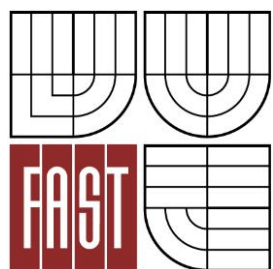




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

OCELOVÁ KONSTRUKCE HALY

STEEL STRUCTURE OF A HALL

A – TECHNICKÁ ZPRÁVA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAKUB KEROUŠ

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. KAREL SÝKORA

BRNO 2015

Obsah

1.	Základní informace a zadání.....	2
2.	Zatížení	2
3.	Zastřešení	2
3.1.	Střešní plášť	2
3.2.	Varianta „A“	2
3.2.1.	Vaznice.....	2
3.2.2.	Vazník	3
3.2.3.	Spoje	3
3.3.	Varianta „B“	4
3.3.1.	Vaznice.....	4
3.3.2.	Vazník	4
3.3.3.	Spoje	4
4.	Posouzení jednotlivých variant zastřešení	5
4.1.	Varianta „A“	5
4.2.	Varianta „B“	5
4.3.	Vyhodnocení.....	5
5.	Jeřábová dráha	5
6.	Sloupy a příčná vazba	6
6.1.	Špička.....	6
6.2.	Dřík	6
7.	Kotvení sloupu a patka	7
8.	Ztužidla	7
8.1.	Příčné střešní větrové ztužidlo	7
8.2.	Příčné stěnové větrové ztužidlo	7
8.3.	Podélné svislé střešní ztužidlo.....	7
8.4.	Podélné střešní ztužidlo v rovině střechy.....	8

1. Základní informace a zadání

Jako téma bakalářské práce byla zadána ocelová konstrukce jednolodní průmyslové haly. Prostorové uspořádání objektu bylo zadáno takto: rozpětí 30,0 m, délka 63,0 m a skladebná výška konzoly jeřábové dráhy 9,3m, celková výška objektu měřená od terénu po hřeben střechy je 17,0m. V hale jsou uvažovány dva mostové jeřáby o nosnosti 50 t a 32 t. Konstrukce je navržena pro oblast Brno a tomu také odpovídají skupiny klimatických zatížení. Jako materiál nosné konstrukce byla zvolena ocel S420.

2. Zatížení

Zatížení je zpracováno podle ČSN EN 1991-1 pro nosnou konstrukci a podle ČSN EN 1991-3 pro jeřábovou dráhu.

Konstrukce spadá do větrové oblasti II ($v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$), tato oblast byla určena podle mapy větrových oblastí ČR. Konstrukce spadá do sněhové oblasti II ($s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$) tato oblast byla určena podle mapy sněhových oblastí ČR.

3. Zastřešení

Zastřešení je zpracováno ve dvou variantách:

Varianta „A“ kde jsou navrženy příčné vazby po 12,0 m s šesti vazníky na rozpětí 30,0 m a příhradovými vaznicemi s parabolickým spodním pásem na rozpětí 12,0m.

Varianta „B“ kde jsou navrženy příčné vazby po 6,0 m s jedenácti vazníky na rozpětí 30,0 m a plnostěnnými vaznicemi profilu IPE na rozpětí 6,0m.

Tyto dvě varianty jsou porovnány podle kritéria hmotnosti.

3.1. Střešní plášť

Střešní plášť je navržen jako skládaná konstrukce, kdy odolnost proti vodě zajišťuje vrchní vrstva z HDPE, tepelnou izolaci desky z minerálních vláken a nosnou úlohu zde plní trapézový plech který bude připevněn na vaznice. Střešní plášť je uvažován jako netuhý, všechny účinky musí být přeneseny v konstrukci střechy. Hmotnost střešního pláště na je navržena s ohledem na vyrovnání účinků sání větru.

3.2. Varianta „A“

3.2.1. Vaznice

Vaznice je pro tuto variantu navržena jako příhradová s parabolickým spodním obloukem na rozpětí 12,0m. Půdorysná vzdálenost vaznic je 3,0m. Tvar a geometrie vaznice byla převzata z literatury („Kovové konstrukce: Konstrukce průmyslových budov – Jindřich Melcher, Bohumil Straka“). Z této literatury byly zároveň stanoveny velikosti vnitřních sil v jednotlivých prutech pro jednotkové zatížení (tabulka č. 9 „OSOvé síly v prutech příhradové vaznice pro zatížení $q=1,0 \text{ kN/m}$ “ na straně 38).

