



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

ZASTŘEŠENÍ ŽELEZNIČNÍ STANICE "BRNO - HLAVNÍ NÁDRAŽÍ"

ROOFING OF RAILWAY STATION "BRNO - MAIN STATION"

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Matěj Jež

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.

BRNO 2023

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav kovových a dřevěných konstrukcí
Student: **Bc. Matěj Jež**
Vedoucí práce: **prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.**
Akademický rok: 2022/23
Studijní program: N0732A260026 Stavební inženýrství – konstrukce a dopravní stavby

Děkan Fakulty Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Zastřešení železniční stanice „Brno - hlavní nádraží“;

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Statický a konstrukční návrh ocelové nosné konstrukce zastřešení železniční stanice s integrovaným autobusovým nádražím na základě zadaných podkladů a parametrů – situace, lokalita, architektonický návrh, dispozice, základní tvar a rozměry konstrukce, zatížení.

S ohledem na otevřený charakter konstrukce je třeba se důsledně zaměřit na účinky klimatického zatížení, tj. zatížení sněhem a zejména větrem. S ohledem na nepravidelný půdorys konstrukce je třeba věnovat pozornost také konstrukčnímu řešení detailů a přípojů v návaznosti na uspořádání a celkovou skladbu konstrukce.

Cíle a výstupy diplomové práce:

Vypracujte variantní statický a konstrukční návrh ocelové nosné konstrukce pro zastřešení nástupiště železniční stanice „Brno – hlavní nádraží“ s integrovaným autobusovým nádražím. Při řešení vycházejte z poskytnutého architektonického návrhu. Zastřešení má nepravidelný tvar přizpůsobený architektonickým požadavkům s maximálními půdorysnými rozměry cca 260 x 260 m. Rozmístění sloupů vychází z dispozičního uspořádání kolejí a požadavků na volný průjezd a průchod. Světlá výška zastřešení nad úrovní nástupiště železniční stanice je minimálně cca 7,5 m. Konstrukce zastřešení překrnuje současně autobusové nádraží umístěné v jiné výškové úrovni pod železniční stanicí. Světlá výška autobusového nádraží je minimálně cca 7,0 m. Železniční stanice je umístěna v zastavěné oblasti poblíž centra města Brna.

V rámci řešení proveďte porovnání předběžných variant a pro vhodnější variantu vypracujte technickou zprávu, statický výpočet a výkresovou dokumentaci v rozsahu podle pokynů vedoucí diplomové práce.

Seznam doporučené literatury a podklady:

1) Situace

- 2) Architektonický návrh zastřešení (tvarové a geometrické řešení)
- 3) Předběžná dispozice (půdorysný tvar, podepření konstrukce)
- 4) Literatura a další zdroje (včetně internetových) podle doporučení vedoucí diplomové práce

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 31. 3. 2022

L. S.

prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.
vedoucí ústavu

prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.
vedoucí práce

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c.
děkan

ABSTRAKT

Úkolem diplomové práce je návrh a posouzení nosné konstrukce zastřešení hlavního nádraží v Brně. Konstrukce má nepravidelný půdorys s maximálními rozměry cca 260 x 260 m. Konstrukce zastřešení tvoří v půdoryse pravidelný rošt. Konstrukce má proměnnou výšku, nejvyšší bod střechy leží ve výšce 25,060 m nad terénem. V této práci jsou řešeny dvě varianty konstrukce.

KLÍČOVÁ SLOVA

Zastřešení, ocelová konstrukce, ocelobetonové sloupy, kotvení, prostorová příhradová konstrukce

ABSTRACT

The objective of the master thesis is to design and verify sufficient resistance of load-bearing construction system of main station roofing in Brno. The plan shape is irregular, maximal plan shape dimensions are around 260 x 260 m. The roof structure consists of standardised grid. The structure has variable height, roof top edge is 25,060 m above terrain. In this paper, two variants of the structure are compared.

KEYWORDS

Roofing, steel structure, composite steel and concrete columns, bracing, spatial truss construction

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JEŽ, Matěj. *Zastřešení železniční stanice "Brno - hlavní nádraží"*. Brno, 2023. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/143396>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce Marcela Karmazínová.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Zastřešení železniční stanice "Brno - hlavní nádraží"* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 13. 1. 2023

Bc. Matěj Jež
autor

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat prof. Ing. Marcele Karmazínové, CSc. za odborné vedení, ochotu a cenné rady během vypracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat architektonické kanceláři BURIAN-KŘIVINKA za poskytnuté podklady.

V Brně dne 13. 1. 202



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

TECHNICKÁ ZPRÁVA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTERR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Matěj Jež

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. MARCELA KARMAZÍNOVÁ,
CSc.

