

Předpjatá nosná ocelová konstrukce zastřešení Arény Brno

Nová multifunkční Aréna Brno, která vyrůstá v těsné blízkosti areálu Veletrhů Brno, patří k nejambicióznějším stavebním projektům v Jihomoravském kraji. Její střešní konstrukce, navržená jako prostorová předpjatá vzpínadlová konstrukce, představuje nejen technicky, ale i realizačně zajímavé dílo. Konstrukce s velkým rozpětím hlavních vazníků a kapacitou haly přes 10 000 diváků musí kromě vlastního zatížení nést i veškeré technologie stavby, včetně multimediální kostky a koncertního vybavení. Autoři z firmy EXCON detailně představují koncept a návrh ocelové konstrukce zastřešení, principy předpínání vzpínadlových vazníků, technologii výroby i postup montáže, při které sehrála klíčovou roli přesnost 3D modelu, koordinace předpínání a využití těžké jeřábové techniky.

Aréna nabídne flexibilní využití pro sportovní, kulturní i kongresové akce a má kapacitu až 13 000 diváků (obr. 1). Zadáním byly rozměry zastřešení a jeho tvar určený architektem, spolu s požadavky na umístění všech potřebných technologií stavby ve střešním prostoru včetně multimediální kostky. Konstrukce je navržena na umístění 100 t koncertních a divadelních technologií nesených střešní konstrukcí při jednotlivých akcích a při uvažování jejich asymetrického umístění v různých částech střešního prostoru.

DISPOZIČNÍ A KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Ocelová konstrukce zastřešení s půdorysnými rozměry $137,5 \times 95$ m (obr. 2 a 3) má ve střední části tvar válce zakončeného na obou stranách polovinou kulového vrchlíku.

Charakterově se jedná o prostorovou předpjatou vzpínadlovou konstrukci z materiálu S355 (obr. 4 a 5). Předpětím táhel se docílilo nadvýšení konstrukce (eliminace průhybu od zatížení vlastní tíhou konstrukce) a příznivé redistribuce vnitřních sil. Konstrukční systém táhel s válcovaným závitem Macalloy je z materiálu s mezí kluzu 520 MPa.

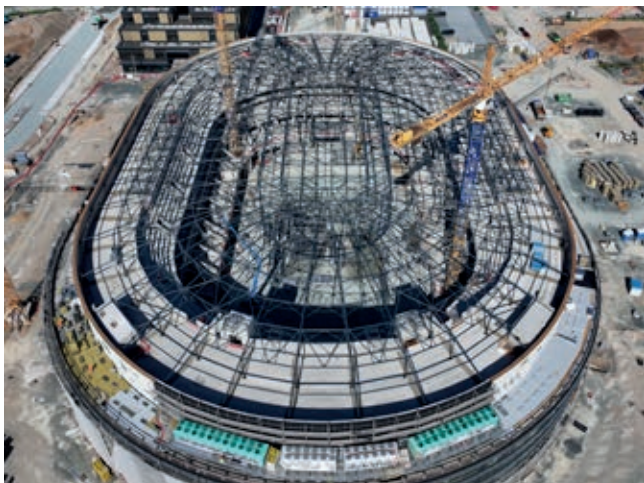
VÁLCOVÁ ČÁST STŘECHY

Střední válcová část, dlouhá 43 m, je tvořena šesti obloukovými předpjatými vzpínadlovými vazníky s rozpětím 80 m a vzepětím horního pasu 5 673 mm ve vzájemné odlehlosti 8 600 mm. Vazníky sestávají z rovinných příhradových trubkových nosníků se sestupnými diagonálami s konstrukční výškou 3 m

Obr. 1 – Aréna Brno – vizualizace.



