



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

STATICKÉ ŘEŠENÍ PŘÍHRADOVÉHO PŘEDPJATÉHO VAZNÍKU

STATIC ANALYSIS OF A LATTICE PRESTRESSED TRUSS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lukáš Slezák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. MILOŠ ZICH, Ph.D.

BRNO 2022



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav betonových a zděných konstrukcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Lukáš Slezák
Název	Statické řešení příhradového předpjatého vazníku
Vedoucí práce	doc. Ing. Miloš Zich, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2021
Datum odevzdání	27. 5. 2022

V Brně dne 30. 11. 2021

prof. RNDr. Ing. Petr Štěpánek, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

1. Stavební podklady.
2. Normy pro navrhování betonových konstrukcí ČSN a EN.
3. L. Gřenčík: Betonové konstrukce II. SNTL/ALFA 1986.
4. D. Majdúch: Zásady vystužování betonových konstrukcí. ALFA 1984.
5. Vhodné výpočetní programy (např. Nexis, SCIA, Ansys apod.)
6. Zich M., Bažant Z., Montované betonové konstrukce, CERM 2018.
7. Zich M., Bažant Z., Plošné konstrukce, nádrže a zásobníky, CERM 2010

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Pro zadané dispoziční uspořádání vypracovat přepočet předpjatých vazníků dle aktuálních norem. Provést rešerši konstrukčního řešení předpjatých příhradových vazníků. Provést případný návrh zesílení. Řešení provést včetně nezbytné výkresové dokumentace (výkresy tvaru a výztuže). Rozsah bakalářské práce stanoví vedoucí práce.

Požadované výstupy:

Textová část (obsahuje průvodní zprávu a ostatní náležitosti dle níže uvedených směrnic)

Přílohy textové části:

P1) Použité podklady

P2) Statický výpočet

P3) Výkresová dokumentace

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP (1x), Popisný soubor závěrečné práce (1x)

Bakalářská práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě a pro ÚBZK 1x na CD.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).

2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

doc. Ing. Miloš Zich, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je vypracovat přepočítání předpjatého vazníku pro zadané dispoziční uspořádání a případný návrh zesílení. Výpočet účinků zatížení byl proveden pomocí ručního výpočtu styčnickovou metodou, v programu scia engineering a pomocí typových pokladů. Následně byly účinky porovnány. Posouzení mezního stavu únosnosti a použitelnosti bylo provedeno ručně dle platných norem.

KLÍČOVÁ SLOVA

Příhradový vazník, předpjatý beton, statický výpočet, ztráty předpjetí, mezní stav únosnosti a použitelnosti, výkresová dokumentace, návrh zesílení

ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis is to calculate the pre-stressed truss for the given layout and possible design of reinforcement. The calculation of the load effects has been carried out by means of manual calculation using the contact method, scia engineering software and using type treasures. Subsequently, the effects were compared. The assessment of the ultimate limit state and serviceability was carried out manually according to the applicable standards.

KEYWORDS

Truss, prestressed concrete, static calculation, prestressing losses, ultimate and serviceability limit state, drawing documentation, reinforcement design

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Lukáš Slezák *Statické řešení příhradového předpjatého vazníku*. Brno, 2022. 27 s., 108 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce doc. Ing. Miloš Zich, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Statické řešení příhradového předpjatého vazníku* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 21. 5. 2022

Lukáš Slezák
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Statické řešení příhradového předpjatého vazníku* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 21. 5. 2022

Lukáš Slezák
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Zde bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Milošovi Zichovi, Ph.D. za ochotu a trpělivost u konzultací a za objasnění všech vzniklých problémů při vypracování bakalářské práce.

Obsah

Úvod	10
Rešerše příhradových předepnutých vazníků.....	11
1. Stavební řešení montovaných staveb při použití příhradových předpjatých vazníků.....	11
2. Časté druhy příhradových vazníků.....	11
Vazník SPP 14-24/6 [2]	12
Vazník SPP 9-24/6 [2]	12
Vazník SPP 6-18/6 a SPP 7-18/6 [2]	12
Vazník SPP 12-18/6 a SPP 13-18/6 [1], [2].....	13
3. Zatížení	13
SPP 14-24/6 [2]	13
SPP 9-24/6 [2]	13
SPP 6-18/6 a SPP 7-18/6 [2]	13
SPP 12-18/6 [1]	14
SPP 13-18/6 [1]	15
4. Výroba [1]	15
5. Doprava a skladování [1]	15
6. Montáž [1]	16
7. Předpínání.....	16
SPP 14-24/6 [2]	16
SPP 12-18/6 (SPP 13-18/6) [1].....	16
8. Časté poruchy a jejich příčiny [4]	16
Průvodní zpráva.....	20
1. Popis konstrukce [1].....	20
2. Materiály	20
3. Zatížení konstrukce	21
3.1. Stálé zatížení.....	21
3.2. Proměnné zatížení	21
3.3. Zatížení od předpětí.....	21

4. Kombinace	21
5. Vnitřní síly.....	22
6. Ztráty předpětí.....	23
6.1. Krátkodobé (okamžité) ztráty předpětí	23
6.2. Dlouhodobé (provozní) ztráty	23
6.3. Celkové ztráty	23
7. Mezní stavy	23
7.1. Mezní stav použitelnost.....	23
7.2. Mezní stav únosnosti	23
8. Závěr posouzení	23
9. Návrh zesílení	23
9.1. Cíl návrhu	23
9.2. Návrh předpětí	24
9.3. Kotvení předpětí.....	24
9.4. Protipožární ochrana	24
9.5. Zesílení svislice V3	25
9.6. Zesílení svislice V3	25
9.7. Použitý materiál.....	25
10. Závěr návrhu	25
1. Seznam použité literatury.....	26
2. Seznam použitých norem	26
3. Seznam použitých webu	26
Seznam obrázků	26
Seznam příloh.....	27
1. P1 Podklady.....	27
2. P2 Přehledné a podrobné výkresy.....	27
3. P3 Statický výpočet.....	27