Horní pás vaznice je navržen jako svařovaný průřez – symetrický L profil pootočen o 45° z hora překrytý po celé délce přivařenou pásovou ocelí umožňující montáž střešního pláště.

Dolní pás je navržen jako jeden profil L.

Diagonály jsou navrženy z plného kruhového průřezu, jež je v místě styčnicku ohnut a přivařen koutovými svary k horní či dolní pásnici.

Horní tlačný pás bude v celé konstrukci v polovině rozpětí (6,0 m) zajištěn táhlem proti vybočení kolmo k ose z. Spodní tlačný pás (pro krajní vaznice, nad kterými je oblast zatížení větrem F) bude zabezpečen ztužidly spodního pásu ve čtvrtinách rozpětí (3,054 m). Pro všechny další vaznice je uvažována oblast I a je navrženo ztužidlo spodního pásu v polovině rozpětí (6,0 m).

3.2.2. Vazník

Vazník je navržen příhradový na rozpětí 30,0 m. Tvar vazníku byl zvolen typizovaný se sklonem 5%, jeho výška uprostřed rozpětí je 3,15 m a nad podporou 2,4 m, délka jednotlivých polí je 3,0 m. Vazník je ve styčnicích zatížen reakcemi z vaznic. Vazníky jsou v konstrukci po 12,0 m a tvoří společně se sloupy příčnou vazbu. Vazník přenáší vodorovné staticky neurčité rámové účinky, které v příčné vazbě vznikají. Vazník je z přepravních důvodů rozdělen přibližně ve třetinách na montážní celky. Tyto celky budou spojeny na stavbě pomocí navržených šroubových spojů.

Horní pás vazníku tvoří jeden symetrický profil L 200x200x14. Proti vybočení ve svislém směru je zajištěn ve styčnicích ve vzdálenosti 3,004 m. Proti vybočení v rovině střechy je zajištěn příčným střešním větrovým ztužidlem v každém druhém styčnicku, tedy po 6,008 m. Horní pás je navržen s rezervou, tak aby přenesl přidaná osová namáhání, která vzniknou od příčného střešního ztužidla.

Spodní pás je z jednoho symetrického profilu L 125x125x14. Proti vybočení ve svislém směru je zajištěn ve styčnicích ve vzdálenosti 3,0 m. Proti vybočení ve vodorovném směru je zajištěn vzpěrkou podélného střešního ztužidla v polovině rozpětí a ve čtvrtém styčnicku, tedy po 6,0 a 9,0 m.

Tlačená diagonála je složený prut ze dvou rovnoramenných úhelníků L 125x125x12 spojených ve třetinách – prut je uvažován jako celistvý.

Tažená diagonála je složený prut ze dvou rovnoramenných úhelníků L 60x60x6 konstrukčně spojených ve třetinách.

Tlačená svislice je složený prut ze dvou rovnoramenných úhelníků L 75x75x5 spojených ve třetinách – prut je uvažován jako celistvý.

3.2.3. Spoje

Styčnickové plechy jsou přivařeny k hornímu a dolnímu pásu vazníku. Styčnickové plechy jsou vsunuty mezi dvojici úhelníku každého prutu. Pruty jsou ke styčnickovým plechům připojeny svary. S tím, že minimální tloušťka svaru je brána podle konstrukčních zásad a maximální tloušťka svaru dle vztahu $a_{\max} = 0,7 \cdot t_{\min}$

Montážní spoje jsou řešeny jako šroubové, spodní pás je spojen čtveřicí stejných příložek a šesti šrouby M22 5.6 v každém dílu. Spodní pás vazníku je posouzen na oslabení šroubovým spojem. Spoj horního pásu je řešen jako kontaktní a přenáší především tlakové síly. Je tvořen dvojicí plechů přivařených koutovými svary na čela úhelníků. Spoj je pojištěn dvojicí šroubů M24 5.6, které zároveň přenesou případné tahové namáhání vyvozené sáním větru. Diagonála je ke styčnickovým plechům připojena čtyřmi šrouby M12 5.6.

3.3. Varianta „B“

3.3.1. Vaznice

Vaznice je pro tuto variantu navržena jako plnostěnná z profilu IPE na rozpětí 6,0m. Půdorysná vzdálenost vaznic je 3,0m. Vaznice je vzhledem ke sklonu horního pásu vazníku 5° uložena šikmo, ale vzhledem k velikosti sklonu je uvažována jako svisle uložená. Střešní plášť je netuhý, proto není účinně zabráněno klopení tlačенého pásu vaznice. Ve výpočtu je tento fakt brán na zřetel a vaznice jsou navzájem propojeny táhly, která brání klopení pásů vazníku.

