

SVAŘOVANÉ OCELOVÉ KONSTRUKCE

Komůrkové průřezy hlavních oblouků primární OK stanice metra Střížkov

Ing. Jaroslav Vácha, EXCON,

Pro stykání dílců ocelových konstrukcí můžeme použít dva základní způsoby spojování. Prvním způsobem je užití speciálních spojovacích prvků (šrouby, nýty), jejichž pomocí dochází k přenosu síly z jednoho prvku do druhého. Druhým způsobem je spojování svařením (jiné způsoby spojování jako lepení nebo pájení se v ocelových konstrukcích běžně neužívají). Oba základní způsoby spojování mají své specifické výhody a nevýhody a je úkolem zodpovědného statika, který způsob spojování zvolí. Musí se při svém návrhu řídit hledisky statickými, konstrukčními a ekonomickými.

Svařování je základním způsobem spojování při výrobě ocelových konstrukcí. Z jednotlivých položek (plechy, části válcovaných profilů) se svařují větší montážní celky (dílece). Z hlediska statiky ocelových konstrukcí lze svařením dosáhnout tuhého spojení jednotlivých částí s únosností stejnou jako má základní průřez a s takovým rozdělením sil, které odpovídá průřezu mimo svarový přípoj. Při provádění svarů ve výrobě lze zajistit pro svařování optimální podmínky a s pomocí vhodné techniky dosáhnout vysoké kvality bez významných odchylek od rovnoměrné úrovně jakosti. Při provádění montážních svarových spojů je situace obtížnější, protože na staveništi nelze dosáhnout optimálních podmínek jako v mostárnách a také možné technické vybavení je skromnější s větším podílem ruční práce. Proto montážní svařování klade vysoké nároky na kvalitu svářečů a tím se také vyznačuje zvýšenými nároky na kontrolu jakosti.

Unikátní tvar konstrukce

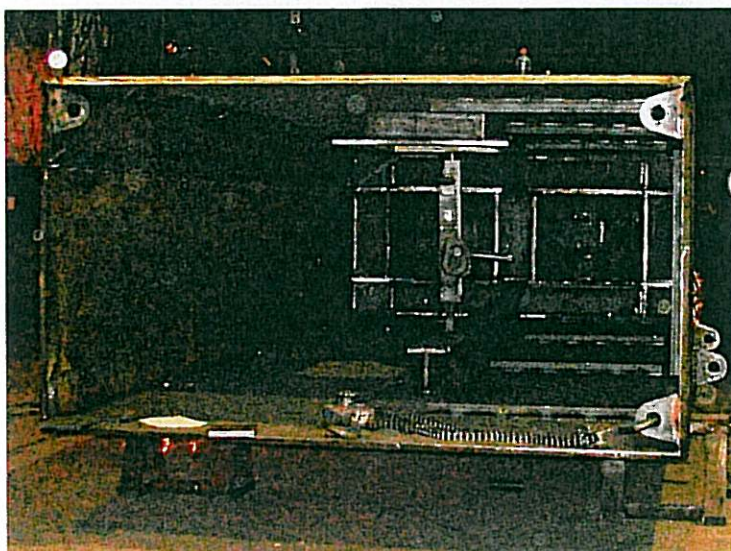
Tvar unikátní konstrukce zastřešení stanice metra Střížkov na nově budované části trasy C (vedoucí ze stanice Ládví přes Prosek do Letňan) vzešel z dílny architekta Kotase. Jde o ojedinělý způsob spojení podpovrchové stanice se začleněním proskleného halového objektu do terénu.

