



Obr. 1 Největší pásový jeřáb v ČR při montáži ocelové střešní superkonstrukce na stavbě City Deco, Praha (Trimaran)

Montáž atypických velkorozponových, výškových a technologických staveb s ocelovou konstrukcí

Projektová příprava montáže velkorozponových, výškových a složitých technologických staveb může mít zásadní vliv na dimenzování konstrukce, tvar a rozměry prvků. Je nedílnou součástí projektového procesu a významně ovlivňuje postup a dobu výstavby i výslednou cenu díla. Naopak optimalizace návrhu konstrukce může např. snížením hmotnosti redistribucí vnitřních sil předpětím snížit nároky na použité montážní prostředky.

Pro výrobu i pro montáž ocelových konstrukcí platí norma ČSN EN 1090-2. Tato norma uvádí např. požadavky na procesy a kontrolu svařování, šroubových spojů i na zpracovávanou dokladovou část. Velmi významná je i kapitola věnovaná tolerancím rozměrů a tvaru

ocelové konstrukce. Při montáži se však mnoho činností, jejichž výsledek zásadním způsobem ovlivňuje bezpečnost a kvalitu konstrukce, provádí v těžkých stavebních podmínkách, s vlivy povětrnosti, v méně příznivých polohách dílců i montérů, ve výškách atd. To klade velké nároky

na zkušenosti a schopnosti montážních firem i projektovou přípravu montáže (montážní postupy, detaily s možností kompenzace imperfecí ocelové konstrukce i navazujících ostatních konstrukcí).

Při montáži ocelových konstrukcí se využívají prostředky jako



jeřáby, vrátky, hydraulická zařízení, těžké automobilové transportní prostředky, soulodí, provizorní zavážecí dráhy apod., umožňující manipulaci s břemeny o vysoké hmotnosti (obr. 1). I tyto manipulace je nutné staticky posoudit. Během montáže je konstrukce nezřídka v jiných než definitivních polohách, kdy není pevně zakotvena k základovým nebo jiným navazujícím konstrukcím. Z toho důvodu je třeba řešit provizorní podpírání, kotvení a stabilizaci. K velmi citlivým konstrukcím během montáží tedy patří i provizorní bárky (skruže), jejichž únosnost a stabilita během montážních operací musí být vždy pečlivě výpočetně prověřeny. Během montáže by měla být sledována jejich geometrie, v odůvodněných případech i napjatost.

Jeřáby a hydraulická zařízení jsou zařízeními s provozními předpisy určujícími jejich možné zatížení



Ing. Vladimír Janata, CSc.

Absolvent Fakulty stavební ČVUT. Kandidátskou práci v oboru statika a dynamika stožárů obhájil na ÚTAM AVČR, je autorizovaným inženýrem v oboru mosty a inženýrské konstrukce. V roce 1990 založil s kolegy projektovou firmu EXCON, a.s., kde se věnuje koncepčním návrhům a projektům ocelových konstrukcí. Specializuje se na předpjaté ocelové konstrukce. Je autorem české normy na kontrolu a údržbu konstrukcí a překladu Eurokódů na stožáry a komíny.



Ing. Dalibor Gregor, Ph.D.

Absolvent Fakulty stavební ČVUT v Praze, obor pozemní stavby a konstrukce, a následně doktorského studia na katedře ocelových a dřevěných konstrukcí Fakulty stavební ČVUT v Praze. Od roku 2004 působí jako projektant a vedoucí projektů ocelových konstrukcí ve firmě EXCON, a.s. Je členem ECCS TC9 a předsedou technické normalizační komise č. 35 – Ocelové konstrukce při ÚNMZ a technické komise ČAOK.



Ing. David Jermoljev, Ph.D.

Absolvent Fakulty stavební ČVUT v Praze, obor konstrukce a dopravní stavby. Od roku 2000 působí jako projektant a vedoucí projektů ocelových konstrukcí ve firmě EXCON, a.s. Autorizovaný inženýr ČKAIT v oboru statika a dynamika staveb. V roce 2014 dokončil postgraduální studium na ČVUT se zaměřením na membránové a předpjaté konstrukce.

RESUMÉ

Montáž atypických velkorozponových, výškových a technologických staveb s ocelovou konstrukcí

Článek přináší příklady montáže pěti významných staveb s ocelovou konstrukcí. Projektová příprava montáže má obdobný význam jako vlastní návrh konstrukce. Ovlivňuje tvar a rozměry prvků konstrukce. Montážní postup může mít přímý vliv na výsledné rozložení vnitřních sil v konstrukci. U konstrukce zastřešení Sazka (O₂) areny a hangáru v Mošnově se díky použití předpjatých táhel podařilo dosáhnout nízkých hmotnostních parametrů k optimalizaci montáže konstrukce a tím i snížit nároky na použité mechanismy. U hangáru navíc ke snížení ceny díla přispělo použití hydraulického zdvihu konstrukce smontované na zemi. Aréna v Chomutově je zajímavá zejména montáží střechy zavěšené na nosném oblouku. Kotvený stožár v Křešíně zaujme jednoduchou a účinnou šplhavou montážní pomůckou a novým typem napínacího zařízení. Cenu výměny kotlů v elektrárně Pruněřov pomohla výrazně snížit montáž bez použití těžkých jeřábů manipulací pomocí hydraulických jednotek a lan.

ENGLISH SUMMARY

The Assembly of Atypical Large-Span, High-Rise and Technical Building Works with Steel Structures

The article presents examples of the assembly of five significant building works with steel structures. The project preparation of assembly is of similar importance to the design of the construction itself, and influences the shape and dimensions of construction components. The method of assembly may have a direct influence on the resultant play of internal forces within a construction. In the construction of the roofing of the Sazka Arena (O₂ Arena) and the hangar in Mošnov, the use of pre-stressed tie rods made a significant reduction to the weight of the construction possible and thereby reduced demands on the mechanisms used. For the hangar, what's more, the use of hydraulic lifting of the construction assembled on the ground contributed to reducing the price of the work. The Arena in Chomutov is particularly interesting for the assembly of the roof suspended on a load-bearing arch. The anchored tower in Křešín is interesting for its simple and effective climbing assembly aid and a new type of tensioning equipment. Assembly without the use of heavy cranes with the help of hydraulic units and cables helped achieve a significant reduction to the price of the replacement of boilers at the Pruněřov power plant.

