pilířů č. 5 a 6. Základy pilířů č. 3, 4, 7 a 8 byly posíleny betonovým věncem vybudovaným na jaře roku 1891. Tento věnec byl u pilířů č. 3, 4 a 7 nahrazen kesonovými obálkami koncem 19. století.

Pilíř č. 9 je vzdálen dravému proudu řeky a jeho historie není bohatá na mimořádné události. V roce 1425 postihla Prahu povodeň, která pobořila pět pilířů. V té době nebyl ostrov Kampa ochranným prvkem levé poloviny mostu, a tak 9. pilíř nevydržel náporu druhé, dnes méně známé proudnice, která obchvatem kolem Střeleckého ostrova podemlela zřejmě základy mělce založené podpory. O rozsahu katastrofy nejsou žádné informace, možný je i výklad, že pobořeny byly jen okolní klenby a pilíř zůstal ve větší ploše stát. Archiválie z konce 18. století popisuje rekonstrukční práce na plášti pilíře svatého Josefa (pilíř č. 4) a svatého Františka Serafinského (pilíř č. 9), kde jsou v základové spáře zakresleny mlýnské kameny [4]. Dochovaný výkres z této archiválie koresponduje s nálezy objevenými v průzkumné sondě u pilíře č. 9.

PŘÍPRAVNÉ PRÁCE

Navrhované sanační práce si vyžádaly úpravu plavebního provozu na Vltavě. Mezi pilířem č. 7 a 8 se nachází obousměrná plavební dráha a mezi pilířem č. 8 a 9 jednosměrná plavební dráha.

Před zahájením prací na vytvoření hluboko založené obálky byl proveden doplňující potápěčský průzkum pilířů č. 8 a 9,

Obr. 5 Průzkumná sonda u pilíře č. 8

Fig. 5 An exploration well by the pier no. 8

ktej byl dále upřesňován po odtěžení těžkého kamenného záhozu z okolí obou pilířů. Při průzkumu byl na protivodní straně pilíře č. 9 v hloubce 3,7 m pod hladinou, tj. 1,7 m pode dnem Vltavy, objeven otvor v původní obálce z dřevěných štětovic široký 300 mm. Za otvorem byla dutina cca 5 m³.

Bylo rozhodnuto zpřístupnit objevenou kavernu probouráním otvoru shora do zdíva z lomového kamene, které tvořilo původní ochranu proti podemletí provedenou pravděpodobně po roce 1784. Po proniknutí do kaverny potápěči zjistili, že kaverna se nachází převážně pod zdívem, kterým se do ní probourali a jen malou částí zasahuje pod vlastní základ pilíře. Také se zjistilo, že po obvodě původního základu je položena řada mlýnských kamenů. Uvolněný mlýnský kámen odhalil, že kameny jsou navzájem spojeny železnými skobami. Uvolněný kámen byl vyzdvižen a je umístěn v depozitáři Národního technického muzea.

Po dokončení potápěčských průzkumů byla kaverna vyplněna injekční směsí. Na základě této skutečnosti byly po obvodě pilíře č. 9 provedeny průzkumné vrty, které ověřily, že se pod ním nenachází další kaverna.

KONSTRUKCE OCHRANNÉ OBÁLKY

V podmínkách zadání bylo stanoveno, že ochrana základů pilířů musí být navržena tak, aby odolala výmolum kolem pilířů zasahujícím až do hloubky 2,5 m pod současné dno řeky, tedy prakticky odplavení dna řeky. Z toho vyplynulo, že ochranná obálka musí být založena dostatečně hluboko do předkvartérního podloží, jež se v případě obou pilířů nachází od úrovně cca 175,5 m n. m. a je tvořeno ordovickými břidlicemi (obr. 2). Návrh obálky byl limitován dalšími faktory a skutečnostmi:

- omezenou pracovní výškou pod klenbami mostu neumožňující užít těžké mechanizmy,
- nutností realizace hlavních prací z vody,

Obr. 7 Detail železného svorníku vyčnívajícího z trámu pod základovým ústupkem

Fig. 7 A detail of an iron bolt protruding from a beam under a set-off foundations



