



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

STŘEŠNÍ VAZNÍK PRŮMYSLOVÉ HALY

ROOF BEAM IN THE INDUSTRY HALL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Simona Šnoblťová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. LADISLAV KLUSÁČEK, CSc.

BRNO 2021



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608R001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav betonových a zděných konstrukcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Simona Šnobltová
Název	Střešní vazník průmyslové haly
Vedoucí práce	doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.
Datum zadání	30. 11. 2020
Datum odevzdání	28. 5. 2021

V Brně dne 30. 11. 2020

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

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

PODKLADY A LITERATURA

Stavební podklady – situace, půdorysy, řezy

Platné předpisy a normy (včetně změn a oprav):

ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1991-1 až 7: Zatížení stavebních konstrukcí

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

ČSN 73 1201: Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb, původní norma

Literatura: na základě doporučení vedoucím práce

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Provedte statické řešení stávající konstrukce podle původních norem pro zatížení a pro návrh betonové konstrukce v pozemních stavbách.

Následně provedte přepočítání podle obou skupin MS s návrhem případných úprav v rozsahu určeném vedoucím práce. Statickou analýzu provedte v některém programovém systému pro výpočet konstrukcí (včetně kontroly zjednodušenou metodou).

Vypracujte výkres tvaru dimenzované části konstrukce a podrobné výkresy výztuže posuzovaných prvků.

Ostatní úpravy provádějte podle pokynů vedoucího práce.

Požadované výstupy:

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

Přílohy textové části:

P1. Použité podklady

P2. Výkresy tvaru a výztuže (v rozsahu určeném vedoucím práce).

P3. Statický výpočet (v rozsahu určeném vedoucím práce)

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. Ladislav Klusáček, CSc.

Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá posouzením již existujícího střešního vazníku v průmyslové hale a následným návrhem zesílení této konstrukce. Vazník se nachází v průmyslové hale v Lanškrouně a jeho původní projekt je z roku 1998. V současné době se na vazníku objevují trhliny, a proto je potřeba jej znovu posoudit podle současně platných norem ČSN EN. Vazník je posouzen na mezní stav únosnosti, tedy na ohyb a smyk, i na mezní stav použitelnosti, tedy na omezení napětí, šířku trhlin a přetvoření. Jelikož ne všechny posudky vyhoví, je poté navrženo vhodné zesílení konstrukce pomocí předpínacích lan MonoStrand a konstrukce je znovu posouzena. Pro kontrolu ručního výpočtu vnitřních sil na vazníku byl vytvořen statický model v programu Scia Engineer.

KLÍČOVÁ SLOVA

Stávající konstrukce, rekonstrukce, průmyslová hala, střešní vazník, beton, železobeton, předpětí, mezní stav únosnosti, mezní stav použitelnosti, trhliny

ABSTRACT

The bachelor's thesis deals with the assessment of the existing roof girder in the industrial hall and subsequent outline of strengthening this construction. The girder is located in an industrial hall in Lanškroun and its original design is dated from 1998. Nowadays, cracks appear on the girder, therefore it is necessary to reassess it according to the current valid standards ČSN EN. The girder is appraised for the ultimate limit state, thus for bending and shear, and also for the serviceability limit state, thus for the pressure limit, width of cracks and transformation. Due to the fact, that not all assessments pass, hence a suitable structure strengthening with a MonoStrand prestressing strands is designed and the construction is reassessed again. For the control of a manual calculations of the internal forces on girder, was created a structural model in a program called Scia Engineer.

KEYWORDS

Existing construction, reconstruction, industrial hall, roof girder, concrete, reinforced concrete, prestress, ultimate limit state, serviceability limit state, cracks

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Simona Šnobltová *Střešní vazník průmyslové haly*. Brno, 2021. 22 s., 113 s. příl.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a
zděných konstrukcí. Vedoucí práce doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Střešní vazník průmyslové haly* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 28. 5. 2021

Simona Šnoblová
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Střešní vazník průmyslové haly* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 28. 5. 2021

Simona Šnoblťová
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu své bakalářské práce doc. Ing. Ladislavu Klusáčkovi, CSc. za jeho pomoc, ochotu, čas a především za lidský přístup.

Dále bych ráda poděkovala všem svým blízkým za jejich podporu během tvorby této práce, ale i za jejich podporu v průběhu celého studia.

Děkuji.

OBSAH

1. Úvod	1
2. Popis konstrukce	2
2.1 Popis střešních vazníků.....	2
3. Provedená diagnostika	3
4. Materiály	4
5. Zatížení	4
5.1 Stálé zatížení.....	4
5.2 Proměnné zatížení.....	4
5.2.1 Sníh	4
5.2.2 Vítr	5
6. Kombinace zatížení.....	5
7. Výpočet vnitřních sil	6
8. Posouzení na mezní stav únosnosti.....	6
8.1 Ohyb	6
8.2 Smyk	7
9. Posouzení na mezní stav použitelnosti.....	8
9.1 Omezení napětí	8
9.2 Šířka trhlin	8
9.3 Přetvoření.....	8
10. Zesílení konstrukce	8
10.1 Nové posouzení konstrukce	9
10.1.1 Smyk	9
10.1.2 Omezení napětí	10
10.1.3 Šířka trhlin	10
11. Průvodní zpráva statickým výpočtem	10
12. Závěr	11
13. Podklady pro zhotovení projektu	12
13.1 Výkresová dokumentace	12
13.2 Literatura	12
13.3 Použité programy	12
14. Seznam příloh	13

1. Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá posouzením již existujícího střešního vazníku v průmyslové hale a následným návrhem zesílení této konstrukce. Vazník se nachází v průmyslové hale v Lanškrouně a jeho původní projekt je z roku 1998. V současné době se na vazníku objevují trhliny, a proto je potřeba jej znovu posoudit podle současně platných norem ČSN EN.

