

Anotace

Autor diplomové práce:	Bc. Ondřej Krouský
Katedra, fakulta:	Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí, Fakulta stavební, ČVUT v Praze
Název diplomové práce:	Krytá lávka pro chodce
Vedoucí diplomové práce:	Prof. Ing. Jiří Studnička, DrSc.
Klíčová slova:	lávka pro chodce, příhradový nosník, ocelová konstrukce, dřevěná mostovka, dřevěná střecha

Úkolem diplomové práce bylo navrhnout ocelovou lávku pro chodce přes Brněnskou přehradu pod hradem Veverčí. Na zadané téma byly zpracovány tři varianty konstrukčních řešení, z nichž posléze byla vybrána jedna varianta pro další zpracování. Vybranou variantou byla krytá lávka pro chodce. Jedná se o most o dvou polích. Hlavním nosným systémem je dvojice spojených příhradových nosníků kosoúhlé soustavy. Mostovka je umístěna v úrovni dolního pásu. Horní pás nese konstrukci zastřešení. Pro tuto variantu byl vyhotoven statický výpočet, který obsahuje určení zatížení, návrh nosných částí konstrukce a jejich posouzení jak v mezním stavu únosnosti tak pro mezní stav použitelnosti. Výkresová dokumentace zahrnuje dispozici dané varianty a detaily konstrukčního řešení. Technická zpráva obsahuje postup montáže a ochranu proti korozi. Výpočet je proveden podle evropských norem zavedených do systému českých norem ČSN EN.

Annotation

Author of diploma project:	Bc. Ondřej Krouský
Department, faculty:	Department of steel and timber structures, Faculty of civil engineering, CTU in Prague
Name of diploma project:	Covered footbridge
Diploma project leader:	Prof. Ing. Jiří Studnička, DrSc.
Key words:	pedestrian footbridge, truss structure, steel structure, wooden deck, wooden roof

The task of diploma project was design a steel footbridge over the Brno dam below the castle Veverčí. To the specified tasks, it has been processed three variants of design solution. One of them was selected to further processing. The selected variant was covered footbridge. It is a bridge with two fields. The main supporting system is a pair of continuous trusses with rhomb system. The deck is located at the bottom of the belt. The upper belt supports the roof structure. For this variant was made static calculation, which includes determining the loads, design of load bearing parts of the structure and assessment of both the ultimate limit state and the serviceability limit state. The drawings include the disposition and details of design. The technical report contains the process of assembly and protection against corrosion. The calculation is performed according to European standards introduced into the Czech standards ČSN EN.

Čestné prohlášení

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

Ondřej Krouský

12. května 2011

Seznam příloh

1. Technická zpráva
2. Statický výpočet
3. Výsledky výpočtu vnitřních sil
4. Návrh a posouzení prutů příhradového nosníku
5. Návrh a posouzení prutů horního a dolního ztužení
6. Návrh a posouzení táhel
7. Dispoziční výkres
8. Výkresy detailů
9. Výkres detailu – alternativa
10. Studie variant
11. CD-ROM

Krytá lávka pro chodce přes Brněnskou přehradu

OBSAH

Obsah	1
Seznam podkladů a použitých norem	2
Skripta	2
Normy	2
Další tištěné publikace	2
Zdroje na internetu	2
Zadání	3
Návrh řešení	3
Základní parametry	3
Dispozice	3
Proměnná a klimatická zatížení konstrukce	5
Zatížení dopravou	5
Klimatická zatížení	5
Zatížení větrem	5
Zatížení sněhem	6
Zatížení teplotou	7
Materiály	8
Ocel	8
Dřevo	8
Návrh a posouzení jednotlivých konstrukčních prvků	9
Dřevěná mostovka na ocelových příčnicích	9
Návrh desky mostovky – fošny	10
Dřevěné podélné trámy	12
Ocelové příčnice	15
Dřevěná střecha	18
Návrh střechy	18
Návrh střešní desky	18
Návrh střešních rámců	21
Hlavní ocelový příhradový nosník	28
Geometrie	28
Zatížení	30
Zatěžovací kombinace	33
Průřezové charakteristiky	33
Výpočet vnitřních sil	34
Výsledky výpočtu vnitřních sil	35
Posouzení prutů MSÚ	35
Posouzení MSP	35
Mostní závěr a ložiska	38
Návrh mostního závěru	38
Návrh ložisek	39

.....

SEZNAM PODKLADŮ A POUŽITÝCH NOREM

Skripta

1. Skriptum – Ocelové konstrukce, Tabulky (Tomáš Vraný, František Wald) – ČVUT 2006
2. Skriptum – Ocelové konstrukce, Normy (Prof. Ing. Jiří Studnička, DrSc.) – ČVUT 2008
3. Skriptum – Ocelové konstrukce 2 (Prof. Ing. Josef Macháček, DrSc., Prof. Ing. Jiří Studnička, DrSc.) – ČVUT 2005
4. Skriptum – Ocelové konstrukce 2, Zatížení (Prof. Ing. Jiří Studnička, DrSc., Prof. Ing. Milan Holický, DrSc., Doc. Ing. Jana Marková, Ph.D.) – ČVUT 2009
5. Skriptum – Ocelové konstrukce 2, Cvičení (Tomáš Vraný, Martina Eliášová) – ČVUT 2005

Normy

1. ČSN EN 1990 – Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
2. ČSN EN 1991-1-3 – Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
3. ČSN EN 1991-1-4 – Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
4. ČSN EN 1991-1-5 – Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-5: Obecná zatížení – Zatížení teplotou
5. ČSN EN 1991-2 – Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou
6. ČSN EN 1993-1-1 – Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.

Další tištěné publikace

1. Příručka 1 – Dřevěné konstrukce – Leonardo Da Vinci Project
2. Příručka 2 – Navrhování dřevěných konstrukcí podle Eurokódu 5 – Leonardo Da Vinci Project
3. Statické tabulky – J. Hořejší, J. Šafka a kol.
4. Mosty – Antonín Pechal

Zdroje na internetu

1. www.iko.cz – Střešní asfaltové šindele
2. fast10.vsb.cz/temtis/cz/ – Temtis – vzdělávací materiály pro navrhování a zkoušení dřevěných konstrukcí
3. helmos.cz – Mostní ložiska
4. www.reisnerwolff.cz – RW Primo – elastické mostní závěry
5. www.halfen.cz – Halfen – Systém táhel Detan.

ZADÁNÍ

Úkolem je navrhnout alternativní řešení přemostění Brněnské přehrady k již realizované stavbě lávky pro pěší, jejímž autorem je Ing. Antonín Pechal, CSc.

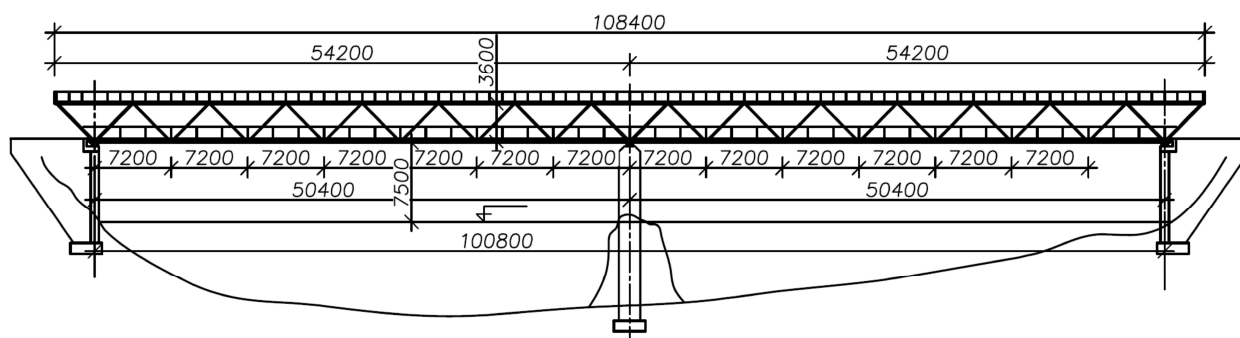
NÁVRH ŘEŠENÍ

Snaha byla navrhnout lehkou, ekonomicky výhodnou konstrukci, která by svým vzhledem co nejméně narušovala okolní prostředí. Jako vhodné řešení se zejména z ekonomických důvodů nabízí příhradový most s dřevěnou dolní mostovkou a zastřešením uloženém na horním pásu. Zastřešení je navrženo z ochranných a estetických důvodů. Příhradové nosníky jsou uvažovány jako spojitě přes dvě pole.

Základní parametry

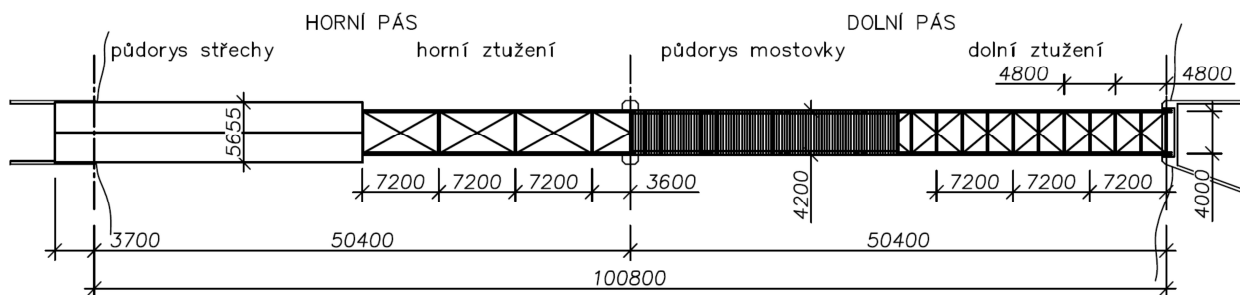
Počet polí: 2
Teoretické rozpětí jednoho pole: 50,4m
Celkové teoretické rozpětí: 100,8m
Průchozí šířka mezi zábradlím: 3,5m
Osová vzdálenost mezi nosníky: 4,0m
Celková šířka mostu: 5,6m
Délka zastřešení: 108,4m
Počet příhrad: 2×7

Dispozice



Pohled na konstrukci

Příhradový nosník se skládá z 2×7 příhrad, z nichž každá je 7,2m dlouhá. Most je symetrický a obě pole mají teoretické rozpětí 50,4m. Na středovém pilíři jsou navržena pevná ložiska, na obou opěrách pak ložiska posuvná.



