VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

POSOUZENÍ AKTUÁLNÍHO STAVU A STATICKÉ ZAJIŠTĚNÍ STÁVAJÍCÍ PREFABRIKOVANÉ KONSTRUKCE

ASSESSMENT OF THE CURRENT STATE AND THE STATIC STRENGTHENING OF THE EXISTING PRECAST STRUCTURE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Bc. Petr Moštěk

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — doc. Ing. František Girgle, Ph.D.

SUPERVISOR

BRNO 2024

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav betonových a zděných konstrukcí

Student: **Bc. Petr Moštěk**

Vedoucí práce: **doc. Ing. František Girgle, Ph.D.**

Akademický rok: 2023/24

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:

Posouzení aktuálního stavu a statické zajištění stávající prefabrikované konstrukce

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Diplomant provede na základě předaných podkladů přepočet stávající prefabrikované konstrukce a posoudí její únosnost/spolehlivost a to s ohledem na aktuální působící zatížení. V návaznosti bude proveden návrh statického zajištění nevyhovujících konstrukčních prvků. Řešení bude provedeno pomocí vhodného MKP programu, případně s kontrolou výsledků pomocí výstižné zjednodušené ruční metody.
Případná zjednodušení lze provádět podle pokynů vedoucího diplomové práce.

Cíle a výstupy diplomové práce:

Cílem práce je na základě vedoucím zadaných podkladů provést statické posouzení stávající prefabrikované konstrukce zastřešení výrobní haly. Práce bude obsahovat statické posouzení stávajícího stavu a návrh vhodných úprav/řešení pro zajištění spolehlivosti konstrukce a to v souladu s platnými normami a pokyny vedoucího práce. Ostatní činnosti a případná zjednodušení zadané konstrukce budou provedena v souladu s pokyny vedoucího diplomové práce.

Diplomová práce bude členěna na:
Textovou část (obsahuje zprávu a ostatní náležitosti dle platných směrnic) Přílohy
textové části:
P1. Použité podklady
P2. Výkresy navrženého řešení/zesílení (v rozsahu určeném vedoucím diplomové práce)
P3. Statický výpočet (v rozsahu určeném vedoucím diplomové práce)
Diplomová práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě.

Seznam doporučené literatury a podklady:

Platné předpisy a normy (včetně změn a oprav):

ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí;

ČSN EN 1991-1-1 až 7: Zatížení stavebních konstrukci;

ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí - Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby;

ČSN EN 206: Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda;

ČSN ISO 13822: Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí

Další literatura dle doporučení vedoucího diplomové práce.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 31. 3. 2023

L. S.

doc. Ing. Miloš Zich, Ph.D.
vedoucí ústavu

doc. Ing. František Girgle, Ph.D.
vedoucí práce

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá přepočtem stávajícího předpjatého střešního vazníku. Cílem bylo zjistit důvod vzniku trhlin na vazníku v krátké době po zbudování konstrukce haly a návrh jeho zesílení.

KLÍČOVÁ SLOVA

Beton, předpjatý beton, externí předpětí, předpínací lana, zesilování, přepočet, uhlíkové lamely, sloup, separace předpínacích lan, nadvýšení, trhliny,

ABSTRACT

This thesis deals with the recalculation of the existing prestressed roof beam. The goal was to find out the reason for cracks in the beam shortly after the building of the hall structure and the proposal for its strengthening.

KEYWORDS

Concrete, prestressed concrete, external prestressing, prestressing cables, reinforcement, recalculation, carbon lamellae, column, separation of prestressing cables, cantilever, cracks

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MOŠTĚK, Petr. *Posouzení aktuálního stavu a statické zajištění stávající prefabrikované konstrukce*. Brno, 2023. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí doc. Ing. František Girgle, Ph.D.

PROHLAŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTROCKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané Diplomové práce s názvem *Posouzení aktuálního stavu a statické zajištění stávající prefabrikované konstrukce* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 12. 1. 2024

Bc. Petr Moštěk
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Posouzení aktuálního stavu a statické zajištění stávající prefabrikované konstrukce* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 12. 1. 2024

Bc. Petr Moštěk

autor

Obsah

1 Úvod 10
2 Popis stavby 10
2.1 Popis objektu 10
2.2 Založení objektu 10
2.3 Železobetonová prefabrikovaná konstrukce 10
2.3.1 Popis navržené konstrukce 10
2.3.2 Popis jednotlivých prvků konstrukce 11
2.4 Vyztužení vazníku 12
3 Posouzení navrženého vazníku 13
3.1 Výpočtový model vazníku 13
3.2 Zatížení a jeho kombinace 14
3.3 Posudek vazník 16
3.4 Vyhodnocení vazníku 16
4 Posouzení skutečného stavu vazníku 16
4.1 Popis skutečného řešení 16
4.2 Posudek vazníku 17
4.3 Zhodnocení alternativního řešení 17
5 Návrh zesílení 18
5.1 Popis zesílení 18
5.2 Návrh zesílení pomocí předpětí 18
5.2.1 Popis zesílení 18
5.2.2 Zhodnocení zesílení 18
5.3 Předpětí s redukcí zatížení od sněhu 19
5.3.1 Popis zesílení 19
5.3.2 Zhodnocení zesílení 19
5.4 Vložení sloupu v místě konce separace s nadvýšením 19
5.4.1 Popis zesílení 19
5.4.2 Zhodnocení zesílení 20
5.5 Porovnání jednotlivých variant 20
6 Dořešení zvolené varianty 20
6.1 Návrh kotevních oblastí a deviátorů 20
6.1.1 Zakřivená lana 21
6.1.2 Vodorovná lana 23
6.2 Návrh CFRP lamel 24

6.3 Technologický postup 24
7 Závěr 25
8 Seznam použité literatury 26

1 Úvod

Diplomová práce se zabývá přepočtem střešního vazníku výrobní a skladovací haly. První část představuje přepočet navrženého vazníku. V druhé části se řeší vazník odpovídajícímu skutečnému stavu. Důvodem nutnosti přepočtu bylo zjištění vzniku trhlin na vazníku krátce po zbudování konstrukce haly.
V poslední části jsou řešeny varianty zesílení vazníku, kdy je jedna z variant je dále rozpracována.

2 Popis stavby

2.1 Popis objektu

Jedná se o jednopodlažní výrobní halu se skladovací funkcí o rozměrech 95,97 x 29,95 m. Objekt se skládá z výrobní a administrativní části. Konstrukční systém je navržen jako prefabrikovaný železobetonový skelet v osové vzdálenosti 6 x 6 m. Sloupy jsou založeny na železobetonových pilotách do kalicha. Nosnou konstrukci střechy tvoří vazníky o osové vzdálenosti 12 m, na kterých jsou uloženy vaznice v osové vzdálenosti 3,0m.

2.2 Založení objektu

Je navrženo hloubkové založení na pilotách o průměru 900 mm a délkách 5 - 10 m. Hlavice nad pilotami jsou navrženy jako železobetonové, monolitické o výšce 1300mm a průměru 1250mm, resp. 1450 mm dle osazovaného sloupu. Do hlavice bude osazeno bednění pro kalichy. Kalichy jsou umístěny uprostřed hlavice. Rozměr kalichu je v patě vždy o 50 mm (na všechny strany) větší než rozměr sloupu, směrem nahoru se rozšiřuje na všechny strany o 50 mm. Hloubka kalichů je 900 mm od horní hrany hlavice.