Vazník je posouzen na mezní stav únosnosti, tedy na ohyb a smyk, i na mezní stav použitelnosti, tedy na omezení napětí, šířku trhlin a přetvoření. Výpočtem je zjištěno, že vazník nevyhoví při posouzení na mezní stav únosnosti na smyk (o 112,4 %) a při posouzení na mezní stav použitelnosti na omezení napětí (o 102,2 %).

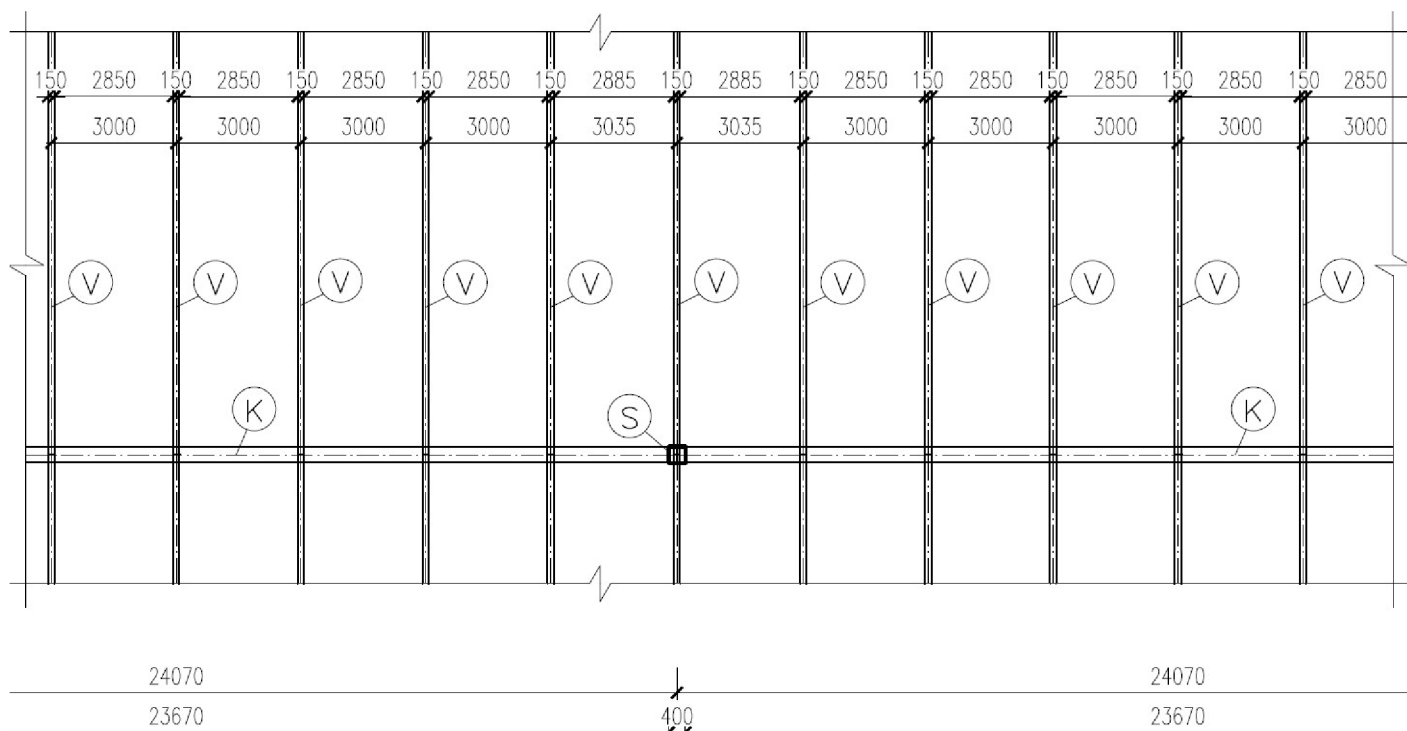
Kvůli této skutečnosti je následně navrženo zesílení konstrukce pomocí osmi sedmidrátových předpínacích lan MonoStrand $\varnothing 15,7$ mm tak, aby všechny normové požadavky byly splněny. V případě, že normové požadavky nevyhoví pouze o malou odchylku, je navrženo vhodné opatření pro zvýšení trvanlivosti konstrukce.

Pro kontrolu ručního výpočtu vnitřních sil na vazníku byl vytvořen statický model v programu Scia Engineer.

2. Popis konstrukce

Průmyslová hala, ve které se nachází posuzovaný vazník, se nachází ve městě Lanškroun. Toto město leží v podhůří Orlických hor na východě Čech.

