

Ocelová konstrukce střechy pro Sazka Arenu

Ing. Vladimír JANATA, CSc.
EXCON, a. s.
Praha

Pro ocelovou konstrukci střechy víceúčelové arény velkého rozpětí a intenzity zatížení byla zvolena unikátní koncepce prostorového předpjatého vzpínadla, které tvoří centrální tubus, příhradové vazníky a předpjatá táhla. Navržené řešení přináší nová řešení konstrukčních detailů a postupů při asymetrické montáži na dočasné podpoře a při předpínání a aktivaci táhel. Ve výrobě byl zvolen náročný systém kontroly kvality a tolerance.

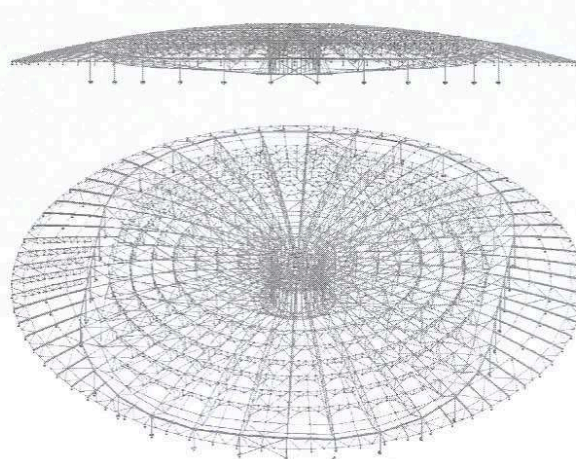
Dispozice a zatížení

Nosná konstrukce tvaru kulového vrchlíku o průměru 135 m a vzezření 9 m je ze statického hlediska prostorové vzpínadlo tvořené 36 příhradovými vazníky s táhlem, které se sbíhají do centrálního prstence tvaru dutého válce [1], [2]. Vazníky jsou uloženy na betonové konstrukci haly, dilatované na 6 úseků, na 32 ocelových sloupech kyvných v radiálním směru a na čtyřech vetknutých sloupech spojených ve vrcholu s betonovými jádry situovanými ve středu dilatačních úseků. Střechu vůči betonové hale stabilizují v horizontálním směru čtyři hrncová ložiska mezi vetknutými sloupy a vazníky. Sloupy jsou umístěny v půdorysném průmětu prostorové křivky průniku kulového vrchlíku a oválu arény (obr. 1 a obr. 2). Portálová a tyčová ztužidla v soustředných kruzích částečně silově spolupůsobí s vazníky a spolu se zavětrováním střešní roviny zajišťují celkovou stabilitu střechy.



Obr. 1. Montáž konstrukce střechy s dočasnou střední podporou

Konstrukci tvoří čtyři zrcadlově symetrické části, každá s devíti různými vazníky. Nosníky doplňkové konstrukce vně arény (v pokračování vazníků) jsou posuvně uloženy na betonový průvlak přes pryžové ložisko. Střešní plášť tvoří panely Dart pnuté tangenciálně a uložené přímo na horních pásích vazníků.



Obr. 2. Prostorový model střechy

Zatížení má, s ohledem na umístění kruhových a posuvných mostů divadelní technologie ve střešním prostoru, vysokou intenzitu a proměnlivý charakter. Podrobněji je rozepsáno v tab. 1.

Tab. 1. Zatížení střechy nad prostorem arény

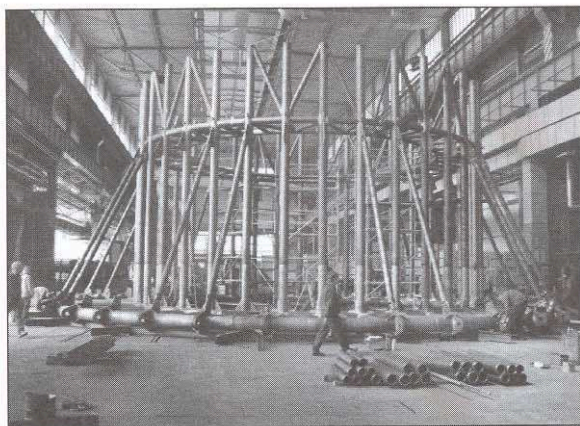
Zatížení	[t]	[kg/m ²]
ocelová nosná konstrukce	1 200	111
ocelová nenosná konstrukce	220	20
střešní plášť	640	59
akustika a vzduchotechnika	350	32
divadelní technika stabilní	390	36
divadelní technika pohyblivá	260	24
nahodilé provozní	390	36
sníh	540	50
celkem	3 990	368