Obr. 2 Zastřešení Sazka (O₂) areny ve tvaru kulového vrchlíku

Obr. 3 Montáž středního válce ze dvou částí

a podmínky jejich použití. Vázací prostředky mají své výrobové normy, a tedy specifikovanou únosnost. Podstatné je však zakotvení vázacích prostředků k manipulované ocelové konstrukci. Manipulační oka musí být dostatečně únosná, musí respektovat možnosti úvazů ve vztahu k těžišti a musí být schopna sílu také bezpečně přenést do manipulovaného ocelového dílu. Nedílnou součástí montáže pak tvoří geodetické sledování konstrukce a defektoskopie montážních svarů.

Při montáži ocelové konstrukce se kromě zdvihu dílců jeřábem používají i další montážní postupy a prostředky. V mostním stavitelství se často používá výsuv konstrukce postupně montované na břehu přes trvalé a dočasné podpory v řece s využitím hydrauliky. Montáž ve vysokých polohách, nedostupných pro jeřáb, může zajistit vrtulník. V některých případech jsou pak jedinou možností šplhavé montážní pomůcky, které se posunují po již namontované konstrukci. Speciální kapitolou je zdvih celých konstrukčních částí smontovaných na zemi. Hydraulické jednotky jsou umístěny buď pod konstrukcí a posunují se po krocích omezených zdvihem lisu, nebo nad zdvihaným objektem, který je pak zavěšen v mnoha bodech na laněch nebo tyčích.

Postup montáže má často významný vliv na výsledné rozložení vnitřních sil. Konstrukce si „pamatuje“ svou napjatost v průběhu montáže. Současný software umožňuje zahrnout tuto skutečnost poměrně jednoduše do návrhu konstrukce. V poslední době se často používá u ocelových konstrukcí dříve opomíjená metoda redistribuce vnitřních sil v konstrukci vnášením předpětí zpravidla do táhel. To přináší do montáže konstrukce další technologie jako hydraulické předpínání táhel na volné délce a tenzometrická i frekvenční měření jejich napjatosti. Pro bezpečný a efektivní postup montáže jsou nezbytné podrobně zpracované předpínací postupy se zahrnutím postupně se měnícího statického schématu konstrukce.

Proces montáže je tak obdobně důležitý jako výroba ocelové konstrukce, může i předurčovat dělení konstrukce, typ spojů, nebo i dimenze jednotlivých částí ocelové konstrukce. Projektová příprava montáže je pak v mnoha případech, zejména u složitějších konstrukcí, obdobně náročná a obsáhlá jako návrh konstrukce pro trvalé návrhové situace.

V následujícím textu uvádíme i spolu s odkazy na příslušnou literaturu přehled pěti významných realizací

konstrukcí v České republice z posledních let, které jsou zajímavé z hlediska konstrukčního řešení a s tím souvisejícího použití technologie montáže.

► Sazka (dnešní O₂) arena je zajímavá zvoleným konstrukčním řešením prostorového předpjatého vzpínadla s radiálním uspořádáním vazníků se spodním táhlem, které logicky odpovídá tvaru kulového vrchlíku. Montáž konstrukce na střední podpoře na omezeném prostoru vyžadovala pečlivou teoretickou přípravu s monitorin- gem tvaru a napjatosti konstrukce. V tomto případě bylo poprvé v ČR použito hydraulické předepnutí táhel prostorové konstrukce s tenzometrickým měřením za účelem jejího nadvýšení a redistribuce vnitřních sil.

► U hangáru v Mošnově bylo díky použití předpjatých táhel dosaženo při rozpětí 145 m hmotnosti ocelové konstrukce zastřešení 79 kg/m². Technologie zdvihu zkompletované střešní konstrukce po montáži vlastní ocelové konstrukce na zemi, a to včetně střešního pláště a všech technologických zařízení umístěných ve střešním prostoru, pomohla výrazně zkrátit dobu výstavby a přinesla i úsporu těžké jeřábové techniky.

► Stožár o výšce 250 m v Křešíně u Pacova s příhradovým trojbokým tělesem kotveným lany v pěti úrovních do tří směrů je po třiceti letech v ČR první stavbou obdobného významu a charakteru. Projekt přinesl významné inovace, jako napínací zařízení z tyčí s válcovaným závitem nebo tenzometrické měření sil v táhlech napínacího zařízení. Pro montáž byla vyvinuta jednoduchá a snadno ovladatelná šplhavá montážní pomůcka.

► SD Aréna v Chomutově má střešní konstrukci zavěšenou na rourovém oblouku. Přestože je hala objemově úsporná, střední světlá výška je vzhledem k malé konstrukční výšce vazníků vyšší než u klasické konstrukce, což vytváří prostor pro alternativní využití arény. Navržené řešení je navíc úsporné z hlediska pořizovacích nákladů a provozu. Zajímavá je montáž „od střechy dolů“, kdy se začalo montáží oblouku a jeho stabilizací předepnutím dvěma dvojicemi táhel. Střecha byla následně zavěšována na vazník od středních dílů. Předpínání táhel (závěsů) pak zajistilo příznivou redistribuci vnitřních sil jak v oblouku, tak ve střešní konstrukci.

► Součástí rekonstrukce kotelny elektrárny Prunéřov II byla i výměna hlavní technologické součásti, kotlů 23, 24 a 25. Pro demontáž a montáž těchto částí byl zvolen

netradiční postup spouštění a zdvihu bez použití velkého jeřábu. Hlavním úkolem se proto stal návrh pomocné konstrukce pro zavěšení starých i nových kotlů tak, aby respektovala možnosti zavěšení nosných ocelových roštů kotle a geometrické a pevnostní možnosti stávající hlavní konstrukce budovy. Pro spouštění staré konstrukce včetně závěsů a nosného ocelového roštu s postupným odebíráním v úrovni podlahy a zdvih nové konstrukce s postupnou montáží odspodu byla navržena montážní ocelová příhradová konstrukce, na které je umístěna soustava hydraulických lisů pro manipulaci s lany.