Půdorys a vodorovné řezy v různých úrovních

PROMĚNNÁ A KLIMATICKÁ ZATÍŽENÍ KONSTRUKCE

Pro návrh a posouzení prvků konstrukce budou použity různé kombinace zatížení. Zde jsou připraveny působící zatěžovací stavy.

Zatížení dopravou

Pro návrh a posouzení prutů příhradového nosníku se použije sestava zatížení gr1, která zahrnuje rovnoměrné zatížení s charakteristickou hodnotou 5 kN/m^2 působící svisle a vodorovné síly, působící v úrovni mostovky ve směru podélné osy lávky. Tato hodnota se má uvažovat jako 10% z celkového svislého zatížení dopravou.

$$f_{ch} = 5 \cdot b = 5 \cdot 3.5 = 17.50 \text{ kN/m (svislá síla)}$$

$$f_{ch,x} = f_{ch} \cdot 0.1 = 17.5 \cdot 0.1 = 1.750 \text{ kN/m (vodorovná síla v podélném směru)}$$

Klimatická zatížení

Zatížení větrem

Dle mapy větrných oblastí na území ČR (ČSN EN 1994-1-4:2007), spadá lokalita konstrukce do II. větrné oblasti. Výchozí základní rychlost větru je $\{tab: 50\} v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$.

Základní rychlost větru se vypočítá ze vztahu $v_b = C_{dir} \cdot C_{seson} \cdot v_{b,0}$

Součinitele směru větru C_{dir} a ročního období C_{seson} mají dle národní přílohy ČR hodnotu 1.0

Základní rychlost větru $v_b = C_{dir} \cdot C_{seson} \cdot v_{b,0} = 1 \cdot 1 \cdot 25 = 25 \text{ m/s}$

Pro I. kategorii terénu (jezera nebo vodorovné oblasti se zanedbatelnou vegetací a bez překážek) jsou stanoveny tyto parametry:

$$z_o = 0.01 \text{ m}$$

$$z_{0,II} = 0.05 \text{ m}$$

$$z_{min} = 1.0 \text{ m}$$

Součinitel terénu $k_r = 0.19 \cdot \left(\frac{z_o}{z_{0,II}}\right)^{0.07} = 0.19 \cdot \left(\frac{0.01}{0.05}\right)^{0.07} = 0.170$

Výška konstrukce nad terénem $z = 8.5 \text{ m}$

Součinitel drsnosti terénu pro $z = 8.5 \text{ m} > z_{min} \rightarrow C_r = k_r \cdot \log\left(\frac{z}{z_o}\right) = 0.17 \cdot \log\left(\frac{8.5}{0.01}\right) = 1.15$

Součinitel orografie $C_o = 1.0$

Střední rychlost větru $V_m = C_r \cdot C_o \cdot v_b = 1.15 \cdot 1 \cdot 25 = 28.6 \text{ m/s}$

Měrná hmotnost vzduchu se uvažuje $\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$

Základní dynamický tlak větru $q_b = 0.5 \cdot \rho \cdot V_m^2 = 0.5 \cdot 1.25 \cdot 28.6^2 = 512.2 \text{ Pa}$

Součinitel expozice C_e se odečte z grafu dle výšky konstrukce nad terémem ($z = 8.5$ m) a kategorie terénu (I.).
 $C_e = 2.65$

Maximální dynamický tlak větru $q_b = C_e \cdot q_b = 2.7 \cdot 512.2 = 1357.224$ Pa = 1.357 kN/m²

Charakteristická síla ve svislém směru

Zatížení ve svislém směru se uvažuje jako rovnoměrné po celé délce mostu.

Svislá síla od větru se vypočte $f_{w,z} = c_s \cdot c_d \cdot c_{f,z} \cdot q_b$

Součinitele se mají uvažovat $c_s = 1.0$ a $c_d = 1.0$
Součinitel $c_{f,z} = 0.9$ pro svislý směr vzhůru i pro svislý směr dolů.

$$f_{w,z} = c_s \cdot c_d \cdot c_{f,z} \cdot q_b = 1 \cdot 1 \cdot 0.9 \cdot 1.357 = 1.22 \text{ kN/m}^2$$

Charakteristická síla ve vodorovném směru

Zatížení se uvažuje ve směru kolmém k podélné ose mostu.

Ve vodorovném směru se vypočte zatížení takto $f_{w,x} = \frac{1}{2} \cdot q \cdot v_b^2 \cdot C$

Dolní pás

Součinitel expozice $C_e = 2.65$

Součinitel $C_{f,x} = 1.3$

Součinitel zatížení větrem $C = C_e \cdot C_{f,x} = 2.7 \cdot 1.3 = 3.45$

$$f_{w,x,d} = \frac{1}{2} \cdot q \cdot v_b^2 \cdot C = \frac{1}{2} \cdot 1.25 \cdot 25^2 \cdot 3.45 = 1345.70 \text{ N/m} = 1.35 \text{ kN/m}^2$$

Horní pás

Vlivem skloněné střechy se má součinitel $C_{f,x}$ zvýšit o 25% $\rightarrow C_{f,x} = 1.3 \cdot 1.25 = 1.3 \cdot 1.25 = 1.63$

Součinitel zatížení větrem $C = C_e \cdot C_{f,x} = 2.7 \cdot 1.63 = 4.31$

$$f_{w,x,h} = \frac{1}{2} \cdot q \cdot v_b^2 \cdot C = \frac{1}{2} \cdot 1.25 \cdot 25^2 \cdot 4.31 = 1682.13 \text{ N/m} = 1.68 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení sněhem

Norma ČSN EN 1991-1-3 neuvádí postup pro stanovení zatížení mostů sněhem. Současně norma ČSN EN 1990 v příloze A2 uvádí, že zatížení sněhem se nemusí kombinovat se sestavou zatížení gr1 ani gr2.

Přesto krytá lávka pro chodce je natolik specifickou konstrukcí, kde zatížení sněhem může v kombinaci s provozem reálně nastat. Současně se nepředpokládá, že by byla sněhová pokrývka ze střechy odstraňována. Zatížení bude proto stanoveno jako by se jednalo o běžnou střechu.

Zatížení sněhem se vypočte ze vztahu $f_s = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$

Konstrukce se nachází v II. sněhové oblasti. Charakteristická hodnota zatížení sněhem je $s_k = 1.0 \text{ kN/m}^2$

Součinitel expozice $C_e = 0.8$ (pro otevřený typ krajiny)

Součinitel teploty $C_t = 1.0$ (pod střechou není tepelný zdroj)

Tvarový součinitel střechy pro sklony do 30° ($\alpha = 20^\circ$)

$$\mu_1 = 0.8$$

Zatížení sněhem $f_s = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0.8 \cdot 0.8 \cdot 1 \cdot 1 = 0.6 \text{ kN/m}^2$

Zatížení teplotou

Vzhledem k charakteru konstrukce bude uvažována pouze rovnoměrná změna teploty. Ta se projeví především na deformace konstrukce a posuny v ložiscích.

Teplota vzduchu ve stínu

Hodnoty byly odečteny z mapy charakteristických hodnot teploty vzduchu ve stínu pro lokalitu Brněnské přehrady.

$$T_{\min} = -34^\circ\text{C}$$

$$T_{\max} = 38^\circ\text{C}$$

Maximální / minimální složka rovnoměrné teploty mostu

Hodnoty byly odečteny z grafu uvedeného v normě ČSN EN 1991-1-5 pro převod teploty vzduchu ve stínu a rovnoměrné složky teploty mostu. Uvažován je typ konstrukce 1 (ocelový příhradový nebo plnostěnný nosník).

$$T_{\min} = -34^\circ\text{C} \rightarrow T_{e,\min} = -36^\circ\text{C}$$

$$T_{\max} = 38^\circ\text{C} \rightarrow T_{e,\max} = 54^\circ\text{C}$$

Uvažovaná změna teploty

$$T_o = 10^\circ\text{C} \text{ (doporučená hodnota)}$$

$$\Delta T_{N,\text{con}} = T_o - (T_{e,\min}) = 10 - (-36) = 46^\circ\text{C} \text{ (pro zkrácení)}$$

$$\Delta T_{N,\text{exp}} = T_{e,\max} - T_o = 54 - 10 = 44^\circ\text{C} \text{ (pro prodloužení)}$$

MATERIÁLY

Ocel

Pokud nebude dále uvedeno jinak, použije se ocel **S355 J2**

Součinitel materiálu	$\gamma_M = 1.0$
Mez kluzu	$f_{y,k} = 355 \text{ MPa} \rightarrow f_{y,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{355}{1} = 355 \text{ MPa}$
Modul pružnosti	$E = 210000 \text{ MPa}$

Dřevo

Pro konstrukci střechy a dřevěné mostovky se použije dřevo jehličnatých stromů pevnostní třídy C20.