Při optimalizaci dispozice a dimenzí střechy bylo nutno z prostorového působení vyjmout veškeré prvky mimo radiálně tangenciální strukturu. Šlo zejména o průvlaky na průniku vrchlíku a arény, podružné nosné prvky pro akustické absorbéry a střední plošinu pro tahy multimediální kostky. Vliv horizontálních pohybů dilatačních celků betonové konstrukce byl posuzován jako lokální účinek na jednotlivé sloupy a ukázal se být nevýznamným stejně jako vliv nerovnoměrného sedání nosné betonové konstrukce.

Konstrukční řešení a výroba

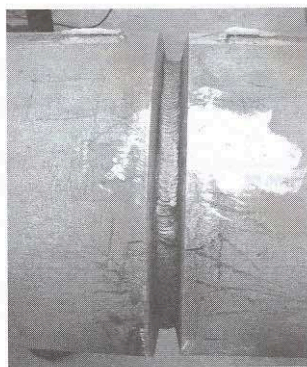
Konstrukce střechy je trubková příhradová, převážně svařovaná přes průniky, z materiálu S355. Středový tubus tvoří dutý válec o průměru 18 m, výšce 12,3 m a hmotnosti 170 t. Sestává ze tří hlavních kruhových příhradových prstenců; dvou pro připojení pásů vazníků a jednoho pro připo-

jení táhel (obr. 5). Síly ze šikmých vzpěr přenáší čtvrtý, menší prstenec (obr. 3). Prstence jsou propojeny 36 svislými prvky. Tubus byl vyroben z 27 svařovaných dílů. K nejsložitějším operacím patřilo ohýbání pásů prstenců z trubek 356/36 a jejich dílenské i montážní svařování. Volba vhodné technologie svařování s ohledem na změny tvaru a kontrolní sestavy byly podmínkou dosažení výsledného tvaru konstrukce v tolerancích přijatelných pro montáž.



Obr. 3. Sestava spodní části tubusu před montáží

Vazníky, obloukové příhradové rovinné nosníky o osové vzdálenosti pásů 4 m, byly dodávány v dílech dlouhých 15 m, spojovaných přes příruby s vloženou diagonálou. Styky diagonál a prvků ztužidel ve střešní rovině byly provedeny dvojstržnými šrouby 10.9. V závislosti na velikosti působících sil byly použity 2 až 4 šrouby M30-M36. Problém prolomení trubek horního pásu byl vyřešen vevážením výztuh do vnitřního prostoru trubky.



Obr. 4. Kořen svaru pásové trubky před kontrolou RTG

Pro kontrolu rozměrů byla předepsána výrobní skupina B podle ČSN 73 2601 [7]. Středový tubus i vazníky byly kontrolovány v dílenských sestavách podle měřických plánů s tolerancemi předepsanými projektantem. Ztužidla byla vyráběna v šablonách.

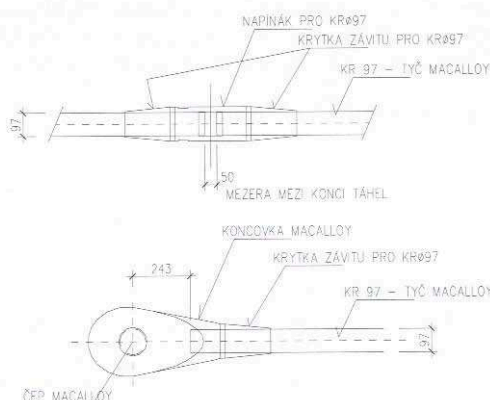
Systém táhel Macalloy z materiálu S460 s válcovaným závitem M100 a s návrhovou únosností přes 3 000 kN byl zvolen s ohledem na možnost vnesení a měření napínavých sil na volné délce táhla. Díky tomu bylo možno vytvořit čisté detaily styku táhla s vazníkem a tubusem přes čep a koncovku se závitem (obr. 7). Jednotlivé segmenty táhla v délce 12 m jsou spojovány přes napínáky s konickými krytkami (obr. 6).

