

Manipulace s dílci ocelového oblouku Trojského mostu

Ing. Jiří Lukeš, Ing. Tomáš Wangler, Metrostav a.s., Divize 5,

Ing. Dalibor Gregor, Ing. Radka Teplá, Excon a.s.

At the new Troja Bridge in Prague steel arch structural parts up to 700 tons had to be longitudinally launched and vertically lifted using non-standard methods and special devices.

1 Úvod

Nový Trojský most v Praze je budován jako součást „Souboru staveb městského okruhu v úseku Myslbekova – Pelc Tyrolka“, obecně známého též jako tunelový komplex Blanka. Historie přípravy projektu, konstrukční řešení mostu, jeho výjimečné technické parametry i nadstandardní architektonické ztvárnění byly již opakovaně prezentovány (např. [1]).

Na tomto místě lze proto pouze shrnout, že realizovaný projekt je vítězným návrhem architektonicko-konstrukční soutěže, kterou uspořádal investor stavby v roce 2006. Zhotovitel stavby optimalizoval postup výstavby prověřením celé řady variant stavebních postupů. Pro realizaci byla zvolena alternativa, ve které byl rošt mostovky předmontován za holešovickou opěrou a postupně vysunut přes řeku (viz [2]). Tento příspěvek se zaměřuje výhradně na manipulace s dílci oblouku během jeho montáže. Výroba oblouku, jeho předmontáž a vlastní provádění montážních styků jsou popsány v souvisejícím příspěvku [3].

Oblouk mostu je tvořen uzavřeným svařovaným ocelovým profilem, který má u vrcholu tvar plochého pětiúhelníku a ve vnějších čtvrtinách se větví na samostatné profily („nohavice“) o čtyřúhelníkovém profilu, mezi kterými bude procházet tramvajová trať (obr. 1). Paty oblouku jsou vyplněny samozhutnitelným betonem. Do vnitřních stěn oblouku jsou začleněna oka pro připojení závěsů. Závěsy jsou uspořádány ve vzájemně ukloněných rovinách, přičemž v každé z nich se kříží dvě osnovy po 100 závěsech o různém průměru, délce a sklonu.



