

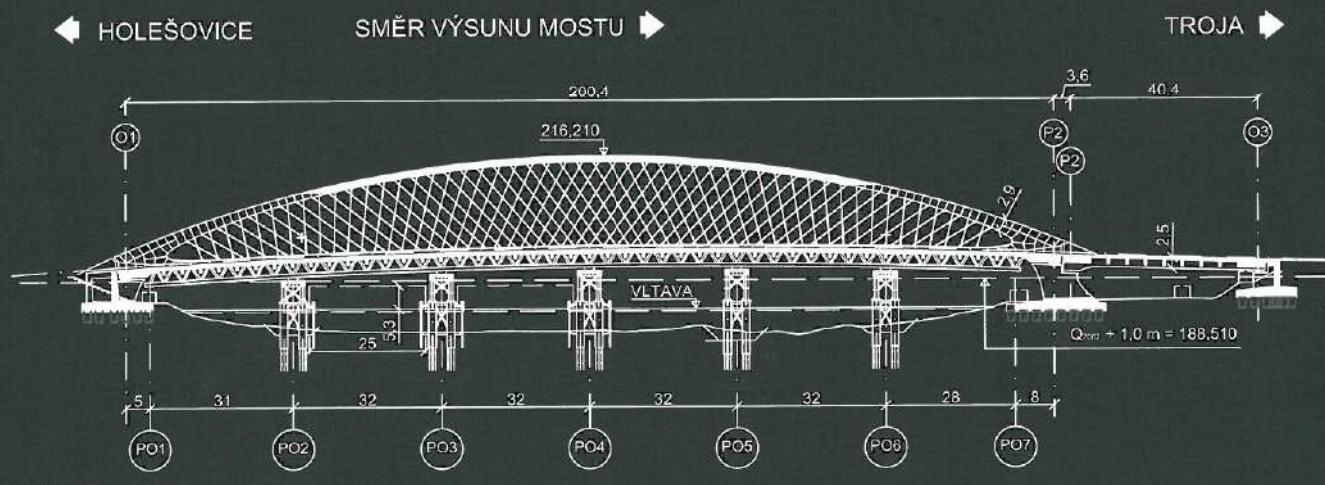


Osazování smontovaného horního dílu na provizorní podpěru PO4

## NÁVRH A REALIZACE PROVIZORNÍCH PODPĚR V ŘECE PRO STAVBU NOVÉHO TROJSKÉHO MOSTU

*Nový Trojský most je součástí stavby tunelového komplexu Blanka v Praze, který je součástí severozápadní části Městského okruhu. Navržená metoda výstavby mostu spočívá ve zhodovení pomocné ocelové konstrukce tvaru příhradového spojitého nosníku pod celým projektováním mostem, jež vytvoří podmínky pro betonáž vlastní mostovky, táhla a následnou montáž ocelového oblouku. Tato pomocná konstrukce je vysouvána z holešovického břehu přes soustavu sedmi provizorních podpěr – dvě jsou umístěny na břehu a pět v řečišti. V následujícím textu je představen především návrh konstrukčního řešení montážních podpěr v řece a jejich výstavba, která sestává ze tří částí: založení podpěr v řečišti, osazení smontovaných horních dílů, montáže svodidel. Tyto práce, které vyžadovaly velké zkušenosti z prací na vodě, prováděla společnost Zakladání staveb, a. s.*

**M**ost je stavěn podle vítězného návrhu architektonicko-konstrukční soutěže, který předložili společně arch. Roman Koucký, arch. Ing. Libor Kábrt, Ing. Jiří Petrák a Ing. Ladislav Šašek, CSc. Mostní konstrukce široká přibližně 36 m převádí přes Vltavu dvoukolejnou tramvajovou trať, v každém směru dva pruhy silniční komunikace a chodníky. Na trojském břehu navazuje na hlavní pole ještě jedno inundační pole, které prodlužuje most až téměř k vyústění tunelů přivádějících dopravu z Letné. Na tuto komunikaci je most napojen křízovatkovými rampami. Konstrukční systém hlavního pole o rozpětí 200 m tvoří ocelový plnostenný oblouk s táhlem, na kterém je zavěšena široká deska



