

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta stavební
katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Bakalářská práce
Nosníky KMT PERI



Autor práce: Natálie Štefanovičová
Vedoucí práce: doc.Dr.Ing. Jakub Dolejš

Praha 2018



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Štefanovičová Jméno: Natálie Osobní číslo: 440772

Zadávací katedra: K134

Studijní program: Stavitelství

Studijní obor: R

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Nosníky KMT PERI

Název bakalářské práce anglicky: KMT PERI Beams

Pokyny pro vypracování:
předány osobně

Seznam doporučené literatury:
předán osobně

Jméno vedoucího bakalářské práce: J. Dolejš

Datum zadání bakalářské práce: 19.2.2018

Termín odevzdání bakalářské práce: 27.5.2018

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

19.2.2018

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Natálie Štefanovičová

Poděkování:

Chtěla bych poděkovat panu doc. Dr. Ing. Dolejšovi za pomoc s výběrem tématu mé práce, a za to, že mi jako vedoucí bakalářské práce byl vždy nápomocen a mohla jsem se ho kdykoliv zeptat na to, co mi ne vždy bylo jasné.

ANOTACE

Cílem této práce je posudek ocelové podpěrné konstrukce, která je používána v praxi především pro zvedání mostních konstrukcí.

Obsahem je ruční výpočet částí konstrukce pro mezní stavy únosnosti, který je proveden podle evropských norem zavedených do českých norem ČSN EN, a namodelování výpočtového modelu v programu SciaEngineer pro následné posouzení.

The aim of this work is to assessment the steel supporting structure, which is used in practice mainly for lifting of bridge structures.

Work includes manual calculation of parts of the structure for the limit state of load capacity, which is done according to european standarts introduced to Czech standarts. And modeling of the computational model for assessment in static software SciaEngineer.

Klíčová slova

Ocelová podpěrná konstrukce
Zvedání mostů
Výpočet konstrukce
SciaEngineer
Posouzení konstrukce

Steel supporting structure
Lifting bridges
Calculation of construction
Scia Engineer
Design review

Nosníky KMT PERI

KMT PERI Beams

OBSAH:

1. ÚVOD:	1
2. CÍL	2
3. O KONSTRUKCI	3
4. VÝPOČET	6
4.1 CHARAKTERISTIKY A SOUČINITELÉ	6
4.1.1 <i>Materiálové charakteristiky</i>	6
4.1.2 <i>Součinitelé zatížení</i>	6
4.1.3 <i>Součinitelé spolehlivosti</i>	6
4.2 PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY HEB 300	6
4.2.1 <i>Tabulkové průřezové charakteristiky</i>	6
4.2.2 <i>Oslabený průřez</i>	7
4.2.3 <i>Průřezové charakteristiky oslabeného průřezu:</i>	8
4.3 TAHOVÁ ÚNOSNOST HEB 300	8
4.4 TLAKOVÁ ÚNOSNOST HEB 300	9
4.4.1 <i>Únosnost se zanedbáním vzpěru</i>	9
4.4.2 <i>Vzpěrná únosnost</i>	9
4.5 OHYBOVÁ ÚNOSNOST:	13
4.6 SMYKOVÁ ÚNOSNOST:	17
4.7 INTERAKCE N+M.....	17
4.8 PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY HEB 160	18
4.8.1 <i>Tabulkové charakteristiky</i>	18
4.8.2 <i>Skutečná plocha průřezu</i>	19
4.8.3 <i>Skutečné průřezové charakteristiky</i>	19
4.9 TAHOVÁ ÚNOSNOST DIAGONÁLY	19
4.10 TLAKOVÁ ÚNOSNOST	19
4.10.1 <i>Únosnost se zanedbáním vzpěru</i>	19
4.10.2 <i>Vzpěrná únosnost</i>	19
4.11 OHYBOVÁ ÚNOSNOST:	20
4.12 SMYKOVÁ ÚNOSNOST:	21
4.13 INTERAKCE N+M:	21
4.14 POSOUZENÍ ČEPOVÉHO SPOJE:	21
4.14.1 <i>Únosnost čepu ve stříhu</i>	22
4.14.2 <i>Únosnost plechu v otláčení</i>	22
4.14.3 <i>Únosnost čepu v ohybu</i>	23
4.14.4 <i>Kombinace stříh a ohyb</i>	24
4.15 POSOUZENÍ SVARŮ	24
5. ZATÍŽENÍ KONSTRUKCE	26
5.1 ZATÍŽENÍ BODOVÉ	27
5.1.1 <i>Podpory ve styčnicích</i>	27
5.1.2 <i>Podpory mimo styčnick</i>	31
5.1.3 <i>Nesouměrné podpory</i>	32
5.1.4 <i>Podpory ve styčnicích II - převislé konce</i>	34
5.2 SPOJITÉ ZATÍŽENÍ	35
5.2.1 <i>Podpory ve styčnicích</i>	35
5.2.2 <i>Podpory mimo styčnick</i>	37
5.2.3 <i>Nesouměrné podpory</i>	39
5.2.4 <i>Podpory ve styčnicích II – převislé konce</i>	40
6. VYHODNOCENÍ NOSNÍKŮ	41
7. NOSNÍK 24 METRŮ	42
7.1 BODOVÉ ZATÍŽENÍ	42

7.2 SPOJITÉ ZATÍŽENÍ:	43
8. ZÁVĚR:	45
9. PŘÍLOHY:	47
10. SEZNAM OBRÁZKŮ:	51
11. SEZNAM ZDROJŮ	53

1. Úvod:

Jako svou bakalářskou práci jsem si vybrala konstrukci, která se využívá v praxi a jejímž autorem je firma PERI. Obsahem této práce bude menší studie zatížitelnosti konstrukce. Jelikož se konstrukce v praxi normálně používá, nebudu žádné věci navrhovat či měnit a budu pracovat s podklady, které mi poskytly firmy Peri a MTEC Slaný.

Chtěla bych tu odůvodnit, proč jsem si vybrala právě toto téma.

Na fakultě jsem studovala nový studijní obor s názvem Realizace pozemních a inženýrských staveb, kde jsem zabrousila do velké škály stavebních oborů. Za dobu mého studia jsem se několikrát setkala s tím, že spousta přednášejících nevěděla, že někoho z oboru stavitelství učí, natož že takový obor existuje. Již od začátku mne zajímaly předměty, kde se řešila statika. Proto jsem začala dobrovolně navštěvovat předměty, kde jsem získala základní znalosti ze statického softwaru. A právě tyto znalosti chci ve své práci nějak uplatnit. Jelikož se jen přeci v názvu mého oboru objevuje slovo "Realizace", tak to nabádalo k tomu, aby téma mělo s realizací staveb alespoň něco společného. Myslím si, že vybraná podpěrná ocelová konstrukce právě toto kritérium splnila. S výběrem tohoto tématu mi pomohl pan docent Dolejš. Tímto bych mu chtěla ještě jednou poděkovat, jelikož jsem pracovala na něčem, co mě zajímalo a bavilo.

2. Cíl

Cílem mé práce by mělo být posouzení konstrukce.

Přemýšlela jsem jak to celé pojmout. Konstrukci jsem v praxi neviděla a proto jsem se musela vyptávat, jak vlastně funguje.

Jelikož jsem stavbu párkrát navštívila a viděla, jak to tam funguje, přišlo mi na místě namodelovat různé stavy, které mohou v praxi nastat. Při různých variantách, které jsem pro sebe vytvořila, jsem jako tím stěžejním stavem shledala podepření konstrukce.

Chci v práci poukázat na to, jakou roli hraje instalace konstrukce (umístění podepření), a že by se na tuto skutečnost měl brát větší zřetel.

Proto doufám, že výsledky, které dostanu budou poukazovat na to, jak je tato věc na stavbě důležitá.

Doufám, že právě tyto výsledky budou alespoň trochu zajímavé a dokážu docílit cíle, který jsem si zadala.

3. O konstrukci

Příhradový nosník KMT je druh podpěrné konstrukce, která se uplatní při manipulaci s mostními konstrukcemi.

Konstrukce se skládá ze dvou příhradových nosníků. Nosník má horní a dolní pás tvořen válcovanými profily HEB 300. Mezi těmito pásy jsou přivařené válcované diagonály HEB160. Nosník má různou variabilitu, jelikož se vyrábí v délce 4, 7 a 12 m. Tyto nosníky se dají k sobě libovolně spojovat díky připevněným plechům na začátku a na konci horního i dolního pasu. Na "začátku", nalevo, se nacházejí tři plechy, které se zasunou vždy do koncových dvou plechů, které jsou vždy napravo, předcházejícího nosníku. Díky tomu nám tu vznikají tyto různé kombinace, a tím i celkové různé délky nosníku, s kterými se dá pracovat.

Jak už bylo řečeno na začátku, konstrukce se skládá ze dvou těchto nosníků. K nosníkům jsou připevněna ztužidla, která brání účinkům vodorovným sil, a také zkracují vzpěrnou délku pásu HEB.

Kvůli tomuto se v horní i dolní pásnici pásu HEB nachází vždy dvojice otvorů pro šrouby o průměru 25 mm. Osová vzdálenost těchto dvojic je 120 mm.

Vzdálenost mezi jednotlivými otvory pro šrouby v pásnici je 250 mm.

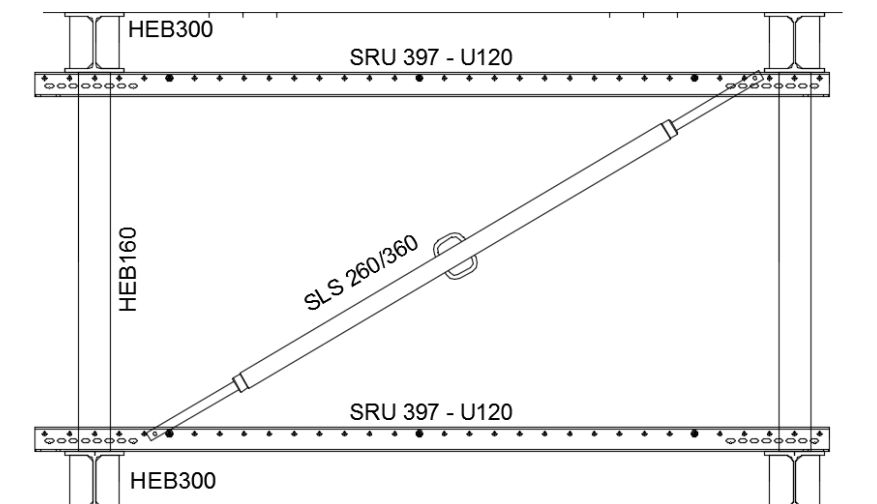
K pásům se díky těmto šroubům dá připevnit, již zmíněné, ztužidlo - ocelová závora SRU U120". Tento prvek je také přímo výrobek firmy Peri a je znázorněn na obrázku níže.

- hmotnost $G = 28,6 \text{ kg/m}$, díky tomu mohu určit vlastní tíhu závory, která se roznáší na pásy.

- průřezová plocha $A = 34,0 \text{ cm}^2$

Tato závora má také v sobě otvory, tentokrát po 125 mm. Díky těmto otvorům se dá mezi dvě závory (s tím že jedna závora je u horního pásu HEB a druhá u dolního) připevnit diagonála - podpěrné vřeteno SLS 260/360. Toto vřeteno má nastavitelnou délku, od 2,6 metru do 3,6 a váží celkem 37,9 kg.

Pro lepší představu je zde přiložen výkres z projektové dokumentace, kde je přímo vidět, jak který prvek vypadá a kde je umístěn.



Obrázek 1 - Příčný řez
zdroj: Projektová dokumentace - PERI

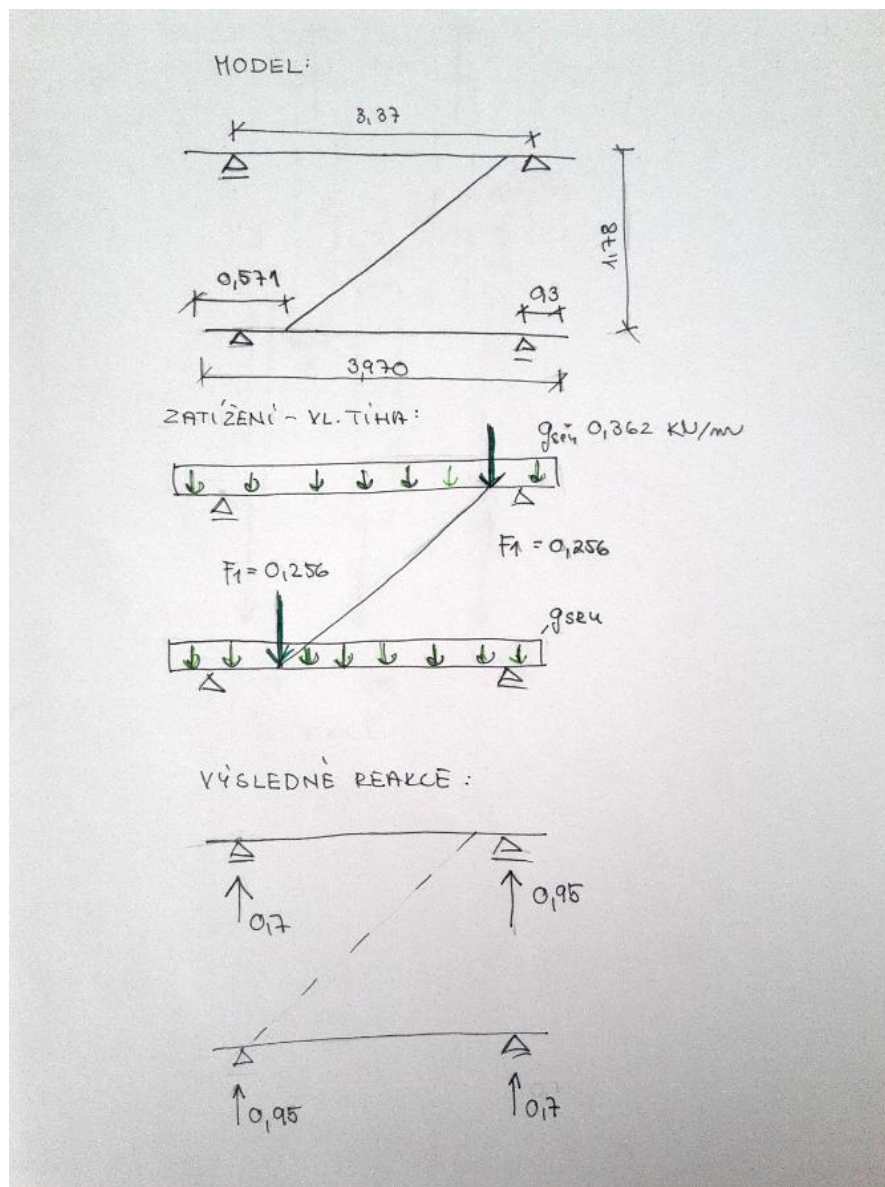
Jelikož jsem se rozhodla, že konstrukci (příhradový nosník) budu modelovat ve 2D, musím přidat zatížení od vlastní tíhy těchto ztužujících prvků - SRU a SLS. Což provedu přes, již uvedenou, vlastní tíhu prvků, kterou deklaruje výrobce.

Závora SRU má vlastní hmotnost $G = 26,8 \text{ kg/m}$, což při převodu na sílu g_{SRU} bude 268 N/m , či-li $0,268 \text{ kN/m}$. Jelikož zatížení je stálé, tak ho ještě vynásobím součinitel γ_G , který má hodnotu $1,35$.

Spojitě zatížení od vlastní tíhy g_{SRU} tedy bude $= 0,268 \times 1,35 = \underline{0,362 \text{ kN/m}}$.

U vřetena SLS je uvedeno, že váží $37,9 \text{ kg}$, což je $0,379 \text{ kN}$. Při vynásobení součinitelem γ_g získáme: $0,379 \times 1,35 = 0,512 \text{ kN}$. Tato síla se roznese rovnoměrně na obě závory, takže bude na jednu působit $0,512/2 = \underline{0,256 \text{ kN}}$.

Pro lepší představu jsem doplnila tento obrázek se zatížením, a výslednými reakcemi, které budou působit na pásy HEB 300.

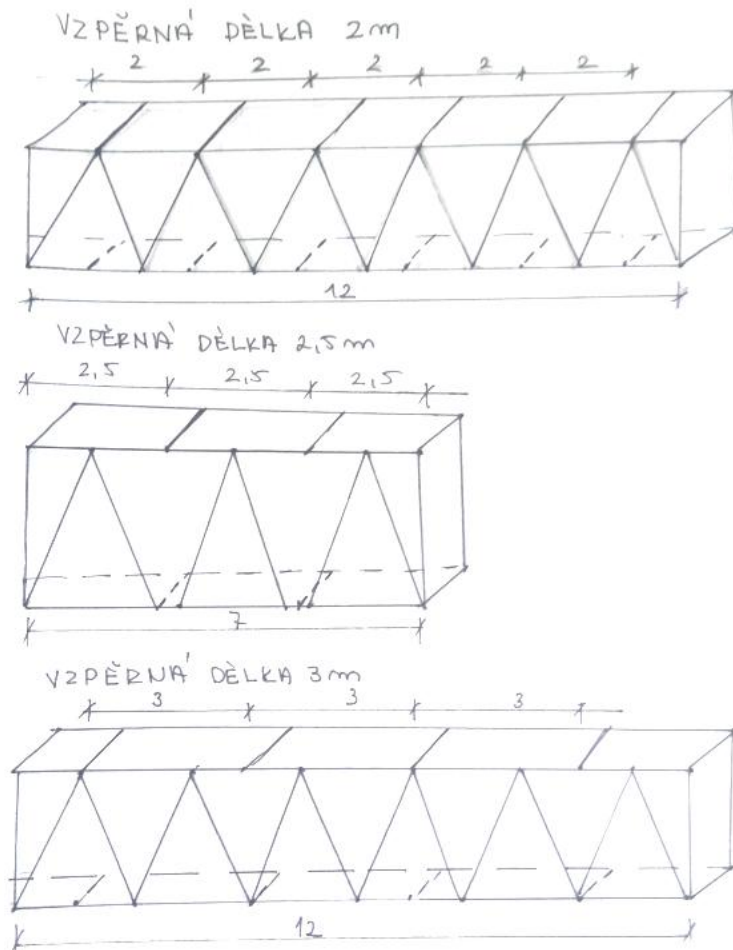


Obrázek 2 - Zatížení od ztužidel

Z obrázku je vidět, že na horní a dolní pás bude působit síla 0,7 nebo 0,95 kN. Podle toho jak bude vřeteno orientováno (zleva doprava či naopak).