Primární ocelová konstrukce o hmotnosti cca 1000 t je celosvařovaná z komůrkových průřezů (výjimku tvoří pouze sloupy průřezu I a jejich čepové přípoje do vazníků). Dvojice hlavních oblouků má rozpětí 160 m, křížení oblouků je cca 15 m od konců, oblouky jsou vzájemně posunuty (což činí vzájemné proniky komůrek hlavních oblouků mimořádně prostorově složitými). Profil hlavních oblouků je od 1500 x 3000 mm v kotvení po 1500 x 1500 mm ve vrcholu, profily jsou svařeny z plechů tloušťek od 20 do 35 mm, patní plechy mají tloušťku 60 mm. Vzhledem ke složité geometrii zakřivených prvků byly technicky nesmírně obtížné všechny kroky realizace od zpracování dílenské dokumentace přes výrobu po konečnou montáž. Z pohledu technologie svařování bylo z celého pro-

cesu výroby konstrukce nejsložitější svařování dílců křížení hlavních oblouků a na stavbě pak provádění montážních tupých svarů ve styčných jednotlivých dílců hlavních oblouků.

Dílenské svařování dílců hlavních oblouků

Vzhledem ke složité geometrii komůrkových profilů a velikosti jednotlivých montážních celků bylo sestavování a vzájemné svařování položek dílců k sobě nesmírně náročné. Kotevní dílce byly složité zejména s ohledem na nutnost přivařit množství výztuh v silně vyztužené oblasti patních plechů (cca 1 m vysoké výztuhy po 300 mm z plechu tl. 20 mm jsou přivařeny k patnímu plechu tl. 60 mm a ke svařovanému prstenci cca 1 m nad patním plechem).



Obr. 2 – Pohled dovnitř dílce kotvení.

Ještě náročnějším dílcem na sestavení a svaření bylo křížení hlavních oblouků. Střednice oblouků jsou kružnicové, výška komůrkového průřezu je proměnná. Navíc jsou oba oblouky vzájemně posunuty. V místě překřížení jsou teoreticky obě komůrky průběžné. Ve skutečnosti byl tento problém řešen tak, že jeden oblouk je průběžný a druhý byl do něj po položkách vevařen. Kromě klasické



Obr. 1 – Pohled na smontovanou primární ocelovou konstrukci.



Obr. 3 – Detail prstence a výztuh kotvení.

dílečné dokumentace byl do výroby předán i 3D počítačový model a pro usnadnění pochopení postupu sestavování i barevná schémata návaznosti jednotlivých tvarovaných plechů. Všechny svary položek jsou tupé, většinou svařované z jedné strany. Vzhledem ke značné ostrému úhlu styků většiny položek plechů nebylo možné volit stranu, ze které se svar prováděl. Proto byly v konečném stavu uzavřené prostory křížení při sestavování provedeny průlezné a až po sestavení, zavaření a kontrole svarů byly průlezné otvory zavičkovány („víčka“ z plechu tl. 30-35 mm zavařená na plnou únosnost).



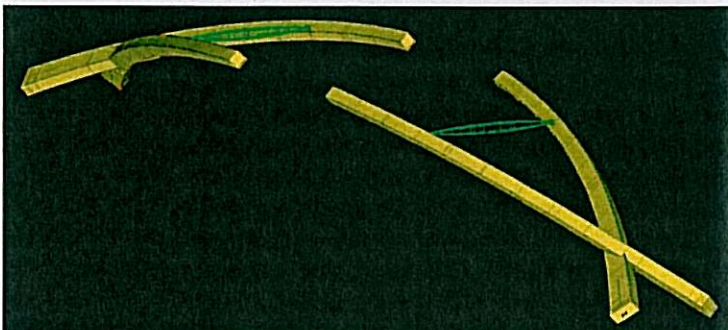
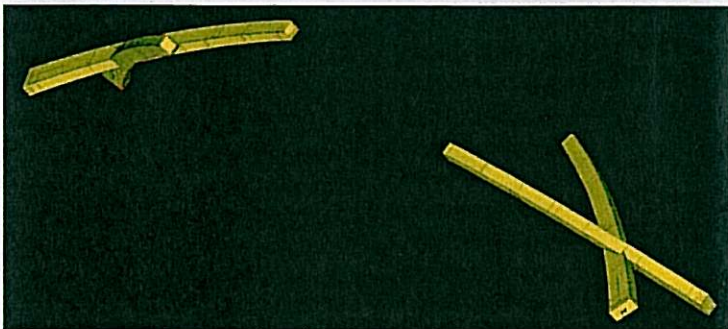
Obr. 4 – Pohled na dílec křížení.