Montáž tubusu a vazníků

Konstrukce byla montována na dočasné střední podpoře (pižmu). Střední tubus byl na místě stavby na zemi svařen



Obr. 5. Styk vazník-tubus



Obr. 6. Koncovka a spoj táhla Macalloy

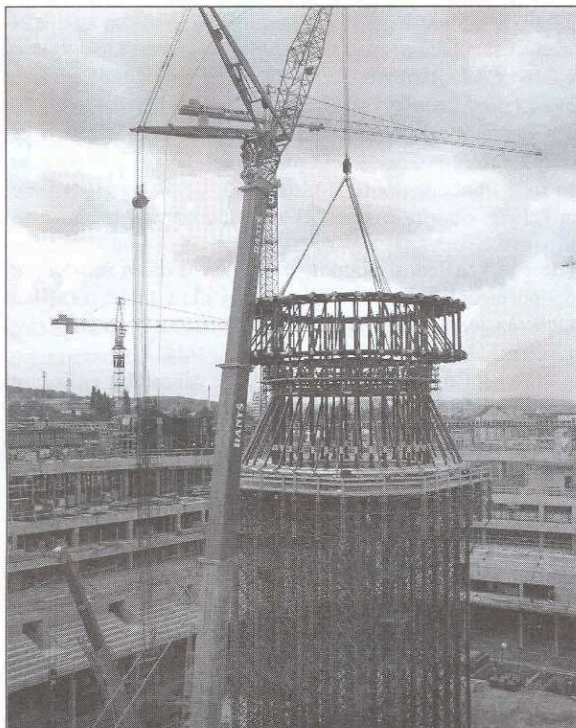


Obr. 7. Styk táhlo-vazník

do dvou částí. První tvořil spodní prstenec se sloupky a vzpěrami (obr. 3) a druhou dva horní prstence. Po geodetickém zaměření skutečného tvaru obou částí po svaření byly obě části vyzdvíženy na střední podporu tak, aby vzájemné odchylky směrů obou částí s ohledem na teoretické osy byly co nejmenší. Optimalizace polohy obou částí tubusu jsme provedli s použitím prostorových počítačových modelů obou zaměřených částí. Tubus byl uložen na 12 hydraulických lisech o nosnosti 100 t (obr. 12).

Montážní styk obou částí tubusu je svařovaný (obr. 9). Sloupy jsou stykovány přes kruhovou desku vymezující povolené tolerance excentricity přípoje svislých prvků.

Na základě vyhodnocení výsledků zaměření tubusu po svaření a vazníků sestavených v mostárně byl s ohledem na montáž určen pro každý přírubový styk přesný počet vložek. Tolerance v betonové konstrukci byly řešeny vložením dílů mezi sloupy a kotevními deskami vyrobených na míru podle zaměření kotevních desek.



Obr. 8. Montáž tubusu na podpoře



Obr. 9. Montážní styk obou částí tubusu

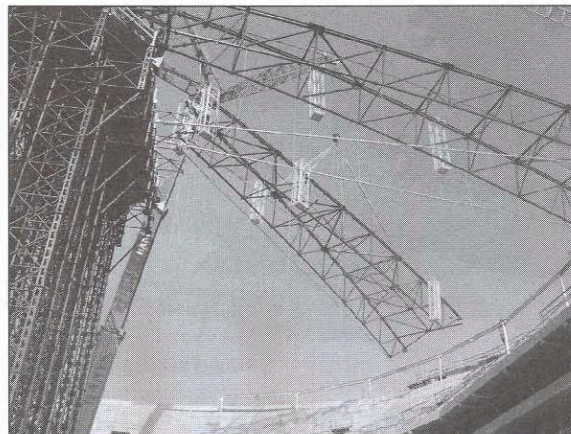
Asymetrická montáž

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. Proto bylo 20 vazníků montováno po dvojicích ze dvou pozic uvnitř arény a zbylých 16 jednotlivě ze dvou stanišť vně arény jeřábem o nosnosti 800 t. Tábla byla montována společně s vazníky. Postup montáže je zřejmý z obr. 11. Při asymetrické montáži vznikaly rovněž účinky části namontované konstrukce v podporách (obr. 12), které bylo nutno pro návrh dočasné podpory vyčíslit.