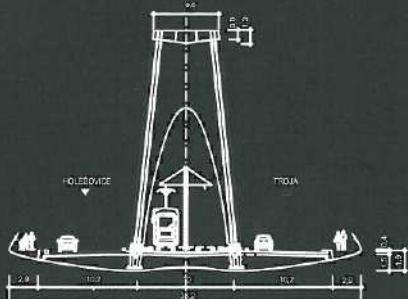


mostu, vyztužená prefabrikovanými příčníky. Nosná konstrukce hlavního mostu je příčně a podélně předepjatá. Oblouk je podepřen na holešovické podpěře a na pilíři na trojském břehu, na který navazuje druhé, krátké pole mostu (cca 40 m). Štíhlý oblouk je propojen s deskou mostu hustou sítí závěsů. Celý systém je velmi lehký, poměrně složitý na výstavbu a vyžaduje velmi přesné provádění konstrukce.

Po stručném popisu zvoleného postupu výstavby podrobně představíme návrh konstrukčního řešení montážních podpěr v řece a jejich výstavbu.

#### Postup výstavby mostu

Metrostav, a. s., se před vlastním zahájením realizace zabýval různými postupy výstavby mostu, které by přicházely do úvahy. Jednalo se např. o zaplavování oblouku, montáž oblouku v řece, montáž mostu na pevné skruži, výsun nosné konstrukce včetně pomocné provizorní příhradové konstrukce. Po porovnání z hlediska ekonomického, bezpečnostního a technického byl zvolen poslední jmenovaný způsob – výsun nosné konstrukce.



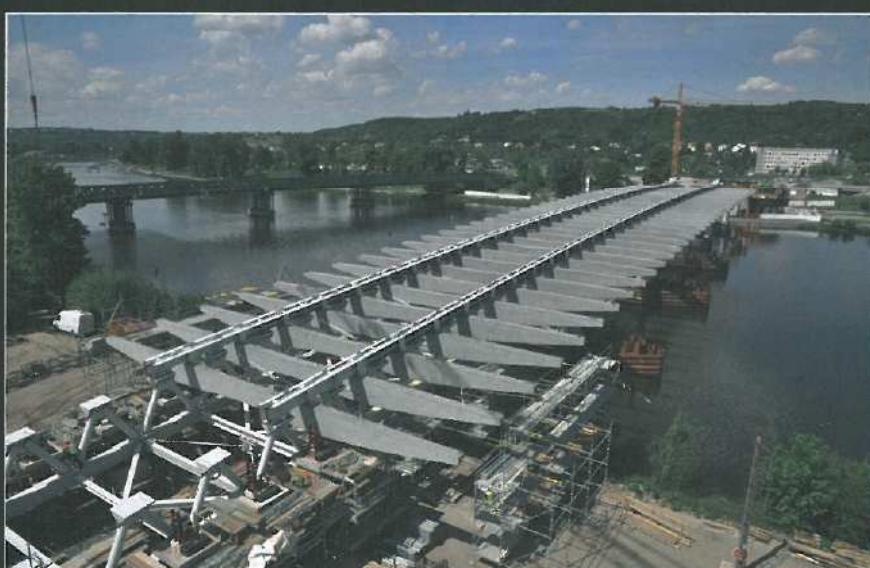
Příčný řez hlavního mostu

Navržená metoda výstavby spočívá ve zřízení pomocné ocelové konstrukce tvaru příhradového spojitého nosníku pod celým projektovaným mostem, jež vytvoří podmínky pro betonáž vlastní mostovky, táhla a následnou montáž ocelového oblouku. Tato pomocná konstrukce je vysouvána z holešovického břehu přes soustavu sedmi provizorních podpěr – dvě jsou umístěny na břehu (P01 a P07) v prostoru definitivní podpory O1, resp. pilíře P2) a pět (P02 až P06) je umístěno v řečišti. Podélná rozteč provizorních podpěr je cca 32 m, což odpovídá vzdálenosti 8 taktů diagonál provizorní příhradové konstrukce neboli dvěma taktům výsunu konstrukce.

