



2005 | **Inženýrské dílo:** Ocelová konstrukce zastřešení Sazka (O₂) arény | **Účastník:** Ing. Vladimír Janata, CSc., OK ČKAIT Praha | **Firma:** Excon, a.s.

Ocelová konstrukce zastřešení Sazka (O₂) arény v Praze Vysočanech

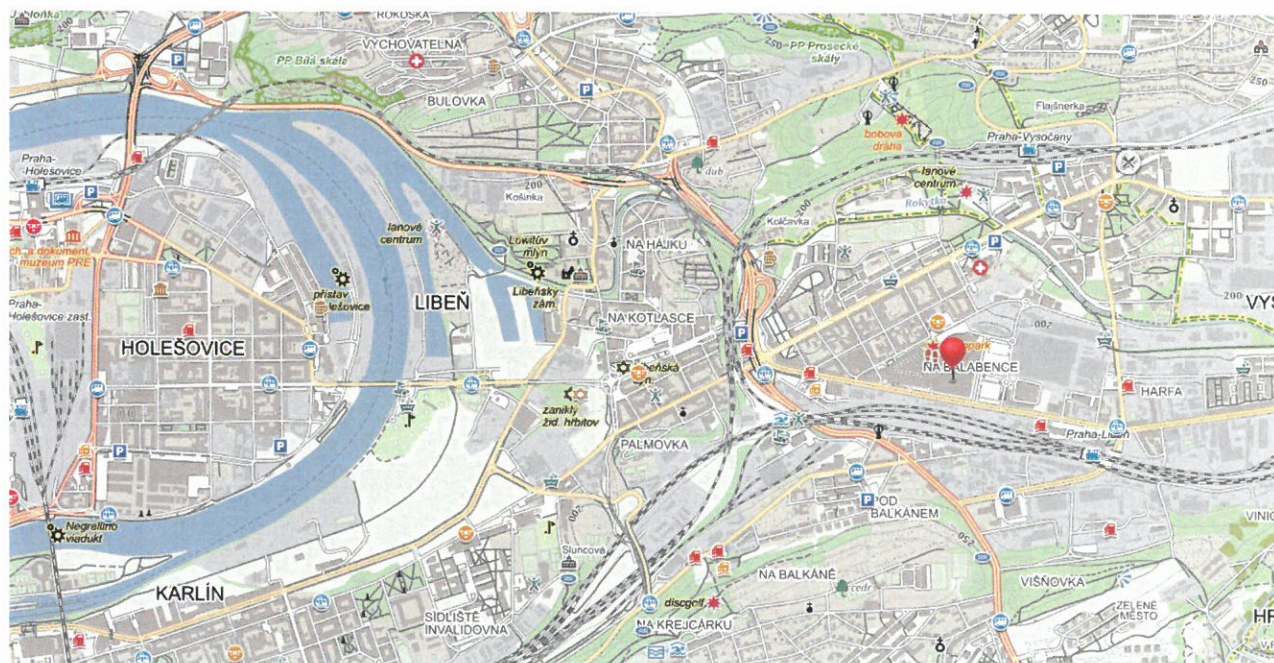
Víceúčelová O₂ (Sazka) aréna již oslavila deset let své úspěšné existence. Byla postavena v rekordním čase šestnácti měsíců, k datu konání 68. mistrovství světa v ledním hokeji v Praze v dubnu 2004. Ocelová konstrukce zastřešení arény je unikátní dispozičně, vzhledově, a také s ohledem na použitou technologii globálního předeptnutí konstrukce.



