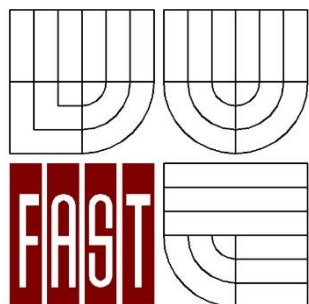




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

ZESÍLENÍ STŘEŠNÍCH VAZNÍKŮ

STRENGTHENING OF ROOF GINDERS IN PRODUCTION HALL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

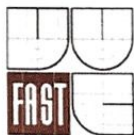
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

KAREL WAWRECZKA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. LADISLAV KLUSÁČEK, CSc.

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

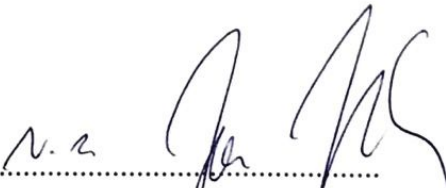
Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav betonových a zděných konstrukcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Karel Wawreczka
Název	Zesílení střešních vazníků ve výrobní hale
Vedoucí bakalářské práce	doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2015
Datum odevzdání bakalářské práce	27. 5. 2016

V Brně dne 30. 11. 2015


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


.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT



Podklady a literatura

ČSN EN 1992

- výsledky zjednodušeného průzkumu konstrukce
- časopis Beton TKS
- skriptum Bažant, Z., Klusáček, L.: Statika při rekonstrukcích

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

- ověření ULS a SLS jednoho vazníku průmyslové haly, v případě že nevyhoví navrhnout a prokázat způsob zesílení,
- výpočet pomocí software zkontrolovat zjednodušeně,
- vypracovat výkresy tvaru, výztuže

Požadované výstupy:

A) Textová část

A1) Technická zpráva

A2) Průvodní zpráva statickým výpočtem

B) Netextová část (resp. Přílohy textové části)

B1) Použité podklady,

B2) Statický výpočet,

B3) Přehledná grafická dokumentace získaných výsledků

B4) Výkresová dokumentace řešené konstrukce v rozsahu dle vedoucího práce

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Předmětem mé bakalářské práce je návrh zesílení střešní konstrukce průmyslové haly. Vazníky byly navrženy před 18-ti lety podle tehdy platné ČSN. V mé práci jsou vazníky přepočítány dle současných platných evropských norem. Je navrženo zesílení předpjatými lany vedenými podél vazníku. Z důvodu nedostatku místa v okolí čel vazníků bylo navrženo předpínání z prostředku vazníku. Pro návrh geometrie kabelů a předpínací síly byly rozhodující smyková únosnost a omezení tlakového napětí v betonu. Výpočet účinků zatížení je proveden počítačovým softwarem Scia Engineer 2015. Pro ostatní výpočty byl použit tabulkový editor excel.

Klíčová slova

zesílení střešních vazníků, předpjatý nosník, předpjatý beton, dodatečně předpjatý beton, rekonstrukce, plochá střešní konstrukce, střešní konstrukce výrobní haly, galvanický provoz

Abstract

The aim of my bachelor's thesis is strengthening of girder roof construction in a production hall. The roof girders were designed 18 years ago in accordance with the Czech standards valid at that time. All the girders are now recalculated according to valid European norms. It is suggested to use prestressed cables guided along the girder construction. Because of the lack of space around the front of girders, it is designed to use prestressing from in the middle. In order to design the cable geometry and the biasing force, it was crucial to take into account shear resistance as well as constraining compressive stress in the concrete. Calculation of the effects of load is carried out by Scia Engineer 2015 computer software whereas Excel has been used for all the other calculations.

Keywords

strengthening of roof grinders, prestressed beam, prestressed concrete, post-tensioned concrete, reconstruction, flat roof, roof of production hall, electroplating operation

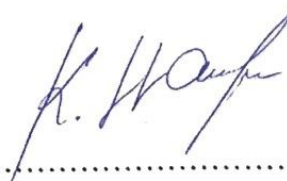
Bibliografická citace VŠKP

Karel Wawreczka *Zesílení střešních vazníků ve výrobní hale*. Brno, 2016. 34 s., 89 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 27.5.2016

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'K. Wawreczka', is written over a horizontal dotted line.

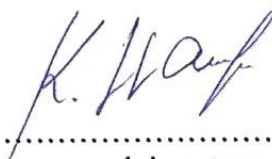
podpis autora
Karel Wawreczka

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

Prohlášení:

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 27.5.2016

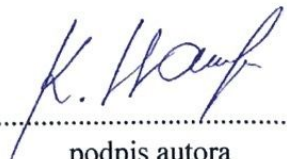


.....
podpis autora
Karel Wawreczka

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat doc. Ing. Klusáčkovi, Csc. za odborné vedení a rady při zpracovávání této bakalářské práce. Zejména pak za jeho inspirativní přístup k řešení jednotlivých problémů. Dále bych rád poděkoval mým rodičům za podporu během mého studia na vysoké škole.

V Brně dne 27.5.2016



.....
podpis autora
Karel Wawreczka

OBSAH:

Úvod.....	11
A1) Technická zpráva.....	12
A1.1) Identifikace stavebního objektu	12
A1.1.1) Popis výrobní haly.....	12
A1.1.2) Popis nosné konstrukce haly.....	12
A1.1.3) Popis střešních vazníků	13
A1.1.4) Dodatečný diagnostický průzkum.....	14
A1.2) Stávající stav konstrukce vyplývající ze statického výpočtu	14
A1.2.1) ULS – Ohybová únosnost	14
A1.2.2) ULS – Smyková únosnost.....	14
A1.2.3) SLS – Šířka trhlin	15
A1.2.4) SLS – Omezení tlakového napětí v betonu	15
A1.2.5) SLS – Omezení napětí v betonářské výztuži.....	15
A1.2.6) SLS – Deformace vazníku	15
A1.3) Limitující prvky vyplývající ze statického výpočtu.....	16
A1.4) Návrh zesílení stávající konstrukce	17
A1.4.1) Návrh zesílení pomocí předpjatých lan	17
A1.4.2) Návrh ukotvení předpínací výztuže do vazníku	17
A1.4.3) Technologie provádění pasivního kotvení	18
A1.4.4) Ověření smykové únosnosti	20
A1.4.5) Ověření omezení tlakových napětí v betonu	20
A1.4.5) Jiné možné varianty řešení	21
A1.4.6) Ověření požární odolnosti konstrukce	21
A2) Průvodní zpráva statickým výpočtem	22
Původní stav	22
A2.1) Vazník – základní informace	22
A2.2) Zatížení.....	22
A2.3) Kombinace zatížení	22
A2.4) Vnitřní síly vazníku.....	23
A2.5) Posouzení ULS	23
A2.6) Posouzení SLS	24
Nový stav	25
A2.7,8) Materiálové charakteristiky, Geometrie předpjatých lan	25
A2.9) Rozhodující hodnoty pro návrh	25
A2.10) Návrh předpínací síly	25
A2.11) Ztráty předpětí	25

A2.12) Výsledná předpínací síla	26
A2.13) Ekvivalentní účinky zatížení	26
A2.14) Ověření smykové únosnosti	26
A2.15) Ověření omezení napětí v betonu	27
Závěr	28
Seznam použitých zdrojů	29
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	30
Seznam použitých obrázků a tabulek	33
Seznam příloh	34

Úvod

Následující bakalářská práce se zabývá přepočtem a následným návrhem zesílení stávajících střešních vazníků v průmyslové hale ve městě Lanškroun. Požadavek na přepočet vzešel z obav investora o únosnost střešních vazníků poté, co na něm byly pozorovány trhliny. Investor a provozovatel haly je společnost SCHOTT CR, s.r.o.

Práce je rozdělena do dvou sekcí. Stávající stav konstrukce a nový stav konstrukce. Stávající stav konstrukce je staticky řešen v příloze B2) části B2.1). V části B2.2) je pak navrženo zesílení. V rámci technického řešení bylo zvoleno dodatečné předpětí ocelovými lany vedenými podél vazníku. Technologie provádění kotvení, montáže a napínání je popsána v následujícím textu, v technické zprávě. K práci jsou pak jako příloha B4) přiloženy výkresy. Přiložené výkresy obsahují výkres betonářské výztuže, předpínací výztuže a výkres ocelových prvků, které byly použity pro vymezení dráhy kabelů a jejich ukotvení.

A)Textová část

A1) Technická zpráva

A1.1) Identifikace stavebního objektu

A1.1.1) Popis výrobní haly

Posuzovaná výrobní hala se nachází ve městě Lanškroun. Jedná se o jednopodlažní, dvoulodní objekt. V hale sídlí společnost SCHOTT CR, s.r.o. Nachází se zde také několik výrobních oddělení s galvanickým provozem. V takovémto provozu jsou do prostředí uvolňovány chemické látky, které mohou nepříznivě působit na betonářskou výztuž ve všech betonových prvcích konstrukce haly.

