



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

NÁVRH OCELOVÉ NOSNÉ KONSTRUKCE V OBJEKTU PRO LEZECKOU STĚNU A ZÁZEMÍ

DESIGN OF THE STEEL STRUCTURE IN BUILDING FOR CLIMBING WALL AND ITS FACILITIES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Matej Koiš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Pavla Bukovská

BRNO 2024

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav kovových a dřevěných konstrukcí
Student: **Matej Koiš**
Vedoucí práce: **Ing. Pavla Bukovská**
Akademický rok: 2023/24
Studijní program: B0732A260005 Stavební inženýrství
Studijní obor: 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 bakalářské práce:

Návrh ocelové nosné konstrukce v objektu pro lezeckou stěnu a zázemí

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Proces řešení této bakalářské práce má simulovat reálné procesy při navrhování stavebních konstrukcí v praxi s uplatněním principů BIM (v procesu, ve spolupráci a sdílení s ostatními profesemi). Student navrhne a posoudí ocelové nosné konstrukce sportovního objektu za specializaci kovové a dřevěné konstrukce v rámci souvisejících zadání bakalářských prací. Na řešení návrhu objektu bude student spolupracovat se specializacemi pozemní stavitelství, technická zařízení budov a betonové a zděné konstrukce. Řešení bakalářské práce bude vycházet z podkladů části pozemního stavitelství a bude zohledňovat návaznosti na ostatní zúčastněné profese a jejich požadavky v rozsahu dle pokynů vedoucí práce. Součástí řešení bude statické posouzení zastřešení objektu a nosné konstrukce pro lezeckou stěnu, včetně posouzení vybraných detailů a spojů.

Cíle a výstupy bakalářské práce:

Výstupem bakalářské práce bude technická zpráva, statický výpočet a výkresová dokumentace v rozsahu dle pokynů vedoucí závěrečné práce. Student vytvoří konstrukční model ocelových prvků konstrukce včetně vybraných detailů ve vhodném programu a odevzdá jej elektronicky ve formátu IFC.

Seznam doporučené literatury a podklady:

Marek, P.: Kovové konstrukce pozemních staveb, Praha : SNTL ; Bratislava : Alfa, 1985

Ferjenčík, P., Schun, J., Melcher, J. a kol.: Navrhovanie oceľových konštrukcií, ALFA Bratislava, 1986

Podkladem pro návrh bude studie řešeného objektu vypracovaná studentem specializace pozemní stavitelství.

Při návrhu a posouzení budou aplikovány požadavky a doporučení uvedené v platných normách, zejména:

ČSN EN 1991-1-1 Zatížení konstrukcí. Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha 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 a pravidla pro pozemní stavby

ČSN EN 1995-1-1 Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

ČSN EN 12572-1 Umělé lezecké stěny - Část 1: Bezpečnostní požadavky a zkušební metody pro ULS s jisticími body

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 30. 11. 2023

L. S.

doc. Ing. Milan Šmak, Ph.D.
vedoucí ústavu

Ing. Pavla Bukovská
vedoucí práce

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

ABSTRAKT

Předmětem bakalářské práce je návrh, posouzení a vytvoření konstrukčního modelu ocelových nosných konstrukcí střechy a lezecké stěny v objektu univerzitního lezeckého centra v Pardubicích s uplatněním principů BIM. Při zpracování práce byla nutná spolupráce s ostatními studenty profesí, kteří se na tomto projektu sdílené bakalářské práce podíleli. Objekt lezeckého centra má čtyři nadzemní a jedno podzemní podlaží a je členěn na dvě části – hala s lezeckou stěnou a zázemí. Ocelová konstrukce střechy má sklon 12° a působí samostatně nad oběma částmi. Je tvořena ocelovými střešními nosníky z I průřezů a nad částí nad halou bylo navrženo stabilizující ztužidlo. Konstrukce je zakotvena do betonových obvodových a vnitřních nosných stěn pomocí břitů a šroubů. V části střechy nad zázemím se nachází výstup na terasu a byl zde navržen ocelový překlad, na který je konstrukce střechy šroubově připojena. Lezecká stěna, která se nachází v prostoru haly, má výšku 16 m a skládá se z dvou lezeckých profilů. Konstrukce je tvořena z dutých čtvercových a kruhových průřezů doplněna táhly z kulatiny. Lezecká stěna je zakotvena pomocí patního plechu a chemických kotev na betonovou základovou desku.

KLÍČOVÁ SLOVA

Univerzitní lezecké centrum, lezecká stěna, ocelová konstrukce střechy, ocelová nosná konstrukce, BIM, styčníky dutých průřezů, objekt pro lezeckou stěnu a zázemí.

ABSTRACT

The subject of this bachelor thesis is the design, assessment and creation of structural model of steel load-bearing structures of roofing and climbing wall in the building of university climbing centre situated in Pardubice, while applying BIM principles. During processing the thesis, it was necessary to cooperate with students of other professions, who were part of the shared bachelor thesis. The building of climbing centre has four aboveground floors and one underground floor and is divided into two parts – hall with the climbing wall and hinterland. Steel roof structure has 12° incline and functions separately above both parts of the building. The structure is composed of steel roof beams of I sections and on the part above the hall it was necessary to add the stabilization reinforcement. The construction is anchored to the concrete periphery and inner load-bearing walls with the anchoring bolts. In the part of the roof above the hinterland, there is an entrance to the terrace and so a steel lintel must have been added. The roof structure in this part is connected to this lintel with screws. Climbing wall situated in hall is 16 m high and is made of two climbing profiles and contains hollow square and circular sections complemented with log rods. Climbing wall is anchored to the concrete slab by chemical anchors.