Po dokončení výsunu bude zahájena montáž zárodků oblouku a jejich vybetonování; následovat bude postupná symetrická betonáž

spřažené desky a táhla mostu. Během betonáže nosné konstrukce bude most příčně předepnut a po dokončení nosné konstrukce proběhne částečná aktivace podélného předpětí. Následně bude zahájena montáž ocelového oblouku pomocí přesunové dráhy a zvedání jednotlivých dílců.

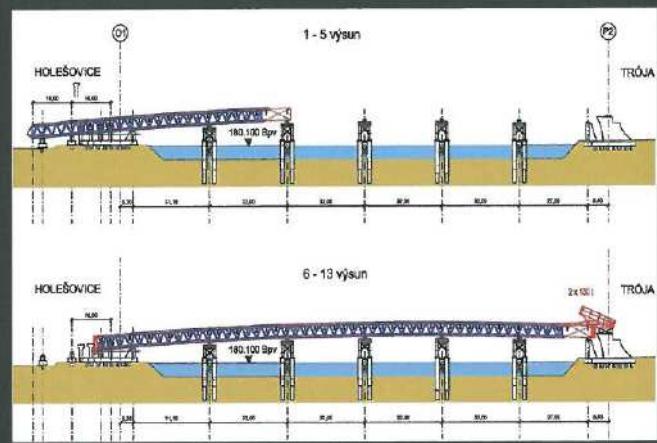
Po kompletním dokončení montáže ocelového oblouku budou osazeny a aktivovány závěsy a částečně předepnuta mostovka v podélném směru. Poté bude provizorní příhradová konstrukce částečně rozpojená (v definovaných místech na spodním pase a přilehlé diagonále) a spuštěna z ložisek, situovaných na provizorních podpěrách. Tím dojde k aktivaci obloukového působení konstrukce a k výrazné redukcí vnitřních sil na příhradové konstrukci. Příhradová konstrukce bude poté postupně



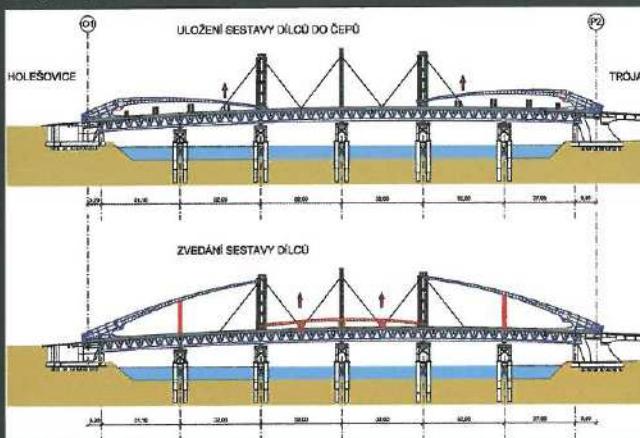
Pohled na vysouvanou konstrukci mostu



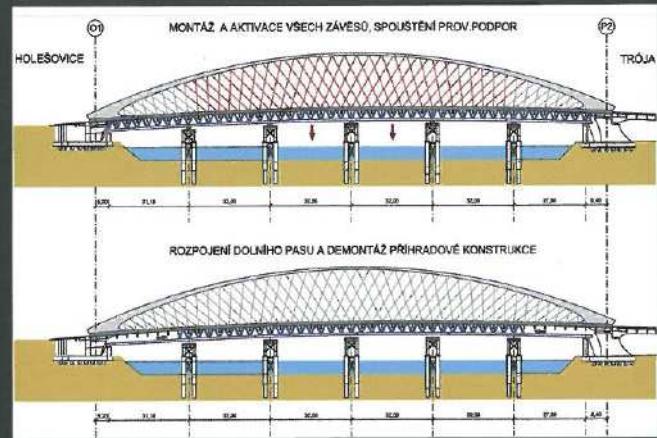
Zahájení výsunu nosné konstrukce z holešovického břehu



Výsun nosné konstrukce a schéma uspořádání montážních podpěr



Montáž ocelového oblouku



Aktivace závěsů a demontáž provizorní příhradové konstrukce

demontována a následně budou demontovány a odstraněny i provizorní podpěry.