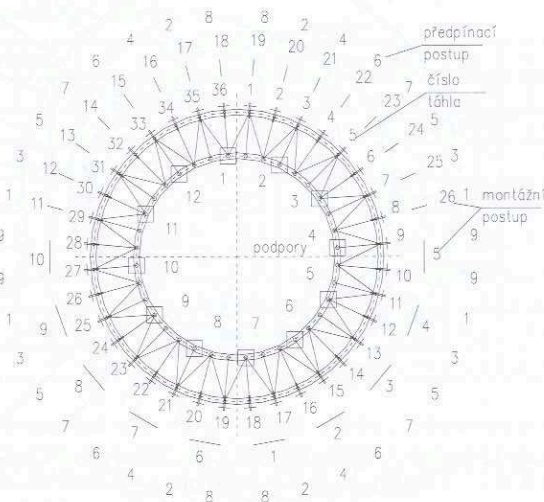
K výpočtu reakcí jednotlivých montážních stavů byl použit model konstrukce podepřený na 12 podporách s příslušným počtem vazníků. Největší účinky na podporu vykazoval montážní stav po desátém zdvihu, tedy konstrukce po uložení 20 vazníků (obr. 13).

Výpočet nepostihoval montážní a teplotní vlivy. Velikost reakcí dále závisí na tuhosti podpor (obr. 12), jejichž hodnota byla pouze kvalifikovaně odhadnuta na základě parametrické studie [4] tak, aby reakce v podporách a deformace prstence byly v přijatelných mezích s ohledem na montáž (obr. 14).

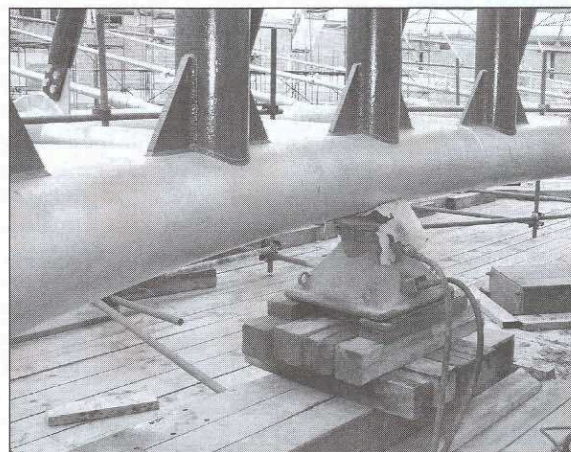
Proto byla dočasná podpora navržena na dvojnásobné hodnoty reakcí hodnot vypočtených a po každém mon-



Obr. 10. Montáž dvojic vazníků s podvěšenými táhly

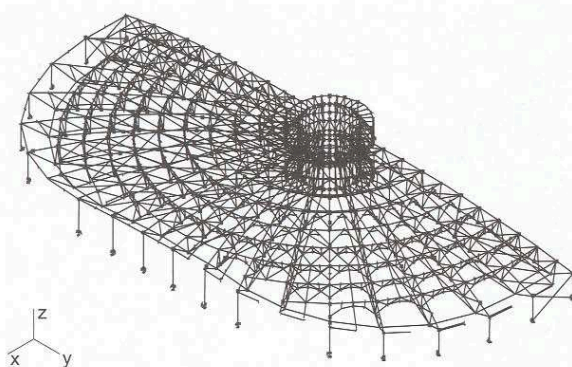


Obr. 11. Tubus, spodní prstenec, podpory, postup montáže a předpínání

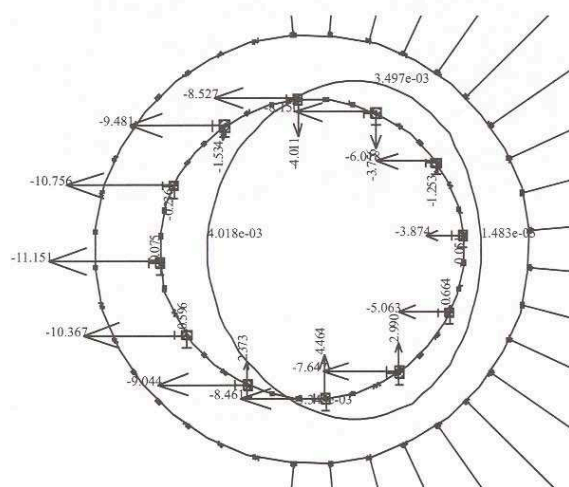


Obr. 12. Dočasné podepření na pížmu (hydraulický zvedák na právcích)

tážním kroku byl geodeticky zaměřen tvar prstence tubusu a porovnán s teoretickými hodnotami. Měření ukázalo, že hodnoty vodorovných deformací prstence při montáži nepřekročily 15 mm, což je přibližně dvojnásobek teoretických hodnot za výše uvedených předpokladů (obr. 14).