Zmiňovaná hala je dvoulodní a její nosná konstrukce je tvořena sloupy, vazníky a vaznicemi. Střešní konstrukce haly je tvořena v příčném směru vazníky délky cca 24 m, které jsou od sebe vzdálené 12 m. Na vaznicích jsou v podélném směru uloženy vaznice délky 12 m, vzdálené od sebe cca 3 m. Na vaznicích je uložen trapézový plech s tepelnou izolací. Vazníky jsou kloubově uloženy na betonové sloupy o půdorysných rozměrech 0,4 x 0,4 m.

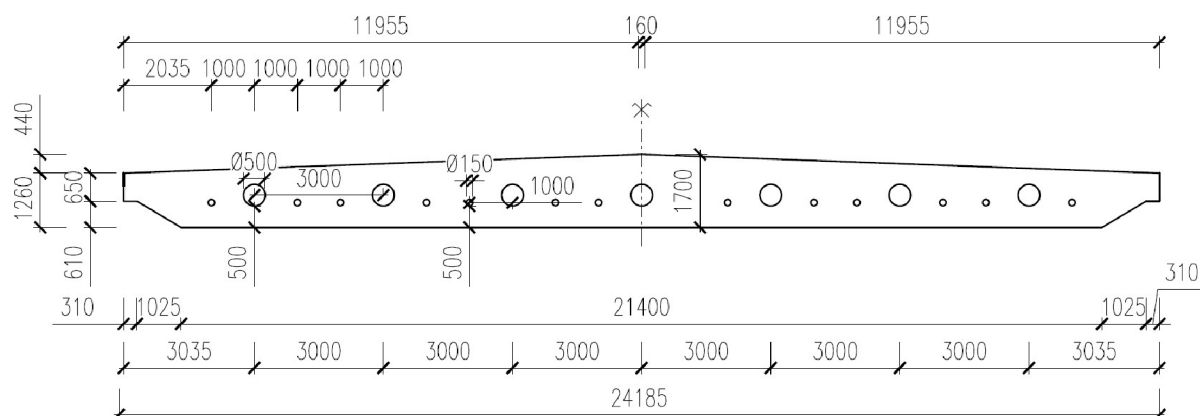


Obr. 1 Schéma rozmístění prvků v průmyslové hale

- Označení prvků:
- Ⓟ - VAZNICE
 - Ⓚ - VAZNÍK
 - Ⓢ - SLOUP

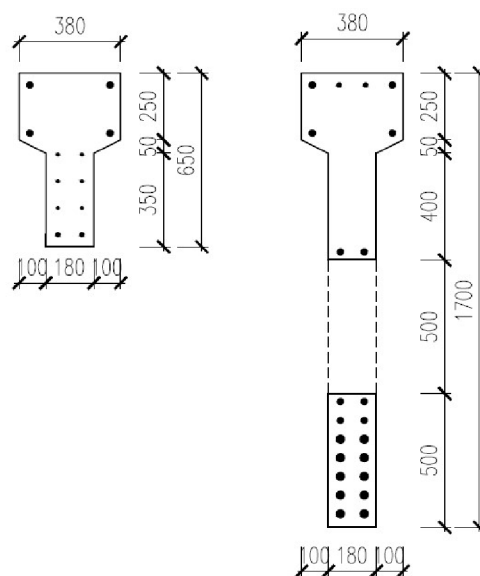
2.1 Popis střešních vazníků

Střešní vazníky jsou železobetonové, prefabrikované a mají proměnnou výšku, a to od 0,65 m v uložení po 1,7 m ve středu rozpětí. Vazníky jsou navrženy na rozpětí cca 24 m a jsou kloubově uloženy na betonové sloupy o půdorysných rozměrech 0,4 x 0,4 m. V místě uložení vaznic na vazníky je vazník vylehčen kruhovým otvorem o průměru 0,5 m. Průřez vazníku je tvořen tvarem písmene T s náběhy.



Obr. 2 Schéma vazníku

PRŮŘEZ V MÍSTĚ ULOŽENÍ PRŮŘEZ VE STŘEDU ROZPĚTÍ



Obr. 3 Průřezy vazníku

3. Provedená diagnostika

Střešní vazníky byly v minulosti diagnostikovány z důvodu zjištění smykových a ohybových trhlin. Tyto trhliny přesahují místně šířku trhliny 0,4 mm. Diagnostickým průzkumem byla stanovena pevnostní třída betonu C30/37. Pevnostní třída betonu dle původního projektu měla být o dvě pevnostní třídy vyšší (C40/50). Poloha a objem výztuže odpovídají výrobnímu výkresu výztuže. Diagnostické práce byly provedeny Ing. Jiřím Habartou CSc.

4. Materiály

➤ *Beton C30/37*

$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$	válcová pevnost v tlaku
$\gamma_c = 1,5$	součinitel spolehlivosti betonu
$f_{cm} = 38 \text{ MPa}$	průměrná pevnost v tlaku
$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$	pevnost v tahu
$f_{ctk0,05} = 2,0 \text{ MPa}$	pevnost v tahu, pětiprocentní kvantil
$f_{ctk0,95} = 3,8 \text{ MPa}$	pevnost v tahu
$E_{cm} = 33 \text{ GPa}$	modul pružnosti
$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$	návrhová pevnost v tlaku

➤ *Betonářská ocel B500B*

$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$	charakteristická pevnost v tahu
$\gamma_s = 1,15$	součinitel spolehlivosti oceli
$E_s = 200 \text{ GPa}$	modul pružnosti
$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa}$	návrhová pevnost v tahu

5. Zatížení

5.1 Stálé zatížení

Do stálého zatížení je uvažováno zatížení od vlastní tíhy vazníku, vaznice a střešní krytiny. Vlastní tíha vazníku působí jako spojitě zatížení a pro ruční výpočet je zjednodušena tak, že otvory ve vazníku jsou zanedbány, protože mají na celkovou tíhu vazníku zanedbatelný vliv. Vaznice leží na vazníku a je na něj kolmá, tudíž působí na vazník jako bodová síla. Střešní krytina je přenášena vaznicí, tudíž působí také jako bodová síla.