Obr. 5 – Detail křížení s vevařenými chráničkami z korozivzdorné oceli.

Montáž hlavních oblouků

Konstrukce má vysoký stupeň statické neurčitosti a to jí činí nesmírně citlivou na změny teploty. Z celého procesu svařování dílců montážními svary byl technicky nejsložitější krok uzavírání hlavních oblouků. Oba hlavní oblouky sestávají dohromady z 16 dílců. Maximální délka dílce je 24 m a maximální vlastní hmotnost dílce 42 t. Montáž oblouků byla prováděna na montážních podporách od obou konců směrem doprostřed. (Montážní podpory tvořily příhradové věže nosnosti až 150 t v místech styků dílců, maximální výška věží byla 25 m). Pro rektifikaci



Obr. 6 – Schéma postupné montáže hlavních oblouků.



byly jednotlivé dílce podpírány hydraulickým lisem. Konstrukce byla vyráběna ve výrobní skupině A a byla ve výrobě sestavována, aby se ověřila návaznost dílců. Kromě toho byl každý dílec ve výrobě geodeticky zaměřen a z tohoto zaměření byl vytvořen prostorový 3D model, který se usazoval do modelu celé konstrukce. Vzhledem ke skutečnosti, že oblouky se vyráběly ve dvou výrobních (Exconsteel v Hradci Králové a Vítkovice Heavy machinery), nebylo možné rozhodující styk uprostřed oblouků dílensky sestavit a jeho geometrie byla kontrolována pouze na modelu.

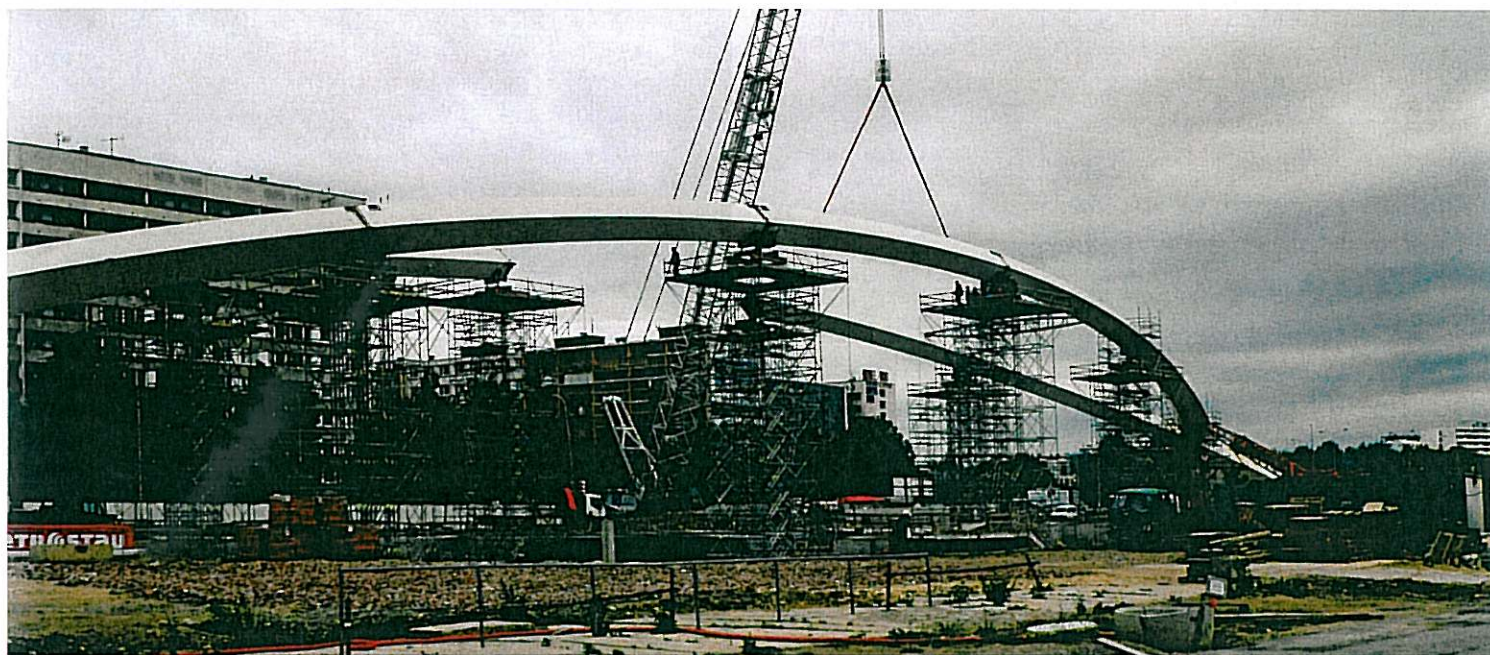
Nejobtížnější z hlediska svařování bylo konečné propojení oblouků uzavíracím svařem klenáku (jediná spára, kterou nebylo možné ověřit dílenským sestavením). Každý montážní svar mezi jednotlivými dílci hlavních oblouků měl délku od 6 do 9 m při tloušťce spojovaných plechů 20 až 30 mm a byl vařen 2 až 4 dny. Před osazením klenáku působily oba konce oblouků vůči sobě jako staticky určité a změna teploty během dne se projevila roztahením resp. smrštěním konstrukce. Protože před uzavřením oblouků nebylo deformaci po střednici bráněno (hydraulické lisy podpírající konstrukci byly podloženy teflonovou deskou, která mohla volně vodorovně klouzat po desce z leštěného nerez), činil posun konce konstrukce během dne několik desítek milimetrů (minimální teplota v noci byla kolem 6 °C, přes den se na slunci konstrukce ohřála až na 40 °C). Proto byly propočítány přesné tvary geometrie pro jednotlivé teploty a dle toho bylo při-