SAZKA ARENA (NYNÍ O₂ ARENA)

Dispoziční a konstrukční řešení

Pro ocelovou konstrukci střechy víceúčelové arény velkého rozpětí a vysoké intenzity zatížení koncertní technologií byla pro nosnou ocelovou konstrukci zvolena koncepce prostorového předpjatého vzpínadla. Konstrukce tvaru kulového vrchlíku (obr. 2) o průměru 135 m a vzepětí 9 m je tvořena 36 příhradovými vazníky s táhlem, které se radiálně sbíhají ke střednímu příhradovému dutému válci.

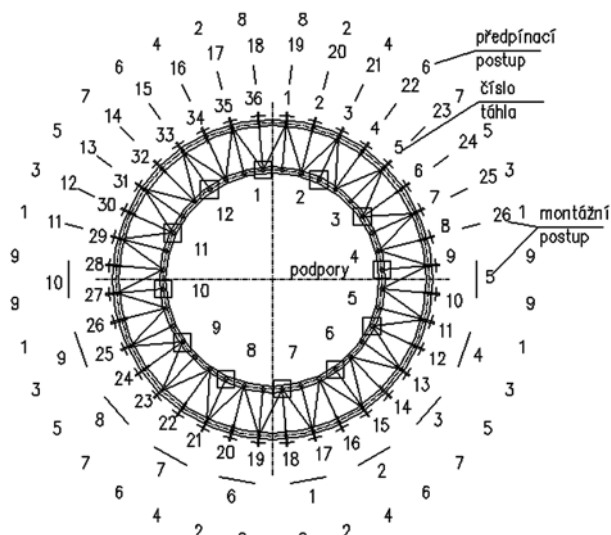
Na betonové konstrukci haly jsou vazníky uloženy na 32 ocelových kyvných sloupech a přes hrncová ložiska na čtyřech vetknutých sloupech spojených ve vrcholu s betonovými jádry. Sloupy jsou umístěny v půdorysném průmětu prostorové křivky průniku kulového vrchlíku a oválu arény. Portálová a tyčová ztužidla v soustředných kruzích částečně silově spolupůsobí s vazníky a spolu se zavětrováním střešní roviny zajišťují celkovou stabilitu střechy.

Montáž

Střední příhradový válec byl na místě stavby na zemi svařen do dvou částí. První tvořil spodní prstenec se sloupy a vzpěrami a druhou dva horní prstence. Po geodetickém zaměření skutečného tvaru obou částí po svaření byly obě části vyzdviženy jeřábem (obr. 3) na střední dočasnou podporu (pižmo) tak, aby vzájemné odchylky směrů obou částí s ohledem na teoretické osy byly co nejmenší. Optimalizace polohy obou částí válce byla provedena s použitím prostorových počítačových modelů obou zaměřených částí.

Spodní kruhový pas válce byl uložen na pižmu na dvanácti hydraulických lisech (obr. 4) o nosnosti 100 t. Montážní styk obou částí středního válce je svařovaný. Sloupy jsou stykovány přes kruhovou desku vymezující povolené tolerance excentricity přípoje svislých prvků (obr. 5). Na základě vyhodnocení výsledků zaměření středního válce po svaření a vazníků sestavených v mostárně byl s ohledem na montáž určen pro každý přírubový styk přesný počet vložek.

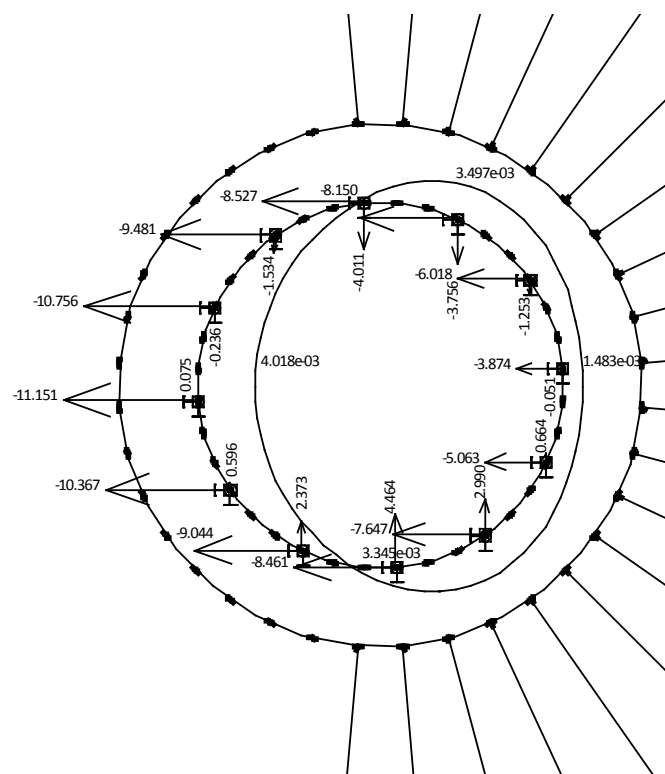
Pro montáž byly na staveništi z dispozičního hlediska složité poměry. K jedné straně haly přiléhá konstrukce malé arény, která znemožňuje přístup jeřábu, a tím i symetrickou montáž. Z toho důvodu bylo dvacet vazníků montováno po dvojicích ze dvou pozic uvnitř arény (obr. 7) a zbylých šestnáct jednotlivě ze dvou stanišť vně arény (obr. 8) jeřábem o nosnosti 800 t. Táhl byla montována společně s vazníky. Postup montáže je zřejmý z obr. 4. Při asymetrické montáži vznikaly účinky části namontované konstrukce na dočasnou podporu, které bylo nutno pro návrh dočasné podpory vyčíslit.



Obr. 4 Postup montáže a předpínání vazníků



Obr. 5 Montážní spoj svislic středního válce



Obr. 6 Reakce v podporách [kN] a deformace spodního prstence [mm] středního válce po montáži dvaceti vazníků



Obr. 7 Montáž vazníků a táhel po dvojicích



Obr. 8 Montáž vazníků jednotlivě



Obr. 9 Konstrukce na pížmu po montáži dvaceti vazníků

	Pokles konstrukce [mm]	Nárůst síly v táhle [kN]	Posun v ložisku [mm]
Teoretický	65	285	4
Změřený	50	251	4

Tab. 2 Teoretické a skutečné síly a deformace konstrukce při spuštění středového prstence z provizorních podpor

K výpočtu reakcí jednotlivých montážních stavů byl použit model konstrukce podepřený na dvanácti podpórách s příslušným počtem vazníků. Největší horizontální účinky na podporu vykazoval teoretický montážní stav po desátém zdvihu, tedy konstrukce po uložení dvaceti vazníků (obr. 6, 9).