KEYWORDS

University climbing centre, climbing wall, steel roof structure, steel load-bearing structure, BIM, connector of hollow sections, building for climbing wall and its facilities.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOIŠ, Matej. *Návrh ocelové nosné konstrukce v objektu pro lezeckou stěnu a zázemí*. Brno, 2024. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí Ing. Pavla Bukovská.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Návrh ocelové nosné konstrukce v objektu pro lezeckou stěnu a zázemí* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 23. 5. 2024

Matej Koiš
autor

PODĚKOVÁNÍ

Velká vdaka patří najmä vedúcej mojej bakalárskej práce Ing. Pavle Bukovskej za veľké množstvo informácií, rád a času, ktorý sme nad riešením vzniknutých problémov strávili počas konzultácií aj mimo nich.

Ďalej by som rád poďakoval mojej rodine a blízkym, ktorý ma vždy podporovali pri štúdiu aj mimo neho a rešpektovali každé rozhodnutie, ktoré som v živote spravil.



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

NÁVRH OCELOVÉ NOSNÉ KONSTRUKCE V OBJEKTU PRO LEZECKOU STĚNU A ZÁZEMÍ

DESIGN OF THE STEEL STRUCTURE IN BUILDING FOR CLIMBING WALL AND ITS FACILITIES

TECHNICKÁ ZPRÁVA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Matej Koiš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Pavla Bukovská

BRNO 2024

OBSAH

ÚVOD.....	3
A.NOSNÁ KONSTRUKCE STŘECHY	5
A.1 Základní charakteristika objektu a konstrukce.....	5
A.1.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE, POPIS OBJEKTU	5
A.1.2 UMÍSTĚNÍ OBJEKTU	5
A.1.3 POPIS NOSNÉ KONTRUKCE	5
A.1.4 MATERIÁL KONSTRUKCE.....	6
A.2 Podklady, normové dokumenty, programy.....	6
A.2.1 VSTUPNÍ PODKLADY	6
A.2.2 NORMOVÉ DOKUMENTY	7
A.2.3 PROGRAMY	7
A.3 Zatížení.....	7
A.3.1 STÁLÉ ZATÍŽENÍ.....	8
A.3.2 PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ.....	8
A.3.3 KOMBINACE ZATÍŽENÍ.....	9
A.4 Konstrukce střechy	9
A.5 Využití prvků	11
A.6 Výkaz materiálů.....	11
A.7 Povrchová úprava ocelových prvků.....	11
A.8 Doprava a montáž	12
A.8.1 DOPRAVA	12
A.8.2 MONTÁŽ.....	12
A.9 Závěr	12
A.10 Zdroje.....	13

B.NOSNÁ KONSTRUKCE LEZECKÉ STĚNY	15
B.1 Základní charakteristika konstrukce	15
B.1.1 POPIS NOSNÉ KONSTRUKCE	15
B.1.2 MATERIÁL KONSTRUKCE.....	16
B.2 Podklady, normové dokumenty, programy.....	16
B.2.1 VSTUPNÍ PODKLADY	16
B.2.2 NORMOVÉ DOKUMENTY	16
B.2.3 PROGRAMY	17
B.3 Zatížení.....	17
B.3.1 STÁLÉ ZATÍŽENÍ	17
B.3.2 PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ.....	17
B.3.3 KOMBINACE ZATÍŽENÍ.....	18
B.4 Konstrukce lezecké stěny	18
B.5 Využití prvků	20
B.6 Výkaz materiálů.....	20
B.6.1 PROFIL A.....	21
B.6.2 PROFIL B.....	21
B.7 Povrchová úprava ocelových prvků.....	21
B.8 Doprava a montáž	22
B.8.1 DOPRAVA	22
B.8.2 MONTÁŽ.....	22
B.9 Závěr	22
B.10 Zdroje.....	23
SEZNAM PŘÍLOH	24

ÚVOD

Předmětem mé práce je návrh ocelové nosné konstrukce střechy a lezecké stěny v objektu pro lezeckou stěnu a zázemí, která byla navrhována studentem pozemního stavitelství. Součástí práce je i koordinace s ostatními profesemi a simulace reálných procesů při navrhování stavebních konstrukcí v praxi s uplatněním principů BIM.

Konstrukce střechy je pultového tvaru ve sklonu 12° a je realizována jako dvě samostatně působící části – část nad zázemím a část nad halou pro lezeckou stěnu. Obě konstrukce jsou zakotveny do obvodových nosných stěn pomocí břitů. Část nad halou je kvůli velkému rozpětí střešních nosníků ztužena stabilizujícími ztužidly pro zamezení klopení a přenos vodorovných sil do obvodových stěn. Součástí části konstrukce nad zázemím je i ocelový překlad, který je s konstrukcí střechy pevně spojen pomocí šroubového spoje.

Konstrukce lezecké stěny je realizována jako dvě samostatné nosné konstrukce, a tedy dva samostatné lezecké profily. Návrh geometrie konstrukce je výrazně ovlivněn tvarem lezeckých profilů a limitních vzdáleností mezi pevnými jistícími body. Oba profily jsou kotveny do betonové základové desky pomocí chemických kotev a nejsou nijak přepojeny mezi sebou, ani spojeny s nosnou konstrukcí střechy.

Technická zpráva, jako i statický výpočet jsou z důvodu lepší přehlednosti děleny do dvou částí:

- A. Nosná konstrukce střechy,
- B. Nosná konstrukce lezecké stěny.