BRNO 2023

OBSAH

Úvod.....	8
Zatížení	8
Kombinace zatížení	8
Porovnání řešených variant	8
Varianta 1	8
Varianta 2	9
Výkaz oceli.....	9
Varianta 1	9
Varianta 2	10
Odůvodnění zvolené varianty.....	10
Popis konstrukčních prvků.....	11
Sloupy.....	11
Vetknuté sloupy	11
Kloubové sloupy	11
Průvlaky	11
Spoje nosných konstrukcí	11
Kotvení.....	12
Povrchová úprava konstrukce	12
Požární ochrana.....	13
Výroba a montáž	13
Závěr	13
Normativní dokumenty	14
Seznam použité literatury	15
Seznam příloh.....	16

Úvod

Cílem diplomové práce je navrhnout a posoudit ocelovou konstrukci zastřešení hlavního nádraží v Brně. Podkladem pro práci je architektonický návrh do mezinárodní soutěže. Záměrem architektů bylo vytvořit plovoucí membránu.

Konstrukce má nepravidelný půdorys s maximálními rozměry cca 260 x 260 m. Střešní konstrukce je podporována kruhovými sloupy. Rozmístění sloupů vychází z dispozičního uspořádání kolejí a požadavků na volný průjezd a průchod. Konstrukce má proměnnou výšku, nejvyšší bod střechy leží ve výšce 25,060 m nad terénem.

Zatížení

Výpočet zatížení je proveden v souladu s platnými normami pomocí softwaru SCIA Engineer 21.1. Zatížení od vlastní tíhy je spočítáno softwarem SCIA Engineer 21.1 dle dimenzí jednotlivých prvků konstrukce. Výpočet charakteristických hodnot ostatních stálých a proměnných zatížení je proveden ručně a následně zadán do softwaru.

Kombinace zatížení

Kombinace zatížení na konstrukci jsou vytvořeny dle ČSN EN 1990 – *Zásady navrhování konstrukcí*. Výpočet a návrh je proveden v souladu s ČSN EN 1993-1-1 – *Návrh ocelových konstrukcí*.

Podrobnější údaje o zatížení a kombinacích – viz statický výpočet

Porovnání řešených variant

V práci jsou porovnány dvě varianty řešení. První variantou je jednovrstvá konstrukce zastřešení s náběhy kolem sloupů, které tvoří hlavice. Druhá varianta je dvouvrstvá, mezi vrstvami je osová vzdálenost 2,9 m. Vrstvy jsou propojeny diagonálními prostorovými prvky.

Varianta 1

První varianta je tvořena svařovanými prvky s rozměry 550x160x14, které mají kolem sloupů náběhy. Rozměry prvků kolem sloupů jsou 1450x160x14.

Varianta 2

Druhá varianta je tvořena profily RHS 500x200x16. Kolem sloupů je navrženo zvětšení profilů na RHS 500x300x20. Na styku různých profilů jsou navrženy svislice z profilu RO355.6x30. Prostorové diagonály jsou po obvodě ukončeny svislice z profilu RO219.1x10. Obvod konstrukce je lemován obdélníkovou trubkou z profilu RHS 300x100x10.

Výkaz oceli

Stanovení hmotnosti jednotlivých ocelových prvků konstrukce je vyčísleno ze systémových délek, plochy průřezu a hustoty oceli $\rho=7850 \text{ kg/m}^3$.

Varianta 1

Průřez	Jednotková hmotnost [kg/m]	Délka [m]	Hmotnost [kg]
Průvlaky RHS 550x160x14	149,9	33 745,810	5 058 620,0
Průvlaky hlavic RHS 550x160x16 až RHS 850x160x16	170,3 – 245,7	1401,439	289 882,5
Průvlaky hlavic RHS 850x160x25 až RHS 1150x160x25	376,8 – 494,6	1792,241	778 900,7
Průvlaky hlavic RHS 1150x160x25 až RHS 1450x160x25	494,6 – 612,3	1847,571	1 020 556,1
Obvodový průvlak RHS 650x250x20	270,0	806,343	217 747,5
Sloupy CHS 600x20 + CHS 500x25	236,9	841,114	199 094,3

Celková hmotnost oceli: 7 564 801,1 kg

Varianta 2

Průřez	Jednotková hmotnost [kg/m]	Délka [m]	Hmotnost [kg]
Průvlaky RHS 500x200x16	165,604	84 953,240	14 068 705,90
Průvlaky hlavic RHS 500x300x20	235,210	10 421,880	2 451 313,39
Obvodové svislice RO219.1x10	51,575	465,800	24 023,40
Obvodový průvlak RHS 300x100x10	58,802	1 608,112	94 561,59
Svislice hlavic RO355.6x30	240,995	1 805,400	435 092,37
Sloupy RO508x20	240,995	649,558	156 540,64
Sloupy RO711x25	423,115	402,608	170 349,62

Celková hmotnost oceli: 17 400 586,91kg

Odůvodnění zvolené varianty

Konstrukce první varianty je namáhána převážně ohybovými momenty, to způsobuje nevyužití profilů v poli. Relativně malá konstrukční výška způsobuje velký průhyb ve svislém směru, který je řešen nadvýšením. Nadvýšení přidává na náročnosti již složité geometrie.