Tuto sílu poté aplikuji ve svém 2D výpočtovém modelu.

Na obrázku níže jsem se snažila ukázat, jak by se ztužidla měly rozmísťovat. Dle mého názoru větší vzájemná vzdálenost mezi ztužidly není vhodná, kvůli vzpěru pásu (tlak se vzpěrem).



Obrázek 3 - Rozmístění ztužidel

K úplnému popisu konstrukce bych ještě chtěla doplnit její podepření (hlavně z důvodu, že tomu se budu ve výpočtu věnovat). Jako podpora příhrady slouží prvek HDT 440. Jde o systémový ocelový nosník profilu HEB 300. Nosník má také v pásnici 25 mm otvory pro připevnění k příhradě (pásnice pásu HEB). Díky tomu vzniká opět spousta možností, kam podporu upevnit.

Rozhodla jsem se pro čtyři varianty podepření. První bude ten, kdy je podpora u konce nosníku ve styčnicku. Druhá varianta, ta horší, bude, že je podpora uprostřed mezi dvěma styčnicku. Zbývající dvě budou kombinacemi předcházejících.

Pro lepší představu toho, jak konstrukce vypadá, slouží obrázek v příloze.

Abych tedy mohla začít zatěžovat konstrukci, a s něčím jí porovnávat, musím nejprve spočítat potřebné únosnosti příhrady.

K tomu potřebuji základní charakteristiky.

4. Výpočet

4.1 Charakteristiky a součinitelé

4.1.1 Materiálové charakteristiky

Ocel S355

$f_y = 355,0 \text{ MPa}$	mez kluzu oceli
$f_u = 510,0 \text{ MPa}$	mez pevnosti oceli
$E = 210,0 \text{ GPa}$	modul pružnosti oceli
$G = 81,0 \text{ GPa}$	modul pružnosti oceli ve smyku

30CrNiMo8v

$f_{yp} = 900,0 \text{ MPa}$	mez kluzu šroubů/čepů
$f_{up} = 1000,0 \text{ MPa}$	mez pevnosti šroubů/čepů

4.1.2 Součinitelé zatížení

γ_G	=	1,35
γ_Q	=	1,50

4.1.3 Součinitelé spolehlivosti

γ_{m0}	=	1,00
γ_{m1}	=	1,00
γ_{m2}	=	1,25
$\gamma_{m6,ser}$	=	1,00

4.2 Průřezové charakteristiky HEB 300

4.2.1 Tabulkové průřezové charakteristiky

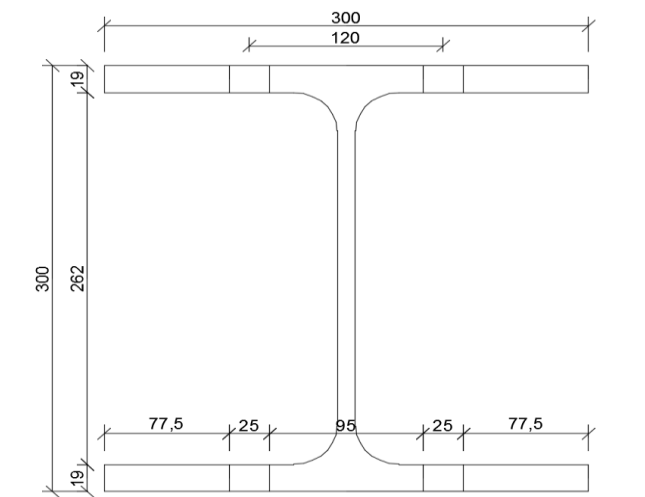
h	=	300,0 mm
b	=	300,0 mm
t_f	=	19,0 mm
t_w	=	11,0 mm
d	=	208 mm
A	=	14 910 mm ²
i_y	=	129,9 mm
i_z	=	75,8 mm

r	=	27,0 mm
h_w	=	208,0 mm
W_y	=	1 678 000 mm ³
W_z	=	570 870 mm ³
I_y	=	251,7 x 10 ⁶ mm ⁴
I_y	=	85,63 x 10 ⁶ mm ⁴
$W_{pl,y}$	=	1 869 000 mm ³
$W_{pl,z}$	=	870 100 mm ³
ss	=	33,0 mm

Hodnoty, jako jsou například průřezové moduly, budu dále upravovat.

Jelikož pro připojení příčného ztužidla jsou do pásnice vyvrtány díry o průměru 25 mm pro šrouby M24. Budu dále brát tento oslabený průřez.

4.2.2 Oslabený průřez



Obrázek 4 - Oslabená průřez

celkem jsou 4 kusy šroubů v řezu (viz obrázek), tudíž skutečná plocha bude:

Plocha šroubů:

$$A_s = d \times t_f \times 4$$

$$A_s = 0,025 \times 0,019 \times 4$$

$$A_s = 0,0019 \text{ m}^2 \rightarrow 1900 \text{ mm}^2$$

Oslabená plocha A_{net} :

$$A_{net} = A_{HEB} - A_s$$

$$A_{net} = 14910 - 1900$$

$$A_{net} = 13010 \text{ mm}^2, \text{ což je } 0,01301 \text{ m}^2$$

Pro veškeré následující výpočty, ve kterých se vyskytuje HEB300, budu jako plochu průřezu, či jako jiné průřezové charakteristiky (I, W) brát již hodnoty, které vycházejí z průřezu, který je oslabený dírami.

Což znamená, že následující $A = A_{net}$, a taktéž to platí i u ostatních veličin níže.

4.2.3 Průřezové charakteristiky oslabeného průřezu:

$$W_y = 1\,428\,400 \text{ mm}^3$$

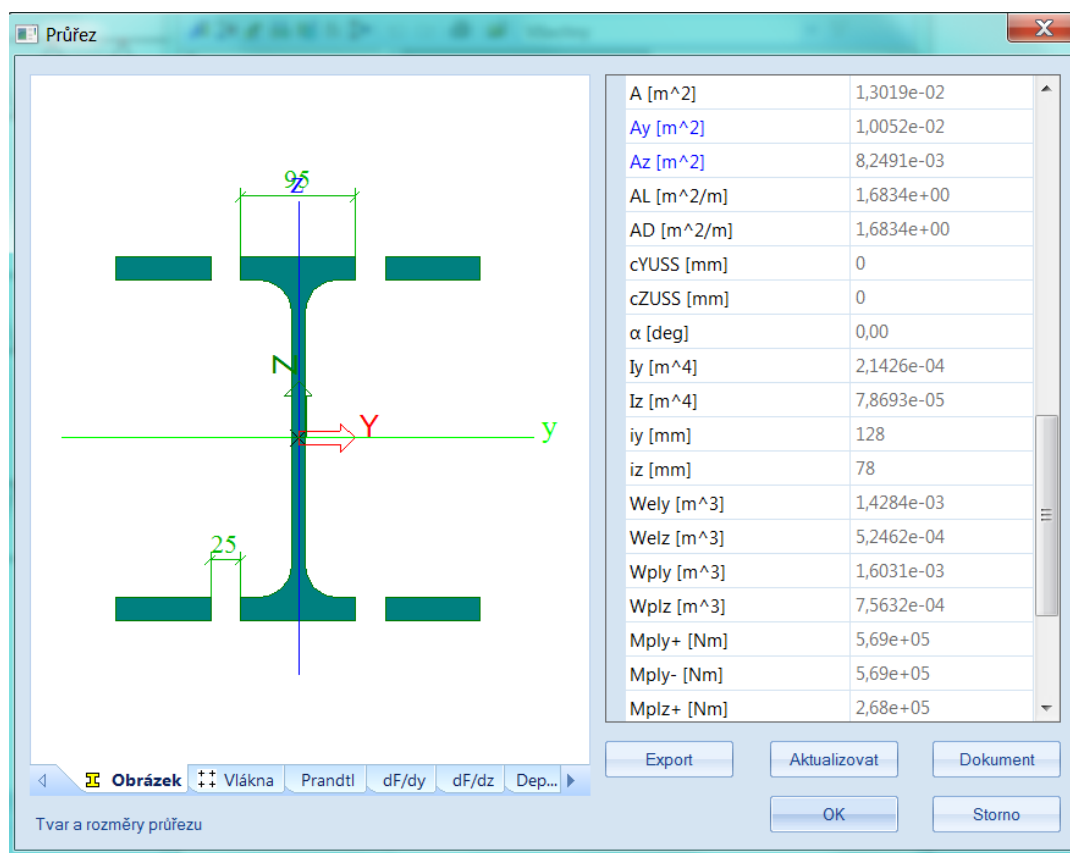
$$W_z = 524\,620 \text{ mm}^3$$

$$I_y = 214,26 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 78,693 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,y} = 1\,603\,100 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} = 756\,320 \text{ mm}^3$$



Obrázek 5 - Průřez v Scia E.

Tímto obrázkem výše, jsem pouze chtěla demonstrovat to, kde jsem k hodnotám přišla. Výpočet pochází ze softwaru Scia Engineer.

4.3 Tahová únosnost HEB 300

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{m2}}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \times 0,01301 \times 510 \times 10^3}{1,25}$$

$$N_{u,Rd} = 4777 \text{ kN}$$

4.4 Tlaková únosnost HEB 300

4.4.1 Únosnost se zanedbáním vzpěru

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,01301 \times 355 \times 10^3}{1,00}$$

$$N_{c,Rd} = 4591 \text{ kN}$$

Z důvodu účinků vzpěru se tlaková únosnost pásu bude redukovat. Záleží na vybočení v rovině a z roviny. V rovině je vzpěrná délka dána polohou diagonál HEB 160. Tato vzdálenost je 2,0 m. V příčném směru je to o něco složitější.

Pro příčná držení jsou určena, již zmíněná, ztužidla-tyče SRU (viz obrázek 1), které jsou připevněny k pasu HEB pomocí šroubů v pásnici. Díky tomu zde může vzniknout mnoho variant tohoto příčného držení.

Je jasné, že tuhost průřezu kolmo k ose z je menší, tudíž bude tedy pravděpodobně u tlakové únosnosti více záležet na, již zmíněném, příčném držení nosníku.

Pro úplný výpočet musím nejprve získat únosnost průřezu v rovině, tedy ve směru tužší osy -ve směru osy z (kolmo k y):

4.4.2 Vzpěrná únosnost

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{m1}}$$

abychom zjistili χ musíme se k němu dobrat postupným výpočtem,

Kritická síla F_{cr} :

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{EI_y}{L_{cr}^2}$$

kde I_y je $2,1426 \times 10^{-4} \text{ m}^4$

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{210 \times 10^6 \times 2,1426 \times 10^{-4}}{2,5^2}$$

$$F_{cr} = 70980,6 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost $\bar{\lambda}$:

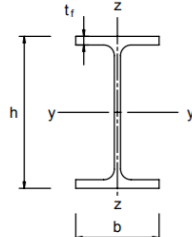
$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{F_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{0,01301 \times 355 \times 10^3}{70980,6}}$$

$$\bar{\lambda} = 0,255$$

Z $\bar{\lambda}$ a křivky vzpěrné pevnosti se zjistí potřebný součinitel χ :

Tabulka 6.2 – Přiřazení křivek vzpěrné pevnosti k průřezům

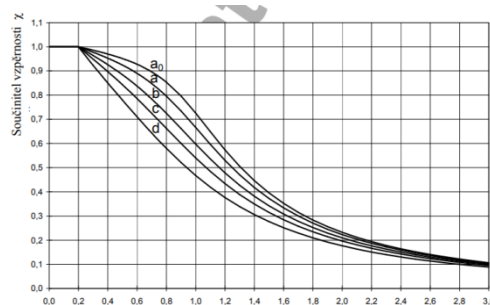
Průřez	Meze	Vybočení kolmo k ose	Křivka vzpěrné pevnosti	
			S235 S275 S355 S420	S460
	$h/b > 1,2$	y-y z-z	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	a a ₀
			$40 \text{ mm} < t_f \leq 100 \text{ mm}$	b c
	$h/b \leq 1,2$	y-y z-z	$t_f \leq 100 \text{ mm}$	b c
			$t_f > 100 \text{ mm}$	d c

Obrázek 6 - Přiřazení křivek,
zdroj: <http://people.fsv.cvut.cz/~machacek/>

Dle tabulky výše zjistíme, že se má použít křivka b, kvůli následujícím podmínkám:

- $h/b = 1$
- ocel S355
- $t_f = 19$
- vybočení kolmo k y,

Pomocí poměrné štíhlosti a křivky vzpěrné pevnosti zjistíme součinitel χ .



Obrázek 7 - Křivky vzpěrnosti
zdroj: <http://people.fsv.cvut.cz/~machacek/>

$$\chi = 0,98$$

Nyní se dá vypočítat únosnost průřezu v tlaku.

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{m1}}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,98 \times 0,01301 \times 355 \times 10^3}{1,00}$$

$$N_{c,Rd} = 4618,55 \text{ kN}$$

Vybočení z roviny (kolmo k ose z):

Jak už jsem zde uvedla, v mém výpočtu bude uvedeno více hodnot vzpěrných délek. Dopředu přesně nevíme, kam na stavbě ztužidla zrovna přimontují.

Od provozovatele konstrukce mi bylo řečeno, že maximální vzpěrná délka, tedy vzájemná vzdálenost mezi dvěma ztužidly jsou 3 metry.

Celkem výpočet provedu pro tři varianty, které jsou na mém obrázku (obrázek 3). Vzpěrné délky budou - 2; 2,5 a 3 metry.

Při vložení příčných ztužidel po 2 metrech nám tu vznikne L_{crit} 2 metry.

Vzpěrná délka 2 m:

Kritická síla F_{cr} :

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{E I_z}{L_{cr}^2}$$

kde I_z je $7,8693 \times 10^{-5} \text{ m}^4$

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{210 \times 10^6 \times 7,8693 \times 10^{-5}}{2,0^2}$$

$$F_{cr} = 40773,78 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost $\bar{\lambda}$:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{F_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{0,01301 \times 355 \times 10^3}{40773,78}}$$

$$\bar{\lambda} = 0,93$$

Z $\bar{\lambda}$ a křivky vzpěrné pevnosti se zjistí potřebný součinitel χ :

Jelikož teď počítám vybočení kolmo k ose z, musím použít křivku vzpěrné pevnosti c (viz tabulka - obrázek 6)

$$\chi = 0,93$$

Tlaková únosnost pro vzpěrnou délku 2 metry bude:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{m1}}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,93 \times 0,01301 \times 355000}{1,00}$$

$$N_{c,Rd} = 4296,74 \text{ kN}$$

Vzpěrná délka 2,5 m:

Kritická síla F_{cr} :

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{EI_z}{L_{cr}^2}$$

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{210 \times 10^6 \times 7,8693 \times 10^{-5}}{2,5^2}$$

$$F_{cr} = 26069,62 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost $\bar{\lambda}$:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{F_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{0,01301 \times 355 \times 10^3}{26069,62}}$$

$$\bar{\lambda} = 0,886$$

Z $\bar{\lambda}$ a křivky vzpěrné pevnosti se zjistí potřebný součinitel χ :

Křivku vzpěrné pevnosti beru stejnou jako u předcházejícího výpočtu, tudíž c.

$$\chi = 0,886$$

Tlaková únosnost pro vzpěrnou délku 3 metry bude:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{m1}}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,886 \times 0,01301 \times 355000}{1,00}$$

$$N_{c,Rd} = 4093 \text{ kN}$$

Vzpěrná délka 3m:

Kritická síla F_{cr} :

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{EI_z}{L_{cr}^2}$$

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{210 \times 10^6 \times 7,8693 \times 10^{-5}}{3^2}$$

$$F_{cr} = 18103,90 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost $\bar{\lambda}$:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{F_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{0,01301 \times 355 \times 10^3}{18103,9}}$$

$$\bar{\lambda} = 0,505$$

Z $\bar{\lambda}$ a křivky vzpěrné pevnosti se zjistí potřebný součinitel χ :

Křivku vzpěrné pevnosti beru stejnou jako u předchozích výpočtů, tudíž c.

$$\chi = 0,84$$

Tlaková únosnost pro vzpěrnou délku 3 metry bude:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{m1}}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,884 \times 0,01301 \times 355000}{1,00}$$

$$N_{c,Rd} = 3880,24 \text{ kN}$$

Větší vzpěrnou délku již uvažovat nebudu. Jako doporučení bude použít této maximální, a to 3 m.

4.5 Ohybová únosnost:

Nejprve se musí zjistit, zda se dají zanedbat ve výpočtu díry v tažené pásnici

$$\frac{A_{f,net} 0,9 f_u}{\gamma_{m2}} \geq \frac{A_f f_y}{\gamma_{m0}}$$

kde $A_{f,net}$ je plocha oslabené tažené pásnice

$$A_{f,net} = (b_{heb} \times t_w) - (d_{otvor} \times t_w \times 2)$$

$$A_{f,net} = 0,00475 \text{ m}^2$$

A_f je plocha tažené pásnice, tedy:

$$A_f = b_{heb} \times t_w$$

$$A_f = 0,0057 \text{ m}^2$$

$$\frac{0,00475 \times 0,9 \times 490 \times 10^3}{1,25} \geq \frac{0,0057 \times 355 \times 10^3}{1,00}$$

$$\boxed{1675,8 < 2023,5}$$

Z této podmínky vyplývá, že díry nemůžeme zanedbat.

Ohybová únosnost průřezu se spočítá jako:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl}f_y}{\gamma_{m0}}$$

Zde mohu použít, že $M_{pl,Rd} = M_{c,Rd}$, protože průřez patří do I. třídy.

Pro ověření poslouží tabulka níže, kde je vidět, že HEB 300 můžu bez problému zařadit do první třídy průřezu (obrázek 8).