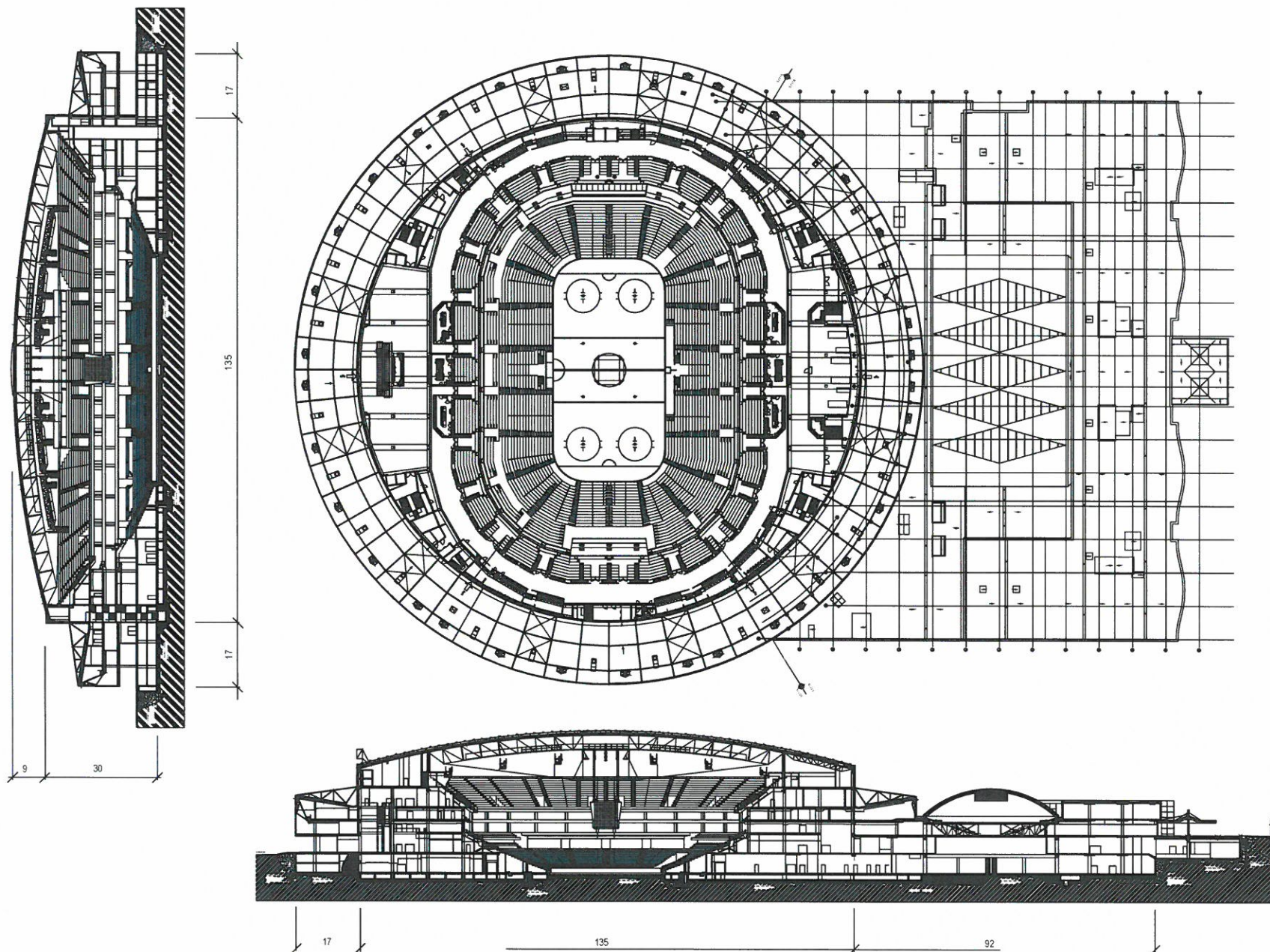
Letecký pohled na dokončenou stavbu

Ing. Vladimír Janata, CSc.