#### Popis technického řešení montážních podpěr

##### Geotechnické podmínky, založení montážních podpěr

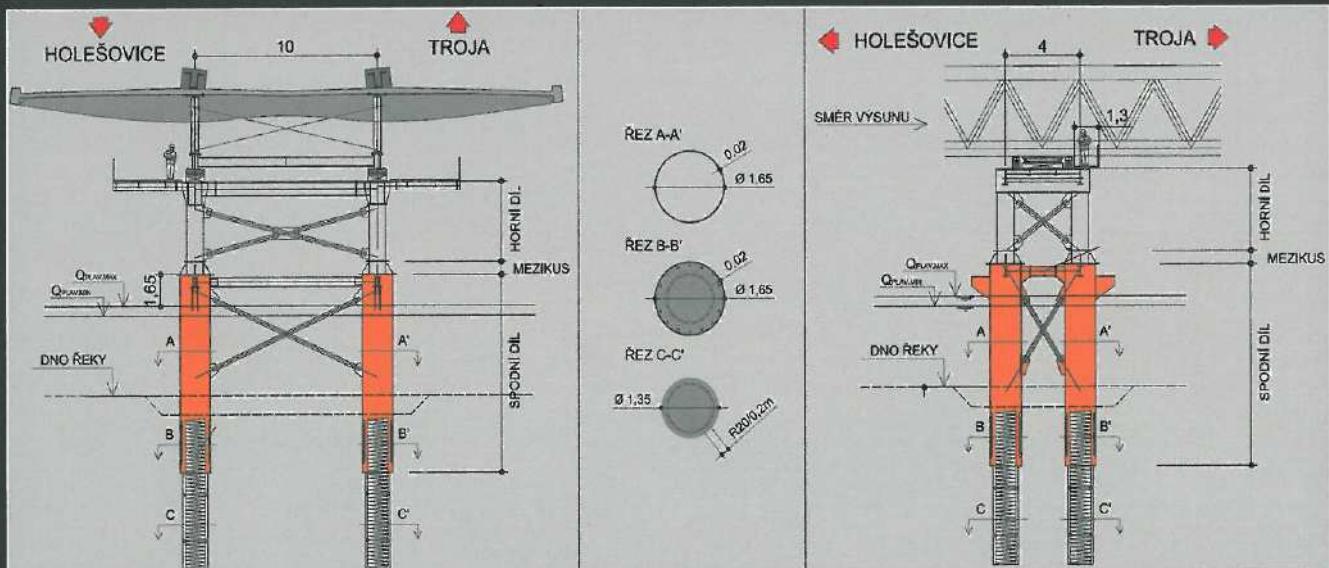
Pro návrh založení montážních podpěr v řece (P02 až P06) byl jako podklad použit geotechnický průzkum, zpracovaný na základě vrtů provedených na obou březích Vltavy přibližně v místech budoucích krajních podpěr

a pilíře. V úvahu byly také brány informace získané při realizaci tratových tunelů trasy C metra, které se nacházejí v bezprostřední blízkosti budoucího mostu.

Předkvarterní podloží je tvořeno břidlicemi, jejichž zvětralý povrch se nachází v hloubce cca 3–4 m pode dnem řeky. Břidlice jsou na povrchu rozložené na pevné střípkovité jíly (tř. R6/R5) o mocnosti do 1 m, následují zvětralé polohy tř. R5/R4 mocné rovněž kolem 1 m a dále se nacházejí více či méně technicky zdravé břidlice tř. R4/R3. Nadloží

je pak tvořeno štěrkovou Vltavskou terasou, jejíž mocnost na březích je kolem 7,0 m. Vlastní terén je pak na březích vyrovnaný vrstvou navážky. V řečišti je štěrková poloha z větší části denudována a je mocnosti kolem 3–4 m, nicméně je zde přítomna báze štěrků, na niž se nacházejí kameny a balvany o velikosti i 0,5 m.

