



DEN OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ – STANICE STŘÍŽKOV

Třetí a velmi úspěšný ročník Dne ocelových konstrukcí proběhl 26. dubna v rámci Stavebních veletrhů Brno 2006. Tentokrát byla tématem Architektura a ocel. Jako první vystoupil Jaroslav Vácha z firmy Excon s přednáškou Stanice metra jako společenský prostor – Stanice Střížkov na prodloužení trasy C pražského metra. (Další informace o Dni OK přinášíme na straně 73.)

Rozestavěný úsek pražského metra na prodloužení trasy C má zlepšit dopravní obsluhu v severním sektoru Prahy. Součástí prodloužené trasy jsou i tři nové stanice – Střížkov, Prosek a nová konečná Letňany. Stanice Střížkov je ojedinělá nejen v rámci těchto tří nových zastávek, ale svou koncepcí je unikátní v celé síti pražského metra. Přináší motiv povrchové stanice, přestože navazující tratové úseky jsou podzemní.

architekta z hlediska statické analýzy, vyrobiteľnosti konstrukce a v neposlední řadě i přiměřené ceny. Zastřešení stanice metra má základní rozměry 160×42 m při maximální výšce konstrukce 20 m nad terén. Nosná konstrukce sestává ze dvou hlavních oblouků, které se vzájemně kříží na začátku a konci stanice. Profily hlavních oblouků jsou komůrkové z plechu tl. 20–35 mm, rozměry jsou od $1,5 \times 3$ m v kotvení po $1,5 \times 1,5$ m ve vrcholu. Ocelové oblouky jsou vetknuty do

střešních vazníků. Profil vodorovných oblouků je lichoběžníková komůrka výšky 0,5 m a šířky 0,7–0,96 m z plechů tl. 10–16 mm. Vodorovné oblouky a krajní části vazníků jsou podpírány obvodovými sloupy a současně zavěšeny na táhlech z hlavních oblouků. Sloupy mají tvar Y, na jedné straně konstrukce mají výšku 7 m a na druhé straně 14 m. Profilem sloupů jsou svařované I z plechu tl. 12–22 mm, výška profilu je proměnná (se zakřivenými částmi v místě styku dílů a horních dvou ramen). Střešní plášť je tvořen izolačním dvojsklem podpiřaným systémem ocelových vaznic a krokvi.

Pro statický výpočet je konstrukce modelována jako celek. Je zatížena stálým zatížením, klimatickým zatížením (sníh, vítr), užitným zatížením od rozvodů, zatížením od změny teploty a předpínacími silami táhel. Je celosvařovaná z oceli S355 a jako celek poměrně tuhá, proto je velmi citlivá na teplotní změny (zatížení změnami teploty bylo pro dimenzování konstrukce rozhodující). Od základní teploty $+10$ °C je uvažována rovnoměrná odchylka ± 20 °C a nerovnoměrná odchylka na části konstrukce dalších $+15/-10$ °C od základní teploty.

MONTÁŽ HLAVNÍCH OBLOUKŮ

Dva hlavní oblouky představují 55 % hmotnosti (600 t) ocelové konstrukce celé stanice. Oblouky jsou tvarově řešeny jako části kružnic s proměnnou výškou průřezu. Roviny oblouků mají sklon 46° od vodorovné roviny a jsou v podélném směru vzájemně posunuty o 2 m, průřez oblouků jsou 15 m před kotvením. S ohledem na vzájemný posun oblouků je místo křížení geometricky nesmírně náročné na přesnost výroby. Celé oblouky byly sestavovány z jednotlivých dílců délky až 24 m a hmotnosti až 40 t. Vzhledem k náročné geometrii byla



Architektonický návrh zastřešení stanice (ateliér Patrika Kotase)

Díky skutečnosti, že se trasa C v tomto místě nejvíce přibližuje k povrchu, byla architektonická a urbanistická koncepce stanice založena na principu co největšího možného otevření staničního prostoru do okolí. Na volném prostranství v areálu sídliště Prosek tak vzniká prosklený halový prostor o rozměrech 160×42 m, který přináší do metra denní světlo (naopak večer a v noci září do okolí). Konstrukce stanice tvoří významnou dominantu a soustavou zakřivených nosných prvků i protíváhu strohých pravoúhlých tvarů šedého sídliště.

