



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

A – TECHNICKÁ ZPRÁVA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jakub Kerouš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. JINDŘICH MELCHER, DrSc.

BRNO 2017

Obsah

1.	Základní informace a zadání.....	2
2.	Konstrukční materiál	2
3.	Spojovací materiál	2
3.1.	Šrouby.....	2
3.2.	Svary	2
4.	Protikoroziční úprava konstrukce	3
5.	Zatížení	3
6.	Zastřešení	3
6.1.	Střešní plášť	3
6.2.	Vaznice.....	3
7.	Varianta A.....	3
7.1.	Vazník	3
7.2.	Ztužidla	4
7.2.1.	Svislá podélná ztužidla	4
7.2.2.	Podélné a příčné ztužidlo v rovině střechy	5
7.2.3.	Návrh a posouzení ztužení stojek	5
7.3.	Spoje	5
7.4.	Kotvení.....	5
7.5.	Rozdělení na montážní celky	6
8.	Varianta B	6
8.1.	Vazník	6
9.	Posouzení jednotlivých variant zastřešení	7
9.1.	Varianta „A“	7
9.2.	Varianta „B“	7
9.3.	Vyhodnocení.....	7

1. Základní informace a zadání

Zadání diplomové práce:

„V rámci této práce bude navržena a posouzena ocelová nosná konstrukce tribuny sportovního stadionu. Uspořádání a rozměry budou odvozeny z architektonických a koncepčních požadavků na objekt. Z hlediska klimatického zatížení spadá konstrukce do lokality: Brno.“

Tribuna je zastřešena v délce 82,8m a šířce 29,0m. Základní rozměry tribuny a konstrukční uspořádání vycházejí ze zadání na novou konstrukci zastřešení stávajícího fotbalového stadionu v Brně (ul. Srbská) a z podkladů, které laskavě poskytla projekční kancelář *HT Steel*. Konstrukce zastřešuje místa k sezení na tribuně a zároveň je zastřešení protaženo až nad zázemí nad tribunou. Tam, v souladu s požadavky města, zastřešuje toalety a budku pro novináře.

Konstrukce zastřešení je navržena a posouzena ve dvou variantách. Varianta A je navržena jako trubkový příhradový vazník s osovou vzdáleností 4,6m. Varianta B je navržena jako částečně rámový plnostěnný vazník svařovaného I průřezu, jehož osová vzdálenost v konstrukci je rovněž 4,6m.

Obě varianty vazníků jsou porovnány podle několika kritérií: pracnosti, architektonického ztvárnění konstrukce a především hmotnosti. Varianta, jež je vyhodnocena jako výhodnější, je dále rozpracována do větších podrobností. V rámci této práce jsou také zpracovány výkresy a to dispoziční výkres pro obě varianty a výrobní výkres vazníku vybrané varianty.

2. Konstrukční materiál

S235 J2 + N

$$f_y = 235 \text{ MPa} \quad f_u = 360 \text{ MPa} \quad \varepsilon = 1,0$$

- Nelegovaná konstrukční ocel válcovaná za tepla v jakosti pro svařované konstrukce.

3. Spojovací materiál

3.1. Šrouby

M 8.8

- Šrouby s metrickým závitem, osmihrannou hlavou pevnostní třídy 8.8. Každý šroub je nutno v konstrukci použít s předepsanou matkou a podložkami.

$$f_{yb} = 640 \text{ MPa} \quad f_{ub} = 800 \text{ MPa}$$

3.2. Svary

ČSN EN 1090-2

- Svary budou provedeny podle normy ČSN EN 1090-2.

4. Protikorozní úprava konstrukce

ZINOREX S-2211

Protikorozní ochrana konstrukce je navržena jako stříkaná barva (ZINOREX S-2211), ve dvou vrstvách tl. 100 μ m. Alternativně by bylo možné jako ochranu konstrukce zvolit žárové zinkování. V tom případě by ovšem bylo nutné konstrukci dopravit do provozu se zinkovací vanou dostatečných rozměrů (délka min. 10,0m)

5. Zatížení

Zatížení na konstrukci je stanoveno podle normy ČSN EN 1991-1 - Zatížení. Konstrukce je zatížena vlastní tíhou, sněhem (rovnoměrným i nerovnoměrným), větrem (konstrukce je uvažována jako přístřešek z části zaplněný) a montážním zatížením.

Konstrukce spadá do větrové oblasti II ($v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$) a sněhové oblasti II ($sk = 1,0 \text{ kN/m}^2$).