5.2 Proměnné zatížení

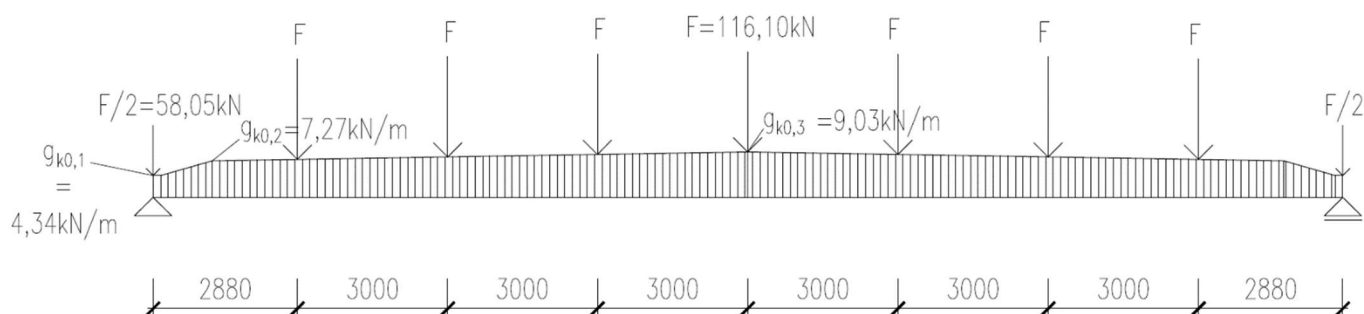
5.2.1 Sníh

Budova se nachází v Lanškrouně, takže spadá do sněhové oblasti IV. Střecha objektu má sklon $2,1^\circ$, tudíž je brána jako střecha plochá a je situována v terénu s normální topografií, kde nebude docházet k významným přesunům sněhu vlivem větru. Stanoveno bylo charakteristické zatížení sněhem $s_k = 1,72 \text{ kN/m}^2$. Jelikož je sníh přenášen přes střešní krytinu a poté přes vaznici, působí na vazník jako bodová síla, konkrétní přepočtení zatížení je uveden ve statickém výpočtu.

5.2.2 Vítr

Budova se nachází v Lanškrouně, takže spadá do větrné oblasti II. Střecha objektu má sklon $2,1^\circ$, tudíž je brána jako střecha plochá. Vaznice není s vazníkem pevně spojena, takže nepřenáší tahová namáhání, ale pouze tlaková. Jelikož je vítr přenášen přes střešní krytinu a poté přes vaznici, působí na vazník jako bodová síla, konkrétní přepočtení zatížení je uveden ve statickém výpočtu.

➤ Schéma zatížení vazníku



Obr. 4 Schéma zatížení vazníku

6 Kombinace zatížení

Pro výpočet vnitřních sil na konstrukci jsou uvažovány kombinace zatížení na mezní stav únosnosti i na mezní stav použitelnosti. Na mezní stav únosnosti jsou kombinace zatížení vypočítány dle rovnic 6.10a a 6.10b. Z těchto kombinací je potom vybrána největší hodnota zatížení, ze které se dále počítají vnitřní síly na konstrukci.

Na mezní stav použitelnosti jsou vypočítány charakteristická, častá a kvazistálá kombinace zatížení, které jsou vypočítány dle rovnic 6.14b, 6.15b a 6.16b. Vnitřní síly na konstrukci jsou poté vypočteny pro všechny tři kombinace zatížení.

➤ Součinitelé zatížení do kombinací dle ČSN EN 1990:

nepříznivé zatížení	$\gamma_{G,j} = 1,35$
příznivé zatížení	$\gamma_{G,j} = 1,00$
nepříznivé	$\gamma_{Q,1} = 1,5$
příznivé	$\gamma_{Q,1} = 1,00$

Zatížení sněhem:	$\psi_0 = 0,5$	$\psi_1 = 0,2$	$\psi_2 = 0$
Zatížení větrem:	$\psi_0 = 0,6$	$\psi_1 = 0,2$	$\psi_2 = 0$

Redukční součinitel stálého zatížení	$\xi = 0,85$
--------------------------------------	--------------

7 Výpočet vnitřních sil

Vnitřní síly na vazníku jsou spočítány nejprve ručním výpočtem a poté byl pro kontrolu vytvořen také statický model v programu Scia Engineer. Výsledky z ručního výpočtu a z programu jsou srovnány v přehledné tabulce ve statickém výpočtu.

Maximální rozdíl v porovnání těchto dvou metod činí 17,7 %. Tento rozdíl mohl vzniknout například tím, že v ručním výpočtu byly, při počítání zatížení od vlastní tíhy vazníku, zanedbány vylehčovací otvory a tvar tohoto zatížení byl zjednodušen. Vnitřní síly z ručního výpočtu vycházejí ve všech kombinacích o něco větší než vnitřní síly z programu Scia Engineer.