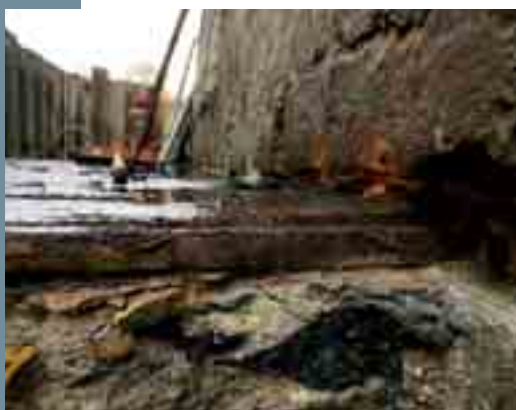
Obr. 6 Základový ústupek u pilíře č. 8

Fig. 6 A set-off of foundations by the pier no. 8

- vlivem dynamických účinků na konstrukci mostu při realizaci některých druhů prací (beranění, vibrování),
- existencí velkých balvanů ve výmolech kolem pilířů; balvany tvoří neprůchodnou překážku pro klasické beranění štětových stěn.

Před započítím prací na ochranné obálce bylo provedeno vyčištění dna od starých dřevěných štětovic, dřevěných pilot, těžkého kamenného záhozu a starého zdíva bagrem SENNEBOGEN umístěným





Obr. 8 Detail uložení dřevěných fošen u pilíře č. 9
Fig. 8 A detail of a placement of wood planks by the pier no. 9



Obr. 9 Mlýnské kameny tvořící základovou spáru u pilíře č. 9
Fig. 9 Millstones creating bottom surface of the pier no. 9

na pontonech. Pro vytyčení nového obvodu obálky – těsně za stávající ochrannou konstrukcí, tj. cca ve vzdálenosti 2,2 m od dřívku pilíře, byly instalovány štětovnice. Beraníci pokus odhalil nemožnost zavibrování štětovnic do skalního podloží. Vibrování přestalo být účinné cca 4 m nad úrovní požadovanou pro ochrannou obálku projektantem. Proto byly pro štětovnice provedeny velkopříflovou vrtnou soupravou SOILMEC předvrtly. Stabilita vrtu byla zajištěna samotuhnoucí suspenzí, která



Obr. 10 Detail prostoru pod mlýnskými kameny u pilíře č. 9
Fig. 10 A detail of a space under the millstones by the pier no. 9

byla do vrtu vpravována během vytahování vrtného nástroje. Následně byly do předvrtů zavibrovány štětovnice 11 m dlouhé (obr. 3). Tak byly provedeny stěny jímek u pilířů 8 a 9 na jejich protivodní a povodní straně.

Malá výška mostních oblouků neumožnila použít technologii vibrování 11 m dlouhých štětovnic i v oblasti pod oblouky. Ochranná obálka pod samotným mostem byla proto provedena kombinací několika technologií. Nejprve byl v těchto úsecích na vyčištěné dno proveden šterkopískový zásyp. Do něho byly nastráženy ploché štětovnice ARBED AS 500 dlouhé 4 m s průchodkami o průměru 273/7, které byly navařeny v podélném směru v horní části (nad vodou) na štětovnice ze strany přivrácené k pilíři a krátce zavibrovány do upraveného dna na cca 0,5 až 0,9 m. Přes připravené průchodky byla provedena těsnící trysková injektáž M1 zahloubená min. 1 m do skalního podloží v osových vzdálenostech jednotlivých vrtů 0,5 m (obr. 4). Zvláštní pozornost bylo třeba věnovat především napojení TI na štětovnice. Každý jednotlivý sloup tryskové injektáže byl v další fázi převrtán a vyztužen trubkou 194/10 mm (s povrchovou ochranou) systémem TUBEX, až do skalního podloží s vetknutím do břidlic na hloubku 1,5 m. Metoda zaručuje i provrtání balvanů bez výrazných dynamických účinků. Trubky byly navíc v celé délce vyplněny cementovou maltou. Tyto mikrozápory byly provedeny v délkách 11 m, cca 1,5 m do skalního podloží. Kontakt mezi mikrozáporami a štětovnicemi zajišťovala cementová zálivka zainjektovaná do průchodek.