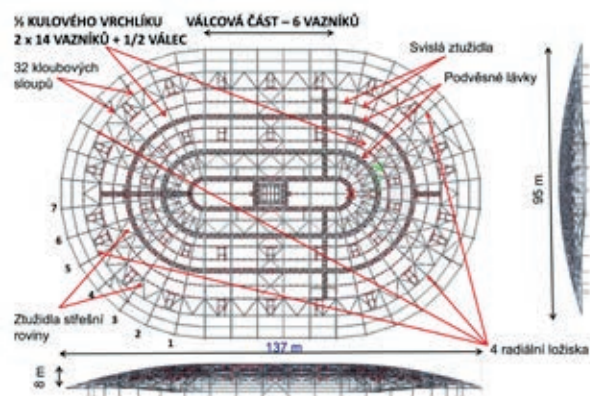
Vizualizace: A PLUS



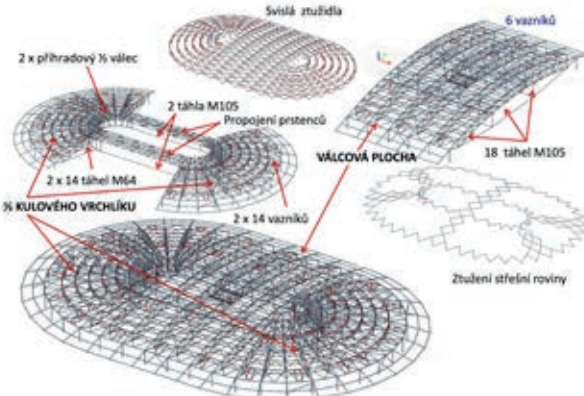
Obr. 2 – Konstrukce střechy, pohled shora.



Obr. 3 – Konstrukce střechy, pohled zdola.



Obr. 4 – Půdorys střechy.



Obr. 5 – Statické schéma střechy.



Obr. 6 – Připoj táhla a příhradového vazníku.



Obr. 7 – Připoj táhel a vzpěry vazníku.

a z trojice předpjatých táhel se závitem M105. Šikmá táhla jsou kotvena ve styku první krajní diagonály, svislice a spodního pasu příhradového nosníku (obr. 6) a ke svislé vzpěře (obr. 7) kloubově kotvené pod šestou (krajní vazníky), resp. sedmou (střední vazníky) svislicí na spodním pasu příhradového vazníku. Vodorovné táhlo propojuje oba spodní konce vzpěr. Trojice táhel s příhradovým nosníkem tvoří předpjaté vzpínadlo. Konstrukční výška vzpínadla 9 m (osová vzdálenost vrcholu horního pasu příhrady a táhla) ve válcové části umožňuje hospodárný návrh konstrukce.

KRAJNÍ ČÁSTI 1/2 KULOVÉHO VRCHLÍKU

Obě krajní části ve tvaru 1/2 kulového vrchlíku sestávají ze 14 krajních částí radiálních vzpínadlových vazníků, které jsou spojeny se středovou příhradovou konstrukcí ve tvaru poloviny válce o průměru 26 m a výšce 8,4 m. Radiální vazníky mají shodnou geometrii s vazníky z válcové části a jsou půdorysně rozmístěny rovnoměrně pod úhlem 12 stupňů. Oba pasy vazníků jsou kotveny do dvou vodorovných příhradových prstenců středního půlválce,



Obr. 8 – Připoj táhla ke kruhové trubce.



Obr. 9 – Připoj dlouhého táhla ke kruhové trubce.



Obr. 10 – Kyvný sloup.

táhla se závitem M64 pak ke spodnímu prstenci tvořeného jednou kruhovou trubkou (obr. 8). Oba horní příhradové prstence jsou vzájemně propojeny přes válcovou část pěti vodorovnými prvky (na každém konci prstence – celkem 8×) (obr. 5), které přenášejí výsledné tlakové síly. Spodní prstence jsou v koncových bodech v místě přípojí táhel krajních vazníků propojeny dvěma táhly (obr. 5 a 9), která přenášejí tahové síly. Spodní prstence jsou v poloze, jež respektuje přání architekta opticky zrcadlit mantinely ledové plochy ve střešní rovině. Tato poloha se ukázala jako vhodná i s ohledem na rozložení vnitřních sil v příhradové části vazníků.

