



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

ZASTŘEŠENÍ SPORTOVIŠTĚ

SPORTS FIELD ROOFING STRUCTURE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MIROSLAV CHALUPA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PETR BROSCH

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

| | |
|--------------------------------|---|
| Studijní program | N3607 Stavební inženýrství |
| Typ studijního programu | Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia |
| Studijní obor | 3607T009 Konstrukce a dopravní stavby |
| Pracoviště | Ústav kovových a dřevěných konstrukcí |

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

| | |
|--|------------------------|
| Diplomant | Bc. MIROSLAV CHALUPA |
| Název | Zastřešení sportoviště |
| Vedoucí diplomové práce | Ing. Petr Brosch |
| Datum zadání diplomové práce | 31. 3. 2012 |
| Datum odevzdání diplomové práce | 11. 1. 2013 |
| V Brně dne 31. 3. 2012 | |

.....
doc. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Výkresy původního architektonického řešení objektu

Vizualizace původní architektury objektu

Platné české technické normy

zejména:

ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1991-1 Zatížení konstrukcí

ČSN EN 1993-1 Navrhování ocelových konstrukcí

Jaromír Král: Navrhování konstrukcí na zatížení větrem (příručka)

Zásady pro vypracování

Předmětem práce je zpracování variantního řešení hlavní nosné ocelové konstrukce střechy (sloupy, vazníky, vaznice, ztužidla a případné související prvky) stadionu v lokalitě Brno ve stupni dokumentace pro provedení stavby.

Zastřešení se skládá z několika částí s převažujícím příčným rozměrem okolo 60 m.

Zvláštností objektu jsou mohutné ocelové příhradové konzoly vazníků.

Řešení se předpokládá ve variantách zohledňujících jak možnosti kotvení, tak možnosti prostorového ztužení objektu.

Předepsané přílohy:

Technická zpráva - s odůvodněním zvolené varianty

Statický výpočet - hlavních částí konstrukce

Výkaz materiálu

Výkresová část:

Hodnocení variant z hlediska statického a konstrukčního systému, výroby, montáže, účinků na spodní stavbu, případně architektury atp.

Předepsané přílohy

.....
Ing. Petr Brosch
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Předmětem této diplomové práce je návrh a statické posouzení nosné ocelové konstrukce zastřešení tribuny fotbalového stadionu. Stadion je umístěn do lokality Brno. Hlavní nosný systém tvoří 16 radiálně uspořádaných příhradových vazníků s vyložení konzoly 39,9 m. Sloupy s rozsochami podporují vždy dvojici vazníků. Půdorysné rozměry konstrukce jsou 63,2 m x 155,0 m. Výška střechy nad úrovní terénu je 52,0 m.

Byly zpracovány dvě varianty řešení. Návrh je proveden v souladu s platnými normami ČSN EN.

Klíčová slova

Sportovní stadion, zastřešení, ocelová konstrukce, příhradový vazník, ocelové sloupy s rozsochami, trubková konstrukce, globální analýza, dimenzování

Abstract

The design and the static estimation of the load-bearing steel structure of tribune roofing of the football stadium are the subject of this thesis. The football stadium is located in Brno. The main bearing system consists of 16 radially arranged truss girders with the console lining of 39,9 m. Column “trees” always support a pair of truss girders. The plan dimensions of the structure are 63,2 m x 155,0 m. The roof height above the ground level is 52,0 m.

There were two variant of analysis elaborated. The design is made in accordance with the valid ČSN EN standards.

Keywords

Sports stadium, roofing, steel structure, truss girder, steel tree columns, tube structure, global analysis, dimensioning

...

Bibliografická citace VŠKP

CHALUPA, Miroslav. *Zastřešení sportoviště*. Brno, 2013. 22 s., 467 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Petr Brosch.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 10.1.2013

.....
podpis autora
Miroslav Chalupa

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Petru Broschovi za odborné vedení mé diplomové práce, cenné rady a čas věnovaný konzultacím.

Rád bych také poděkoval všem svým přátelům a blízkým, zejména rodičům za nemalou podporu při studiu na vysoké škole.