5. Tabulky pro průřezy HE

Tabulka 5.1 Průřezy HEAA, HEA, HEB, HEM – S235

Průřez	Třída			Největší síla v tlaku N_{Ed} pro třídu třídy v kN			
	V tlaku	V ohybu M_y	V ohybu M_z	Třída 1	Třída 2	Třída 3	
HEAA	100	1	1	1	*		
	120	1	1	1	*		
	140	2	2	2		*	
	160	1	1	1	*		
	180	2	2	2		*	
	200	2	2	2		*	
	220 → 340	3	3	3		*	
	360	2	2	2		*	
	400	2	2	2		*	
	450	2	1	1	748	*	
	500	2	1	1	764	*	
	550	3	1	1	892	1179	*
	600	3	1	1	902	1214	*
	650	4	1	1	910	1249	4025
700	4	1	1	915	1282	4067	
800	4	1	1	930	1355	4142	
900	4	1	1	925	1413	4294	
1000	4	1	1	904	1459	4363	
HEA	100 → 500	1	1	1	*		
	550	2	1	1	1148	*	
	600	2	1	1	1163	*	
	650	3	1	1	1176	1571	*
	700	3	1	1	1332	1788	*
	800	4	1	1	1211	1699	6053
	900	4	1	1	1215	1771	6080
1000	4	1	1	1050	1640	5661	
HEB	100 → 600	1	1	1	*		
	650	2	1	1	1966	*	
	700	2	1	1	2170	*	
	800	3	1	1	2039	2703	*
	900	3	1	1	2067	2810	*
	1000	4	1	1	1889	2672	8252
HEM	100 → 800	1	1	1	*		
	900	2	1	1	3098	*	
	1000	3	1	1	2689	3646	*

Označení šrafováním a hvězdičkou * viz kapitola 2.

Obrázek 8 - Zatřídění průřezu,

zdroj: http://steel.fsv.cvut.cz/Access_Steel_CZ/SD_Tabulky/SD001a-CZ-EU.pdf

Jelikož se může stát, že nosník ztratí stabilitu (začne klopat), musí se tato skutečnost ověřit, a popřípadě zohlednit ve výpočtu.

Pokud se vznik klopení potvrdí, bude se ohybová únosnost redukovat součinitelem χ_{LT} .

A v tom případě platí tento vztah:

$$M_{c,Rd} = \chi_{Lt} \frac{W_{pl}f_y}{\gamma_{m1}}$$

Pro výpočet χ_{Lt} musím zjistit kritický Moment, při kterém ideální nosník ztratí stabilitu.

Pro dosažení výpočtu musím přidat chybějící veličiny oslabeného průřezu - I_t , I_w (pro úplnost jsou tu uvedeny i momenty setrvačnosti

$$I_y = 2,1426 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_z = 7,8693 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_t = 1,4918 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

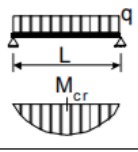
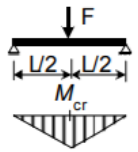
$$I_w = 4,3257 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

L délka držení jsou 2 metry, jelikož to je vzdálenost mezi diagonály HEB160.

Statický model je brán jako kloub-kloub a není bráno volné deplanaci průřezu - z toho vycházejí součinitelé k.

Jako zatížení budu brát v úvahu nejhorší možnost. A to, že se bude nacházet bodová síla uprostřed "nosníku" (viz obrázek 9). Tedy v našem případě kdekoli na pásu v polovině mezi dvěma diagonálami.

Tabulka NB.3.2 – Hodnoty součinitelů C_1 , C_2 a C_3 pro různé případy příčného zatížení v závislosti na hodnotě součinitelů k_y , k_z , k_w a součinitelů ψ_f a κ_{wt}

Zatížení a podmínky podepření	Součinitele vzpěrné délky			Hodnoty součinitelů							
	k_y	k_z	k_w	C_1 ¹⁾		C_2			C_3		
				$C_{1,0}$	$C_{1,1}$	\perp $\psi_f = -1$	I I I $-0,9 \leq \psi_f \leq 0,9$	T $\psi_f = 1$	\perp $\psi_f = -1$	I I I $-0,9 \leq \psi_f \leq 0,9$	T $\psi_f = 1$
	1	1	1	1,13	1,13	0,33	0,46	0,50	0,93	0,53	0,38
	1	1	0,5	1,13	1,23	0,33	0,39	0,50	0,93	0,81	0,38
	1	0,5	1	0,95	1,00	0,25	0,41	0,40	0,84	0,48	0,44
	1	0,5	0,5	0,95	0,97	0,25	0,31	0,40	0,84	0,67	0,44
	1	1	1	1,35	1,36	0,52	0,55	0,42	1,00	0,41	0,31
	1	1	0,5	1,35	1,45	0,52	0,58	0,42	1,00	0,67	0,31
	1	0,5	1	1,03	1,09	0,40	0,45	0,42	0,80	0,34	0,31
	1	0,5	0,5	1,03	1,07	0,40	0,44	0,42	0,80	0,52	0,31

Obrázek 9 - Součinitelé,
zdroj: <http://people.fsv.cvut.cz/~machacek/>

Z obrázku jsou vidět součinitelé, které jsem volila.

$$k_y = 1,0 ; k_z = 1,0 ; k_w = 1,0$$

$$C_1 = 1,36 ; C_2 = 0,58 ; C_3 = 0,41$$

Bezrozměrný parametr kroucení k_{wt} :

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}}$$

$$k_{wt} = \frac{\pi}{1 \times 2} \sqrt{\frac{210 \times 10^6 \times 7,8693 \times 10^{-5}}{81000 \times 10^6 \times 1,4918 \times 10^{-6}}}$$

$$k_{wt} = 1,36$$

Pro výpočet ještě potřebuji bezrozměrný kritický moment μ_{cr} :

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \left[\sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j)^2} - (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j) \right]$$

Jelikož průřez je symetrický a zatížení bude procházet středem smyku, tak součinitelé ζ budou nulové.

Ze vzorce zbude pouze:

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \sqrt{1 + k_{wt}^2}$$

$$\mu_{cr} = \frac{1,36}{1,0} \sqrt{1 + 1,36^2}$$

$$\mu_{cr} = 2,298$$

Kritický Moment bude tedy roven:

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L}$$

$$M_{cr} = 2,298 \frac{\pi \sqrt{210 \times 10^6 \times 7,8693 \times 10^{-5} \times 81000 \times 10^6 \times 1,4918 \times 10^{-6}}}{2}$$

$$M_{cr} = 5100,70 \text{ kNm}$$

Nyní se dá spočítat $\bar{\lambda}_{LT}$:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}}$$

Jelikož průřez patří do I.třídy, můžeme počítat plasticky. Čili použijeme W_{ply} , které pro průřez je $1,6031 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{1,6 \times 10^{-3} \times 355 \times 10^3}{5100,7}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = 0,334 < 0,4$$

Jelikož platí, že:

$$\bar{\lambda}_{LT} = 0,334 < 0,4$$

tak χ_{LT} se bude velmi blížit hodnotě 1. Proto by nosník neměl ztrácet stabilitu, tudíž momentovou únosnost nemusíme redukovat, kvůli klopení.

Momentová únosnost je rovna:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{m1}}$$

$$\text{kde } W_{pl} = 1,6031 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$M_{c,Rd} = \frac{1,6031 \times 10^{-3} \times 355 \times 10^3}{1,00}$$

$$M_{c,Rd} = 569,1 \text{ kNm}$$

Tato ohybová pevnost však nemusí zcela platit. Může být ještě redukována. Záleží na hodnotě posouvající síly a na smykové únosnosti průřezu. Jednoduše řečeno, zda se projeví takzvaný Malý nebo Velký smyk.

Pokud $V_{ed} < 0,5 V_{pl,Rd}$,

tedy návrhová posouvající síla bude menší, než polovina hodnoty smykové únosnosti, bude se jednat o "malý smyk". A ohybová únosnost průřezu bude hodnota $M_{c,Rd} = 596,1 \text{ kNm}$.

Pro toto ověření však musím získat smykovou únosnost.

4.6 Smyková únosnost:

Smyková únosnost průřezu, se počítá jako:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{m0}}$$

kde A_v je smyková plocha. V tomto případě plocha stojiny.

$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f \quad (\text{jako } A \text{ je použita plocha neoslabeného průřezu})$$

$$A_v = 0,01491 - (2 \times 0,3 \times 0,019) + (0,011 + 2 \times 0,027) \times 0,019$$

$$A_v = 0,004745 \text{ m}^2$$

potom,

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,004745 \left(\frac{355 \times 10^3}{\sqrt{3}}\right)}{1,00}$$

$$V_{pl,Rd} = 972,53 \text{ kN}$$

Pokud tedy V_{Ed} bude větší než $0,5 \times 972,53 = 486,27 \text{ kN}$, není možné účinek posouvající síly na únosnosti v ohybu zanedbat.

Redukovaná únosnost se stanoví z následujícího vztahu:

$$M_y = \frac{\left(W_y - \frac{\rho A_v^2}{4 t_w}\right)}{\gamma_{m0}} f_y$$

kde

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1\right)^2$$

Jelikož je průřez symetrický okolo osy y , pro posouzení lze použít vztahy výše.

Tato redukovaná únosnost závisí na návrhové posouvající síle v konstrukci. Proto je přímo závislá na výsledcích, a bude se podle toho měnit.

4.7 Interakce N+M

Posouzení interakce může být provedena až po dosažení konkrétních výsledků, neboť v ní vystupují návrhové síly - normálová a momentová.

Tímto výpočtem by byl vyřešen horní a dolní pás příhrady. Stejně veličiny potřebujeme získat i u diagonál. Proto musím provést celý výpočet znovu, ale tentokrát s jinými čísly.

4.8 Průřezové charakteristiky HEB 160

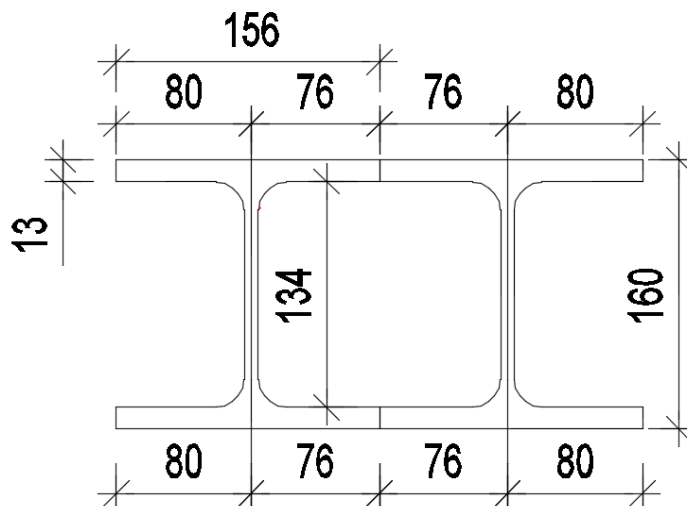
4.8.1 Tabulkové charakteristiky

h	=	160,0 mm
b	=	160,0 mm
t_f	=	13,0 mm
t_w	=	8,0 mm
d	=	104 mm
A	=	5425 mm ²
r	=	15,0 mm
W_y	=	311 500 mm ³
W_z	=	111500 mm ³
I_y	=	24,92 x 10 ⁶ mm ⁴
I_y	=	8,892 x 10 ⁶ mm ⁴
$W_{pl,y}$	=	354 000 mm ³
$W_{pl,z}$	=	170 000 mm ³

V projektové dokumentaci je vidět, že průřez je ve spoji seříznut, budu opět počítat s jinými než tabulkovými hodnotami.

Z půdorysu pasu se získá skutečný průřez v místě největšího seříznutí, přímo u pásu. S tímto oříznutím, které je přibližně 4 mm, budu počítat celou dobu, ať jsem na straně bezpečnosti.

Řez dvěma diagonálami vypadá následovně:



Obrázek 10 - Řez diagonálou

Samozřejmě budu počítat pouze s jedním průřezem.

4.8.2 Skutečná plocha průřezu

$$A = A_{\text{HEB160}} - (0,004 \times 0,013 \times 2)$$

$$A = 0,005425 - 0,000104$$

$$A = 0,00532 \text{ m}^2$$

4.8.3 Skutečné průřezové charakteristiky

Pro úplnou přesnost zde uvádím i „změněné“ momenty setrvačnosti a průřezové moduly.

$$I_y = 2,437 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_z = 8,2475 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$W_{\text{ply}} = 3,4654 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_{\text{plz}} = 1,6187 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Hodnoty taktéž pocházejí ze softwaru Scia Engineer. Elastické průřezové moduly zde již neuvádím, jelikož nejsou k výpočtu potřeba.

4.9 Tahová únosnost diagonály

$$N_{\text{pl,Rd}} = \frac{A f_y}{\gamma_{\text{m0}}}$$

$$N_{\text{pl,Rd}} = \frac{0,00532 \times 355 \times 10^3}{1,00}$$

$$N_{\text{pl,Rd}} = 1888,96 \text{ kN}$$

4.10 Tlaková únosnost

4.10.1 Únosnost se zanedbáním vzpěru

$$N_{\text{c,Rd}} = \frac{A f_y}{\gamma_{\text{m0}}}$$

$$N_{\text{c,Rd}} = \frac{0,00532 \times 355 \times 10^3}{1,00}$$

$$N_{\text{c,Rd}} = 1888,96 \text{ kN}$$

4.10.2 Vzpěrná únosnost

Délka diagonály je 2147 mm. V příhradových konstrukcích se většinou tato délka redukuje součinitelem. Jako hodnotu součinitele zvolím číslo 0,8.

Potom $L_{\text{crit}} = 0,8 \times 2,147 = 1,7176 \text{ m}$.

Jelikož vzpěrné délky jsou v obou směrech stejné, budu počítat pouze vybočení ve směru měkčí osy průřezu, a to kolmo na osu z. Vybočením kolmo k ose y se nebudu vůbec zabírat, jelikož je jasné, že tlaková únosnost v tomto směru vyjde větší.

Kritická síla F_{cr} :

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{E I_z}{L_{cr}^2}$$

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{210 \times 10^6 \times 8,2475 \times 10^{-6}}{1,7176^2}$$

$$F_{cr} = 5788,38 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost $\bar{\lambda}$:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{F_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{0,00532 \times 355 \times 10^3}{5788,38}}$$

$$\bar{\lambda} = 0,571$$

Z poměrné štíhlosti $\bar{\lambda}$ a křivky vzpěrné pevnosti se zjistí potřebný součinitel χ :

Křivku vzpěrné pevnosti beru stejnou jako u HEB300, jelikož platí stejně podmínky (křivka c).

$$\chi = 0,802$$

Tlaková únosnost pro vzpěrnou délku 1,7176 metry bude:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{m1}}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,802 \times 0,00532 \times 355 \times 10^3}{1,00}$$

$$N_{c,Rd} = 1515,48 \text{ kN}$$

4.11 Ohybová únosnost:

Stejně jako u pásu, i zde se musí ověřit, zda diagonála nebude klopit, tudíž jestli nebudeme muset redukovat její ohybovou únosnost.

Z přirozeného pohledu na věc je vidět, že diagonála je namáhaná ve směru měkčí osy, tedy ve směru osy y, což je jedna z podmínek, kdy průřez neklopí. Tudíž by nosník stabilitu ztratit neměl a únosnost redukovat součinitelem χ_{LT} .

Musí se však ověřit, jak je to se smykem. Pokud nastane malý smyk, tedy $V_{Ed} > 0,5 V_{pl,Rd}$, ohybová únosnost diagonály bude:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{plz} f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{1,6187 \times 10^{-4} \times 355 \times 10^3}{1,00}$$

$$M_{c,Rd} = 56,72 \text{ kN}$$

Pokud však podmínka výše platit nebude, ohybová únosnost diagonály bude menší než vypočtených 56,72 kN. Ale to se v našem případě nestane, jelikož konstrukce je "braná" jako příhradová konstrukce, a v diagonálách příhradových konstrukcí by žádné momenty vznikat neměly.

Pro vyhodnocení této podmínky se musí ještě dopočítat smyková únosnost diagonály.

4.12 Smyková únosnost:

Při pohledu do projektové dokumentace je vidět, že z hlediska orientace diagonál budou smykem namáhané pásnice a ne stojina.

Proto se do výpočtu musí dát plocha pásnic.

Smyková plocha:

$$A_v = 2(0,156 \times 0,013)$$

$$A_v = 0,004056 \text{ m}^2$$

Smyková únosnost $V_{pl,Rd}$ diagonál bude rovna:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{m0}}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,004056 \left(\frac{355 \times 10^3}{\sqrt{3}} \right)}{1,00}$$

$$V_{pl,Rd} = 820,66 \text{ kN}$$

Díky tomuto výsledku a vypočtené V_{Ed} posoudíme již zmíněný malý nebo velký smyk. Tedy pokud návrhová posouvající síla V_{Ed} bude větší než $0,5 \times 820,66 = 410,33 \text{ kN}$ musíme ohybovou únosnost redukovat stejně, jak bylo řečeno ve výpočtu HEB 300.

4.13 Interakce N+M:

Interakce bude řešena až u výsledků, jak již bylo zmíněno výše.

4.14 Posouzení čepového spoje:

Další důležitou částí pro posudek bude spoj. V tomto případě čep. Spoje jsou většinou slabým místem konstrukce. Tudíž se může stát, že únosnost bude záviset na tomto spoji.

Čep je vyroben z oceli 30CrNiMo8v a její pevnostní charakteristiky jsou uvedeny v samotném začátku.

Z projektové dokumentace je vidět, že čep je dutý. Vnější průměr je 100 mm a vnitřní 30.

Plocha čepu:

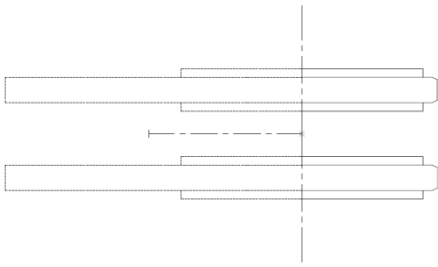
$$A = \pi r_1^2 - \pi r_2^2,$$

kde r_1 je 50 a r_2 15 mm

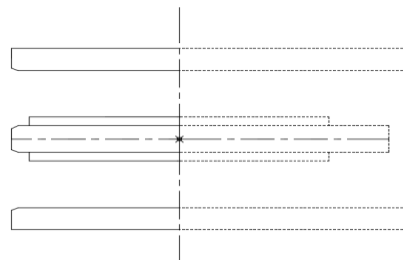
$$A = (\pi 0,05^2) - (\pi 0,015^2)$$

$$A = 0,0071435 \text{ m}^2$$

4.14.1 Únosnost čepu ve stříhu



Obrázek 12 - Půdorys plechů,
zdroj: Projektová dokumentace



Obrázek 11 - Půdorys plechů,
zdroj: Projektová dokumentace

Na obrázcích je vidět půdorys čepového spoje, tedy plechů, skrz které čep prochází.

$$F_{v,Rd} = \frac{n \cdot 0,6 \cdot A \cdot f_{up}}{\gamma_{m2}}$$

kde n je počet střížných rovin.