Ohybová pevnost	$f_{m,k} = 20 \text{ MPa}$
Tah rovnoběžně s vlákny	$f_{t,0,k} = 12.0 \text{ MPa}$
Tlak rovnoběžně s vlákny	$f_{c,0,k} = 19.0 \text{ MPa}$
Smyková pevnost	$f_{v,k} = 2.2 \text{ MPa}$
Modul pružnosti	$E_{0,\text{mean}} = 9500 \text{ MPa}$ $E_{0,05} = 6400 \text{ MPa}$
průměrná hodnota hustoty	$\rho_{\text{mean}} = 390 \text{ kg/m}^3$

Návrhové hodnoty

Pro stanovení návrhových hodnot je třeba určit:

třídu trvání zatížení → **Krátkodobé** (*chodci*)

třídu provozu – **3 třída** (*vlhkost materiálu může přesažnout 20%, nebo relativní vlhkost vzduchu je větší než 85% po dobu delší než několik týdnů*)

modifikační součinitel	$k_{\text{mod}} = 0.7$ (<i>pro rostlé dřevo, třídu provozu 3 a krátkodobé zatížení</i>)
deformační součinitel	$k_{\text{def}} = 2.0$ (<i>pro rostlé dřevo a třídu provozu 3</i>)

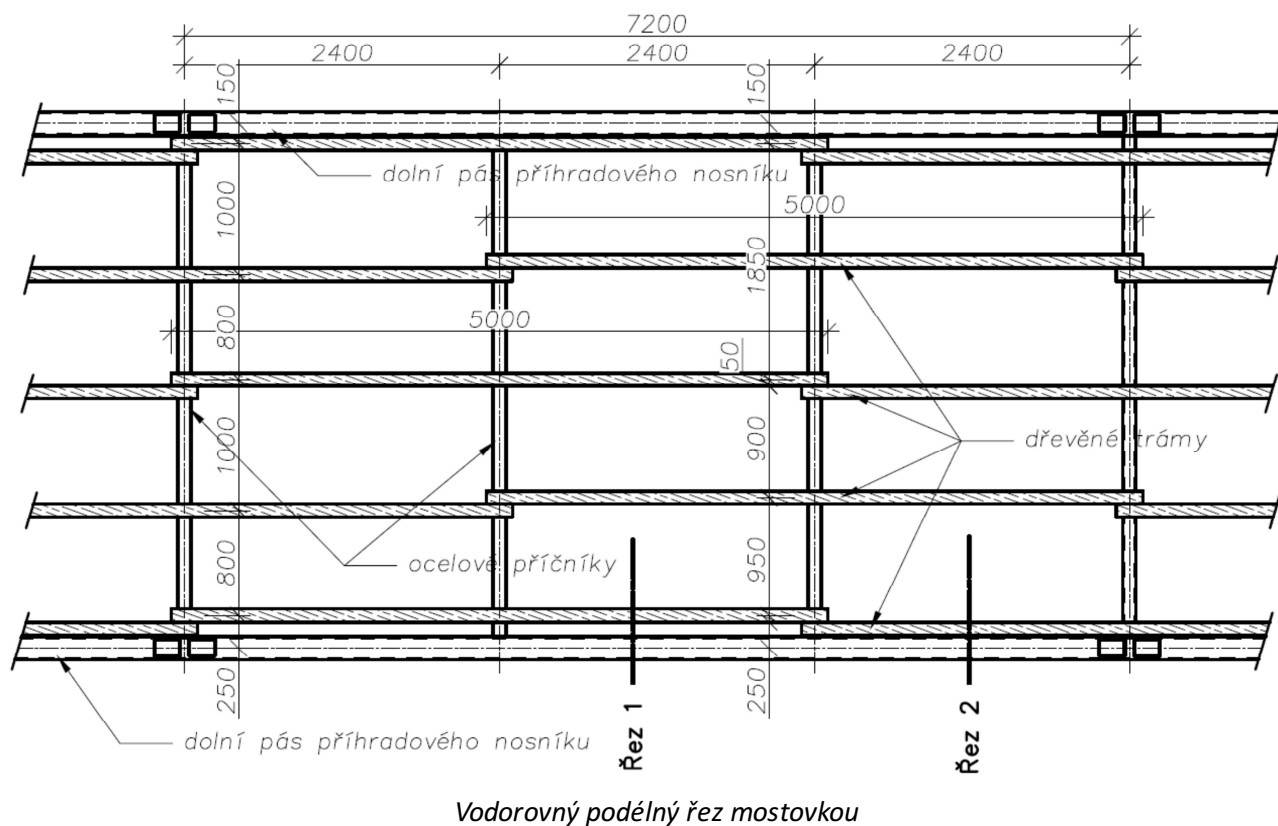
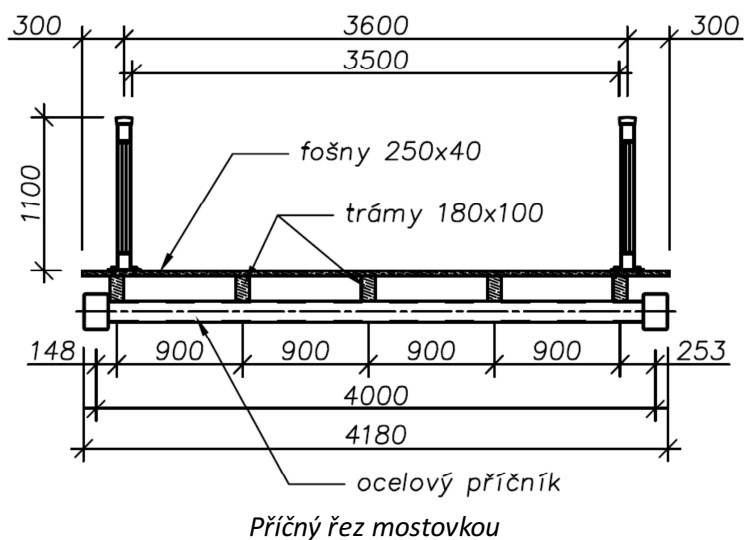
Součinitel materiálu	$\gamma_M = 1.3$ (<i>pro rostlé dřevo</i>)
----------------------	--

Ohybová pevnost	$f_{m,d} = 10.8 \text{ MPa}$
Tahová pevnost	$f_{t,0,d} = 6.5 \text{ MPa}$
Tlaková pevnost	$f_{c,0,d} = 10.2 \text{ MPa}$
Smyková pevnost	$f_{v,d} = 1.2 \text{ MPa}$

NÁVRH A POSOUZENÍ JEDNOTLIVÝCH KONSTRUKČNÍCH PRVKŮ

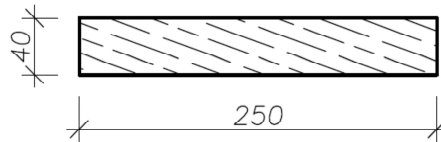
Dřevěná mostovka na ocelových příčnicích

Dřevěná mostovka se skládá z fošen uložených kolmo k podélné ose mostu. Fošny jsou připevněny na pěti podélných dřevěných trámech, které podpírají ocelové příčnice. Dřevěné trámy mají délku 5m a jsou uloženy jako spojitě nosníky. Viz dispozice.



Návrh desky mostovky – fošny

Návrh geometrie



Průřez fošny

šířka	$b = 250 \text{ mm}$
tloušťka	$t = 40 \text{ mm}$
rozpětí	$l = 1 \text{ m}$
průřezová plocha	$A = b \cdot t = 250 \cdot 40 = 10000 \text{ mm}^2$
Průřezový modul	$W_{el} = \frac{1}{6} \cdot b \cdot t^2 = \frac{1}{6} \cdot 250 \cdot 40^2 = 66667 \text{ mm}^3$
Moment setrvačnosti	$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot t^3 = \frac{1}{12} \cdot 250 \cdot 40^3 = 1333333 \text{ mm}^4$

Zatížení

Uvažuje se pouze vlastní tíha a proměnné zatížení chodci. Klimatická zatížení se neuvažují.

Stálé – vlastní tíha

vl. tíha na jednotku délky $f_g = 0.04 \text{ kN/m}$

Proměnné – chodci

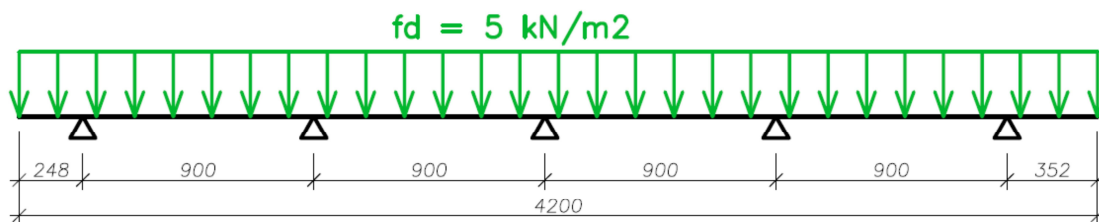
rovnoměrné zatížení $f_{ch} = 5 \text{ kN/m}^2$
zatěžovací šířka $b = 250 \text{ mm}$
zatížení na jednotku délky $f_{ch} = 1.25 \text{ kN/m}$

Kombinace zatížení

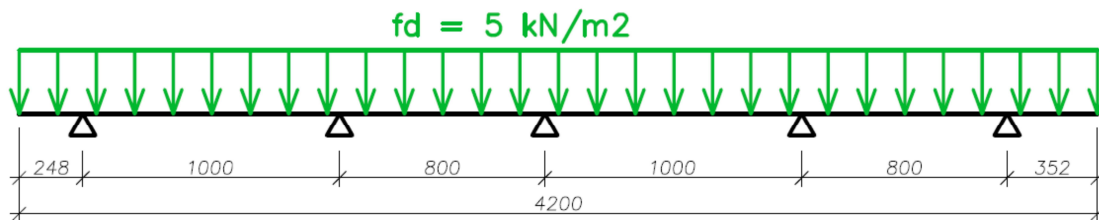
součinitel stálých zatížení $\gamma_G = 1.35$
součinitel proměnných zatížení $\gamma_Q = 1.35$
návrhové zatížení $f_d = \gamma_G \cdot f_g + \gamma_Q \cdot f_{ch} = 1.35 \cdot 0.04 + 1.35 \cdot 1.3 = 1.74 \text{ kN/m}$
charakteristické zatížení $g_k = f_g + f_{ch} = 0.04 + 1.3 = 1.29 \text{ kN/m}$

Statické schéma

Schéma podepření a zatížení fošny ve dvou charakteristických řezech.