NÁVRH OCELOVÉ NOSNÉ KONSTRUKCE V OBJEKTU
PRO LEZECKOU STĚNU A ZÁZEMÍ

A.
NOSNÁ KONSTRUKCE STŘECHY

A. NOSNÁ KONSTRUKCE STŘECHY

A.1 Základní charakteristika objektu a konstrukce

A.1.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE, POPIS OBJEKTU

Jedná se o ocelovou nosnou konstrukci střechy nad objektem lezeckého univerzitního centra o 1 podzemním a 4 nadzemními podlažími s výškou 16,2 m nad terénem v nejvyšším bodě objektu a s půdorysnými rozměry 25,5 m x 16,8 m se zaoblením v delším směru objektu do půlkruhů o poloměru 8,4 m.

V objektu se nachází zázemí lezeckého centra, která je členěna na 1 podzemní a 4 nadzemní podlaží a hala pro lezeckou stěnu se světlou výškou mezi podlahou a nosnou konstrukcí střechy 16,5 m v nejnižším bodě, která definuje prostor pro nosnou konstrukci lezecké stěny.

Svislé i vodorovné nosné konstrukce objektu jsou tvořeny z betonu pevnostní třídy C20/25. Obvodové nosné stěny tloušťky 200 mm jsou využity pro zakotvení ocelové nosné konstrukce střechy v nejvyšším místě nad halou. Vnitřní nosné stěny, do kterých je kotven zbytek konstrukce střechy mají tloušťky 300 mm.

Skladba střechy je uložena na trapézovém plechu, který je nesený ocelovými nosníky. Tyto ocelové nosníky jsou hlavními nosnými prvky konstrukce střechy.

Na střeše se také nachází 4 světlíky o rozměrech 2,2 m x 2,0 m v polovině rozpětí nejdelšího nosníku.

A.1.2 UMÍSTĚNÍ OBJEKTU

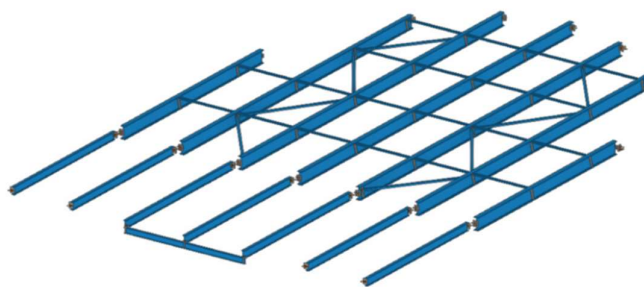
Objekt se nachází na ulici Češkova 1185 na Zelném předměstí v Pardubicích, v Pardubickém kraji. Pozemek spadá pod katastrální území Pardubice (717657) a jeho parcelní číslo je 2316/28.

A.1.3 POPIS NOSNÉ KONSTRUKCE

Hlavními nosnými prvky je 7 střešních nosníků z profilů IPE400 nad halou a 7 střešních nosníků z profilů IPE240 nad zázemím, oboje s roztečí 2,5 m o délkách 6,5 až 12,1 m nad halou a 4,7 m nad zázemím. Střešní nosníky jsou ve sklonu 12°.

Nosníky jsou zakotveny do obvodových a vnitřních nosných stěn pomocí břitů, které jsou přes čelní desky s předem zabetonovanými kotvami osazeny do stěn. Klopení nosníků je bráněno pomocí 20 dvojic úhelníků L45x45x5 zhruba v pětinách délky nejdelšího nosníku, které jsou připevněny pomocí šroubového spoje k smykovým výtuhám střešních nosníků. Celkové ztužení a přenos vodorovných sil od stabilizujícího zatížení je zajištěn 8 diagonálními pruty ve 2 pásech z profilu UPE80, které jsou taktéž připevněny šroubovými spoji k smykovým výtuhám.

Pod nejnižší částí střechy nad zázemím se nachází výstup na terasu, nad kterým je potřeba osadit ocelový překlad z profilu IPE 220. Překlad je spojen s konstrukcí střechy pomocí šroubového spoje a je využit pro přenos sil ze střešních nosníků do vnitřní nosné stěny. Výhodou tohoto řešení je snížení konstrukční výšky nosné ocelové konstrukce, což byl jeden z požadavků studenta pozemního stavitelství.



A.1.4 MATERIÁL KONSTRUKCE

Pro veškeré ocelové prvky i styčnickové plechy konstrukce střechy je použita ocel pevnostní třídy S235. Spojovacími prostředky jsou výhradně šrouby pevnostní třídy 8.8.

Konstrukce je zakotvena a uložena na obvodové a vnitřní nosné stěny z betonu pevnostní třídy C20/25.

A.2 Podklady, normové dokumenty, programy

A.2.1 VSTUPNÍ PODKLADY

Geometrie a dispozice konstrukce střechy byla volena s ohledem na požadavky a vstupní podklady od studenta pozemního stavitelství a podléhala nutným úpravám, kvůli

aplikaci návrhů studenta betonových a zděných konstrukcí a studenta technického zařízení budov. Návrh byl proveden v souladu s platnými normami ČSN EN.