Navržený materiál:
Beton pro piloty – C25/30 – XC2, XA2
Beton pro hlavice – C25/30 – XC2
Betonářská výztuž – B500

2.3 Železobetonová prefabrikovaná konstrukce

2.3.1 Popis navržené konstrukce

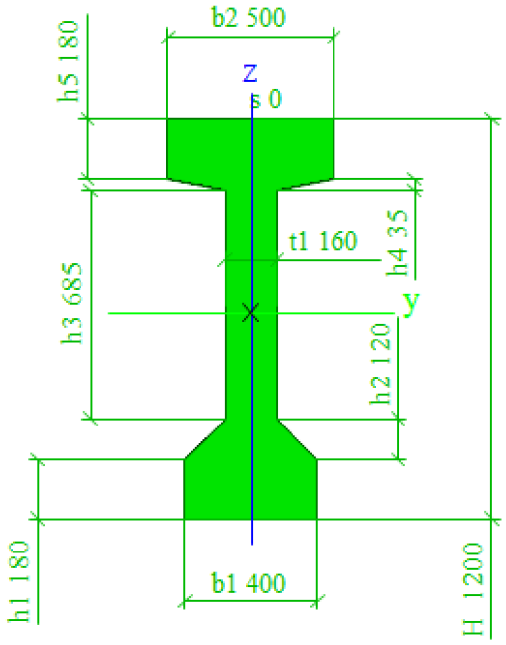
Konstrukce haly je tvořena železobetonovými prefabrikovanými sloupy profilu 400 x 400 mm, 400 x 500 mm a 500 x 500 mm a na ně ukládanými železobetonovými předem předpínanými sedlovými vazníky na modulovém rozponu 24 + 5,7m. Předpjaté vazníky jsou v průřezu tvaru I s výškou v hřebeni 1650 mm a šířkou 500 mm. Jsou ukládány na zhlaví sloupů do vidlice ve standartním modulu 12 m. Sloupy nesoucí vaznice jsou rozměru 500x500 mm. Na vazníky jsou v kolmém směru ukládány železobetonové prefabrikované vaznice na standartní modulový rozpon 12.0 m girlandového tvaru. Vaznice jsou šířky 300 mm a výšky 750 mm. Střešní konstrukce je po obvodu lemována železobetonovými prefabrikovanými ztužidly výšky 400 mm a šířky 200 mm.

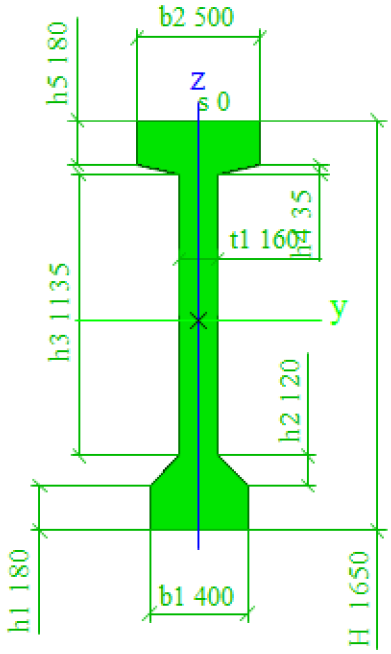
Prostorová tuhost objektu je zajištěna pomocí vetknutých sloupů do monolitických kalichů velkoprůměrových hlubinných pilot.

2.3.2 Popis jednotlivých prvků konstrukce

Vazníky – V

Vazníky jsou navrženy jako sedlové, železobetonové, prefabrikované, předem předpínané, průřezu tvaru I s proměnou výškou. Výška v hřebeni je 1650 mm a výška v místě uložení je 1200 mm. Rozpon vazníku je 24 m a délka konzoly je 5,7m. Šířka horní pásnice je 500 mm, výška pásnice 180 mm a tloušťka stojiny je 160 mm. Šířka dolní pásnice je 400 mm, výška pásnice 180 mm. Vazníky jsou vyztuženy v oblasti dolní pásnice, které budou v místě konzoly separovány. Oblast konzoly je v horní pásnici vyztužena měkkou výztuží. Vazníky jsou ukládány na sloupy do vidlic na pryžová ložiska EPDM 30-17 tloušťky 10 mm. Vazníky jsou opatřeny trny, které budou zality v otvorech sloupů jemnozrnnou cementovou maltou C25/30. Vidlice budou po osazení vazníků utěsněny a vyplněny jemnozrnnou cementovou směsí C25/30. Vazníky jsou při horním povrchu opatřeny trny pro ukládání vaznic. Vazníky jsou na horním líci opatřeny kotevními deskami pro kotvení ocelové konstrukce VZT. Do pásnice vazníku budou dodatečně chemicky kotveny ocelové nosníky světlíků.





Obrázek 1 geometrie na začátku vazníku

Obrázek 2 geometrie vazníku uprostřed rozpětí

Vaznice – VA

Vaznice jsou železobetonové prefabrikované na rozpon 12 m. Jsou girlandového tvaru a průřezu T o výšce 750 mm, šířce pásnice 300 mm, výšce pásnice 200 mm a tloušťce stojiny 150 mm. Vaznice jsou ukládány na vazníky na pryžová ložiska EPDM 30-17 tloušťky 10 mm. Otvory pro trny budou po osazení vyplněny jemnozrnnou cementovou směsí C25/30. Na vaznice bude ukládán střešní plášť.

Sloupy – S

Sloupy jsou obdélníkového a čtvercového průřezu 400 x 400 mm, 400 x 500 mm a 500 x 500 mm. Sloupy jsou průběžné. Některé sloupy jsou opatřeny krátkými konzolami pro ukládání štítových vazníků nebo základových prahů. Sloupy jsou ukládány do železobetonových monolitických kalichů pilot. Kalich bude po osazení sloupů vyplněn zálivkovou hmotou min. třídy C25/30. Některé sloupy jsou opatřeny zabudovanými deskami v oblasti zhlaví sloupů pro kotvení sloupků opláštění. Sloupy haly jsou v oblasti zhlaví opatřeny trny pro ukládání ztužidel. Sloupy haly jsou opatřeny vidlicemi pro ukládání vazníků.

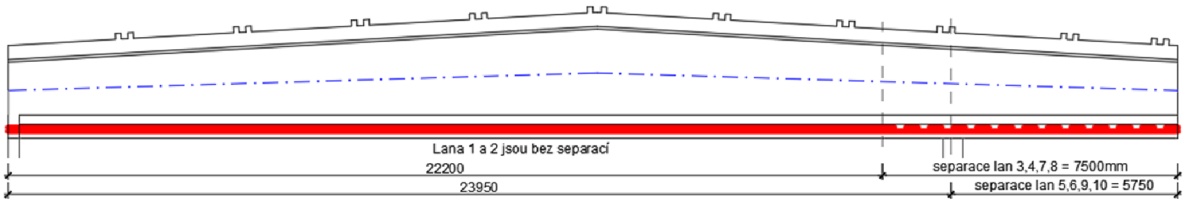
Použité materiály:

Prefabrikovaný beton:
Sloupy C40/50-XC2- XA2;
Vazníky předepjaté C50/60-XC1
Vaznice C40/50-XC1

Ocel:
Betonářská: B500B (R 10505)
Předpínací: Y1860S7 15,7 Relax 2

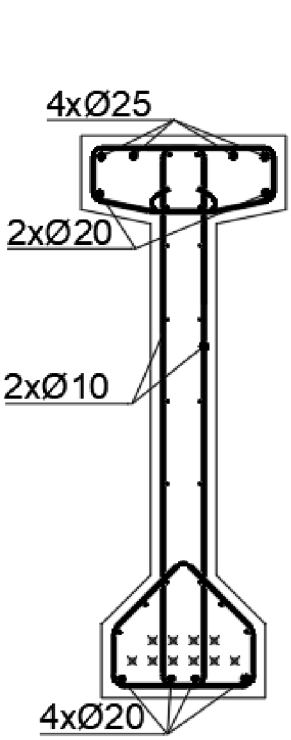
2.4 Vyztužení vazníku

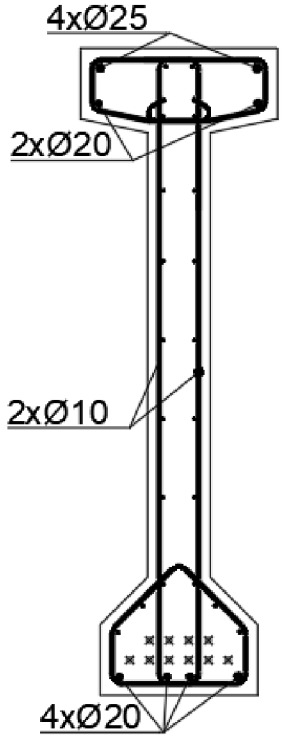
Je navrženo 10 předpínacích lan o průměru 15,7 mm, které jsou vedeny při dolním povrchu. Předpínací lana jsou v místě konzoli separovaná a to 4 lana v délce 5,75 m a další 4 lana v délce 7,5 m od konce konzoly. Dvě předpínací lana jsou průběžné.