Trysková injektáž s mikrozáporami pod samotným mostem spolu se štětovnicemi na protivodní a povodní straně vytvořily požadovanou kompaktní ochranu podzákladí pilířů 8 a 9. Ve stavebním stadiu byly všechny ocelové prvky ochranné obálky vytaženy nad hladinu, čímž byly vytvořeny kolem obou pilířů vodotěsné jímky. Pro provedení tryskové injektáže byla použita

vrtná souprava HUTTE a vysokotlaké čerpadlo GEOASTRA, mikrozápory byly prováděny vrtnou soupravou WIRTH BO.

PRŮZKUMNÉ SONDY

Sondy u pilíře č. 8 a 9 byly navrženy a provedeny v místech, kde se předpokládalo, že se nálezy potvrdí historické informace z oblasti zakládání. **Sonda u pilíře č. 8** (2,2 x 2,2 m) byla umístěna u západní stěny pilíře, těsně za zhlavím přední části podpěry (obr. 5).

Okolí sondy bylo ošetřeno tryskovou injektáží a s pomocí ručního bouracího kladiva byly postupně odebírány vrstvy původního betonového věnce. Beton byl z větší části proložen kameny, převážně opukou.

V hloubce 2,3 m pod úrovní normální hladiny vody z 18. století vystupoval z pilíře základový ústupek, který se svažoval od líce a byl vyložen cca 600 mm (obr. 6). Před základovým ústupkem byl vodorovný trám cca 300 x 300 mm. Pod okrajem základového ústupku byl podélný trám, za nějž zabíhaly dřevěné štětovnice. Další trám pravděpodobně probíhá za štětovnicemi, tak, že jejich hlavy jsou mezi jimi sevřeny (obr. 7). Dendrochronologický posudek vyjmutých částí dřeva ukazuje na dobu provádění po roce 1784.

Na plášti pilíře byla identifikována řada barokních kamenických značek. Z toho je možno soudit, že i tato část pilíře byla rekonstruována společně s předním zhlavím pilíře po povodni v roce 1784.

Sonda u pilíře č. 9 (rozměru 1,4 x 2,1 m) byla opět umístěna v těsné blízkosti předního zhlaví na západním boku pláště podpěry. V hloubce cca 1 m pod úrovní dnešní normální hladiny vody, byly nalezeny horizontální dřevěné fošny zapuštěné v kamenném zdivu pláště pilíře do drážky 100 x 100 mm a na druhé straně přibité kovanými hřeby do trámu o rozměrech 300 x 300 mm (obr. 8).

Pod fošnami se nacházelo kamenné zdivo zasahující do hloubky 1 m od fošen a pod ním byla u paty pilíře nalezena řada mlýnských kamenů, která vystupovala z pod pilíře do vzdálenosti cca 500 mm (obr. 9). Mlýnské kameny označené za otesky, mají průměr 980 mm a výšku 230 mm a byly uloženy na šterkovém dně a pod nimi nebyl nalezen dřevěný rošt (obr. 10).

Hloubka založení převedená do jadranské nadmořské výšky velmi přesně koresponduje s nálezy inženýra Jiřího Souku-

pa v kesonech pilíře č. 5 a 6 při rekonstrukci v roce 1891 až 1892. Porovnáním této hloubky s nálezem v sondě svědčí o záměru a přesné práci založení mostu našimi předky. Mlýnské kameny byly mezi sebou spojeny železnými skobami délky 400 mm ve tvaru T s kolmou pásnicí, zapuštěnou pod pilíř (obr. 9). Podobné spojení bylo identifikováno na druhé straně pilíře v kaverně pod základy. Hlubší rozbor výsledků nálezů je v těchto dnech prováděn pracovníky Národního ústavu památkové péče.

SANACE ZDIVA

Tato část etapy probíhá v současné době. Vyčerpání vody z jímek a odstranění vrchní části původních ochranných obálek do výšky požadované projektem umožnilo volný přístup ke kamennému zdivu pilířů. Po vyčerpání vody byl odhalen plný rozsah poškození zdiva. Při té příležitosti se zjistilo, že rozsah sanace bude časově mnohem náročnější, než se původně předpokládalo.

Po podrobných prohlídkách zdiva, za účasti pracovníků Přírodovědecké fakulty University Karlovy a Národního ústavu památkové péče, byly určeny kameny, které je potřeba vyměnit a byl stanoven způsob čištění spár. Nové kamenné kvádry budou dodány z pískovcového lomu Božanov. Čištění spár bude prováděno pomocí ručního nářadí a tlakovou vodou.