A.2.2 NORMOVÉ DOKUMENTY

- ČSN EN 1090-2 Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí – Část 2: Technické požadavky na ocelové konstrukce
- ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN EN 1991-1-1 Zatížení konstrukcí. Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha 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 a pravidla pro pozemní stavby
- ČSN EN 1993-1-8 Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčnicků
- ČSN EN 1993-1-10 Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-10: Houževnatost materiálu a vlastnosti napříč tloušťkou
- ČSN 73 1401 Navrhování ocelových konstrukcí

A.2.3 PROGRAMY

- Microsoft Office 365
- Dlubal RFEM 6.03 (studentská verze)
- Autodesk AutoCAD 2023
- Tekla Structures 2017i (studentská verze)

A.3 Zatížení

Výpočet zatížení byl proveden v souladu s ČSN EN 1991-1 a bylo uvažováno zatížení stálé a proměnné. Pro výpočet bylo využito programu Microsoft Excel a hodnoty z něj byly aplikovány na statický model v Dlubal RFEM. Působení zatížení bylo uvažováno vždy

v nejnepříznivější poloze pro daný prvek a posudek. Podrobný výpočet a výsledné hodnoty jsou obsaženy v příloze A (Statický výpočet).

A.3.1 STÁLÉ ZATÍŽENÍ

ZS 1 – *Vlastní tíha konstrukce* – vygenerována programem Dlubal RFEM

ZS 2 – *Ostatní stálé zatížení* – skladba střechy: 2,551 kN/m²

A.3.2 PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ

A.3.2.1 Užité zatížení

Užité zatížení nepochozích střech s výjimkou běžné údržby a oprav není kombinováno se zatížením sněhem a větrem.

ZS 3 – *Užité zatížení střech kategorie H:* 0,750 kN/m² (Na ploše 10 m²)

A.3.2.2 Zatížení sněhem

Lezecké centrum se nachází v sněhové oblasti I a charakteristická hodnota pro tuto oblast činí 0,7 kN/m². Bylo uvažováno se zatížením plným sněhem.

ZS 4 – *Zatížení sněhem* – plný sníh: 0,448 kN/m²

A.3.2.3 Zatížení větrem

Lezecké centrum se nachází ve větrné oblasti II a v kategorií terénu III. Základní rychlost větru činí 25,0 m/s. Zatěžovací stavy jsou rozděleny dle směru působení větru na konstrukci.

Maximální dynamický tlak: 0,795 kN/m²

ZS 5 – *Zatížení větrem $\theta = 0^\circ$ (tlak)* - vítr ze strany vyšší strany konstrukce

ZS 6 – *Zatížení větrem $\theta = 0^\circ$ (sání)* - vítr ze strany vyšší strany konstrukce

ZS 7 – *Zatížení větrem $\theta = 180^\circ$* - vítr ze strany vyšší strany konstrukce

ZS 8 – *Zatížení větrem $\theta = 90^\circ$* - boční vítr

A.3.3 KOMBINACE ZATÍŽENÍ

Kombinace zatěžovacích stavů pro výpočet mezních stavů únosnosti (ULS) a mezních stavů použitelnosti (SLS) byly generovány v programu Dlubal RFEM a z nich byly vypočteny vnitřní síly. Pro posouzení byly použity vnitřní síly nebo reakce z nejnepříznivější kombinace pro daný prvek a posudek. Podrobný výpočet, výsledné hodnoty a kombinace použity pro dimenzování jsou uvedeny v příloze A (Statický výpočet).

Pro hodnoty kombinačních součinitelů pro mezní stav únosnosti byly použity hodnoty doporučené v ČSN EN 1990 a v národní příloze.

Pro posouzení mezního stavu únosnosti (ULS) byla použita nepříznivější hodnota kombinace z dvojice vztahů:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

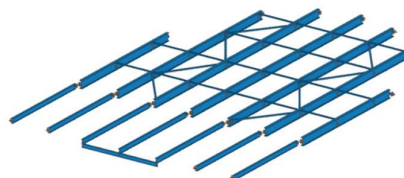
$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Pro posouzení mezního stavu použitelnosti (SLS) byl použit vztah pro charakteristickou kombinaci:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

A.4 Konstrukce střechy

Prvek	Průřez	Počet [ks]
Střešní nosník	IPE400	7
Střešní nosník	IPE240	7
Překlád	IPE220	1
Diagonály	UPE80	8
Svislice	L45x45x5	40



A.4.1 Střešní nosník nad halou

Střešní nosník nad halou je proveden z profilu IPE400. Z důvodu zaobleného půdorysu nejsou všechny nosníky stejné délky, přičemž nejdelší nosník je uprostřed (12,1 m) a nejkratší jsou po okrajích (6,5 m). Sklon střechy činí 12 ° a nosníky které jsou uloženy rovnoběžně se směrem sklonu tento sklon kopírují. Střešní nosník je staticky řešen jako prostý nosník s pevnou podporou v místě vnitřní nosné stěny. Kotvení do stěny je provedeno pomocí břitů osazených do stěn při betonáži.

A.4.2 Svislice stabilizujícího ztužidla

Velké rozpětí střešních nosníků nad halou s sebou přináší vysoké riziko klopení, a proto bylo nutné navrhnout stabilizující ztužidlo. Svislice tohoto ztužidla jsou tvořeny dvojicí úhelníku L45x45x5 a přemostují rozteč mezi střešními nosníky, tj. 2,5 m. Upevnění úhelníků je provedeno pomocí šroubového spoje na smykovou výztuhu, které se nachází zhruba v pětinách nejdelšího nosníku.

A.4.3 Diagonály stabilizujícího ztužidla

Stabilizující ztužidlo je také tvořeno diagonálními prvky z profilu UPE80. Diagonály jsou, stejně jako svislice, přišroubovány k smykovým výztuhám pomocí úkosu přivařeného k styčnickovému plechu. Délka těchto diagonál není stejná, ale činí přibližně 3,5 m.