Obsah

| | | |
|----------|---|---------------|
| 1 | Úvod | - 9 - |
| 2 | Popis konstrukce | - 9 - |
| 2.1 | Dispoziční řešení | - 9 - |
| 2.2 | Popis konstrukčních prvků | - 10 - |
| 2.2.1 | Střešní plášť | - 10 - |
| 2.2.2 | Vaznice | - 10 - |
| 2.2.3 | Vazníky | - 11 - |
| 2.2.4 | Podélné ztužení konstrukce | - 12 - |
| 2.2.5 | Příčné ztužení konstrukce | - 13 - |
| 2.2.6 | Vodorovné okapové ztužidlo | - 13 - |
| 2.2.7 | Podpory | - 13 - |
| 2.2.8 | Kotvení | - 14 - |
| 3 | Zatížení..... | - 15 - |
| 3.1 | Stálá zatížení..... | - 15 - |
| 3.2 | Nahodilá zatížení | - 15 - |
| 4 | Softwarový výpočet..... | - 17 - |
| 5 | Materiál a povrchová úprava prvků..... | - 18 - |
| 5.1 | Materiál | - 18 - |
| 5.2 | Povrchová úprava prvků..... | - 18 - |
| 6 | Popis alternativního řešení – varianta 2 | - 19 - |
| 7 | Zhodnocení variant..... | - 19 - |
| 8 | Závěr | - 20 - |
| | Seznam použitých zdrojů..... | - 21 - |
| | Seznam použitých zkratk..... | - 22 - |
| | Seznam příloh | - 22 - |

1 Úvod

Cílem práce je vytvořit návrh ocelové nosné konstrukce zastřešení tribuny fotbalového stadionu. Tvar a rozměry konstrukce vychází z dispozičního řešení tribuny. Při návrhu tvaru konstrukce bylo snahou eliminovat umístění nosných sloupů do prostoru hlediště, a zároveň dosáhnou co největší možné vzdálenosti podpor pro snížení účinků na betonovou konstrukci tribuny. Dimenze jednotlivých prvků konstrukce byly zvoleny tak, aby byly v maximální možné míře využity vlastnosti použitého materiálu, a zároveň byly dodrženy všechny požadavky kladené na nosné ocelové konstrukce.

Byly vytvořeny dvě různé varianty řešení. Pro každou variantu byl vytvořen prostorový model konstrukce v softwaru SCIA Engineer 2011. V tomto programu bylo také provedeno dimenzování prvků. Vybrané prvky byly pro kontrolu ověřeny ručním výpočtem.

2 Popis konstrukce

2.1 Dispoziční řešení

Navrhovaná konstrukce zastřešení tribuny má v půdoryse obloukový tvar. Ohraničující rozměry jsou 155,0 x 63,2 m. Poloměry oblouků ohraničujících konstrukci jsou $R_1 = 114,04$ m a $R_2 = 178,34$ m. Hlavní nosný systém tvoří 16 radiálně uspořádaných příhradových vazníků s osovou vzdáleností podpor 20,5 m a vyložením konzoly 39,9 m. Úhel mezi vazníky je 3,47°. Výška konstrukce nad úroveň terénu je 52,0 m. Střešní rovina je v příčném směru ve sklonu 10%, v podélném směru je obloukovými vaznicemi vytvořen vícelodní obloukový systém.

Kotvení podpor do betonové konstrukce tribuny je provedeno ve dvou výškových úrovních. Podpory na vnějším obvodu konstrukce jsou ve výškové úrovni +38,600 m, a jsou tvořeny svislým sloupkem a šikmou vzpěrkou. Tímto způsobem je podepřen každý z 16 vazníků. Vnitřní podpory jsou zakotveny ve výšce +33,000 m, a jsou tvořeny sloupem s rozsochou složenou ze 4 větví. Každý z 8 sloupů s rozsochou podepírá dvojici vazníků.

Prostorová tuhost konstrukce je zajištěna soustavou podélných a příčných ztužidel a vodorovným okapovým ztužidlem. Podélná ztužidla jsou umístěna v 7 rovinách, a síly z nich jsou přenášeny čtveřicí příčných ztužidel do podpor. Vodorovné okapové ztužidlo je umístěno na vnějším obvodovém líci konstrukce.

2.2 Popis konstrukčních prvků

2.2.1 Střešní plášť

Hlavní nosný systém střešního pláště je tvořen trapézovým plechem SATJAM T92/305 tloušťky 1,25 mm. Vzhledem k vyráběným délkám plechu a rozmístění vaznic byl stanoven nejnepříznivější statický systém, ze kterého vzešla dimenze plechu. Jedná se o vytvoření spojitého nosníku o 2 polích s rozpětím 4,5 m. Trapézové plechy budou připojeny k vaznicím v každé vlně, a to buď přistřelením, nebo provařením přes ocelovou podložku.

Svrchní vrstva střešního pláště bude tvořena plechovou krytinou z titanzinkového plechu tl. 0,8 mm. Vhodný je například systém RHEINZINK s dvojitou stojatou drážkou, který je použitelný pro střechy od sklonu 5° a je vhodný pro tvarově složité střechy. K upevnění budou použity výrobcem dodávané příponky, které budou připevněny k trapézovému plechu.