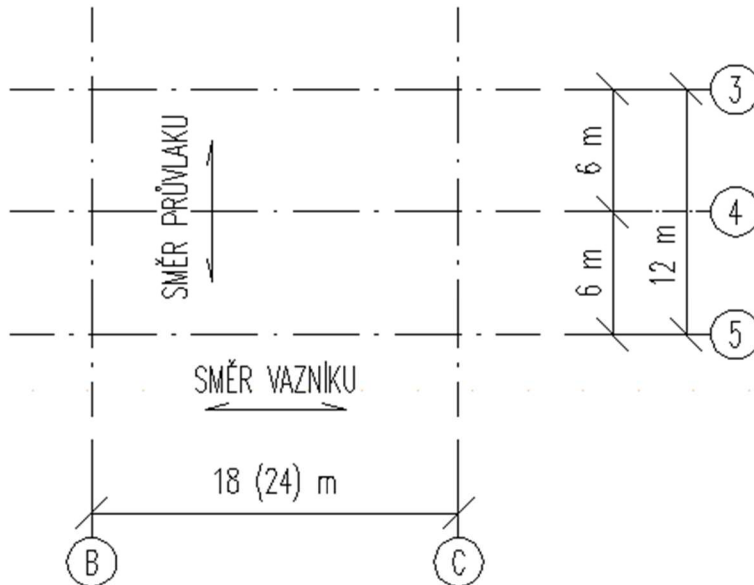
Úvod

Úkolem této bakalářské práce je vypracovat přepoččet předpjatého příhradového vazníku SPP 12-18/6, který je situován v zadaném dispozičním uspořádání. Práce obsahuje i návrh zesílení, pro kterou je vypracována výkresová dokumentace. K tomuto zadání byla vypracována rešerše zabývající se příhradovými předpjatými vazníky. Výpočet účinků zatížení byl proveden pomocí programu Scia Engineering a následně porovnán s ručním výpočtem dle platných předpisů a norem. Podrobný výpočet je obsahem přílohy P3.

Rešerše příhradových předepnutých vazníků

1. Stavební řešení montovaných staveb při použití příhradových předpjatých vazníků

Příhradové předpjaté vazníky se používaly při výstavbě montovaných jednopodlažních hal. Haly byly jedno i více lodní o půdorysných rozměrech jednoho pole 18/12 a 24/12, přičemž první rozměr byla délka vazníku a druhý délka průvlatku.



Obr. 1, Schémata půdorysného uspořádání

Na sloupy byly uloženy příhradové průvlatky RPP 8-12, které podpíraly vazníky, rozmístěné ve vzdálenosti 6 m. Tuhý střešní plášť tvořily žebříkové SZD panely a typizovaná skladba střechy. Úžlabí bylo zhotoveno prefabrikovaných žlabovek nebo monoliticky. Uprostřed rozpětí byla možnost použití šestimetrového světlíku.

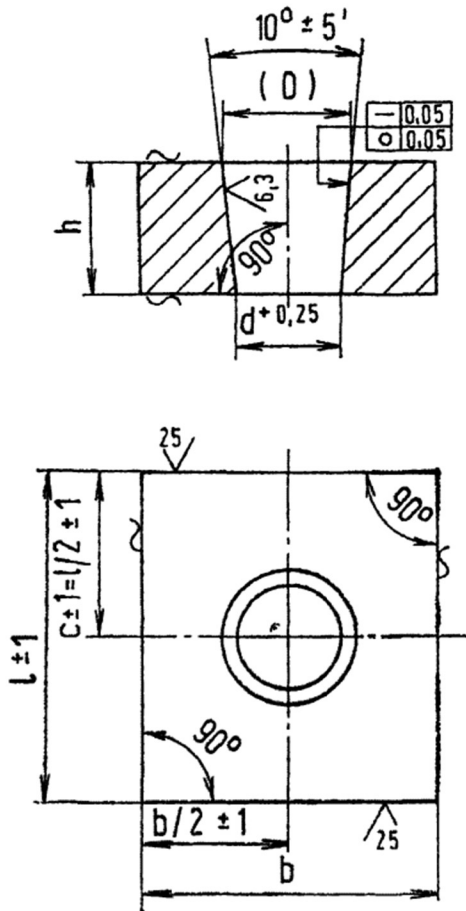
U jednodílných objektů se ukládaly vazníky přímo na sloupy.

2. Časté druhy příhradových vazníků

Základní rozdělení by se dalo uvažovat podle toho, jestli u vazníku byla nebo nebyla uvažována uvažovaná podvěsná doprava.

Základní charakteristický rys, nehledě na rozpětí vazníku, bylo dělení na dílce dlouhé 6 m, které byly při montáži sepnuty předpínací výztuží a poté uloženy do finální polohy.

Dalším společným rysem je umístění druh a umístění kotevních oblastí. Ty byly umístěny na krajních styčnicích dolních a horních pásnic příhrady. Kotva byla tvořena ocelovým plechem tloušťky 40-60 mm a ostatními rozměry závislých na počtu kotvených kabelů [9].



Obr. 2, Kotevní deska jednoduché kotvy [9]

Vazník SPP 14-24/6 [2]

Rozpon vazníku 24,0 m, celková výška 2,7 m, šířka 300 mm, dodatečně spínaný, dělený na čtyři díly. Předpínací výztuž je z hladkého patentovaného drátu $\varnothing P$ 4,5 mm rozdělené do čtyř kabelů. Kabel v horní pásnici tvoří 5x $\varnothing P$ 4,5 mm a zbylé 3 kabely tvoří 24x $\varnothing P$ 4,5 mm. Tyto kabely plní nosnou funkci. Dva kabely vedou z krajního styčnicku horního pásu přes spodní pás do druhého krajního styčnicku horního pásu příhrady. Poslední kabel spíná spodní pás. Vazník byl navržen na podvěsnou dopravu a byl vyroben z betonu zn. V (500, dle [8] C35/40).