Obrázek 3 separace předpínacích lan

Při dolním povrchu je navržena průběžná hlavní betonářská 4xØ20. Při horním povrchu je navrženo průběžná betonářská výztuž ve dvou řadách 2xØ25+2xØ20. V místě konzoli je horní výztuž doplněna příložkami 2xØ25.

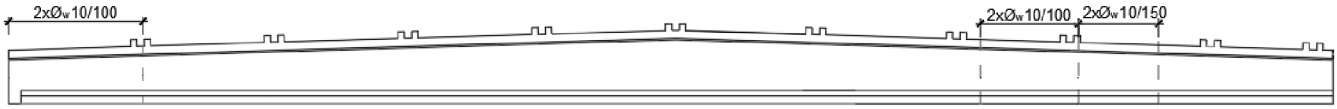




Obrázek 4 vyztužení nad podporou 2

Obrázek 5 vyztužení v poli

Smyková výztuž je navržena jako dvou střižné třmínky o průměru 10 mm. Osová vzdálenost třímků u podpory 1 a 2 z levé strany je 100 mm, u podpory 2 z pravé strany 150 mm v místě záchytných ok po 80 mm.



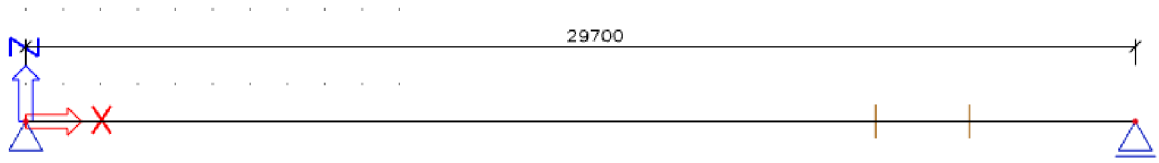
Obrázek 6 navržená smyková výztuž

3 Posouzení navrženého vazníku

3.1 Výpočtový model vazníku

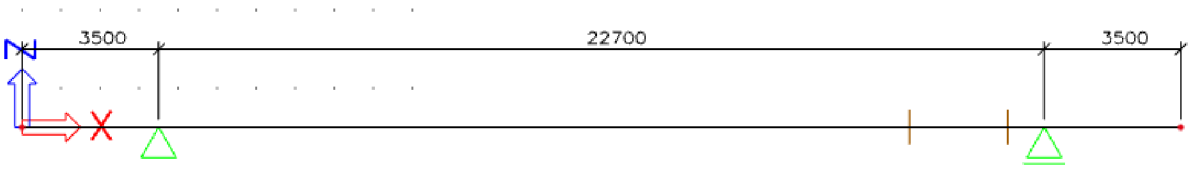
Výpočetní model byl proveden jako prutový model v programu SCIA Engineer 22. Byl řešen s pomocí funkce fáze výstavby, kdy byli řešeny tyto časy.

t_0 (3dny) Představuje předepnutí a odbednění vazníku. prostý nosník o délce 29,7m.



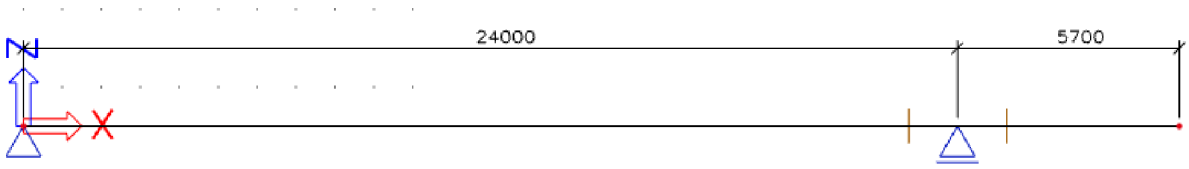
Obrázek 7 statické schéma v čase t0

t_s (3,1dny) Představuje skladovaní vazníku. Prostý nosník s převislými konci. Déla pole 22,7 m a délky obou konzol 3,5m.



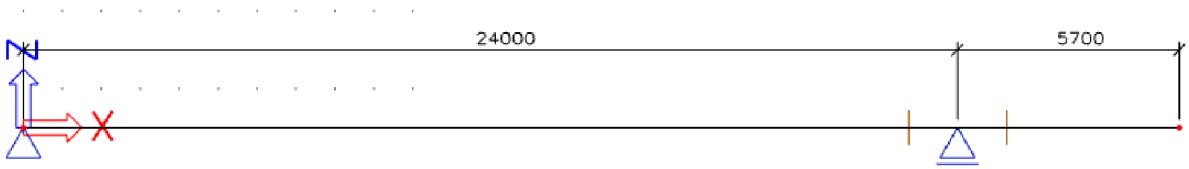
Obrázek 8 statické schéma v čase ts

t_m (28dny) Představuje zabudování vazníku. Prostý nosník s převislým koncem. Délka pole 24 m a konzola 5,7 m.



Obrázek 9 statické schéma v čase tm

t_∞ (36500dny) Představuje provoz vazníku. prostý nosník s převislým koncem. Délka pole 24 m a konzola 5,7 m.

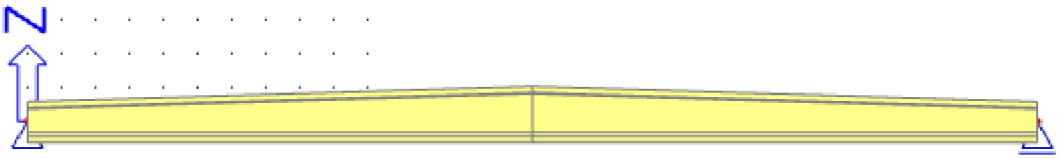


Obrázek 10 statické schéma v čase t_∞

3.2 Zatížení a jeho kombinace

Zatížení vazníku bylo převzato ze zadání diplomové práce. Představuje vlastní tíhu konstrukce, ostatní stálé zatížení, zatížení od sněhu, zatížení od větru a účinky předpětí. Předpětí bylo modelováno pomocí funkce předem předpjatá lana ve SCIA Engineer. Účinky předpětí byli porovnány s ručním výpočtem viz statický posudek.

t_0 Zatížení od výroby
ZS1 vlastní tíha konstrukce



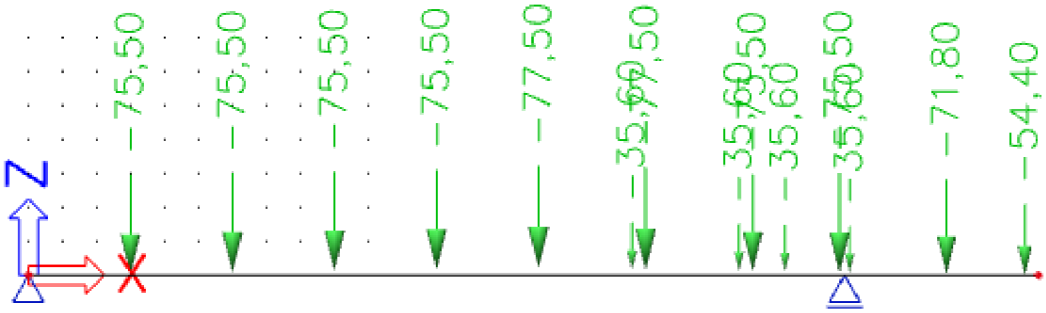
ZS5 předpětí

t_s Umístění na skládce

t_m Montáž vazníku

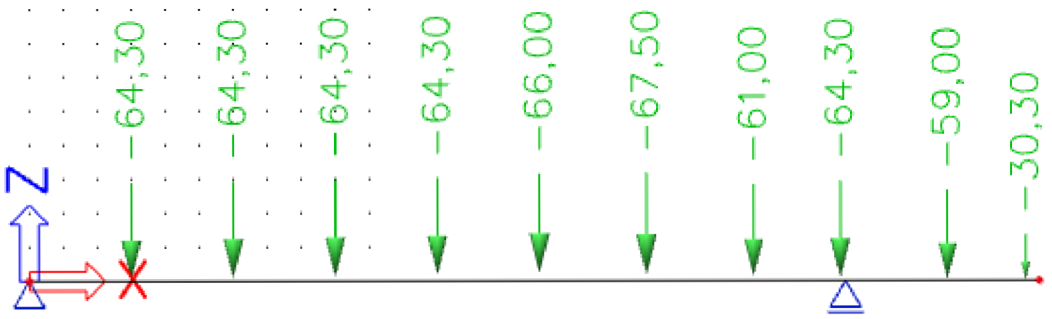
t_∞ Zatížení od provozu
ZS1 vlastní tíha konstrukce