A.4.4 Střešní nosník nad zázemím

Střešní nosník nad zázemím je proveden z profilu IPE240. Délky těchto nosníků jsou shodné a to 4,7 m. Sklon střechy činí 12 ° a nosníky které jsou uloženy rovnoběžně se směrem sklonu tento sklon kopírují. Střešní nosník je staticky řešen jako prostý nosník s pevnou podporou v místě vnitřní nosné stěny. Kotvení do stěny je provedeno pomocí břitů osazených do stěn při betonáži.

A.4.5 Překlad nad výstupem na terasu

Pod nejnižší částí střešní konstrukce se nachází výstup na terasu, který má světlou délku otvoru 4,5 m. Byl proto navržen překlad z profilu IPE220 o délce 5,12 m který je

uložen na betonovou stěnu. Na překlád jsou pomocí šroubového spoje zakotveny i tři střešní nosníky nad zázemím.

A.5 Využití prvků

Všechny prvky konstrukce vyhověli na posouzení mezního stavu únosnosti (ULS) i mezního stavu použitelnosti (SLS).

Prvek	Průřez	Maximální využití (ULS) [%]	Průhyb (SLS) [%]
Střešní nosník	IPE400	81,3	16,17
Střešní nosník	IPE240	77,3	5,72
Překlád	IPE220	80,2	22,44
Diagonály	UPE80	53,2	-
Svislice	L45x45x5	43,1	-

A.6 Výkaz materiálů

Prvek	Průřez	Celk. délka [mm]	Celk. hmotnost [kg]
Střešní nosník	IPE400	73 661	4 886,1
Střešní nosník	IPE240	31 996	981,8
Překlád	IPE220	5 120	134,2
Diagonály	UPE80	27 489	218,0
Svislice	L45x45x5	98 855	333,7
Styčnickové plechy	PL10, PL20	-	317,0

Celková hmotnost konstrukce: 6 870,7 kg

A.7 Povrchová úprava ocelových prvků

Protikorozní ochrana ocelových prvků je zajištěna metodou žárového zinkování. Zinkování proběhne až po navaření všech smykových výztuh a styčnickových plechů a po vyvrtání otvorů pro šrouby a pro odtok nadbytečného zinku.

A.8 Doprava a montáž

A.8.1 DOPRAVA

Konstrukce bude na stavbu přivezena po samostatných prvcích s připravenými otvory pro spojovací prostředky a montáž proběhne až přímo na stavbě. Pro přepravu bude převážně využito nákladních automobilů, ale kvůli dlouhým střešním nosníkům nad halou bude využito i tahače s návěsem. Nejdelší prvek konstrukce je 12,1 m dlouhý střešní nosník z profilu IPE400.

A.8.2 MONTÁŽ

Do betonových stěn budou při betonáži osazeny břity, ke kterým se po zatvrdnutí betonu pomocí jeřábu přiloží a následně našroubují střešní nosníky. Nad zázemím bude před osazením nosníků nutné uložit i překlad, jelikož budou tři střešní nosníky kotveny přímo do něj a po přiložení jeřábem také sešroubovány. Následně proběhne montáž svislic a diagonál stabilizujícího ztužidla pomocí šroubových spojů. Na ztuženou konstrukci bude připevněn trapézový plech s otvory a nosnými obvodovými prvky pro světlíky. Nakonec bude provedena skladba střechy, která bude splňovat jak tepelně izolační, tak i hydroizolační požadavky a bude pomocí ní zajištěn odtok vody ze střechy.

A.9 Závěr

V první části práce je zpracován návrh a posouzení ocelových prvků a jejich vybraných spojů podle principů BIM při spolupráci s dalšími třemi studenty. Posouzení Mezního stavu únosnosti (ULS) a mezního stavu použitelnosti (SLS) dle platných norem ČSN EN bylo provedeno ručně a hodnoty vnitřních sil pro posudky byly převzaty ze statického modelu vytvořeného v programu Dlubal RFEM. Všechny prvky a vybrané spoje na oba mezní stavy vyhověly. Pro tvorbu výkresové dokumentace a 3D konstrukčního modelu byl využit program Tekla Structures. Statický výpočet, Výkresová dokumentace a konstrukční model jsou samostatnými přílohami této práce, stejně jako plán realizace BIM (BEP).

A.10 Zdroje

- ČSN EN 1090-2 Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí – Část 2: Technické požadavky na ocelové konstrukce
- ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN EN 1991-1-1 Zatížení konstrukcí. Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha 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 a pravidla pro pozemní stavby
- ČSN EN 1993-1-8 Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků
- ČSN EN 1993-1-10 Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-10: Houževnatost materiálu a vlastnosti napříč tloušťkou
- ČSN 73 1401 Navrhování ocelových konstrukcí
- GRUND, Michal. *Univerzitní lezecké centrum, Pardubice*. Brno, 2024. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/158714>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemního stavitelství. Vedoucí práce Jan Müller
- *Plechové střechy | Plechové krytiny | SATJAM* [online], 2024. SATJAM s.r.o. [cit. 2024-04-14]. Dostupné z: <https://www.satjam.cz/>.
- *Dlupal | Software pro navrhování a statické výpočty* [online], 2024. Dlupal software s.r.o [cit. 2024-05-24]. Dostupné z: <https://www.dlupal.com/>.

NÁVRH OCELOVÉ NOSNÉ KONSTRUKCE V OBJEKTU
PRO LEZECKOU STĚNU A ZÁZEMÍ

B.