Nejprve je prováděna sanace jen do výšky těsně nad úroveň, do které bude zasahovat železobetonová deska, která je

součástí poslední fáze výstavby ochranné jímky. Po betonáži se bude pokračovat v sanaci zdiva až do výšky cca 1 m nad normální hladinu vody.

ŽELEZOBETONOVÁ DESKA

Již v minulosti byly kolem obou pilířů provedeny ochranné obálky, jakési límce, které sloužily jako ochrana základů mostu. U pilíře č. 8 byla zjištěna obálka betonová, u pilíře č. 9 byla stávající ochrana tvořena kamenným zdívkem po obvodě obehnaným dubovými štětovnicemi s dubovým hlavovým trámem. Původně projekt počítal s celkovým odstraněním těchto konstrukcí. Jelikož však tyto konstrukce byly v některých částech velmi kvalitní a jejich odstraňování těžkou mechanizací by mohlo poškodit vlastní pilíře, projektant na tuto skutečnost pružně zareagoval a začlenil zbytky původních konstrukcí do nové trvalé ochrany. Obálky u obou pilířů byly provrtány po 1,5 m na hloubku cca 3,5 m, do těchto vrtů byly osazeny injekční trubky a materiál pod obálkami byl následně proinjektován. Ze vzniklých jímek byl v některých částech odstraněn stávající betonový kryt a vytaženy stávající dřevěných štětovnice vytvářející současnou obálku kolem základů. Podél obvodu pilíře byly odstraněny nánosy bahna z prostoru mezi palisádovou stěnou a dřívkem pilíře. Následovalo zřízení nových záhozů v prostoru mezi palisádovou stěnou a základem pilíře a zřízení podkladního betonu kvality C 12/15 za současného čerpání vody a zřízení provizorních ocelových rozpěr a převázek. Poslední fází je realizace vyztuženého železobetonového věnce tloušťky 0,4 m u pilíře 8 a 0,5 m u pilíře 9 z betonu C25/30 – XA1, který nově vybudovanou

Literatura:

- [1] Drozd K.: „K založení Karlova mostu a stavu jeho pilířů“, Geotechnika 3/2003, str. 3–6
- [2] Bělohávek V.: Dějiny českých křížovníků s červenou hvězdou, 1930, str. 201–205
- [3] Soukup J.: Deník o rekonstrukci sesuté části mostu Karlova v Praze, Archiv Chodov část B18/2-IV, B1018
- [4] Výkres zachovaný pravděpodobně z konce 18. století se zakreslením pilíře svatého Františka Serafinského (pilíř č. 9), Archiv TSK

ochranou obálku podzákladí uzavře shora. Věncem bude staticky působit jako vodorovný uzavřený rám, do něhož je přivařenou výztuží kotvena obálka ze štětovnic i palisáda z mikrozápor. Svoji tuhostí je schopen zachytit případné vodorovné síly od zemního tlaku základové půdy uvnitř obálky v případě, že bude materiál vltavského dna před touto obálkou odplaven a vznikne výmol hloubky až 2,5 m. Od samotného pilíře a původních obálek je železobetonový věncem oddělen separačním materiálem. Po dokončení železobetonového věnce bude dokončena oprava a sanace dřívku pilíře v části nad věncem (spárování, výměna zdiva apod.), a nakonec budou odříznuty vyčnívající roury a štětové stěny nad povrchem obálky v úrovni horní hrany věnců, tj. cca 400 až 700 mm pod běžnou hladinou (potápěči).

ZAŘÍZENÍ STAVENIŠTĚ

Vlastní 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.