6. Zastřešení

6.1. Střešní plášť

Střešní plášť je navržen z trapézového plechu **HACIERCO 55/250** a je uvažován jako tuhý a do vaznice bude kotven každé vlně, tedy po 250mm. Trapézový plech je navržen a posouzen podle podkladů výrobce AcelorMittal.

6.2. Vaznice

Vaznice je navržena jako plnostěnný válcovaný nosník **IPE200** na rozpětí 4,6m. Vaznice je navržena stejná pro všechny větrové oblasti střechy. Vaznice je ve výpočtu ověřena jak na účinky od tlaku, kdy je horní pás zabezpečen proti klopení uchycením do střešního pláště, tak na účinky sání, kdy klopení spodního pásu není bráněno. Ve statickém výpočtu je ověřen i případ kombinace ohybu a osového tlaku, který způsobí stabilizační síly od horního pásu vazníku.

Okapová vaznice je taktéž navržena z profilu IPE200 a je ověřena na ohyb ve dvou osách i na mezní průhyb.

7. Varianta A

7.1. Vazník

Vazník je navržen příhradový s délkou 29,0m, se sklonem horního pásu 2,3%, jeho celková výška je 9,3m. Vaznice jsou na horním pásu uloženy ve vzdálenostech 2,3m a 2,65m. Vazníky jsou v konstrukci po 4,6m a jsou kloubově uloženy ve dvou místech. Vazník je svařen z CHS trubek, až na horní pás, který je navržen z profilu IPE.

Horní pás vazníku tvoří průřez **IPE300**. Proti vybočení ve svislém směru je zajištěn ve styčnicích ve vzdálenosti 2,3m a 2,65m. Ve stejných vzdálenostech je zabezpečen proti vybočení ve vodorovném směru vaznicemi. Horní pás je rozdělen na 4 montážní celky, které jsou spojeny příložkami a šroubovými spoji.

Spodní pás je z profilu **CHS 219,1x12,5**. Proti vybočení ve svislém směru je zajištěn ve styčnicích ve vzdálenosti 2,3m a 2,65m. Proti vybočení ve vodorovném směru je zajištěn podélnými střešními ztužidly ve vzdálenostech 9,2m a 4,95m. Spodní pás je taktéž dělen na 4 montážní celky, které jsou spojeny šroubovými spoji přes čelní desku

Diagonály v převislé části vazníku jsou navrženy z profilu **CHS 101,6x5** a proti vybočení jsou zabezpečeny ve styčnicích vazníku. Diagonály jsou k pásovým prutům připojeny svary, přípoj jedné diagonály je vzhledem k rozdělení na montážní celky řešen šrouby.

Diagonály v části nad zázemím jsou vzhledem k minimálním osovým silám navrženy konstrukčně z profilu **CHS 60,3x4** Diagonály jsou k pásovým prutům stojky připojeny svary.

Diagonály stojky jsou navrženy z profilu **CHS 101,6x10** a proti vybočení jsou zabezpečeny ve styčnicích vazníku. Diagonály jsou k pásovým prutům připojeny svary, přípoj jedné diagonály je vzhledem k rozdělení na montážní celky řešen šrouby.

Primární stojka střední podpory je navržena z profilu **CHS 219,1x8**, proti vybočení je v horní části zabezpečena vaznicí a konstrukcí střechy. V dolní části kloubovým kotvením do základu. Pro výpočet vzpěrné délky je uvažována celá délka od kotvení po vaznici včetně délky svislice nad stojkou.

Svislice nad primární stojkou je navržena z profilu **CHS 177,8x12,5**, proti vybočení je v horní části zabezpečena vaznicí a konstrukcí střechy. V dolní části kloubovým kotvením do základu. Pro výpočet vzpěrné délky je uvažována celá délka od kotvení po vaznici včetně délky svislice nad stojkou.

Sekundární stojka střední podpory je navržena z profilu **CHS 101,6x4**, proti vybočení je v horní části zabezpečena ve styčnicích vazníku. V dolní části kloubovým kotvením do základu.

Krajní stojka je navržena z profilu **HE100B**, který je v obou rovinách kloubově kotven jak do vazníku, tak do základu. Vzpěrná délka je uvažována jako vzdálenost mezi kotvením.

Svislice jsou navrženy z profilu **CHS 60,3x4** a proti vybočení jsou zabezpečeny ve styčnicích vazníku.