NOSNÁ KONSTRUKCE LEZECKÉ STĚNY

B.NOSNÁ KONSTRUKCE LEZECKÉ STĚNY

B.1 Základní charakteristika konstrukce

B.1.1 POPIS NOSNÉ KONSTRUKCE

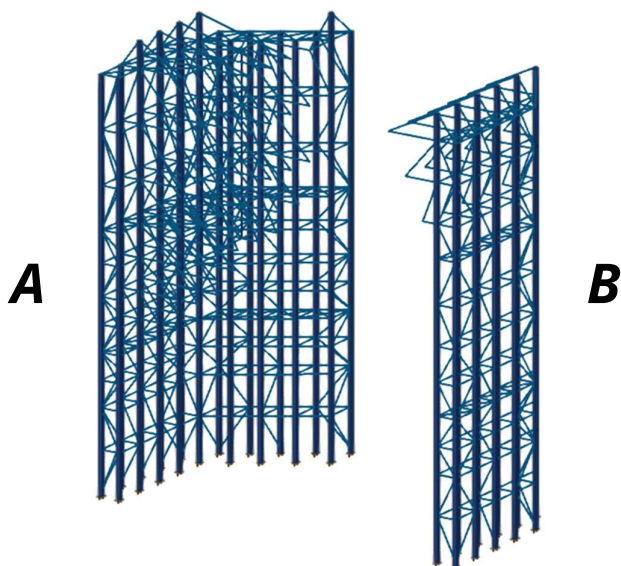
Jedná se o nosnou konstrukci lezecké stěny, která musí být schopna přenést zatížení pláště, který je na ní připevněn a zároveň zatížení lezcem a pádem lezce v místech pevných jisticích bodů.

Konstrukce lezecké stěny se skládá ze 2 samostatných nosných konstrukcí, které jsou orientovány naproti sobě v lezecké hale. Pro lepší orientaci jsou pojmenovány jako profily A a B.

Profily jsou od sebe vzájemně vzdáleny 13 m v nejnižším místě a 7,25 m v místě nejvyšším, přičemž je vždy zajištěn dostatečný prostor pro pád lezce, jak definuje norma ČSN EN 12572-1.

Délka těchto konstrukcí je 8,75 m u profilu A, a 6,17 m u profilu B. jejich výška je shodná a to 16 m nad podlahou prvního podzemního podlaží a jsou zakotveny do základové desky pomocí chemických kotev.

Hlavními nosnými prvky jsou sloupy z čtvercových trubek o průřezu TR 4HR 140x5, které jsou mezi sebou propojeny v různých výškových úrovních, aby byl splněn požadavek pro limitní vzdálenosti pevných jisticích bodů dle ČSN EN 12572-1. Propojení je provedeno pomocí navařených čtvercových trubek TR 4HR 60x4 v rovině působení zatížení a pomocí přišroubovaných kruhových trubek TR KR 21.3x2.6 kolmo k této rovině u profilu A, resp. z kruhových trubek TR KR 33.7x2.6 u profilu B. Svislé ztužení konstrukce je zajištěno přišroubovanými diagonálními pruty z kruhových trubek o průřezu TR KR 44.5x2.6, které jsou také využity pro vyvěšení konzol, na které budou osazeny pevné jisticí body. Vodorovné ztužení je zajištěno pomocí diagonálně křížově připojených kulatin KR 18 pomocí šroubového spoje v 3 výškových úrovních zhruba v třetinách lezecké stěny. Kulatiny KR 18 jsou také využity pro vyvěšení nejvyšších konzol. Svislé pruty, nacházející se v převisu u profilu A, které nejsou v kontaktu se zemí jsou navrženy z čtvercových trubek o průřezu TR 4HR 45x4.



B.1.2 MATERIÁL KONSTRUKCE

Pro veškeré ocelové prvky i spojovací plechy konstrukce lezecké stěny je použita ocel pevnostní třídy S355. Šroubové spoje jsou provedeny šrouby pevnostní třídy 8.8.

B.2 Podklady, normové dokumenty, programy

B.2.1 VSTUPNÍ PODKLADY

Geometrie konstrukce byla volena s ohledem na požadavky pro prostor pádu a vzdálenosti pevných jisticích bodů definovaných v normě ČSN EN 12572-1. Návrh byl proveden také v souladu s ostatními platnými normami ČSN EN.

B.2.2 NORMOVÉ DOKUMENTY

- ČSN EN 1991-1-1 Zatížení konstrukcí. Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- ČSN EN 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- ČSN EN 12572-1 Umělé lezecké stěny – Část 1: Bezpečnostní požadavky a zkušební metody pro ULS s jisticími body
- ČSN EN 1993-1-8 Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčnicků

- ČSN EN 1993-1-10 Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-10: Houževnatost materiálu a vlastnosti napříč tloušťkou

B.2.3 PROGRAMY

- Microsoft Office 365
- Dlubal RFEM 6.03 (studentská verze)
- Autodesk AutoCAD 2023
- Tekla Structures 2017i (studentská verze)

B.3 Zatížení

Výpočet zatížení byl proveden v souladu s ČSN EN 1991-1 a bylo uvažováno zatížení stálé a proměnné. Hodnoty byly aplikovány na statický model v Dlubal RFEM odkud byly převzaty vnitřní síly pro dimenzování prvků konstrukce. Působení zatížení bylo uvažováno vždy v předpokládané nejnepříznivější poloze pro daný prvek a posudek. Podrobný výpočet a výsledné hodnoty jsou obsaženy v příloze A (Statický výpočet).