Vazník SPP 9-24/6 [2]

Jedná se o rozměrově stejný vazník jako SPP 14-24/6, u kterého se neuvažovalo s podvěsnou dopravou a byl vyroben z betonu zn. IV (400, dle [8] C30/37).

Vazník SPP 6-18/6 a SPP 7-18/6 [2]

Na rozpon 18,0 m, celková výška 2,18 m, šířka 300, dodatečně spínaný, dělený na tři díly. Jde o předchůdce vazníků SPP 12-18/6 (SPP 6-18/6) a SPP 13-18/6 (SPP 7-18/6).

Vazník SPP 12-18/6 a SPP 13-18/6 [1], [2]

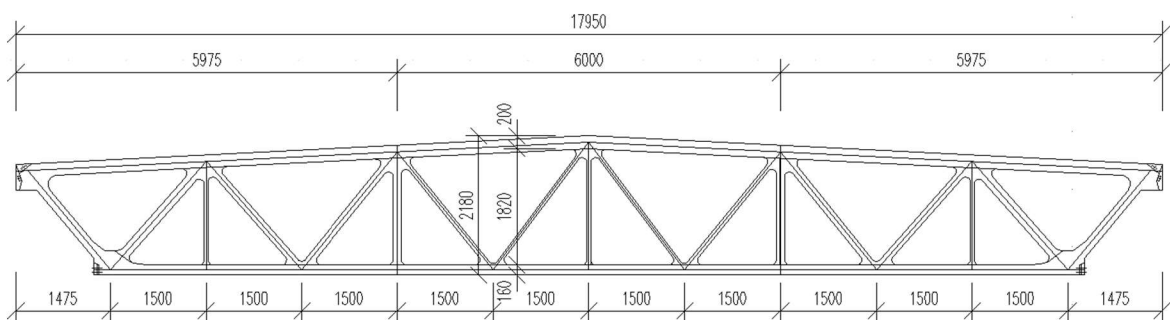
Jedná se pouze o přepracované vazníky SPP 6-18/6 a SPP 7-18/6 na unifikované zatížení. Geometrie vazníků je totožná z důvodu výroby ve stejné formě.

Vazník SPP 12-18/6 je vyroben z betonu zn. V (500) a je zde uvažována podvěsná doprava. Vazník SPP 13-18/6 je vyroben z betonu zn. IV (400) a je uvažován bez podvěsné dopravy.

Jak vazník SPP 12-18/6 tak SPP 13-18/6 jsou děleny na tři dílce, které jsou sepnuty předpínací výztuží z hladkého patentovaného drátu $\varnothing P$ 4,5 mm. Jednotlivé dílce jsou vyztuženy hlavní tahovou výztuží z oceli 10 400 B a konstrukční výztuží 10 210B.

Předpínací výztuž je rozdělena do pěti kabelů. První kabel ze 7x $\varnothing P$ 4,5 mm je vedený horním pásem příhrady. Dva kabely ze 13x $\varnothing P$ 4,5 mm jsou ukotveny v krajním horním styčnicku a ve krajním spodním styčnicku na opačné straně. Zbývající dva kabely vedou zrcadlově.

Použití těchto vazníků se předpokládalo pouze na přechodnou dobu. Poté je nahradily předem předpjaté vazníky SPP 10-18/6 a SPP 11-18/6.



Obr. 3. Základní geometrie SPP 12-18/6

3. Zatížení

SPP 14-24/6 [2]

Vazník navržený na kombinaci zatížení střešním pláštěm s podvěsným břemenem tíhy 10 kN, který působí osaměle v kterémkoliv styčnicku dolního pásu. Tíha střešního pláště nesmí překročit hodnotu 3,50 kN/m² při rozteči vazníků 6,0 m.

SPP 9-24/6 [2]

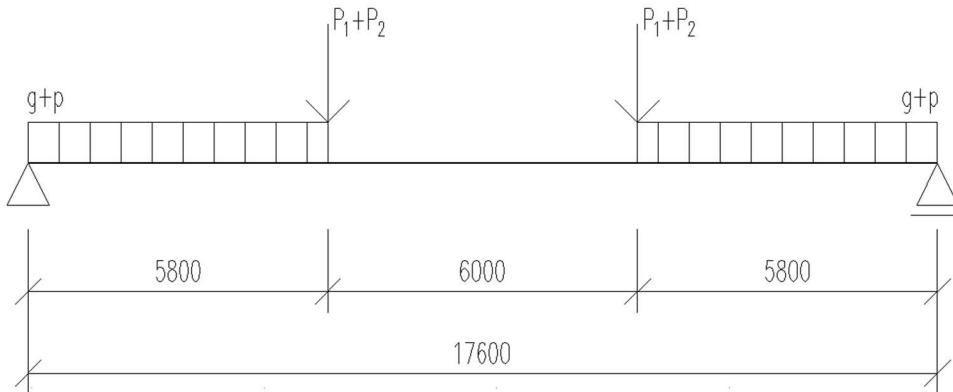
Tíha střešního pláště včetně sněhu nesmí překročit 2,85 kN/m².

SPP 6-18/6 a SPP 7-18/6 [2]

Lze zatížit rovnoměrným zatížením 17,6 kN/m a břemenem tíhy 10 kN, který působí osaměle v kterémkoliv styčnicku dolního pásu.

SPP 12-18/6 [1]

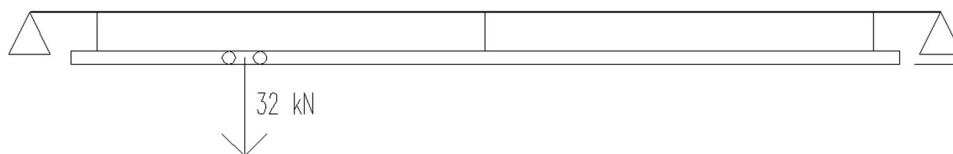
Zatížení se uvažovalo 15 kN/m střešním pláštěm a 6 kN/m sněhem. Reakce od světlíku se uvažovala 13,3 kN od vlastní tíhy světlíku a 18 kN/m od tíhy sněhu na světlíku.