Ocelová konstrukce je unikátní nejen svým architektonickým výrazem, ale také požadavky na výrobu, montáž a provedení detailů (a z toho plynoucích nároků na projektové řešení).

STATICKÝ SYSTÉM OCELOVÉ KONSTRUKCE

Svou koncepcí je tato stanice unikátní v rámci celé sítě pražského metra. Nejobtížnějším úkolem z hlediska projektového řešení ocelové konstrukce bylo aplikovat vizi

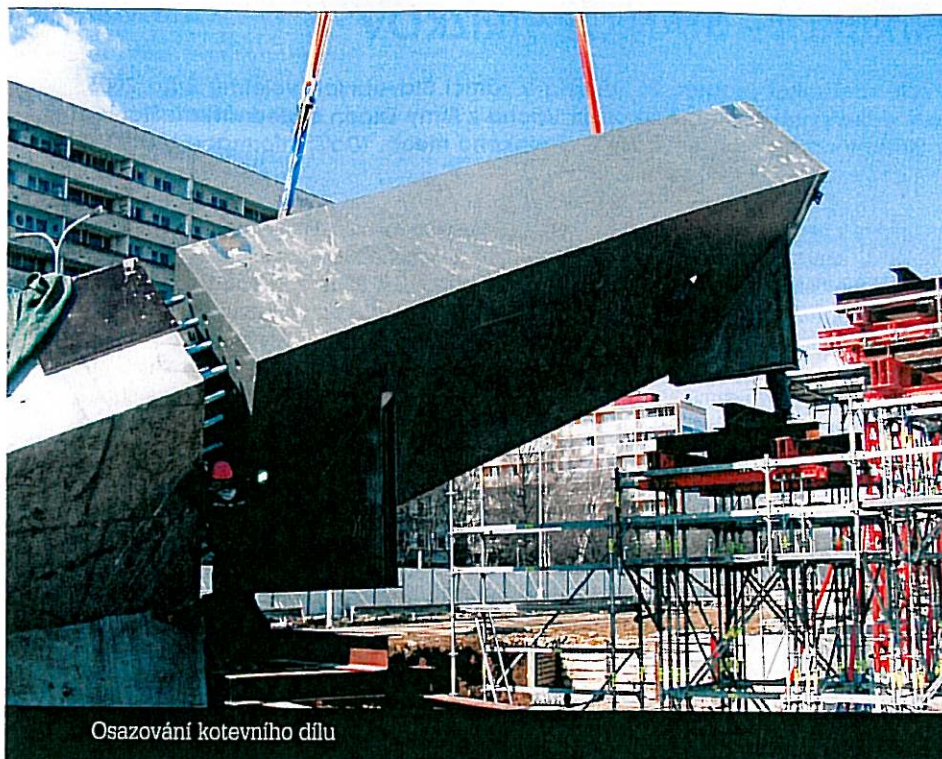
železobetonových patních dílů, které nad terénem tvarově odpovídají profilům oblouků (kotvení soustavou 26 lepených šroubů M64 do každé patky). Na těchto dvou hlavních obloucích je zavěšena celá konstrukce zastřešení (táhla M48 a M30 jsou předepjata tak, aby v nich nevznikal tlak při žádné kombinaci namáhání). Hlavní oblouky jsou vzájemně spojeny těmi spojovacími prvky (prostorové Vierendeelovy nosníky délky 15–20 m).

V ose kolejí je na táhlech zavěšen průvlak délky 130 m (na koncích je vetknut do křížení hlavních oblouků). Profilem průvlaku je lichoběžníková komůrka výšky 1,8 m a šířky 0,9–1,6 m z plechů tl. 10–20 mm. Do průvlaku jsou symetricky připojeny příčné vazníky v rozteči 6 m. Vazníky jsou komůrkové profily z plechu tl. 12–15 mm, výška vazníků je proměnná od 0,5 do 1,8 m (spodní okraj kružnicový), šířka je 0,3 m. Z architektonických důvodů je většina vazníků vylehčena jedním až třemi otvory.