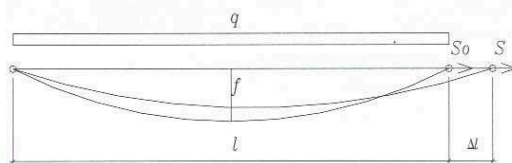
Obr. 13. Model montážního stavu s 20 vazníky



Obr. 14. Reakce v podporách [kN] a deformace spodního prstence tubusu [mm] po montáži 20 vazníků

Montáž táhel

Táhla byla začepována na vazník a zavěšena na několika lanových zvedácích těsně pod jeho spodním pásem. Vzdálenost zvedáků byla zvolena tak, aby nedošlo při spuštění táhel k jejich přetížení, popř. ohybu a poškození táhel. Po připojení vazníku k tubusu a na sloup byla táhla spuštěna do předem připravených lankových závěsů ve vzdálenosti 5 m, které vymezily zvolený průvřev f_o . Ten byl určen pro každé táhlo tak, aby nelineární složka jeho tuhosti, která je zohledněna ve druhé části vzorce (2), byla v průběhu předpínání, zatěžování a aktivace v hodnotách do 3 % jeho celkové tuhosti, a bylo ji tudíž možno ve výpočtu zanedbat. Při výpočtu délek lankových závěsů byly uvažovány další vlivy, jako průhyb vazníku, pružné a nepružné přetvoření lanka a výrobní tolerance.



Obr. 15. Geometrické a deformační parametry táhla

Pro posun konce táhla, průvřev a délku lanové křivky (obr. 15) byly při zanedbání sklonu táhla použity známé

vztahy pro vlákno:

$$f = \frac{ql^2}{8S}, \quad (1)$$

$$\Delta l = \frac{(S - S_o)l}{EA} + \frac{q^2 l^3}{24} \left(\frac{1}{S^2} - \frac{1}{S_o^2} \right), \quad (2)$$

$$L = l \left(1 + \frac{8f^2}{3l^2} \right), \quad (3)$$

kde l je vzdálenost podpor, Δl změna vzdálenosti podpor, S_o počáteční síla v táhle, S výsledná síla v táhle, q zatížení táhla na jednotku délky, E modul pružnosti, A průřezová plocha, L délka křivky táhla, f průvřev táhla.

Náhradní modul pružnosti táhla se zahrnutím nelineární složky tuhosti lze pak vyjádřit vztahem

$$E_{\text{náhr}} = \frac{(S - S_o)l}{\Delta l A}. \quad (4)$$

V tabulce 2 jsou zřejmé hodnoty tuhosti táhel 1 a 9 ve stadiu po předpětí (500 kN, provizorní závěsy po 5 m), ve stadiu po aktivaci (spuštění) konstrukce (800 kN, závěsy po 15 m) a ve stadiu po instalaci většiny stálých zatížení (1 300 kN). Nelineární složka tuhosti se začíná uplatňovat až po dosažení síly odpovídající průvřevu vymezeného závěsy f_o . Pro nejkratší táhlo 1 byl zvolen průvřev 0,07 m, pro táhlo 9 pak 0,1 m. Při těchto hodnotách je nelineární složka tuhosti menší než 3 %. Z tabulky je zřejmé, že po instalaci většiny stálých zatížení je hodnota průvřevu menší než sledovaná hodnota, a závěsy pak nejsou nezbytné. Odstraněny byly všechny provizorní závěsy, stabilní závěsy po cca 15 m, umístěné těsně u kruhových mostů, byly však v konstrukci ponechány pro korekci frekvence při případném kmitání táhel při provozu haly.

Tab. 2. Vlastnosti táhel pro různou délku volných závěsů

Táhlo	l [m]	S [kN]	f	L	Δl_{lin}	Δl_{nelin}	$E_{\text{náhr}}$ [MPa]
1	35	1 300	0,0683	35,00036	0,02932		
1		1 310	0,0678	35,00035	0,00023	0,000005	2,05E+05
1		2 000	0,0444	35,00015	0,01579	0,000205	2,07E+05
1		2 500	0,0355	35,00010	0,02706	0,000259	2,08E+05
9	50	1 700	0,1066	35,00087	0,05477		
9		1 710	0,1060	35,00086	0,00032	0,000007	2,05E+05
9		2 000	0,0906	35,00063	0,00967	0,000168	2,06E+05
9		2 500	0,0725	35,00040	0,02577	0,000326	2,07E+05
1-9	15	800	0,0204	15,00007	0,00773		
1-9		810	0,0201	15,00007	0,00010	0,000002	2,06E+05
1-9		1 300	0,0125	15,00003	0,00483	0,000046	2,08E+05
1-9	5	500	0,0036	5,00001	0,00161		
1-9		510	0,0036	5,00001	0,00003	2,72E-07	2,08E+05