ZS2 ostatní stálé zatížení
Skladba střešního pláště 0,5kN/m^2
Podvěsná zatížení 0,3kN/m^2



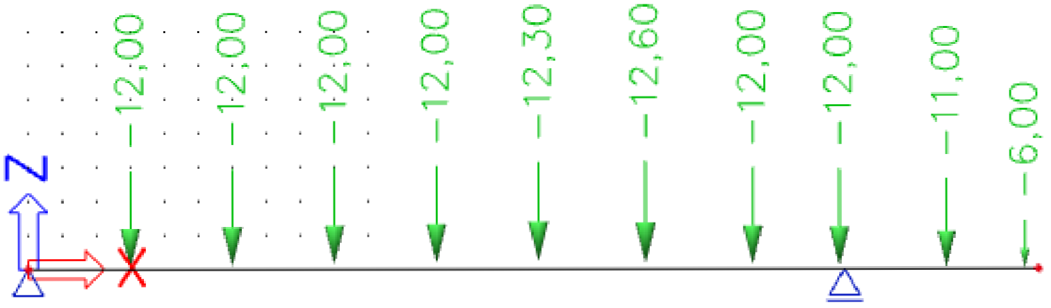
Obrázek 11 zatížení stálé

ZS3 zatíženi od sněhu
Sníh – III. Sněhová oblast 1,72kN/m^2



Obrázek 12 zatížení od sněhu

ZS4 zatížení od větru
Větrná oblast II - 25m/s, kategorie terénu III. Maximální dynamický tlak větru ve výšce 8,00m =0,6kPa



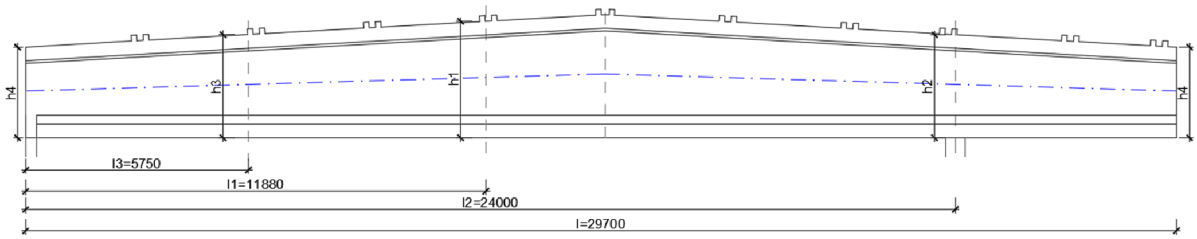
Obrázek 13 zatížení od větru

ZS5 předpětí

Rozhodující kombinace pro mezní stav únosnosti jsou sestavovány podle rovnice 6.10a a 6.10b dle ČSN EN 1990: Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí.

3.3 Posudek vazníku

Posouzení vazníku bylo řešeno ručním výpočtem, kdy vnitřní síly byly převzaty z programu SCIA Engineer.
Vazník byl řešen v místě největšího namáhání (l_1=11,88) a v místě nad podporou (l_2=24).
Vazník byl řešen pro časy t_0 a t_∞.



Obrázek 14 polohy řešených míst na vazníku

V rámci posudku je řešeno MSP omezení napětí pro čas t_0 a t_∞. Byl proveden ruční výpočet za předpokladu lineárního chování průřezu. V t_∞ bylo zjištěno, že ve vazníku vzniknou trhliny, a tedy byl proveden přesnější posudek v programu idea statika, při kterém je zohledněn vznik trhlin. Posouzení vazníku na velikost šířky trhlin byl proveden v programu idea statika.

Posouzení na MSU bylo provedeno ručním výpočtem.

3.4 Vyhodnocení vazníku

V rámci přepočtu bylo zjištěno, že v nejvíce namáhaném průřezu (v poli) vazník nevyhoví pro MSU v ohybu M_{ed}/M_{rd}=1,39.
Daný vazník vyhoví pro MSU ve smyku.

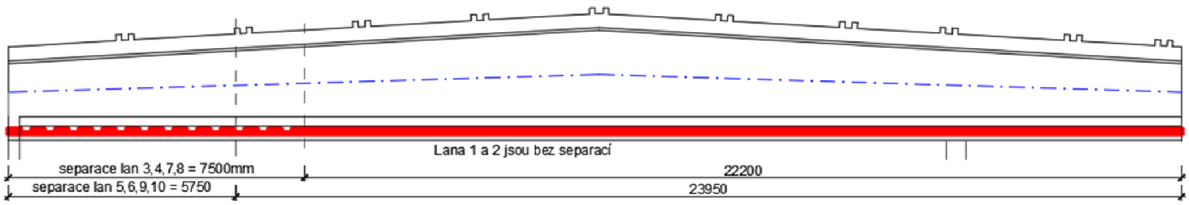
Posouzením na MSP omezení bylo zjištěno, že v čase t_0 v řešených místech vazníku nedojde k překročení omezení napětí ani ve vazníku nevzniknou trhliny. V čase t_∞ v nejvíce namáhaném místě (v poli) vazník nevyhoví pro maximální napětí v betonářské výztuži σ_s/σ_{lim}=1,32.
Vazník v nejvíce namáhaném místě vyhoví pro MSP omezení šířky trhlin.

Důvod nevyhovujícího posudku je, že při návrhu vazníku bylo zanedbáno zatížení od sněhu.

4 Posouzení skutečného stavu vazníku

4.1 Popis skutečného stavu

V rámci dalšího posudku bylo zvoleno alternativní zadání. Jedná se o případ, kdy byly otočeny separace lan. To znamená, že v místě konzoly se nachází všech 10 předpínacích lan, které svými momentovými účinky zatěžují konzolu. Na druhé straně do konce separací působí pouze 2 předpínací lana.

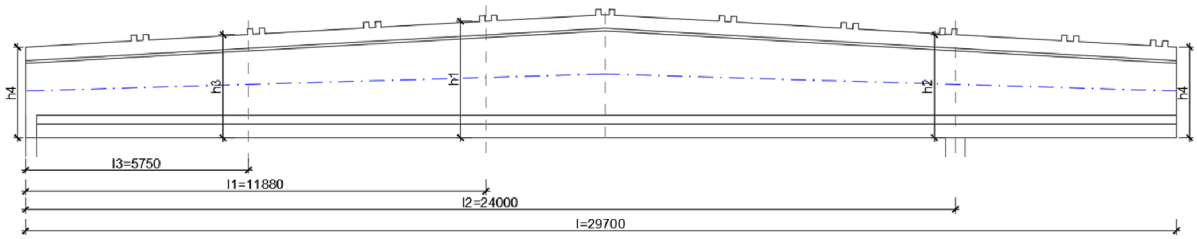


Obrázek 15 separace předpínacích lan pro zadání 2

Zatížení, geometrie i vyztužení je převzato z předchozího posudku.

4.2 Posudek vazníku

Posouzení vazníku bylo řešeno ručním výpočtem, kdy vnitřní síly byli převzaty z programu SCIA Engineer.
Vazník byl řešen v místě největšího namáhání (l_1=11,88), v místě nad podporou (l_2=24) a v místě konce separace(l_3=5,75). Vazník byl řešen pro časy t_0 a t_∞.



Obrázek 16 polohy řešených míst na vazníku

V rámci posudku je řešeno MSP omezení napětí pro čas t_0 a t_∞. Byl proveden ruční výpočet za předpokladu lineárního chování průřezu. V t_∞ bylo zjištěno, že ve vazníku vzniknou trhliny, a tedy byl proveden posudek v programu idea statika při kterém se zohlednil vznik trhlin. Bylo Posouzení vazníku na velikost šířky trhlin byl proveden v programu idea statika.

Posouzení na MSU bylo provedeno ručním výpočtem.