SVISLÁ PORTÁLOVÁ ZTUŽIDLA A STŘEŠNÍ ZTUŽIDLA

Příhradové nosníky jsou ve styčnicích vzájemně propojeny trubkovými portálovými ztužidly, která plní funkci vaznic, zajišťují spodní pasy vazníků na vybočení a zároveň zajišťují prostorové spolupůsobení konstrukce jako celku. Na horním pasu portálů ve funkci vaznic je přes průběžný úložný plech kotven trapézový plech skládaného pláště. Konstrukce je dále doplněna zavětrováním ve střešní rovině z trubek, které zajišťuje tuhost konstrukce při vodorovném zatížení (např. vítr) a při zatíženích asymetrických.

SLOUPY

Konstrukce je uložena na 36 trubkových kyvných sloupech (obr. 10) a čtyřech sloupech vetknutých (obr. 11) pod vazníky umístěnými pod úhlem 42 stupňů (na straně jeviště), resp.



Obr. 11 – Vetknutý sloup s radiálním ložiskem.

30 stupňů (na opačné straně) od podélné osy (obr. 5). Poloha vrcholu vetknutých sloupů je zafixována vždy dvěma vzpěrami k betonovým konstrukcím šachet. Na vrcholu vetknutých sloupů je kalotové ložisko, které umožňuje vodorovný pohyb a natočení pouze ve směru půdorysné osy vazníku. Tak je zajištěna poloha střešní konstrukce nad betonovou konstrukcí stavby.

PEVNÉ A POHYBLIVÉ LÁVKY, MULTIMEDIÁLNÍ KOSTKA

Pro pohodlnou a rychlou přípravu různorodých akcí je konstrukce vybavena systémem pevných (obr. 4 a 12) a pohyblivých lávek, které jsou umístěny ve volném prostoru mezi vazníky a táhly. Multimediální kostka je zavěšena na plošině mezi dvěma prostředními vazníky, na které jsou i motory pro zdvih.

REALIZACE

Výroba

Výroba proběhla ve výrobním závodě EXCON v Teplicích (obr. 13), kde jsme zároveň předmontovali oba půlkruhy prstence. Využili jsme všechny dostupné technologie – CNC plasmový stůl, CNC pilovrtací centrum, pálicí stůl pro trubky i robotická svařovací ramena. Správnost geometrie jsme průběžně kontrolovali pomocí 3D měření porovnávaného s 3D modelem.



Obr. 12 – Podvěsné lávky po montáži.

ÚČASTNÍCI VÝSTAVBY

Generální dodavatel:	Hochtief CZ
Autor návrhu Arény:	Karel Tuza, Petr Uhlíř, Vít Moler A PLUS
Generální projektant:	Sdružení A PLUS a Arch Design
Koncepce a projekty ocelových konstrukcí, výroba, montáž:	EXCON
Táhla:	Tension systems

Montáž

Nejprve byly dvě střední dvojice vazníků válcové části sestaveny včetně portálových ztužidel na zemi a táhla byla předeprnutá (450–470 kN) tak, aby byly vazníky mírně nadvýšeny pro eliminaci průhybu od zatížení dalšími konstrukcemi. Na zemi byly také sestaveny příhradové válce pro krajní části, jejichž součástí byly i střední části krajních válcových vazníků se středním táhlem. Uvnitř haly byly pod ně připraveny montážní věže z PERI lešení a na ně byly namontovány montážní konstrukce pro uložení obou válců. Obě dvojice vazníků i příhradové válce byly namontovány pásovým jeřábem LIEBHERR LR 1750



Obr. 13 – Výroba vazníků a příhradového válce.



Obr. 14 – Montáž dvojice vazníků a montážní konstrukce pro 1/2 válce.



Obr. 15 – Montáž příhradových 1/2 válců na montážní věži PERI.

Tab. 1 – Předpínací postup čtveřic táhel v pořadí (obr. 4) 4, 5, 6, 3, 2, 7, 1, tabulka vpravo, postup odspodu