Po obvodu střešní konstrukce jsou vodorovné oblouky (ve skutečnosti prostorové křivky), které tvoří druhou koncovou podporu



Železobetonový patní díl se zalepenými kotevními šrouby M64.



Osazování kotevního dílu



Osazování křížení oblouků

vyráběna ve skupině A s požadavkem na dílenské sestavení jednotlivých dílců (ve výrobě byly sestavovány vždy tři dílce dohromady a prověřována geometrie dílčích sestav). V rámci dílenských přejímků byly pečlivě kontrolovány styky jednotlivých dílců tak, aby byla zabezpečena minimální pracnost montáže.

Ta probíhala z obou stran pomocí pásového jeřábu nosnosti 300 t (montáž zajišťoval Metrostav, Divize 7). Jednotlivé dílce byly průběžně přepravovány z výroby Excon Steel Hradec Králové a Vítkovice Steel (s výjimkou kotevních dílců se jednalo o nadrozměrnou přepravu). Dílce byly na stavenišť dopraveny vždy ráno a během dne se provedla předmontážní příprava (odbrusnění závěsů pro dopravu, případná úprava stykové spáry). Následující den byl dílec osazován. Vzhledem k pečlivé výrobě a způsobu řešení styků s pomocnými nábehovými klíny bylo přesné osazení dílců otázkou pouze desítek minut (s výjimkou prvků křížení, kde bylo prostorové ustavení složitější).

Pro montážní podepření bylo sestaveno celkem 14 provizorních věží (po šesti samo-

statně pro každý oblouk a dvě společně pod kříženími). Jednotlivé dílce byly svisle podpírány hydraulickými lisami nosnosti až 150 t (vodorovné posuvy umožnilo uložení lisů na teflonové podložky). Již v rámci dílenských přejímků byl každý dílec zaměřen geodetem a v montážní dokumentaci byl vytvořen 3D model jeho skutečného provedení. Tyto reálné tvary dílců byly v rámci počítačového modelu nasazeny na skutečný tvar železobetonových (ŽB) základových konstrukcí. Podle zaměření základů byl při výrobě kotevních dílců upraven patní plech (korekce otvorů pro kotevní šrouby podle skutečného stavu kotevních kanálků pro lepení kotev). Kontrola umístění dílců v prostoru podle modelu byla prováděna pro každý jednotli-

vě usazovaný prvek. Montáž hlavních oblouků byla zahájena zalepením kotevních šroubů v polovině března 2006.

Nasazení 27 t těžkého kotevního dílce na sestavu 26 lepených šroubů vyžadovalo milimetrově přesnou manipulaci se zavěšeným prvkem. V rámci montážní dokumentace byla řešena přesná místa zavěšení a délky závěsů jeřábu tak, aby dílce byly osazovány v prostorově přesné poloze. Nejsložitějším krokem z hlediska zajištění geometrie bylo usazení dílce křížení na kotevní kusy, protože tím byl vytvořen tuhý trojúhelník neumožňující dodatečné úpravy. Vetknutí do ŽB základů bylo provedeno až po přesném sestavení kotevních dílců s křížením a zavařením svarů.

Další navazující dílce byly osazovány na již hotovou část po definitivním zavaření montážních spojů, dotažení kotevních šroubů a podlití. Vzhledem k velikosti svarů (plný průvar plechů tl. 30 mm na komůrce $2,6 \times 1,5$ m) trvalo zavaření každého montážního styku přibližně tři dny. Oba oblouky byly montovány současně.

Uzavírání oblouků (montáž klenáku) probíhala koncem května. Z hlediska sestavování byl nejkritičtější styk klenáku (výroba Vítkovice Steel) s navazujícím obloukem (výroba Excon Steel), protože tento styk nemohl být prověřen při dílenském sestavení, a byl proto korigován pouze na základě geodetického zaměření v rámci počítačového modelu.