4.3 Zhodnocení skutečného stavu

V rámci přepočtu bylo zjištěno, že v nejvíce namáhaném průřezu (v poli) vazník nevyhoví pro MSU v ohybu M_{ed}/M_{rd}=1,39.
V místě konce separace vazník nevyhoví pro MSU v ohybu M_{ed}/M_{rd}=2,98.
Posouzením v místě konce separace pro kvazistálou kombinaci, které defacto představuje vlastní tíhu v charakteristické hodnotě, bylo zjištěno, že vazník nevyhoví pro MSU v ohybu Med/Mrd=1,39.
Daný vazník vyhoví pro MSU ve smyku.

Posouzením na MSP omezení bylo zjištěna, že v čase t_0 v řešených místech vazníku nedojde k překročení omezení napětí ani ve vazníku nevzniknou trhliny.
V čase t_∞ v nejvíce namáhaném místě (v poli) vazník nevyhoví pro maximální napětí v betonářské výztuži σ_s/σ_{lim}=1,32.
V místě konce separace vazník nevyhoví pro MSP omezení napětí v betonářské výztuži σ_s/σ_{lim}=3,26, v betonu pro kvazistálou kombinaci $\sigma_{c\ \Psi 2}/\sigma_{lim}$=1,18 a v předpínací výztuži σ_p/σ_{lim}=1,64.
V místě nad podporou vazník nevyhoví pro MSP omezení napětí v betonu pro kvazistálou kombinaci $\sigma_{c\ \Psi 2}/\sigma_{lim}$=1,07
Vazník v místě konce separací nevyhoví pro MSP omezení šířky trhlin w/w_{lim}=4,33.

Důvod nevyhovujícího posudku je, že při návrhu vazníku bylo zanedbáno zatížení od sněhu. Dále vliv obrácených separací předpínacích lan, kdy v místě konce separace působí jen dvě předpínací lana a nad podporou působí všech 10 předpínacích lan, které přitěžují konstrukci.

5 Návrh zesílení

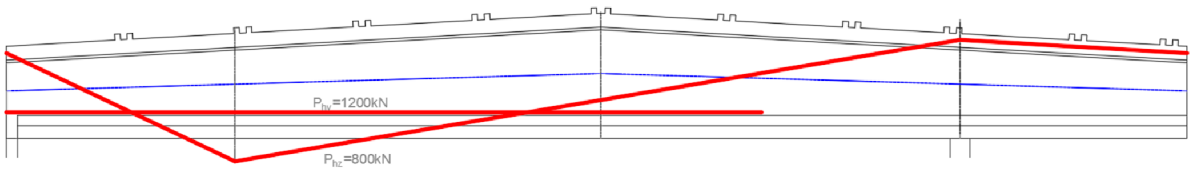
5.1 Popis zesílení

Zesílení bylo řešeno pro nejvíce nevyhovující řez vazníku, a to v místě konce separace. Jednotlivé varianty zesílení se opírají buď o externí předpětí nebo vložení sloupu v místě konce separací. Napínací síla jednoho lana byla zvolena 200kN.
První varianta představuje zesílení pouze pomocí externího předpětí.
V rámci druhé varianty je uvažováno s využitím externího předpětí v kombinaci s redukcí zatížení od sněhu.
Třetí varianta představuje zesílení, kdy se uvažuje s vložením sloupu v místě konce separací s nadvýšením.
Návrh předpětí byl proveden za předpokladu zohlednění statického schématu celého rámu.
Vlivy na zesílení vazníku byli řešeny pomocí fází výstavby.

5.2 Návrh zesílení pomocí předpětí

5.2.1 Popis zesílení

Zesílení bylo navrženo pomocí externího předpětí lany typu monostrand. Bylo navrženo 10 předpínacích lan, kdy 4 lana jsou uvažována jako zakřivená a zbylých 6 lan jako vodorovná.



Obrázek 17 trasa navrženýh předpínacích lan

Důsledkem externího předpětí vnikne ve vazníku záporný ohybový moment a záporné normálové namáhání, které zvýší únosnost vazníku.

5.2.2 Zhodnocení zesílení

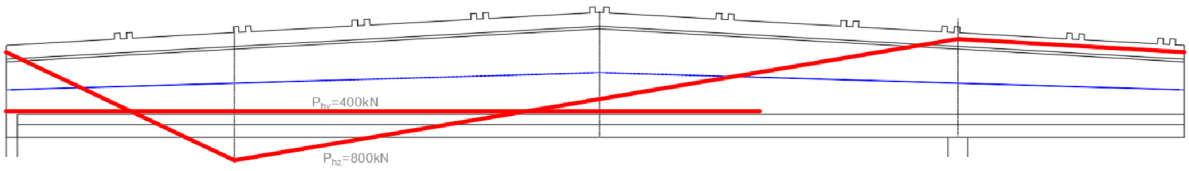
V nejvíce namáhaném místě (konec separace) bylo zesílením docíleno pro MSU v ohybu zlepšení z M_{ed}/M_{rd}=2,98 na 1,12. Bude nutné ještě navrhnout zesílení pomocí uhlíkových lamel.
Pro MSP omezení napětí bylo docíleno snížení tlakového i tahového napětí v řešených průřezech. V místě konce separace pro častou kombinaci vznikne v dolních vláknech tlakové napětí.

Při dopracování této varianty bude nutné vyřešit návrh kotevní oblastí a deviátory předpínacích lan. Dále je nutné navrhnout další zesílení pomocí uhlíkových lamel v místě konce separace. Bude nutné posoudit vazník na účinky požáru.

5.3 Předpětí s redukcí zatížení od sněhu

5.3.1 Popis zesílení

Zesílení bylo navrženo pomocí externího předpětí lany typu monostrand + redukce zatížení od sněhu z 1,72 na 0,7kN/m^2. Bylo navrženo 6 předpínacích lan, kdy 4 lana jsou uvažována jako zakřivená a zbylé 2 lana jako vodorovná.



Obrázek 18 trasa navržených předpínacích lan

Důsledkem externího předpětí vnikne ve vazníku záporný ohybový moment a záporné normálové namáhání, které zvýší únosnost vazníku. Redukce zatížení od sněhu sníží vnitřní síly od sněhu na celém vazníku.

5.3.2 Zhodnocení zesílení

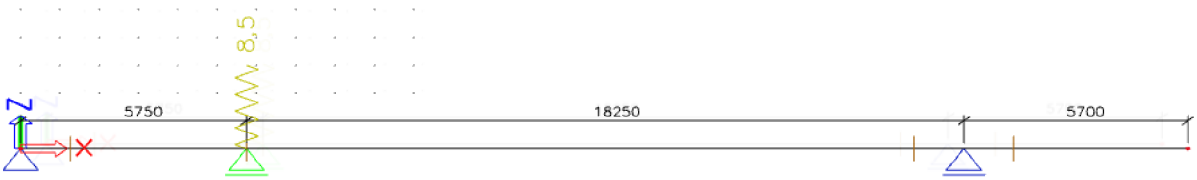
Zesílením bylo dosaženo, že pro nejvíce namáhané místo (konec separace) bylo docíleno pro MSU v ohybu zlepšení z M_{ed}/M_{rd}=2,98 na 1,005.
Pro MSP omezení napětí bylo docíleno snížení tlakového i tahového napětí v řešených průřezech.

Při dopracování této varianty bude nutno vyřešit návrh kotevní oblastí a deviátory předpínacích lan. Z důvodu uvažované redukce zatížení od sněhu bude nutno navrhnou výstražný systém, který bude kontrolovat velikost zatížení od sněhu. Při překročení navržené hodnoty je nutné zajistit snížení zatížení od sněhu buď odhozem sněhu nebo topným systémem případně jinou vhodnou metodou Bude nutné posoudit vazník na účinky požáru.

5.4 Vložení sloupu v místě konce separace s nadvýšením

5.4.1 Popis zesílení

Zesílení bylo docíleno vložením sloupu v místě konce separace a nadvýšením vazníku. Vlivem vložení sloupu se změnilo statické schéma a vazník nyní působí jako spojitý nosník o dvou polích s převislým koncem. Důsledkem je, že nad nově vzniklou podporou vznikl od proměnného zatížení záporný moment. Dále vlivem nadvýšení podpory vznikl ve vazníku záporný ohybový moment.