A1.1.2) Popis nosné konstrukce haly

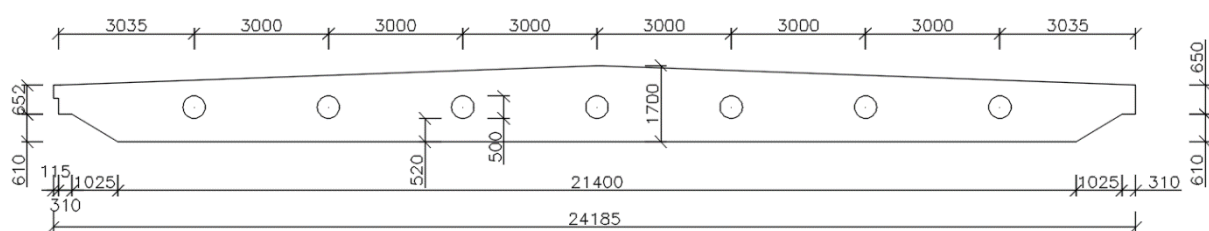
Vazníky jsou kloubově uloženy na betonových sloupech o rozměru 400x400 mm. V příčném směru jsou vždy dva vazníky vedle sebe o rozměrech 24 m. V podélném směru jsou na ně uloženy vaznice. Vaznice jsou umístěny cca po 3 m. V místech, kde se vazníky sbíhají, jsou vedle sebe dvě vaznice. Spojení vaznic a vazníku bylo provedeno jedním trnem o průměru 18 mm a délky 500 mm. Střešní krytina je tepelně-izolační sendvičový panel ve sklonu 2,1°. V podélném směru jsou od sebe vazníky vzdálené 12 m. Celkové rozměry haly jsou cca 127x48 m.



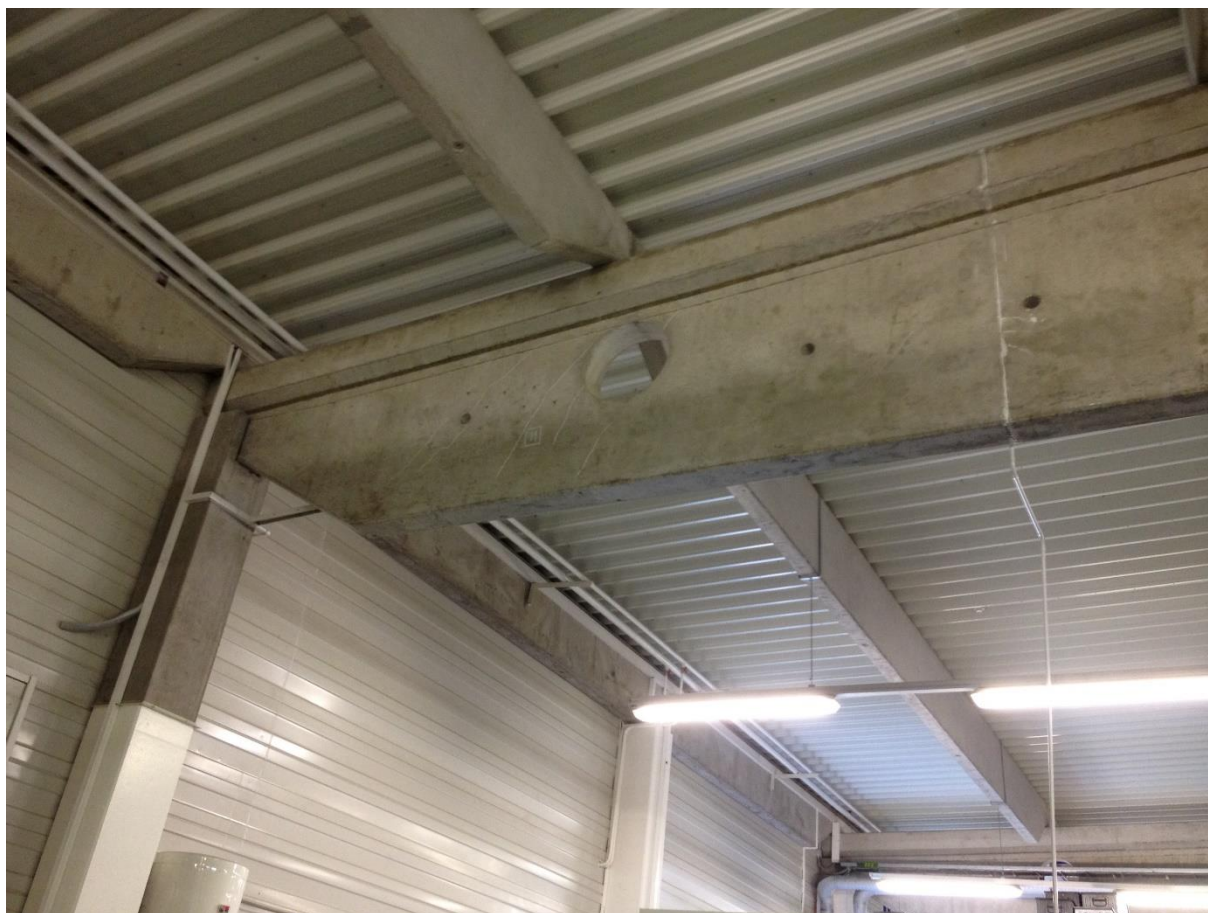
Obr. 1-1-1 Schéma rozmístění vazníku a vaznic ve výrobní hale.

A1.1.3) Popis střešních vazníků

Jedná se o prefabrikované, železobetonové vazníky o délce 24 m. V průřezu vazníku je stojina šířky 180 mm a vrchní pásnice šířky 380 mm, výšky 250 mm. Mezi pásnicí a stojinou je 50 mm náběh. Výška je proměnná od 650 mm na koncích vazníku až po 1700 mm ve středu. Na jednom konci vazníku pokračuje pásnice bez stojiny za okraj uložení o 115 mm. Pásnice je ve sklonu 2,1°. V místě uložení vaznic je vazník ve výšce 520 mm vylehčen otvory o průměru 500 mm. Vazníky jsou kloubově uloženy na sloupech o rozměrech 400x400 mm. Z důvodu optického snížení deformací vazníku výroba probíhala ve formách s nadvýšním 100 mm.



Obr. 1-1-2 Schéma základních rozměrů vazníku.



Obr. 1-1-3 Fotografie zkoumaného vazníku.

A1.1.4) Dodatečný diagnostický průzkum

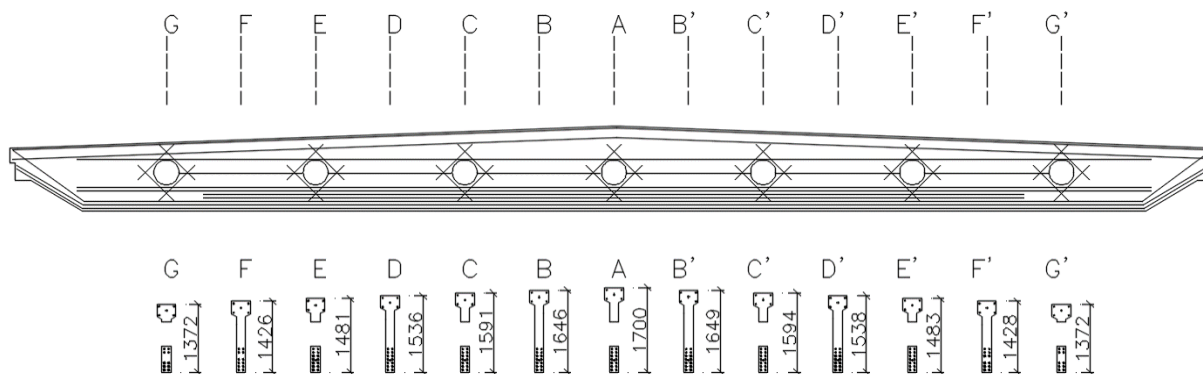
Byl proveden diagnostický průzkum, v jehož průběhu byly odebrány vzorky betonu ve formě jádrových vývrtů. Na těchto vývrtech pak byly provedeny laboratorní zkoušky, které jednoznačně vyvrátily projektantem udávanou třídu betonu B50. Dle současného značení C40/50. Beton byl zařazen o dvě třídy níž jako beton C30/37. Laboratoř však deklarovala, že je možné pro výpočty mezního stavu únosnosti a použitelnosti počítat s válcovou charakteristickou hodnotou $f_{ck}=31,8$ MPa.