V případě, kdy je tlačен horní pás vaznice (typická situace - zatížení vlastní tíhou, případně sněhem, platí stejně v celé konstrukci) zabrání klopení dvě táhla navržena ve třetinách vaznice (2,0 m). Pro krajní vaznice, nad kterými je oblast zatížení větrem F, je navrženo navíc táhlo v polovině rozpětí (6,0 m) při spodním pásu. V ostatních polích (oblast I) není toto táhlo nutné, jelikož vlastní tíha vyrovnává účinky sání větru.

3.3.2. Vazník

Všechny prvky jsou navrženy stejně jako v případě vazníku ve variantě „A“, jsou pouze navrženy odpovídající dimenze profilů.

Vazníky jsou v konstrukci oproti variantě A po 6,0 m a tvoří společně se sloupy příčnou vazbu.

Horní pás vazníku tvoří jeden symetrický profil L 160x160x12.

Spodní pás je z jednoho symetrického profilu L 110x110x8. Proti vybočení ve vodorovném směru je zajištěn vzpěrkou podélného střešního ztužidla v polovině rozpětí, v prvním styčnicku a ve čtvrtém styčnicku, tedy po 3,0 a 6,0 m.

Tlačená diagonála je složený prut ze dvou rovnoramenných úhelníků L 100x100x8 spojených ve třetinách – prut je uvažován jako celistvý.

Tažená diagonála je složený prut ze dvou rovnoramenných úhelníků L 45x45x4 konstrukčně spojených ve třetinách.

Tlačená svislice je složený prut ze dvou rovnoramenných úhelníků L 63x63x4 spojených ve třetinách – prut je uvažován jako celistvý.

3.3.3. Spoje

Spoje pro variantu B nejsou podrobně zpracovány.

4. Posouzení jednotlivých variant zastřešení

Jako jediné kritérium výběru varianty byla zvolena hmotnost.

4.1. Varianta „A“

Vaznice: Hmotnost jedné příhradové vaznice je 299 kg, při počtu 55 vaznic ve střeše je celková hmotnost vaznic 16 425 kg.

Vazník: Hmotnost jednoho příhradového vazníku je 3164 kg, při počtu 6 vazníků ve střeše je celková hmotnost vazníků 18 985,5 kg.

Celková hmotnost zastřešení je tedy 35 410 kg, při přepočítání na plochu zastřešení (1800 m²) 16,67 kg/m².

4.2. Varianta „B“

Vaznice: Hmotnost jedné plnostěnné vaznice je 113 kg, při počtu 110 vaznic ve střeše je celková hmotnost vaznic 12 383 kg.

Vazník: Hmotnost jednoho příhradového vazníku je 2155 kg, při počtu 11 vazníků ve střeše je celková hmotnost vazníků 23 704 kg.

Celková hmotnost zastřešení je tedy 36 086 kg, při přepočítání na plochu zastřešení (1800 m²) 20,05 kg/m².

4.3. Vyhodnocení

Z těchto hmotností vychází varianta „A“ jako výhodnější. V případně porovnání dalších kritérií, především pracnosti výroby, by pravděpodobně vyšla výhodněji varianta „B“. Jelikož výroba 55 kusů příhradových vaznic by byla pracnější než zhotovení 5 kusů vazníků navíc. V praxi se uvažuje jako ekonomická maximální vzdálenost příčných vazeb 8,0 m.

5. Jeřábová dráha

Je navržena jeřábová dráha pro dva zadané mostové jeřáby o nosnosti 50/12,5 t a 32/8 t. Rozpětí jeřábové dráhy je 12,0 a odpovídá vzdálenosti příčných vazeb ve zvolené variantě „A“. Jeřábová dráha je umístěna ve výšce 9,3 m odpovídající zadané skladebné výšce konzoly. Osová vzdálenost nosníků jeřábové dráhy je 28,5 m. Zatížení a posouzení jeřábové dráhy bylo provedeno podle publikace „Kovové konstrukce: Výpočet jeřábové dráhy pro mostové jeřáby podle ČSN EN 1991-3 a ČSN EN 1993-6 – Milan Pilgr“.