Předpínání táhel a kontrolní měření

Předpětí táhel mělo především aktivací charakter. Před spuštěním konstrukce z podpory bylo nutno táhla částečně aktivovat a vyrovnat nerovnoměrnosti vzniklé při montáži. Výsledkem předpětí bylo také snížení průhybu konstrukce o cca 75 mm. Celkový průhyb bude pak při maximálním zatížení menší než 1/350 rozpětí. Předpětí táhel bylo zvoleno odstupňované mezi 85 až 175 kN, to znamená asi 5 % únosnosti každého z nich. Předpětí bylo odstupňováno tak, aby částečně vyrovnalo síly v táhlech při maximálním zatížení.

Táhla byla předepnuta na pižmu na 12 hydraulických podporách. V době předpínání byla namontována vlastní ocelová konstrukce a dva kruhové mosty. Hmotnost kon-

strukce a mostů neumožnila vertikální posun konstrukce při předpínání. Tato situace byla teoreticky modelována vložením podpor v místech uložení na hydraulické zvedáky. Předpětí pak bylo nutno přepočítat na změněný statický systém (model B s podporami) [5]. Podpory zabráňující vertikálnímu posunu tubusu byly v horizontálním směru uvažovány pružné s pérovou konstantou shodnou jako při posuzování montážních stavů. Vnesené síly do táhel S na modelu B mají složky

$$S = S_p + S_m, \quad (5)$$

kde S_p je složka síly od vneseného předpětí a S_m složka síly od hmotnosti střešní konstrukce a instalovaných kruhových mostů na modelu B. Složku síly od předpětí S_p lze na modelu B určit dvěma způsoby:

- vnesením předpětí shodnou hodnotou ochlazením táhla na podepřeném modelu (B) jako modelu (A) bez dočasné podpory;
- součtem předpínací síly S_{po} na nepodepřeném modelu A a síly v táhlu S_{pp} od vynuceného poklesu na modelu B, jehož hodnota je shodná s hodnotou deformace od předpětí na modelu A.

$$\text{Platí} \quad S_p = S_{po} + S_{pp}. \quad (6)$$

Předpínací síla byla teoreticky stanovena a ověřena oběma způsoby.

Výsledná síla v táhlu po spuštění konstrukce z podpory S_o se konečně stanoví jako součet síly od předpětí S_{po} a síly od hmotnosti konstrukce a mostů S_{mo} na modelu A.

$$S_o = S_{po} + S_{mo}. \quad (7)$$

Tab. 3. Teoretické předpínací síly v táhlech

Táhlo	S_{po}	S_{pp}	S_p	S_m	S	S_{mo}	S_o
	[kN]						
1	84	398	482	105	587	866	950
2	104	371	475	110	585	821	925
3	110	352	462	136	598	815	925
4	148	305	453	148	601	737	885
5	171	280	451	154	605	697	868
6	175	272	447	139	586	669	844
7	153	284	437	154	591	709	862
8	146	285	431	151	582	710	856
9	106	315	421	164	585	784	890

Z tabulky 3 je zřejmé, že k dosažení předpínací síly $S_{po} = 84$ až 175 kN na konstrukci po spuštění (model A) bylo nutno na podepřené konstrukci (model B) vnést napínací sílu v rozmezí $S_p = 421$ až 482 kN. Vzhledem k výslednému malému rozdílu sil S v jednotlivých táhlech byla zvolena jednotná výsledná předpínací síla 550 kN, která byla měřena na táhlu dvěma aktivními a dvěma kompenzačními tenzometry nalepenými na táhlu poblíž napínacího zařízení [3]. Hodnota předepnutí byla zvolena nižší než teoretická předpínací síla S z tab. 3, protože tenzometry byly instalovány až po montáži vazníků, při které již byly do táhel vneseny určité inicializační síly.

Táhla byla předpínána po čtveřicích (zrcadlově symetrických) ve dvou krocích. Předpínací síly byly vnášeny hydraulickým zařízením umožňujícím měření vnášené síly, které bylo zároveň kontrolou měření tenzometrických. Napínákové matice s konickými krytkami, na nichž bylo zařízení instalováno, byly umístěny poblíž prstence, aby napínání bylo usnadněno z plošiny pižma (obr. 16).