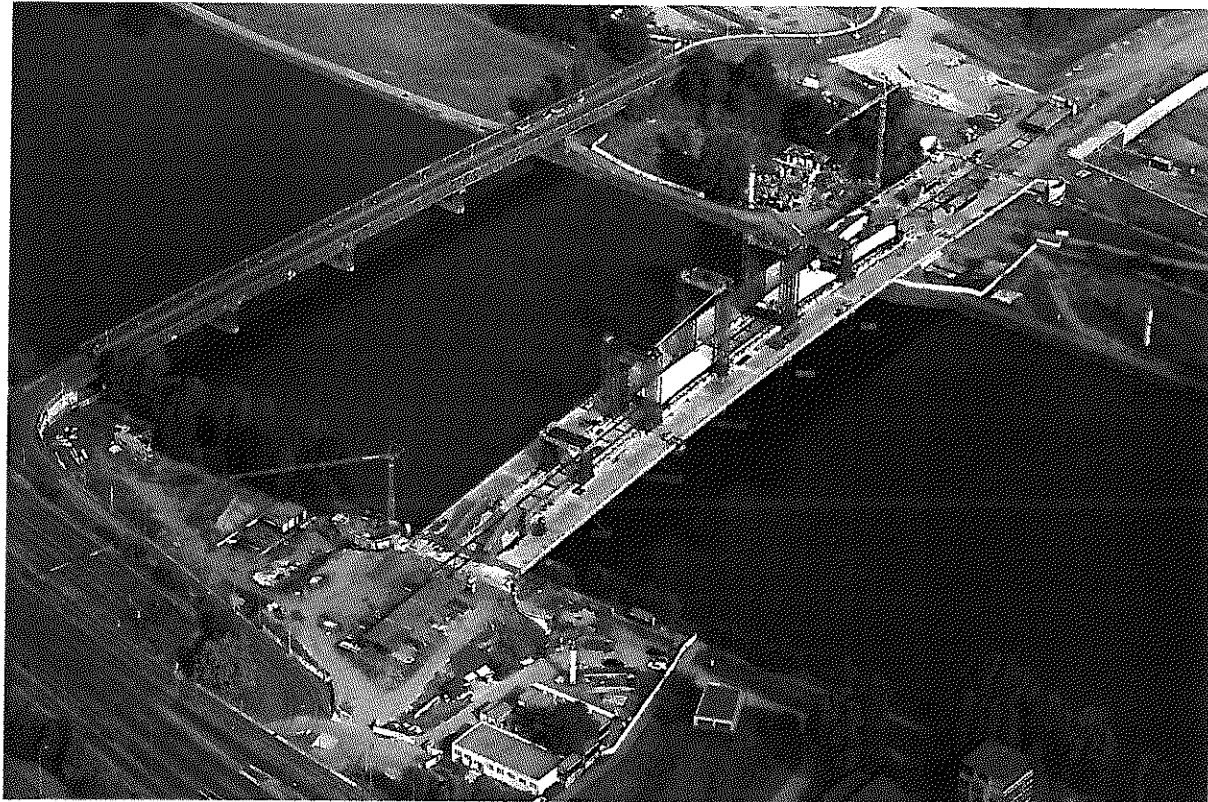
Obr. 1 Trojský most, stav 02/2013

2 Výsun dílců oblouku z předmontážních ploch

Při daném postupu výstavby monolitické desky mohla být mostovka podepřená provizorní příhradovou konstrukcí využita jako pracovní plocha pro montáž oblouku. Realizace betonové desky mostovky byla ukončena v červnu 2012 vnesením první části podélného předpětí.

Souběžně s betonáží mostovky již probíhaly práce na přípravě montáže oblouku. Montážní dílce oblouku o hmotnostech až 83 t a délce až 28 m byly naváženy z mostáren na obě předpolí mostu. Na trojské straně byly dílce ukládány v ose mostu, a to i na nosnou konstrukci inundačního mostu a na tubus hloubené části tunelu Blanka. Plocha na holešovickém předpolí mostu byla stísněná natolik, že montážní dílce bylo nutno navážet postupně a příčně přesouvat. Montážní dílce oblouku byly postupně osazovány na montážní rošty

a po rektifikaci svařovány do předmontážních celků o hmotnosti až 360 t a délce až 32,5 m. Tyto dílce byly zaváženy po dokončené mostovce do polohy pro zdvih (obr. 2).



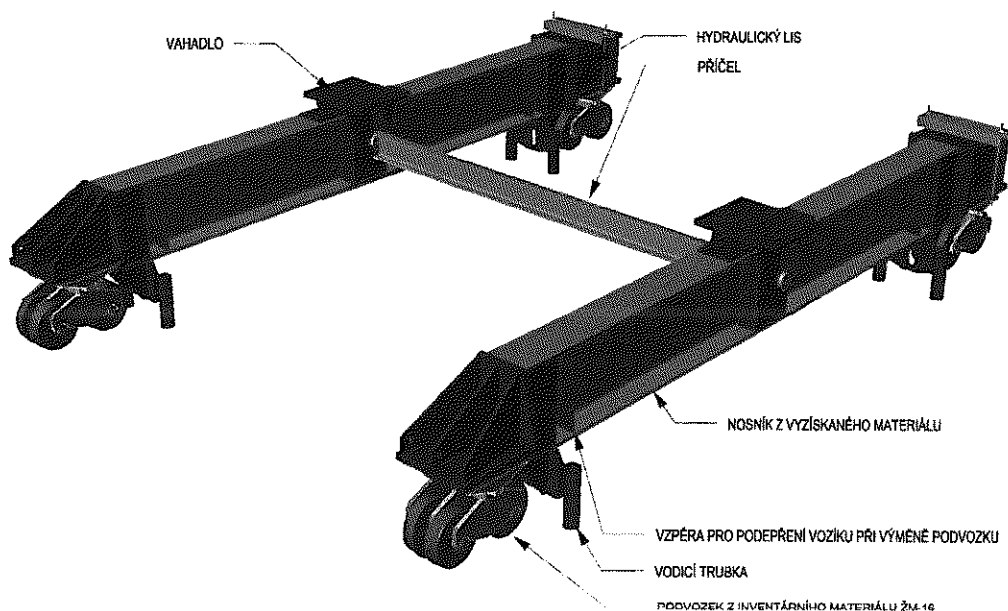
Obr. 2 Letecký pohled na podélný výsun dílců oblouku