Dále v posudku jsou použity výsledky z ručního výpočtu, výsledky z programu sloužily jen pro kontrolu.

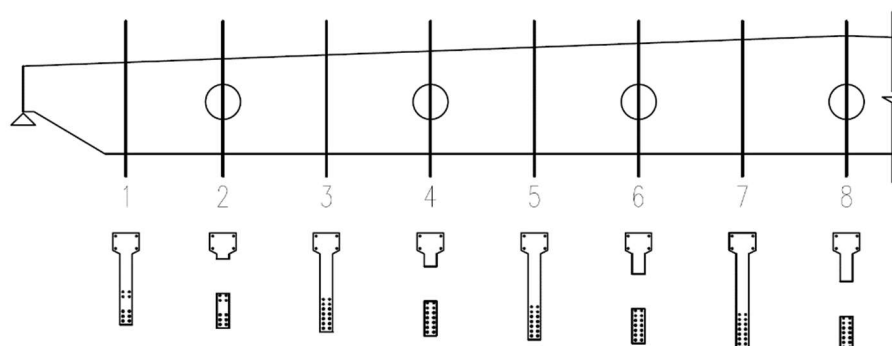
8 Posouzení na mezní stav únosnosti

8.1 Ohyb

Statickým výpočtem konstrukce na ohybovou únosnost bylo zjištěno, že konstrukce ve všech vyšetřovaných řezech vyhovuje.

Největší moment vzniká na vazníku v polovině rozpětí, kde činí $M_{Ed} = 4215,3 \text{ kNm}$. V tomto místě je proveden podrobný výpočet. Moment na mezi únosnosti vyšel v tomto průřezu $M_{Rd} = 4290,3 \text{ kNm}$, tedy průřez vyhoví a je využitý na 98,3 %.

Výsledky ostatních průřezů jsou uvedeny v přehledných tabulkách.



Obr. 5 Průřezy pro výpočet ohybu

Průřez	A_{s1}	A_{s2}	A_{cc}	d_1	d_2	d	λ_x	x	a_{cc}
1	0,005	0,0015	0,09	0,212	0,135	1,108	0,238	0,298	0,119
2	0,005	0,0015	0,09	0,212	0,135	1,160	0,238	0,298	0,119
3	0,008	0,0015	0,135	0,238	0,135	1,189	0,442	0,553	0,187
4	0,008	0,0015	0,135	0,238	0,135	1,244	0,442	0,553	0,187
5	0,008	0,0015	0,135	0,238	0,135	1,299	0,442	0,553	0,187
6	0,008	0,0015	0,135	0,238	0,135	1,355	0,442	0,553	0,187
7	0,008	0,0015	0,135	0,238	0,135	1,410	0,442	0,553	0,187
8	0,008	0,0015	0,135	0,238	0,135	1,462	0,442	0,553	0,187

Tab. 1 Výsledky posouzení na ohyb 1

Průřez	z_c	z_s	F_c	F_{s2}	M_{Rd}	M_{Ed}	Posouzení	Využití
1	0,989	0,973	1808,8	460,8	2237,2	905,5	VYHOVUJE	40,47%
2	1,041	1,025	1808,8	460,8	2355,2	1790,7	VYHOVUJE	76,03%
3	1,002	1,054	2692,6	646,0	3378,9	2471,9	VYHOVUJE	73,16%
4	1,057	1,109	2692,6	646,0	3562,5	3129,2	VYHOVUJE	87,84%
5	1,112	1,164	2692,6	646,0	3746,1	3545,3	VYHOVUJE	94,64%
6	1,168	1,22	2692,6	646,0	3942,3	3937,4	VYHOVUJE	99,88%
7	1,223	1,275	2692,6	646,0	4116,7	4088,3	VYHOVUJE	99,31%
8	1,275	1,327	2692,6	646,0	4290,3	4215,3	VYHOVUJE	98,25%

Tab. 2: Výsledky posouzení na ohyb 2

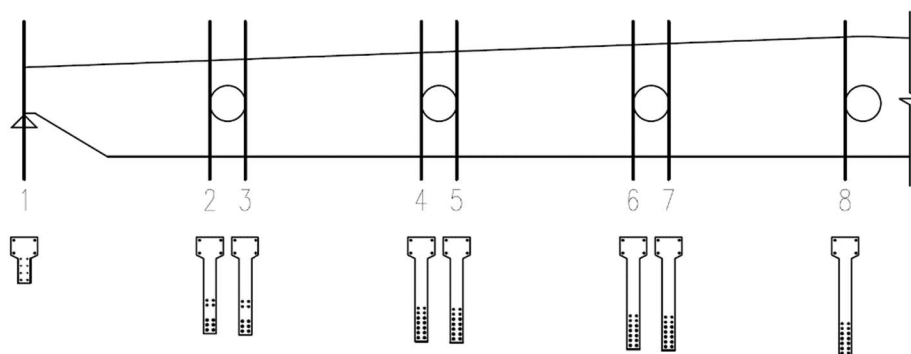
8.2 Smyk

Statickým výpočtem konstrukce na smykovou únosnost bylo zjištěno, že konstrukce v několika průřezích nevyhovuje.