Při průzkumu byla rovněž věnována pozornost šířce trhlin. Vazník je prostoupen trhlinami smykovými a ohybovými. Šířka trhlin nepřekračuje maximální dovolenou šíři trhlin dle ČSN EN 1992-1-1 $w_{max}=0,3$ mm.

A1.2) Stávající stav konstrukce vyplývající ze statického výpočtu

A1.2.1) ULS – Ohybová únosnost

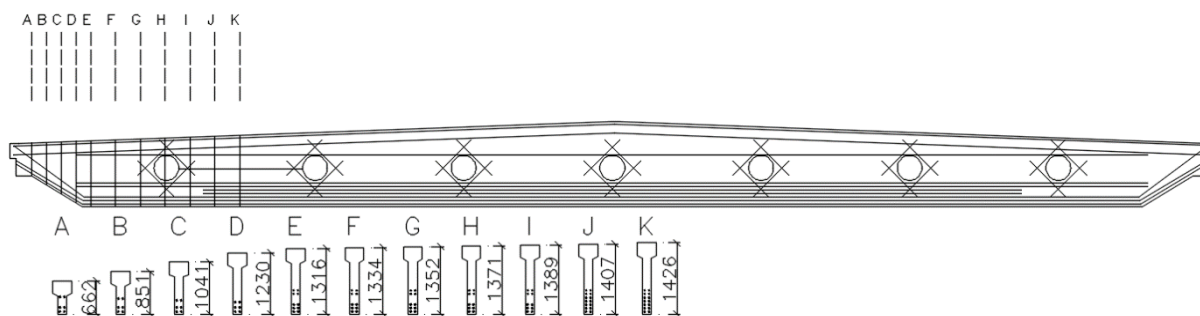
Po statickém výpočtu konstrukce dle ČSN EN 1992-1-1, kapitola 6, byla zjištěna dostatečná ohybová únosnost ve všech zkoumaných řezech A až G/G'. Maximální moment na mezi únosnosti je mírně vyšší hodnoty než maximální moment uvažovaný z kombinace pro ULS dle ČSN EN 1990, kapitola 6. Uprostřed rozpětí momenty nabývají hodnot $M_{ed}=4030,93$ kNm < $M_{rd}=4330,54$ kNm. To je 93% využití ohybové únosnosti vazníku. Při návrhu zesílení proto ohybová únosnost není rozhodující.



Obr. 1-2-1 Řezy, ve kterých byla posuzována ohybová únosnost.

A1.2.2) ULS – Smyková únosnost

Smyková únosnost byla přepočítána dle kapitoly 6 ČSN EN 1992-1-1. Výpočtem bylo prokázáno, že smyková únosnost je nedostatečná ve všech zkoumaných řezech A až K, s výjimkou řezu D. Nejhůře, z hlediska smykové únosnosti, dopadl řez A. Zde jsou hodnoty $V_{ed}=589,10$ kN > $V_{rd}=301,43$ kNm. To je téměř 200% využití při kombinaci zatížení dle ULS. Návrh zesílení je tedy proveden tak, aby byla hodnota smykové únosnosti zvýšena ve všech zkoumaných řezech. Cílem zesílení bylo získat hodnoty normou přípustné.



Obr. 1-2-2 Řezy, ve kterých byla posuzována smyková únosnost.

A1.2.3) SLS – Šířka trhlin

Dle diagnostického průzkumu provedeného Ing. Habartou, Csc. je šířka trhlin odpovídá normovým hodnotám. Toto měření bylo potvrzeno i statickým výpočtem dle článku 7.3.4 ČSN EN 1992-1-1. Tento výpočet stanovuje šířky trhlin jako hodnoty závislé na jejich vzájemné vzdálenosti. Pokud se tedy v konstrukci začnou objevovat další trhliny a budou po větších vzdálenostech než dle normového výpočtu, úměrně jejich vzdálenosti se pak zvětší i jejich šířka. Zesílení v tomto případě příznivě ovlivní šířky již vytvořených trhlin. Vlivem geometrie navržených předpjatých lan by se měly trhliny mírně uzavírat.

A1.2.4) SLS – Omezení tlakového napětí v betonu

Omezení maximálního tlakového namáhání v betonu je důležité z hlediska vzniku podélných trhlin. Jelikož se jedná o galvanický provoz, je nutné se tímto mezním stavem zabývat. Výpočet byl proveden pro stejné řezy jako při posouzení ohybové únosnosti. A to řezy A až G/G'. Maximální dovolené napětí dle ČSN EN 1992 je při charakteristické kombinaci zatížení $0,6 \cdot f_{ck} = 19,08 \text{ MPa}$. Toto napětí je překročeno ve všech zkoumaných řezech s výjimkou řezů F, F', G, G'.

V řezu C je maximální hodnota tlakového napětí překročena o 4,44 MPa. To je nejvíce ze všech řezů. Proto bylo pro návrh předpínací síly jako výchozí podmínka zvoleno omezení napětí v řezu C. Statickým výpočtem pak bylo prokázáno, že i povšech ztrátách předpětí, tlakové napětí v betonu nepřekročí v žádném zkoumaném řezu maximální hodnotu $0,6 \cdot f_{ck} = 19,08 \text{ MPa}$.

A1.2.5) SLS – Omezení napětí v betonářské výztuži

Dle statického výpočtu je napětí v betonářské výztuži ve všech řezech pod maximální přípustnou normovou hodnotou $0,8 \cdot f_{yk} = 400 \text{ MPa}$.

A1.2.6) SLS – Deformace vazníků

Kvůli optickému snížení deformací a dotvarování a smršťování betonu byly vazníky vyrobeny ve formě s nadvýšením 100 mm.

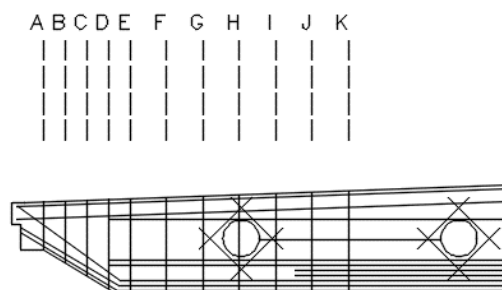
A1.3) Limitující prvky vyplývající ze statického výpočtu

Pro zkoumaný vazník umístěný v galvanickém prostředí výrobní haly jsou limitující zejména nadměrná tlaková namáhání betonu v horních vláknech průřezu. Dále pak nedostatečná smyková únosnost. Nadměrný tlak v betonu může způsobit podélné trhliny. Přes ty se pak mohou chemické látky uvolněné z technologie výroby do prostředí haly dostat až k výztuži a způsobit její korozi. Ta může vést ke větším trhlinám a nakonec ke kolapsu konstrukce.

Při nadměrném namáhání posouvající silou vznikají na konstrukci smykové trhliny a rovněž hrozí její kolaps. Při optimalizaci návrhu zesílení byla tato omezení sledována současně. V následujících tabulkách jsou hodnoty, které je nutné vyvážit zesílením.

řez:	V_{ed} [kN]	V_{rd} [kN]	$V_{ed} - V_{rd}$ [kN]
A	589,10	301,43	287,67
B	586,75	425,92	160,83
C	584,39	551,04	33,35
D	582,04	675,33	-93,29
E	596,32	363,67	232,65
F	591,34	369,60	221,74
G	586,35	375,53	210,83
H	581,65	381,78	199,87
I	438,86	387,71	51,15
J	433,59	384,85	48,74
K	428,33	391,10	37,23

OK



Tab. 1-3-1 Porovnání posouvací síly na mezi smykové únosnosti a síly z návrhové kombinace ULS.

Obr. 1-3-1 Řezy, ve kterých byla zkoumána smyková únosnost.

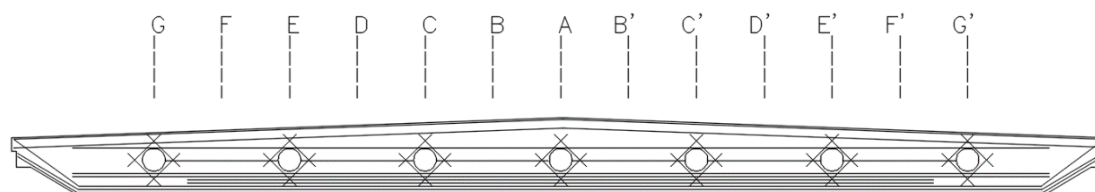
	řez A	řez B,B'	řez C,C'	řez D,D'	řez E,E'	řez F,F'	řez G,G'
σ_c [Mpa]	22,45	23,05	23,52	22,53	21,19	18,20	14,65
$\sigma_{c,max}$ [Mpa]	19,08	19,08	19,08	19,08	19,08	19,08	19,08

$\sigma_c - \sigma_{c,max}$	3,37	3,97	4,44	3,45	2,11	-0,88	-4,43
-----------------------------	------	------	------	------	------	-------	-------

OK

OK

Tab. 1-3-2 Porovnání skutečné hodnoty tlakového namáhání z charakteristické kombinace s maximální hodnotou.