B.3.1 STÁLÉ ZATÍŽENÍ

ZS 1 – Vlastní tíha konstrukce – vygenerována programem Dlubal RFEM

ZS 2 – Ostatní stálé zatížení – opláštění lezecké stěny: 0,547 kN

Ostatní stálé zatížení působí bodově na každý pevný jistící bod a je vypočteno pro nejvíce zatížený jistící bod a konzervativně aplikováno na každý z nich.

B.3.2 PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ

ZS 3 – Zatížení uživatelem: Zatížení lezcem: 0,800 kN

Zatížení jistícího bodu způsobené padajícím lezcem:

6,600 kN

Zatížení lezcem a padajícím lezcem jsou bodové zatížení působící na pevný jisticí bod. Nikdy nepůsobí v jednom jisticím bodu současně a v jedné lezecké linii může vždy působit pouze jedno z nich. Zároveň dle normy je vyloučen případ dvou lezců padajících současně.

B.3.3 KOMBINACE ZATÍŽENÍ

Výběr kombinací různých působišť proměnného zatížení se stálým zatížením pro výpočet mezních stavů únosnosti (ULS) byl proveden ručně a působiště byly zvoleny v nejnepríznivějších místech a vloženy do programu Dlubal RFEM. Z nich byly programem spočteny vnitřní síly. Pro posouzení byly použity vnitřní síly nebo reakce z nejnepríznivější kombinace pro daný prvek a posudek. Podrobný výpočet, výsledné hodnoty a kombinace použity pro dimenzování jsou uvedeny v příloze A (Statický výpočet).

Pro posouzení mezního stavu únosnosti dle ČSN EN 1990 pro trvalé a dočasné návrhové situace je použit vztah kombinace zatížení:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}$$

B.4 Konstrukce lezecké stěny

Prvek	Průřez	Profil A [ks]	Profil B [ks]
<i>Sloup</i>	TR 4HR 140x5	19	11
<i>Vodorovný prut</i>	TR 4HR 60x4	210	73
<i>Svislý prut</i>	TR 4HR 45x4	16	61
<i>Diagonální prut</i>	TR KR44.5x2.6	167	78
<i>Vodorovný prut</i>	TR KR 33.7x2.6	-	99
<i>Vodorovný prut</i>	TR KR 21.3x2.6	130	-
<i>Táhlo</i>	KR 18	70	47

B.4.1 Sloupy

Sloupy jsou tvořeny z profilu TR 4HR 140x5 a tvoří hlavní nosný prvek konstrukcí obou lezeckých profilů. Kotvení je provedeno do betonové základové desky pomocí chemických kotev a je namáhané jak tahem (zadní řada), tak i tlakem (přední řada).

B.4.2 Svislé pruty v převislé části

Svislé pruty v převislé části jsou tvořeny z čtvercových trubek TR 4HR 45x4 a slouží jako dělicí prvky mezi jednotlivými úrovněmi vodorovných prvků v převisu u profilu A. Přenáší tedy svislé zatížení do vodorovných a diagonálních prvků, které jej přenesou do sloupů. Svislé pruty jsou pomocí svarů pevně připojeny na vodorovné pruty z čtvercových trubek TR 4HR 60x4.

B.4.3 Vodorovné pruty v rovině příhrady

Vodorovné pruty v rovině příhrady pro pevné spojení sloupů a konzoly jsou tvořeny z čtvercových trubek TR 4HR 60x4. Přenáší tedy zatížení od lezce a pláště přímo do sloupů, na které jsou navařeny, s odlehčením pomocí šroubově připojených diagonálních prutů z kruhových trubek TR KR 44.5x2.6.

B.4.3 Vodorovné pruty z roviny ztužidla

Vodorovné pruty z roviny příhrady slouží k zajištění stability a tvaru konstrukce ve směru kolmém na hlavní směr namáhání. Jsou tvořeny z kruhových trubek profilu TR KR 21.3x2.6 u profilu A, resp. TR KR 33.7x2.6 u profilu B, které jsou pomocí šroubového spoje připojeny k styčnickovému plechu navařenému na sloup.

B.4.4 Diagonální pruty

Diagonální pruty slouží k přenosu tahových a tlakových sil z konzol tvořených pruty TR 4HR 60x4 a dodatečnému ztužení konstrukce jako celku. Jsou tvořeny z kruhových trubek profilu TR KR 44.5x2.6 u obou profilů. K zbylým prvkům jsou připojeny pomocí šroubového přípoje.

B.4.5 Táhla KR 18

Táhla z kulatiny KR 18 slouží k vyvěšení nejvyšších konzol z prutů o průřezu TR 4HR 60x4 jak u profilu A, tak i u profilu B. Dále jsou využity i pro vodorovné ztužení konstrukce, které je realizováno ve třech výškových úrovních. V druhém případě se tyto pruty vyhýbají a křížují se pouze v půdoryse.

B.5 Využití prvků

Všechny prvky konstrukce vyhověli na posouzení mezního stavu únosnosti (ULS). Průhyby konstrukce jsou díky jejímu prostorovému ztužení minimální, a jejich posudky není potřeba provádět, jelikož norma neuvádí limitní hodnoty průhybu.