Založení provizorních podpěr bylo navrženo pomocí velkopřůměrových pilot, které jsou vrtány skrze pažnice z úrovně hladiny. Piloty Ø 1350 mm jsou vyztuženy armokosí



Montážní podpěry - příčný a podélný řez, řezy výpažnicí a pilotou



Hloubení vrtů pro piloty podpěry P04 z lodi Jantar

s hlavní podélnou výztuží  $24 \times \varnothing 32$  mm. Pro zajištění správné funkce pilot požadované projektem (z hlediska namáhání a tuhosti uložení) bylo nezbytně nutné, aby délka za-hloubení pilot (pod úrovni napojení na pažnice) do vrstev R4–R3 byla alespoň 3,8 m. Na tuto spodní část piloty hloubené bez pažení navazuje pilota profilu 1610 mm, která je již pažena ocelovou pažnicí TR 1650/20 mm až do úrovni cca 1 m pode dnem řeky. Spojení mezi pilotou a pažnicí je realizováno na délce cca 2,0 m pomocí celkem 48 sraťujících trnů ( $\varnothing 19$  mm,  $f_y = 340$  MPa, délka 80 mm) a 8 ks perforovaného T-profilu. Vrtané piloty byly prováděny ze soulodi. Nejprve byla skrz štěrkové podloží do vrchních partií břidlice na hl. min 0,5 m zavrtána ocelová pažnice. Poté byl vrt dovrtán do příslušné hloubky skalním nástrojem bez pažení  $\varnothing 1350$  mm a následně vycíšten čisticí šápu s rovným dnem  $\varnothing 1350$  mm. Následovalo osazení armokosé a betonáž piloty betonem C30/37-X0.

#### Konstrukční řešení podpěr

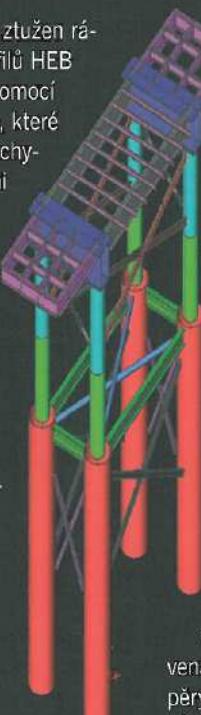
Každá podpěra je tvořena dvěma dvojicemi sloupů z ocelových trub, v podélném směru mostu (ve směru výsunu provizorní konstrukce) dvojici sloupů v rámci jedné bárky. Dvojice sloupů jsou v podélném směru vzdáleny osově 4 m, v příčném směru 10 m, což

odpovídá osové vzdálenosti spodního pasu provizorní příhradové konstrukce.

Celá konstrukce je rozdělena na spodní a horní díl, horní díl je ještě dělen na vrchní díl (stejný pro všechny podpěry) a tzv. přechodový díl.

**Spodní díl** je ve směru výsunu ztužen rámovým propojením dvojicí profilů HEB 500. Tuhost dílu je zajištěna pomocí diagonál z profilů  $2 \times$ UPN 200, které jsou kloubově (pomoci čepů) uchyceny do pažnice. V horní úrovni jsou navíc propojeny svislé sloupy kloubově připojeným profilem HEB 500.

**Horní díl** slouží pro přenos zatížení mezi ložiskem a spodním dílem montážních podpěr a pilotami. Rozdělen je ještě na vrchní díl, který je stejný pro všechny podpěry, a přechodový díl, který je navržen pro vyrovnání rozdílných výšek jednotlivých podpěr a montážních nepřesností. Vrchní díl je tvořen svařovaným komorovým nosníkem, na kterém je přímo uloženo ložisko, zajišťující přenos zatížení do svislých nohou (trubky TR 1060/30). Zlužení je provedeno rámové připojenými



Výpočetní model konstrukce

diagonály z TR 219/12,5 ve směru výsunu a kloubově připojenými diagonály z dvojice profilů UPN 200. Horní svařované nosníky jsou tuze spojeny pomocí profilu HEB 800. Na obou stranách jsou připojeny konzolové části plošiny, sloužící jako montážní a revizní prostor během výsunu. Konzolové části jsou připojeny přes šroubovaný styk profilu HEB 500 přes čelní desku. Použito je celkem 12 šroubů M24, 8,8 na každý styk. Z důvodu bezpečnosti pohybujících se osob je horní úroveň plošiny opatřena kolem dokola demontovatelným zábradlím. Pro ochranu montážních podpěr P02, P03 a P04, v jejichž blízkosti jsou umístěny plavební dráhy, byla navržena ocelová svodidla. Svodidla jsou zhotovena ze svislých štětovnic Larsen, vodorovnými štětovnicemi a ocelovou revizní lávkou.