Obr. 1-3-2 Řezy, ve kterých bylo zkoumáno tlakové napětí v betonu

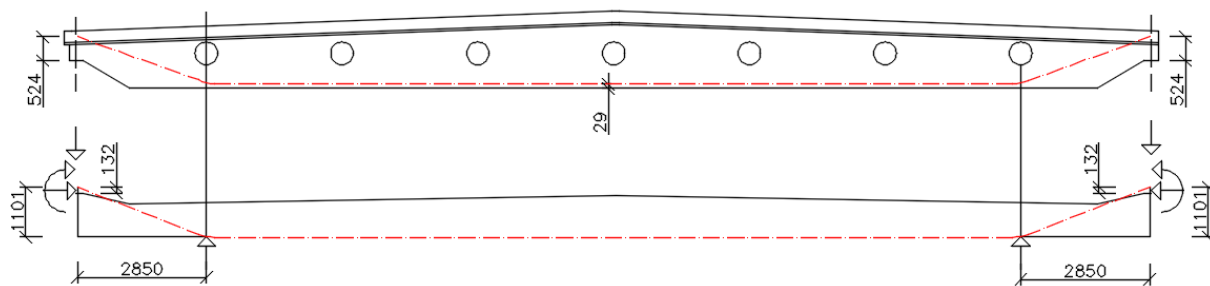
A1.4) Návrh zesílení stávající konstrukce

A1.4.1) Návrh zesílení pomocí předpjatých lan

Jako nejvhodnější zesílení, vzhledem k povaze provozu v hale, bylo zvoleno dodatečné předpínání stávající konstrukce. Může být provedeno za omezeného provozu a je relativně bezprašné a čisté. Lana na konstrukci způsobují tlaková i tahová namáhání.

Pro zesílení konstrukce budou použity celkem 4 lana průměru 18 mm chráněné plastovým kanálkem, z toho dva lana na každé straně vazníku. Typ předpínací výztuže byl zvolen Y1770-S7-18,0-A. Geometrie lan bude vymezena pomocí čtyř ocelových deviátorů. Deviátory jsou vyobrazeny na výkrese ocelových prvků v příloze B4). Z důvodu nedostatku místa v okolí čel vazníku bylo zvoleno napínání lan ze středu vazníku.

Napínání bude realizováno pomocí dvou kusů jednolánového překotvení typu 1X od firmy Freyssinet. Překotvení je umístěno uprostřed vazníku ve vzájemné vzdálenosti 1200 mm. V místech překotvení se budou o kotvy opírat probíhající lana. O první kotvu lano z druhé kotvy a o druhou kotvu lano z první kotvy. Místně tak dojde k malému vychýlení lana ze své osy. Vzniklé příčné síly jsou vzhledem k malému úhlu vychýlení zanedbatelné. Napětí se bude do výztuže vnášet lisem Hama $\phi 125$ mm. Z důvodu zamezení vybočení vazníku se musí napínat vždy dva lana současně. Jedno na každé straně vazníku. Ukotvení lan bude provedeno pomocí ocelové kotevní trubky - viz. A1.4.2).

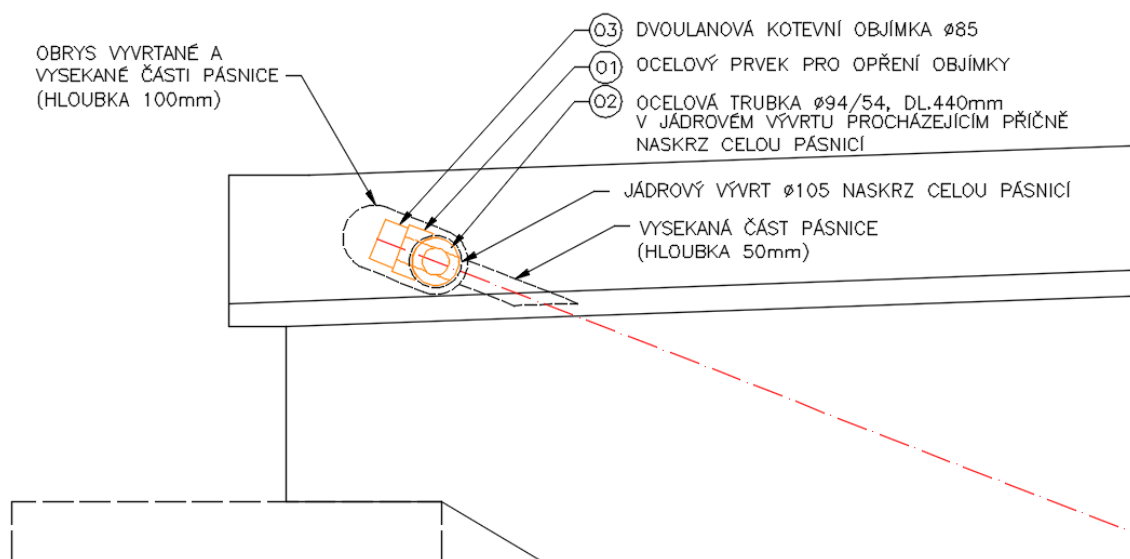


Obr. 1-4-1 Navržená geometrie předpjatých lan.

A1.4.2) Návrh ukotvení předpínací výztuže do vazníku

Jelikož je v blízkosti čel vazníků málo místa, bylo zvoleno pasivní kotvení pomocí ocelové kotevní trubky. Ocelová trubka je průměru 94 mm a tloušťky 20 mm. Je vložena do otvoru vytvořeného jádrovým vývrtem průměru 105 mm, který prochází napříč celou pásnicí. O trubku je opřený ocelový prvek, který slouží k vyrovnání její válcové plochy na rovinnou. V trubce i prvku je vyvrtán otvor o průměru 50 mm pro protažení lan. Tyto lana jsou ukončena dvoulánovou kotevní objímkou $\phi 85$ mm, která je o vyrovnávací ocelový prvek opřená.

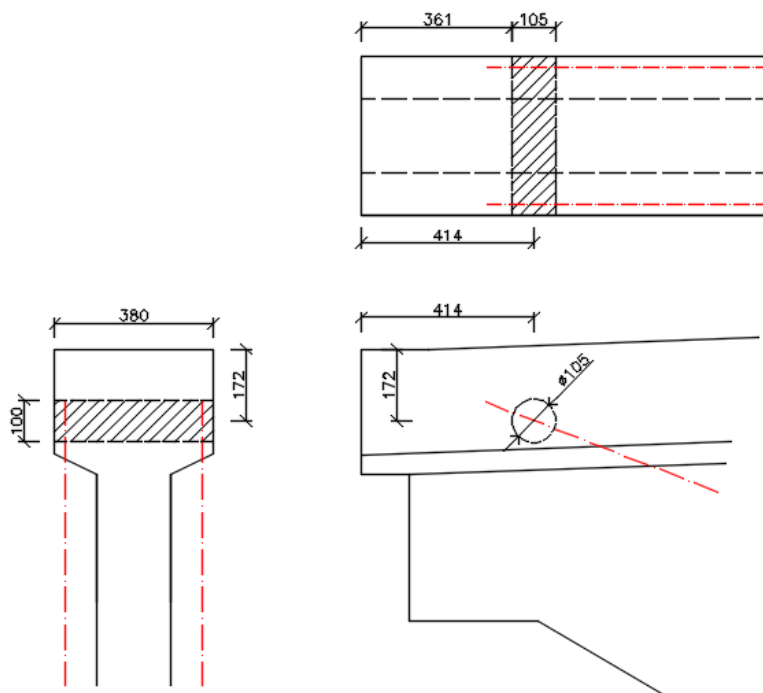
Pro umístění vyrovnávacího prvku a objímky budou vyvrtány 3 jádrové vývrty průměru 130 mm. Vývrty se budou vzájemně překrývat a budou vrtány do hloubky 100 mm. Viz. A1.4.3). Po provedení ukotvení bude vnitřek ocelové kotevní trubky zainjektován cementovou suspenzí. Pro zkušební firmu by neměl být problém veškeré kování s předstihem vyrobit.