Hlavní nosník jeřábové dráhy je navržen jako svařovaný průřez výšky 1200 mm s šířkou pásnic 400 mm. Horní pásnice je tloušťky 45 mm, spodní 35 mm, stojina je tloušťky 15 mm. V nosníku navrženy otevřené příčné výztuhy. Koncové v místech podpor působí jako netuhé, mezilehlé jsou navrženy ve vzdálenosti po 1500 mm. Koncové výztuhy jsou navrženy jako plech tloušťky 15 mm široký 110 mm přivařený koutovým svařem s účinnou výškou 6 mm. Mezilehlé výztuhy mají tloušťku 10 mm a šířku 110 mm, jsou připojeny koutovými svary s účinnou výškou 4 mm.

Dále je uvažován vodorovný výztužný nosník jeřábové dráhy. Tento nosník přebírá boční rázy jeřábů, na nosníku je umístěna lávka pro údržbu jeřábové dráhy. Tento nosník není ve výpočtu podrobně rozpracován.

Vzhledem k dynamickému namáhání jeřábové dráhy byl vybrán jeden detail náchylný na poškození dynamickým zatížením. „K posouzení únavového poškození bylo vybráno ekvivalentní únavové zatížení, jež je možné uvažovat pro všechny polohy jeřábu konstantní. Ekvivalentní únavové zatížení tak zahrnuje účinky průběhu zatěžování a poměr absolutního počtu zatěžovacích cyklů k referenční hodnotě $N_C = 2,0 \cdot 10^6$ cyklů.“ (viz.: „Kovové konstrukce: Výpočet jeřábové dráhy pro mostové jeřáby podle ČSN EN 1991-3 a ČSN EN 1993-6 – Milan Pilgr“, strana 42).

Jako posuzovaný detail bylo vybráno místo přivaření zarážky kolejnice na horním nosníku jeřábové dráhy. Původně navržený nosník na poškození únavou nevyhověl, bylo nutné zvýšit dimenze pásnic z původních 32 mm pro spodní a 40 mm pro horní pásnici na 35 mm a 45 mm.

6. Sloupy a příčná vazba

Sloupy jsou navrženy jako plnostěnné a jejich vzdálenost činí 12,0 m. V příčném směru tvoří společně s příhradovým střešním vazníkem příčnou vazbu a sloupy v tomto směru uvažujeme jako vetknuté, vazník je ke sloupům v rovině příčné vazby připojen kloubově. V podélném směru jsou sloupy navrženy jako kloubově uložené. Výpočet příčné vazby byl proveden ručně silovou metodou (viz. z kapitola „Výpočet příčné vazby“ „Kovové konstrukce: Konstrukce průmyslových budov – Jindřich Melcher, Bohumil Straka“ strana 148).

6.1. Špička

Špička je navržena jako plnostěnný válcovaný profil HE300B. Vzpěrná délka kolmo na osu y je uvažována jako trojnásobek výšky špičky, tedy $l_{cr,y} \doteq 3 \cdot l_h = 3 \cdot 6,6 = 19,8m$. Vzpěrná délka kolmo na osu z je uvažována jako výška špičky, tedy $l_{cr,z} \doteq l_h = 6,6m$. Vzpěrná délka pro klopení je uvažována jako polovina výšky špičky, tedy $l_\omega \doteq 0,7 \cdot l_h = 0,7 \cdot 6,6 = 4,62m$.

6.2. Dřík

Dřík je navržen jako plnostěnný svařovaný profil výšky 700 mm. Vzpěrná délka kolmo na osu y je uvažována jako dva a půl násobek výšky dříku, tedy $l_{cr,y} \doteq 2,5 \cdot l_d = 2,5 \cdot 10,3 = 25,75m$. Vzpěrná délka kolmo na osu z je uvažována jako výška dříku, tedy $l_{cr,z} \doteq l_d = 10,3m$. Vzpěrná délka pro klopení je uvažována jako polovina výšky dříku, tedy $l_\omega \doteq 0,5 \cdot l_d = 0,5 \cdot 10,3 = 5,15m$.

7. Kotvení sloupu a patka

Tato kapitola je zpracována podle studijní opory „Kovové konstrukce I: modul B004-M04 – sloupy a větrové ztužidlo - Jindřich Melcher, Milan Pilgr“.

Základ je navržen z betonu C16/20, délka patky je 1400 mm, šířka 600 mm a výška 350 mm. Patka je do základu zakotvena čtveřicí šroubů M42x3 z oceli S235. Tloušťka patního plechu je 30 mm. Celý profil je ověřen na ohybové namáhání od nejnepríznivější kombinace. Patka je ke šroubům připojena přes dvojici kotevních příčníků profilu UE 120.