Obr. 4, Zatížení střešním pláštěm a sněhem

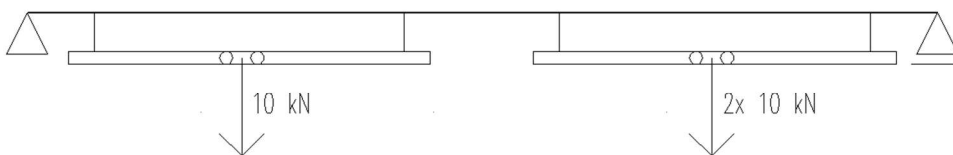
Dále se uvažovala podvěsná doprava

a) Jeřáb 32 kN



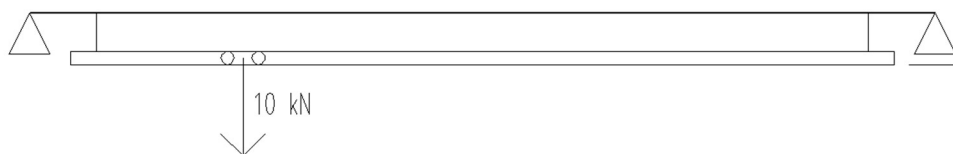
Obr. 5, Jeřáb 32 kN

b) 3 jeřáby 10 kN



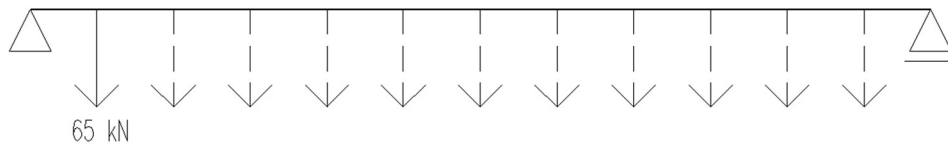
Obr. 6, 3 jeřáby 10 kN

c) Stohovací jeřáb 10 kN



Obr. 7, Stohovací jeřáb 10 kN

d) Osamělé břemeno 65 kN v kterékoliv jediném styčnicku spodního pásu

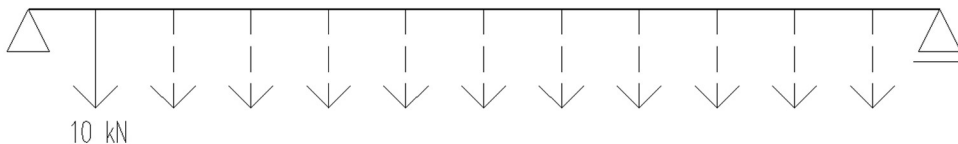


Obr. 8, osamělé břemeno 65 kN

SPP 13-18/6 [1]

Zatížení se uvažovalo 15 kN/m střešním pláštěm a 6 kN/m sněhem.

Dále se uvažovalo osamělé břemeno 10 kN v kterémkoliv jediném styčnicku spodního pásu.



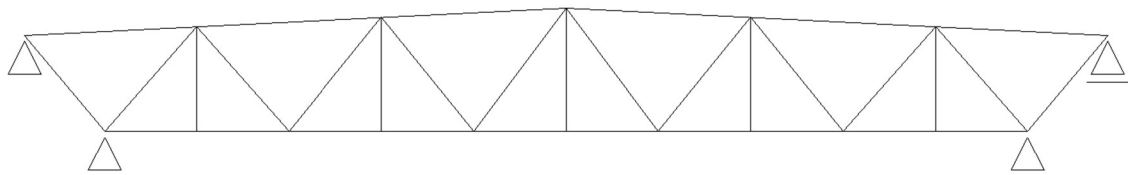
Obr. 9, Osamělé břemeno 10 kN

4. Výroba [1]

Při výrobě prefabrikovaných dílců nosníku SPP 12-18/6 a SPP 13-18/6 byla použita stejná technologie postupy jako u dílců SPP 6-18/6 a SPP 7-18/6. Zachování geometrie byla jedna z podmínek při jejich vývoji. Dílce byly pouze přepracovány pro zvýšení únosnosti. Na bocích dílců se nachází ocelová oka, která slouží pro vyjmutí z formy

5. Doprava a skladování [1]

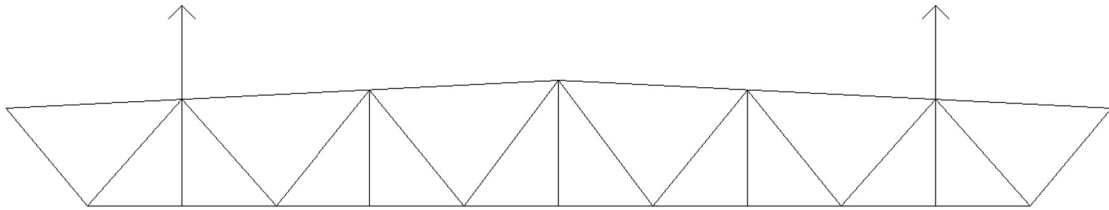
Doprava a skladování je možná pouze ve svislé poloze. Je nutno brát zřetel na nízkou příčnou tuhost dílců. Při přepravě na stavenišťe se špatnými terénními podmínkami je doručeno spínat několik dílců vedle sebe a tím zvýšit jejich příčnou tuhost. Na skládce je možno vazníky podepřít buď v místech teoretického podepření nebo v krajních styčnicích spodního pásu, je ale nutno vazník zajistit proti překlopení.



Obr. 10, Schéma možného podepření

6. Montáž [1]

Při montáži je uvažováno zavěšení vazníků pomocí objímek ve styčnicích horního pásu.