#### Výpočet konstrukce

Montážní podpěry procházejí během celého postupu výstavby mnoha zcela rozdílnými stavů, které ovlivňují jejich napjatost a deformaci. Během výsunu se jedná o relativně malou svislou reakci z vysouvané konstrukce, působící společně se značnou vodorovnou silou danou třením mezi vysouvanou konstrukcí a teflonovými deskami na ložiscích. Naproti tomu během realizace oblouku (po kompletně vybetonované mostovce) jsou podpěry zatíženy velkými reakcemi z montážních věží, pomocí kterých jsou zvedány jednotlivé díly ocelového oblouku. Tyto síly pak způsobují reakci v ložisku, přesahující hodnotu 20 MN.

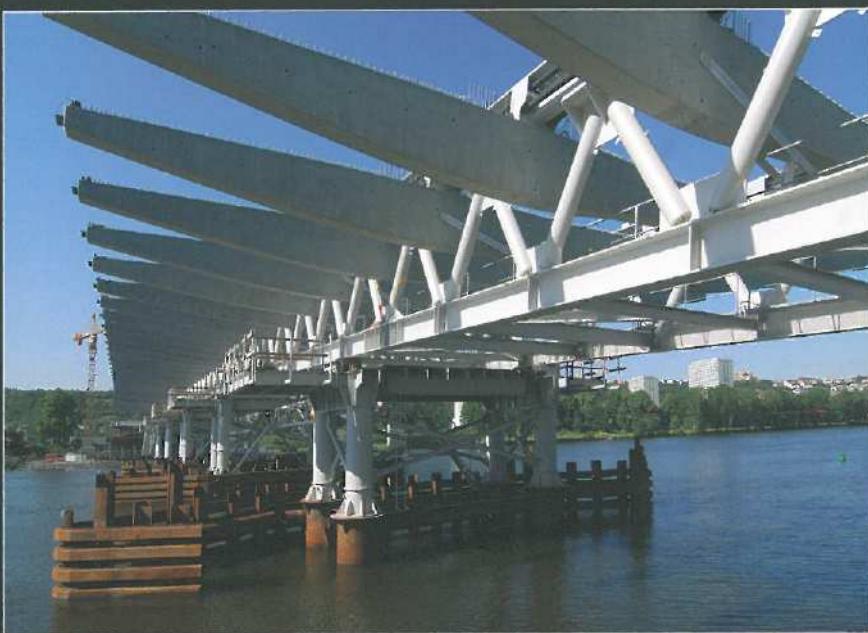
S přihlédnutím k témtoto skutečnostem byl vytvořen co nejvíce výpočetní model montážních podpěr doplněný o tuhostní parametry pilot (definované zadánou funkcí tuhosti „náhradní pružina“, která koresponduje se zatěžovací křivkou piloty). Taktéž byly analyzovány všechny uvažované zatěžující kombinace a posuzovány jednotlivé prvky z hlediska jejich namáhání a deformačních celé podpěry. Maximální stanovená velikost svislé deformace (sednutí) podpěry pro extrémní zatížení je 17 mm. Během výsunu byly montážní podpěry kontinuálně geodeticky zaměřovány, přičemž výsledné deformace nepřesahly hodnoty uvažované dle výpočtu pro dané fáze působení a příslušné zatížení.

#### Závěr a účastníci výstavby mostu

Založení a montáž provizorních podpěr proběhla dle požadavků projektanta. Rovněž tak výsun nosné konstrukce proběhl v požadovaných tolerancích a dle předpokladů. Před všemi účastníky výstavby je však ještě velké množství práce a složitých operací ke zdárnému dokončení celého mostu.