2.2.2 Vaznice

Vaznice jsou ze statického hlediska navrženy jako prosté nosníky s proměnným rozpětím od 6,94 m do 10,77 m. Jedná se o příhradové obloukové vaznice s konstantním vzepětím 1,00 m. Vaznice jsou umístěny do míst styčníků příhradového vazníku, a jejich vzájemná vzdálenost je tedy proměnná. Nejmenší vzdálenost je 2,5 m, největší vzdálenost je 4,5 m. Vaznice jsou umístěny svisle, a jejich poloha je stabilizována vzpěrkami. Každou vaznici zajišťuje dvojice vzpěrek, které jsou upevněny na jedné straně k hornímu pásu příhradové vaznice a na straně druhé k hornímu pásu příhradového vazníku. Vzpěrky kromě přenosu vodorovných zatížení také zkracují vzpěrné délky horního pásu vaznice. Připoj vaznic na vazník je řešen pomocí šroubového spoje šroubem M20 8.8, alternativně je možno použít také spoj čepový.

Podle použitých profilů je možné vaznice rozdělit na 5 typů. Vaznice TYP 1 jsou umístěny v prvních 7 řadách od špice konzoly ve dvou krajních polích, vaznice TYP 2 jsou umístěny ve zbylých řadách dvou krajních polí. Vaznice TYP 3 jsou umístěny v 11 středních polích, v prvních 8 řadách od špice konzoly. V následujících 8 řadách jsou vaznice TYP 4 a ve zbylých 3 řadách vaznice TYP 5. Profily použité pro jednotlivé typy vaznic jsou uvedeny v následujících tabulkách.

| TYP 1 | | TYP 2 | |
|-----------|---------------|-----------|--------------|
| Horní pás | TR 101.6 x 4 | Horní pás | TR 127 x 4 |
| Dolní pás | TR 127 x 5 | Dolní pás | TR 159 x 6.3 |
| Diagonály | TR 31.8 x 3.6 | Diagonály | TR 31.8 x 4 |

| TYP 3 | | TYP 4 | | TYP 5 | |
|-----------|---------------|-----------|----------------|-----------|--------------|
| Horní pás | TR 88.9 x 5.6 | Horní pás | TR 101.6 x 5 | Horní pás | TR 114.3 x 5 |
| Dolní pás | TR 114.3 x 5 | Dolní pás | TR 152.4 x 4.5 | Dolní pás | TR 159 x 6.3 |
| Diagonály | TR 31.8 x 3.6 | Diagonály | TR 31.8 x 4 | Diagonály | TR 31.8 x 4 |

Vaznice jsou kompletně svařované. Na horním pásu všech vaznic bude přivařen profil Jäkl U80x40x4 pro připojení trapézového plechu. Oba konce profilu budou zavíčkované a ovařeny dokola. Profil vzpěrek je TR 48.3x5 mm. Všechny prvky jsou z oceli S355.

2.2.3 Vazníky

Vazníky jsou ze statického hlediska nosníky s převislými konci a oběma neposuvnými kloubovými podporami. Osová vzdálenost podpor je 20,5 m, vyložení konzol je 39,9 m na jedné straně a 2,8 metru na straně druhé. Jedná se o příhradovou konstrukci svařovanou z trubek. Horní pás je ve sklonu 10%, dolní pás na delší konzole má sklon 22,65% a dolní pás v poli a na kratší konzole je vodorovný. Mezipásové pruty jsou tvořeny diagonálami a svislicemi. Maximální výška příhradové konstrukce je 5,5 m. Konstrukce je sestavena z 16 radiálně uspořádaných vazníků, které svírají úhel 3,47°. Nejmenší osová vzdálenost je 6,94 m, největší osová vzdálenost je 10,77 m. S ohledem na splnění požadavků vyplývajících z mezního stavu použitelnosti je navrženo výrobní nadvýšení konzoly vazníků 100 mm.

Vzpěrné délky prutů jsou určeny vzdáleností bodů zabezpečených proti vybočení. Pro vybočení v rovině vazníku jde o vzdálenost diagonál resp. svislic. Pro vybočení prutů z roviny vazníku jde o vzdálenost podélných ztužidel. Vzhledem k převládajícímu zatížení sáním větru je nutné zabezpečit jak horní, tak dolní pásy.