Délka přesunu činila až 130 m, proměnný podélný sklon dosahoval až 7%. Přesun probíhal po zavážecí dráze uložené na mostovce hlavního mostu, dosud podepřené provizorní příhradovou konstrukcí, a na hotové nosné konstrukci inundačního mostu. Na základě ekonomického porovnání variant, s přihlédnutím k možnostem využití vlastních kapacit zhotovitele, bylo pro konstrukci zavážecí dráhy navrženo využití materiálu ŽM-16.

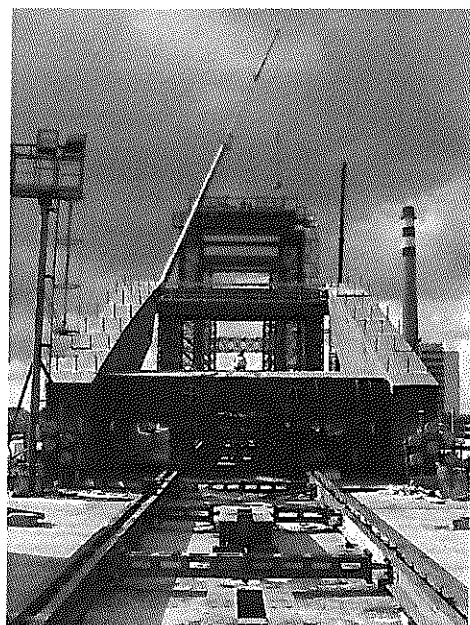
Celková délka dráhy pro podélný přesun činila 352 m. Rozchod dráhy 3,95 m vycházel z rozměrů montážních dílců oblouku s přihlédnutím k poloze podélných předpínacích kabelů v desce mostovky. Vlastní dráha byla sestavena z pásů hlavního nosníku ŽM-16. Její geometrický tvar byl zajištěn rámovými příčlemi ze sloupků PIŽMO, v částech její délky též kotvením a/nebo podélným příhradovým ztužením. Pásky ŽM-16 byly uloženy za opěrami na podélných základových pásech, na nosných konstrukcích pak na betonových bločcích, které vyrovnaly spád mostovky a zároveň zajistily požadovaný roznos zatížení do mostovky. Lokální nerovnosti byly eliminovány roznášecí vrstvou z gumového granulátu. Veškeré kotvy bylo nutno osadit mezi předpínací výztuž již před betonáží desky mostovky.

Vozíky pro podélný výsun dílců oblouku byly konstruovány tak, aby roznesly tíhu přepravovaných montážních dílců podle statických požadavků na namáhání mostovky. Maximální hmotnost předmontážního dílce oblouku byla cca 360 t, charakteristická reakce pod jeho každým rohem tedy cca 900 kN. Únosnost příčnicku mostovky u připoje na hlavní nosník je přitom cca 550 kN. Každý vozík (obr. 3) tedy musel roznášet zatížení alespoň na dva příčníky. Podvozek proto sestával ze dvou inventárních dvounápravových stolic z materiálu ŽM-16, vzájemně propojených vahadlem délky 5600 mm. Montážní dílce oblouku byly osazeny na sedle připojeném k vahadlu čepem. Soustava vahadel zajišťovala rovnoměrný roznos zatížení na všechny nápravy v podélném směru. Zároveň bylo nutno zajistit rovnoměrný roznos reakcí v příčném směru na oba podvozky, a to i v případě