Druhá varianta má, díky větší konstrukční výšce, větší ohybovou tuhost než varianta první. Průhyb dvouvrstvé varianty je řádově menší, není tedy nutné navrhovat nadvýšení. Hmotnost konstrukce je o 2,3x větší než u první varianty. Prostorové uspořádání zvyšuje počet prvků na 2,3násobek.

Druhá varianta řeší část nedostatků první varianty. Dvouvrstvá konstrukce neúměrně zvyšuje konstrukční náročnost. Pro obě varianty je vypracování globální analýza konstrukce. První varianta zachována architektonický návrh konstrukce. První varianta je zvolena jako výhodnější a je podrobněji zpracována.

Popis konstrukčních prvků

Sloupy

Vetknuté sloupy

Průřez sloupu je tvořen ocelovou trubkou CHS 500/25.0 z oceli S355 vyplněnou betonem třídy C 45/55. Sloupy na nástupištích jsou vetknuty do konstrukce nástupišť a do střešní konstrukce. Zajišťují prostorovou tuhost konstrukce.

Kloubové sloupy

Průřez sloupu je tvořen ocelovou trubkou CHS 600/20.0 z oceli S355 vyplněnou betonem třídy C 45/55. Sloupy mimo nástupiště jsou kloubově uloženy do železobetonových patek a kloubově spojeny se střešní konstrukcí. Sloupy mimo nástupiště přenášejí pouze vodorovné zatížení.

Průvlaky

Průvlaky v ploše konstrukce půdorysně tvoří obdélníkový rastr s jednou diagonálou. Navržený průřez je svařovaný ocelový dutý profil RHS 550x160x14 z oceli S355. V konstrukci plní funkci přenosu všech svislých a vodorovných zatížení do sloupů. Na průvlacích je uložen střešní plášť.

V místě sloupů jsou navrženy průvlaky s proměnnou konstrukční výškou a tvoří hlavice. Hlavice jsou navrženy na průvlacích vycházejících ze sloupů na délku tří polí půdorysného rastru. Průřez u sloupu je svařovaný ocelový dutý profil RHS 1450x160x25 z oceli S355.

Spoje nosných konstrukcí

Spoje střešní konstrukce jsou řešeny svary. Přesné dimenze svarů jsou řešeny v rámci statického výpočtu. Sloupy mimo nástupiště jsou připojeny pomocí šroubů s konstrukcí střechy.

Kotvení

Sloupy jsou rozděleny na dva typy, sloupy v místě nástupišť jsou vetknuty do podkladu, sloupy mimo nástupiště jsou kloubově podepřeny.

Kotvení sloupů na nástupišťích je provedeno pomocí patního plechu přivařeného na sloup. Patní plech je vyztužen ocelovými výztuhami z plechu P10x250x450. Navržený průřez patního plechu je P30x1200x1200 z oceli S355. Patní plech je připevněn ke konstrukci nástupiště pomocí osmi chemických kotev HILTI-HAS-U 8.8 M24x420 mm do předvrtaných otvorů průměru 28 mm. Předpokládá se napojení betonářské výztuže sloupu na výztuž betonových sloupů umístěných pod konstrukcemi nástupišť. Minimální kotevní délka chemických kotev je 310 mm. Smykové síly v podepření jsou přeneseny betonovým jádrem sloupu.

Kotvení sloupů mimo nástupiště je provedeno pomocí změny průřezu sloupu na svařovaný ocelový průřez tvaru písmene X. Sloupy jsou zavíčkovány plechem P20x500x500 přivařeným k profilu sloupu. Průřez tvaru X je proměnného průřezu, po výšce má tvar přesýpacích hodin. U sloupu a u patního plechu má průřez rozměry 490x30, v nejužším místě má průřez rozměry 270x30. Průřez je v nejužším místě rozdělen montážním spojem. Montážní spoj je tvořen čelními deskami z plechu P20x300x300 z oceli S355 a čtyřmi šrouby M20 (8.8). Patní plech má rozměry P30x600x600 z oceli S355. Patní plech je připevněn k železobetonové patce pomocí čtyř chemických kotev HILTI-HAS-U 8.8 M24x420 mm do předvrtaných otvorů průměru 28 mm. Beton podpůrných konstrukcí je uvažován třídy C45/55.