Podle zatížení jednotlivých vazníků, a z toho vyplývajících nutných dimenzí prvků jsou navrženy 3 typy vazníků. Vazníky TYP A jsou krajní vazníky, tzn. vazníky v ose 1 a 24. Vazníky TYP B jsou vazníky v osách 3, 4, 21 a 22. Zbývající mezilehlé vazníky jsou TYP C. Profily použité pro jednotlivé typy jsou uvedeny v následující tabulce.

| | TYP A | TYP B | TYP C |
|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Horní pás | TR 355.6 x 11 | TR 355.6 x 14.2 | TR 355.6 x 14.2 |
| Dolní pás - konzola | TR 355.6 x 12.5 | TR 355.6 x 22.2 | TR 355.6 x 17.5 |
| Dolní pás | TR 355.6 x 14.2 | TR 355.6 x 17.5 | TR 355.6 x 17.5 |
| Diagonály 1 | TR 219.1 x 8 | TR 219.1 x 12.5 | TR 219.1 x 12.5 |
| Diagonály 2 | TR 168.3 x 8 | TR 193.7 x 8.8 | TR 193.7 x 8 |
| Diagonály 3 | TR 114.3 x 7.1 | TR 114.3 x 10 | TR 114.3 x 10 |
| Svislice | TR 101.6 x 5 | TR 108 x 10 | TR 108 x 6.3 |
| Podporová svislice | TR 177.8 x 8 | TR 177.8 x 8 | TR 177.8 x 8 |

Na horním pásu vazníků budou v místech připojení vaznic a vzpěrek vaznic přivařeny styčnickové plechy. Na dolním páse budou přivařeny styčnickové plechy v místě přípoju obslužné lávky. Otevřené konce trubek budou opatřeny víčky a ovařeny. Veškeré montážní spoje vazníků budou svařované. Všechny prvky jsou z oceli S355.

2.2.4 Podélné ztužení konstrukce

Podélná ztužidla zajišťují přenos vodorovných zatížení působících v podélném směru konstrukce a zajišťují pásy vazníků proti vybočení z roviny. Tato zatížení jsou přenášena do příčných ztužidel. Konstrukce je podélně ztužena v 7 rovinách.

Ve špici konzoly je příhradové ztužidlo. Ve třech krajních polích je HP z profilu TR 133x10, DP z profilu TR 127x10 a diagonály z profilu TR 60.3x5. Ve zbývajících mezilehlých polích je HP z profilu TR 127x10, DP z profilu TR 108x8 a diagonály z profilu TR 48.3x4. Na konzole jsou dále ještě dvě řady podélných ztužidel tvořených příčkami spojujícími horní pásy a vzpěrkami zajišťujícími dolní pásy vazníků. Příčky jsou z profilů TR 127x8 a TR 159x10. Vzpěrky jsou z profilů TR 70x4 a TR 88.9x5. V místě nad rozsochami prochází podélné ztužidlo ve 2 šikmých rovinách. Tyto roviny respektují sklon příslušných diagonál vazníků. Dolní pásy jsou z trubek TR 244.5x20. Horní pás je společný pro obě šikmé roviny ztužení a je z profilu TR 152.4x10. Diagonály jsou z trubek TR 159x14.2. V poli vazníků prochází další podélné ztužení sestavené z příček TR 168.3x10 a vzpěrek zajišťujících dolní pás z profilu TR 101.6x5.6. V rovině podpor na vnějším líci konstrukce tribuny je příhradové ztužidlo z profilů HP TR 177.8x10, DP TR 152.4x5 a diagonál TR 88.9x8.

Jednotlivé segmenty příhradového ztužidla budou dílensky sestaveny. Rozměr segmentu odpovídá vzdálenosti sousedních vazníků v příslušné rovině ztužení. Tyto segmenty budou připojeny k vazníkům montážními šroubovými spoji. Všechny prvky jsou z oceli S355.

2.2.5 Příčné ztužení konstrukce

Příčná ztužidla zajišťují přenos vodorovných zatížení z podélných ztužidel do podpor. V konstrukci jsou navržena 4 příčná ztužidla. Tato ztužidla jsou tvořena jak pruty namáhanými tahovými i tlakovými silami, tak pruty přenášejícími pouze tahové síly. Pro nalezení maximální síly v táhlech byla stanovena kombinace zatížení vyvolávající extrémní účinek, a byly z modelu odstraněny tlačené pruty. Na maximální tahové síly byly navrženy dimenze táhel. Vzhledem k využití trubkového profilu bylo nutno dodržet požadavek na maximální průhyb prutu L/250, což bylo pro volbu dimenze rozhodující.

Ve špici konzoly jsou po celé délce konstrukce navrženy vzpěrky omezující deformaci špice vazníku z jeho roviny. Tyto vzpěrky jsou z profilu TR 101.6x5. Pruty příčných ztužidel jsou z následujících profilů: TR 101.6x4, TR 168.3x11, TR 114.3x8, TR 219.1x11, TR 108x4.5, TR 133x10, TR 127x8, TR 152.4x7.1. Všechny profily jsou z oceli S355.

2.2.6 Vodorovné okapové ztužidlo

Vodorovné ztužidlo zajišťuje přenos vodorovného zatížení působícího ve směru vazníků. Tato vodorovná zatížení přenáší do podpor. Ztužidlo je navrženo na vnějším líci konstrukce. Jeden jeho pás je tvořen horním pásem podélného příhradového ztužidla, druhý pás je z profilu TR 193.7x11. Diagonály jsou z profilu TR 139.7x12.5. Prvky jsou z oceli S355.