Dočasná podpora byla posouzena na dvojnásobné hodnoty vodorovných reakcí vypočtených hodnot a po každém montážním kroku byl geodeticky zaměřen tvar spodního prstence válce a porovnán s teoretickými hodnotami. Při montáži byla táhla začepována na vazník a zavěšena na několika lanových zvedácích těsně pod jeho spodním pasem (obr. 7). Vzdálenost zvedáků byla zvolena tak, aby nedošlo při spuštění táhel k jejich přetížení, případně ohybu či poškození. Po připojení vazníku k střednímu válci a na sloup byla táhla spuštěna do předem připravených lankových závěsů ve vzdálenosti 5 m, které vymezily zvolený průvės. Ten byl určen pro každé táhlo tak, aby nelineární složku jeho tuhosti bylo možno ve výpočtu zanedbat.

Po dokončení konstrukce byla táhla předepnutá hydraulickým zařízením podle předem připraveného předpínacího postupu s použitím vztahové matice vzájemného ovlivňování táhel (tab. 1). Síly byly měřeny tenzometricky. Předepnutím se částečně eliminovala polovina průhybu konstrukce od vlastní hmotnosti (tab. 2) a došlo k příznivé redistribuci vnitřních sil v konstrukci. Poté byla konstrukce spuštěna z pížma na hydraulických lisech a začala definitivně plnit svou nosnou funkci.

Táhlo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	530	-130	-51	-11	12	28	39	45	51
2	-135	583	-73	-24	1	21	34	42	47
3	-48	-71	593	-70	-26	5	21	31	37
4	-11	-24	-66	543	-54	-9	9	20	26
5	11	0	-24	-53	490	-32	-7	6	13
6	25	19	5	-8	-32	438	-40	-12	-6
7	38	31	21	9	-7	-43	457	-54	-36
8	46	41	32	22	8	-13	-56	442	-89
9	52	46	38	27	13	-6	-39	-89	412

Tab. 1 Vzájemné ovlivňování táhel při napínání symetrických čtveřic táhel

Architekti: Ing. arch. Martin Vokatý, Ing. Vladimír Vokatý, ATIP, a.s.
Statika ocelových konstrukcí: Ing. Vladimír Janata, CSc., Ing. Jan Včelák, EXCON, a.s.
Montáž: Hutní montáže, a.s., Ostrava



Obr. 10 Konstrukce střechy hangáru po zdvihu



Obr. 11 Hydraulické jednotky na vrcholech sloupů před zdvihem střechy

OCELOVÁ KONSTRUKCE HANGÁRU NA LETIŠTI OSTRAVA – MOŠNOV

Realizační projekt ocelové konstrukce a opláštění nového hangáru v Mošnově byl zpracován se snahou optimalizovat konstrukci v rámci tohoto projektu z hlediska hmotnosti při významném zjednodušení montáže a zkrácení doby výstavby. Toho bylo dosaženo zejména náhradou tuhých spodních pasů dvojicemi předpjatých táhel a technologií hydraulického zdvihu konstrukce předem smontované na zemi včetně střešního pláště.

Koncepční návrh a dispozice

Mošnovský hangár sestává ze dvou objektů. Prvním je hlavní hangárová hala o rozměrech $143,5 \times 80$ m, druhým přilehlá servisní pětipatrová budova, která zároveň tvoří zadní stěnu hangárové haly.

Střecha hlavní hangárové haly je tvořena sedmi příhradovými obloukovými vazníky o rozpětí 143,5 m s konstrukční výškou 12 m uprostřed rozpětí, kloubově uloženými na čtrnácti vetknutých čtyřbokých příhradových obdélníkových sloupech (obr. 10). Osová vzdálenost vazníků 12 m byla zvolena jako optimální pro použití velkorozponových střešních panelů. Čela konstrukce tvoří příhradové konstrukce nad vraty a nad servisní budovou konzolovitě zavěšené vždy 4 m od hlavních vazeb. Ve střešním prostoru jsou dva systémy vodorovných ztužidel.

S ohledem na použitý bezvaznicový systém je horní ztužení v rovině obloukového horního pasu z tyčových trubkových prvků a spodní ztužení v rovině spodních pasů vazníků tvoří křížová ztužidla z předpjatých táhel M48, která přenášejí zejména vodorovné silové působení větru na vrata přes horní kolejnici v nadvratovém nosníku. Stabilita konstrukce je zajištěna ve směru délky vazníku ohybovou tuhostí vetknutých sloupů (obr. 11) a v druhém směru dvěma křížovými ztužidly v každé stěně z předpjatých táhel M76 (obr. 12). Horní pas všech obloukových příhradových vazníků má konstantní dimenzi – trubka 610×18 mm. Diagonály a svislice vazníků jsou rovněž trubkové. Dolní pas vazníků tvoří dvojice táhel Macalloy 520 s válcovaným závitem M105. Jednotlivé dílce táhel dlouhé 6 m jsou spojeny přes napínákové matice v rámci styčnicku zahrnujícího táhla i tuhé prvky (obr. 13) a na koncích vazníků jsou přes čepy a koncovky spojeny přes koncový svařenec s obloukovým horním pasem (obr. 14).



Obr. 12 Napínání stěnové diagonály



Obr. 13 Styk spodního pasu vazníku (dvě táhla M105) s diagonálami, svislicí a příčným ztužením

Montáž

Montáž ocelové konstrukce střechy započala sestavením dvojic táhel spodního pasu vazníku a jejich spojením po 12 m na svařenci umístěném na provizorní podpoře. Poté byla dokončována montáž vazníků a ztužidel. Po dokončení montáže byla konstrukce provizorně podepřena každých 12 m v obou směrech. Konstrukce byla smontována v nadvýšeném a zkráceném stavu tak, aby se eliminoval její pozdější průhyb a protažení od stálého zatížení. Po dokončení předmontáže byla táhla vazníku



Obr. 14 Zdvih konce vazníku hydraulickými lisami



Obr. 15 Střecha hangáru při zdvihu

i ztužidel předepnuta na stanovenou úroveň. Následně byla konstrukce aktivována nadzdvížením konců vazníků hydraulickými lisami a tím i uvolněna ze středních provizorních podpor (obr. 14).