8. Ztužidla

8.1. Příčné střešní větrové ztužidlo

Do příčného větrového ztužidla se přenáší část (přibližně polovina) účinků větru působící na štítové stěny budov, zbylá část těchto účinků bude přenesena sloupy do základů. Ztužidla jsou navržena do kříže na šířku 6 m a délku pole také 6 m. Ve statickém schématu jsou uvažovány jen tažené diagonály, v případě opačného působení větru přenesou vzniklé síly druhá diagonála – opět jako tažená. Tlačená diagonála pružně vybočí a nepřenáší žádné zatížení. V křížení diagonál bude zhotoven konstrukční spoj. Pouze v prostředním poli ztužidla jsou uvažovány obě diagonály z důvodu dodržení statické určitosti.

Tažené diagonály v krajních polích jsou navrženy jako profil L 60x60x4. V diagonálách ve středním poli vznikne tlak, jsou tedy navrženy masivnější - L 90x90x6. Při návrhu diagonál byla zohledněna limitní štíhlost prutu $\lambda \leq 400$. Kritická délka prutu je vždy polovina délky prutu, z důvodu konstrukčního spojení v polovině prutů.

Jako pás ztužidlového příhradového vazníku slouží na jedné straně horní pás vazníku. Ve výpočtu je ověřeno, že vazník tato přídatná namáhání přenesou. Jako druhý pás je navržena trubka CSH 139,7x5.

8.2. Příčné stěnové větrové ztužidlo

Stěnové ztužidlo je zatížené reakcí střešního příčného ztužidla, zatížení od brzdících a rozjezdových sil jeřábové dráhy bude přeneseno samostatným brzdícím portálem v rovině jeřábové dráhy. Tento portál není v práci dále podrobně zpracován.

Ztužidlo je navrženo o dvou polích, která jsou rozdělena v úrovni nosníku jeřábové dráhy. Diagonály jsou navrženy do kříže, přičemž ve statickém schématu je uvažována vždy jen tažená diagonála. Diagonály budou v jejich křížení konstrukčně spojeny. Při návrhu diagonál byla zohledněna limitní štíhlost prutu $\lambda \leq 400$. Kritická délka prutu je vždy celá délka prutu – prvky jsou tažené. Prvky budou konstrukčně spojeny v polovině rozpětí prutů styčnickovým plechem. Diagonály v horním poli jsou navrženy jako trubky CSH 101,6x3,2, v dolním poli trubky CSH 114,3x3,2.

8.3. Podélné svislé střešní ztužidlo

Je navrženo jako vrcholová vaznice doplněná o vzpěrky k dolnímu pásu vazníku. Slouží především při montáži střešních vazníků k zabezpečení jejich stability a během provozu stabilizují spodní pás vazníku proti vybočení. Z výpočtu vyplynulo, že síly stabilizující spodní pás vazníku proti vybočení při sání větru jsou

minimální. Podélné střešní ztužidlo tedy navrhne konstrukčně tak, aby stabilizovalo vazníky při jejich montáži. Přidané vzpěrky jsou navrženy z úhelníku L 60x60x4

8.4. Podélné střešní ztužidlo v rovině střechy

Jako opláštění budovy jsou navrženy stěnové panely „KINGSPAN - Stěnový panel KS1000 AWP 80“. Bylo uvažováno největší zatížení na stěny objektu a to oblast A s hodnotou sání $w_{e,A} = -0,896 \text{ kN/m}^2$. Také byl uvažován tlak větru působící na stěnu s intenzitou $w_{e,D} = 0,553 \text{ kN/m}^2$. Podle těchto hodnot bylo určeno maximální rozpětí stěnového panelu 3,43m. Pole mezi příčnými vazbami o délce 12,0m bude sloupky stěnového pláště rozděleno na 4 části dlouhé 3,0m. Z toho vyplývá geometrie podélného střešního ztužidla umístěného v rovině střechy. Do podélného větrového ztužidla se stejně jako do příčného ztužidla přenáší část (přibližně polovina) účinků větru působící na boční stěny budov, zbylá část těchto účinků bude přenesena sloupy do základů.

Ztužidlo je navrženo jako příhradový nosník s výškou 3,0 m o třech polích po 3,0 m na délku 12,0 m.

Diagonály jsou navrženy na případ sání větru, kdy jsou tlačeny, profil L 110x110x8. Také svislice jsou navrženy a posouzeny na tlakové namáhání, které v tomto případě vyvolá tlak větru, profil L 63x63x6.

Horní a dolní pás příhradového nosníku ztužidla tvoří horní pás vaznice. Ve výpočtu je ověřeno, že tuto přídavnou sílu pás přenesou.