Obr. 11, Umístění upínacích objímek

7. Předpínání

SPP 14-24/6 [2]

Dílce se sestaví na napínací dráze a zabezpečí se proti vybočení a překlopení. Do montážního kabelu, vedený horním pásem, se vnese síla 15 kN a ukotví se. Dále se napíná z jedné strany přímí kabel silou 458 kN a přidrží se cca 2 minuty. Poté se síla sníží na 0 kN nebo maximálně na 2/3 napínací síly. Pak se kabel předepne již nižší silou a to 428 kN, při niž se kabel ukotví. Stejným postupem se poté napnou zbývající krajní lana.

SPP 12-18/6 (SPP 13-18/6) [1]

Hodnoty uvedené v závorce se vztahují k vazníku SPP 13-18/6. Dílce se sestaví na napínací dráze a zabezpečí se proti vybočení a překlopení. Do montážního kabelu, vedený horním pásem, se vnese síla 15 kN a ukotví se. Kabel je možno napínat pouze z jedné strany a jednou pistolí. Dále se do krajních kabelů vnáší síla 248 (23) kN, která se přidrží na cca 2 minuty. Poté se síla sníží na nulu nebo maximálně na 2/3 napínací síly. Pak se kabel předepne na sílu 231,5 kN při které se zakotví. Ostatní kabely se napínají stejným postupem. Tyto kabely je nutno napínat z obou konců současně dvěma pistolemi.

8. Časté poruchy a jejich příčiny [4]

Hlavní nosnou složkou předpjatých příhradových vazníků je právě předpínací výztuž, ačkoliv tvoří přibližně 2% hmotnosti celého vazníku. Není tedy překvapením, že většina poruch souvisí právě s předpínací výztuží.

Předpjaté konstrukce, na rozdíl od nepředepnutých železobetonových konstrukcí, nedávají varovné signály jako jsou např. nadměrné průhyby. Ztráta únosnosti přichází náhle, a proto je nutné dbát na pečlivou kontrolu těchto konstrukcí a sledovat sekundární projevy degradace předpínací výztuže nebo jejich příčin.

Častá porucha je koroze předpínací výztuže. Nejčastější příčinou je kombinace špatně provedené nebo žádné injektáže kabelových kanálků a špatné řešení technických detailů, které zapříčiňují průtok nebo kondenzaci vody na konstrukci vazníku. Dalším aspektem je také umístění kotevních oblastí v horním pásmu, která se

nachází přímo v úžlabí, které vazníky sedlovým tvarem vytvářejí. Nesprávné provedení nebo nedostatečná údržba těchto míst může být příčina následných poruch. Nepříznivé je i to, že ke kotevní oblasti v horním pásu není žádný přístup k vizuální kontrole, protože je tento prostor uzavřen prefabrikovanou žlabovkou. To mimo jiné brání i cirkulaci vzduchu, a tedy i držení vlhkosti v této oblasti.



Obr. 12, Vlhkostní mapy v místě uložení [4]

Další možnou příčinou poruch je časté přetížení těchto konstrukcí neuváženým návrhem skladby střechy, či špatně řešeného zatížení TZB a jinou instalací. Ta se nesmí kotvit přímo do konstrukce příhradového vazníku, ale pomocí objímek ve styčnicích dle uvažovaného zatížení vazníku.



Obr. 13, Nesprávné kotvení instalací [3]

Dále je nutno podotknout, že se jedná o konstrukce, které byly navrhovány se životností 50 let. To neznamená, že by konstrukce po 50 letech ztratily únosnost, ale je nutné provést kompletní průzkum stavu konstrukce a její statický přepočet. Z těchto informací vyplývá, že většina příhradových předpjatých konstrukcí je za svou plánovanou životností i 10 let.

Stavebně-technický průzkum těchto konstrukcí spočívá převážně ve vizuálních metodách a endoskopického průzkumu. Odebírání vzorku betonu na zkoušky není příliš vhodné, protože prvky příhrady jsou subtilní a hrozí navrtání přepínací výztuže.



Obr. 14, Prohlídka kotevní oblasti [4]



Obr. 15, Místo styku dílců

Vizuální kontrola se zaměřuje převážně na známky pronikání vlhkosti do konstrukce. Další důležitých místem, na kterém se můžou projevat poruchy je styk jednotlivých dílců. Vizuální kontrolou je možno odhalit například vznik vlhkostních map nebo rezavých stop, které můžou signalizovat korozi výztuže. Dále lze sledovat odlupování ochranné malty v kotevní oblasti nebo trhliny v místě styku dílců.

Endoskopickým průzkumem se zjišťuje proinjektovanost kanálku, která často je nedostatečná z důvodu nedokonalých technologií injektáže nebo nedokonalé injektážní hmoty. Další velice důležitým výstupem tohoto průzkumu je zjištění stavu

korozí

předpínací

	Bez korozí.
	Mírná povrchová korozí, lokálně s projevy rozvoje korozí ve štěrbinách mezi patentovými dráty. Korozí oslabeno až 0,19 % průřezové plochy.
	Středně rozvinutá korozí plošného charakteru. Korozí oslabeno až 1,26 % průřezové plochy.
	Intenzivnější korozí s přechodem k důlkové formě. Korozí oslabeno až 2,72 % průřezové plochy.
	Intenzivní korozí s tvorbou odlupujících se šupin. Korozí oslabeno až 8,38 % průřezové plochy.
	Výrazné oslabení s přerušením patentovaných drátů. Korozí oslabeno až 21,34 % průřezové plochy.

Obr. 16, Přehled korozního napadení předpínací výztuže z patentového drátu [4]

Průvodní zpráva

1. Popis konstrukce [1]

Ze statického hlediska se jedná o prostý nosník. Příhradový vazník se skládá ze tří dílců a je předepnutý kabely umístěnými v horním a dolním pásu. Rozpětí vazníku činní 18 m.

Prvky spodního pásu a krajních diagonál mají obdélníkový průřez o rozměrech 0,3x0,16 m. Spodním pásem prochází 4 kabely předpínací výztuže. Každý kabel se skládá ze 13 hladkých patentových drátů.