V O₂ (Sazka) aréně se kromě sportovních akcí v mnoha odvětvích pořádají také kulturní a společenské akce různého druhu. Hlavní aréna pojme 11 000 až 20 000 diváků podle účelu, ke kterému hala právě slouží. Ocelová konstrukce střechy navržená na kruhovém půdorysu o průměru 135 m svou dispozicí logicky odpovídá architektem navrženému tvaru kulového vrchlíku se vzepětím 9 m (radiální nosníky – poledníky, tangenciální ztužidla – rovnoběžky). Dispoziční uspořádání umožnilo vybavit volný prostor vzniklý mezi vazníky a táhly třemi kruhovými mosty, pohyblivými příhradovými hliníkovými lávkami a osvětlovací technikou, které spolu s pohyblivými spodními tribunami a pódii umožňují rychlé změny scénáře využití arény. Audiovizuální vybavení koncertů se zavěšuje na mosty a lávky, předem nastavené podle připraveného schématu zatížení, a v případě potřeby i na samotnou nosnou konstrukci střechy. Aréna má vynikající akustické vlastnosti také díky zvuk pohlcujícím podhledovým panelům.



Situace

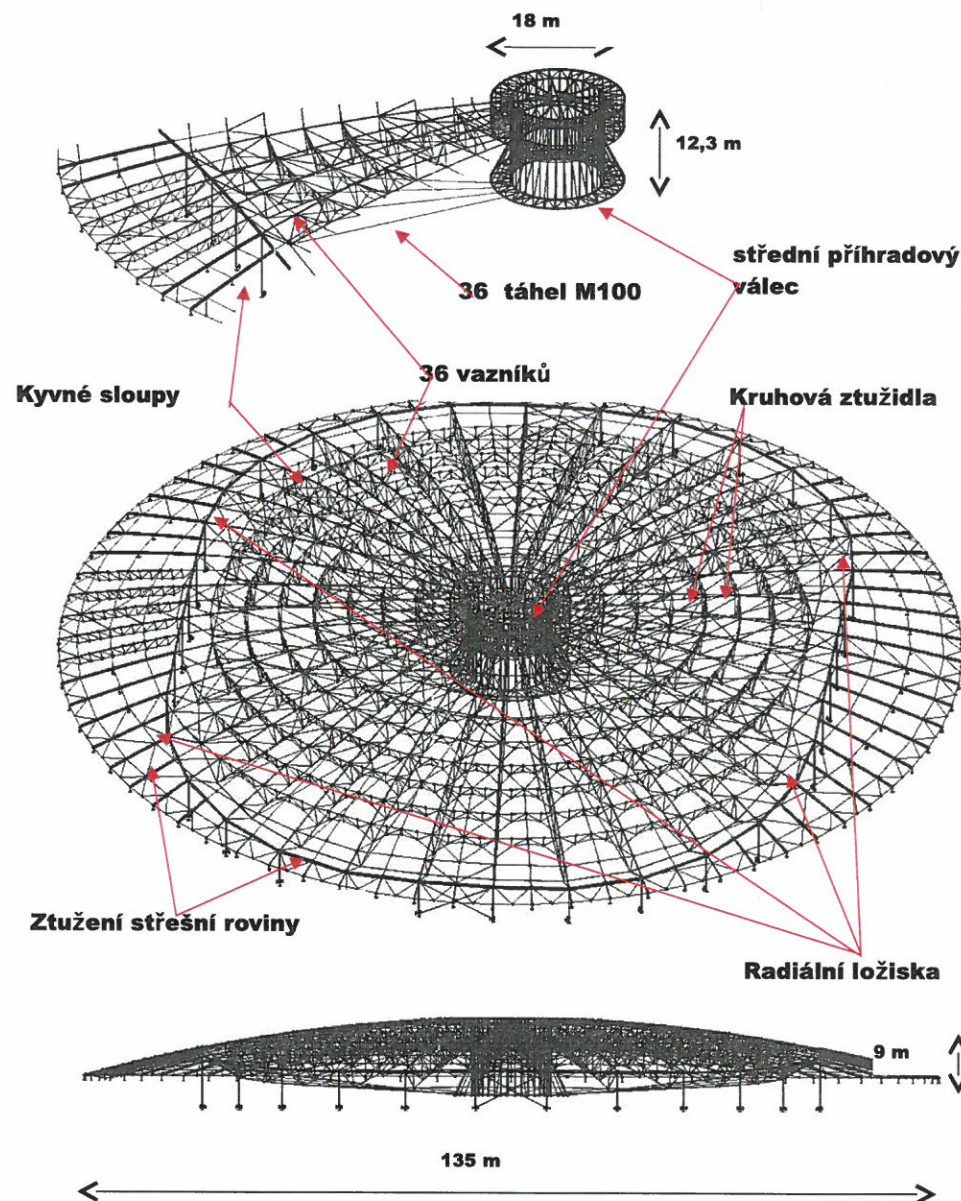


Koncepční a dispoziční řešení

Do projektového procesu jsme vstoupili ve fázi stavebního povolení s cílem optimalizovat ocelovou konstrukci zastřešení, původně uvažovanou jako mohutný pravoúhlý příhradový rošt. Prvním krokem před návrhem variantních řešení byla rešerše obdobných staveb ve světě. Z několika zpracovaných variant jsme po dohodě s architektem zvolili netradiční, ekonomicky a prostorově efektivní koncepci předpjatého prostorového vzpínadla s 36 radiálními trubkovými příhradovými vazníky s předpjatými táhly, které se sbíhají na centrálním příhradovém válci o průměru 18 m, a výšce 12,3 m. Vnesené předpětí do táhel vedených pod spodními pasy vazníků slouží k příznivé redistribuci vnitřních sil v ocelové konstrukci a k eliminaci průhybu konstrukce od stálých zatížení. Poprvé bylo v tuzemsku použito hydraulické předpínání táhel na volné délce podle optimalizovaného předpínacího postupu s kontrolou sil tenzometry v konfiguraci plného můstku.