Řez 1

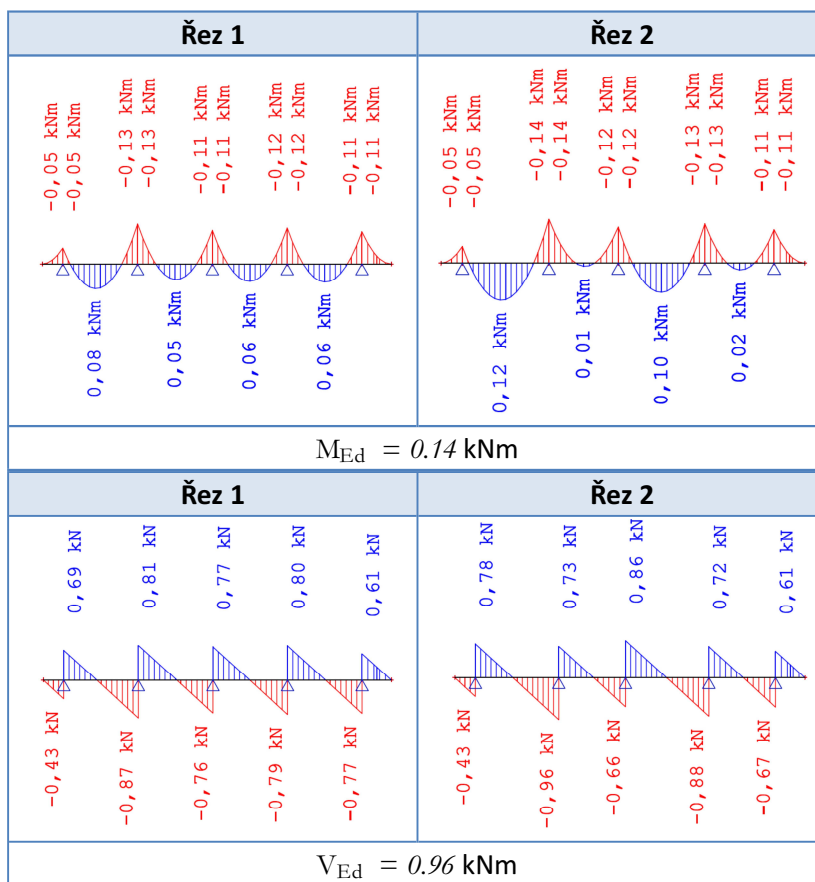


Řez 2

Fošna působí jako spojitý nosník o čtyřech polích s převislými konci na obou stranách.

MSÚ – Mezní stav únosnosti

Výpočet vnitřních sil



Ohyb

Moment nad podporou

$M_{Ed} = 0.14 \text{ kNm}$

Ohybové napětí

$\sigma = \frac{M_{Ed}}{W_{el}} \cdot 10^6 = \frac{0.14}{66667} \cdot 10^6 = 2.10 \text{ MPa} < f_{m,d} = 10.8 \text{ MPa}$

VYHOVUJE

Smyk

Posouvající síla

$$V_{Ed} = 0,96 \text{ kN}$$

Smykové napětí

$$\tau_{v,d} = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2 \cdot A} \cdot 1000 = \frac{3 \cdot 0,96}{2 \cdot 10000} \cdot 1000 = 0,14 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,2 \text{ MPa}$$

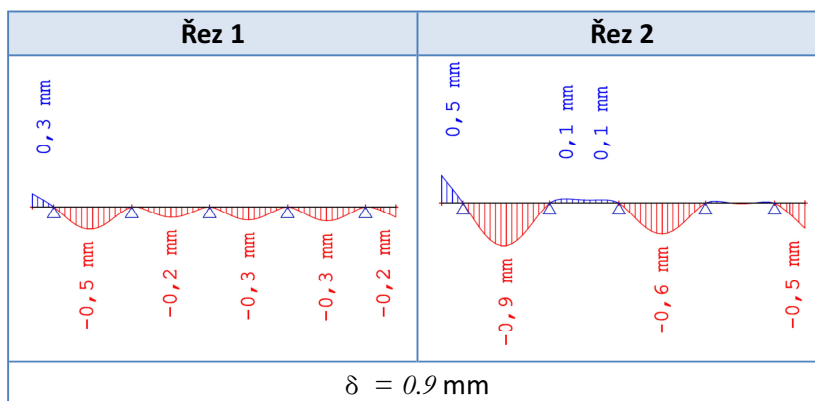
VYHOVUJE

MSP – Mezní stav použitelnosti

Z hlediska použitelnosti je omezen průhyb. Průhyb nesmí překročit určenou maximální hodnotu.

Maximální doporučená hodnota je $\delta_{max} = \frac{1 \cdot 1000}{300} = \frac{1 \cdot 1000}{300} = 3,3 \text{ mm}$.

Výpočet průhybu

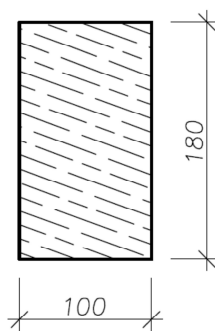


okamžitý průhyb $\delta = 0,9 \text{ mm} < \delta_{max} = 3,3 \text{ mm}$

VYHOVUJE

Dřevěné podélné trámy

Návrh geometrie



Průřez trámy

šířka

$$b = 100 \text{ mm}$$

výška

$$h = 180 \text{ mm}$$

rozpětí

$$L = 2,4 \text{ m}$$

průřezová plocha

$$A = b \cdot h = 100 \cdot 180 = 18000 \text{ mm}^2$$

Průřezový modul

$$W_{el} = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 100 \cdot 180^2 = 540000 \text{ mm}^3$$

Moment setrvačnosti

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 100 \cdot 180^3 = 48600000 \text{ mm}^4$$

Zatížení

Uvažuje se vlastní tíha trámu a fošen, dále proměnné zatížení chodci. Klimatická zatížení se neuvažují.

Zatěžovací šířka trámu je $b = 1000$ mm

Stálá

Vlastní tíha $f_g = \left(\frac{A}{10^6}\right) \cdot \left(\frac{\rho_{\text{mean}}}{100}\right) = \left(\frac{18000}{10^6}\right) \cdot \left(\frac{390}{100}\right) = 0.07$ kN/m

Tíha fošen $f_{g,o} = \left(\frac{b \cdot t}{10^6}\right) \cdot \left(\frac{\rho_{\text{mean}}}{100}\right) = \left(\frac{1000 \cdot 40}{10^6}\right) \cdot \left(\frac{390}{100}\right) = 0.16$ kN/m

Proměnné – chodci

rovnoměrné zatížení $f_{ch} = 5$ kN/m²

zatěžovací šířka $b = 1000$ mm

zatížení na jednotku délky $f_{ch} = 5.00$ kN/m

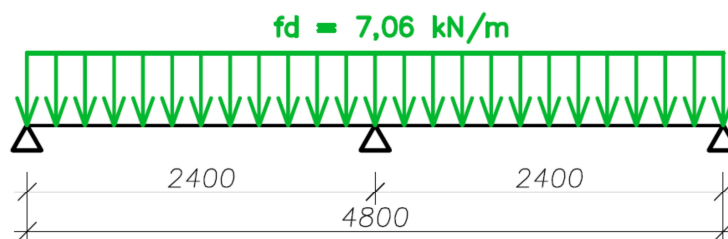
Kombinace zatížení

návrhové zatížení $f_d = \gamma_G \cdot (f_g + f_{g,o}) + \gamma_Q \cdot f_{ch} = 1.35 \cdot (0.07 + 0.16) + 1.35 \cdot 5 = 7.06$ kN/m

charakteristické zatížení $g_k = f_g + f_{g,o} + f_{ch} = 0.07 + 0.16 + 5 = 5.23$ kN/m

Statické schéma

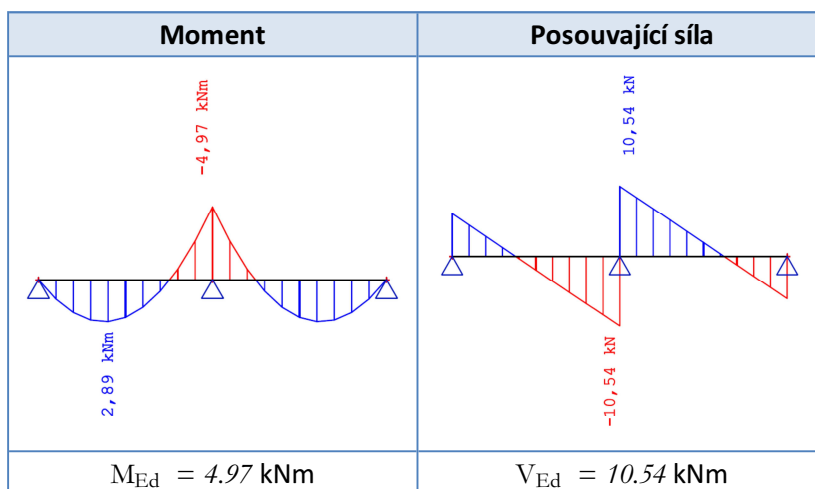
Trám působí jako spojitý nosník o dvou polích.