Prvky horního pásu mají obdélníkový průřez o rozměrech 0,3x0,2 m. Horním pásem je veden 1 kabel předpínací výztuže, který je uvažován jako montážní a skládá se ze 7 hladkých patentových drátů.

Diagonály příhrady mají obdélníkový průřez o šířce 0,16m a výšky 0,16, 0,12 a 0,08 m

Svislice příhrady mají obdélníkový průřez o rozměrech 0,16x0,06 m

Vazník je rozdělený na tři dílce a to po 6 metrech. Každý dílec je v místě styku opatřený svislicemi.

2. Materiály

Vazník byl navržen z betonu 500 [1], dle [8] lze přirovnat k vlastnostem C35/45. Jako betonářská výztuž byla použita 10 400 B a jako přepínací výztuž byl použit hladký patentový drát.

Beton 500 C35/45

$\gamma_c = 1,5$	Součinitel spolehlivosti
$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$	Charakteristická válcová pevnost v tlaku
$f_{cd} = 23,3 \text{ MPa}$	Návrhová pevnost v tlaku
$f_{ctm} = 3,2 \text{ MPa}$	Střední hodnota pevnosti betonu v tahu
$f_{ctk,0,05} = 2,2 \text{ MPa}$	5% kvantil pevnosti v tahu
$f_{ctd} = 1,47 \text{ MPa}$	Návrhová pevnost v tahu
$E_{cm} = 34 \text{ GPa}$	Modul pružnosti betonu
$\epsilon_{cu2} = 3,5 \text{ ‰}$	Mezní poměrné přetvoření betonu
$\epsilon_{c2} = 2,0 \text{ ‰}$	Mezní přetvoření na mezi únosnosti

Betonářská výztuž 10 400 B

$f_{yk} = 400 \text{ MPa}$	Charakteristická pevnost
$f_{yd} = 330 \text{ MPa}$	Návrhová pevnost
$E_s = 200 \text{ GPa}$	Modul pružnosti
$\epsilon_s = 1,65 \text{ ‰}$	Mezní poměrné přetvoření

Předpínací výztuž hladký patentový drát

$f_{yk} = 1650 \text{ MPa}$	Charakteristická pevnost
$f_{yd} = 1120 \text{ MPa}$	Návrhová pevnost
$E_s = 190 \text{ GPa}$	Modul pružnosti

3. Zatížení konstrukce

3.1. Stálé zatížení

Jako stálé zatížení je uvažována vlastní tíha konstrukce, stávajícího střešního pláště, nové skladby střešního pláště a vlastní tíha podélného světlíku.

Tíha střešního pláště je uvažována jako spojité zatížení na půdorysné délce 3 metry od každého kraje.

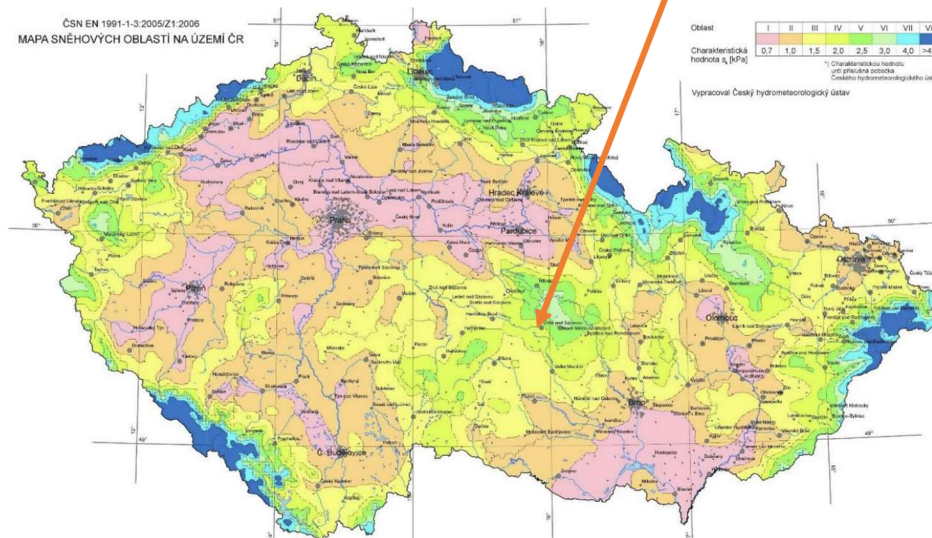
Tíha podélného světlíku je uvažována jako osamělá síla v místě uložení.

3.2. Proměnné zatížení

Proměnné zatížení je uvažováno od tíhy sněhu a od podvěsné dopravy.

Vazník je umístěn ve sněhové oblasti IV [7]. Charakteristické zatížení sněhem na zemi $s_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$

Sněhová oblast	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Charakter. zat. sněhem na zemi s_k [kN/m ²]	0,7	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	> 4,0



Obr. 17, Mapa sněhových oblastí [7]

Pro podvěsnou dopravu jsou uvažovány součinitele pro kategorii E – Skladovací plochy.

3.3. Zatížení od předpětí

Předpětí je uvažováno jako ekvivalentní zatížení.

4. Kombinace

Pro stanovení největšího zatížení vazníku od jednotlivých zatěžovacích stavů jsou použity kombinační rovnice 6.10a a 6.10b dle [5].