Tak bylo do táhel vneseno další předpětí vlivem vlastní hmotnosti. Na aktivovanou konstrukci se poté namontoval střešní plášť a střešní technologie. Konstrukci pak na vrchol sloupů vytáhlo čtrnáct zdvihových jednotek o nosnosti 125 t (obr. 15). Stěnová ztužidla byla předepnuta hydraulickým napínacím zařízením technotensioner na napínacích maticích ve dvou krocích (obr. 12). Poprvé byly diagonály předepnuty před zdvihem konstrukce a podruhé po zdvihu tak, aby se odstranil vliv zkrácení sloupů po jejich zatížení. Úroveň předpětí byla zvolena tak, aby se při následném zatížení sněhem a větrem v průběhu životnosti táhla (diagonály) neuvolnila. Během procesu aktivace, montáže a předpínání byla konstrukce sledována z několika hledisek. Předpětí táhel v průběhu aktivace se měřilo tenzometry a souběžně akcelerometry. Dále byly sledovány deformace konstrukce ve svislém i podélném směru. Všechny naměřené hodnoty byly průběžně srovnávány s teoretickými projektovanými hodnotami.

Generální projektant:

HUTNÍ PROJEKT OSTRAVA a.s.

Statika ocelových konstrukcí:

Ing. Vladimír Janata, CSc.,

Ing. Miloslav Lukeš, EXCON, a.s.

Montáž: Hutní montáže, a.s.,
Ostrava

Zdvih střechy: Ing. Petr Ševčík,
VSL SYSTÉMY /CZ/, s.r.o.

ATMOSFÉRICKÁ STANICE KŘEŠÍN

Atmosférická stanice Křešín u Pacova, jejíž součástí je nový příhradový kotvený stožár o výšce 250 m určený výhradně pro vědecké účely, byla dokončena v červnu 2013. Je součástí projektu CzechGlobe (Centrum výzkumu globální změny), který se zaměřuje na zkoumání globálních změn klimatu v České republice. Stožár takového významu a výšky byl v České republice postaven po třiceti letech. Stožár je vybaven ochozy a plošinami pro měřicí aparatury, žebříkem s bezpečnostní lištou a šplhavým výtahem vyvinutým speciálně pro tuto stavbu.

Dispoziční a konstrukční řešení

Kotvený příhradový stožár (obr. 17) o celkové výšce 250 m je kotven v pěti kotevních úrovních do tří směrů. Lana každého směru jsou zakotvena do jedné centrální gravitační patky ve vzdálenosti cca 106 m od paty stožáru. Sklon horních kotevních lan je tak nezvykle velký, až 64° (obr. 16). Těleso stožáru je příhradové trojboké (obr. 17) o šířce stěny 2600 mm do úrovně 232,54 m. Šířka stěny vrcholové části nad 237,58 m je 1500 mm. Mezi úrovněmi 232,54 m a 237,58 m se stožár kónicky zužuje.

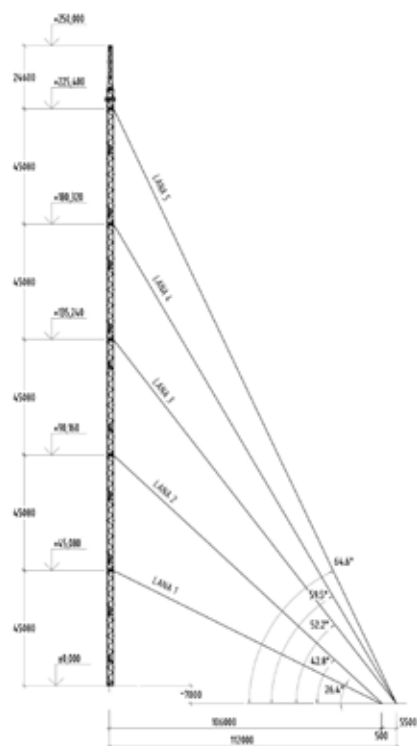
Kotevní lana o průměru 40 mm (úroveň 1–3), respektive 50 mm (úroveň 4–5), zakončená zaléváními svařovanými koncovkami, jsou jednoramenná vinutá z pozinkovaných patentových drátů o jmenovité pevnosti 1570 mm s výškou vinutí 1 : 12. Pro stožár byl vyvinut nový druh napínacího zařízení lan (obr. 20) z tyčí s válcovanými závitmi M76 (M85) spojenými napínákovou

maticí s koncovkami na obou koncích. Napínací síla se vnáší dvěma hydraulickými lisami přes tři příčníky kotvené na závitech hlavní tyče a dvě závitové tyče M24.

Montáž

Na stavbu byly dopraveny prostorové trojboké díly, které byly vzájemně spojovány šrouby přes příruby nárožníků. Nejprve byl pomocí jeřábu postaven patní díl (obr. 21) a dva běžné díly. V této fázi se vložily mezi příruby patního dílu a kotevních protikusů vložky a příruby byly sešroubovány. Konstrukce tak působila jako vetknutá. Na takto smontovanou konstrukci byla instalována šplhavá montážní pomůcka speciálně vyrobená pro tento účel. Jedná se o tyč (trubku) s mechanicky otočnou konzolou kotvenou k tělesu přes dva příčníky (obr. 18).

Jednotlivé díly byly zvedány přes trojbokou šablonu zavěšenou na háku pomůcky. Zdvihové lano bylo vedeno vnitřkem trubky a převedeno dvěma kladkami na otočnou konzolu. Zdvihové lano bylo taženo desetitunovým vrátkem. Další díl byl vyzdvižen nad úroveň stávající konstrukce a po otočení konzoly pomůcky usazen na její vrchol (obr. 19). Poté byla pomůcka zakotvena do nového příčníku, který byl předem připraven na zdvihání dílu, a vyzdvižena vrátkem o délku jednoho dílu. Výše uvedený postup se opakoval až po dosažení kotevního dílu. Po montáži kotevního dílu byl obdobným způsobem namontován ještě jeden běžný díl a následovala montáž kotevních lan. Kotevní lana se zdvihala přes kladky umístěné na koncích trojboké šablony.