Radiální vazníky doplňují svislá ztužidla v centrických kruzích, která zajišťují stabilitu spodního pasu a zároveň spolupůsobí s vazníky klenbovým účinkem. Střeška je uložena na nosné betonové konstrukci s předpjatými průvlaky, dilatované na šest částí, na 32 kyvných a čtyřech vetknutých sloupech spojených ve vrcholu s betonovými jádry umístěnými ve středech dilatačních úseků. Čtyři hrncová mostní ložiska, uložená mezi vetknutými sloupy a vazníky, umožňují pouze radiální pohyb a střechu tak stabilizují v prostoru vůči betonové konstrukci.

Parametry a tvar konstrukce byly také ovlivněny technologiemi umístění ve střeše, např. vzduchotechnikou, akustikou, ale zejména unikátní divadelní a audiovizuální technikou. Po doladění vzájemných vazeb tvoří tyto prvky s ocelovou konstrukcí střechy integrální celek: kruhové mosty, pohyblivé lávky a osvětlení se nacházejí v prostoru mezi vazníky a táhly, multimediální kostku lze vtáhnout do prostoru uvnitř dutého centrálního příhradového



Statické schéma konstrukce

válce, jehož rozměr byl pro tuto možnost navržen. Střešní krytinu tvoří tangenciálně pnuté sendvičové panely uložené přímo na horních pasech vazníků. Konstrukce je schopna přenést stovky tun zatížení, jež mění polohu podle účelu použití arény a jež je místy značně asymetrické, s vysokou místní intenzitou. Při hmotnosti nosné konstrukce necelých 120 kg/m² činí celkový průměrný součet zatížení 400 kg/m², při místní koncentraci je i daleko vyšší. Po dokončení konstrukce bylo oceněno i její estetické působení, zvýrazněné barevným řešením.