	Sloupce z matic – ovlivnění z jednotlivých táhel									Předpokládané síly v táhlech při předpínání							
Táhlo								výsledné síly [kN]									Táhlo
VR1	52,26							52,26	52,26								VR1
VR7	5,31	35,01						40,32	40,32	35,01							VR7
VR2	-22,13	11,18	49,05					38,11	38,11	60,24	49,05						VR2
VR3	4,11	8,83	-23,37	46,15				35,72	35,72	31,61	22,78	46,15					VR3
VR6	5,45	-27,25	19,64	23,21	16,40			37,45	37,45	32,00	59,25	39,62	16,40				VR6
VR5	6,34	9,51	11,24	8,46	-16,70	20,98		39,83	39,83	33,49	23,97	12,74	4,28	20,98			VR5
VR4	7,80	11,25	7,66	-20,89	13,69	-2,67	23,50	40,34	40,34	32,54	21,29	13,63	34,52	20,83	23,5		VR4
PRST	26,01	34,40	40,33	40,81	10,53	15,05	17,85	182,96	184,99	158,98	124,58	84,25	43,44	32,90	17,85		PRST



Obr. 16 – Předpínání středního táhla krajního vazníku hydraulickým zařízením.

s nosností 750 t (obr. 14 a 15). Dvojice vazníků byly uloženy na kyvné sloupce, zajištěny ztužidly a lany v obou směrech a vzájemně propojeny portálovými ztužidly. Příhradové válce byly uloženy na připravené montážní konstrukce na montážních věžích (obr. 14 a 15).

Poté byly válce propojeny se středními vazníky prostřednictvím portálových ztužidel a spodní kruhové trubky pro kotvení táhel vazníků dvěma táhly M105 (obr. 5 a 9). Následovala kompletace krajních vazníků válcové části včetně táhel a jejich předepnutí (490 kN) (obr. 16).

Následně bylo namontováno na obou stranách 14 radiálních vazníků. Táhla byla postupně začepována a předepnuta (40–55 kN) v pořadí určeném předpínacím postupem vypracovaným s využitím matice pro vzájemné ovlivňování táhel (tab. 1). Tím se postupně zvyšovala síla ve dvou propojovacích táhlech obou válců teoreticky až na 183 kN. Nakonec byla tato dvě táhla předepnuta (620 kN) a tím se zvýšila síla v táhlech v radiálních nosnících na cca 130 kN.

Při předpínání byla všechna táhla vyvěšena na ostatních konstrukcích tak, aby byla zajištěna jejich linearita. Předpínání probíhalo s použitím hydraulických zařízení, s výjimkou 28 radiálních vazníků, kde byla táhla předpínána ručně pomocí řetězových klíčů. Síly se měřily tenzometricky.

Montáž byla dokončena uvolněním z montážních podpor. Po předepnutí byla konstrukce postupně na každé straně nadzvižena šesticí synchronizovaných válců a po uvolnění z podpor spuštěna přibližně o 5–15 mm oproti stavu v podepření. V současné době jsou namontovány i konstrukce ochozu vně sloupů a pevné lávky a probíhá montáž střešního pláště a veškeré další profese (osvětlení, VZT, elektro, OTK apod). Průběžně se sledují hodnoty sil v táhlech a geometrie konstrukce.

DALŠÍ OCELOVÉ KONSTRUKCE ARÉNY

V Aréně je mnoho dalších konstrukcí pro technologii, schodišť, plošin apod. Nejvíce viditelné jsou konstrukce pro markýzy na fasádách a konstrukce pro vnější zakrytí ochozu (obr. 1) s technologiemi po celém obvodu arény.

ZÁVĚR

Prostorová předpjatá vzpínadlová konstrukce střechy arény představuje úsporné a praktické řešení s možností variabilního využití pro sport, kulturu či kongresy. Předpětím táhel byl eliminován průhyb nosné konstrukce od vlastní hustoty. Úspory hmotnosti oproti standardním řešením bylo dosaženo příznivou redistribucí vnitřních sil v konstrukci a použitím subtilních táhel pro tažené prvky vzpínadel. Tento přístup nejen zefektivnil montážní proces a snížil potřebu těžké techniky, ale také přinesl environmentální přínos v podobě úspory materiálu, což přispělo k ochraně životního prostředí.

Autoři:

Ing. Vladimír Janata, CSc., pracuje jako senior projektant a mentor ve společnosti EXCON.

Ing. Jindřich Beran je ředitelem oddělení projektů ve společnosti EXCON.

Ing. Jan Hejhal působí jako projektant ve společnosti EXCON.

Foto: EXCON