Největší posouvající síla je v místě podpory vazníku a činí $V_{Ed} = 634,0 \text{ kN}$. V tomto řezu je provedený podrobný výpočet. Posouvající síla na mezi únosnosti vyšla $V_{Rd} = 298,5 \text{ kN}$, tedy průřez nevyhoví, je využitý na 212,40 %.

Výsledky ostatních řezů jsou uvedeny v přehledné tabulce. Průřez vyhoví až v řezu č.4.

Smyk tedy musíme zohlednit při návrhu zesílení konstrukce.



Obr. 6 Průřezy pro výpočet smyku

Průřez	b_w	d	z	A_{sw}	s	$V_{Rd,max}$	$V_{Rd,s}$	V_{Rd}	V_{ed}	Posouzení	Využití
1	0,180	0,506	0,455	0,000101	0,075	298,5	666,6	298,5	634,0	NEVYHOVÍ	212,40%
2	0,180	1,151	1,036	0,000101	0,300	679,0	379,1	379,1	606,4	NEVYHOVÍ	159,97%
3	0,180	1,169	1,052	0,000101	0,300	689,6	385,0	385,0	461,4	NEVYHOVÍ	119,84%
4	0,180	1,235	1,112	0,000101	0,300	728,5	406,7	406,7	428,4	NEVYHOVÍ	105,32%
5	0,180	1,253	1,128	0,000101	0,300	739,1	412,7	412,7	283,4	VYHOVÍ	68,67%
6	0,180	1,345	1,211	0,000101	0,300	793,4	443,0	443,0	250,5	VYHOVÍ	56,55%
7	0,180	1,364	1,228	0,000101	0,300	804,6	449,2	449,2	105,5	VYHOVÍ	23,48%
8	0,180	1,456	1,310	0,000101	0,300	858,9	479,5	479,5	72,5	VYHOVÍ	15,12%

Tab. 3 Výsledky posouzení na smyk

9 Posouzení na mezní stav použitelnosti

Kromě důkazu únosnosti konstrukce při působení mezního stavu musíme též zajistit bezpečnost s ohledem na bezproblémovou funkčnost konstrukce. Tímto posouzením dokazujeme bezproblémovou funkčnost konstrukce po celou dobu její životnosti, estetickou stabilitu a eliminaci velkých průhybů a vzniku trhlin.

9.1 Omezení napětí

Posouzení vazníku na omezení napětí je provedeno ve vzdálenosti $l = 10,38$ m, protože v tomto místě vazník nemá otvor a zároveň má jeden z největších momentů.

Nejdříve jsou vypočítány veličiny pro průřez bez trhliny, ale jelikož vyjde moment při vzniku trhliny menší než moment při charakteristické kombinaci zatížení, trhliny vznikají, a proto se musí spočítat průřez s trhlinou a tlačnou částí.

Tahové napětí ve výztuži musí být menší než $0,8 * f_{yk} = 400$ MPa, což vyhoví, protože vypočítané tahové napětí je $\sigma_s = 382,2$ MPa.

Tlakové napětí v betonu musí být menší než $0,6 * f_{ck} = 18$ MPa, což nevyhoví, protože vypočítané tlakové napětí je $\sigma_c = 36,4$ MPa.

Tlakové napětí tedy musíme zohlednit při návrhu zesílení konstrukce.

9.2 Šířka trhlin

Posouzení na mezní šířku trhlin je provedeno ve stejném průřezu, jako bylo posuzováno omezení napětí, tedy ve vzdálenosti $l = 10,38$ m.

Trhliny posuzujeme dvěma způsoby, jednou bereme šířku trhlin z vypočítané vzdálenosti $s_{r,max}$ a podruhé bereme šířku trhlin ze vzdálenosti třmínků. V obou případech musí být šířka trhlin menší, než doporučená šířka trhlin $w_{max} = 0,3$ mm. V prvním případě šířka trhlin vyhoví, avšak ve druhém případě, kdy bereme šířku trhlin ze vzdálenosti třmínků, nevyhoví o 0,04 mm.

Šířku trhlin tedy musíme zohlednit při návrhu zesílení konstrukce.

9.3 Přetvoření

Mezní stav přetvoření je spočítán uprostřed vazníku. Nejprve je ověřena podmínka ohybové štíhlosti a jelikož tato podmínka nevyhoví je nutné spočítat průhyb.

Průhyb je spočítán Mohrovou metodou a jsou do něj započítány účinky dotvarování. Maximální možný průhyb je $\frac{1}{250} * L$, což činí 0,095 m. Tato podmínka je splněna, jelikož vypočítaný průhyb činí 0,094 m.

10. Zesílení konstrukce

Protože nevyhovělo posouzení na smyk, omezení napětí a šířka trhlin je nutné provést vhodné zesílení konstrukce. Jako nejvhodnější způsob zesílení bylo zvoleno zajištění předpínacími lany.