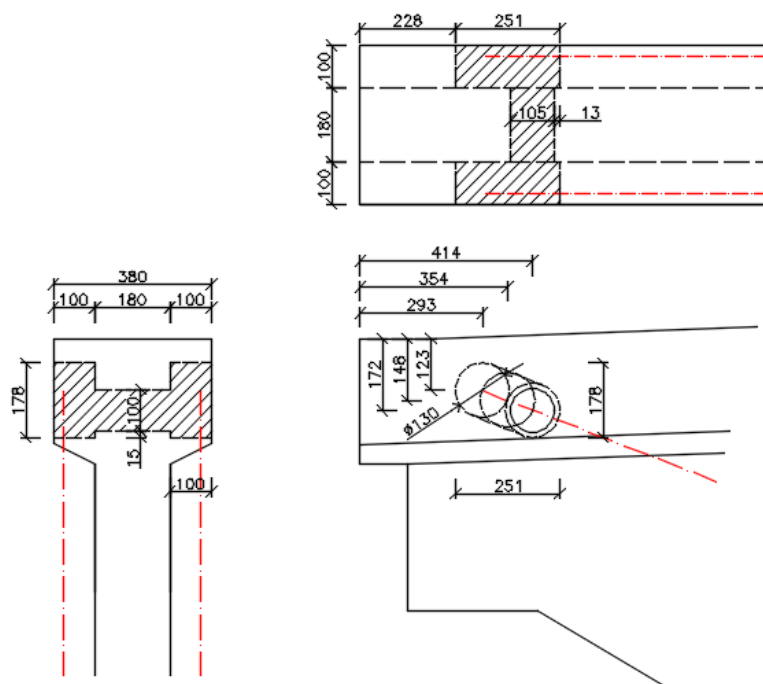
Obr.1-4-2 Detail kotevní oblasti.

A1.4.3) Technologie provádění pasivního kotvení

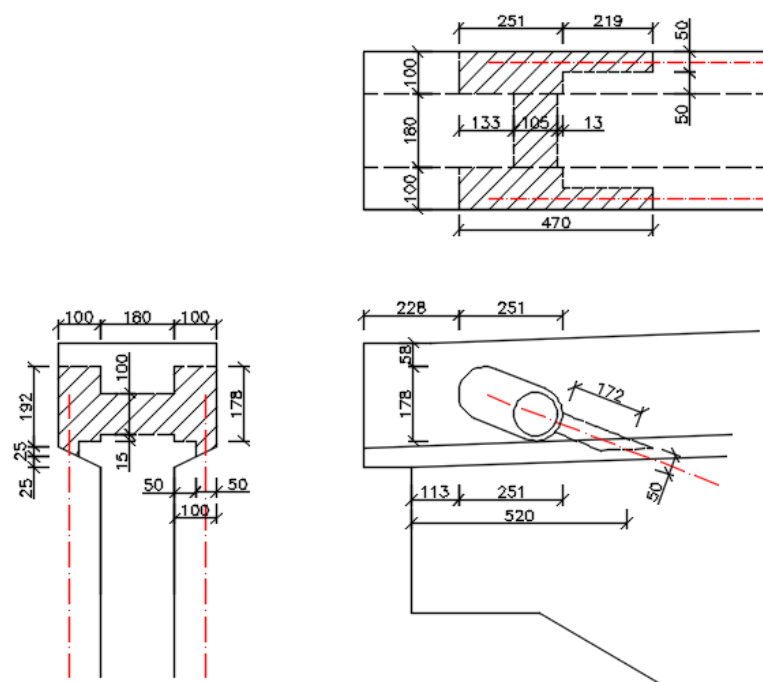
V 1. fázi se vyvrtá jádrový vývrt o průměru 105 mm příčně přes celou pásnici. Vrtání bude probíhat s vodním chlazením a současným odsáváním vody. Dále se pak vyvrtají další 3 vývrty o průměru 130 mm. Tyto vývrty se budou vrtat do hloubky 100 mm. Jejich poloha viz. Obr. 1-4-4. Vzniklé ozuby v místě vývrtů budou vysekány. Tím vznikne dostatek prostoru pro umístění vyrovnávacího prvku a objímky. Dále se vyseká část pásnice a náběhů z důvodu vedení lan.



Obr. 1-4-3 1. fáze provádění kotvení – krok 1.

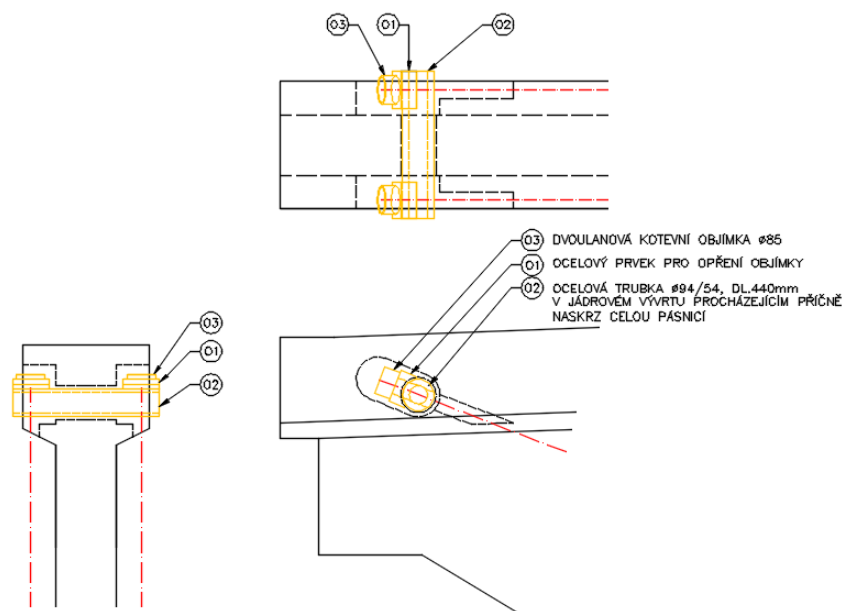


Obr. 1-4-4 1. fáze provádění kotvení – krok 2.



Obr. 1-4-5 1. fáze provádění kotvení – krok 3.

Ve druhé fázi se vloží do prvního vývrtu ocelová dutá trubka o průměru 94 mm a tloušťce stěny 20 mm. Pak se osadí na trubku ocelový prvek sloužící k vyrovnání válcové plochy. Poté se trubkou a prvkem protáhnou lana, která se spojí objímkou. Celá soustava se závěrem zainjektuje cementovou suspenzí z důvodu protikorozní ochrany. Protože trubka mírně vyčnívá z pásnice, vytvoří se kolem kotevního otvoru bednění, aby injektáž pokryla celou kotevní soustavu.



Obr. 1-4-6 2. fáze provádění kotvení – osazení ocelových prvků.

A1.4.4) Ověření smykové únosnosti

Posouvající síly, jako ekvivalentní účinky předpětí, jsou opačného znaménka než posouvající síly od vnějšího zatížení. Tím pádem se redukuje zatížení působící na vazník. Díky normálové síle, vyvolané předpětím ve vazníku, se zároveň zvyšuje smyková únosnost.

Po snížení zatížení na vazník, odečtením ekvivalentních účinků předpětí, vyhověl vazník na smykovou únosnost téměř ve všech řezech. Nevyhověly pouze řezy B, I, J, K. Následně byla únosnost výpočtově zvýšena zohledněním normálové síly vzniklé od předpětí. Díky přírůstku smykové únosnosti $V_{rd,P}$ již vyhověly všechny řezy.

A1.4.5) Ověření omezení tlakových napětí v betonu

Díky poloze lan pod těžištěm betonového průřezu, je moment od předpětí opačného znaménka než moment způsobený vnějším zatížením. Vyvolává tedy v horních vláknech průřezu tahová napětí a tím redukuje tlaková napětí. Takto bylo při návrhu docíleno omezení tlakových napětí až pod maximální přípustné hodnoty ve všech řezech.

A1.4.5) Jiné možné varianty řešení

Jelikož zatížení sněhem vyvolává na konstrukci velkou část vnitřních sil, je možné provést výpočet maximální přípustné výšky sněhu na střešní konstrukci. Výška sněhu by pak mohla být vizuálně hlídána pověřenými zaměstnanci. Při přiblížení k maximální výšce by pak bylo nutné sníh ze střechy odklidit. Toto řešení vyžaduje dodatečné osazení střechy zachytným systémem. Rizikový je zde zejména lidský faktor.

Dalším z možných řešení může být podepření vazníku ocelovými stojkami. Toto řešení však výrazně omezí variabilitu prostoru v hale. Provozovatel v případě změny technologie výroby může být omezen nově přistavěnou konstrukcí, která podpírá stávající vazníky.