Vysouvaná konstrukce před trojským břehem



Pomocná ocelová konstrukce vysunutá přes soustavu podpěr v řečišti

Autorský tým Trojského mostu: Jiří Petrák, Ladislav Šašek, Roman Koucký, Libor Kábrt  
Projektant RDS: firma Mott MacDonald, Ladislav Šašek, Petr Nehasil

Projektant ocelové konstrukce: firma Excon, Vladimír Janata, Dalibor Gregor  
Architektura a 3D koordinace: Roman Koucký arch. kancelář, Roman Koucký, Libor Kábrt

Projektant RDS výsunu a supervize zhotovitele: firma Novák & Partner, Lukáš Vráblík, Milan Šístek

Koordinátor projektu MO Blanka Satra, a. s., Alexandr Butovíč

Správce stavby: IDS, a. s., Josef Kalíšek, Luděk Fuchs, Jiří Plachý

Zhotovitel mostu: Metrostav, a. s., vedení projektu: Alexandr Tvrz, Zdeněk Račan, Petr Koukolík

Příprava projektu: Jan L. Vítěk, Robert Brož, Vladimír Hájek, Pavel Guňka

Zhotovitel OK: Metrostav, a. s., Daniel Riedl, Jindřich Hátle, Ladislav Pokorný, Josef Oleňič, MCE Slaný a. s., Jan Svoboda, Vladan Michalík

Výsun mostu a manipulace: Metrostav, a. s., Jiří Lukeš, Radek Nosál

Dodavatel hydrauliky a supervize výsunu NK: Mtek, s. r. o., Václav Procházka

Realizace provizorních podpěr v řece: Zakládání staveb, a. s.

*Autori: Alexandr Tvrz, Robert Brož, Jan L. Vítěk, Lukáš Vráblík, Jan Mukařovský, Milan Šístek*

## REALIZACE PROVIZORNÍCH PODPĚR

**R**ealizace provizorních podpěr pro výsuv pomocné konstrukce v řece sestávala ze tří samostatných pracovních etap:

- založení podpěr v řečišti,
- osazení smontovaných horních dílů,
- montáže svodidel.

Pro založení podpěr byla nasazena plavidla Jantar a BPP60, tlačný člun Veronika, jeřáb Kobelco 700 a velkoprofilová vrtná souprava WIRTH 16. Před zahájením prací byla vyrobena šablona s ochozem pro osazení pažnice a loď Jantar byla upravena tak, aby šablona mohla být osazena z obou boků plavidla. Tolerance pro polohu pažnic byly v úrovni hlavy pažnice půdorysně  $\pm 50$  mm, výškově +100 mm, -0 mm, odklon od svíslice byl max. 0,7 % z délky. Kvůli dodržení této minimální odchylky musel být Jantar ukloven tak, aby jeho pohyb při vrtání byl co nejménší. Loď byla proto na každé pozici u příslušné podpěry ukotvena ke kotevním štětovnicím a ustavena na stabilizačních nohách.

Práce byly zahájeny na podpěře PO2. Při vytýčení pilot se objevila komplikace, spočívající v nedostatečném signálu pro stanici GPS v tomto prostoru. Vytýčení tak muselo být provedeno ze břehu totální stanicí, což při uvedených požadavcích na přesnost kladlo vysoké nároky na pečlivost geodetů. Dalším problémem se ukázala rozdílná úroveň zvětralých břidlic až o 1 m u pilot jedné podpěry, což

vedlo k nutnosti prodlužování pažnic a pilot. U dalších podpěr již byly pažnice objednávány delší a v případě nutnosti byly zkracovány. Pro dopravu betonu do pilot byla zřízena lávka pro betonářské potrubí ze štětovnic.

Podpěry byly zakládány v pořadí PO2, PO3, PO6, PO5. Po přerušení, nutném pro přeložení plavební dráhy mezi podpěrami PO2 a PO3, byla jako poslední založena v únoru 2011 podpěra PO4.