7.2. Ztužidla

7.2.1. Svislá podélná ztužidla

Přenášejí vodorovné síly od větru do příčných ztužidel v rovině střechy a zabezpečují spodní pás vazníku proti vybočení a jsou navržena jako příhradovina z trubek CHS.

Ztužidlo bude k pásům vazníku připojeno šroubově, jednotlivé prvky ztužidla budou svařeny. Připojení ztužidla ani spoje jeho prvků nejsou v této práci podrobně řešeny.

Horní pás ztužidla tvoří průřez **CHS 76,1x5**. Jeho vzpěrná délka je uvažována jako vzdálenost mezi vaznicí, tedy 4,6m.

Spodní pás ztužidla tvoří průřez **CHS 101,6x4**. Jeho vzpěrná délka je uvažována jako vzdálenost mezi vazníky, tedy 4,6m.

Diagonály ztužidla tvoří průřez **CHS 60,3x2,6**. Proti vybočení jsou zabezpečeny ve styčnicích vazníku.

Svislici ztužidla tvoří průřez **CHS 42,4x2,6**. Proti vybočení je zabezpečen ve styčnicích vazníku.

7.2.2. Podélné a příčné ztužidlo v rovině střechy

Přenášejí vodorovné síly od větru do svislých ztužidel mezi stojkami a jsou navržena jako polopříčková z trubek CHS. Ztužidla v rovině střechy budou připojena šrouby, návrh a posouzení těchto není podrobněji řešeno.

Příčné ztužidlo v rovině střechy je navrženo z profilu **CHS 114,3x3,2**.

Podélné ztužidlo v rovině střechy je navrženo z profilu **CHS 76,1x3,2**.

7.2.3. Návrh a posouzení ztužení stojek

Ztužidla jsou navržena jako křížová a ve výpočtu je uvažována vždy jen tažená diagonála. U tlačené diagonály se předpokládá pružené vybočení. Křížení diagonál bude řešeno vevařeným středovým styčnickovým plechem. Ztužidla stojek budou připojena šrouby, návrh a posouzení těchto není podrobněji řešeno. U ztužidel je ověřena relativní štíhlost, tak aby se pohybovala maximálně okolo 200.

Ztužení krajní stojky je navrženo z profilu **CHS 101,6x3,2**.

Ztužení vnitřní stojky je navrženo z profilu **CHS 114,3x3,2**.

7.3. Spoje

Mezipásové pruty jsou k pásům vazníku připojeny svary po celém obvodu, ve statickém výpočtu je určena tloušťka svaru pro každý připojovaný prvek.

Montážní spoje jsou řešeni jako šroubové, horní pás je spojen osmi příložkami a **18 šrouby M12 8.8** v každém dílu. Horní pás vazníku je posouzen na oslabení šroubovým spojem. Spoj dolního pásu je řešen pomocí čelních desek. Je tvořen dvojicí plechů přivařených koutovými svary na čela trubek. Spoj je spojen **10 šrouby M24 8.8**.

Montážní přípoj diagonál v převislé části je realizován pomocí **dvojice šroubů M20 8.8**. Přípoj diagonály nad zázemím potom **trojicí šroubů M24 8.8**.

7.4. Kotvení

Čepové kotvení a přípoj jsou posouzeny podle ČSN-EN-1993-1-8 3.13 Čepové spoje. Čepové spoje jsou navrženy na únosnost průřezu, nikoli na působící normálové síly. Čepy jsou navrženy z oceli S355, všechny ostatní prvky z oceli S235.

Kotvení středové stojky zajišťuje čep o průměru 80mm společně s dvojicí plechů tl. 30mm v horní části a trojicí plechů tl. 20mm v části dolní.

Kotvení krajní stojky zajišťuje čep o průměru 60mm společně s plechem tl. 32mm v horní části a dvojicí plechů tl. 16mm v části dolní.

7.5. Rozdělení na montážní celky

Konstrukce bude z hlediska přepravy rozdělena na několik montážních celků. Jednotlivé montážní celky jsou přehledně zobrazeny na obrázku níže, včetně jejich rozměrů. Dle dostupných informací by mělo být možné montážní celky této velikosti přepravit po pozemních komunikacích.

Jednotlivé montážní celky budou spojeny pomocí šroubových spojů přímo na staveništi.