Povrchová úprava konstrukce

Ocelová konstrukce je navržena jako pohledová. Nátěry aplikovat v souladu s podmínkami určenými výrobcem nátěrové hmoty dle ČSN EN ISO 12944. Nátěry provést na stupeň korozní ochrany agresivity prostředí C2. Životnost nátěru min. 15 let. Odstín nátěru určí architekt. Po montáži konstrukce je nutné ověřit zachování kvality nátěru, eventuálně opravit.

Celková nátěrová plocha konstrukce je 62 652,0 m².

Požární ochrana

Požadovaná požární odolnost ocelové konstrukce dle ČSN EN 1993-1-1 REI.

Výroba a montáž

Vzhledem k velikosti konstrukce a jednotlivých prvků, bude konstrukce svařována z dovezených dílců na místě. Jednotlivé dílce budou svařovány z plechů v mostárně. Sestavení střechy bude provedeno po částech a pomocí jeřábu umístěno do finální polohy.

Postup montáže:

1. Vybetonování základových patek pro kloubově uložené sloupy.
2. Ukotvení sloupů na připravené patky a do konstrukce nástupišť.
3. Montážní zajištění sloupů do svislé polohy.
4. Sestavení částí střešní konstrukce na montážní plošině. Velikost montážních dílců 4x4 ok rastru.
5. Umístění sestavených montážních dílců do finální polohy pomocí jeřábu a přivaření ke sloupům a k navazujícím dílcům.
6. Postupná montáž v osách A až K přes mezilehlé prvky postupně do okrajů konstrukce.
7. Odstranění montážního zajištění sloupů
8. Instalace střešního pláště

Závěr

Návrh nosné ocelové konstrukce byl proveden v souladu s platnými normami a posouzen na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti. Model konstrukce pro globální analýzu byl vytvořen v softwaru SCIA Engineer 21.1 a pomocí něj bylo provedeno posouzení hlavních konstrukčních prvků. Návrh kotvení a spojů byl proveden v programu IDEA StatiCa 22.1. Celková hmotnost konstrukce je 10 759,3 t. Ocelová konstrukce má hmotnost 7 564,8 t, betonová výplň sloupů má hmotnost 349,5 t. Opláštění má hmotnost 2 845,0 t.

Normativní dokumenty

ČSN EN 1990	Zásady navrhování konstrukcí
ČSN EN 1991-1-1	Zatížení konstrukcí – část 1-1: obecná zatížení – objemové tíhy, vlastní tíhy a užitná zatížení pozemních staveb
ČSN EN 1991-1-3	Zatížení konstrukcí – část 1-3: obecná zatížení – zatížení sněhem
ČSN EN 1991-1-4	Zatížení konstrukcí – část 1-4: obecná zatížení – zatížení větrem
ČSN EN 1993-1-1	Navrhování ocelových konstrukcí – část 1-1: obecná pravidla pro navrhování konstrukcí pozemních staveb
ČSN EN 1993-1-8	Navrhování ocelových konstrukcí – část 1-8: Navrhování styčníků
ČSN EN 1994-1-1	Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí – část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
ČSN EN 10027-1	Systémy označení ocelí – část 1: Stavba značek ocelí
ČSN EN 1090-2	Provádění ocelových a hliníkových konstrukcí – část 2: Technické požadavky na ocelové konstrukce

Seznam použité literatury

1. ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí. Praha: Český normalizační institut, 2006
2. ČSN EN 1991-1-1 Zatížení konstrukcí – část 1-1: obecná zatížení – objemové tíhy, vlastní tíhy a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: Český normalizační institut, 2004.
3. ČSN EN 1991-1-3 Zatížení konstrukcí – část 1-3: obecná zatížení – zatížení sněhem. Praha: Český normalizační institut, 2005.
4. ČSN EN 1991-1-4 Zatížení konstrukcí – část 1-4: obecná zatížení – zatížení větrem. Praha: Český normalizační institut, 2007.
5. ČSN EN 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí – část 1-1: obecná pravidla pro navrhování konstrukcí pozemních staveb. Praha: Český normalizační institut, 2006.
6. ČSN EN 1993-1-8 Navrhování ocelových konstrukcí – část 1-8: Navrhování styčnicků. Praha: Český normalizační institut, 2005.
7. ČSN EN 1994-1-1 Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí – část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: Český normalizační institut, 2004.
8. ČSN EN 10027-1 Systémy označení ocelí – část 1: Stavba značek ocelí. Praha: Český normalizační institut, 2006.
9. ČSN EN 1090-2 Provádění ocelových a hliníkových konstrukcí – část 2:
10. Technické požadavky na ocelové konstrukce. Praha: Český normalizační institut, 2009.
11. Hiliti [online]. [cit. 2023-01-12]. Dostupné z: <https://www.hilti.cz/>
12. Studnička, J.: Ocelobetonové spřažené konstrukce. ČVUT v Praze, Praha, 2010