Z druhého obrázku je dobře vidět, že počet střížných rovin bude roven čtyřem.

Potom únosnost čepu ve stříhu bude:

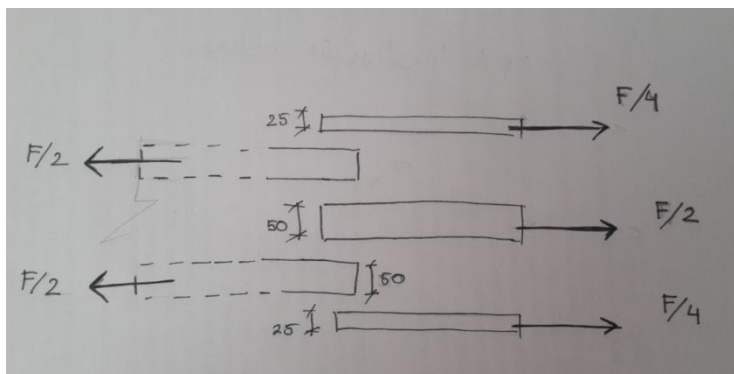
$$F_{v,Rd} = \frac{4 \times 0,6 \times 0,0071435 \times 1000 \times 10^3}{1,25}$$

$$F_{v,Rd} = 13715,52 \text{ kN}$$

4.14.2 Únosnost plechu v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot d \cdot f_y}{\gamma_{m0}}$$

Zde je to trochu složitější z hlediska výsledku. Podle tloušťky plechu se musí rozdělit síla, která jednotlivým plechem bude přenášena. Plechy mají tloušťku buď 25 mm, nebo 50 mm. Na mém náčrtku je vidět, že plech tloušťky 25 mm bude přenášet 1/4 síly F_{Ed} . U plechu 50 mm to bude 1/2 F_{Ed} .



Obrázek 13 - Síly na plechu

Pro plech tloušťky 25 mm únosnost v otláčení je:

$$F_{b,Rd25} = \frac{1,5 \times 0,025 \times 0,1 \times 355 \times 10^3}{1,00}$$

$$F_{b,Rd25} = 1331,25 \text{ kN,}$$

kde $F_{b,Rd25}$ je únosnost pro čtvrtinu návrhové normálové síly.

Tímto je dáno, že maximální vnitřní síla v čepu může být $1331,25 \times 4 = 5325 \text{ kN}$.

Splnění podmínky pro výměnný čep je,

$$F_{b,Rd,ser} = \frac{0,6 t d f_y}{\gamma_{m6,ser}}$$

$$F_{b,Rd,ser} = \frac{0,6 \times 0,025 \times 0,1 \times 355 \times 10^3}{1,00}$$

$$F_{b,Rd,ser} = 532 \text{ kN}$$

Toto opět platí pro plech tloušťky 25 mm.

Celková únosnost výměnného čepu v otláčení je tedy: $F_{b,rd,ser} = 4 \times 532 = 2128 \text{ kN}$.

Jako výsledná únosnost čepu se bude brát ta nejmenší hodnota. Což je únosnost výměnného čepu v otláčení - $F_{b,Rd,ser}$. Tedy hodnota 2128 kN.

4.14.3 Únosnost čepu v ohybu

Pro stanovení únosnosti musíme mít W_{el} čepu.

$$I_{y,čep} = \frac{\pi d^4}{64}$$

$$I_{y,čep} = \frac{\pi 0,1^4}{64} - \frac{\pi 0,03^4}{64}$$

$$I_{y,čep} = 4,87 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

Elastický průřezový modul tedy bude dán poměrem momentu setrvačnosti a vzdálenosti ke krajním vláknům.

$$W_{el} = \frac{I_y}{d/2}$$

$$W_{el} = \frac{4,87 \times 10^{-6}}{0,05}$$

$$W_{el} = 9,74 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

Ohybová únosnost tedy je:

$$M_{Rd} = \frac{1,5 W_{el} f_{yp}}{\gamma_{m0}}$$

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \times 9,74 \times 10^{-5} \times 900 \times 10^3}{1,00}$$

$$M_{Rd} = 131,46 \text{ kNm}$$

Splnění podmínky pro výměnný čep:

$$M_{Rd,ser} = \frac{0,8 W_{el} f_{yp}}{\gamma_{m6,ser}}$$

$$M_{Rd,ser} = \frac{0,8 \times 9,74 \times 10^{-4} \times 900 \times 10^3}{1,00}$$

$$M_{Rd,ser} = 70,11 \text{ kN}$$

4.14.4 Kombinace stříh a ohyb

Při posouzení musí být taktéž splněna podmínka stříhu a ohybu čepu, a to:

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 \leq 1,0$$

Opět zde záleží na výsledcích, tedy na návrhových hodnotách zatížení, které se dosadí za M_{Ed} a $F_{v,Ed}$. Za zbylé veličiny se dosadí únosnost čepu ve stříhu ($F_{v,Rd}$) a ohybová únosnost čepu (M_{Rd}).

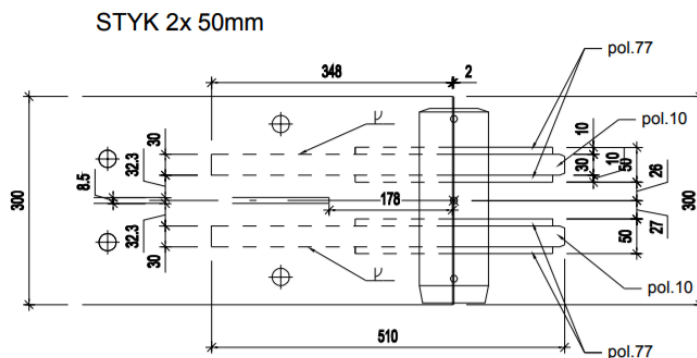
Toto ověřím dále, až dostanu konkrétní výsledky z daného zatížení, na dané konstrukci.

4.15 Posouzení svarů

Mezi další spoje pro posouzení patří svary.

Jelikož diagonály HEB160 jsou k pásu HEB300 přivařeny tupým svarem, tak tato povinnost odpadá. Tupé svary se neposuzují.

Další svařovaný spoj se nachází v oblasti čepového spoje. Jedná se o plechy, které jsou přivařené k pásu HEB 300 a je v nich otvor pro čep. Opět je tu 1/2Y svar, tudíž tupý. A proto opět nějaký výpočet odpadá (viz obrázek 14).



Obrázek 14 - Půdorys styku

Jediné místo, které se bude posuzovat, je 10 mm tlustý plech, který je přivařený právě k plechům popsaným výše. Plech je přivařen koutovým swarem. Celková délka svaru by měla být délka (obvod) tohoto plechu, která je 413,43 m.

Účinné rozměry svaru tedy jsou:

$$a = 5 \text{ mm}$$

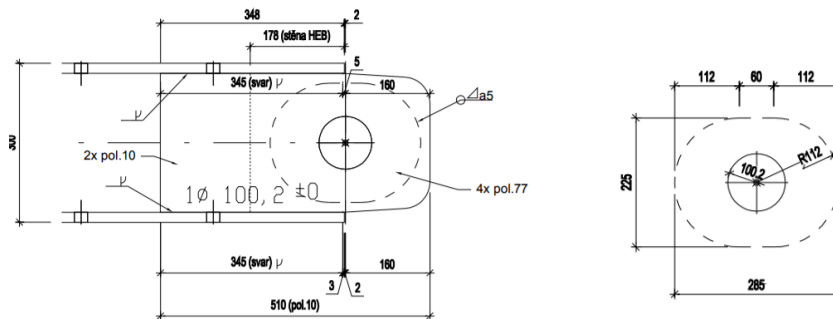
$$L = 413,41 \text{ mm}$$

Únosnost spočítám zjednodušenou metodou. Potom únosnost koutového svaru bude:

$$F_{w,Rd} = L a f_{vw,d}$$

návrhová smyková únosnost $f_{vw,d}$ je:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{m2}}$$



Obrázek 15 - Řez stykem

Korelační součinitel β_w pro ocel S355 je 0,9. (Používá se proto, jelikož svar unese více než základní materiál).

$$f_{vw,d} = \frac{\frac{510 \times 10^3}{\sqrt{3}}}{0,9 \times 1,25}$$

$$f_{vw,d} = 261\,732 \text{ kPa}$$

potom $F_{w,Rd}$ je:

$$F_{w,Rd} = 0,413 \times 0,005 \times 251468$$

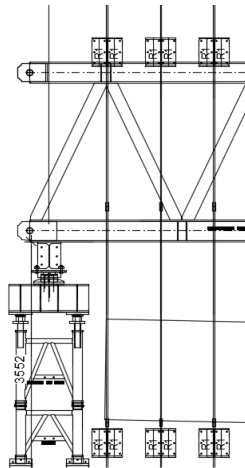
$$F_{w,Rd} = 541 \text{ kN}$$

Tímto výpočtem bych měla všechny potřebné veličiny, které budu sledovat.

5. Zatížení konstrukce

Po zjištění jednotlivých únosností musím nosník zatížit a vyvodit z výsledků nějaké závěry. Jelikož, jak už jsem zmínila, nosník je podpěrnou konstrukcí, která slouží především pro manipulaci s mosty, budu se snažit namodelovat zatížení, které s největší pravděpodobností při manipulacích vznikne.

Moje domněnka byla, že konstrukce je v praxi zatěžována dvěma břemeny, každým na jedné straně. Ale při konzultaci s provozovatelem mi takhle úvaha byla vyvrácena. Mnohem častější případ je, že konstrukce je zatížena více břemeny, které jsou vlastně zvedací lana (viz obrázek 16)



Obrázek 16 - zvedací lana
zdroj: Projektová dokumentace

Druhou variantou bude spojitě zatížení, které bude charakterizovat nějaké bednění, či jiný prvek probíhající přes celou délku konstrukce.

V úvodu výpočtu jsem uvedla, že konstrukci zatížím vlastní tíhou od ztužidel, které nám udávají vzpěrné délky. Bylo mi jasné, že síly jsou příliš malé a že ve výsledcích nebudou příliš markantní rozdíly. Ale že rozdíl ve výsledcích bude v setinách, jsem neodhadla.

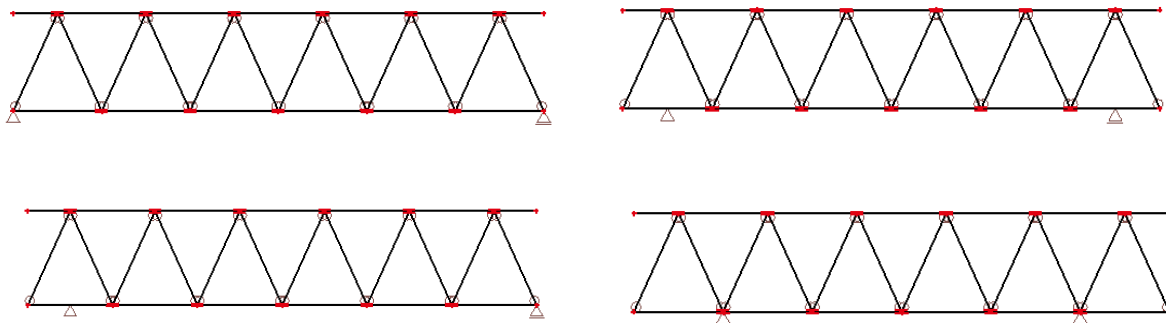
Proto jsem se teď rozhodla, že vlastní tíhy ztužidel dám na nosník po 2 metrech. Při posuzování, zda prut vyhoví či ne, však budu počítat s tou nejmenší únosností. A to s hodnotami pro vzpěrnou délku 3 metry. Tudíž maximální tlaková síla, která může být v pásech je 3880 kN.

Hlavním předmětem zkoumání, jak jsem vytyčila na začátku, budou varianty podepření a jejich "vliv" na únosnost konstrukce.

V prvním případě budou podpory ve styčnicích. V tom druhém, budou mezi dvěma styčnicemi uprostřed. Třetí a čtvrtá varianta bude kombinovat ty předchozí. Bude to nesouměrné podepření - uprostřed a ve styčnicích. A podepření ve vedlejších styčnicích - vznik převislých konců.

Je mi jasné, že na stavbě nikdy nenastane ani jeden případ. Podpory nikdy nebudou ve styčnicích ani uprostřed. Ale kvůli bezpečnosti je lepší počítat s tou horší variantou.

Proto pro stejnou konstrukci, ale s jiným umístěním podpor, namodeluji stejné zatížení. A budu sledovat rozdíly ve výsledcích.



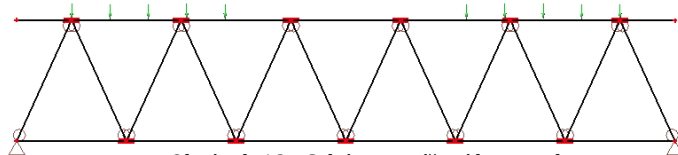
Obrázek 17 - Schéma podepření - varianty

5.1 Zatížení bodové

Jako první variantou budou bodové síly. Celkem jich bude 10. Pět na každé straně nosníku. Velikost břemen jsem zvolila 150 kN a jejich vzájemnou vzdálenost 700 mm. Hledala jsem takovou hodnotu zatížení, při které budou splněny všechny podmínky únosnosti. Pro lepší ilustraci toho, jak zatížení vypadá, slouží obrázek níže.

Kombinace zatížení:

$$\gamma_G \times g_o + \gamma_G \times g_{ztuž} + \gamma_Q \times Q$$

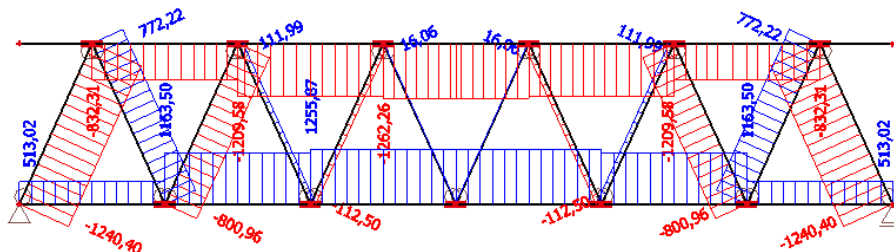


Obrázek 18 - Schéma zatížení konstrukce

Což znamená, že vlastní tíha konstrukce a vlastní tíha od ztužidel bude násobena součinitelem γ_G . Proměnné zatížení, tedy tíha břemena (zde bodové síly - 150 kN), kterým bude konstrukce na stavbě zatěžovaná bude násobena součinitelem γ_Q .

5.1.1 Podpory ve styčnicích

Normálové síly

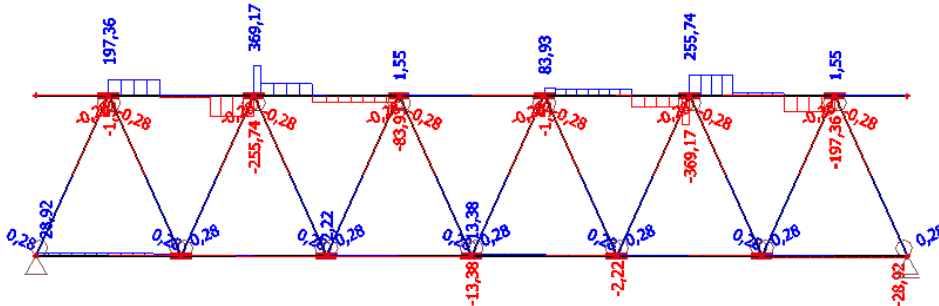


Obrázek 19 - Normálové síly na konstrukci

Z prvního pohledu je vidět, že tlaková či tahová únosnost horního a dolního pasu HEB300 určitě překročena nebude.

V krajních diagonálách HEB160 vznikají největší síly. Avšak i tato síla 1240 kN je menší než maximální tlaková únosnost diagonály.

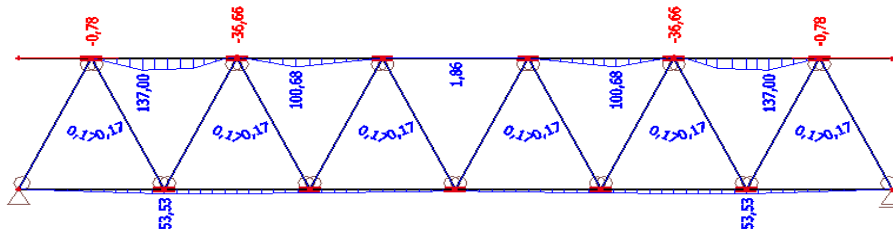
Posouvající síly



Obrázek 20- Posouvající síly na konstrukci

Z průběhu posouvajících sil je jasné že $V_{pl,Rd}$ taktéž nebude překročena. Dokonce zde nenastane ani velký smyk. Takže se momentová únosnost nebude muset redukovat.

Momenty



Obrázek 21 - Momenty na konstrukci

Průběhy momentů naznačují taktéž, že žádný z prutů nedosáhne momentové únosnosti.

Avšak musím ověřit interakci normálové síly a ohybu. Udělám to pouze pro ten nejhůře namáhaný prut. Což je vlastně prut namáhaný momentem s hodnotou 100,68 kNm. Normálová síla, kterou je tento prut namáhán je 1209,58 kN. Kvůli té jsem vybrala tento prut a ne ten vedlejší s momentem 137 kNm.

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rd}} + k_{yy} \frac{M_{yEd}}{\chi_{Lt} M_{yRd}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rd}} + k_{zy} \frac{M_{yEd}}{\chi_{Lt} M_{yRd}} \leq 1$$

Pro dosažení do rovnice musím zjistit součinitele k_{yy} a k_{zy} .


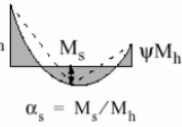
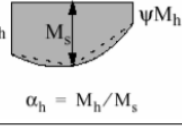
Jelikož jsou oba průřezy v I.třídě, budu brát druhý sloupec – plastický návrh. Pro určení slouží následující tabulka (obrázek 22).