Obr. 16 Dispozice stožáru



Obr. 17 Příhradové těleso stožáru



Obr. 18 Šplhavá montážní pomůcka



Obr. 19 Montáž dílu stožáru pomůckou



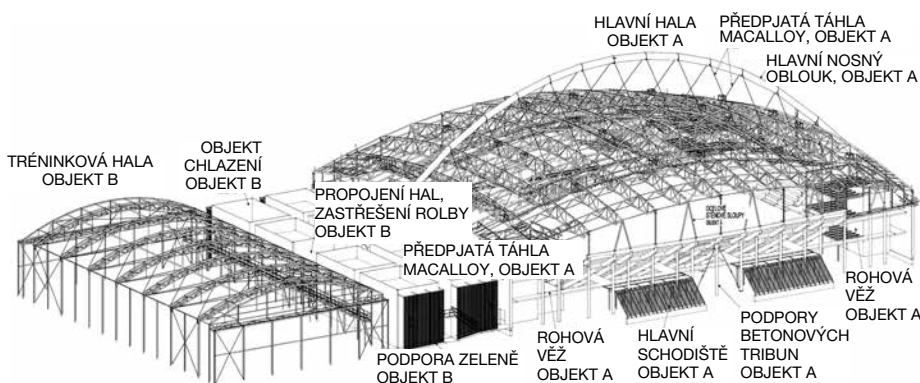
Obr. 20 Montáž lana do napínacího zařízení



Obr. 21 Patní díl, kloub s torzním vetknutím

Zdvihové lano bylo vedeno přes kladku příslušného kotevního směru. Následoval zdvih kotevního lana, které bylo připojeno do kotevního dílu přes kloubovou spojku. Po zakotvení tří kotevních lan ke dřívku stožáru byla lana pomocí vrátků a kladkostrojů současně natažena k základovým blokům a připojena k napínacím zařízením s vyvozením síly cca 10 t (obr. 20).

Zbylé předpětí bylo vnášeno dvěma hydraulickými lisami na napínacím zařízení. Předpětí se měřilo tenzometry nalepenými v konfiguraci plného můstku na tyč napínacího zařízení. Po instalaci první kotvy byly vyjmuty vložky v patním dílu, který začal plnit funkci kloubu s torzním vetknutím (obr. 21). Stožár byl v průběhu montáže provizorně kotven (lany o průměru minimálně 20 mm)



Obr. 22 SD Aréna v Chomutově – dispoziční uspořádání



Obr. 23 Montáž oblouku na provizorních podporách



Obr. 24 Konstrukce po zakrytí střešním pláštěm

vždy v polovině délky pole mezi kotvami. Po dokončení hrubé montáže nosné konstrukce se montovaly další konstrukce vybavení a příslušenství (ochozy, plošiny, kabelové lávky, osvětlení, elektro atd.). Na závěr byl stožár rektifikován, tzn. do kotevních lan byly vneseny projektované síly spolu s kontrolou svislosti a přímosti stožáru.

Statika ocelových konstrukcí:

Ing. Vladimír Janata, CSc.,

Ing. Jiří Lahodný, EXCON, a.s.

Montáž: EXCON, a.s.,

a ALLMONT STEEL, s.r.o.

SD ARÉNA V CHOMUTOVĚ

Aréna v Chomutově pro 5000 diváků tvoří součást centra sportu a volného času, které vzniklo na místě bývalých kasáren poblíž Kamencového jezera. Na základě tvarové představy architekta s vazbou na okolní zvlněný terén předhůří Krušných hor byl zvolen zajímavý konstrukční systém vnějšího oblouku a střechy oblého tvaru se dvěma křivostmi zavěšené na oblouk na předpjatých táhlech (obr. 22).

Konstrukční a dispoziční řešení stavby

Střešní konstrukce (obr. 24) je nesena superkonstrukcí – hlavním nosným vnějším obloukem v podélné ose stadionu (obr. 23). Oblouk je tvořen rourou o průměru 1000 mm, rozpětí 120 m a vzepětí 28 m. Oblouk je podepřen vně haly dvěma dvojicemi šikmých předpjatých táhl, jež jsou kotveny k patkám. Na oblouk jsou zavěšeny na šikmých táhlech příhradové trubkové vazníky na rozpětí maximálně 71 m při vzepětí 3,5 m. V podélném směru má střecha při rozpětí 82,5 m vzepětí cca 4,9 m. S ohledem na podepření táhl z oblouku činí konstrukční výška vazníků pouze 2 m, což vytváří při pohledu z interiéru do střešní klenby dojem velmi subtilní konstrukce (obr. 28). Vazníky jsou uloženy na dvě protilehlé podélné tribuny na ocelových sloupech.

Montáž

Oblouk byl zakotven do základového bloku přes čep o průměru 150 mm. Vodorovná síla od obloukové



Obr. 25 Zavěšení střední části příhradové konstrukce



Obr. 26 Konstrukce střechy zavěšená na oblouku



Obr. 27 Asymetrická montáž střešní konstrukce



Obr. 28 Konstrukce střechy po montáži

konstrukce je přenesena předpjatým zemním betonovým táhlem vedeným pod ledovou plochou mezi oběma základy oblouku.

Po zabetonování kotevního roštu a částečné aktivaci zemního táhla byl na provizorních lešenářských podporách smontován oblouk. Tyto podpory sloužily jednak k vlastnímu přenesení montážního zatížení v průběhu prací a zároveň jako pracoviště pro provedení montážních svarů, jejich diagnostiky a oprav náterrů. Jednotlivé díly byly k výztuze ve tvaru mezikruží přivařeny montážním tupým svarem s ultrazvukovou kontrolou na vnitřní kruhové podložce.

Klenák (vrcholový díl) byl přivařen bez podložky. Po svaření oblouku bylo nutno oblouk spustit z provizorních podpor, aby při nočním snížení teploty nedošlo k jejich přetížení. Krajní táhlové podpory oblouku byly potom kontrolovány předepnuty tak, aby bylo dosaženo příznivé redistribuce sil v oblouku,

projektovaného tvaru a zároveň byl oblouk srovnán do předepsané podélné přímosti.