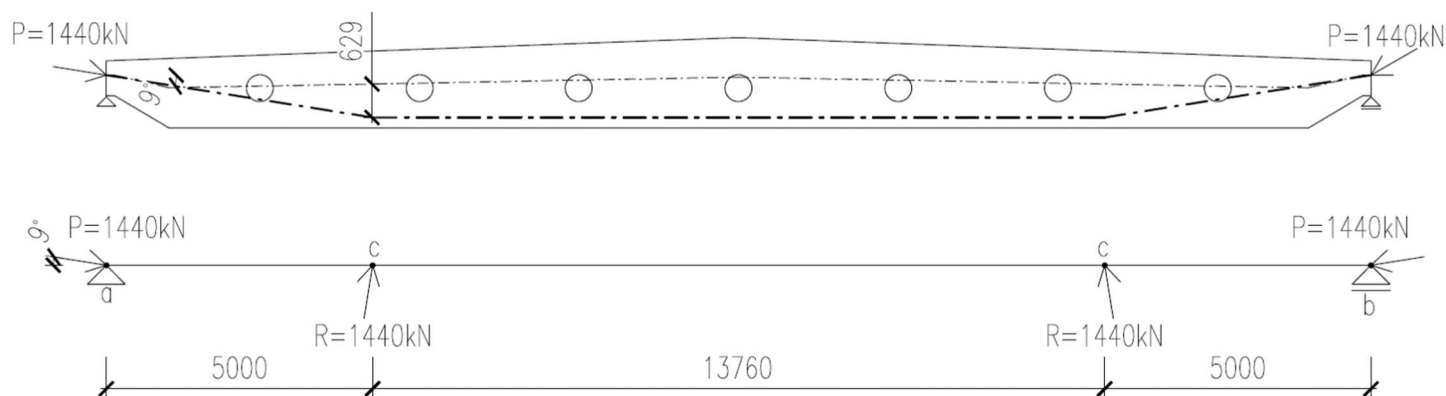
Konstrukce bude zesílena sedmidrátovými lany MonoStrand Ø15,7 mm s jmenovitou pevností v tahu 1860 MPa. Na vazník bude použito 8 lan, každé napnuté na 200 kN, tedy síla od všech osmi lan činí 1600 kN. Ztráty jsou zjednodušeně uvažovány 10%, výsledná síla od předpětí se ztrátami je tedy

1440 kN. Lana budou vedena podél vazníku z obou stran, na každé straně vazníku budou tedy 4 lana. Kotvení předpínací výztuže nebylo součástí bakalářské práce.

➤ Předpínací výztuž Y1860 S7 – 15,7

$f_{pk} = 1860 \text{ MPa}$
 $f_{p0,1k} = 1640 \text{ MPa}$
 $E_p = 195 \text{ GPa}$
 $\varnothing = 15,7 \text{ mm}$
 $A_p = 150 \text{ mm}^2$

charakteristická pevnost v tahu
 charakteristická smluvní mez kluzu 0,1 %
 modul pružnosti
 průměr jednoho lana
 plocha jednoho lana



Obr. 7 Schéma dráhy kabelu

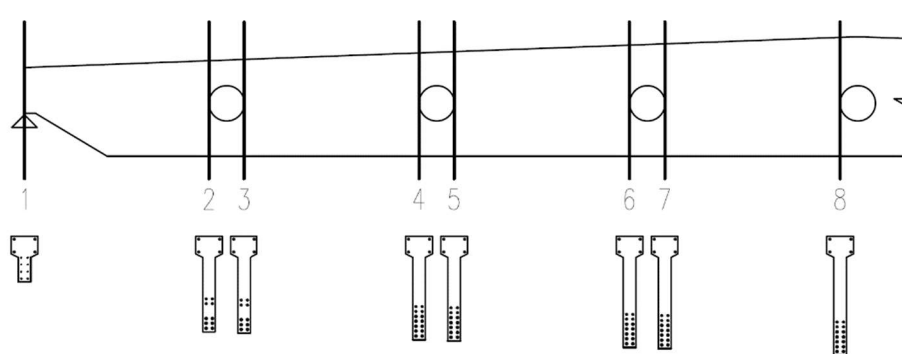
10.1 Nové posouzení konstrukce

10.1.1 Smyk

Po zesílení konstrukce smyková únosnost vyhoví ve všech řezech.

Největší posouvající síla vznikne v místě podpory vazníku a činí $V_{Ed} = 408,7 \text{ kN}$. V tomto řezu je provedený podrobný výpočet. Posouvající síla na mezi únosnosti po přidání přídatku od předpětí vyšla $V_{Rd} = 298,5 \text{ kN}$, tedy průřez vyhoví, je využitý na 99,32 %.

Výsledky ostatních řezů jsou uvedeny v přehledné tabulce.



Obr. 8 Průřezy pro výpočet smyku

Průřez	k_1	N_{Ed}	A_c	σ_{cp}	b_w	d	$V_{Rd,P}$	$V_{Rd,1}$	V_{Rd}	V_{Ed}	Posouzení	Využití
1	0,15	1422,3	0,172	8,269	0,180	0,506	112,97	298,5	411,5	408,7	VYHOVÍ	99,33%
2	0,15	1422,3	0,300	4,736	0,180	1,151	147,17	379,1	526,3	382,8	VYHOVÍ	72,74%
3	0,15	1422,3	0,304	4,685	0,180	1,169	147,88	385,0	532,9	237,8	VYHOVÍ	44,63%
4	0,15	1440,0	0,320	4,498	0,180	1,235	149,99	406,7	556,7	431,5	VYHOVÍ	77,51%
5	0,15	1440,0	0,323	4,453	0,180	1,253	150,65	412,7	563,3	286,6	VYHOVÍ	50,87%
6	0,15	1440,0	0,340	4,236	0,180	1,345	153,83	443,0	596,8	253,0	VYHOVÍ	42,39%
7	0,15	1440,0	0,343	4,194	0,180	1,364	154,45	449,2	603,7	108,0	VYHOVÍ	17,89%
8	0,15	1440,0	0,360	4,001	0,180	1,456	157,28	479,5	636,8	72,5	VYHOVÍ	11,39%

Tab. 4 Výsledky posouzení na smyk po předepnutí konstrukce

10.1.2 Omezení napětí

Výpočet posouzení je proveden ve stejném průřezu, ve kterém bylo provedeno posouzení omezení napětí bez předpětí, tedy ve vzdálenosti $l = 10,38$ m.