Tabulka B.2 – Interakční součinitele k_{ij} pro pruty, které jsou náchylné ke zkroucení

Interakční součinitele	Předpoklady navrhování	
	Pružnostní návrh – průřezy třídy 3 a 4	Plasticitní návrh – průřezy třídy 1 a 2
k_{yy}	k_{yy} z tabulky B.1	k_{yy} z tabulky B.1
k_{yz}	k_{yz} z tabulky B.1	k_{yz} z tabulky B.1
k_{zy}	$\begin{cases} 1 - \frac{0,05\bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \\ \geq 1 - \frac{0,05}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \end{cases}$	$\begin{cases} \left[1 - \frac{0,1\bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right] \\ \geq \left[1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right] \end{cases}$ <p>pro $\bar{\lambda}_z < 0,4$:</p> $k_{zy} = 0,6 + \bar{\lambda}_z \leq 1 - \frac{0,1\bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}}$
k_{zz}	k_{zz} z tabulky B.1	k_{zz} z tabulky B.1

Obrázek 23 - interakční součinitelé,
zdroj: <http://people.fsv.cvut.cz/~machacek/>

Pro úplnost potřebuji součinitel C_{mLT} . Ten určím z následující tabulky. Uvažovala jsem tu nejhorší možnou variantu. Průběh momentů je víceméně konstantní a $\psi = 1$. Potom dle druhého sloupce a prvního řádku budou součinitelé C_{mL} , C_{my} a C_{mz} rovné 1. Což je také na straně bezpečnosti.

Průběh momentu	Rozsah	C_{my} a C_{mz} a C_{mLT}	
		rovnoměrné zatížení	soustředěné zatížení
	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$	
 $\alpha_s = M_s / M_h$	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$
 $\alpha_h = M_h / M_s$	$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$
	$-1 \leq \alpha_h < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,95 + 0,05\alpha_h(1+2\psi)$
Součinitel ekvivalentního konstantního momentu při vybočení s posuvem styčnic se má uvažovat $C_{my} = 0,9$ nebo $C_{mz} = 0,9$.			
C_{my} , C_{mz} a C_{mLT} se mají stanovit v závislosti na průběhu momentu mezi příslušnými body podepření následovně:			
Součinitel:	osa ohybu:	body podepřené ve směru:	
C_{my}	y-y	z-z	
C_{mz}	z-z	y-y	
C_{mLT}	y-y	y-y	

Obrázek 22 - Součinitelé C_m ,
zdroj: <http://people.fsv.cvut.cz/~machacek/>

Podle tabulky B.2 je součinitel k_{yy} v tabulce B.1 (obrázek 22).

Tabulka B.1 – Interakční součinitele k_{ij} pro pruty, které nejsou náchylné ke zkroucení

Interakční součinitele	Typ průřezu	Předpoklady navrhování	
		Pružnostní návrh – průřezy třídy 3 a 4	Plasticitní návrh – průřezy třídy 1 a 2
k_{yy}	I průřezy, pravoúhlé duté průřezy	$C_{my} \left(1 + 0,6\bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$

Obrázek 24 - Interakční součinitel k_{yy}

k_{yy} tedy bude:

$$k_{yy} = 1(1 + (0,225 - 0,2) \frac{1209,58}{4527,97}) \leq 1(1 + 0,8 \frac{1209,58}{4527,97})$$

$$k_{yy} = 1,01 < 1,21$$

$k_{yy} = 1,01 < 1,21$

Podle tabulky B. 2 je součinitel k_{zy} roven:

$$k_{zy} = (1 - \frac{0,1 \times 0,337}{(1 - 0,25)} \times \frac{1209,58}{4296}) \geq (1 - \frac{0,1}{(1 - 0,25)} \times \frac{1209,58}{4296})$$

$k_{zy} = 0,99 > 0,96$

Nyní již můžu spočítat interakci.

$$\frac{1209,58}{4527} + 1,01 \times \frac{100,68}{569,1} = 0,45 < 1$$

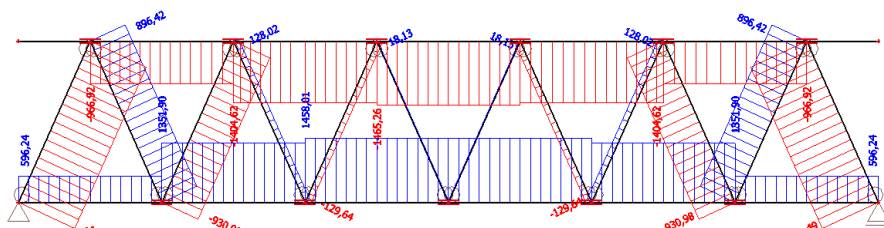
$$\frac{1209,58}{4296} + 0,99 \times \frac{100,68}{569,1} = 0,49 < 1$$

Je vidět že prut na interakci vyhoví, a je tu ještě značná "rezerva".

Interakci diagonály nebudu posuzovat. Vychází zde obrovská normálová síla, a moment je zanedbatelný, prakticky žádný.

Nosník jsem ještě zatížila stejným rozmístěním sil, ale síly měly jinou hodnotu. Síly mohly být "pouze" o 25 kN větší. Vysvětlení toho je uvedeno pod obrázkem průběhu normálových sil.

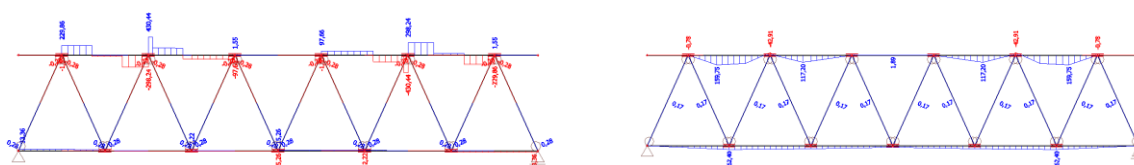
Normálové síly



Obrázek 25 - Průběh normálových sil

Přidávám sem pouze průběhy normálových sil, jelikož ty jsou v tomto případě nejvýznamnější. Zejména jde hlavně o již zmíněné krajní diagonály. Ty jsou takovým "nejslabším" místem konstrukce, a díky nim již nemůžu konstrukci více zatěžovat. Maximální tlaková síla v těchto diagonálách totiž může být 1515 kN, a návrhové hodnoty normálových sil se této hodnotě blíží.

Pro ilustraci jsem přidala obrázek posouvající sil a momentů. Je vidět, že tyto síly nejsou příliš velké a nijak se nemusí žádná únosnost redukovat kvůli interakcím (ohyb+smyk, M+N). Zcela rozhodující jsou tedy normálové síly.

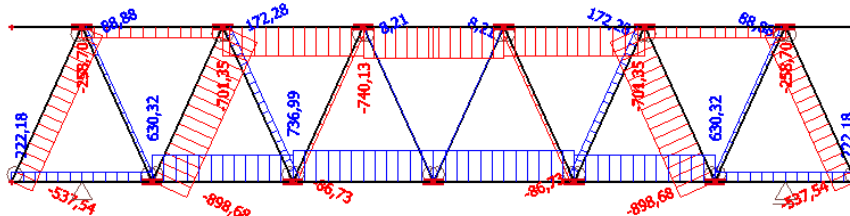


Obrázek 26 - Průběh Posouvající sil+Momentů

5.1.2 Podpory mimo styčnick

Nyní ověřím druhou možnost. A to, že se podpory umístí do středu mezi dva styčníky.

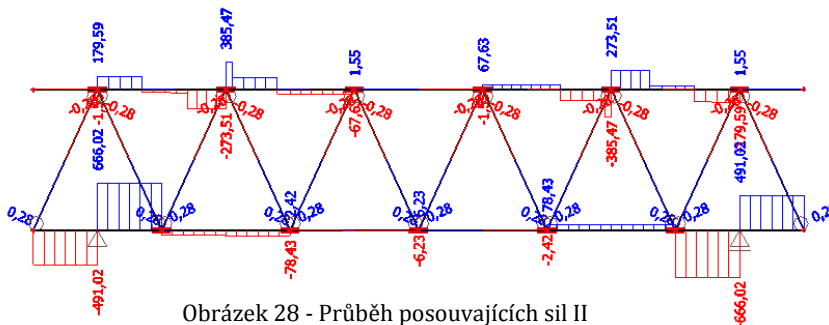
Normálové síly



Obrázek 27- Průběh normálových sil II

Ani zde normálové síly v pásech zdaleka nedosahují tahové či tlakové únosnosti. A to dokonce ani normálové síly v diagonálách.

Posouvající síly



Obrázek 28 - Průběh posouvajících sil II

Veliká posouvající síla vznikla v oblasti podpory. Pořád je tato síla menší než plastická normálová únosnost. Ale nastává tu takzvaný velký smyk.

$$V_{Ed} \leq 0,5V_{pl,Rd}$$

$$666 \text{ kN} > 486 \text{ kN}$$

Tudíž musím zredukovat momentovou únosnost prutu.

$$M_{y,V,Rd} = \frac{\left(W_y - \frac{\rho A_w^2}{4 t_w} \right)}{\gamma m_0} f_y$$

$$\text{kde } \rho = \left(\frac{2 V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2$$

$$\rho = \left(\frac{2 \times 666}{972,53} - 1 \right)^2$$

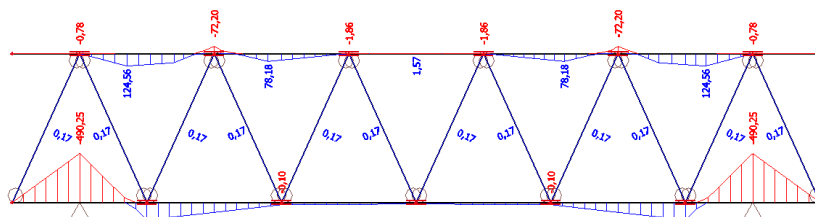
$$\rho = 0,137$$

potom $M_{y,V,Rd}$ bude:

$$M_{y,V,Rd} = \frac{\left(1,6 \times 10^{-3} - \frac{0,137 \times 0,004745^2}{4 \times 0,011} \right)}{1,00} \times 355 \times 10^3$$

$$M_{y,V,Rd} = 544,28 \text{ kNm}$$

Průběhy momentů



Obrázek 29 - Průběh Momentů II

V prutu s maximální posouvající silou (666 kN) vzniká také maximální ohybový moment - 490,25 kNm. Výše jsem spočítala redukovanou ohybovou únosnost.

Zde musí platit že:

$$M_{Ed} < M_{y,V,Rd}$$

$$490,25 < 544,28$$

Na prutu, kde vzniká maximální moment, však vzniká tah, tudíž nemusím posuzovat interakci pro stabilitní únosnost (není tu tlak)

Mohu spočítat interakci pro "prostou únosnost":

$$\frac{N_{Ed}}{N_{p,RdI}} + \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$\frac{222,18}{4777} + \frac{490,25}{544,28} = 0,95 < 1$$

Z toho je vidět, že v tomto případě závisí na hodnotě momentu nad podporou.

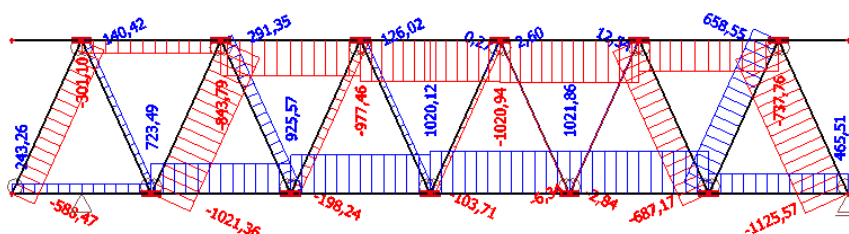
Konstrukce je teď na své 90 % únosnosti. V jiné části konstrukce nevzniká takto velké procento využití konstrukce.

Ráda bych uvedla třetí variantu, která by na tom měla být ještě hůře než tato varianta.

5.1.3 Nesouměrné podpory

Jako ještě horší možnost jsem namodelovala nosník, kde nejsou podpory dány ve stejných místech. Na jedné straně bude uprostřed mezi styčníky, a na té druhé ve styčníku.

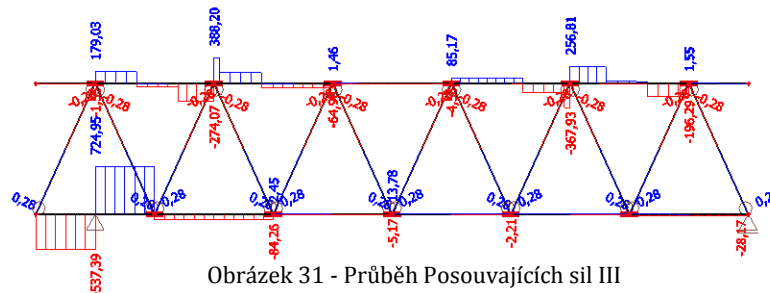
Normálové síly



Obrázek 30 - Průběh Normálových sil III

Normálové síly opět nejsou příliš velké. Největší ohrožení představuje krajní pravá diagonála, jak je tomu u prvního případu.

Posouvající síly



Obrázek 31 - Průběh Posouvajících sil III

V oblasti podpory je opět obrovská síla, která je větší než polovina smykové únosnosti.

Tudíž musím zredukovat momentovou únosnost prutu

$$M_{y,V,Rd} = \frac{(W_y - \frac{\rho A_w^2}{4 t_w})}{\gamma_{m0}} f_y$$

$$\rho = \left(\frac{2 \times 725}{972,53} - 1 \right)^2$$

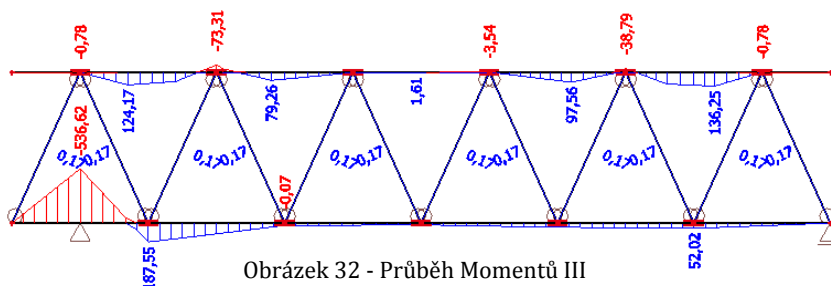
$$\rho = 0,24$$

potom $M_{y,V,Rd}$ bude:

$$M_{y,V,Rd} = \frac{(1,6 \times 10^{-3} - \frac{0,24 \times 0,004745^2}{4 \times 0,011})}{1,00} \times 355 \times 10^3$$

$$M_{y,V,Rd} = 525,32 \text{ kNm}$$

Momenty



Obrázek 32 - Průběh Momentů III

Z průběhu momentů vidíme, že v oblasti nad levou podporou je mezní momentová únosnost (která je redukována kvůli velkému smyku) překročena.

$$M_{Ed} \not\leq M_{Rd}$$

$$536,62 > 525,32$$

Nosník tím pádem nevyhoví a ztratil by stabilitu.

Tato varianta je zcela nejhorším případem, který může nastat. Kombinuje oba dva předchozí stavy. Kdy nastává velká tlaková síla v krajní diagonále, a obrovský "nadpodporový" moment.

Tuto variantu bychom mohli zatížit silami 145 kN, a nosník vyhověl (i na interakci).

Proto mi připadá zcela nevyhovující umístit podporu mimo styčník.

Jenomže myslím si, že tento fakt na stavbě budou zcela ignorovat, a umístí si

podepření tam, kde zrovna uznají za vhodné. Myslím si, že je na straně bezpečnosti udat maximální hodnotu zatížení, pro kterou vyhoví nosník s podporami mimo styčník.

Na variantě podpor ve styčníku je vidět, že nosník, ani jeho jednotlivé části, nejsou na svém maximálním využití. Nosník jsem proto zatížila větším zatížením. Síly nemohly být o tolik větší kvůli velké tlakové síle v diagonálách.

Umístění podpor je proto zcela rozhodující. Proto jsem udělala právě tyto varianty.

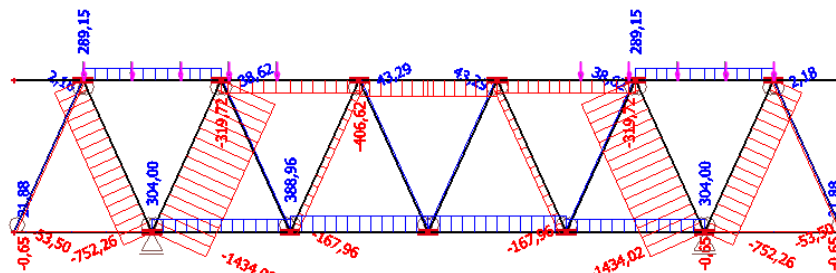
Poslední varianta by měla být tou, která nám dovolí nejvyšší zatížení.

5.1.4 Podpory ve styčnicích II - převislé konce

Tato varianta by měla být tou, která by měla být z hlediska průběhu sil tou nejpříznivější. Podpory budou taktéž ve styčnicích, ale ne hned v těch krajních, ale až ve vzdálenosti 2 metry od kraje.

Původně jsem nosník zatížila stejnými silami jako ty předcházející. Ale vnitřní síly vycházely daleko menší, než jsou únosnosti. Proto jsem ho zatížila většími silami. Mohla jsem ho zatížit až o 105 kN většími silami než druhou variantu (o 130 kN více než tu druhou). Tedy každé břemeno má hodnotu 280 kN.

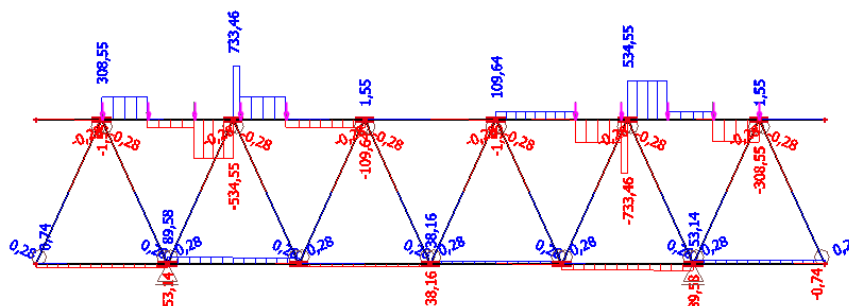
Normálové síly



Obrázek 33 - Průběh normálových sil IV

Opět je nejnebezpečnější diagonála u podpory. Která je využita na $\frac{1434}{1515} = 0,95 \rightarrow 95\%$.