Rovnice 6.10a

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

Rovnice 6.10b

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

Pro výpočet mezního stavu použitelnosti byly spočteny i kombinace charakteristická (6.14b), častá kombinace (6.15b) a kvazistálá kombinace (6.16b)

Charakteristická kombinace

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

Častá kombinace

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \psi_{1,i} * Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} * Q_{k,i}$$

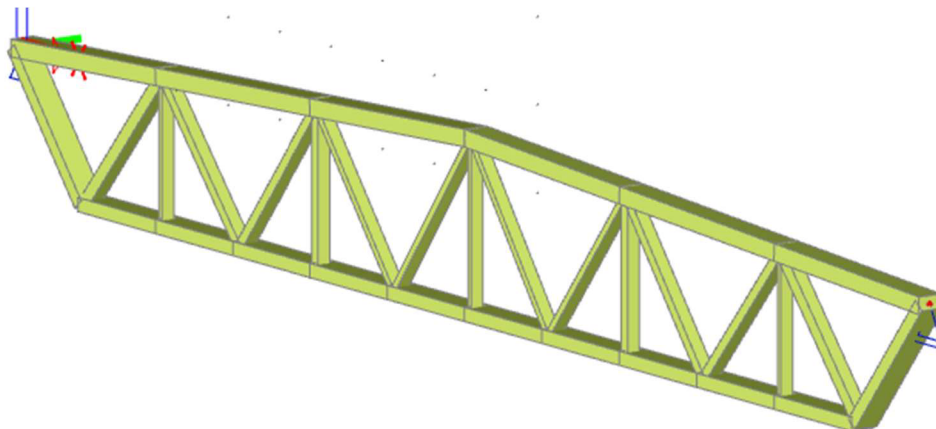
Kvazistálá kombinace

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} * Q_{k,i}$$

5. Vnitřní síly

K výpočtu vnitřních sil byl použit ruční výpočet styčnickovou metodou, program Scia Engineering a typové podklady [1].

Vazník byl vymodelován v programu Scia Engineering jako konstrukce Příhrada XZ a Rám XZ.



Obr. 18, Axonometrický pohled na model ve Scia Engineering

Výsledné vnitřní síly byly mezi sebou porovnány a bylo zjištěno, že ruční výpočet se shoduje s výstupem programu Scia Engineering Příhrada XZ. Konstrukce Rám XZ se zahrnutím momentů a posouvajících sil se dle očekávání lišil. Srovnání konstrukce Rám XZ a typových podkladů [1] ukázalo, že se vnitřní síly téměř shodují až na místo styku dílců, kde prvky spodního a horního pásu se rozcházejí o 15 %.

Dále jsou ve výpočtu uvažovány vnitřní síly z konstrukce Rám XZ.

6. Ztráty předpětí

6.1. Krátkodobé (okamžité) ztráty předpětí

V krátkodobých ztrátách jsou uvažovány ztráty třením, pokluzem, postupným napínáním a relaxací.

Krátkodobé ztráty činní 5,6 %.

6.2. Dlouhodobé (provozní) ztráty

V dlouhodobých ztrátách je uvažováno smršťování, dotvarování, relaxace a přetížení konstrukce.

Dlouhodobé ztráty činní 26,3 %.

6.3. Celkové ztráty

Celkové ztráty činní 31,9 %.

7. Mezní stavy

Při výpočtu byl ověřen mezní stav použitelnosti a mezní stav únosnosti.

7.1. Mezní stav použitelnost

Byly ověřeny podmínky pro omezení napětí pro přepínací výztuž, omezení napětí betonu v čase t_0 , v čase t_{∞} pro charakteristickou kombinaci a v čase t_{∞} pro kvazistálou kombinaci.

7.2. Mezní stav únosnosti

Únosnost každého prvku příhrady byla posouzena pomocí interakčních diagramů. Dále byl posouzen styk dílců, kde tahová napětí přebírá předpínací výztuž a tlaková napětí přenáší beton.

8. Závěr posouzení

Nosník SPP 12-18/6 vyhovuje v mezním stavu únosnosti a v mezním stavu použitelnosti, ale z důvodu dosažených hodnot blízkým únosnosti prutů V3, D1 a D12 je doporučeno provést následující řešení.

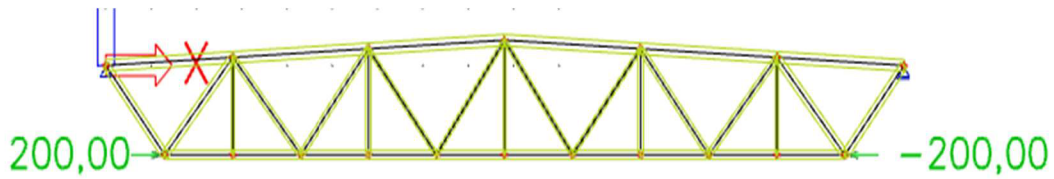
9. Návrh zesílení

9.1. Cíl návrhu

Návrh zesílení je zaměřen na odstranění tahů v MSÚ v dolním pásu příhrady. Dalším cílem návrhu je zesílení svislice V3 a diagonály D1 a D12 proti tahovým napětím způsobených podvěsnou dopravou.

9.2. Návrh předpětí

Dolní pás bude předepnut dvěma kabely Monostrand na sílu $P_{\max} = 200$ kN. Celkovou ztrátu jsou uvažovány 15 % $\rightarrow P_{m\infty} = 170$ kN.



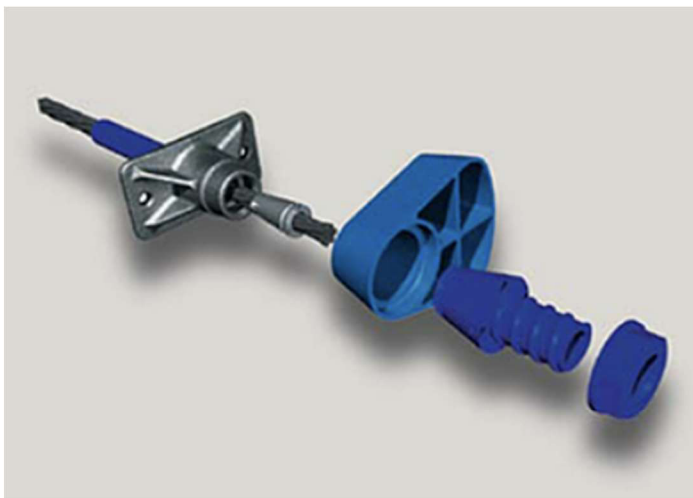
Obr. 19, Předpětí dolního pásu



Obr. 20, Monostrand [11]

9.3. Kotvení předpětí

Na všechny kabely bude použita jednolanová kotva řady F A1 F15.