Obrázek 19 statické schéma po vložení sloupu

5.4.2 Zhodnocení zesílení

Zesílením bylo dosaženo že v nejvíce namáhaném místě (konec separace) bylo docíleno pro MSU v ohybu zlepšení z M_{ed}/M_{rd}=2,98 na 0,97.
Pro MSP omezení napětí bylo docíleno snížení tahového i tlakového napětí v místě konce separace a v místě největšího namáhání.
Bylo zjištěno, že vlivem nadvýšení nedojde k nadzdvižení vazníku ze sloupu.

Při dopracování této varianty bude nutno vyřešit konstrukci nového sloupu, založení nového sloupu, technologii nadvýšení a vliv sloupu na dispozici výrobní haly. Bude také třeba vyřešit posudek vazníku a sloupu na účinky požáru.

5.5 Porovnání jednotlivých variant

První dvě varianty zesílení se opírají hlavně o vnější předpětí pomocí předpínacích lan typu monostrand. První varianta představuje případ, kdy je deset přednacích lan s nutností dolepení uhlíkových lamel. Druhá varianta uvažuje s šesti předpínacícmi lany a s redukcí zatížení od sněhu. Pro obě varianty je velkým problém účinek požáru na předpínací lana, která bude nezbytné ochránit před vlivem zvýšené teploty. Varianta 2 představuje jednoduší řešení předpínacích lan a není nutné lepit uhlíkové lamely. Na druhou stranu vlivem redukce zatížení je nezbytné zbudovat výstražný systém a zajistit opatření pro potřebné snížení zatížení od sněhu. Tím že k zatížení od sněhu dochází jen v zimním období, tak je varianta 2 po zbytek roku lépe využita.

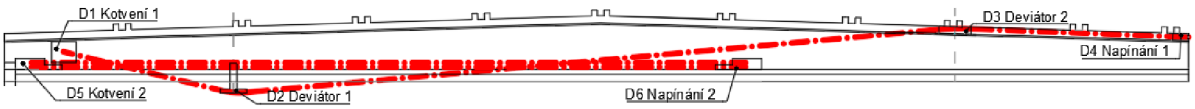
U třetí varianty je uvažováno s vložením sloupu a nadvýšení vazníku. Největší problém této varianty představuje řešení základu pod sloupem a vliv sloupu na dispozici výrobní haly. Bude nutné zbudování zařízení pro nazdvižení vazníku. Výhodou je jednoduší opatření proti případnému požáru.

V rámci dopracování byla zvolena varianta 1 (10 předpínacích lan). Dále bude nutné vyřešit návrh kotevních oblastí a deviátorů a návrh uhlíkových lamel.

6 Dořešení zvolené varianty

6.1 Návrh kotevních oblastí a deviátorů

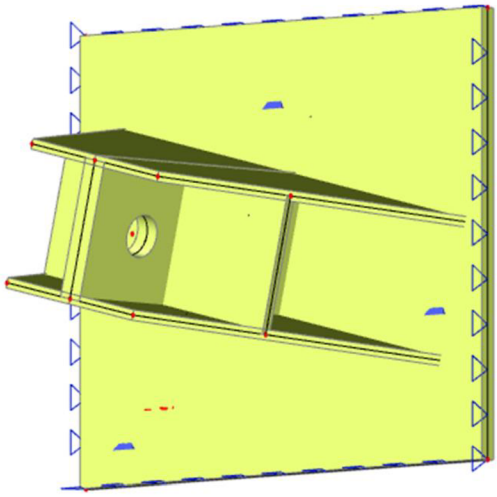
Pro zakřivená lana bylo nutno navrhnout kotvení 1 (D1), deviátor 1 v místě konce separace (D2), deviátor 2 nad podporou (D3) a napínání 1 (D4).
Pro vodorovné lana bylo navrženo kotvení 2 (D5) a napínání 2 (D6).
Předpínací lana budou napínány ze strany konzoly.
Navrhované konstrukce byli modelovány v programu SCIA Engineer. Byli navrženy jako ocelová svařovaná konstrukce.
Zatížení představuje vlastní váha a účinky od předpínacích lan.
Podpory, které představují šrouby, jsou modelovány jako kloubová podpora a vliv zatlačení do vazníku byl modelován pomocí plošné podpory s nelineárním chováním.



Obrázek 20 polohy deviátorů a kotevních oblastí

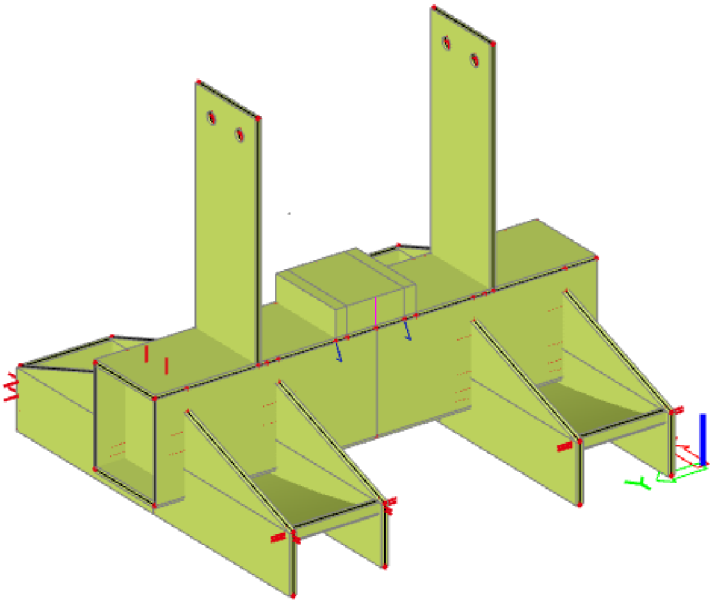
6.1.1 Zakřivená lana

Kotvení (D1) představují dva zámečnické výrobky Z1, které budou vyrobeny z oceli S355. Spoje budou svařované. K vazníku bude osazený z obou stran stojiny. Se stojinou bude spojen pomocí 4 závitových tyčí M42 8.8. Před osazením výrobku bude na vazník nanesena vyrovnávací hmota. Z důvodu přenesení tahových účinků od kotvení bude nutné na vazník nalepit uhlíkové lamely Sika Carbodur S šířky 60mm a tloušťky 2,6mm. Podrobnější informace viz statický výpočet.



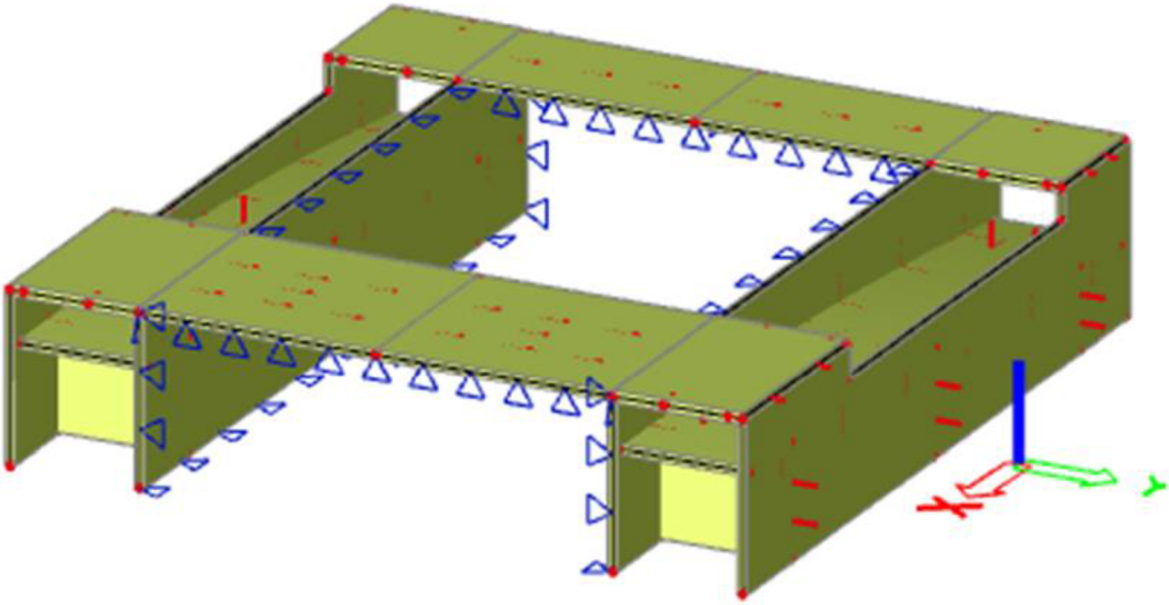
Obrázek 21 3D model zámečnického výrobku Z1

Deviátor 1 (D2) představuje jeden zámečnický výrobek Z2, který bude vyroben z oceli S235 a dvojice UPE180 z oceli S355. Spoje budou svařované. Výrobek Z2 je navržen ze spodní strany dolní pásnice. Se stojnou bude spojen pomocí 2 závitových tyčí M20 8.8, které budou na stavbě svařeny s bočními deskami výrobku Z2. Závitové tyče budou k vazníku chemicky kotveny. Před osazením výrobku bude na vazník nanesena vyrovnávací hmota. Pobrobnější informace viz statický posudek.