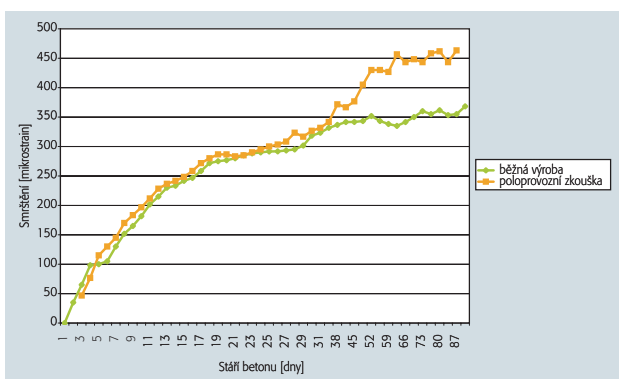
Je zřejmé, že se jednalo o dosti složitou stavbu s velkou koncentrací mechanizace na malém prostoru a vzhledem k navrženému postupu prací i o technologicky náročnou stavbu (obr. 11). Celkový rozsah prací charakterizují objemy zabudovaného materiálu:

| | |
|-------------------------|--------------------|
| štětovnice III n | 925 m ² |
| štětovnice ARBED AS 500 | 83 m ² |
| trysková injektáž M1 | 1 600 m |
| mikrozápory 194/10 | 1 774 m |
| železobeton | 145 m ³ |

Obr. 11 Staveniště
Fig. 11 Construction site



Pokračování článku na str. 41



Obr. 8 Měření volného smrštění vzorku

Fig. 8 Measurement of free shrinkage of a sample

ký přínos těchto betonů. Dají se stavět subtilnější konstrukce, na které se spotřebuje méně betonu, a tím i cementu a kameniva, což by při zvýšeném využití vysokohodnotných betonů znamenalo snížení vypouštěného CO₂ do atmosféry a snížení potřeby otevírat nové lomy na kamenivo.

Ing. Robert Coufal

TBG Metrostav, s. r. o.

Rohanské nábř. 68, 186 00 Praha 8

tel.: 724 283 989, fax: 222 324 492

e-mail: robert.coufal@tbg-beton.cz

Dokončení článku ze str. 33

ZÁVĚR

Stavba byla zahájena koncem listopadu 2004, tedy ne zrovna v ideálních klimatických podmínkách. Naštěstí převážně většinou činností, které byly prováděny, zimní počasí nevadilo. Dvakrát stavbu významněji zdržela vyšší hladina vody, kdy před zákazem plavby bylo nutno uklidit veškeré zařízení, které měl dodavatel na řece, vyklidit staveniště a po přestávce zase všechno přivést zpátky. I přes všechny nesnáze, je stavba prováděna ve vysoké kvalitě a s vysokým nasazením pracovníků zúčastněných stran.

Fotodokumentace pochází z archivu Zakládání staveb (foto ing. Štěrba) – Obr. 3, 4, 11; archivu Mott MacDonald (foto ing. Frouz) – Obr. 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10; a z archivu TSK (foto ing. Zemánek) – Obr. 1.

Ing. Michael Remeš

Zakládání Staveb, a. s.

K Jezu 1, P. O. Box 21, 143 01 Praha 4

e-mail: remes@zakladani.cz, www.zakladani.cz

Ing. Lucie Švermová, Ph.D.

Mott MacDonald Praha, spol. s r. o.

Národní 15, 110 00 Praha 1

e-mail: lucie.svermova@mottmac.cz,

www.mottmac.cz

Ing. Jan Zemánek

Technická správa komunikací hl. m. Prahy

Za ženskými domovy 3122, 150 00 Praha 5

e-mail: zemanek@tsk.mepnet.cz

síla zkušenosti

Mott MacDonald Ltd. je jedna z největších světových multi-disciplinárních projektově inženýrských konzultačních společností

Mott MacDonald Praha, s.r.o. je česká pobočka mezinárodní společnosti Mott MacDonald Ltd. Naše organizace poskytuje služby v mnoha oblastech inženýrského poradenství a projektového managementu. Jedná se o poradenské služby, zpracování studií ekonomického hodnocení, zpracování a posuzování všech stupňů projektové dokumentace, řízení a supervize projektů.

Tyto činnosti zajišťujeme v těchto oblastech:

Silnice a dálnice

Železnice

Mosty a inženýrské konstrukce

Tunely a podzemní stavby

Vodní hospodářství

Životní prostředí

Geodetické práce

Grafické aplikace

Inženýring a konzultační činnost

Kontakt:

Mott MacDonald Praha, spol. s r. o.

Ing. Jiří Petrák

Národní 15, 110 00 Praha 1

tel.: +420 221 412 800, fax: +420 221 412 810

www.mottmac.cz, e-mail: mottmac@mottmac.cz

m Mott
MacDonald