Obr. 16. Napínací zařízení u koncovy táhla

Při napínání bylo nutno vzít v úvahu vzájemné ovlivňování sil v táhlech při předpínání [5]. V tabulce 4 je matice teoretických příčinků změn sil v táhlech při napínání jednotlivých čtveřic lan. Na úhlopříčce jsou napínací síly v táhlech a ve zbytku řádku jsou změny sil v ostatních táhlech.

Tab. 4. Teoretické změny sil v táhlech [kN] při napínání symetrických čtveřic

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

Naměřené hodnoty sil v táhlech přibližně odpovídaly teoretickým předpokladům příčinků změn. Například tab. 5 uvádí teoretické a naměřené změny sil v táhlu č. 8 při druhém předpínacím kroku (300–550 kN).

Tab. 5. Teoretické a skutečné změny sil [kN] v táhlu 8 při napínání ostatních táhel

Změny	Táhlo								
	1	2	3	4	5	6	7	9	
skutečné	24	10	22	7	-31	-23	-22	-41	
teoretické	20	18	15	11	3	-7	-29	-52	

Po určení pořadí předpínání jednotlivých čtveřic (obr. 11) bylo možno iteračním postupem zjistit výchozí síly tak, aby po dokončení napínání ve dvou krocích (300 a 550 kN) byly v táhlech předepsané napínací síly (tab. 6).

Tab. 6. Výchozí hodnoty napínacích sil

Táhlo	Pořadí	Krok 1	Krok 2	Kontrola
		[kN]		
1, 18, 19, 36	8	262	518	550
2, 17, 20, 35	2	351	592	550
3, 16, 21, 34	4	346	588	550
4, 15, 22, 33	6	316	564	550
5, 14, 23, 32	7	284	537	550
6, 13, 24, 31	5	314	562	550
7, 12, 25, 30	3	324	571	550
8, 11, 26, 29	1	330	575	550
9, 10, 27, 28	9	300	550	550

Před začátkem předpínání byly také změřeny svislé reakce tubusu v hydraulických podporách. Měření orientačně potvrdilo reakce předpokládané výpočtem:

- součet reakcí podle výpočtu 6 850 kN,
- součet reakcí změřených 6 970 kN.

Změřením reakcí po předepnutí byl zkontrolován vliv předepnutí na odlehčení konstrukce:

- součet reakcí podle výpočtu 3 070 kN,
- součet reakcí změřených 3 130 kN.

Rozdíly jsou v rámci tolerancí měření v hydraulických podporách.

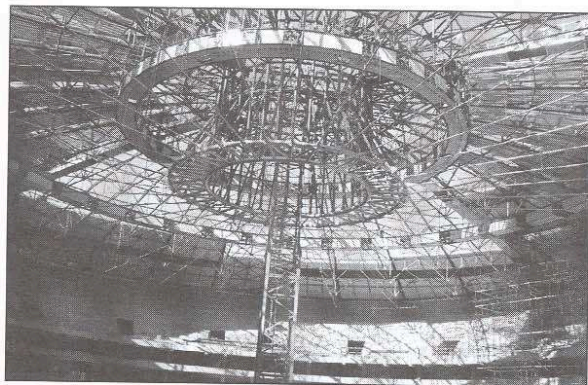
Spuštění konstrukce

Předpokládaný pokles konstrukce po spuštění z provizorní podpory byl 65 mm. Konstrukce byla spouštěna ve třech krocích, z toho první dva kroky po 20 mm. Při spouštění konstrukce byly v jednotlivých krocích měřeny síly v táhlech a posuny konstrukce na ložiscích. *Tabulka 7* uvádí teo-

Tab. 7. Silové a deformační hodnoty při spuštění konstrukce

Stav	Pokles konstrukce [mm]	Nárůst síly v táhle [kN]	Posun v ložisku [mm]
teoretický	65	285	4
změřený	50	251	4

retické a naměřené hodnoty po spuštění konstrukce. U nárůstu síly v táhle jde o průměrnou hodnotu všech 36 táhel. Lze konstatovat, že teoretické a naměřené hodnoty se přesněji určení hmotnosti konstrukce a inicializačních sil v táhlech před instalací tenzometrů velice dobře shodují.