Po návrhu koncepce řešení jsme v době od března do listopadu 2002 zpracovali dokumentaci pro stavební povolení, tendrovou a realizační dokumentaci ocelové konstrukce. Konstrukce byla navržena s použitím prostorového modelu (Feat 2000), na kterém se posuzovaly montážní stavy, předpínací a aktivační postupy. Statický výpočet si generální dodavatel stavby nechal nezávisle posoudit skupinou odborníků z Fakulty stavební ČVUT v Praze.

Výroba ocelové konstrukce

Od prosince 2002 do února 2003 jsme, po předchozí pečlivé technologické přípravě s výrobcem a jeho hlavními subdodavateli, zpracovali dílenskou dokumentaci. Centrální příhradový válec je celosvařovaná, 170 t těžká konstrukce o průměru 18 m a výšce 12,3 m. Výroba byla náročná z hlediska ohýbání a svařování silnostěnných trubek, technologických postupů svařování i sestav, protože se musely dodržet předpokládané výrobní tolerance. Konstrukci v mostárně předmontovali na dvě části – spodní příhradový prstenec s 36 sloupy a vzpěrami a oba horní prstence. Na stavbu se konstrukce dopravovala rozložená na 21 dílů.

Nejsložitější prvek představovaly kruhové příhradové prstence s pasy z trubek 356/36, respektive 324/36. U hlavních nosných prvků proběhla 100% defektoskopická kontrola svarů. Při montážním svaření bylo s ohledem na tolerance v tloušťkách stěn

trubek technologicky náročné připravit kořen svaru tak, aby při zachování plné únosnosti vyhověl. Vazníky jsou příhradové trubkové, pasy jsou přímé, lomené. Jejich obloukový tvar je vytvořen horním úložným T profilem pro střešní panely s přerušovanou stojinou. Poloha styčnickových plechů a dalších určených prvků se měřila geodeticky v celých sestavách v dílně a naměřené výrobní tolerance posuzoval projektant. Vazníky se dopravovaly na stavbu v patnáctimetrových dílcích, na montáži šroubovaných s vloženou diagonálou. Hlavní nosná konstrukce je vyrobena z materiálu S355.

Konstrukční systém táhel Macalloy – z materiálu S460, s válcovaným závitem M100, o únosnosti přes 300 t a s možností měřitelného předpínání s použitím hydraulického zařízení na napínákové matici – umožnil návrh jednoduchých detailů kotvení a návrh předpínacích a aktivačních postupů s vysokou přesností.



Předmontáž spodní části tubusu



Montáž horní části tubusu



Konstrukce po dokončení vazníků

Montáž ocelové konstrukce

Montáž střeby, která skýtala mnoho operací vyžadujících pečlivou teoretickou přípravu, probíhala na střední provizorní podpoře (pižmo). Centrální příhradový válec byl na místě stavby svařen ze dvou

částí – spodního prstence a sloupů i dvou horních prstenců. Po geodetickém zaměření skutečného tvaru a výrobních odchylek se obě části vyzdvihly na střední podporu (pižmo) tak, aby vzájemné odchylky jejich směrů byly s ohledem na teoretické osy co nejmenší. Po usazení a svaření 170 t těžkého středního



Montáž dvojice vazníků a táhel



Styk vazníků a táhel s centrálním tubusem

příhradového válce na dvanácti hydraulických lisech o nosnosti 100 t byly vazníky asymetricky montovány z jedné strany, s ohledem na nepřístupnost staveniště z prostoru malé arény. To způsobilo vnesení vodorovných sil do podpor (hydraulických lisů) a do celého pižma.



Montáž vazníků, táhel a ztužidel, střední jeřáb pro montáž ztužidel a střešních panelů

Teoreticky jsme spočítali reakce a posuny středního válce na pížmu při jednotlivých zatěžovacích stavech. Geodetická měření, která se průběžně prováděla po jednotlivých montážních etapách, se s výpočty velmi dobře shodovala. Prvních dvacet vazníků bylo smontováno po dvojicích z vnitřní části arény, postupně ze dvou stanovišť. Zbýlých šestnáct vazníků se montovalo samostatně, ze dvou stanovišť vně haly.