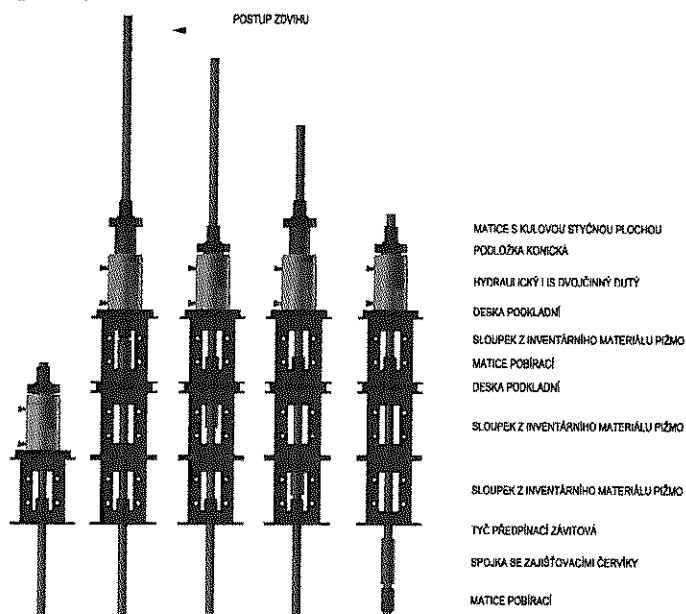
zkroucení jízdní dráhy (komorová konstrukce montážních dílců je na kroucení velmi tuhá). Na podvozky bylo proto nutno osadit vzájemně propojené hydraulické lisy. Ty nebyly pro úsporu konstrukční výšky vozíku osazeny na sedlo pro uložení dílců, ale na konec vahadla nad výsuvnou stolicí. Vozíky byly opatřeny bočním vedením proti vykolejení. Každý vozík byl posunován dutým hydraulickým lisem, osazeným na závitové předpínací tyči. Lisy byly osazeny na pásech ŽM-16 v opěrné patce, která se přesouvala v kroku 3000 mm, daném polohou stávajících otvorů.



Obr. 3 Vozík pro výsuv montážních dílců



Obr. 4 Dílec oblouku mezi zárodky



Obr. 5 Pracovní fáze lisů

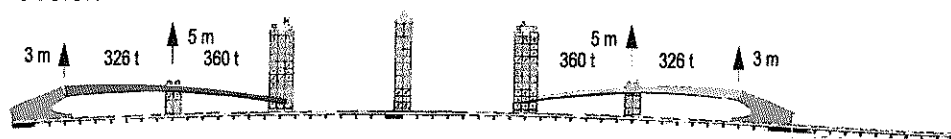
Jedna sada podvozků se uplatnila při přesunu všech dílců z obou stran mostu. Reálně dosahovaná rychlost výsuvu byla cca 5 m/h, i nejdelší výsuvy byly proto provedeny během tří dnů. Okolky vozíků plně postačovaly pro jejich směrové vedení, tendence k vykolejení se neprojevila ani jednou. Problémy nečinil ani přejezd spár mezi nosníky ŽM-16. Nejobtížnější fází výsuvu tedy zůstal průjezd nejširších dílců mezi zárodky oblouku s šířkovou rezervou 2x 20 mm (obr. 4). Po přesunu byly dílce provizorně odloženy na mostovce (příčměž

provizorní podpory musely opět roznést reakci na dva příčníky) nebo rovnou zavěšeny na věžích pro zdvih.

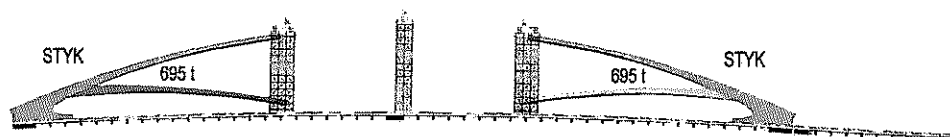
3 Zdvih dílců oblouku a manipulace při montáži oblouku