Statické schéma působení trámu mostovky

MSÚ – Mezní stav únosnosti

Výpočet vnitřních sil



Ohyb

Moment nad podporou $M_{Ed} = 4.97 \text{ kNm}$
 Ohybové napětí $\sigma = \frac{M_{Ed}}{W_{el}} \cdot 10^6 = \frac{4.97}{540000} \cdot 10^6 = 9.20 \text{ MPa} < f_{m,d} = 10.8 \text{ MPa}$

VYHOVUJE

Smyk

Posouvající síla $V_{Ed} = 10.54 \text{ kN}$
 Smykové napětí $\tau_{v,d} = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2 \cdot A} \cdot 1000 = \frac{3 \cdot 10.54}{2 \cdot 18000} \cdot 1000 = 0.88 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1.2 \text{ MPa}$

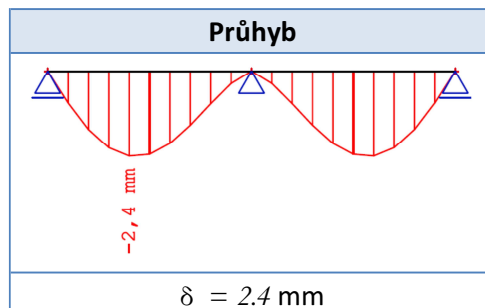
VYHOVUJE

MSP – Mezní stav použitelnosti

Z hlediska použitelnosti je omezen průhyb trámů. Průhyb nesmí překročit maximální hodnotu.

Maximální doporučené hodnota je $\delta_{max} = \frac{(L \cdot 1000)}{300} = \frac{(2.4 \cdot 1000)}{300} = 8.0 \text{ mm}$.

Výpočet průhybu



okamžitý průhyb $\delta = 2.4 \text{ mm} < \delta_{max} = 8.0 \text{ mm}$

VYHOVUJE

Ocelové příčníky

Ocelové příčníky spojují dolní pásy příhradových nosníků. Jsou umístěny v pravidelně, vždy ve vzdálenosti 2.4 m. Každý třetí příčník je v místě styčného příhradového nosníku.

Návrh geometrie

Pro příčník se použije obdélníková trubka **TR 150×100×5,0**

Průřezová plocha	$A = 2370 \text{ mm}^2$
Průřezový modul	$W_{el,y} = 119000 \text{ mm}^3$
Moment setrvačnosti	$I_y = 7390000 \text{ mm}^4$
Plocha pro smyk	$A_{vz} = 1422 \text{ mm}^2$
Hmotnost	$G = 18.60 \text{ kg/m}$
Rozpětí	$l = 4.0 \text{ m}$

Zatížení

Zatěžovací šířka na jeden příčník	$b_1 = 2.4 \text{ m}$
Osová vzdálenost dřevěných trámů	$b_2 = 0.9 \text{ m}$ (průměr)

Stálé

Vlastní tíha	$f_g = 0.19 \text{ kN/m}$ (rovnoměrné zatížení)
Deska mostovky	$F_{g,o,1} = b_1 \cdot b_2 \cdot \left(\frac{t}{1000}\right) \cdot \rho_{\text{mean}} \cdot \left(\frac{1}{100}\right) = 2.4 \cdot 0.9 \cdot \left(\frac{40}{1000}\right) \cdot 390 \cdot \left(\frac{1}{100}\right) = 0.34 \text{ kN}$
Dřevěné trámy	$F_{g,o,2} = b_1 \cdot \left(\frac{A}{10^6}\right) \cdot \rho_{\text{mean}} \cdot \left(\frac{1}{100}\right) = 2.4 \cdot \left(\frac{18000}{10^6}\right) \cdot 390 \cdot \left(\frac{1}{100}\right) = 0.17 \text{ kN}$
Ocelové zábradlí	$F_{g,o,3} = b_1 \cdot 0.5 = 2.4 \cdot 0.5 = 1.20 \text{ kN}$

Proměnné – chodci

Základní hodnota	$f_{ch} = 5.0 \text{ kN/m}^2$
	$F_{ch} = b_1 \cdot b_2 \cdot f_{ch} = 2.4 \cdot 0.9 \cdot 5 = 10.80 \text{ kN}$

Kombinace zatížení

Rovnoměrné zatížení

návrhové hodnoty	$f_d = \gamma_G \cdot f_g = 1.35 \cdot 0.19 = 0.25 \text{ kN/m}$
charakteristické hodnoty	$g_k = f_g = 0.19 \text{ kN/m}$

Osamělé síly

Trámy působí na příčníky jako osamělé síly.

Střední trámy

$$\begin{aligned} \text{návrhové hodnoty } F_d &= \gamma_G \cdot (F_{g,o,1} + F_{g,o,2}) + \gamma_Q \cdot F_{ch} = 1.35 \cdot (0.34 + 0.17) + 1.35 \cdot 10.8 = 15.3 \text{ kN} \\ \text{charakteristické hodnoty } F_k &= F_{g,o,1} + F_{g,o,2} + F_{ch} = 0.34 + 0.17 + 10.8 = 11.3 \text{ kN} \end{aligned}$$

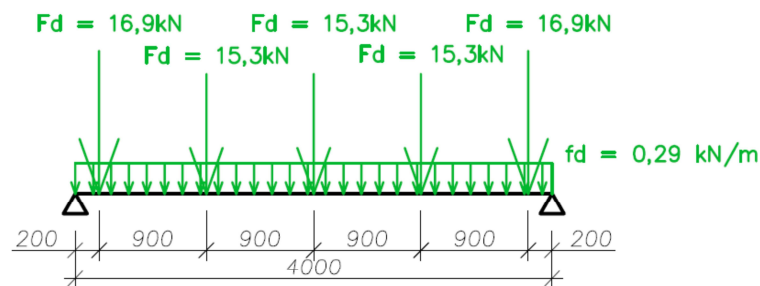
Přírůstek od zábradlí

$$\begin{aligned} \text{návrhové hodnoty } \Delta F_d &= \gamma_G \cdot F_{g,o,3} = 1.35 \cdot 1.2 = 1.6 \text{ kN} \\ \text{charakteristické hodnoty } \Delta F_k &= F_{g,o,3} = 1.2 = 1.2 \text{ kN} \end{aligned}$$

Krajní trámy

Krajní trámy = střední trámy + přírůstek od zábradlí.

Statické schéma



Statické schéma působení ocelového příčníku

MSÚ – Mezní stav únosnosti

Výpočet vnitřních sil

$$\begin{aligned} \text{Reakce } R_z &= \frac{(f_d \cdot l + 3 \cdot F_{d,1} + 2 \cdot F_{d,2})}{2} = \frac{(0.25 \cdot 4 + 3 \cdot 15.3 + 2 \cdot 16.9)}{2} = 40.3 \text{ kN} \\ \text{Maximální posouvající síla } V_{Ed} &= 40.3 \text{ kN} \\ \text{Moment uprostřed rozpětí } M_{Ed} &= \frac{R_z \cdot l}{2} - \frac{f_d \cdot l^2}{8} - F_{d,2} \cdot 1.8 - F_d \cdot 0.9 \\ &= \frac{40.3 \cdot 4}{2} - \frac{0.25 \cdot 4^2}{8} - 16.9 \cdot 1.8 - 15.3 \cdot 0.9 = 35.93 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Posouzení – ohyb

$$\begin{aligned} \text{ohybová únosnost } M_{Rd} &= W_{el,y} \cdot f_{y,d} \cdot 10^{-6} = 119000 \cdot 355 \cdot 10^{-6} = 42.2 \text{ kNm} \\ M_{Rd} &= 42.2 \text{ kNm} > M_{Ed} = 35.9 \text{ kNm} \end{aligned}$$

VYHOVUJE

Posouzení – smyk

$$\begin{aligned} \text{smyková únosnost } V_{Rd} &= \frac{A_{vz} \cdot f_{y,d}}{\sqrt{3}} \cdot 10^{-3} = \frac{1422 \cdot 355}{\sqrt{3}} \cdot 10^{-3} = 291.5 \text{ kN} \\ V_{Rd} &= 291.5 \text{ kN} \gg V_{Ed} = 40.3 \text{ kN} \end{aligned}$$

VYHOVUJE

Únosnost více než dvakrát převyšuje návrhovou sílu. Jedná se tedy o malý smyk a proto interakci smyku s ohybem není nutné ověřovat.

Poznámka: Příčník je také součástí dolního ztužení mostovky. Kromě zatížení mostovkou musí přenášet i vodorovné síly od větru, proto je třeba provést posouzení na kombinaci tlaku a ohybu. To bude provedeno později, až budou vyčísleny účinky zatížení větrem.

MSP – Mezní stav použitelnosti

Průhyb příčníku by neměl vyvolat příčný sklon větší než 2.5%. To odpovídá maximálnímu průhybu $\delta_{\max} = 2000 \cdot 0.025 = 50$ mm uprostřed rozpětí.