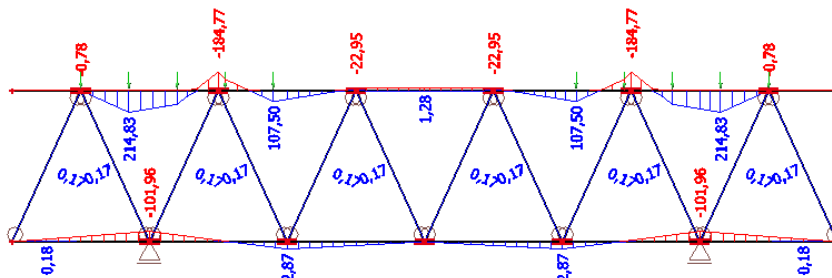
Posouvající síly



Obrázek 34 - Průběh Posouvajících sil IV

Vzniká i velká posouvající síla, takzvaný. velký smyk. Ale jelikož momenty, které vznikají, jsou příliš malé (viz obrázek níže), tak se redukováním ohybové únosnosti nemusím zabývat.

Momenty



Obrázek 35 - Průběh Momentů IV

To samé platí i u interakce M+N. Síly, které vycházejí, nejsou současně tak velké, aby došlo k mezní únosnosti. Opět je zde rozhodující diagonála a její normálová síla, jako v prvním případě. Akorát tato konstrukce "snese" větší zatížení.

Pro lepší přehlednost slouží následující tabulka. Zde jsou uvedeny varianty a maximální břemena, která na konstrukci můžou působit.

Varianta	kN
I.	175
II.	150
III.	145
IV.	280

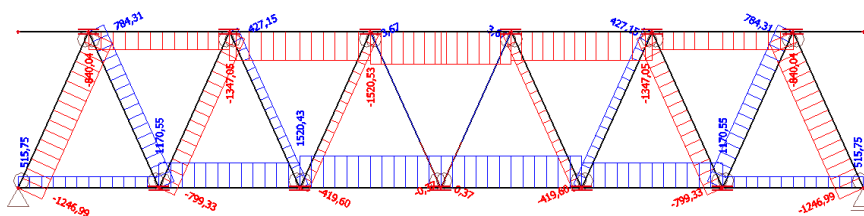
5.2 Spojité zatížení

Druhou variantou zatížení, které může při manipulaci nastat, je spojité zatížení přes jedno pole (na prutu).

Opět zde uvedu všechny varianty. Nosník jsem zatížila spojitém zatížením o hodnotě 125 kN/m. Toto zatížení probíhá po celé délce konstrukce. Součinitelé pro kombinaci zatížení jsou stejné jako ve stavu přecházejícím.

5.2.1 Podpory ve styčnicích

Normálové síly



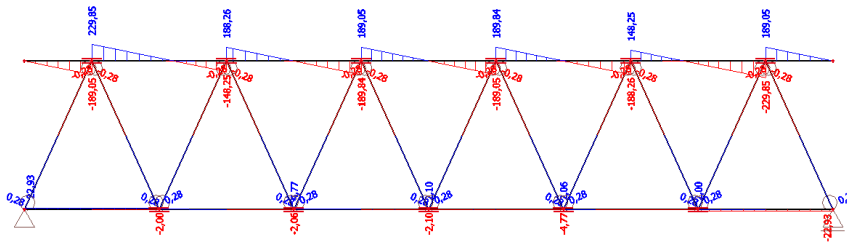
Obrázek 36 - Průběh Normálových sil V

Opět je zde stejný problém. Krajní diagonály ztratí stabilitu jako první.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{1246}{1515} = 0,82$$

Dle toho je vidět, že jsou diagonály využity na 82 %. Tudíž by se dal nosník zatížit zase o něco větší silou. Tedy spojitě zatížení by mělo o něco větší hodnotu.

Posouvající síly

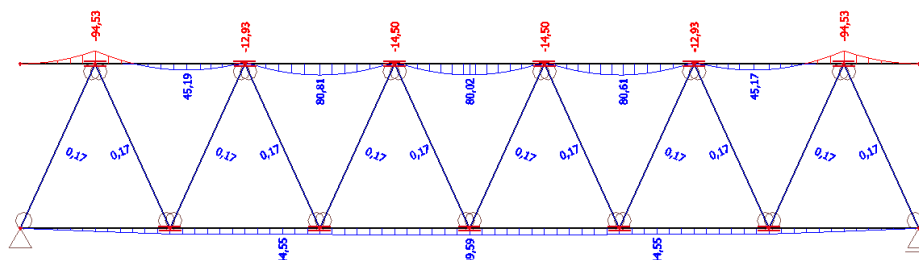


Obrázek 37 - Průběh posouvajících sil V

Posouvající síly se nijak neblíží k $V_{pl,Rd}$. Dokonce nikde ani nevzniká Velký smyk a nemusí se redukovat momentová únosnost.

Momentová únosnost se nijak markantně nesnížila. Nyní musím ověřit, zda to nějak ovlivnilo výsledky.

Moment



Obrázek 38 - Průběh Momentů V

Jak je vidět, žádné pole (prut) nepřekročilo momentovou únosnost. Největší moment je právě ve styčnicích na okrajích pod spojitým zatížením.

Raději ověřím interakci momentu a normálové síly v místě kde je největší normálová síla (1520,53 kN).

Nebudu zde znovu uvádět všechny vzorce, jelikož zabírají až moc místa. Vložím sem menší variantů vzorců, aby nezabíraly tolik místa.

Součinitelé k_{yy} , k_{zy}

$$\begin{aligned} & C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \\ & \leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \end{aligned} \qquad \begin{aligned} & \left[1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25) \chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \frac{N_{Ed}}{N_{Ed}} \right] \\ & \geq \left[1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25) \chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \frac{N_{Ed}}{N_{Ed}} \right] \end{aligned}$$

$$k_{yy} = 1(1 + (0,225 - 0,2) \times \frac{1520,53}{\frac{4528}{1,00}}) \leq 1(1 + 0,8 \frac{1520,53}{4528})$$

$$k_{yy} = 1,02 < 1,27$$

Podle tabulky B.2 součinitel k_{zy} :

$$k_{zy} = \left(1 - \frac{0,1 \times 0,337}{(1 - 0,25)} \times \frac{1520,53}{4297}\right) \geq \left(1 - \frac{0,1}{(1 - 0,25)} \times \frac{1520,53}{4297}\right)$$

$$k_{zy} = 0,98 > 0,95$$

Nyní již můžu spočítat interakci.

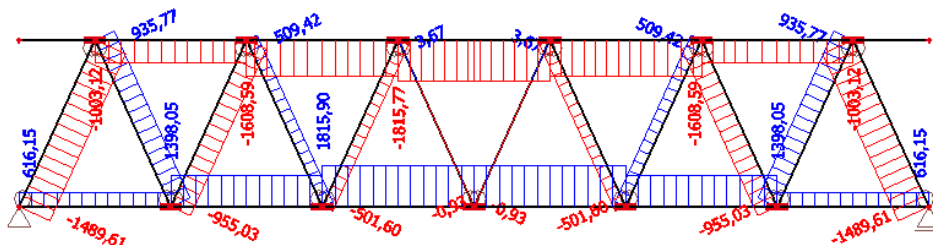
$$\frac{1520,53}{4528} + 1,02 \times \frac{80}{569} = 0,48 < 1$$

$$\frac{1520,53}{4297} + 0,98 \times \frac{80}{569} = 0,53 < 1$$

Z výsledků je jasné, že ani interakce nijak neohrožuje nosník. V tomto případě je prut využit pouze maximálně na 53%.

Nosník "snese" větší zatížení než 125kN/m.

Při zatížení nosníku 150 kN/m se bude návrhová normálová síla v diagonále blížit její mezní únosnosti (obrázek39).

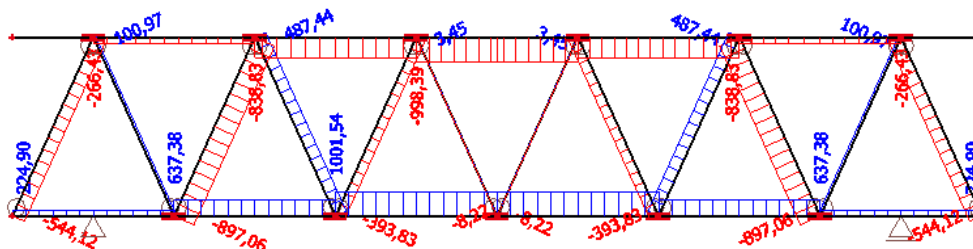


Obrázek 39 - Průběh Normálových sil Vb, zatížení 150 kN/m

Větší zatížení nosník již nesnese, právě kvůli normálové síle. Ostatní vnitřní síly nosník neohrožují.

5.2.2 Podpory mimo styčnick

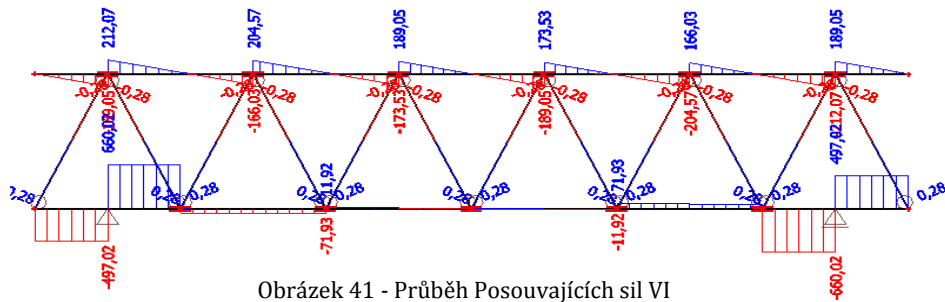
Normálové síly



Obrázek 40 - Průběh Normálových sil VI

Normálové síly opět vznikají mnohem menší, než je mezní normálová únosnost. Maximální využití má opět diagonála nad podporou - $\frac{897}{1515} = 0,6 = 60\%$.

Posouvající síly



Obrázek 41 - Průběh Posouvajících sil VI

Opět nastává situace s „velkým smykem“, a momentová únosnost se musí redukovat. Maximální posouvající síla na nosníku je 660,02 kN.

$$M_{y,V,Rd} = \frac{\left(W_y - \frac{\rho A_w^2}{4 t_w} \right)}{\gamma_{m0}} f_y$$

$$\text{kde } \rho = \left(\frac{2 V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2$$

$$\rho = \left(\frac{2 \times 660}{972,53} - 1 \right)^2$$

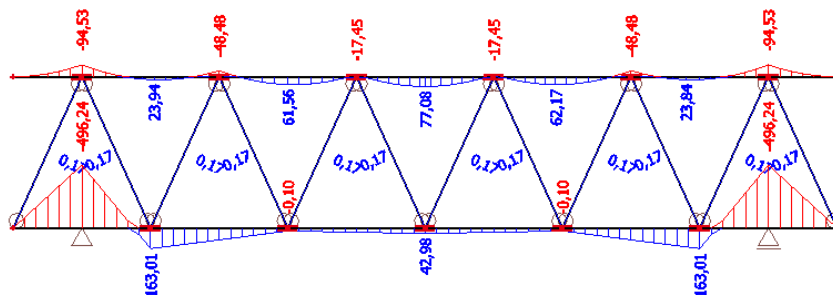
$$\rho = 0,128$$

potom $M_{y,V,Rd}$ bude:

$$M_{y,V,Rd} = \frac{\left(1,43 \times 10^{-3} - \frac{0,128 \times 0,004745^2}{4 \times 0,011} \right)}{1,00} \times 355 \times 10^3$$

$$M_{y,V,Rd} = 545,91 \text{ kNm}$$

Momenty



Obrázek 42 - Průběh Momentů VI

Největší moment na nosníku je opět menší než M_{Rd} .

V místě tohoto největšího momentu opět nevzniká tlaková síla, tudíž se neposuzuje interakce pro stabilitní únosnost.

Interakci mohu posoudit základním vztahem:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{p,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1$$

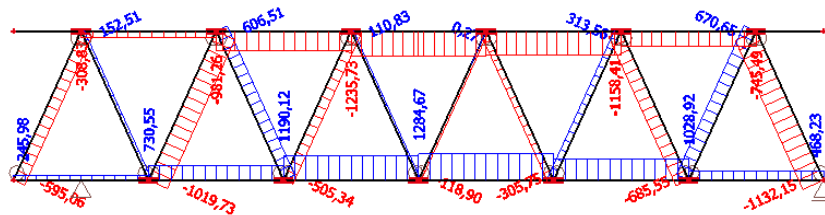
$$\frac{224,90}{4777} + \frac{496}{545,92} = 0,960 < 1$$

Z výsledků je jasné, že právě interakce, nebo momentová únosnost je rozhodující pro nosník. Nosník je momentem využit opět na 90 % své únosnosti. Společně s normálovou silou je to na 96 %. Tento stav však nastává pouze na dvou místech konstrukce. Ostatní místa se nijak neblíží žádné mezní únosnosti.

5.2.3 Nesouměrné podpory

Z předchozí zkušenosti je jasné, že nosník nejspíš nevyhoví na dané zatížení 125 kN/m. Avšak toto zatížení zde nechám a budu sledovat, kde dojde k dosažení únosnosti jako první.

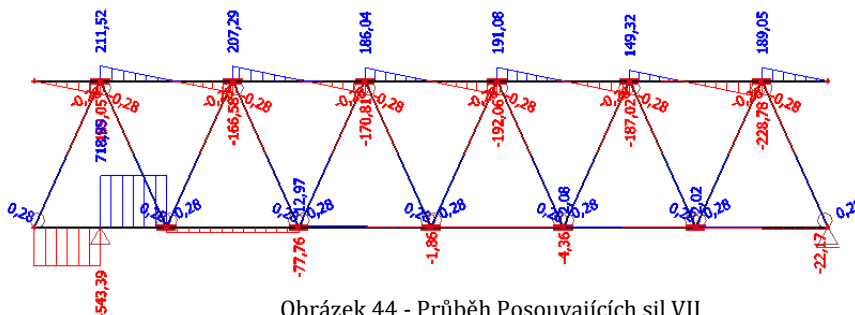
Normálové síly



Obrázek 43 - Průběh Normálových sil VII

Zde se nic významného z hlediska stability neděje. V diagonále také vzniká velká normálová síla, ale prozatím se neblíží mezní únosnosti.

Posouvající síly



Obrázek 44 - Průběh Posouvajících sil VII

Opět vzniká velká posouvající síla nad podporou. Ta se sice neblíží plastické únosnosti, ale kvůli tomuto velkému smyku se bude opět snižovat momentová únosnost.

$$M_{y,V,Rd} = \frac{(W_y - \frac{\rho A_w^2}{4 t_w})}{\gamma m_0} f_y$$

$$\text{kde } \rho = \left(\frac{2 V_{ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2$$

$$\rho = \left(\frac{2 \times 718,95}{972,53} - 1 \right)^2$$

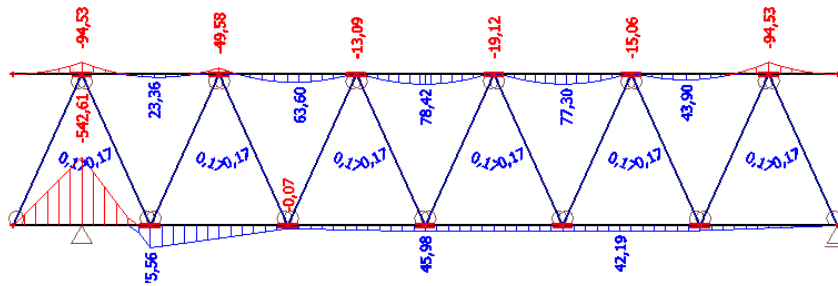
$$\rho = 0,229$$

potom $M_{y,V,Rd}$ bude:

$$M_{y,V,Rd} = \frac{\left(1,43 \times 10^{-3} - \frac{0,229 \times 0,004745^2}{4 \times 0,011}\right)}{1,00} \times 355 \times 10^3$$

$$M_{y,V,Rd} = 527,49 \text{ kNm}$$

Průběh momentů:



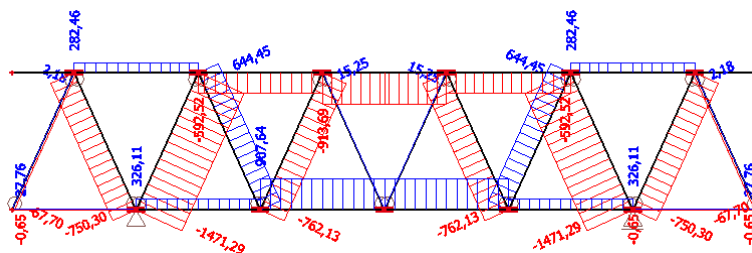
Obrázek 45 - Průběh Momentů VII

Hned na první pohled je vidět, že moment nad podporou překračuje momentovou únosnost průřezu. Průřez tedy nevyhoví a nemusím dále počítat interakci. Zřejmě by konstrukce vyhověla při menším zatížení. Například přizatížení 100 kN/m by konstrukce měla vyhovět.

5.2.4 Podpory ve styčnicích II – převislé konce

Opět jsem tuto variantu zatížila větším zatížením než ty předcházející. Tentokrát to hodnota zatížení byla 240 kN/m.

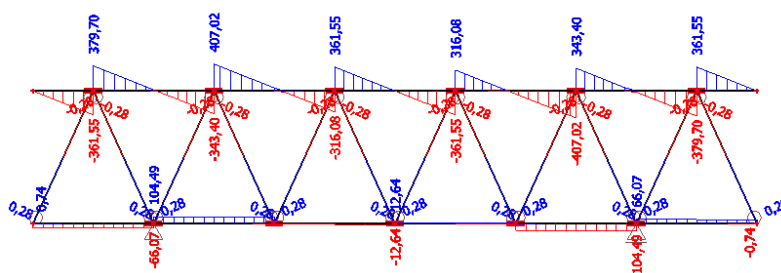
Normálové síly



Obrázek 46 - Průběh Normálových sil VIII

Opět se zde "hlídá" diagonála nad podporou, která bude nejspíš rozhodující. Návrhová hodnota normálové síly se blíží mezní únosnosti a při větším zatížení by už ztratila stabilitu.

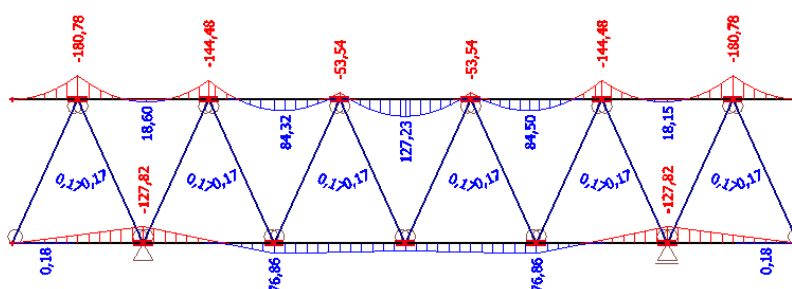
Posouvající síly



Obrázek 47 - Průběh Posouvajících sil

Posouvající síly nejsou příliš velké. Nikde nevzniká "velký smyk" tudíž nedochází k redukci ohybové únosnosti.