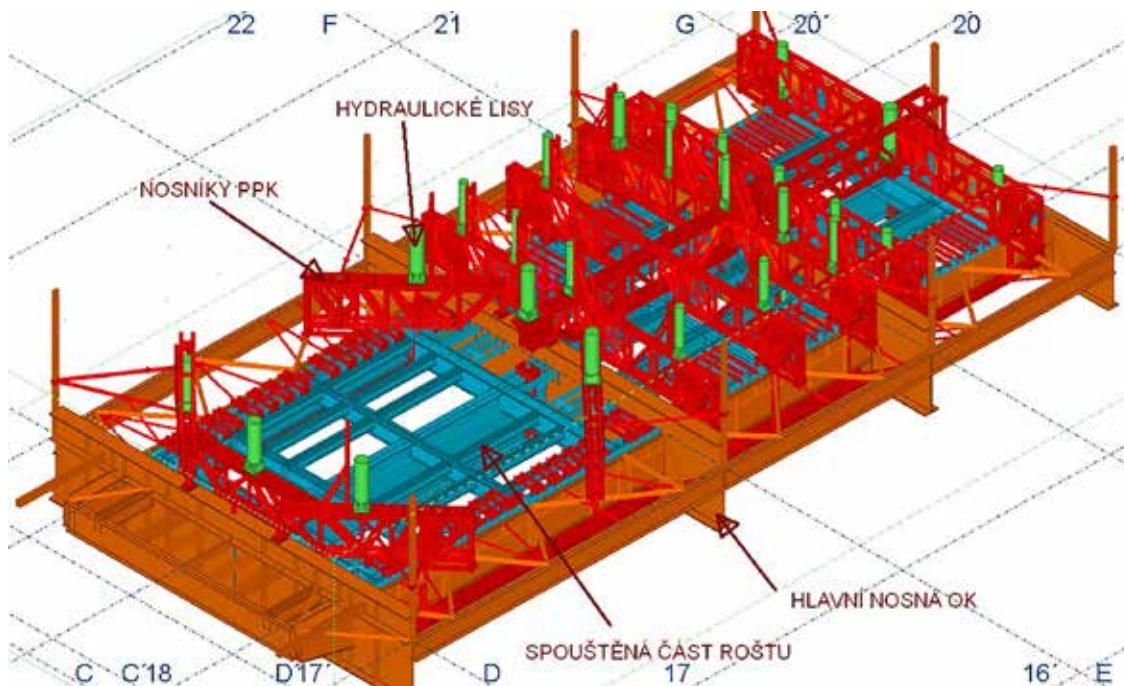
Montáž střechy byla zahájena středními dílci přímo zavěšenými na hlavní oblouk (obr. 25). Předmontážní činnost spočívala vždy v přípravě dvojice sousedních částí vazníků včetně kompletního výpletu v prostoru budoucí ledové plochy pod místem určení. Tyto bloky byly poté zdviženy dvěma mobilními jeřáby. Šikmá táhla Macalloy se namontovala třetím menším jeřábem za stálého držení břemena střechy dvěma většími jeřáby. Po jejich instalaci se tyto bloky postupným popouštěním ze dvou větších jeřábů zavěsily na konstrukci hlavního oblouku (obr. 26).

S ohledem na postup výstavby bylo nutno krajní části vazníků namontovat vždy po dokončení příslušné betonové tribuny. Jejich termín dokončení měl však vzájemný několikátýdenní rozdíl, proto v určité fázi výstavby byla střešní

konstrukce zavěšena na oblouk asymetricky podle podélné osy oblouku (obr. 27). Teprve po dokončení obou podélných tribun byly střešní vazníky propojeny po celé své délce a podepřeny na krajích ocelovými trubkovými sloupky.

Návrh konstrukce využil vnesením předpětí příznivou redistribuci vnitřních sil v oblouku i ve vaznicích. Předpínací postup s využitím vztahové matice pro vzájemné ovlivňování táhel byl optimalizován metodou lineárního programování. Předpětí se měřilo tenzometricky. V průběhu montáže bylo dopnuto na projektovanou hodnotu i zemní táhlo.

Architekt: prof. akad. arch. Jindřich Smetana
Statika ocelových konstrukcí: Ing. Vladimír Janata, CSc., Ing. Jindřich Beran, EXCON, a.s.
Montáž: EXCON, a.s., Metrostav a.s.