Výpočet průhybu

Osamělé síly se zjednodušeně uvažují jako rovnoměrné zatížení

$$\text{zjednodušené zatížení} \quad f_{k,eq} = g_k + \frac{(2 \cdot \Delta F_k + 5 \cdot F_k)}{l} = 0.19 + \frac{(2 \cdot 1.2 + 5 \cdot 11.3)}{4} = 14.9 \text{ kN/m}$$

$$\text{výpočet průhybu} \quad \delta = \frac{5 \cdot f_{k,eq} \cdot 10^3 \cdot l^4}{(384 \cdot E \cdot I_y \cdot 10^{-6})} \cdot 10^3 = \frac{5 \cdot 14.9 \cdot 10^3 \cdot 4^4}{(384 \cdot 210000 \cdot 7390000 \cdot 10^{-6})} \cdot 10^3 = 32.0 \text{ mm}$$

$$\delta = 32.0 \text{ mm} < \delta_{\max} = 50.0 \text{ mm}$$

VYHOVUJE

Současně by maximální sklon neměl být překročen ani na okrajích ohybové čáry.

Průhyb příčníku 500mm od podpory $\Rightarrow x = 0.5$ m

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{1}{(E \cdot I_y)} \cdot \left(\frac{1}{24} \cdot f_{k,eq} \cdot x^4 - \frac{1}{12} \cdot f_{k,eq} \cdot l \cdot x^3 + \frac{1}{24} \cdot f_{k,eq} \cdot l^3 \cdot x \right) \cdot 10^{12} \\ &= \frac{1}{(210000 \cdot 7390000)} \cdot \left(\frac{1}{24} \cdot 14.9 \cdot 0.5^4 - \frac{1}{12} \cdot 14.9 \cdot 4 \cdot 0.5^3 + \frac{1}{24} \cdot 14.9 \cdot 4^3 \cdot 0.5 \right) \cdot 10^{12} = 12.4 \text{ mm} \end{aligned}$$

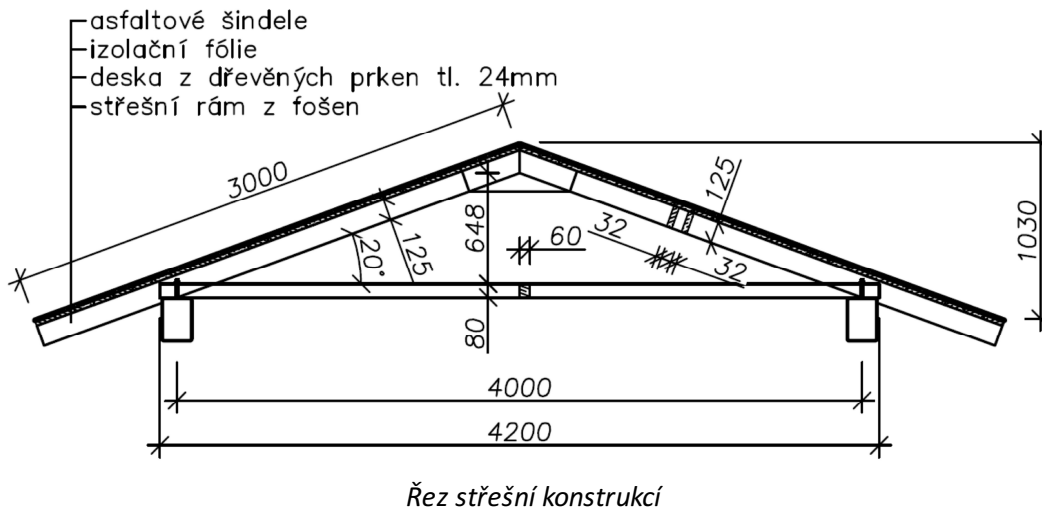
$$\text{Maximální sklon na okraji příčníku. } s = \frac{\delta}{(x \cdot 1000)} \cdot 100 = \frac{12.4}{(0.5 \cdot 1000)} \cdot 100 = 2.49 \% < 2.5\%$$

VYHOVUJE

Dřevěná střecha

Návrh střechy

Střecha bude tvořena střešními rámy a deskou tvořenou prkny. Jako střešní krytina budou použity asfaltové šindele uložené na izolační vrstvě.



Návrh střešní desky

Geometrie

tloušťka prkna	$t_p = 24 \text{ mm}$
šířka prkna	$b_p = 120 \text{ mm}$
rozpětí	$l = 1.2 \text{ m}$
plocha	$A = t_p \cdot b_p = 24 \cdot 120 = 2880 \text{ mm}^2$
průřezový modul	$W_{el,1} = \frac{1}{6} \cdot b_p \cdot t_p^2 = \frac{1}{6} \cdot 120 \cdot 24^2 = 11520 \text{ mm}^3$
	$W_{el,2} = \frac{1}{6} \cdot t_p \cdot b_p^2 = \frac{1}{6} \cdot 24 \cdot 120^2 = 57600 \text{ mm}^3$
moment setrvačnosti	$I_1 = \frac{1}{12} \cdot b_p \cdot t_p^3 = \frac{1}{12} \cdot 120 \cdot 24^3 = 138240 \text{ mm}^4$

Zatížení

Vlastní tíha

$$f_g = 0.01 \text{ kN/m (působí svisle dolů)}$$

Vítr

Svislý směr

základní hodnota $f_{w,z} = 1.2 \text{ kN/m}^2$

Zatížení působí ve dvou stavech – svisle dolů a svisle nahoru.

$$\text{šířka prkna ve svislém průmětu } b_x = b_p \cdot \cos\left(\frac{\alpha \cdot \pi}{180}\right) = 120 \cdot \cos\left(\frac{20 \cdot \pi}{180}\right) = 112.8 \text{ mm}$$

$$\text{svislé zatížení } f_{w,z} = f_{w,z} \cdot \left(\frac{b_x}{1000}\right) = 1.22 \cdot \left(\frac{112.8}{1000}\right) = 0.14 \text{ kN/m}$$

Vodorovný směr

$$\text{základní hodnota } f_{w,x} = 1.7 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{výška prkna ve vodorovném průmětu } b_z = b_p \cdot \sin\left(\frac{\alpha \cdot \pi}{180}\right) = 120 \cdot \sin\left(\frac{20 \cdot \pi}{180}\right) = 41.0 \text{ mm}$$

$$\text{vodorovné zatížení } f_{w,x} = f_{w,x} \cdot \left(\frac{b_z}{1000}\right) = 1.7 \cdot \left(\frac{41}{1000}\right) = 0.1 \text{ kN/m}$$

Sníh

Zatížení sněhem působí ve svislém směru. Uvažuje se maximální hodnota.

$$\text{základní hodnota } s = 0.6 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{svislé zatížení } s = s \cdot \left(\frac{b_x}{1000}\right) = 0.6 \cdot \left(\frac{112.8}{1000}\right) = 0.07 \text{ kN/m}$$

Kombinace

Největší účinek bude mít kombinace, kde jednotlivá zatížení budou mít shodný směr \Rightarrow nebude se uvažovat zatížení větrem působící svise vzhůru.

Z hodnot jednotlivých proměnných zatížení je patrné, že hlavním proměnným zatížením je vítr.

$$\text{Kombinace se vypočte } f_d = \gamma_G \cdot f_g + \gamma_Q \cdot (f_w + \Psi_o \cdot f_s)$$

$$\text{Kombinační součinitel } \Psi_o = 0.8$$

Ve svislém směru

$$f_{d,z} = \gamma_G \cdot f_g + \gamma_Q \cdot (f_{w,z} + \Psi_o \cdot s) = 1.35 \cdot 0.01 + 1.35 \cdot (0.14 + 0.8 \cdot 0.07) = 0.27 \text{ kN/m}$$

Ve vodorovném směru

$$f_{d,x} = \gamma_Q \cdot f_{w,x} = 1.35 \cdot 0.07 = 0.09 \text{ kN/m}$$

Transformace zatížení do hlavních os průřezu

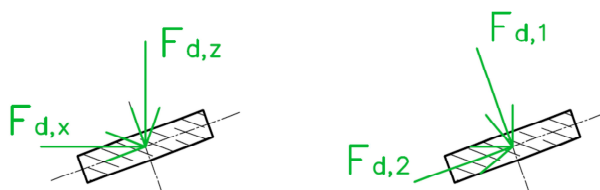


Schéma transformace zatížení do hlavních směrů

$$c = \cos\left(\frac{\alpha \cdot \pi}{180}\right) = \cos\left(\frac{20 \cdot \pi}{180}\right) = 0.940$$

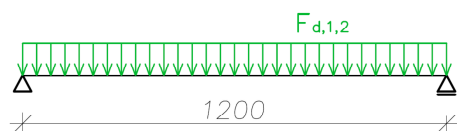
$$s = \sin\left(\frac{\alpha \cdot \pi}{180}\right) = \sin\left(\frac{20 \cdot \pi}{180}\right) = 0.342$$

$$f_{d,1} = f_{d,z} \cdot c + f_{d,x} \cdot s = 0.27 \cdot 0.94 + 0.09 \cdot 0.342 = 0.29 \text{ kN/m}$$

$$f_{d,2} = f_{d,z} \cdot s + f_{d,x} \cdot c = 0.27 \cdot 0.342 + 0.09 \cdot 0.94 = 0.18 \text{ kN/m}$$

Statické schéma

I přesto, že prkna budou přes jednotlivé střešní rámy průběžná, bude se uvažovat jejich působení jako prostý nosník. (Některá budou skutečně prostými nosníky. Např. krajní)



Statické schéma působení prken střešní desky.

Zatížení působí v obou směrech, jedná se tedy o šikmý ohyb.