Momenty



Obrázek 48 - Průběh Momentů VIII

Ani zde nevznikají velké hodnoty momentů. Zde je také zbytečné ověřovat interakci, protože hodnota momentů je menší než polovina dané momentové únosnosti.

Pro lepší přehlednost slouží opět tabulka. Kde jsou uvedeny varianty a maximální břemena, která na konstrukci můžou působit.

Varianta	kN/m
I.	150
II.	125
III.	<125
IV.	240

6. Vyhodnocení nosníků

Z uvedených výsledků bych chtěla učinit nějaký závěr.

Pro nosník, který je podepřen ve styčnicích na úplném kraji, je zcela rozhodující tlaková únosnost v krajních diagonálách. Tento "problém" by se dal vyřešit větším průřezem HEB.

Horní a dolní pás mají příliš velkou tahovou i tlakovou únosnost a výsledné normálové síly se jim ani zdaleka neblíží. Právě z tohoto důvodu by se vzpěrná délka mohla zvýšit. Možná až na 6 metrů. Při interakci by byla rozhodující druhá podmínka, kde vystupuje tlaková únosnost ve směru kolmém na z.

A i přes tuto skutečnost s diagonálou se dá tato varianta nosníku zatížit o něco větším

zatížením, než druhá varianta.
Ale to by se zase muselo ověřit výpočtem.

Pro nosník, který není podepřen ve styčnicích (varianta II, VI) vždy vycházela velká posouvající síla i moment v oblasti podpor. Rozhodující v těchto případech bylo namáhání ohybem a normálovými silami (jejich interakce). Ke všemu tu ještě vznikala velký smyk, který ohybovou únosnost redukoval.

Je jasné že podpora mimo styčnic toho dost komplikuje a je hlavním důvodem, proč klesá únosnost nosníku.

Ještě horší variantou jsou takzvané "nesouměrné podpory" (varianta III, VII). Moment a posouvající síla, které vznikají nad podporou mimo styčnic (jak je to u případu předchozím) jsou ještě větší a tím pádem nám konstrukce nedovoluje větší zatížení.

Nejlepší variantou je poslední varianta (varianta IV, VIII), kde máme "převléslé konce". V obou případech se dala konstrukce zatížit o dost větším zatížením než varianty II, III, V a VI, a i dokonce než ta I. a II. Není zcela jisté, že se tento stav podaří vždy na stavbě realizovat, ale bylo by to více než žádoucí z hlediska využitelnosti konstrukce. Určitě i u této varianty by se dala vzpěrná délka zvýšit (stejný důvod jako u první varianty). Nejvíce ohrožující podmínkou je opět diagonála která je u podpor k dosažení její mezní pevnosti dojde nejdříve.

Z hlediska výsledků je vidět na co kdy a jak by se mělo dát pozor, a jaké vnitřní síly při které variantě vznikají, a které jsou "nejhorší".

7. Nosník 24 metrů

Mostní konstrukce mají většinou větší rozpětí než 12 metrů. Proto se nosníky dají různě spojovat. Chci zjistit, zda spoj je "slabým" místem konstrukce. Zda tedy záleží na jeho únosnosti, kterou jsem uvedla ve výpočtu.

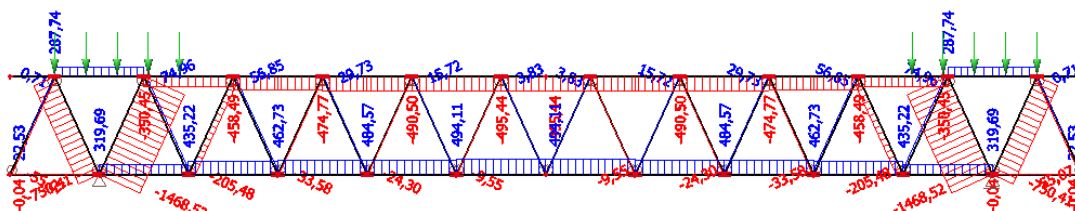
Rozhodla jsem se ověřit, jak na tom bude ten nejnejpříznivější nosník, a to nosník s převléslými konci.

7.1 Bodové zatížení

Při bodovém zatížení nic významného vznikat nebude. Opět se musí sledovat diagonála u podpory, protože ta je nejnebezpečnější. Síla ve spoji není tak velká, aby hrozilo nějaké nebezpečí.

Pro lepší představu jsou zde obrázky vnitřních sil.

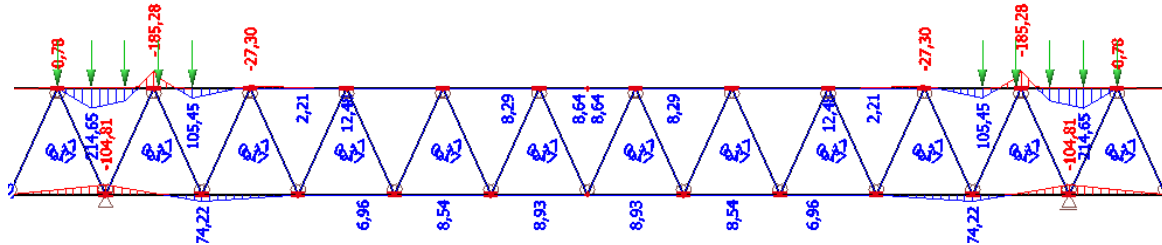
Normálové síly



Obrázek 49 - Průběh Normálových sil I - 24m

Pořád to komplikuje diagonála a nedovolí nám větší zatížení na konstrukci. Mezní únosnost čepového spoje nebude dosažena, tudíž ten v tomto případě není slabým místem. To dříve dojde k dosažení únosnosti u diagonály.

Posouvající síly + Momenty



Obrázek 50 - Průběh Posouvajících sil + Momentů I-24m

Sice zde vzniká posouvajíc síla 731,54 kN a tedy i velký smyk, ale momenty nejsou tak významné, aby to nějak ohrozilo momentovou únosnost i po redukci.

Při této variantě zatížení se musí opět řešit síla v diagonále nad podporou. Jiné prvky stabilitu konstrukce neohrožují.

7.2 Spojité zatížení:

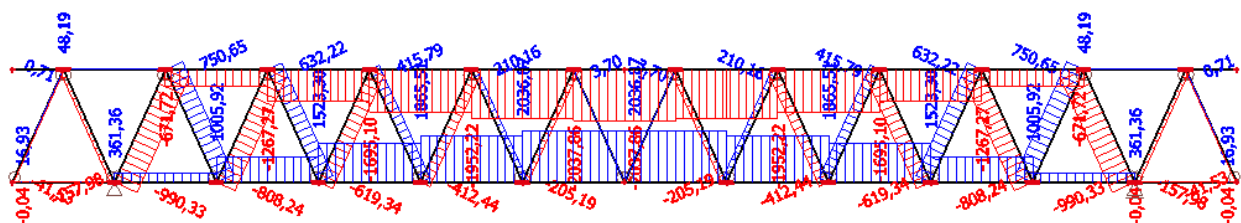
Horší případ však bude spojité zatížení po celé délce nosníku.

Zde jsem se přesvědčila, že slabým místem konstrukce (pokud je tedy spojena z více nosníků) je, již zmíněný, čepový spoj.

Mezní únosnost čepu vychází z podmínky pro "Únosnost v otlacení výměnného čepu" a jehož hodnota je 2128 kN.

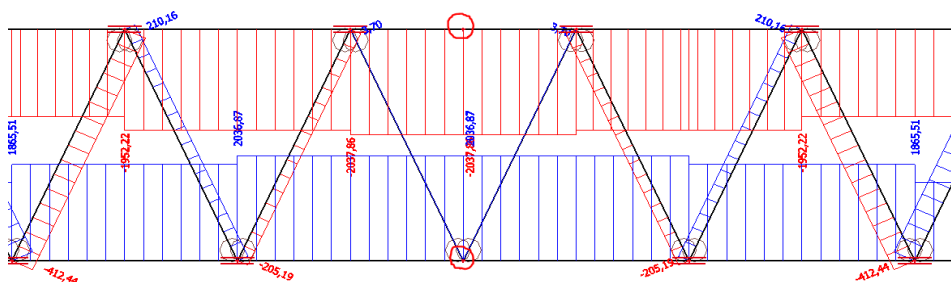
Konstrukci jsem zatížila spojitým zatížením o hodnotě 60 kN/m.

Normálové síly



Obrázek 52 - Průběh normálových sil II - 24m

Z obrázku toho není příliš vidět, ale co se u této kombinace muselo hlídat, je normálová síla ve spoji. Pro lepší představu jsem přidala průběh sil v oblasti spoje (obrázek 52).

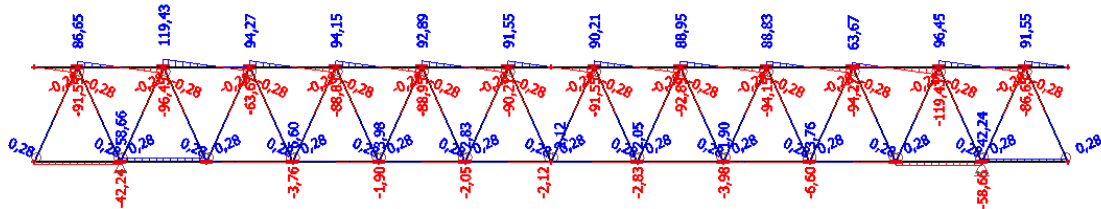


Obrázek 51 - Normálové síly v oblasti spoje

Maximální síla, která ve spoji vzniká je 2038 kN. Což je hodnota blízká únosnosti v otláčení. Tudíž tato podmínka je rozhodující. Už se zde není rozhodující síla v diagonále, ale právě omezující je spoj.

Pro úplnost přidám ostatní průběhy sil.

Posouvající síly



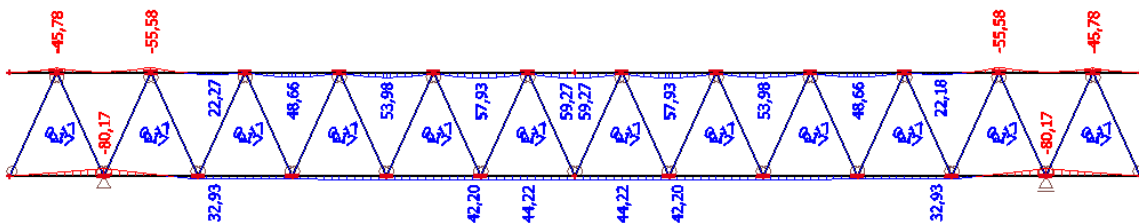
Obrázek 53 - Průběh posouvajících sil II - 24m

Žádné obrovské posouvající síly nevznikají. Maximální hodnota je něco kolem 120 kN.

Momenty

To samé platí i u momentů.

Kvůli spoji ještě ověřím jeho únosnost. Je tu splněná podmínka únosnosti pro výměnný čep. Jelikož hodnota momentu je 59,27 a ta je menší než $M_{Rd,ser}$, které se rovná hodnotě 70,11 kN.



Obrázek 54 - Průběh Momentů II - 24m

Ještě musím ověřit únosnost čepu při kombinaci namáhání.

Únosnost stříhu a ohybu:

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 \leq 1,0$$

$$\left(\frac{59,27}{131,41}\right)^2 + \left(\frac{2038}{13715,5}\right)^2 = 0,737 < 1,0$$

I při této kombinaci čep vyhoví.

V úvodu své práce, kdy jsem popisovala konstrukci, jsem se zmiňovala, že nosníky jsou vyráběny také ve variantách 4 a 7m. Z důvodu rozsahu práce, jelikož by nejspíš byla příliš obsáhlá, jsem se při zatěžování těmito variantám nosníků nevěnovala.

Připadalo mi nejlepší vše provést na tom nejdelším nosníku (12 metrové), protože ten je údajně v praxi využíván nejčastěji.

8. Závěr:

V průběhu psaní práce jsem se snažila veškeré své poznatky z výsledků uvést hned za řešeným předmětem. Myslím si, že rozdíly ve výsledcích (podle toho jak byla konstrukce podepřena), které ve výpočtech nastaly, jsou dost markantní.

Při podepření konstrukce ve styčnicích, se musí věnovat pozornost normálové síle, která vzniká v diagonále. Tato normálová síla, která je v diagonále nad podporou, se blíží mezní tlakové únosnosti. Proto při takovémto podepření je maximální hodnota rozmístěných bodových sil 175 kN a hodnota spojitěho zatížení 150 kN/m.

To samé platí, když umístíme podpory do styčniců tak, že vzniknou "převíslé konce", jak tomu bylo ve variantách IV a VIII. Ale tato varianta podepření snese větší zatížení, jelikož návrhová normálová síla je, při stejné hodnotě zatížení, menší. Konstrukce odolává bodovým silám o hodnotě 280 kN (o 105 kN větší než předchozí varianta) a spojitěmu zatížení 240 kN/m (což je o 90 kN/m větší než u první varianty). Tento způsob podepření jsem shledala jako ten nejlepší, který může nastat, proto jsem s ním potom ještě pokračovala u nosníku 24 metrů.

Větším problémem jsou podpory, které jsou rozmístěné mimo styčnicíky. Vznikají tu obrovské posouvající síly a moment nad podporami. Momentová únosnost se z hlediska velkého smyku musí redukovat. Proto se musí "hlídat" hodnota momentu, aby nepřekročila ohybovou únosnost. Při umístění podpor mimo styčnicí souměrně (varianta II,V), je maximální hodnota bodových sil 150 kN a spojitěho zatížení 125kN/m.

Ale ještě hůř na tom je varianta, kde je jedna podpora mimo styčnicí a druhá ve styčnicíku. V téhle variantě (varianta III,VII) vzniká ještě větší "nadpodporový moment" a ještě větší posouvající síla, než u variant II a V. Tudíž se tu i více zredukuje ohybová únosnost a právě tato varianta nevyhoví na zatížení 150 kN a 125 kN/m, jako varianta předchozí. Proto, aby takto podepřená konstrukce vyhověla, by se bodové síly museli snížit na hodnoty 145 kN a menší, a spojitě zatížení na 100 kN/m.

Jako poslední varianta byla konstrukce, která je spojená ze dvou předešlých konstrukcí. Pro podepření byla použita ta nejlepší varianta - podpory ve styčnicích s převíslými konci.

Při bodovém zatížení stejném jak tomu bylo u předcházejících konstrukcí (tedy v tomto případě zatížení 280 kN) se nic překvapivého nedělo. Diagonála u podpory se stále blížila své mezní tlakové únosnosti.

Při zatížení konstrukce spojitým zatížením po celé její délce, byly výsledky zajímavější. Zde už se sledovalo jiné "slabé místo" - spoj. Návrhová hodnota normálové síly v tomto místě je příliš blízká únosnosti v otláčení. Proto se konstrukce nemůže zatížit větší hodnotou spojitěho zatížení než 60 kN/m.

Tímto jsem alespoň trochu chtěla poukázat na to, jaký důraz by se měl dbát na stavbě při instalaci podpěr.

Někdy nám bohužel vedlejší vlivy nedovolí, aby nastal "ideální stav podepření" (v tomto případě to je varianta s převíslými konci) při kterém konstrukce snese největší zatížení.

A právě proto by se dál mělo počítat s tou nemenší únosností konstrukce.

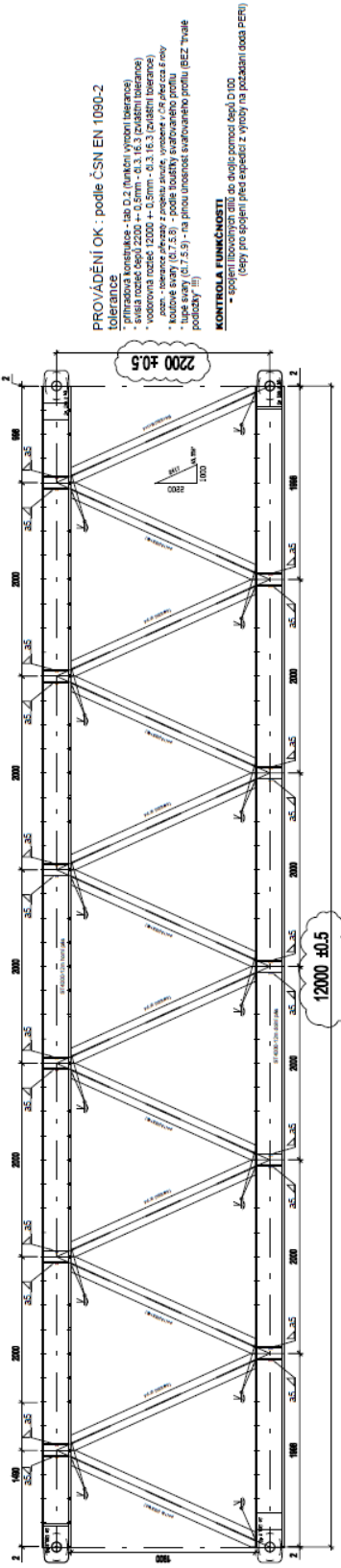
Kdybych měla vyhodnotit nějakou únosnost konstrukce, tak to tedy budou ty nejmenší hodnoty, které mi vyšly. A to hodnoty maximálního zatížení, kterými jsem mohla zatížit konstrukci s nesouměrnými podporami (varianta III a VII) - Bodové síly 145 kN a spojitě zatížení 100 kN/m.

V práci jsem se snažila udělat něco, co by se alespoň trochu podobalo studii zatížitelnosti konstrukce.

Svůj cíl, který jsem si určila na začátku, jsem splnila a doufám, že Vám výsledky, které jsem dostala, připadají alespoň trochu zajímavé.