Při zdvihu jsme kontrolovali stabilitu vazníků v montážním stadiu při zavěšení na jeřábu. Vazníky jsou na jedné straně připojeny přes příruby k střednímu válci, na druhé straně jsou uloženy na předem osazených sloupech s průvlaky. Ze změřených výrobních odchylek vazníků a příhradového válce se pro montáž určil potřebný počet vložek do jednotlivých styků a teoretické délky táhel. Táhla byla vyzdvihnuta spolu s vazníky, zavěšená na jejich spodním pasu, a po



Hydraulické zařízení pro předpínání a jeden z 12 zvedáků na kterých byl tubus uložen



Předpínání táhel s použitím hydraulického zařízení

uložení vazníku byla spuštěna do správné polohy a začepována. Táhla byla v průběhu montáže trvale vyvěšena po 5 m, aby se eliminoval jejich průvės, až do doby předepnutí a instalace všech trvalých zatížení tak, aby nelineární složka tuhosti táhla od průvėsu nepřesáhla 3 % tuhosti lineární.

Samotný proces předpínání a spouštění konstrukce z dvanácti hydraulických podpor realizovaný ve třech krocích jsme



Spodní prstenec tubusu a táhla

teoreticky podrobně připravili, takže vlastní práce proběhly až překvapivě hladce a rychle. Táhla se předpínala ve dvou fázích, přičemž hodnoty předpínacích sil jsme určili s ohledem na fakt, že byly vnášeny ve stavu uložení konstrukce na podpoře a s uvažováním jejich vzájemného ovlivnění při postupném předpínání po symetrických čtveřicích. Všechny montážní a aktivační stavy se kontrolovaly geodeticky a síly v táhlech se měřily on-line tenzometricky a na hydraulickém zařízení. Měření sil v táhlech provedl tým Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR pod vedením prof. Ing. Miroše Pirnera, DrSc. Konstrukce byla ověřena statickou a dynamickou zkouškou, jejíž součástí bylo měření průhybu konstrukce a sil v táhlech v průběhu montáže, předpínání, aktivace (spouštění) a následně jejího přitěžování střešními pláštěm a dalšími technologiemi. Na závěr se měřila dynamická odezva konstrukce při nevhodném zastavení multimediální kostky. Rozdíly mezi naměřenými a teoretickými hodnotami sil a deformací se pohybovaly na hranici přesnosti měření. Soubor měření představuje cenný materiál pro vytvoření představy o shodě teoretického modelu a skutečného chování složitých prutových prostorových soustav.



Konstrukční detail připojení táhla k vazniku a k tubusu



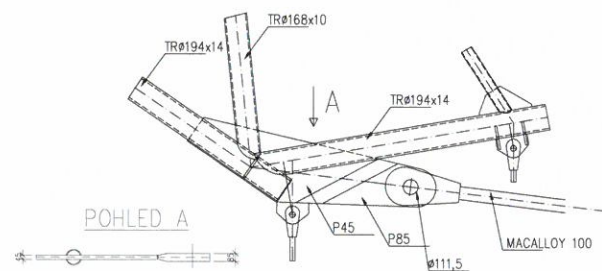
Konstrukční detail připojení táhla k vazniku a k tubusu



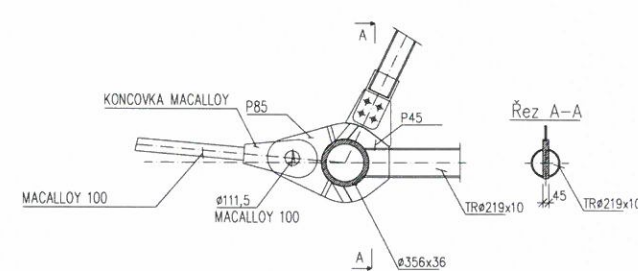
Konstrukční detail připojení táhla k vazniku a k tubusu