MSÚ – mezní stav únosnosti

Ohyb

Moment

$$M_{ed,1} = \frac{1}{8} \cdot f_{d,1} \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 0.29 \cdot 1.2^2 = 0.05 \text{ kNm}$$

$$M_{ed,2} = \frac{1}{8} \cdot f_{d,2} \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 0.18 \cdot 1.2^2 = 0.03 \text{ kNm}$$

Napětí

$$\sigma_1 = \frac{M_{ed,1}}{W_{el,1}} \cdot 10^6 = \frac{0.05}{11520} \cdot 10^6 = 4.5 \text{ MPa} < f_{m,d} = 10.8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = \frac{M_{ed,2}}{W_{el,2}} \cdot 10^6 = \frac{0.03}{57600} \cdot 10^6 = 0.6 \text{ MPa} < f_{m,d} = 10.8 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

VYHOVUJE

Posoudit je třeba i kombinaci ohybů kolem obou os. To lze pomocí konzervativní podmínky.

$$\frac{\sigma_1}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_2}{f_{m,d}} = \frac{4.5}{10.8} + \frac{0.6}{10.8} = 0.420 + 0.053 = 0.473 < 1.0$$

VYHOVUJE

Smyk

Smyková síla

$$V_{ed,1} = \frac{1}{2} \cdot f_{d,1} \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 0.29 \cdot 1.2 = 0.17 \text{ kN}$$

$$V_{ed,2} = \frac{1}{2} \cdot f_{d,2} \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 0.18 \cdot 1.2 = 0.11 \text{ kN}$$

Napětí

$$\tau_1 = \frac{3 \cdot V_{ed,1}}{(2 \cdot A)} \cdot 10^3 = \frac{3 \cdot 0.17}{(2 \cdot 2880)} \cdot 10^3 = 0.09 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1.2 \text{ MPa}$$

$$\tau_2 = \frac{3 \cdot V_{ed,2}}{(2 \cdot A)} \cdot 10^3 = \frac{3 \cdot 0.11}{(2 \cdot 2880)} \cdot 10^3 = 0.06 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1.2 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

VYHOVUJE

Kombinace

$$\frac{\tau_1}{f_{v,d}} + \frac{\tau_2}{f_{v,d}} = \frac{0.09}{1.2} + \frac{0.06}{1.2} = 0.076 + 0.048 = 0.124 < 1.0$$

VYHOVUJE

MSP – mezní stav použitelnosti

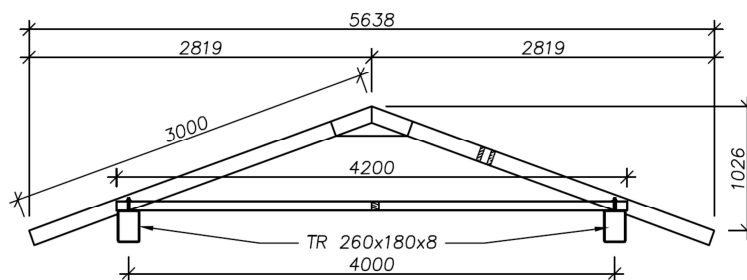
Průhyb prken střešní desky je omezen doporučenou hodnotou $\delta_{\max} = \frac{1 \cdot 1000}{250} = \frac{1.2 \cdot 1000}{250} = 4.8 \text{ mm}$.

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot \left(\frac{\left(\frac{f_{d,1}}{1.35} \right) \cdot 10^3 \cdot 1.4}{\left(E_{0,mean} \cdot 10^6 \cdot I_1 \cdot 10^{-12} \right)} \right) \cdot 10^3 = \frac{5}{384} \cdot \left(\frac{\left(\frac{0.29}{1.35} \right) \cdot 10^3 \cdot 1.2^4}{\left(9500 \cdot 10^6 \cdot 138240 \cdot 10^{-12} \right)} \right) \cdot 10^3 = 4.4 \text{ mm}$$

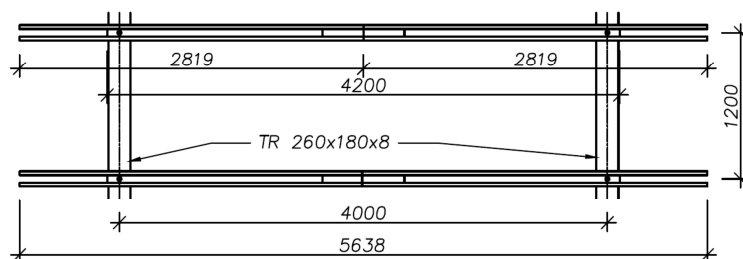
$$\delta = 4.4 \text{ mm} < \delta_{max} = 4.8 \text{ mm}$$

VYHOVUJE

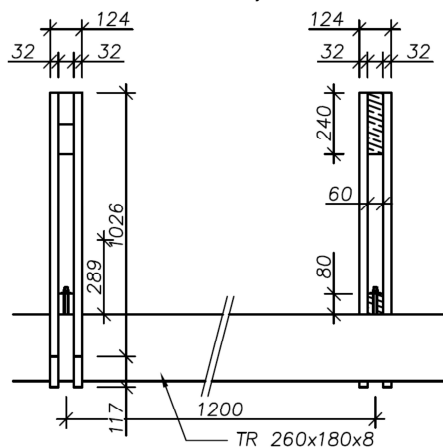
Návrh střešních rámu



Sřešní rám – pohled



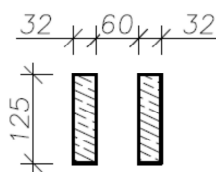
Půdorys



Boční pohled a řez v podélné ose mostu.

Geometrie

Krokve



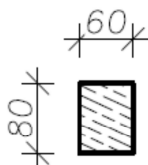
Průřez krokve

Tloušťka fošen krokví	$2 \cdot t = 32 \text{ mm}$
Výška fošen krokví	$h = 125 \text{ mm}$
vzdálenost krokví	$b = 1.2 \text{ m}$
Plocha	$A = 2 \cdot t \cdot h = 2 \cdot 32 \cdot 125 = 8000 \text{ mm}^2$
Průřezový modul	$W_{el,y} = \frac{2 \cdot 1}{6} \cdot t \cdot h^2 = \frac{2 \cdot 1}{6} \cdot 32 \cdot 125^2 = 166667 \text{ mm}^3$
Moment setrvačnosti	$I_y = \frac{2 \cdot 1}{12} \cdot t \cdot h^3 = \frac{2 \cdot 1}{12} \cdot 32 \cdot 125^3 = 10416667 \text{ mm}^4$

V místě uložení na příhradový nosník je průřez zeslaben.

Výška fošen krokví	$h' = 90 \text{ mm}$
Plocha	$A' = 2 \cdot h' \cdot t = 2 \cdot 90 \cdot 32 = 5760 \text{ mm}^2$
Průřezový modul	$W'_{el,y} = \frac{2 \cdot 1}{6} \cdot t \cdot h'^2 = \frac{2 \cdot 1}{6} \cdot 32 \cdot 90^2 = 86400 \text{ mm}^3$

Příčle



Průřez táhla

Výška táhla	$h = 80 \text{ mm}$
Šířka táhla	$b = 60 \text{ mm}$
Plocha táhla	$A = h \cdot b = 80 \cdot 60 = 4800 \text{ mm}^2$
Průřezový modul	$W_{el,y} = \frac{1}{6} \cdot h^2 \cdot b = \frac{1}{6} \cdot 80^2 \cdot 60 = 64000 \text{ mm}^3$
Moment setrvačnosti	$I_y = \frac{1}{12} \cdot h^3 \cdot b = \frac{1}{12} \cdot 80^3 \cdot 60 = 2560000 \text{ mm}^3$

Zatížení

Vlastní tíha

Generována výpočetním programem.

Ostatní stálé

Zatížení		Charakteristická hodnota
Střešní vrstvy (cca 20 kg/m^2)	$0.2 \cdot b = 0.2 \cdot 1.2$	0.24 kN/m
Střešní deska $t_p = 24 \text{ mm}$	$\frac{\left(\frac{t_p}{1000}\right) \cdot \rho_{\text{mean}} \cdot 1}{100} \cdot b = \frac{\left(\frac{24}{1000}\right) \cdot 390 \cdot 1}{100} \cdot 1.2$	0.11 kN/m
Celkem:		$f_{g,o} = 0.35 \text{ kN/m}$

Vítr

Svislý směr

základní hodnota $f_{w,z} = 1.2 \text{ kN/m}^2$

Zatížení působí ve dvou stavech – svisle dolů a svisle nahoru.

svislé zatížení $f_{w,z} = f_{w,z} \cdot b = 1.22 \cdot 1.2 = 1.47 \text{ kN/m}$

Vodorovný směr

základní hodnota $f_{w,x} = 1.7 \text{ kN/m}^2$

vodorovné zatížení $f_{w,x} = f_{w,x} \cdot b = 1.7 \cdot 1.2 = 2.02 \text{ kN/m}$

Sníh


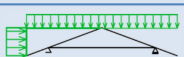

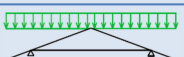


základní hodnota $s = 0.6 \text{ kN/m}^2$

svislé zatížení $s = s \cdot b = 0.6 \cdot 1.2 = 0.72 \text{ kN/m}$

Uvažuje se ve dvou kombinacích...