Rozměry montážních celků:

1 – 6,50m x 1,35m

2 – 9,30m x 2,10m

3 – 8,90m x 3,75m

4 – 10,00m x 2,25m

5 – 4,40m x 0,2m

8. Varianta B

8.1. Vazník

Varianta B je navržena jako plnostěnný svařovaný nosník profilu I jež je rámově spojen se střední stojkou z válcovaného profilu HEB. Krajní stojka je kloubově uložená a je taktéž navržena z válcovaného HEB profilu. V rámci výpočtu plnostěnného vazníku jsou posouzeny jednotlivé řezy na vnitřní síly v nich působící.

Výpočet se také zabývá pouze výpočtem hlavních nosných prvků pro účely určení hrubé hmotnosti vazníku. V rámci výpočtu není posouzen rámový přípoj stojky k nosníku ani kloubový přípoj krajní stojky.

Hlavní nosník je navržen jako svařovaný I průřez proměnného průřezu, výška nosníku je **2000mm** nad středovou stojkou a **400mm** na jeho krajích, tloušťka stojiny je konstantních **15mm**. Pásnice vazníku jsou navrženy konstantního průřezu a to šířky **450mm** a výšky **25mm**.

Horní pás vazníku je proti vybočení zajištěn pomocí vaznic po **2,3m a 2,65m**. Dolní pás vazníku je proti vybočení zabezpečen nad stojkou, v polovině vyložení a na konci vyložení – tedy ve vzdálenostech **9,2m; resp. 10,6m**. Dolní pás bude zabezpečen vzpěrkou podélného větrového ztužidla.

Středová stojka je navržena jako válcovaný průřez **HE320B**, v dolní části je kloubově uložena do kotvení a v horní části vetknutá do vazníku.

Krajní stojka je navržena jako válcovaný průřez **HE120B**, v dolní části je kloubově uložena do kotvení a v horní části kloubově spojena s hlavním nosníkem vazníku.

9. Posouzení jednotlivých variant zastřešení

Tato kapitola bude věnována srovnání Varianty A, která je navržena s příhradovým trubkovým vazníkem a Varianty B, které je navržena s plnostěnným svařovaným vazníkem. Dispoziční uspořádání je pro obě varianty stejné, stejný je tedy i střešní plášť a použité vaznice.

Pro každou variantu je spočtena hrubá hmotnost, do které je započtena hmotnost střešní konstrukce a vazníku. Hmotnost je určena z navržených průřezů a jejich osových délek. Nejsou započítána ztužidla (ta budou navržena pouze pro vítěznou variantu).

9.1. Varianta „A“

Vaznice a střešní plášť: Hmotnost jedné vaznice je 103 kg, při počtu 234 vaznic ve střeše je celková hmotnost vaznic 24082 kg. Hmotnost navrženého střešního pláště je 6,03 kg/m² a celkem v konstrukci 15010 kg.

Vazník: Hmotnost jednoho příhradového vazníku je 4234 kg, při počtu 19 vazníků v konstrukci je celková hmotnost vazníků 80440 kg.

Celková hmotnost konstrukce bez ztužidel a spojovacích prvků je tedy 119532 kg, při přepočítání na plochu konstrukce (2488, m²) 48,02 kg/m².

9.2. Varianta „B“

Vaznice a střešní plášť: Hmotnost jedné vaznice je 103 kg, při počtu 234 vaznic ve střeše je celková hmotnost vaznic 24082 kg. Hmotnost navrženého střešního pláště je 6,03 kg/m² a celkem v konstrukci 15010 kg.

Vazník: Hmotnost jednoho plnostěnného vazníku je 10480 kg, při počtu 19 vazníků v konstrukci je celková hmotnost vazníků 199226 kg.

Celková hmotnost konstrukce bez ztužidel a spojovacích prvků je tedy 238318 kg, při přepočítání na plochu konstrukce (2488, m²) 95,70 kg/m².

9.3. Vyhodnocení

Jak je výše zmíněno, střešní plášť i vaznice jsou pro obě varianty stejné, hmotnost je tedy taktéž stejná. Naopak výrazný rozdíl můžeme pozorovat u hmotností vazníků, kdy plnostěnný vazník vychází téměř 2,5x těžší než příhradová varianta.

Tuto skutečnost si autor práce vysvětluje tím, že je plnostěnný vazník navržen především s ohledem na MSP a vychází oproti příhradové variantě předimenzovaný. Příhradová varianta neměla se splněním podmínek použitelnosti problém a je tedy z hlediska hmotnosti výrazně úspornější.

V porovnání varianty byla také zohledněna pracnost a vzhled. Příhradová varianta je považována celkově za estetičtější a výrobně náročnější oproti variantě plnostěnné svařované.