2.2.7 Podpory

Podpory zajišťují přenos veškerých zatížení působících na konstrukci do spodní stavby. Podpory na vnějším líci konstrukce tribuny jsou tvořeny svislými sloupky z profilu TR 127x10 a šikmými vzpěrkami směřujícími z patní desky do styčnicku příhradového vazníku. Tyto vzpěrky jsou z profilu TR 133x12.5. Soustava svislého sloupku a vzpěrky tvoří staticky neposuvný kloub, což umožňuje přenos vodorovných sil z okapového ztužidla to spodní stavby. Protože oba pruty směřují do styčnicků příhradoviny, nedochází k přidavnému ohybovému namáhání prutů vazníku. Přípoje na obou koncích sloupku i vzpěrky jsou kloubové, realizované prostřednictvím styčnickových plechů a čepů. Prvky jsou z oceli S355.

Vnitřní podpory jsou tvořeny sloupy z profilu TR 711x22.2 délky 4,5 m a rozsochami tvořenými čtyřmi větvemi. Přední větve rozsochy jsou z profilu TR 457x28, zadní větve jsou

z profilu TR 457x22.2. Délka větví rozsochy je 7,4 m resp. 7,5 m. Styčnick všech 5 profilů je řešen svařencem vytvořeným z plechů P40 a trubky TR 660x30. Všechny profily jsou z oceli S460. Soustava sloupu, větví rozsochy a příhradového vazníku tvoří rám, což ovlivňuje vzpěrné délky. Ty byly stanoveny zhodnocením výsledků výpočtu v softwaru SCIA Engineer. Součinitel vzpěrné délky sloupu je $\beta = 3,0$ a pro větve rozsochy je $\beta = 2,0$. Ze statického hlediska tvoří tato podpora neposuvný kloub.

2.2.8 Kotvení

Všechny podpory ve výpočtu jsou uvažovány jako kloubové. S ohledem na tento předpoklad je zvolen způsob kotvení. Vnitřní řada sloupů v ose B je do betonové konstrukce tribuny kotvena pomocí předem zabetonovaných kotevních šroubů M56x4 8.8 s hloubkou zabetonování minimálně 800 mm. Navržená patní deska je z plechu P50 přivařená ke sloupu polovičním V svarem na podložku. Otvory v patní desce pro kotevní šrouby jsou překryty podložkou z plechu P30, která je po obvodu přivařená. Beton konstrukce tribuny je C30/37. Podlité patního plechu je 50 mm. Z důvodů působení tahových a smykových sil je navržena smyková zarážka z profilu HEB260 délky 160 mm. Zarážka je k patnímu plechu přivařená svarem tloušťky 8 mm. Účinná hloubka uložení zarážky je 110 mm. Prvky kotvení jsou z oceli S460.

3 Zatížení

Konstrukce je navržena tak, aby byla schopna odolat veškerým zatížením, které na ní budou působit v průběhu celé životnosti stavby.

Zatížení byla stanovena v souladu s platnými normami. Stálá a užitná zatížení jsou stanovena podle ČSN EN 1991-1-1. Zatížení nahodilá klimatická jsou stanovena podle ČSN EN 1991-1-3 pro zatížení sněhem, ČSN EN 1991-1-4 pro zatížení větrem a ČSN EN 1991-1-5 pro zatížení teplotou. Příslušné kombinace zatížení jsou vytvořeny podle kombinačních rovnic 6.10a a 6.10b definovaných v ČSN EN 1990.

3.1 Stálá zatížení

Stálá zatížení jsou tvořena vlastní tíhou ocelové konstrukce, tíhou střešního pláště a tíhou obslužných lávek. Při softwarovém výpočtu byly vlastní tíhy konstrukčních prvků vypočteny automaticky programem. Tíha obslužných lávek byla odhadnuta na 1,00 kN/m. Tíha prvků střešního pláště je stanovena na základě údajů poskytovaných výrobcem prvků.

3.2 Nahodilá zatížení

Ve statickém výpočtu je uvažováno s užitným zatížením na střeše stanoveným podle ČSN EN 1991-1-1. Pro střechy kategorie H je uvažováno se zatížením $0,75 \text{ kN/m}^2$. Vzhledem k tomu, že se neuvažuje současné působení užitného zatížení se zatíženími klimatickými, nehraje toto zatížení v tomto případě žádnou podstatnou roli, protože zatížení sněhem je zde převažující.