9. Přílohy

nosník dl. 12m



PROVÁDĚNÍ OK: podle ČSN EN 1090-2
tolerance
 * příhradová konstrukce - tab. D.2 z (funkční výrobní tolerance)
 * vnitřní rozeřování 2000 ± 0,5mm - d. 3, 16,3 (průběžná tolerance)
 * vnější rozeřování 2000 ± 0,5mm - d. 3, 16,3 (průběžná tolerance)
 * průřezová tolerance 2000 ± 0,5mm - d. 3, 16,3 (průběžná tolerance)
 * spoje - tolerance dle tab. D.2 z (funkční výrobní tolerance)
 * koutové spoje - podle bodu 6.2.2.1.2 (funkční výrobní tolerance)
 * koutové spoje - podle bodu 6.2.2.1.2 (funkční výrobní tolerance)
 * koutové spoje - podle bodu 6.2.2.1.2 (funkční výrobní tolerance)
 * koutové spoje - podle bodu 6.2.2.1.2 (funkční výrobní tolerance)

KONTROLA FUNKČNOSTI
 - spojení laminy a sloupu
 - spojovací prvky
 - spojení sloupů a sloupu

Material: S355J2G3

svařování
 - musí odpovídat ČSN EN
 - rozměry svařků odpovídat min. rozměrům svařovaných materiálů
 - technologie svařování zajišťuje odolnost konstrukce

Název	Číslo	Objem	Objem	Objem	Objem
...

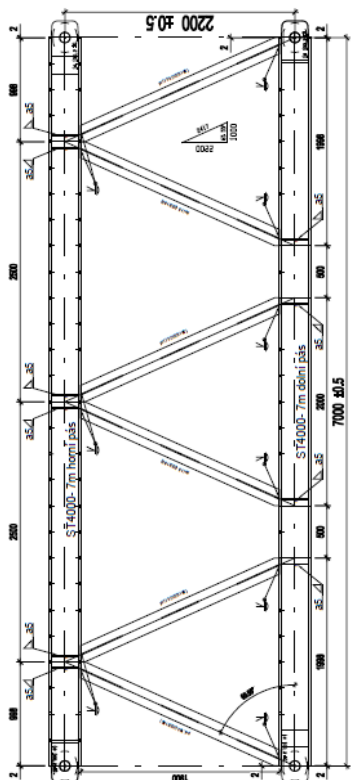
Výšek z projektové dokumentace 1 zdroj: PERI spol.s r.o.

výrobní výškes
 podklad pro dílenskou dokumentaci

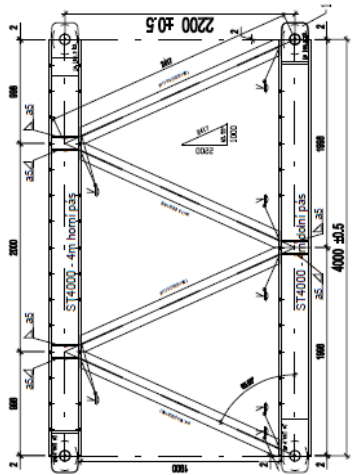
PERI spol. s r.o.
 Technická oddělení projektování
 a výroby
 Husinecká 36
 110 00 Praha 1
 Tel: +420 222 559 586
 Fax: +420 222 559 583
 E-mail: perihq@peri.cz

PRŮM.	PERI spol.s r.o.
KUZ.	příhradová PERI... ST16000
PROJEKT.	PROJEKT č. 12m

nosník dl. 7m



nosník dl. 4m



nosník dl. 7m

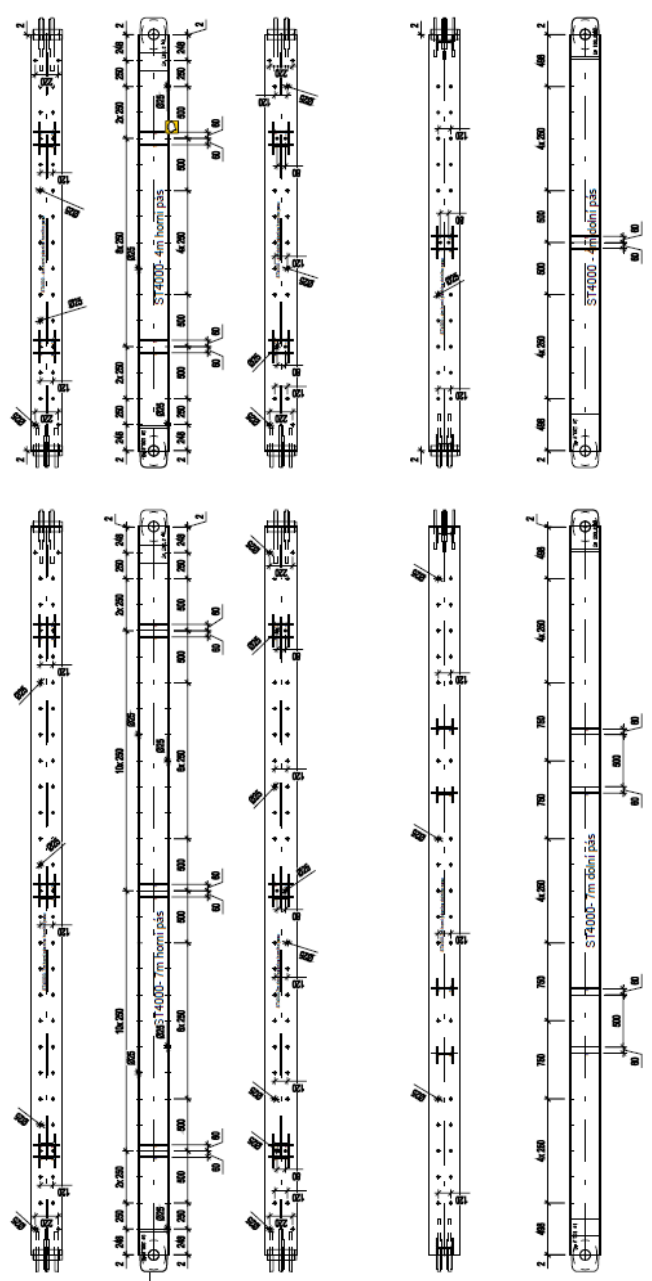
11. číslo	12. číslo	13. číslo	14. číslo	15. číslo	16. číslo	17. číslo	18. číslo	19. číslo	20. číslo	21. číslo	22. číslo	23. číslo	24. číslo	25. číslo	26. číslo	27. číslo	28. číslo	29. číslo	30. číslo	31. číslo	32. číslo	33. číslo	34. číslo	35. číslo	36. číslo	37. číslo	38. číslo	39. číslo	40. číslo	41. číslo	42. číslo	43. číslo	44. číslo	45. číslo	46. číslo	47. číslo	48. číslo	49. číslo	50. číslo	51. číslo	52. číslo	53. číslo	54. číslo	55. číslo	56. číslo	57. číslo	58. číslo	59. číslo	60. číslo	61. číslo	62. číslo	63. číslo	64. číslo	65. číslo	66. číslo	67. číslo	68. číslo	69. číslo	70. číslo	71. číslo	72. číslo	73. číslo	74. číslo	75. číslo	76. číslo	77. číslo	78. číslo	79. číslo	80. číslo	81. číslo	82. číslo	83. číslo	84. číslo	85. číslo	86. číslo	87. číslo	88. číslo	89. číslo	90. číslo	91. číslo	92. číslo	93. číslo	94. číslo	95. číslo	96. číslo	97. číslo	98. číslo	99. číslo	100. číslo										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

nosník dl. 4m

11. číslo	12. číslo	13. číslo	14. číslo	15. číslo	16. číslo	17. číslo	18. číslo	19. číslo	20. číslo	21. číslo	22. číslo	23. číslo	24. číslo	25. číslo	26. číslo	27. číslo	28. číslo	29. číslo	30. číslo	31. číslo	32. číslo	33. číslo	34. číslo	35. číslo	36. číslo	37. číslo	38. číslo	39. číslo	40. číslo	41. číslo	42. číslo	43. číslo	44. číslo	45. číslo	46. číslo	47. číslo	48. číslo	49. číslo	50. číslo	51. číslo	52. číslo	53. číslo	54. číslo	55. číslo	56. číslo	57. číslo	58. číslo	59. číslo	60. číslo	61. číslo	62. číslo	63. číslo	64. číslo	65. číslo	66. číslo	67. číslo	68. číslo	69. číslo	70. číslo	71. číslo	72. číslo	73. číslo	74. číslo	75. číslo	76. číslo	77. číslo	78. číslo	79. číslo	80. číslo	81. číslo	82. číslo	83. číslo	84. číslo	85. číslo	86. číslo	87. číslo	88. číslo	89. číslo	90. číslo	91. číslo	92. číslo	93. číslo	94. číslo	95. číslo	96. číslo	97. číslo	98. číslo	99. číslo	100. číslo										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

Materiál: S355J2G3

- svarovaní
- musí odpovídať ČSN-EN
- rozmery svárú odpovídať min. rozměrům svařovaných materiálů
- technologi svařování zprávoje dodavateľ konštrukcie



Výsek z projektové dokumentace 2 zdroj: PERI spol s r.o.

výrobní výkres
podklad pro dílenskou dokumentaci

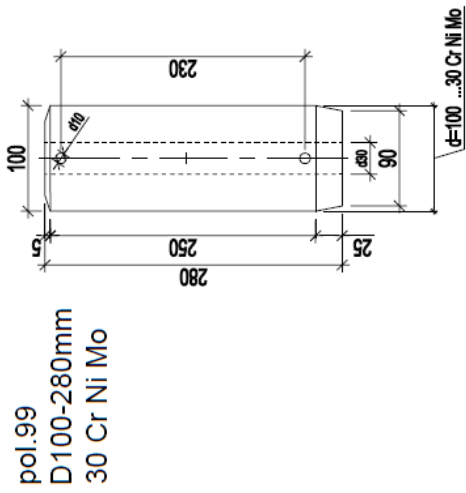
PERI

PERI spol. s r.o.
Technická oddelenie basketbalu
Průmyslová 302
Prácheň 370 01
Slovensko

Technická služba
Tel. +421 222 590 980
Fax. +421 222 590 933
E-mail. peris@peri.sk
www.peri.sk

FIRMA	PERI spol. s r.o.
ADRESA	předměstí PERI - ST4000
PROJEKT	ROZMĚRY Ø 7m, 4m
STAVBA	výhled práce svařování svařovacího železa Ø7m a Ø4m
STRANA	1 z 1

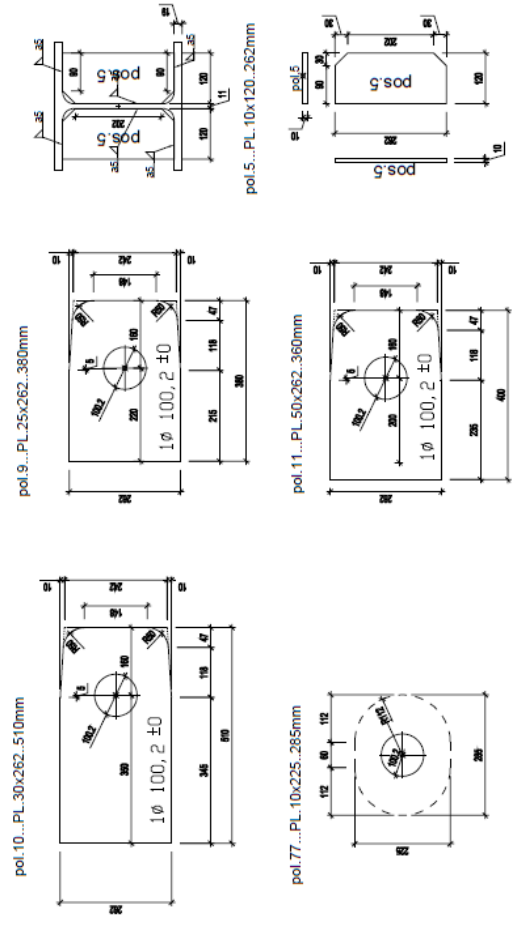
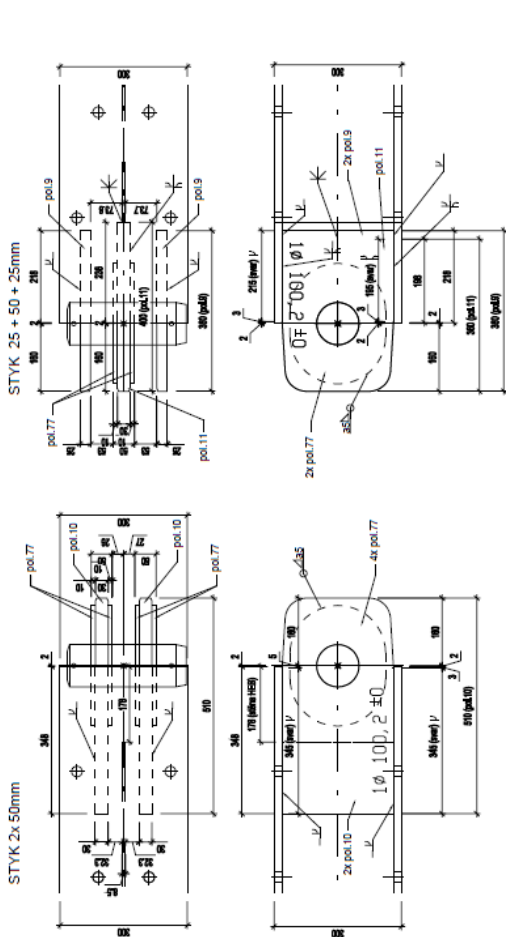
Dokumentace vytvořena v programu AutoCAD 2014



POZOR !!!
-upravený tvar (vrtání D=30mm)

No.ter.1a.1. S355J2E3

POZOR !!!
-upravený rozměr dílů "pol 11"



výrobní výkres
podklad pro dílenskou dokumentaci

PERI

PERI spol. s r.o.
Technická zpráva
Mlýnská 8, 686 01 Písek
392 42
www.peri.cz
TEL: +420 222 989 980
FAX: +420 222 989 981
e-mail: prodej@peri.cz

PRŮVLA	PERI spol. s r.o.	Stavba	
NAZEV	Příruba PERI...ST4000	Podpis	
PROJEKT	Příruba PERI...ST4000	Stavba	
SYSTÉM	bezpečný spoj. potrubí	Stavba	
MÍSTO	1:1:1	MATERIÁL	CZEKAL2008-0000

Výsek z projektové dokumentace 3
zdroj: PERI spol s.r.o.



Fotografie KMT nosníků

zdroj: <https://www.asb-portal.cz/inzenyrske-stavby/mosty/zvedani-mostu-s-konstrukcemi-peri>



Fotografie KMT nosníků 2

zdroj: <https://www.peri.cz/projekty/rekonstrukce/rekonstrukce-zvedani-svinovskych-mostu.html>

9. Seznam obrázků:

Obrázek 1 - Příčný řez	3
Obrázek 2 - Zatížení od ztužidel	4
Obrázek 3 - Rozmístění ztužidel	5
Obrázek 4 - Oslabená průřez.....	7
Obrázek 5 - Průřez v Scia E.....	8
Obrázek 6 - Přiřazení křivek	10
Obrázek 7 - Křivky vzpěrnosti	10
Obrázek 8 - Zatřídění průřezu	14
Obrázek 9 - Součinitelé.....	15
Obrázek 10 - Řez diagonálou	18
Obrázek 11 - Půdorys plechů.....	22
Obrázek 12 - Půdorys plechů.....	22
Obrázek 13 - Síly na plechu	22
Obrázek 14 - Půdorys styku	24
Obrázek 15 - Řez stykem	25
Obrázek 16 - zvedací lana	26
Obrázek 17 - Schéma podepření.....	27
Obrázek 18 - Schéma zatížení konstrukce	27
Obrázek 19 - Normálové síly na konstrukci.....	27
Obrázek 20- Posouvající síly na konstrukci	28
Obrázek 21 - Momenty na konstrukci	28
Obrázek 22 - interakční součinitelé	29
Obrázek 23 - Součinitelé C_m	29
Obrázek 24 - Interakční součinitel k_{yy}	29
Obrázek 25 - Průběh normálových sil.....	30
Obrázek 26 - Průběh Posouvající sil+Momentů	30
Obrázek 27- Průběh normálových sil II	31
Obrázek 28 - Průběh posouvajících sil II.....	31
Obrázek 29 - Průběh Momentů II.....	32
Obrázek 30 - Průběh Normálových sil III.....	32
Obrázek 31 - Průběh Posouvajících sil III	33
Obrázek 32 - Průběh Momentů III	33
Obrázek 33 - Průběh normálových sil IV.....	34
Obrázek 34 - Průběh Posouvajících sil IV	34
Obrázek 35 - Průběh Momentů IV	35
Obrázek 36 - Průběh Normálových sil V.....	35
Obrázek 37 - Průběh posouvajících sil V	36
Obrázek 38 - Průběh Momentů V	36
Obrázek 39 - Průběh Normálových sil V_b , zatížení 150 kN/m	37
Obrázek 40 - Průběh Normálových sil VI.....	37
Obrázek 41 - Průběh Posouvajících sil VI	38
Obrázek 42 - Průběh Momentů VI	38
Obrázek 43 - Průběh Normálových sil VII	39
Obrázek 44 - Průběh Posouvajících sil VII	39
Obrázek 45 - Průběh Momentů VII.....	40
Obrázek 46 - Průběh Normálových sil VIII.....	40
Obrázek 47 - Průběh Posouvajících sil.....	41

Obrázek 48 - Průběh Momentů VIII	41
Obrázek 49 - Průběh Normálových sil I - 24m	42
Obrázek 50 - Průběh Posouvajících sil + Momentů I-24m	43
Obrázek 51 - Průběh normálových sil II - 24m	43
Obrázek 52 - Normálové síly v oblasti spoje.....	43
Obrázek 53 - Průběh Momentů II - 24m.....	44
Obrázek 54 - Průběh posouvajících sil II - 24m.....	44

10. Seznam zdrojů

- <http://people.fsv.cvut.cz/~machacek/>
- použití vzorců z platných norem
- Ocelové tabulky, F.Wald, ČVUT Praha 1999
- Program SciaEngineer

- http://ocel-drevo.cz/?wpfb_dl=3, Ocelové konstrukce 01 - M.Jandera, M.Eliášová, T. Vraný Praha 2015
- podklady od firmy PERI spol s.r.o.
 - Projektová dokumentace
 - Tabulky prvků
 - Protokoly zkoušek
 - [https://www.peri.cz/.resources/brochures/jcr:c871c0ea.../HD%20200%20\(c\)s\).pdf](https://www.peri.cz/.resources/brochures/jcr:c871c0ea.../HD%20200%20(c)s).pdf)

Zdroje obrázků jsem uvedla rovnou v popisu obrázku. Pokud se tam nenachází žádný zdroj, obrázek pochází z mé vlastní tvorby.