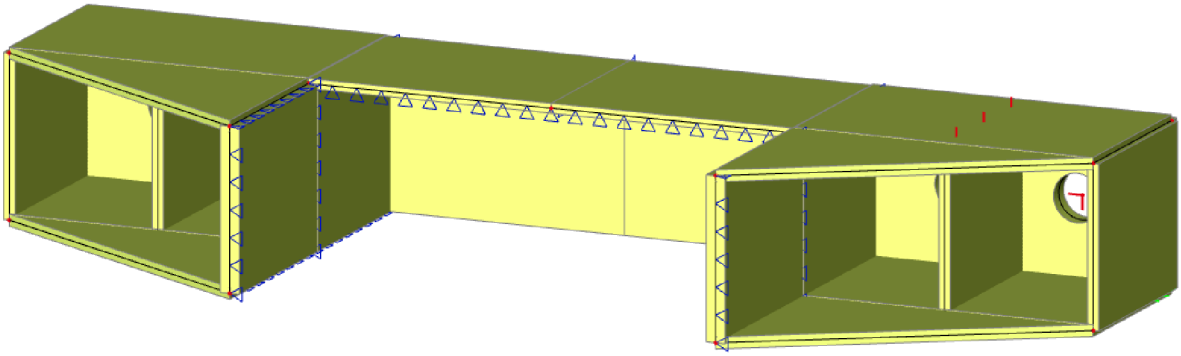
Obrázek 22 3D model zámečnického výrobku Z2

Deviátor 2 (D3) představuje jeden zámečnický výrobek Z3, který bude vyroben z oceli S235 Spoje budou svařované. Výrobek Z3 je navržen podél horní pásnice. Se stojnou bude spojen zhora pomocí 6 závitových tyčí M16 8.8, které budou chemicky ukotveny do vazníku. Výrobek Z3 je z důvodů stávající vaznice vyroben ze dvou částí, které budou následně svařeny na stavbě. Před osazením výrobku bude na vazník nanesena vyrovnávací hmota.
Podrobněji viz statický posudek.



Obrázek 23 3D model zámečnického výrobku Z3

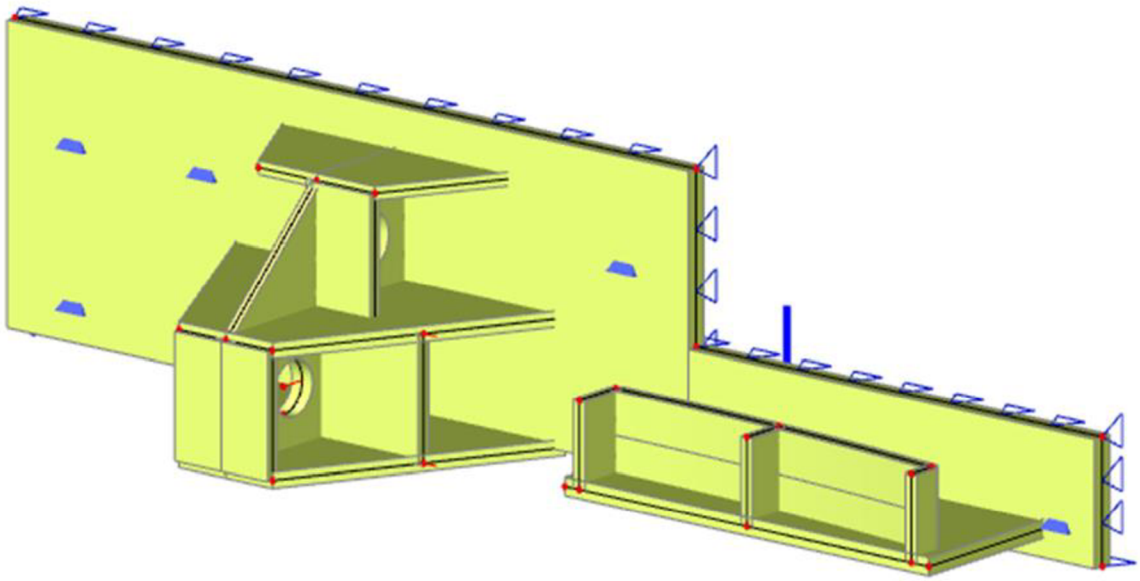
Napínání 1 (D4) představuje zámečnický výrobek Z4, který bude vyroben z oceli S355. Spoje budou svařované. K vazníku bude osazen z čela a horní stojiny. Se stojnou bude spojen zhora 2 závitovými tyčemi M16 8.8 a z čela 2 závitovými tyčemi M20 8.8. Závitové tyče budou chemicky kotveny k vazníku. Před osazením výrobku bude na vazník nanesena vyrovnávací hmota.
Podrobnější informace viz statický posudek.



Obrázek 24 3D model zámečnického výrobku Z4

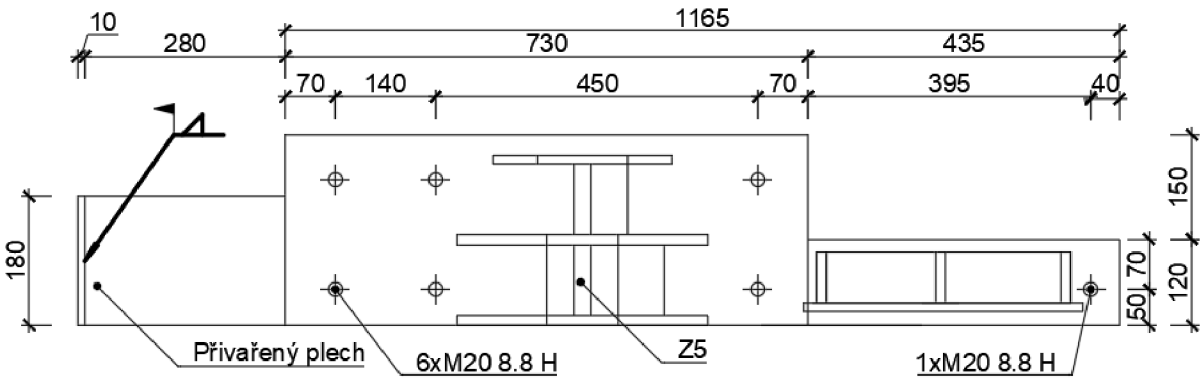
6.1.2 Vodorovná lana

Napínání 2 (D6) představuje dva zámečnické výrobky Z5, které budou vyrobeny z oceli S355. Spoje budou svařované. K vazníku budou osazeny z obou stran stojiny. Se stojnou bude spojen pomocí 6 závitových tyčí M42 8.8 a 1 závitové tyče M20 8.8, která bude chemicky kotvena k vazníku. Před osazením výrobku bude na vazník nanesena vyrovnávací hmota. Z důvodu přenesení tahových účinků od kotvení bude nutné na vazník nalepit uhlíkové lamely Sika Carbodur S šířky 60mm a tloušťky 2,6mm. Podrobnější informace viz statický posudek.