Konstrukce je umístěna do lokality Brno. Zatížení sněhem je vypočteno pro sněhovou oblast II., v níž se Brno podle mapy sněhových oblastí nachází. Charakteristická hodnota zatížení je pro tuto oblast $1,0 \text{ kN/m}^2$. Součinitel typu krajiny i tepelný součinitel jsou uvažovány 1,0. Vzhledem k tvaru střechy jsou uvažována různá zatěžovací schémata pro směr příčný a směr podélný. V příčném směru jde o pultovou střechu se sklonem $5,7^\circ$. V podélném směru jde o vícelodní válcovou střechu. Protože ČSN EN 1991-1-3 neřeší zatížení vícelodních válcových střech, byl tvar nahrazen vícelodní sedlovou střechou. Byly zohledněny účinky navátí sněhu. Pro dimenzování vaznic jsou uvažovány zatěžovací stavy

definované v normě pro válcové střechy. Navíc je uvažován zatěžovací stav, kdy zatížení působí na polovině vaznice, což je pro obloukovou konstrukci nejneprůzračnější. Pro dimenzování vazníků jsou uvažovány 3 zatěžovací stavy. Jde o působení sněhu na celém vazníku, působení na konzole vazníku a působení v poli vazníku.

Zatížení větrem je stanoveno podle ČSN EN 1991-1-4 pro větrnou oblast II. Základní rychlost větru v této oblasti je 25,0 m/s. Stavba bude umístěna v městské oblasti, proto je zvolena kategorie terénu IV. Pro zatížení vaznic větrem jsou uvažovány 4 zatěžovací stavy: 1. tlak větru působící na celou vaznici, 2. tlak větru působící na polovině vaznice, 3. sání větru působící na celou vaznici a 4. sání větru působící na polovině vaznice. Pro analýzu konstrukce jako celku jsou uvažovány následující zatěžovací stavy: 1. tlak větru na celou délku vazníku, 2. tlak větru na konzole vazníku, 3. tlak větru v poli vazníku, 4. sání větru na celou délku vazníku, 5. sání větru na konzole vazníku a sání větru v poli vazníku. Ve výpočtu je uvažováno se zatížením větrem na příhradovou konstrukci a rovněž jsou zahrnuty účinky tření větru.

Zatížení teplotou je stanoveno podle ČSN EN 1991-1-5. Montážní teplota je podle normy uvažována 10°C. Z mapy maximálních teplot byla pro lokalitu Brno určena maximální teplota 40°C, z mapy minimálních teplot byla určena teplota -30°C. Na základě těchto údajů bylo stanoveno maximální oteplení a ochlazení konstrukce.

Na obslužné lávce působí dlouhodobé zatížení tvořené tíhou osvětlení a ozvučení sportoviště. Hodnota tohoto zatížení byla stanovena odhadem na 1,00 kN/m. Toto zatížení je uvažováno pouze na lávce umístěné na konzole vazníku, není uvažováno na spojovacích lávkách. Na lávce dále působí užitečné zatížení, jehož hodnota je uvažována 2,00 kN/m². Toto zatížení působí na všech lávkách.

4 Softwarový výpočet

Pro provedení globální analýzy konstrukce a následné dimenzování prvků byl vytvořen prostorový prutový model v programu SCIA Engineer 2011. Konstrukce byla namodelována v souladu s výše uvedenými předpoklady statického působení jednotlivých prvků. Styčníky prvků konstrukce, u kterých se uvažuje jejich svaření, jsou modelovány pro ověření mezního stavu únosnosti jako rámové. Pro ověření mezního stavu použitelnosti konstrukce jsou tyto spojení modelovány kloubově. Nastavení vzpěrnostních systémů bylo definováno uživatelsky.

Byly definovány samostatné zatěžovací stavy pro dimenzování vaznic a pro dimenzování konstrukce jako celku. Pro tyto případy byly rovněž definovány samostatné kombinace zatížení. Pro kombinace sloužící k ověření mezního stavu únosnosti byl zvolen typ kombinace EN-MSÚ (STR/GEO) sada B. Pro ověření mezního stavu použitelnosti byl definován typ EN-MSP char.. Pro zatížení sněhem byly definovány 2 zatěžovací stavy: 1. zatížení sněhem na konzole vazníku a 2. zatížení sněhem v poli vazníku. Tyto zatěžovací stavy byly přiřazeny do standardní skupiny zatížení, mohou tedy působit současně a vytvořit tak zatěžovací stav, kdy působí zatížení sněhem na celém vazníku. Obdobný postup byl zvolen také pro zatížení větrem, kdy byly definovány stavy: 1. tlak větru na konzole vazníku, 2. tlak větru v poli vazníku, 3. sání větru na konzole vazníku a 4. sání větru v poli vazníku. Tyto zmíněné stavy působí pro všechny směry větru. Byly proto definovány další zatěžovací stavy pro zatížení větrem závislé na směru. Jde o zatížení třením větru a zatížení příhradové konstrukce větrem. Zatížení větrem je nejnepříznivější zatížení pro většinu prvků konstrukce. V kombinacích tedy není redukován součinitel zatížení větrem kombinačním součinitelem a jeho výsledná hodnota je 1,5. Aby byl součinitel 1,5 ve výsledných kombinacích také pro zatěžovací stavy závislé na směru větru, byl těmto stavům uživatelsky přiřazen součinitel 1,67 ($0,9 \cdot 1,67 = 1,5$). Výsledné kombinace byly zkontrolovány v klíči kombinace. Vyskytují se zde drobné odchylky od pravidel pro tvorbu kombinací definovaných v normě. Tyto odchylky jsou ale vzhledem k navýšení zatížení na stranu bezpečnou. Pro užité zatížení na obslužné lávce byl zvolen typ zatížení pro střechy kategorie H (kombinační součinitel $\psi = 0,7$). Pro zatížení osvětlením a ozvučením umístěným na obslužné lávce byl zvolen typ zatížení pro sklady kategorie E (kombinační součinitel $\psi = 1,0$), což je vzhledem k odhadu intenzity tohoto zatížení na stranu bezpečnou.