A1.4.6) Ověření požární odolnosti konstrukce

Požadovaná požární odolnost posuzované konstrukce by měla vyplynout z technické zprávy požární ochrany (požárně bezpečnostního řešení). Tato zpráva není součástí podkladů k vypracování této bakalářské práce. Lze však zjednodušeně uvažovat, že minimální nutná požární odolnost posuzované nosné střešní konstrukce je 15 min.

Z důvodu malé pravděpodobnosti výskytu požáru a maximálního zatížení sněhem ve stejném okamžiku, bude stačit aby vyhověla pouze stávající konstrukce bez prvků zesílení. Vzhledem k tloušťce betonové krycí vrstvy podélné výztuže 36 mm by tento požadavem měl být splněn.

Při rekonstrukci navrhuji pokrytí lan a všech ocelových prvků protipožárním sádrokartonem certifikovaným na požární odolnost minimálně 15 min. Toto opatření je navrženo z důvodu ochrany evakujících se osob před skapáváním plastových kanálků, ve kterých jsou lana vedena a před případným pádem ocelových prvků provedeného zesílení. Lze předpokládat, že v jednopodlažní průmyslové hale budou do 15-ti minut již všechny osoby evakuovány.

A2) Průvodní zpráva statickým výpočtem

Původní stav

A2.1) Vazník – základní informace

- Strana č.1 – Popis základní geometrie zkoumaného vazníku. Výpis materiálových charakteristik betonu a výztuže. Idealizace uložení vazníku na sloupy.

A2.2) Zatížení

Zatížení jsou na vazník přenesena jako osamělé síly rovnající se dvojnásobku reakcí vaznic. Působíště osamělých sil je v místech uložení vaznic. Výjimku tvoří vlastní tíha vazníku, která je uvažovaná jako proměnné spojitě zatížení.

- Strana č.2 – Výčet veškerého zatížení působícího na vazník. Statické schéma včetně schéma zatížení.
- Strana č.3 – Výpočet vlastní tíhy vazníku. Vlastní tíha byla počítána v 19-ti intervalech. V intervalech mezi kruhovými otvory je vlastní tíha uvažována jako spojitě rovnoměrné zatížení, které bylo vypočteno pomocí průřezové plochy ve středu intervalu. V intervalech s kruhovým otvorem zatížení lineárně klesá do středu intervalu.
- Strana č.4 – Výpočet vlastní tíhy vaznice, střechy a zavěšeného technického vybavení. Zatížení střechou a technickým vybavením je vypočteno přenásobením plošné tíhy se zatěžovací plochou vazníku, která je 12x24 m. Vlastní tíha vaznice je vypočtena jako objem vaznice vynásobený objemovou tíhou betonu.
- Strana č.5 – Výpočet zatížení větrem. Tento typ střechy je zatížen převážně sáním větru. Jelikož nejsou vaznice pevně spojeny s vazníkem, sání větru se na vazník nepřenáší. Některá místa na střeše však mohou být zatížena tlakem větru hodnoty přibližně 0,115 kN/m². Tento tlak se ve výpočtu dále nezanedbává.
- Strana č.6 – Zatížení sněhem bylo vypočteno dle ČSN EN 1991-1-3. Hodnota zatížení sněhem na zemi s_k byla převzata z webové aplikace českého hydrometeorologického ústavu. Hodnota pro oblast města Lanškroun $s_k=1,67$ kPa. Sníh byl uvažován v seskupeních sníh navátý a sníh nenavátý. Hodnota zatížení sněhem je závislá na sklonu střechy. V posuzovaném případě se jedná o plochu střechu se sklonem $\alpha_1 = \alpha_i = 2,1^\circ$. Pro další výpočet byla uvažována nejvyšší z vypočtených hodnot – hodnota z seskupení sníh navátý.

A2.3) Kombinace zatížení

- Strana č.7 – Kombinace pro mezní stav únosnosti. V úvodu je uvedena přehledná tabulka veškerého zatížení. Dále je uveden přehled všech koeficientů použitých ve výpočet dle rovnic

6.10a a 6.10b. Vyšší hodnota zatížení byla vypočtena z rovnice 6.10b a je s ní uvažováno v dalších výpočtech.

- Strana č.8 – Výpočet návrhových hodnot vlastní tíhy vazníku. Výpočet charakteristické kombinace zatížení pro mezní stav použitelnosti. Pro tuto kombinaci byla použita rovnice 6.14b.
- Strana č.9 – Výpočet časté a kvazistálé kombinace pro mezní stav použitelnosti. Pro častou kombinaci byla použita rovnice 6.15b a pro kvazistálou kombinaci rovnice 6.16b. V časté, charakteristické a kvazistálé kombinaci je počítána vlastní tíha vazníku v charakteristických hodnotách.

A2.4) Vnitřní síly vazníku

Vazník byl modelován jako zalomený prut se střednicí v těžištích všech průřezů v programu SCIA Engineer 15.3. Model byl oboustranně kloubově podepřen. Jedna podpora modelována jako posuvná, druhá neposuvná.

- Strana č.10 – Graficky znázorněné hodnoty momentů M_{ed} z kombinace pro mezní stav únosnosti. Jednotlivé body v grafu odpovídají zkoumaným řezům dle obrázku nad grafem.
- Strana č.11 – Graficky znázorněné hodnoty momentů z kombinací pro mezní stav použitelnosti. Grafické znázornění posouvajících sil z kombinace pro mezní stav únosnosti.

A2.5) Posouzení ULS

Jelikož má vazník proměnnou výšku a navíc jsou v podpor některé výztuže zkrácené, nelze bezpečně předpovídat místo porušení vazníku. Z tohoto důvodu byl výpočet únosnosti proveden ve 13-ti řezech. A, B, C, D, E, F, G, B', C', D', E', F', G'. Poloha řezů viz. strana č.15. Ohybová únosnost byla vypočtena metodou mezního přetvoření s využitím bilineárního pracovního diagramu betonu a bilineárního pracovního diagramu výztuže. Výchozí podmínka výpočtu: Síla v tlačené části betonového průřezu musí být stejné hodnoty jako síla v tažené výztuži ponížená o sílu v tlačené výztuži.

- Strana č.12 – Materiálové charakteristiky betonu a výztuže. Ukázka výpočtu pro řez A v polovině rozpětí. Výpočet těžiště d_1 tažené výztuže. Výpočet těžiště d_2 tlačené výztuže.
- Strana č.13 – Výpočet těžiště a_{cc} tlačené části betonového průřezu. Výpočet momentu na mezi únosnosti.
- Strana č.14 – Kontrola přetvoření výztuže. Všechna výztuž by měla dosahovat přetvoření většího než $\epsilon_{yd}=2,17\text{ ‰}$.
- Strana č.15 – Obrázek s řezy, ve kterých je posuzována ohybová únosnost.
- Strana č.16 – Tabulka s hodnotami momentů na mezi únosnosti M_{Rd} ve všech zkoumaných řezech včetně mezivýsledků. V grafu jsou hodnoty vyneseny v závislosti na poloze řezu na vazníku.

- Strana č.17 – Obrázek s řezy, ve kterých byla posuzována smyková únosnost.
- Strana č.18 – Ukázka výpočtu smykové únosnosti pro řez H. Výpočet byl proveden dle ČSN EN 1992-1-1, článku 6.2. Byla vypočtena návrhová hodnota posouvající síly, kterou může převzít smyková výztuž na mezi kluzu $V_{Rd,s}$ a návrhová hodnota maximální posouvající síly, kterou prvek může přenést, omezená rozdrčením tlakových diagonál $V_{Rd,max}$. Jako maximální hodnota smykové únosnosti je uvažována menší z těchto dvou hodnot. Dále bylo provedeno ověření konstrukčních zásad.
- Strana č.19 – Tabulka s hodnotami maximální smykové únosnosti V_{Rd} ve všech zkoumaných řezech včetně mezivýsledků. V grafu jsou hodnoty vyneseny v závislosti na poloze řezu na vazníku.