Na nosné konstrukci mostu byly vybudovány provizorní věže. Věže byly podepřeny prostřednictvím sedel na táhlech oblouku a nepřitěžovaly tak mostovku. Díky věžím byly provedeny z inventárního materiálu PÍŽMO, hlavice byly navrženy ze svařovaných nosníků. Dílce oblouku byly po výsunu zavěšeny na závěsné tyči Dywidag 47WR nebo 40WR a zdvihány prostřednictvím dutých hydraulických lisů o únosnosti 600 – 1000 kN (obr. 5). Jednotlivé dílce byly tímto způsobem přizdvíženy do polohy, ve které bylo možno svařit větší montážní celky o hmotnosti cca 700 t. Tak byl sestaven střední díl oblouku („klenák“) i jeho krajní části (přezdívané „stěrač“ podle charakteristické kinematiky zdvihu). Tyto dílce byly dále vyzdvíženy do finální polohy pro uzavření oblouku (obr. 6).

OSAZENÍ KRAJNÍCH DÍLCŮ OBLOUKU („STĚRAČŮ“)
DO ČEPŮ NA ZÁRODCÍCH



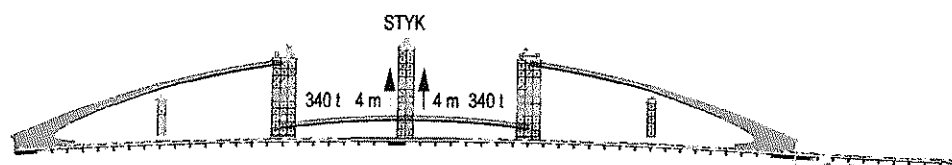
ZDVIH KRAJNÍCH DÍLCŮ OBLOUKU („STĚRAČŮ“)
DO POLOHY PRO SVAŘOVÁNÍ



MONTÁŽNÍ STYK KRAJNÍCH DÍLCŮ OBLOUKU („STĚRAČŮ“)
A ZÁRODKŮ

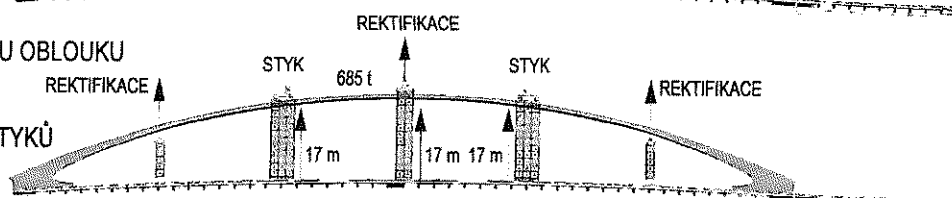


MONTÁŽNÍ STYK VRCHLÍKU OBLOUKU



ZDVIH VRCHLÍKU OBLOUKU

A PROVEDENÍ
MONTÁŽNÍCH STYKŮ



Obr. 6 Schéma zdvihu montážních dílců oblouku

Hlavním problémem zdvihu bylo trvalé zajištění svislé polohy závěsných tyčí. Při zdvihu „stěračů“ se jejich konec vodorovně posunul asi o 2,5 m. Další vodorovné posuny vznikaly působením nahodilých zatížení (zejména teplotních rozdílů) i vlivem smršťování při svařování. Ohyb tyčí by přitom rychle vyčerpal jejich únosnost. Ze statického posouzení závěsů, které bylo provedeno podle teorie II. řádu s využitím geometrické nelinearity a plastického působení přípojů, vyplynulo, že odchylka závěsů od svislice nesmí

přesáhnout 1%. Závěry výpočtu byly verifikovány zkouškami, provedenými v Kloknerově ústavu, při kterých byly příčně deformovány zatížené tyče vystrojené tenzometry.