Navážení horních dílů bylo zahájeno u podpěry PO3. Celková hmotnost převážené konstrukce činila 44,1 t. Vzhledem k této značné hmotnosti bylo nutné posoudit stabilitu plavidla Jantar s jeřábem Bauer MC 64. Pro vyrovnaní náklonu lodi při naložení a vyložení konstrukce horního dílu bylo nutné na palubu umístit protizávaží o hmotnosti 30 t. Podobně bylo nutné kvůli značným rozdílům horního dílu navrhnut a vyrobit

Práce na vodě byly náročné na provádění m. i proto, že piloty bylo nutno zhotovit s maximální půdorysnou odchylkou  $\pm 50$  mm

v dílnách Zakládání staveb, a. s., speciální přepravní rám, na který byl horní díl během dopravy usazen. Před první plavbou se uskutečnila v polovině října 2010 zátěžová zkouška stability lodě v Holešovickém přístavu s již smontovaným horním dílem (pro podpěru PO3).

Pro přepravu Jantaru s naloženým horním dílem byly použity dva tlačné remorkéry, neboť Jantar musel pod mosty couvat z důvodu mírného náklonu lodi po naložení horního dílu a tvaru mostu na vodní cestě. Výšková rezerva pro proplutí pod mosty byla minimální. Po ustavení Jantaru na místě vykládky byl na podpěru osazen horní díl. Zde je nutné ocenit zkušenosti zúčastněných jeřábňíků – osazení s přesností na centimetry si vyžadovalo jejich nanejvýš precizní práci. Navázání dalších dílů proběhlo pak ve třech etapách – díl podpěry PO2, následně pak díly podpěr PO5, PO6 a jako poslední díl podpěry PO4.

Po založení podpěry PO5 byly zahájeny práce na osazení svodidel. Ta jsou tvorena zabetoněnými krabicemi ze štětovnic, podélníky ze štětovnic a ztužujícími lávkami. Obloukové části podélných štětovnic a lávky byly vyrobeny v dílně a na stavbu byly dovezeny

připravené pro osazení. V první etapě byla namontována svodidla na podpěre PO2 a části PO3, po založení podpěry PO4 byla provedena svodidla podpěry PO3 a následně svodidla podpěr PO4, PO5, PO6. Při pracích na této fázi stavby nás zastihla ledhová povodeň, v tomto měsíci opravdu nečekaná, takže bylo nutné vyklidit staveniště nejen na vodě, ale také na břehu a přerušit práce.

Kromě prací na podpěrách bylo v prosinci 2010 dle požadavku objednatele zaberaněno na holešovické straně ještě 24 ks krabic ze štětovnic, které budou sloužit jako základ

výrobny pro montáž příhradové konstrukce mostu.

Práce na této zajímavé a náročné stavbě byly zahájeny v září 2010 a ukončeny byly předáním díla v dubnu 2011. Díky pečlivé přípravě všech technologických procesů proběhly všechny činnosti spojené se zhotovením provizorních podpěr bez vážnějších potíží a pracovníkům společnosti Zakládání staveb, a. s., přinesly mnoho nových cenných zkušeností.

*Ing. Jiří Ludvíček, Zakládání staveb, a. s.*

*Foto: Libor Štěrba*

### ***Design and realisation of temporary river supports in course of construction of the new Troja Bridge***

*The new Troja Bridge is a part of the Blanka Tunnel Complex construction in Prague connecting to the northwest part of the City Ring. The designed method of bridge construction consists in carrying out a supportive steel structure in the shape of latticed joint girder under the whole designed bridge structure; this design enables concreting the bridge deck and rod as well as successive assembly of the steel span. This supportive structure is drawn from the Holešovice riverside over the system of seven temporary supports – two of them are located on the riverbank and five are placed in the riverbed. The following text presents structural solution of the assembly supports in the river and their construction in three stages: foundation of the supports in the riverbed, fitting assembled upper parts and fitting crash barriers. These works, requiring extensive experience with working in water, were carried out by the Zakládání staveb Co.*



Dokončené podpěry PO6 a PO5, uprostřed řečiště probíhá hloubení vrtů pro pilony podpěry PO4