A2.6) Posouzení SLS

- Strana č.20 až 21 – Výpočet součinitele dotvarování betonu. Ve výpočtu součinitele dotvarování je uvažován průměrný průřez, který se nachází na vazníku v místě 6,820 m od čela vazníku. Jelikož byl vazník betonován a nasazen do provozu již před 18-ti lety, dá se zjednodušeně předpokládat, že cca 2/3 dotvarování již proběhly. Součinitel dotvarování byl proto přenásoben 2/3. Zohlednění tohoto dotvarování při výpočtu mezních stavů použitelnosti je provedeno snížením modulu pružnosti betonu z $E_{cm}=32$ GPa na $E_{eff}=23$ GPa
- Strana č.22 – Začátek výpočtu tlakových napětí v betonu. Přehled všech vstupních hodnot. Výpočet těžiště výztuže.
- Strana č.23 - Charakteristiky betonového průřezu. Výpočet charakteristik ideálního průřezu.
- Strana č.24 – Výpočet momentu na mezi vzniku trhlin. Trhliny vzniknou ve všech zkoumaných řezech. Výpočet charakteristik ideálního průřezu porušeného trhlinou. Pro výpočet tlačené části betonového průřezu byla výchozí podmínka rovnost statického momentu betonové části a statického momentu výztuže na ideálním průřezu. V tomto výpočtu byla výška tlačené oblasti X_{ir} volena iteračně až do dosažení rovnosti statických momentů.
- Strana č.25 – Tabulka statických a kvadratických momentů výztuže na ideálním průřezu. Porovnání hodnot statických momentů výztuže a tlačené oblasti. Výpočet výsledného tlakového napětí v horních vláknech betonu s využitím charakteristik ideálního průřezu porušeného trhlinou a momentu z charakteristické kombinace zatížení. Maximální dovolené namáhání dle ČSN EN 1992-1-1 článku 7.2 je $\sigma_{c,max}= 0,6 \cdot f_{ck}= 19,08$ MPa. Tato hodnota je překročena ve všech řezech. Viz. strana č.26.
- Strana č.26 – Výpočet napětí v tažené i tlačené výztuži. Pro výpočet byly použity charakteristiky ideálního průřezu porušeného trhlinou a moment z charakteristické kombinace zatížení. Tabulka hodnot napětí ve výztuži a v betonu ve všech zkoumaných řezech.
- Strana č.27 až 28 – Výpočet šířky a vzdálenosti trhlin dle ČSN EN 1992-1-1 článku 7.3.4. Vypočtená šířka trhlin je v mezích určených normou. Šířka je dle výpočtu však závislá na vzájemné vzdálenosti trhlin. To znamená, že při vzniku trhlin po větších vzdálenostech se úměrně tomu bude rozšiřovat i šířka trhlin.

Nový stav

A2.7,8) Materiálové charakteristiky, Geometrie předpjatých lan

- Strana č.29 – Vypsány materiálové charakteristiky betonu a předpínací výztuže. Ukázka navržené geometrie předpjatých lan.

A2.9) Rozhodující hodnoty pro návrh

- Strana č.30 – Rekapitulace hodnot smykové únosnosti a tlakového napětí v betonu, které jsou sledovány při návrhu zesílení.

A2.10) Návrh předpínací síly

- Strana č.31 – Návrh předpínací síly. Jako výchozí podmínka byla použita rovnost mezi výpočtem napětí v horních vláknech betonového průřezu, včetně započítání předpínací síly, a normově přípustné maximální hodnoty. Tato podmínka byla sestavena pro řez s největším tlakovým namáháním, řez C. V návrhu předpínací síly jsou odhadovány 15% ztráty předpětí.
- Strana č.32 – Výpočet minimální plochy předpínací výztuže. Stanovení počtu lan a vypočtení skutečné plochy předpínací výztuže a počáteční předpínací síly $P_{m,0}$.

A2.11) Ztráty předpětí

- Strana č.32 - Přehled uvažovaných ztrát předpětí.
- Strana č.33 – Ukázka výpočtu ztráty třením pro řez O2. Lana jsou v ochranných plastových kanálkách. Pro výpočet ztrát třením byly uvažovány pouze ztráty v ocelových deviátorech. Na obrázku jsou vyznačeny všechny řezy, ve kterých byl výpočet ztrát proveden. V grafu je znázorněn průběh napětí po délce kabelu po ztrátách třením.
- Strana č.34 – Pro výpočet ztráty pokluzem v kotvě byla zvolena metoda půlení intervalu. Iteračně byla volena délka dosahu pokluzu l_0 dokud nebyla plocha mezi křivkami z grafu velikosti $1560 \cdot 10^6$ N/mm. V grafu je znázorněn průběh napětí po odečtení ztrát třením a pokluzem spolu s průběhem napětí pouze po odečtení ztrát třením.
- Strana č.35 – Výpočet ztráty předpětí postupným napínáním. Napínání bude probíhat ve dvou fázích. Nejprve se budou napínat lana 1,1' a poté 2,2'. Při napnutí lan v první fázi napínání síla vnesená do betonu způsobí zkrácení vazníku cca o 1,2 mm. Po zakotvení lan se provede napínání lan 2,2', které způsobí stejné zkrácení o cca 1,2 mm. V pořadí druhé zkrácení se projeví nejen v betonu, ale také v již zakotvených lanech. Takto dojde ke ztrátě předpětí v lanech 1,1'. V lanech 2,2' se ztráta neprojeví. Ve výpočtech je jako plocha průřezu nosníku uvažována plocha průměrného průřezu vzdáleného 6,82 m od čela vazníku.

- Strana č.36 – Graf průběhu napětí po délce kabelu po odečtení ztrát třením, pokluzem a postupným napínáním. Výpočet ztráty krátkodobé části relaxace předpínací výztuže je proveden v intervalu $<0, 5\text{min}>$ a $<5\text{min}, 0,5\text{ hod}>$.
- Strana č.37 – Tabulka s hodnotami ztrát relaxací předpínací výztuže ve všech řezech. Výpočet dlouhodobé části relaxace předpínací výztuže. Uvažovaná životnost předpínací výztuže je 57 let tj. cca 500 000 hodin.
- Strana č.38 – Výpočet ztráty dotvarováním betonu. Součinitel dotvarování převzat z výpočtu na straně č.20. Jelikož byl vazník betonován a nasazen do provozu již před 18-ti lety, dá se zjednodušeně předpokládat, že cca 2/3 dotvarování již proběhly. Součinitel dotvarování byl proto přenásoben 1/3. Dotvarování betonu je závislé na působení vnějších sil. Ve výpočtu je počítáno s hodnotou momentu z kvazistálé kombinace zatížení.
- Strana č.39 – Výpočet ztráty smršťováním betonu. Z důvodu stáří vazníku výpočet počítá pouze se ztrátou předpětí vlivem autogenního smršťování betonu. Pro výpočet náhradní výšky průřezu byl použit průměrný průřez, který je ve vzdálenosti 6,82 m od čela vazníku.

A2.12) Výsledná předpínací síla

- Strana č.40 – Rekapitulace všech vypočtených ztrát v řezu B. Výpočet výsledného napětí v předpínací výztuži po odečtení všech ztrát. Celkové ztráty v řezu B jsou cca 15,7 %. V ostatních řezech se hodnoty ztrát pohybují od 12,8 % do 15,8 %. Viz. příloha B3). Velikost předpínací síly je pro účely zesílení i po odečtení reálných ztrát stále dostatečná.

A2.13) Ekvivalentní účinky zatížení

- Strana č.41 – Pro výpočet ekvivalentních účinků zatížení byla uvažována nejmenší předpínací síla ze všech řezů, síla z řezu A. V geometrii lan nejsou žádné parabolické oblouky, tudíž lana nevyvozují spojitě zatížení. Ekvivalentní účinek síly v kružnicovém oblouku v deviátoru byl zjednodušen na osamělou sílu. V tabulce jsou hodnoty posouvající a normálové složky předpínací síly v řezech, ve kterých se bude ověřovat smyková únosnost.

A2.14) Ověření smykové únosnosti

- Strana č.42 – Ukázka výpočtu pro řez B. Posouvající síla v řezu B překračuje normově přípustnou hodnotu o 160,83 kN. Po započtení ekvivalentních účinků předpětí (111,46 kN) zůstane normová hodnota překročená o 49,37 kN. Dále je vypočítán přírůstek smykové únosnosti $V_{rd,P}$, ve kterém je zohledněna normálová složka předpínací síly působící ve střednici vazníku. Po započtení tohoto přírůstku je již smyková únosnost dostatečná.
- Strana č.43 – Tabulka, ve které jsou porovnány hodnoty zatížení a smykové únosnosti po zesílení ve všech zkoumaných řezech. Smyková únosnost je po zesílení ve všech řezech dostatečná.

A2.15) Ověření omezení napětí v betonu

- Strana č. 44 – Ukázka výpočtu tlakového napětí v betonu po zesílení předpjatými lany. Jelikož se na zesilované konstrukci trhliny již nacházejí, je ve výpočtu uvažován ideální průřez porušený trhlinou. Napětí v řezu A nabývá hodnoty $\sigma_1 = 17,980$ MPa, což je napětí přípustné normou. V tabulce jsou uvedeny výsledná vypočtená tlaková napětí včetně všech vstupních hodnot výpočtu. Dále jsou v tabulce uvedeny jednotlivé složky napětí. $\sigma_{cp(M)}$ – napětí vyvolané momentem od předpínací síly, $\sigma_{cp(N)}$ – napětí vyvolané předpínací silou a $\sigma_{c(Mek)}$ – napětí vyvolané momentem z charakteristické kombinace zatížení. Tlaková napětí ve všech řezech byla zesílením omezena na normově přípustné hodnoty menší než $0,6 \cdot f_{ck} = 19,08$ MPa.