Vybrané prvky konstrukce byly pro ověření správnosti posudku přepočítány. Byly zjištěny odchylky mezi ručním posouzením a posouzením ve SCIA Engineer 2011. Tyto odchylky jsou způsobeny tím, že SCIA zahrnuje do posudku trubkového průřezu také vliv klopení. U prutů příhradové konstrukce, kde převládají osově síly, a o únosnosti rozhoduje zejména vzpěrný tlak, jsou tyto odchylky nepatrné. Chyba se však projevuje u prvků s velkým ohybovým namáháním. Jedná se zejména o sloupy a větve rozsochy. Zde vychází ověřovací posudky mnohem příznivěji, profily prvků je však nutno zachovat s ohledem na mezní stav použitelnosti.

Pro ověření táhel příčného ztužidla byl vytvořený model modifikován. Byla zjištěna kombinace zatížení vyvolávající extrémní namáhání, a tlačené pruty byly z modelu odstraněny. Následně byly táhla posouzeny. Rozhodující vliv na dimenze průřezů měl však mezní stav použitelnosti.

5 Materiál a povrchová úprava prvků

5.1 Materiál

Konstrukce je navržena ze dvou druhů ocelí. Pro podpory v ose B, tzn. sloupy s rozsochami je použita ocel S460. Pro zbylé prvky nosné ocelové konstrukce je použita ocel S355.

5.2 Povrchová úprava prvků

Ocelová konstrukce je opatřena epoxy-polyuretanovým nátěrovým systémem odpovídajícím korozní agresivitě prostředí.

6 Popis alternativního řešení – varianta 2

K hlavní variantě řešení konstrukce zastřešení tribuny byla vypracována alternativní varianta. Tato varianta vychází z koncepce řešení reálné konstrukce. Bylo tedy zohledněno reálné umístění podpor na betonové konstrukci tribuny. Toto omezení vede k vytvoření složitějšího konstrukčního systému, kdy není možné ve velké míře využít opakujících se konstrukčních prvků. Půdorysné rozměry konstrukce 153,0 x 62,0 m jsou téměř shodné s variantou 1. Vzhledem k umístění podpor však není možné využít radiálního uspořádání příhradových vazníků po celé délce konstrukce. Radiálně jsou uspořádány pouze krajní 3 vazníky. Tyto vazníky svírají úhly 8°, 6° a 12°. Zbylé vazníky jsou uspořádány rovnoběžně s osovou vzdáleností 9,0 m. Konzoly vazníků jsou zavěšeny na pylonech pomocí závěsů. Závěsy jsou tvořeny trubkovým profilem, a jsou vzhledem k převažujícímu sání větru dimenzovány na vzpěr. Nejvyšší bod konstrukce je ve výšce +54,600 m. Střešní plášť tvoří předepnutá textilní membrána. Vazníky jsou tedy zatíženy předpětím, což ovlivňuje dimenze prvků. Ve výpočtu byl zohledněn stav, kdy dojde k porušení textilní membrány v některém z polí, a poruší se tak v daném místě rovnováha sil od předpětí. Sklon horních pásů vazníků je proměnný a pohybuje se v rozmezí 10,0% až 12,6%. Vaznice jsou příhradové obloukové, umístěné na vazníky v 6 řadách.

7 Zhodnocení variant

Celková hmotnost ocelové konstrukce varianty 1 činí 811,253 t. Do celkové hmotnosti byla zahrnuta hmotnost detailů a spojovacích materiálů. Detailní výkaz materiálů je uveden v příloze 3 – Výkaz materiálů. Velikost nátěrové plochy je 8247 m².