Omezení tlakových napětí v betonu musí být menší než $0,6 * f_{ck} = 18$ MPa. Vypočtené napětí po přidání přídatku od předpětí činí $\sigma_c = 20,3$ MPa.

Tlakové napětí v betonu se po zesílení konstrukce výrazně snížilo, avšak stále nevyhoví na normový požadavek. Omezení napětí v betonu je důležité, kvůli vzniku podélných trhlin v betonu. Jelikož napětí v betonu je i po zesílení konstrukce stále asi o 2 MPa větší, než je dovoleno, je majiteli konstrukce doporučeno opatřit konstrukci flexibilním ochranným nátěrem kvůli možnému vzniku podélných trhlin. Odchylka od normového požadavku je však malá a vzhledem ke stáří konstrukce a nepřesnostem výpočtu je možné ji zanedbat.

10.1.3 Šířka trhlin

Výpočet posouzení je proveden ve stejném průřezu, ve kterém bylo provedeno posouzení šířky trhlin bez předpětí, tedy ve vzdálenosti $l = 10,38$ m.

Nové posouzení je provedeno v případě, kdy bereme šířku trhlin ze vzdálenosti třmínků. Šířka trhlin po přidání přídatku od předpětí činí $0,147$ mm, což je menší než doporučená šířka trhlin $w_{max} = 0,3$ mm. Šířka trhlin po zesílení konstrukce vyhoví.

11. Průvodní zpráva statickým výpočtem

Průvodní zpráva je součástí statického výpočtu.

12. Závěr

V rámci této bakalářské práce byl železobetonový střešní vazník v průmyslové hale, na kterém se začaly objevovat trhliny, přepočítán na mezní stav únosnosti i mezní stav použitelnosti podle současně platné legislativy. Jelikož vazník nevyhověl na smykovou únosnost a mezní stav omezení napětí, bylo navrženo řešení zesílením vazníku předpínacími lany. Návrh zesílení konstrukce osmi sedmidrátovými lany MonoStrand Ø15,7 mm byl zvolen vhodně, protože bylo docíleno toho, že vazník po této úpravě vyhoví na téměř všechny posudky. Nevyhoví pouze na omezení napětí, které má odchylku od normového požadavku 12,8 %. Vzhledem ke stáří konstrukce a nepřesnostem výpočtu však můžeme tuto odchylku zanedbat. Majiteli je doporučeno opatřit konstrukci flexibilním ochranným nátěrem kvůli možnému vzniku podélných trhlin.

13. Podklady pro zhotovení projektu

13.1 Výkresová dokumentace

Výkres č. 1 - Schéma průmyslové haly

Výkres č. 2 - Výkres výztuže vazníku 1

Výkres č. 3 - Výkres výztuže vazníku 2

13.2 Literatura

[1] ČSN EN 1990. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*, Praha: ČNI, 2004.

[2] ČSN EN 1991-1-1. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*, Praha: ČNI, 2004

[3] ČSN EN 1991-1-1. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*, Praha: ČNI, 2005, ZI 10/2006

[4] ČSN EN 1991-1-1. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení větrem*, Praha: ČNI, 2007, Oprava 10/2006

[5] ČSN EN 1991-1-1. *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*, Praha: ČNI, 2005

[6] PROCHÁZKA, Jaroslav a kol. *Navrhování betonových konstrukcí podle EN 1992-1-1 (Eurokódu 2) – Sbírka příkladů*. Praha, 2010.

[7] ZICH, Miloš. *Příklady posouzení betonových prvků dle eurokódů*. Praha: Dashöfer, 2010.

[8] NAVRÁTIL, Jaroslav a ZICH, Miloš. *Předpjatý beton*. Brno: VUT v Brně, 2006

[8] NAVRÁTIL, Jaroslav. *Předpjaté betonové konstrukce*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008

[9] ŠVAŘÍČKOVÁ, Ivana. *Pomůcky do cvičení [online]*. Dostupné z: <https://vutbr.sharepoint.com/sites/Svarickova/SitePages/V%C3%BDuka.aspx>

13.3 Použité programy

- AutoCAD 2018
- SCIA Engineer 19
- Microsoft office WORD
- Microsoft office EXCEL

14. Seznam příloh

- P1 Použité podklady
- P1.1. Schéma průmyslové haly
 - P1.2. Výkres výztuže vazníku 1
 - P1.2. Výkres výztuže vazníku 2
- P2 Výkresová dokumentace
- P2.1. Výkres sestavy dílců M 1:200
 - P2.2. Výkres betonářské výztuže M 1:50
 - P2.3. Výkres předpínací výztuže M 1:100
- P3 Statický výpočet