Závěr

Statickým výpočtem bylo prokázáno, že navržené zesílení vazníků bude dostačující. Díky vhodné geometrii lan a vhodné předpínací síle byla zmírněna nadměrná tlaková namáhání v horních vláknech betonového průřezu, zmenšeno celkové zatížení působící na vazník a zvýšena smyková únosnost. Hodnoty tlakových namáhání budou po zesílení ve všech řezech normově přípustné a výsledné posouvající síly působící na vazník budou menší než posouvající síly na mezi smykové únosnosti.

Seznam použitých zdrojů

- [1.] ZICH, Miloš. *Příklady posouzení betonových prvků dle eurokódů*. Praha: Dashöfer, 2010. ISBN 978-80-86897-38-7.
- [2.] PROCHÁZKA, Jaroslav, Radek ŠTEFAN a Jitka VAŠKOVÁ. *Navrhování betonových a zděných konstrukcí na účinky požáru*. V Praze: České vysoké učení technické, 2010. ISBN 978-80-01-04613-5.
- [3.] NAVRÁTIL, Jaroslav. *Prestressed concrete structures*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-7204-462-1.
- [4.] PROCHÁZKA, Jaroslav. *Navrhování betonových konstrukcí: příručka k ČSN EN 1992-1-1 a ČSN EN 1992-1-2*. Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2010. Technická knihovna (ČKAIT). ISBN 978-80-87438-03-9.
- [5.] ČSN EN 1991-1-1 (730035) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- [6.] ČSN EN 1991-1-4 (730035) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem
- [7.] ČSN EN 1991-1-3 (730035) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem
- [8.] ČSN EN 1992-1-1 (731201) Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [9.] ČSN 06 0210 Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění, 5/1994 - norma byla v roce 2008 zrušena, ale uvedené hodnoty relativní vlhkosti vzduchu žádný jiný předpis neupravil
- [10.] Předpínací systémy FREYSSINET. [Http://www.freyssinet.cz/](http://www.freyssinet.cz/) [online]. [cit. 2016-05-22].

Seznam použitých zkratk a symbolů

SLS	mezní stav použitelnosti
ULS	mezní stav únosnosti
L'	celková délka vazníku
${}^{\circ}L$	délka vazníku bez náběhů a uložení
L	délka statického modelu vazníku
h_1	nejmenší výška vazníku
h_2	největší výška vazníku – uprostřed
d_0	průměr technologických otvorů
h_0	výška spodní hrany otvoru
a_0	vzájemná vzdálenost otvorů
f_{ck}	charakteristická pevnost betonu v tlaku
f_{cd}	návrhová pevnost betonu v tlaku
f_{yk}	charakteristická mez kluzu oceli
f_{yd}	návrhová mez kluzu oceli
a_1	uložení podpor ve statickém modelu
a_2	uložení podpor ve statickém modelu
g_{0k}	charakteristická hodnota vlastní tíhy vazníku
G_{vaz}	celková hmotnost vaznice
V_{vaz}	celkový objem vaznice
R_i	reakce vaznic
F_i	osamělá síla na vazníku jako reakce od vaznic
$v_{b,0}$	základní rychlost větru
z	výška budovy
z_0	drsnost terénu
$C_{0(z)}$	součinitel zohledňující vliv horopisu
v_m	střední rychlost větru
$q_{p(z)}$	maximální dynamický tlak větru
I_v	vliv turbulencí
C_{DIR}	součinitel směru větru
C_{season}	součinitel ročního období

k_r	součinitel terénu
$C_{pe,10}$	součinitel tlaků a sil
$w_{i,i}$	tlak větru na vnější povrchy
F_w	osamělá síla od větru jako reakce od vaznic
s_k	hodnota zatížení sněhem na zemi
A	označení řezu
α	úhel sklonu střechy
γ	redukční součinitel materiálu
G_i	tíha určitého prvku
M_{ek}	moment z charakteristické kombinace zatížení
M_{rd}	moment na mezi únosnosti
A_{st}	plocha určitého prutu tažené výztuže
r_i	vzdálenost určitého prutu výztuže od hrany průřezu
$A_{st,h}$	plocha tlačené výztuže
A_{cc}	plocha tlačené části betonového průřezu
F_{cc}	síla v těžišti tlačené betonové části
F_{st}	síla vevýztuži
ϵ	přetvoření prvku
acc	poloha těžiště tlačené betonové části průřezu
V	posouvající síla
M	moment
N	normálová síla
φ	součinitel dotvarování
E	modul pružnosti
a_{gs}	poloha těžiště tažené výztuže
A_i	plocha ideálního průřezu
I_i	moment setrvačnosti ideálního průřezu
a_{gi}	těžiště ideálního průřezu
x_{ir}	výška tlačené části betonového průřezu
Δ	vyjadřuje změnu
σ_c	napětí v betonu
σ_s	napětí ve výztuži

ϕ	průměr výztuže
e_p	vzdálenost těžiště kabelu od těžiště ideálního průřezu porušeného trhlinou
$P_{k,inf}$	předpínací síla dle normy přenásobená součinitelem 0,95
P_{mk}	síla v předpínací výztuži v čase životnosti konstrukce a daném místě na vazníku
$\sigma_{cp}(M)$	napětí v betonu vyvolané excentricitou kabelu (momentem od předpětí)
$\sigma_{cp}(N)$	napětí v betonu vyvolané předpínací silou (normálová síla od předpětí)
$\sigma_c(Mek)$	napětí v betonu vyvolané vnějším zatížením, konkrétně z charakteristické kombinace
$\Delta\sigma_{p\mu}$	změna předpětí vyvolaná třením (pouze v ocelových deviátorech)
$\Delta\sigma_{psl}$	změna předpětí vyvolaná pokluzem v kotvě (napínání z prostředku)
$\Delta\sigma_{pel}$	změna předpětí vyvolaná postupným předpínáním
$\Delta\sigma_{Pr,cor}$	změna předpětí vyvolaná krátkodobou relaxací výztuže těsně po podržení napětí
$\Delta\sigma_{Pr}$	změna předpětí vyvolaná krátkodobou relaxací výztuže po 0,5 hod napínání
$\Delta\sigma_{p0}$	Napětí po odečtení všech krátkodobých ztrát
$\Delta\sigma_{pc}$	změna předpětí vyvolaná dotvarováním betonu
$\Delta\sigma_{ps}$	změna předpětí vyvolaná smršťováním betonu
$\sigma_{p,celkové}$	Napětí po odečtení všech krátkodobých i dlouhodobých ztrát
$\sigma_{p,c+r+s}$	Napětí ve výztuži po odečtení jen dlouhodobých ztrát

Seznam použitých obrázků a tabulek

- Obr. 1-1-1 *Schéma rozmístění vazníku a vaznic ve výrobní hale.*
- Obr. 1-1-2 *Schéma základních rozměrů vazníku.*
- Obr. 1-1-3 *Fotografie zkoumaného vazníku.*
- Obr. 1-2-1 *Řezy, ve kterých byla posuzována ohybová únosnost.*
- Obr. 1-2-2 *Řezy, ve kterých byla posuzována smyková únosnost.*
- Obr. 1-3-1 *Řezy, ve kterých byla zkoumána smyková únosnot.*
- Obr. 1-3-2 *Řezy, ve kterých bylo zkoumáno tlakové napětí v betonu*
- Obr. 1-4-1 *Navržená geometrie předpjatých lan.*
- Obr.1-4-2 *Detail kotevní oblasti.*
- Obr. 1-4-3 *1. fáze provádění kotvení – krok 1.*
- Obr. 1-4-4 *1. fáze provádění kotvení – krok 2.*
- Obr. 1-4-5 *1. fáze provádění kotvení – krok 3.*
- Obr. 1-4-6 *2. fáze provádění kotvení – osazení ocelových prvků.*
- Tab. 1-3-1 *Porovnání posouvací síly na mezi smykové únosnosti a síly z návrhové kombinace ULS.*
- Tab. 1-3-2 *Porovnání skutečné hodnoty tlakového namáhání z charakteristické kombinace s maximální hodnotou.*

Seznam příloh

B) Netextová část

B1) Použité podklady

B2) Statický výpočet

B2.1) Původní stav

B2.2) Nový stav

B3) Přehledná grafická dokumentace získaných výsledků

B4) Výkresová dokumentace

B4.1) Výkres betonářské výztuže vazníku

B4.2) Výkres předpínací výztuže

B4.3) Výkres kování