Obrázek 25 D3 model zámečnického výrobku Z5

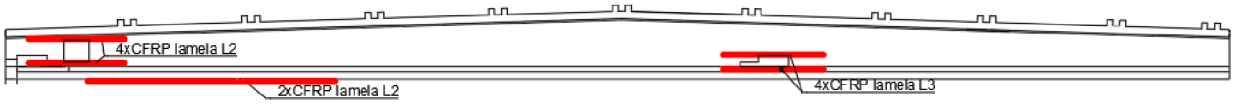
Kotvení 2 (D5) je defacto stejné konstrukce jako napínání 2 (D6). Rozdílem je, že vykrytí tahových účinků v kotvení bude přenesena tak, že se konstrukce zapře o čelo vazníku. K zámečnickému výrobku Z5 se přivaří plech, který bude následně na stavbě přivařený k plechu z čela vazníku. K vazníku bude osazen z obou stran stojiny. Se stojnou bude spojen pomocí 7 závitových tyčí M20 8.8, které budou chemicky kotveny k vazníku. Před osazením výrobku bude na vazník nanesena vyrovnávací hmota.



Obrázek 26 Zámečnický výrobek Z6

6.2 Návrh CFRP lamel

Návrh CFRP lamel byl proveden v programu FRP Lamella 5.6. Počáteční stav byl zvolen po napnutí předpínacích lan. To představuje účinky od vlastní tíhy + vliv předpětí.
Byli navrženy 2 lamely Sika Carbodur S šířky 60mm a tloušťky 2,4mm o délce 6m.
Dále byli navrženy 4 CFRP lamely lamely Sika Carbodur S šířky 60mm a tloušťky 2,6mm pro vykrytí tahových účinků od kotvení D1 a od napínání 2 D6. Podrobnější informace viz statický posudek.

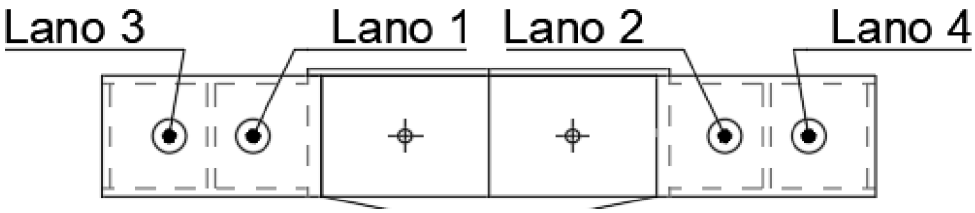


Obrázek 27 poloha uhlíkových lamel

6.3 Technologický postup

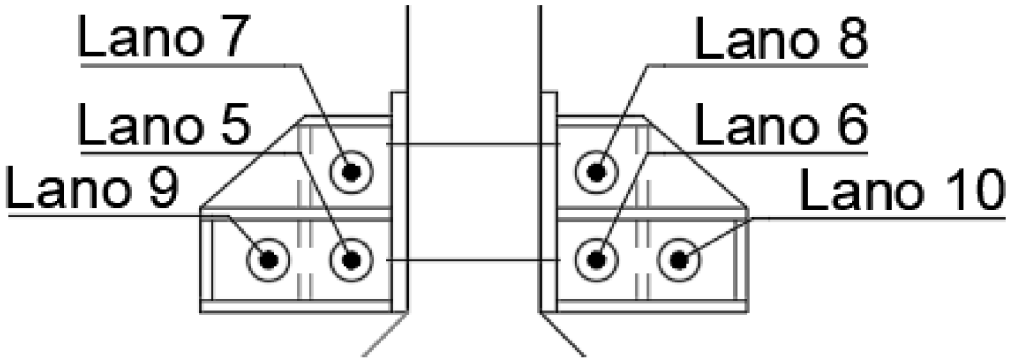
1. Geodetické zaměření stávajícího stavu vazníku, otvorů pro čepy jednotlivých kotevních oblastní a deviátorů.
2. Jádrové vrtání kotevních bodů pro osazení závitových tyčí v oblasti D1-D6, - jádrové vrtání kotevních bodů pro osazení čepů v oblastech D1-D6; před provedením vrtů nedestruktivně stanovit polohu stávající výztuže vazníku; při vrtání nesmí dojít k porušení stávající výztuže vazníku; přesnost vrtání max +- 10 mm od projektované polohy
3. Osazení čepů v oblasti D1-D6 - vrt kolem čepu dokonale injektovat nesmrštitelnou zálivkou; požadavek na přesnost osazení čepu max +- 5 mm od projektované polohy
4. Příprava podkladu pro osazení lamel v kotevních oblastech D1 a D6; nanesení lepidla SIKADUR; nalepení lamely (při provádění postupovat dle příslušného technologického postupu výrobce);
5. Osazení zámečnických výrobků výrobků Z1-Z6 do podmazání z nesmrštitelné malty a jejich montážní ukotvení; následně provedení připojení kotevních zámečnických výrobků k předem osazeným čepům svorem dle příslušného výkresu, resp. provedení kotvení chemickými kotvami M16 a M20 v polohách dle příslušného výkresu. Při provádění chemických kotev postupovat dle příslušného Technologického postupu výrobce;
6. Natažení (volné) přepínacích lan, úprava lan v koncových oblastech v místě kotev (zbavení ochranné vrstvy, odmaštění); kontrola osazení lan v místech deviátorů, kotev apod., příprava kotevních oblastí;
7. Po zatvrdnutí vyrovnávacích vrstev kotevních oblastí a deviátorů montážní aktivace lan - postupné napnutí všech lan na max 10% mezní projektované síly v lanu. Následně se provede kontrola lan, nesmí být přítomny ostré zlomy apod.;

8. Předepnutí zakřivených lan. Předpínání bude provedeno, tak že se první napne 1 na sílu 100kN. Následně bude napnuto lano 2 na sílu 200kN. Následně bude lano 1 dopnuto na 200kN a lano 3 bude napnuto na velikost 100kN. Následně bude lano 4 napnuto na velikost 200kN. Nakonec bude lano 3 dopnuto na velikost 200 kN. Po dopnutí lana na 100 % bude napětí podrženo po definovaný čas 5 min po napnutí všech lan se provede kontrola napětí a případné dopnutí lan.
   V průběhu napínání bude nutná kontrola chování vazníku geodetem při dosažení cca 50%, 75% a 100% předpětí.



Obrázek 28 zakřivená externí lana

9. Předepnutí vodorovných lan. Předpínání bude provedeno, tak že se první napne 5 na sílu 100kN. Následně bude napnuto lano 6 na sílu 200kN. Následně bude lano 5 dopnuto na 200kN a lano 7 bude napnuto na velikost 100kN. Následně bude lano 8 napnuto na velikost 200kN. Následně bude lano 7 dopnuto na 200kN a lano 9 bude napnuto na velikost 100kN. Následně bude lano 10 napnuto na velikost 200kN. Nakonec bude lano 9 dopnuto na velikost 200 kN. V průběhu napínání bude nutná kontrola chování vazníku geodetem při dosažení cca 50%, 75% a 100% předpětí.



Obrázek 29 vodorovná externí lana

10. Příprava podkladu pro osazení lamel při dolním povrchu v místě D2; nanesení lepidla SIKADUR; nalepení lamely (při provádění postupovat dle příslušného technologického postupu výrobce);
11. Obalení konstrukce proti účinkům požárů a jiné dokončovací práce

7 Závěr

V rámci této diplomové práce je řešen přepočet zadané konstrukce předpjatého vazníku. Bylo zjištěno, jaký významný vliv může mít zatížení od sněhu na tuto konstrukci.
V druhé části bylo zjištěno, jak velký vliv můžeme mít obrácení separací předpínacích lan. V třetí části jsou řešeny 3 varianty zesílení tohoto vazníku, kdy jedna varianta byla dále rozpracována.

8 Seznam použité literatury

ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí;
ČSN EN 1991-1-1 až 7: Zatížení stavebních konstrukci;
ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí - Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby;
ČSN EN 206: Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda;
ČSN ISO 13822: Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí
ČSN EN 1993-1-1: Navrhování ocelových konstrukcí - Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
ČSN EN 1993-1-8: Navrhování ocelových konstrukcí - Navrhování styčníků

https://cze.sika.com/dam/dms/cz01/0/MP-cz-Sika%20CarboDur.pdf
https://cze.sika.com/dam/dms/cz01/0/sika_carbodur_s.pdf
https://cze.sika.com/dam/dms/cz01/u/manual-cz-Sika-Carbodur-software.pdf