Obr. 21, Jednolanová kotva A1 F13/F15 [10]

Kotva kabelu spodního pásu bude osazena ve dvou profilech U 180 v místě krajních styčnicků.

9.4. Protipožární ochrana

Kotvy a kabely budou po napnutí obetonovány vrstvou betonu vyztuženou podélnou výztuží 4Ø10 mm a třmínky Ø8 mm.

9.5. Zesílení svislíce V3

Prut V3 bude zesílen pomocí obetonávky s vloženou podélnou výztuží 4Ø10 mm a třmínky Ø8 mm.

9.6. Zesílení svislíce V3

Prut D1 a D12 bude zesílen pomocí obetonávky s vloženou podélnou výztuží 4Ø14 mm a třmínky Ø8 mm.

9.7. Použitý materiál

Beton C35/45

$$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$$

$$f_{ck} = 23,3 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 3,2 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 34 \text{ GPa}$$

$$\varepsilon_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$$

Ocel B500

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = 434,8 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$\varepsilon_s = 2 \text{ ‰}$$

Předpínací výztuž Monostrand

$$f_{pk} = 1860 \text{ MPa}$$

$$f_{p0,1k} = 1640 \text{ MPa}$$

$$f_{pd} = 1426,1 \text{ MPa}$$

$$E_p = 190 \text{ GPa}$$

$$\varnothing_p = 15,7 \text{ mm}$$

$$A_{p,1} = 150 \text{ mm}^2$$

10. Závěr návrhu

Předeprnutí konstrukce odstranilo tahové napětí ve spodním páse. Zvýšené tlakové napětí vyhovuje interakčním diagramům původního profilu

Pro svislici V3 byl vytvořen interakční diagram. Prut V3 na výsledné zatížení vyhovuje.

Pro diagonály D1 a D12 byl vytvořen interakční diagram. Pruty D1 a D12 na výsledné zatížení vyhovují.

1. Seznam použité literatury

- [1] Střešní předpjatý vazník příhradový dělený SPP 12-18/6 a SPP 13-18/6 – typový podklad
- [2] RADA, HEJL, Stavebnictví 01-02/21- Dodatečně předpjaté konstrukce střešních vazníků [online], INFORMAČNÍ CENTRUM ČKAIT s.r.o. Dostupné z: [01-02/2021 - Časopis Stavebnictví \(casopisstavebnictvi.cz\)](#)
- [3] RADA, Stavebnictví 03/21- Dodatečně předpjaté konstrukce střešních vazníků, 2.díl [online], INFORMAČNÍ CENTRUM ČKAIT s.r.o. Dostupné z: [3/2021 - Časopis Stavebnictví \(casopisstavebnictvi.cz\)](#)
- [4] MINARČÍK, Stavebnictví 04/21- Dodatečně předpjaté konstrukce střešních vazníků, 3.díl [online], INFORMAČNÍ CENTRUM ČKAIT s.r.o. Dostupné z: [3/2021 - Časopis Stavebnictví \(casopisstavebnictvi.cz\)](#)

2. Seznam použitých norem

- [5] ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí
- [6] ČSN EN 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [7] ČSN EN 1992-1-3 Zatížení konstrukcí – část 1-3: Zatížení sněhem
- [8] ČSN ISO 13822 Hodnocení existujících konstrukcí
- [9] ČSN 74 2870 Ocelové kotvy pro kotvení kabelů konstrukcí z dodatečně předpjatého betonu

3. Seznam použitých webu

- [10] http://www.freyssinet.cz/166-kotveni_-_rada_f
- [11] https://www.sanax.cz/static/files/product/TL/TL_MonoStrand.pdf?_gl=1*1qra3pa*_ga*NzAzMDQ4NjMyLjE2NTMyMDk1NjM.*_up*MQ..

Seznam obrázků

Obr. 1, Schémata půdorysného uspořádání.....	11
Obr. 2, Kotevní deska jednoduché kotvy [9]	12
Obr. 3, Základní geometrie SPP 12-18/6.....	13
Obr. 4, Zatížení střešním pláštěm a sněhem	14
Obr. 5, Jeřáb 32 kN	14
Obr. 6, 3 jeřáby 10 kN.....	14
Obr. 7, Stohovací jeřáb 10 kN.....	14
Obr. 8, osamělé břemeno 65 kN	15

Obr. 9, Osamělé břemeno 10 kN	15
Obr. 10, Schéma možného podepření.....	15
Obr. 11, Umístění upínacích objímek.....	16
Obr. 12, Vlhkostní mapy v místě uložení [4].....	17
Obr. 13, Nesprávné kotvení instalací [3].....	17
Obr. 14, Prohlídka kotevní oblasti [4]	18
Obr. 15, Místo styku dílců	18
Obr. 16, Přehled korozního napadení předpínací výztuže z patentového drátu [4]	19
Obr. 17, Mapa sněhových oblastí [7]	21
Obr. 18, Axonometrický pohled na model ve Scia Engineering.....	22
Obr. 19, Předpětí dolního pásu	24
Obr. 20, Monostrand [11]	24
Obr. 21, Jednolanová kotva A1 F13/F15 [10]	24

Seznam příloh

1. P1 Podklady

Střešní předpjatý vazník příhradový dělený SPP 12-18/6 a SPP 13-18/6 – typový podklad

D.1.1.3. Hala – půdorys 1. NP

D.1.1.8. Řezy - hala

Tvar SPP 12-18/6

Výztuž – krajní díl SPP 12-18/6

Výztuž – střední díl SPP 12-18/6

2. P2 Přehledné a podrobné výkresy

P2-01 Půdorys haly	1:200
P2-02 Řez A-A'	1:100
P2-03 Výkres tvaru a předpínací výztuže	1:25, 1:10
P2-04 Výkres výztuže obetonávky	1:25, 1:10

3. P3 Statický výpočet

P3-01 Statický výpočet