Pro eliminaci problému byly závěsy na všech provizorních věžích osazeny na tzv. „saně“, tj. rámy, které se mohly pomocí hydraulických lisů posouvat v obou vodorovných osách (obr. 7). Polohu horního konce závěsů tak bylo možno průběžně upravovat tak, aby závěsy zůstaly svislé. Svislost tyčí byla trvale sledována inklinometry s dálkovým přenosem signálu a funkcí automatické výstrahy při překročení mezních hodnot. Komplikace přinášelo rovněž tření v čepových přípojkách závěsů, které je nutno překonat, aby se čep otáčel. Přípoj se tedy choval jako plastický kloub, přičemž moment na mezi prokluzu se nebezpečně blížil momentu únosnosti v ohybu závěsné tyče. Tření v přípojkách bylo nakonec redukováno osazením kulových radiálních ložisek ve strojařském provedení do všech přípojů.



Obr. 7 Hlavice provizorní věže

Při zdvihu montážních dílců oblouku bylo dosahováno reálné rychlosti cca 1 m/h. Každý hlavní zdvih do výšky 20 m nad mostovkou (obr. 8) tak byl proveden během tří směn.

V průběhu svařování montážních styků bylo nutno zajistit, aby svařované dílce byly vstřicné a tečné. Během svařování se měnilo statické schéma konstrukce. Vlivem statické neurčitosti dílců a změn jejich tvaru, vynucených smršťováním od svařování, docházelo k významnému přerozdělování sil v závěsech. Mezní hodnota síly v závěsech byla přitom stanovena jako 1,35 násobek reakce při prostém zavěšení dílce. Síly v závěsech proto musely být pravidelně měřeny a v případě potřeby přerozdělovány popouštěním jednotlivých závěsů. Svařování montážních styků trvalo 15 – 25 dnů v závislosti na počtu stykovaných prvků a náročnosti jejich slícování. Závěrečné montážní styky mezi klenákem a „stěrači“ byly provedeny současně. Při uzavírání oblouku vstupovalo do hry jeho namáhání normálovou silou, které

bylo možno korigovat pouze úpravami délek jednotlivých závěsů. Sledování závěsů probíhalo nepřetržitě po celou dobu svařování. Sychravé počasí s konstantními teplotami v první polovině listopadu 2012 bylo pro danou operaci velmi příznivé. Oblouk byl svařen a následně odskružen 18.11.2012. Bezprostředně poté byla zahájena demontáž provizorních věží.



Obr. 8 Zdvih dílců oblouku

4 Závěr

Montáž oblouku Trojského mostu byla jeho zhotoviteli považována za nejnáročnější etapu jeho výstavby. Její úspěšná realizace otevřela cestu k dokončení stavby. V únoru 2013 probíhá instalace a aktivace závěsů oblouku. Další náročnou etapou bude potom snesení provizorní příhradové konstrukce. Trojský most má být uveden do provozu v listopadu 2013.

Účastníci výstavby

Investor:	Hlavní město Praha
Správce stavby:	IDS a.s.,
Autoři návrhu mostu:	Jiří Petrák, Ladislav Šašek, Roman Koucký, Libor Kábrt,
Zpracovatel RD mostu:	Mott MacDonald CZ, s.r.o., Roman Koucký architektonická kancelář s.r.o.,
Zpracovatel RD a VTD OK:	Excon a.s.,
Zpracovatel projektu PPK, supervize:	Novák & Partner, s.r.o.,
Zhotovitel mostu:	Metrostav a.s., Divize 2 a 5,
Zhotovitelé ocelové konstrukce mostu:	Metrostav a.s., Divize 3; MCE Slaný a.s.;
Další hlavní podzhotovitelé	Zakládání staveb a.s.; TBG Metrostav a.s.;
	VSL Systémy (CZ) s.r.o.; CCE Praha s.r.o.

Literatura

- [1] kol.: Projekt Trojského mostu, 17. symposium Mosty, Brno 2012,
- [2] kol.: Výstavba Trojského mostu v Praze, 17. symposium Mosty, Brno 2012,
- [3] kol.: Výroba a montáž nosné ocelové konstrukce Trojského mostu, 18. symposium Mosty, Brno 2013

Kontakt

Ing. Tomáš Wangler, Metrostav a.s., Divize 5	tomas.wangler@metrostav.cz
Ing. Dalibor Gregor, Excon a.s.	gregor@excon.cz