praveno provádění výškové korekce celého oblouku na lisech. Korekce na jednotlivých lisech byla propočítána tak, aby se velikost spáry měnila rovnoměrně bez rozevírání do tvaru V.

Montážní svařování dílců hlavních oblouků

Vzhledem k preciznosti výroby a korekcím během sestavování jednotlivých dílců klenák dosedl mezi oba protiběžné konce oblouků bez problémů. Poté byl kompletně provařen jeden ze dvou přípojů klenáku ke zbytku oblouku. Po kompletním zavaření jednoho konce se přikročilo k nejsložitějšímu kroku a to k „uzavření oblouku“ posledním svařem (hlavní oblouky byly spojeny koncem května 2006).

Prvním krokem k provedení uzavíracího svařu bylo zavaření rohů v délce cca 200 mm na plnou tloušťku materiálu tak, aby tento svar měl dostatečnou únosnost pro korekci celé konstrukce pomocí hydraulických lisů pro měnící se teplotu. V době provádění tohoto posledního spoje na obou obloucích nám mimořádně přálo počasí. Na dva dny přišla studená vlna s velkou oblačností a hlavně nočními teplotami kolem 8 a denními jenom kolem 12 °C. Během těchto dvou dnů se podařilo poslední svař kompletně dokončit bez nutnosti korekce geometrie pomocí lisů. Po těchto dvou chladných dnech se výrazně oteplilo a konstrukce se po ohřátí zvedla z lisů téměř bez nutnosti vypouštění z lisů hydraulický olej. Všechny dílenské a montážní svař konstrukce prováděné jako tupé jsou na



Obr. 7 – Montážní podpory hlavních oblouků.



Obr. 8 – Usazování klenáku.