Konstrukční detail připojení táhla k vazniku a k tubusu



Sazka Arena po instalaci střešních panelů



Sazka Arena po instalaci střešních panelů



Vnitřní pohled po dokončení

Závěr

Úspěšnost akce závisela při vypjatých termínových podmínkách na nadstandardním přístupu všech zúčastněných, a to jak v projektovém týmu, tak při vlastní realizaci s investorem, generálním dodavatelem, výrobcí a montážní firmou. Při návrhu a realizaci zastřešení stavby se použilo nových technologií a postupů v oblasti předpínaných prostorových ocelových konstrukcí. Při prezentacích na konferencích a seminářích byla oceněna zejména originalita, efektivnost a estetické působení zvoleného řešení. Zkušenosti s touto konstrukcí jsme v dalších letech využili při návrhu mnohých významných předpjatých prostorových ocelových konstrukcí, jako jsou arény v Chomutově a Třinci, hangáru v Mošnově, protihlukové stěny v Hradci Králové, Trojského mostu, při rekonstrukci plynojemu na multifunkční aulu v Ostravě – Vítkovicích a při mnoha dalších projektech. Konstrukční systém arény se stal vzorem pro návrh olympijského stadionu pro stolní tenis v Číně.

O₂ aréna se stala po dobu své existence významnou součástí sportovního a kulturního dění v tuzemsku a významně zvyšuje prestiž a atraktivitu Prahy a České republiky. Uskutečnily se v ní koncerty při turné největších hvězd rockové a populární hudby a významné sportovní události. V letošním roce se v aréně uskuteční Mistrovství světa v ledním hokeji a Mistrovství Evropy v atletice. Stavba přispěla k rozvoji městských částí Vysočany a Libeň, trvale přináší při velkých událostech nemalé částky do městského a státního rozpočtu a nepřetržitě vykazuje významný provozní zisk. Ocelová konstrukce zastřešení získala cenu ČKAIT, cenu Inženýrské akademie, Evropskou cenu ECCS a hlavní cenu prof. Faltuse za nejlepší ocelovou konstrukci v letech 2000 až 2003.

Identifikační údaje

Stavba:

Sazka (O₂) aréna

Investor:

Sazka, a.s., prostřednictvím dceřiné společnosti Bestsport, a.s.

Generální projektant:

ATIP, a.s., Architektonický ateliér Trutnov

Architektonicko-urbanistické řešení:

Ing. arch. Martin Vokatý, Ing. arch. Vladimír Vokatý
a Ing. arch. Jiří Vít

Hlavní kooperant projektu:

HELIKA, a.s.

Návrh ocelové konstrukce zastřešení:

Ing. Vladimír Janata, CSc., Ing. Jan Včelák, EXCON, a.s.

Návrh železobetonových konstrukcí:

Ing. Milan Mužík, PPP, spol. s r.o., Pardubice

Návrh inženýrských sítí:

METROPROJEKT Praha, a.s.

Generální dodavatel:

Skanska CZ a.s.

Dodavatel technologií:

DAMOVO Česká republika s.r.o.

Výroba ocelové konstrukce:

Metrostav a.s.

Výroba centrálního příhradového válce:

mostárna EXCON Steel, a.s., Hradec Králové

Výroba ocelových obloukových vazníků:

VÍTKOVICE STROJÍRENSTVÍ, a.s.
(nyní VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s.)

Montáž střechy:

Hutní montáže, a.s.

Koncepce divadelní techniky:

prof. akad. arch. a scénograf Jindřich Smetana

The multipurpose arena was built within an extremely short time-scale, 16 months, from October 2002 to the opening in March 2004 when the world ice hockey championship was successfully organised in April and May 2004. The capacity of the arena varies between 11 000 and 20 000 spectators depending on its use. Besides the varied sports activities, many cultural, social and commercial events were organised here during last 10 years.