Prvek	Průřez	Maximální využití (ULS) [%]
<i>Sloup</i>	TR 4HR 140x5	50,5
<i>Vodorovný prut</i>	TR 4HR 60x4	32,0
<i>Svislý prut</i>	TR 4HR 45x4	16,5
<i>Diagonální prut</i>	TR KR44.5x2.6	77,2
<i>Vodorovný prut</i>	TR KR 33.7x2.6	43,8
<i>Vodorovný prut</i>	TR KR 21.3x2.6	89,6
<i>Táhlo</i>	KR 18	70,1

B.6 Výkaz materiálů

Uvedené výkazy materiálů jsou orientační, jelikož nebylo řešeno přesné provedení všech spojů a byly převzaty z programu Tekla Structures. Podkladem pro ně jsou konstrukční modely (Příloha D).

B.6.1 PROFIL A

<i>Prvek</i>	<i>Průřez</i>	<i>Celk. délka [mm]</i>	<i>Celk. hmotnost [kg]</i>
<i>Sloup</i>	TR 4HR 140x5	293 230	6 215,0
<i>Vodorovný prut</i>	TR 4HR 60x4	245 085	1 723,8
<i>Svislý prut</i>	TR 4HR 45x4	27 200	140,1
<i>Diagonální prut</i>	TR KR44.5x2.6	318 163	833,0
<i>Vodorovný prut</i>	TR KR 21.3x2.6	161 063	165,8
<i>Táhlo</i>	KR 18	121 424	140,1
<i>Styčnickové plechy</i>	PL5, PL10	-	83,9

Celková hmotnost konstrukce: 9 393,2 kg

B.6.2 PROFIL B

<i>Prvek</i>	<i>Průřez</i>	<i>Celk. délka [mm]</i>	<i>Celk. hmotnost [kg]</i>
<i>Sloup</i>	TR 4HR 140x5	172 870	3 664,0
<i>Vodorovný prut</i>	TR 4HR 60x4	55 718	389,1
<i>Diagonální prut</i>	TR KR44.5x2.6	135 203	354,0
<i>Vodorovný prut</i>	TR KR 33.7x2.6	122 833	244,9
<i>Táhlo</i>	KR 18	71 618	136,6
<i>Styčnickové plechy</i>	PL10	-	47,5

Celková hmotnost konstrukce: 4 836,1 kg

B.7 Povrchová úprava ocelových prvků

Protikorozní ochrana ocelových prvků je zajištěna metodou žárového zinkování. Zinkování proběhne až po navaření všech styčnickových plechů a po vyvrtání otvorů pro šrouby a pro odtok nadbytečného zinku.

B.8 Doprava a montáž

B.8.1 DOPRAVA

Konstrukce lezecké stěny bude po příhradovinách rozdělena na montážní celky po výšce a bude na stavbu přivezena nákladním automobilem. Tyto celky budou mít navařeny styčnickové plechy pro dodatečné osazení ztužidel, věšadel a vodorovných prutů kolmo na směr příhrady, které budou na stavbu dovezeny samostatně.

B.8.2 MONTÁŽ

Prvně proběhne vyvrtání otvorů pro osazení chemických kotev do základové desky a následně bude osazen spodní montážní celek každé příhradoviny, který bude obsahovat i připravené patní plechy. Následně proběhne podlití a přišroubování diagonálních a vodorovných prvků. Tento postup se bude (vyjma kotvení) opakovat až nebude osazen a ztužen i poslední montážní celek. Pak bude na konstrukci stěny osazeno opláštění, které bude přikotveno na pevné jistící body.

B.9 Závěr

Druhá část práce se zabývá zpracováním návrhu a posouzení ocelových prvků a jejich vybraných spojů v ocelové nosné konstrukci lezecké stěny podle principů BIM. Geometrie a dispozice konstrukce je originální návrh a byl přizpůsoben prostorům haly, ve které se tato konstrukce nachází. Posouzení Mezního stavu únosnosti (ULS) dle platných norem ČSN EN bylo provedeno pomocí statického modelu v programu Dlubal RFEM a ověřeno ručně pro nejvíce namáhané prvky. Všechny prvky a vybrané spoje na oba mezní stavy vyhověly. Pro tvorbu výkresové dokumentace a 3D konstrukčního modelu byl použit program Tekla Structures. Statický výpočet, Výkresová dokumentace a konstrukční model jsou samostatnými přílohami této práce, stejně jako plán realizace BIM (BEP).

B.10 Zdroje

- ČSN EN 1991-1-1 Zatížení konstrukcí. Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- ČSN EN 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- ČSN EN 12572-1 Umělé lezecké stěny – Část 1: Bezpečnostní požadavky a zkušební metody pro ULS s jisticími body
- ČSN EN 1993-1-8 Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčnicků
- ČSN EN 1993-1-10 Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-10: Houževnatost materiálu a vlastnosti napříč tloušťkou
- GRUND, Michal. *Univerzitní lezecké centrum, Pardubice*. Brno, 2024. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/158714>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemního stavitelství. Vedoucí práce Jan Müller
- *Dlupal | Software pro navrhování a statické výpočty* [online], 2024. Dlupal software s.r.o [cit. 2024-05-24]. Dostupné z: <https://www.dlupal.com/>.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: **Statický výpočet**

Příloha B: **Výkresová dokumentace:**

Zastřešení:

B.1.1 Výkres dispozice

B.1.2 Výkres detailů

Lezecká stěna – profil A:

B.2.1 Výkres dispozice 1

B.2.2 Výkres dispozice 2

B.2.3 Výkres detailů

Lezecká stěna – profil B:

B.3.1 Výkres dispozice

Příloha C: **Plán realizace BIM (BEP)**

Příloha D: **Konstrukční model ve formátu IFC**