Obr. 9 – Úprava konce pro přípoj klenáku.

viditelných místech zabroušeny a přetmeleny tak, aby jejich poloha na hotové konstrukci byla co nejméně patrná a konstrukce tak působila dojem hladkých ploch a plynulých křivek hran. Zatímco způsobem sestavování, postupem svařování a požadavky na přesnost výroby je tato konstrukce srovnatelná s konstrukcemi ocelových mostů (s výjimkou vlivů dynamického zatížení mostů na řešení detailů), je tato konstrukce specifická přísnými požadavky na konečné pohledové zpracování. Rozhodující svary byly jak ve výrobě tak na montáži kontrolovány defektoskopicky bez ohledu na skutečnost, že pro konstrukci jako celek rozhoduje stabilita prutů při tlakovém zatížení a ani případné lokální snížení únosnosti v místě svarů by se na bezpečnosti konstrukce negativně neprojevilo. Pečlivost výroby včetně dílenského sestavování se příznivě projevila na minimální nutné korekci tvarů komůrkových průřezů v místě styků dílců.



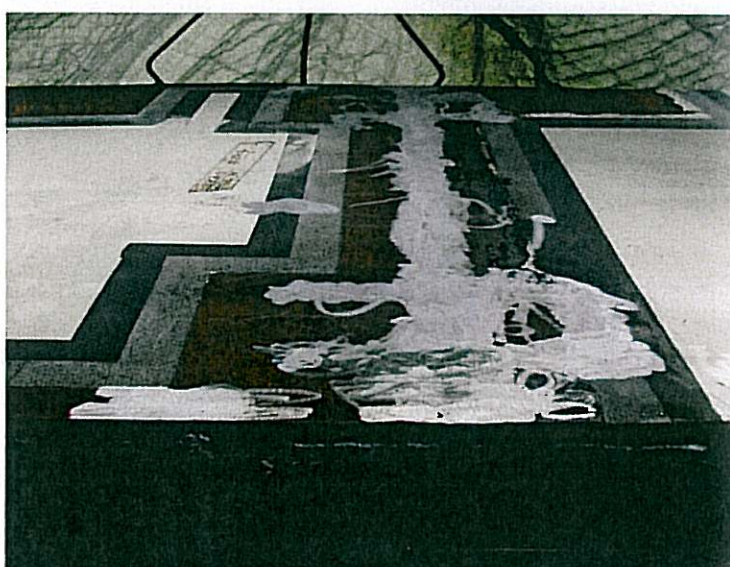
Obr. 12 – Spára zavařená v rozích.



Obr. 13 – Dokončený svar před zabroušením.



Obr. 10 – Spára před zavařením.



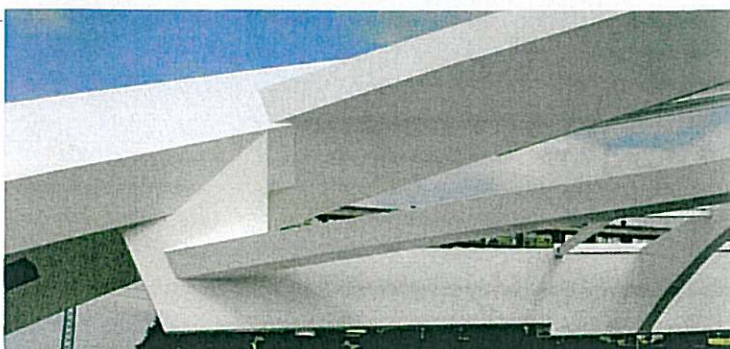
Obr. 14 – Zabroušený tupý svar.



Obr. 11 – Spára před provedením svaru.

Čisté linie svařené konstrukce

Jak je vidět z posledního obrázku, přes velké množství zabroušených tupých dílenských i montážních svarů v prostorově složitém křížení hlavních oblouků s připojením průvlaku, působí sněhobílá konstrukce hladce a čistě. V současné době se montuje prosklený střešní plášť a stěnový plášť. Do provozu má být stanice s celou novou trasou uvedena v první polovině roku 2008.



Obr. 15 – Čisté linie konstrukce bez viditelných svarů.