Obr. 29 Vizualizace PPK a lisů pro spouštění stávajícího kotle

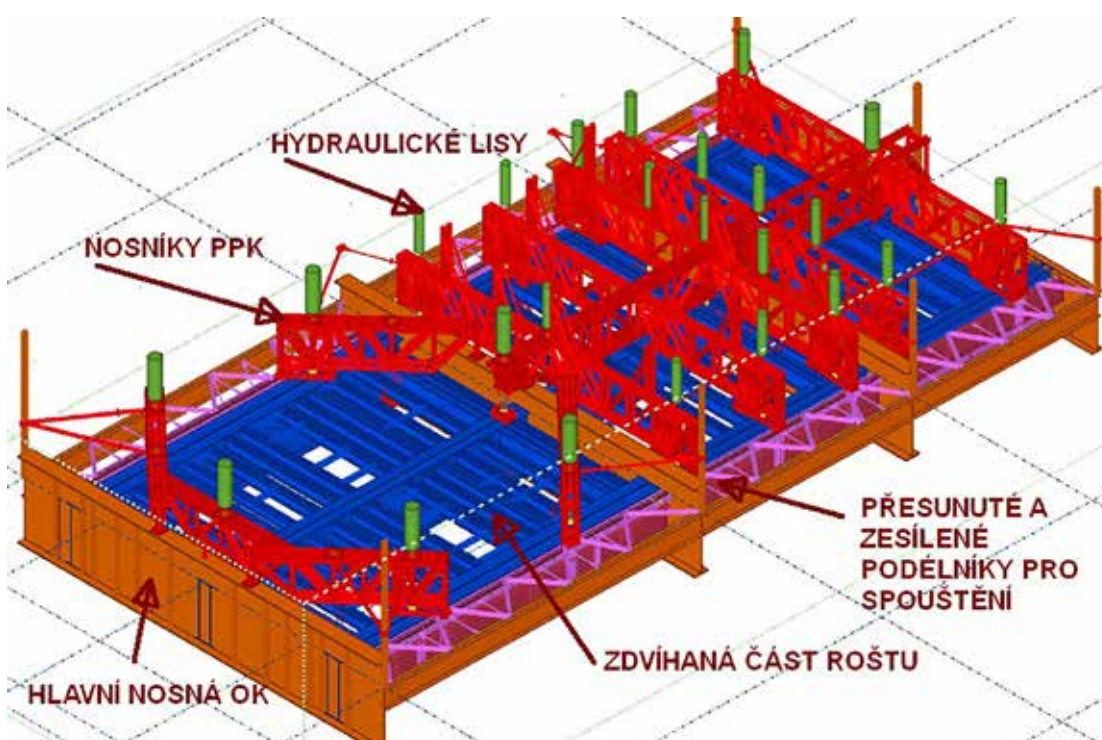
VÝMĚNA KOTLŮ V ELEKTRÁRNĚ PRUNÉŘOV II

Pro demontáž a montáž kotlů byl zvolen netradiční postup spouštění a zdvihu. Pro spouštění staré konstrukce včetně závěsů a nosného ocelového roštu s postupným odebráním v úrovni podlahy a zdvih nové konstrukce s postupnou montáží odspodu byla navržena montážní ocelová příhradová konstrukce (PPK), na které je umístěna soustava hydraulických lisů.

PPK (obr. 29, 30) je tvořena dvojicemi příhradových šroubovaných nosníků, na které jsou doprostřed osazeny hydraulické lisy a jejichž vnitřní mezerou procházejí nosné svazky lan. V nejnižší části střechy, kde již není dostatek místa pro osazení lisů na horní hranu

nosníků, byly tyto oddáleny tak, aby se lisy mohly osadit na příčníky při úrovni spodních pasů. Pro montáž PPK a osazení lisů byl každý kotel vybaven podvěsným mostovým jeřábem o nosnosti 3,2 t drahami zavěšenými do střešní konstrukce.

PPK je uložena na příčných nosnících hlavní nosné konstrukce a na podélnících po stranách roštu kotle. Pro spouštění byly podélníky vytvořeny zesílenými vnějšími dříky rozpálených obvodových PI profilů, které zůstaly v pozici, zatímco vnitřní dřík byl spolu se zbytkem roštu spuštěn. Pro zdvih nového kotle byly dříky původního roštu dozesíleny a rozsunuty směrem od sebe, aby se mezi ně vešel širší nový nosný rošt kotle. Část prvního tahu (mezi osami D až E) byla spouštěna na šesti lisech o nosnosti



Obr. 30 Vizualizace PPK a lisů pro zdvih nového kotle s využitím přesunutých podélníků spouštění



Obr. 31 Horní část objímky uchycení lan



Obr. 32 Nosný rošt 2. tahu a mezitahu stávajícího kotle při spouštění

400 t, část mezitahu a druhého tahu (mezi osami E až G) společně na celkem dvaceti lisech o nosnosti 40, 140, 200 a 400 t. Pro zdvih byl pro část mezitahu a druhého tahu počet lisů zredukován na čtrnáct díky příznivějšímu uspořádání prvků nosné konstrukce roštu kotle.

Horní hrana nosného roštu kotle je umístěna na úrovni 67,500, membránový strop kotle je podvěšen cca 8,35 m pod ním. Celková délka spuštění a zdvihu nosného roštu prvního tahu (obr. 33) a mezitahu činí cca 65 m, druhý tah (obr. 32) byl spouštěn a montován na patře 14,0. Délka spuštění a zdvihu této části je tedy cca 51 m. Lana závěsů byla ke konstrukci roštu kotle uchycena pomocí objímek nosníků roštu (obr. 31), spojených tyčemi pevnosti 1050 MPa. Do horního dílu je zachycen kotevní prvek lana. Nosníky roštu stávajících i nových kotlů jsou v místech objímek závěsů vyztuženy svislými výztuhami.

V průběhu procesu zdvihání a postupné montáže těles kotlů byly při každém pohybu vyhodnocovány odečtené tlaky na ovládání hydraulických lisů. Hodnoty se porovnávaly s hodnotami očekávanými, byla sledována symetrie zatížení a maximální hodnoty povolených tlaků. Dále byla v pravidelných intervalech kontrolována geometrie a svislost montážní konstrukce ve vybraných bodech, aby se vyloučila možnost neočekávané nadměrné deformace, nárůstu počáteční imperfekce, stabilitních problémů stávajících konstrukcí apod. Oproti standardní metodě s použitím velkého jeřábu přinesla nová metoda významné finanční a časové úspory. Vyžadovala však pečlivé vyhodnocování silových (na lisech) a geometrických parametrů v průběhu prací.

Statika ocelových konstrukcí: Ing. David Jermoljev, Ph.D., EXCON, a.s.

Koncepce návrhu: Ing. Daniel Riedl, Metrostav a.s.

Montáž: Metrostav a.s.

LITERATURA:

- [1] Janata, V.: *Víceúčelová Sazka arena ve Vysočanech*, Konstrukce, 2003, č. 4, s. 13–15.
- [2] Janata, V.: *Ocelová konstrukce střechy pro Sazka arenu*, Stavební obzor, 2004, č. 3, s. 65–70.
- [3] Janata, V.: *Sazka arena, Prague, Czech Republic*, Structural Engineering International, 2005, č. 1, s. 12–15.



Obr. 33 Nosníky 1. tahu směrem k mezitahu

- [4] Janata, V.; Lukeš, M.; Gregor, D.; Jermoljev, D.: *Ocelová konstrukce hangáru na letišti Ostrava – Mošnov*, Konstrukce, 2007, č. 4, s. 74–76.
- [5] Janata, V.; Lahodný, J.; Lukeš, M.; Dvorská, A.; Hanuš, V.: *Atmosférická stanice Křešín: nový kotvený stožár 250 m*, Stavebnictví, 2014, č. 5, s. 46–49.
- [6] Janata, V.; Beran, J.; Bém, Š.: *Ocelová konstrukce zastřešení zimního stadionu v Chomutově*, Konstrukce, 2010, č. 6, s. 14–17.
- [7] Jermoljev, D.: *Statika pomocných příhradových konstrukcí při výměně kotlů v elektrárně Pruněřov II*, Konstrukce, 2013, č. 2, s. 23–27.