Obr. 17. Konstrukce střechy po odstranění provizorní podpory

V průběhu stavby pokračuje kontrola sil v táhlech a deformací s postupující montáží stálých zatížení. Poslední měření bude provedeno při instalaci multimediální kostky o hmotnosti 30 t, a to včetně měření dynamických charakteristik konstrukce při nouzovém zastavení kostky při jejím spouštění.

Základní údaje o autorech, účastnících a průběhu výstavby

Investorem Sazka Areny je akciová společnost Sazka, výstavbu koordinuje dceřiná společnost BESTSPORT. Autory urbanisticko-architektonického řešení stavby jsou Ing. Vladimír Vokatý, Ing. arch. Martin Vokatý a Ing. arch. Jiří Vít. Autorem statického a dispozičního řešení ocelových konstrukcí je Ing. Vladimír Janata, CSc. Generálním projektantem je architektonický ateliér ATIP s hlavním kooperan-

tem HELIKA, a. s. Akciová společnost EXCON zpracovala projektovou dokumentaci ocelové konstrukce ve všech stupních, výrobní dokumentaci a teoretické podklady pro technologický postup montáže. Na Fakultě stavební ČVUT byl zpracován odborný posudek na statický výpočet [6].

Dodavatelem stavebních prací je Skanska CZ a dodavatelem technologií Damovo Česká republika. Výrobu ocelové konstrukce zajistil Metrostav, a. s., závod 07, s hlavními subdodavateli EXCON STEEL, a. s. (tubus), Vítkovice Strojírenství, a. s. (vazníky a sloupy), Macalloy, Ltd., Velká Británie (táhla). Montáž zajistily Hutní montáže Ostrava, a. s. Geodetické práce provedla firma Gefos, a. s.

Časový průběh prací na projektu, výrobě a montáži

koncepce statického řešení	1–2/2002
dokumentace pro stavební povolení	3–5/2002
tendrová dokumentace	5–6/2002
dokumentace pro provedení stavby	8–11/2002
výrobní dokumentace	12/2002–2/2003
zahájení stavby	9/2002
výroba ocelové konstrukce	1–5/2003
montáž ocelové konstrukce	4–8/2003
dokončení stavby	4/2004

Literatura

- [1] Janata, V. – Včelák, J.: Ocelové konstrukce pro halu Sazka. Stavební listy, 2002, č. 8–9, s. 16–17.
- [2] Janata, V.: Víceúčelová Aréna Sazka ve Vysocanech. Konstrukce, 2003, č. 4, s. 13–15.
- [3] Pímer, M. – Urushadze, S.: Měření sil v táhlech střešní konstrukce haly Sazka. ÚTAM AV ČR, 2003.
- [4] Janata, V.: Střešní Aréna Sazka – příprava montáže A. EXCON, a. s., 2003.
- [5] Janata, V.: Předpínání a aktivace táhel, Sazka Aréna projekt montáže. EXCON, a. s., 2003.
- [6] Studnička, J. – Bittnar, Z. – Šejnoha, J.: Posouzení statického výpočtu střešní konstrukce haly Sazky. FSv ČVUT, 2003.
- [7] ČSN 73 2601 Provádění ocelových konstrukcí. ÚNM Praha 1988.

Janata, V.: The Steel Structure of the Sazka Arena Roof

For the construction of the roof steel structure of the multi-purpose arena of a large span and loading intensity, a unique concept of a spatial pre-stressed strut frame was employed. The strut frame is made by the central tube, trussed girders and pre-stressed tendons. The designed solution introduces a new approach to the construction of structural details and procedures applied in asymmetric assembly on a temporary support and in pre-stressing and activation of the tendons. The production involves a demanding system of quality and tolerances control.

Janata, V.: Stahlkonstruktion für das Dach der Sazka Arena Halle

Für die Stahlkonstruktion des Daches einer Mehrzweckhalle großer Spannweite und Belastungsintensität wurde eine einzigartige Konzeption eines räumlich vorgespannten Unterspannkonstruktion gewählt, die von einem zentralen Tubus, Fachwerkbindern und vorgespannten Zugstangen gebildet wird. Die entworfene Lösung erbringt neue Lösungen der Konstruktionsdetails und Verfahren bei asymmetrischer Montage auf einer zeitweiligen Unterfangung und bei der Vorspannung und Aktivierung der Zugstangen. In der Fertigung wurde ein neues aufwendiges System zur Kontrolle der Qualität und Toleranz gewählt.