Hmotnost ocelové konstrukce varianty 2 je po zahrnutí hmotnosti detailů a spojovacích materiálů 753,441 t. Velikost nátěrové plochy je 7066 m².

Rozdíl hmotností OK obou variant je způsoben volbou rozdílných střešních pláštů. Při porovnání hmotností ocelových konstrukcí bez uvážení vaznic a hmotností detailů je rozdíl pouhých 8,9 t (varianta 1 má hmotnost 574,3 t a varianta 2 má hmotnost 565,4 t). Z hlediska porovnání hmotností OK tedy vychází příznivěji varianta 2. Varianta 1 je výhodnější z pohledu opakovatelnosti konstrukčních prvků. Geometrie vazníků a dalších prvků konstrukce je u varianty 1 neměnná. Naopak u varianty 2 je geometrie velmi proměnlivá. Rovněž zatěžovací šířky vaznic a vazníků jsou u varianty 2 velmi odlišné. Vzhledem k větší symetrii konstrukce a výhodnějšímu uspořádání konstrukčních prvků byla jako hlavní varianta zvolena varianta 1.

8 Závěr

Konstrukce je navržena podle platných norem tak, aby byla schopna odolat veškerým zatížením uvažovaným pro daný účel a umístění stavby. Pro návrh byly použity podklady uvedené v seznamu použitých zdrojů. Nosná ocelová konstrukce vyhovuje na I. MS únosnosti a II. MS použitelnosti.

V Brně dne 10.1.2013

Bc. Miroslav Chalupa

Seznam použitých zdrojů

Normy a odborná literatura

- [1] ČSN EN 1990. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Praha : Český normalizační institut, 2004. 76 s.
- [2] ČSN EN 1991-1-1. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha : Český normalizační institut, 2004. 44 s.
- [3] ČSN EN 1991-1-3. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem*. Praha : Český normalizační institut, 2005. 52 s.
- [4] ČSN EN 1991-1-4. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem*. Praha : Český normalizační institut, 2007. 124 s.
- [5] ČSN EN 1991-1-5. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-5: Obecná zatížení - Zatížení teplotou*. Praha: Český normalizační institut, 2005, 44 s.
- [6] ČSN EN 1993-1-1. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha : Český normalizační institut, 2006. 96 s.
- [7] ČSN EN 1993-1-8. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčnicků*. Praha : Český normalizační institut, 2006. 128 s.
- [8] MACHÁČEK, Josef, et al. *Navrhování ocelových konstrukcí. Příručka k ČSN EN 1993-1-1 a ČSN EN 1993-1-8. Navrhování hliníkových konstrukcí. Příručka k ČSN EN 1999-1*. 1. vydání. Praha : Informační centrum ČKAIT, 2009. 182 s. ISBN 978-80-87093-86-3.
- [9] KRÁL, Jaromír. *Navrhování konstrukcí na zatížení větrem. Příručka k ČSN EN 1991-1-4*. 1. vydání. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2010. 112 s. ISBN 978-80-87438-05-3.

Webové stránky

- [10] Návrhový model kloubové patky osově zatíženého sloupu průřezu I. In *NCCI* [online]. , 2007 [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://www.access-steel.com/Dev/Discovery/LinkLookup.aspx?id=SN037&orfl=cs>

- [11] Návrh kloubové patky se smykovou zarážkou. In *NCCI* [online]. , 2007 [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://www.access-steel.com/Dev/Discovery/LinkLookup.aspx?id=SN021&orfl=cs>
- [12] *Www.ocelbulky.cz* [online]. [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://ocelbulky.cz/>
- [13] *Spoje ocelových konstrukcí* [online]. 2010 [cit. 2013-01-10]. Učební pomůcka pro navrhování spojů ocelových konstrukcí zaměřená na šroubové a svarové spoje s příklady dle normy ČSN EN 1993-1-8. Dostupné z: <http://www.ocel.wz.cz/>
- [14] *ArcelorMittal Tubular Products Ostrava a.s.: Výrobní program - Trubky* [online]. 12.3.2008 [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: http://www.arcelormittal.com/ostrava/AMP_programme1_s1_cz.html
- [15] *RHEINZINK* [online]. 2010 [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://www.rheinzink.cz/>
- [16] *Trapézové plechy SATJAM* [online]. [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://www.satjam.cz/satjam-trapez-32.html>

Seznam použitých zkratk

OK – ocelová konstrukce

HP – horní pás

DP – dolní pás

Seznam příloh

Příloha č. 1 – Statický výpočet – varianta 1

Příloha č. 2 – Výkresová dokumentace – varianta 1

Příloha č. 3 – Výkaz materiálů – varianta 1

Příloha č. 4 – Statický výpočet – varianta 2

Příloha č. 5 – Výkresová dokumentace – varianta 2