Celá konstrukce vetknutých oblouků je citlivá na změnu teploty. Vliv teploty by ověřován měřením povrchové teploty v různých podmínkách během dnů předcházejících konečné montáži klenáku. Potvrdil se výrazný vliv barvy nátěru při krátkodobém oslunění (max. 32°C pro bílou konstrukci oproti 44°C pro konstrukci šedou) a rozdíl 10°C pro osluněnou bílou stranu oproti straně zakryté. Veškeré údaje o průběhu teplot posloužily k určení základní montážní tep-



První oblouky nad křížením



Druhé oblouky nad křížením



Montáž klenáku

loty, pro kterou se upravila geometrie oblouku. Pro dobu montáže byly z hydrometeorologického ústavu přebírány podrobné denní předpovědi s průběhem teplot a oblačnosti po hodinách a na základě těchto údajů byla upravována výška konstrukce na lisech. Nejnepríznivější vliv mělo samozřejmě jednostranné oslunění konstrukce, které se naštěstí v rozhodující fázi montáže nevykyslo. Montáž klenáku byla zahájena nadvýšením konstrukce na hodnotu odpovídající 1,5násobku předpokládané montážní teploty (pro osazování klenáku 26. května 2006 byla předpokládána teplota 16 °C). Tvar nadvýšení musel pro každou fázi respektovat nutnost zachování oblých křivek bez zlomů. Po osazení klenáku bylo provedeno zavaření jednoho konce. Poté bylo přikročeno k přesnému spasování druhého konce. Výška lisů byla upravena na montáž-

ní teplotu. Vývoj počasí si vynutil postupné snižování střední montážní teploty až na 9 °C 30. května 2006, kdy bylo zahájeno svařování posledního svaru, a tím uzavírání oblouku. Změna teploty se před zavařením konečného svaru projevovovala rozvíráním spáry až o 20 mm. V průběhu svařování byla průběžně kontrolována teplota konstrukce pro případnou korekci výšky lisů, aby nedošlo k nadměrnému namáhání montážních podpor a případně k destrukci nedostatečně silných svarů během prací (prohibovaly až do 2. června 2006). V období vrcholících svářečských prací však bylo počasí mimořádně příznivé – oblačno s přeháňkami s teplotou ve dne od 10 do 12 °C a v noci od 6 do 8 °C (tedy s malými rozdíly teplot, které si vyžádaly pouze minimální korekce výšek lisů). Celé konečné období montáže klenáku bylo téměř bez slunečního

svitu a krátká období se sluncem se vzhledem k velké tepelné setrvačnosti konstrukce globálně neprojevovala. K uvolnění konstrukce hlavních oblouků bylo přikročeno 2. června 2006 odstraněním provizorního podepření na lisech.

ZÁVĚR

Na přesný tvar oblouků a úpravu povrchů byly kladeny ze strany architektů mimořádné nároky. Všechny tupé svary v dílenských i montážních svarech tabulí plechů jsou zabroušeny a přetmeleny tak, že po konečném nátěru jejich poloha není vůbec patrná. To samozřejmě kladlo zvýšené nároky na návaznosti jednotlivých desítek tun těžkých dílců v místech stykových spár a nepromělo žádné chyby v geometrii komůrkových oblouků. Pečlivou výrobou a montáží a přesným 3D sestavováním modelu skutečné konstrukce na základě geodetického zaměření (při kterém byla brána v úvahu i skutečná teplota konstrukce při jednotlivých měřeních) bylo dosaženo souladu představy architekta se skutečným provedením, tj. hladké linie oblouků beze spár a zlomů.

Montáž ocelové konstrukce nyní pokračuje sestavováním konstrukce střechy podvěšené pod hlavními oblouky tak, aby byl splněn termín dokončení montáže primární ocelové konstrukce stanice v září 2006.

V příštím čísle časopisu Konstrukce, který byl spolu s www.e-architekt.cz a ERA 21 mediálním partnerem Dne OK, přineseme přednášku nizozemského architekta Kase Oosterhuise.

(z podkladů Jaroslava Váchy z firmy Excon připravila Jarmila Šnoblová)



Křivky hlavních oblouků po sestavení

The article draws attention to the third volume of the Day of Steel Constructions, which took place during the Building Exhibition Brno 2006. A lecture by Jaroslav Vácha from Excon is published here, which received a great reception from the public. It concerns the static determination of the underground station Střížkov, which is under construction at present – the author of the project is architect Patrik Kotas.