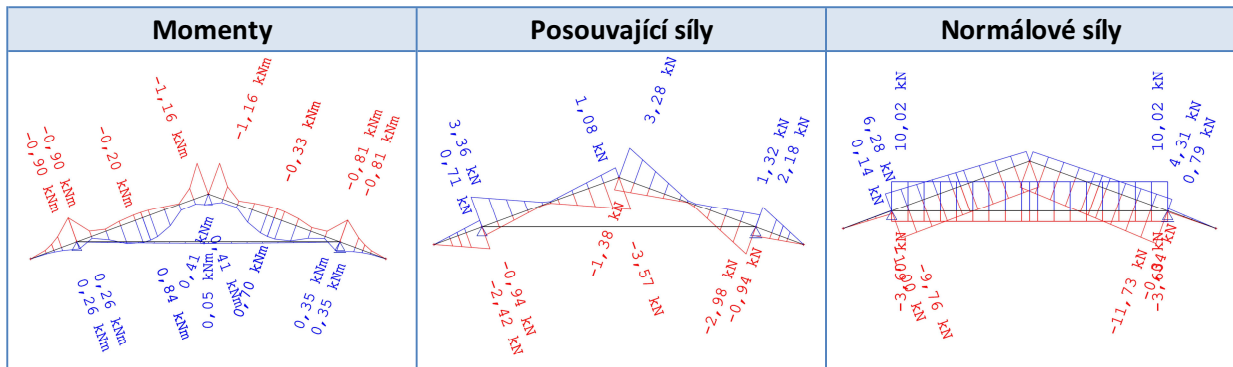
Kombinace zatížení

$$f_d = \gamma_G \cdot (f_g + f_{g,o}) + \gamma_Q \cdot (f_w + \Psi_o \cdot f_s)$$

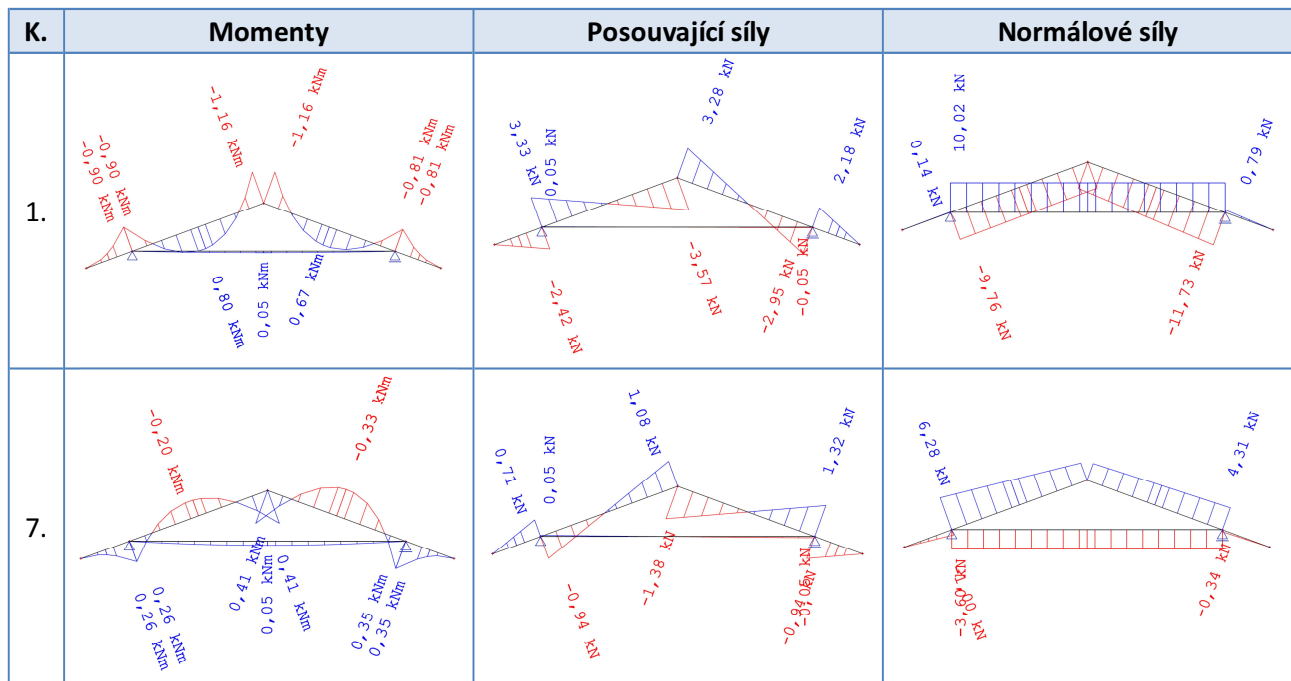
K.	Stálé	Proměnné				
	$f_g + f_{g,o}$	Vítr		Sníh		
		Tlak	Sání	Rov.	Nerov.	Nerov.
						
1	1.35	1.35	–	$0.8 \cdot 1.35$	–	–
2	1.35	1.35	–	–	$0.8 \cdot 1.35$	–
3	1.35	1.35	–	–	–	$0.8 \cdot 1.35$
4	1.35	–	1.35	$0.8 \cdot 1.35$	–	–
5	1.35	–	1.35	–	$0.8 \cdot 1.35$	–
6	1.35	–	1.35	–	–	$0.8 \cdot 1.35$
7	1.35	–	1.35	–	–	–

Výsledky výpočtu vnitřních sil

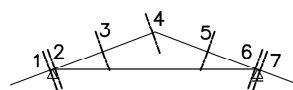
Obálky vnitřních sil pro stanovené kombinace.



Největší účinky nastávají při první kombinaci (maximální svislé zatížení), resp. tlaková síla v příčli při sedmé kombinaci (stálé + sání).



Vybrané kombinace momentů a normálových sil na krokách



Řezy pro posouzení

K.	Řez	Moment	Normálová síla	Posouvající síla
1	1	0.90 kNm	0.14 kN (tah)	2.42 kN
1	2	0.90 kNm	9.76 kN (tlak)	3.33 kN
1	3	0.84 kNm	9.56 kN (tlak)	0.00 kN
1	4	1.16 kNm	9.47 kN (tlak)	3.57 kN
1	5	0.70 kNm	10.60 kN (tlak)	0.00 kN
1	6	0.81 kNm	11.73 kN (tlak)	2.95 kN
1	7	0.81 kNm	0.79 kN (tah)	2.18 kN
1	příčle	0.05 kNm	10.02 kN (tah)	0.00 kN
7	příčle	0.05 kNm	3.60 kN (tlak)	0.00 kN

Pozn: Síly a momenty jsou uvedeny v absolutní hodnotě.

Posouzení MSÚ

Vliv vzpěru (krokve)

Proti vybočení krokve ve směru menší tuhosti (v rovině střechy) je bráněno střešním pláštěm. Výpočet tedy uvažuje pouze vybočení z roviny střešní desky.

$$\begin{aligned} \text{poloměr setrvačnosti} & \quad i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{10416667}{8000}} = 36.1 \text{ mm} \\ \text{vzpěrná délka} & \quad L_{cr} = 2.13 \text{ m} \\ \text{štíhlost} & \quad \lambda_y = \frac{L_{cr} \cdot 1000}{i_y} = \frac{2.13 \cdot 1000}{36.1} = 59.0 \\ \text{relativní štíhlost} & \quad \lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{59}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{19}{6400}} = 1.02 \end{aligned}$$

Výpočet součinitele vzpěrnosti

$$\begin{aligned} \beta_c & = 0.2 \text{ (pro rostlé dřevo)} \\ k_y & = 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2) = 0.5 \cdot (1 + 0.2 \cdot (1.02 - 0.3) + 1.02^2) = 1.096 \\ k_{c,y} & = \frac{1}{(k_y + \sqrt{k_y^2 + \lambda_{rel,y}^2})} = \frac{1}{(1.096 + \sqrt{1.096^2 + 1.02^2})} = 0.385 \end{aligned}$$

Vliv vzpěru (příčel)

$$\begin{aligned} \text{poloměr setrvačnosti} & \quad i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{2560000}{4800}} = 23.1 \text{ mm} \\ \text{vzpěrná délka} & \quad L_{cr} = 4.00 \text{ m} \\ \text{štíhlost} & \quad \lambda_y = \frac{L_{cr} \cdot 1000}{i_y} = \frac{4 \cdot 1000}{23.1} = 173.2 \\ \text{relativní štíhlost} & \quad \lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{173.2}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{19}{6400}} = 3.00 \end{aligned}$$

Výpočet součinitele vzpěrnosti

$$\begin{aligned} k_y & = 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2) = 0.5 \cdot (1 + 0.2 \cdot (3 - 0.3) + 3^2) = 5.282 \\ k_{c,y} & = \frac{1}{(k_y + \sqrt{k_y^2 + \lambda_{rel,y}^2})} = \frac{1}{(5.282 + \sqrt{5.282^2 + 3^2})} = 0.088 \end{aligned}$$

Posouzení krokví a táhla na kombinaci ohybu a osového tlaku

Posouzení se provede podle následujícího vztahu.

$$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{(k_{c,y} \cdot f_{c,0,d})} < 1.0$$

$$\begin{aligned} \text{pevnost v ohybu} & \quad f_{m,d} = 10.8 \text{ MPa} \\ \text{pevnost v tlaku} & \quad f_{c,0,d} = 10.2 \text{ MPa} \end{aligned}$$

M	N (tlak)	A	$W_{el,y}$	$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_{el}}$	$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A}$	$k_{c,y}$	$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}}$	$\frac{\sigma_{c,0,d}}{(k_{c,y} \cdot f_{c,0,d})}$	< 1.0
[kNm]	[kN]	[m ²]	[m ³]	[MPa]	[MPa]	[-]	[-]	[-]	
0.90	9.76	0.0080	0.00017	5.40	1.22	0.385	0.50	0.31	0.81 <u>VYHOVUJE</u>
0.84	9.56	0.0080	0.00017	5.04	1.20	0.385	0.47	0.30	0.77 <u>VYHOVUJE</u>
1.16	9.47	0.0080	0.00017	6.96	1.18	0.385	0.65	0.30	0.95 <u>VYHOVUJE</u>
0.70	10.60	0.0080	0.00017	4.20	1.33	0.385	0.39	0.34	0.73 <u>VYHOVUJE</u>
0.81	11.73	0.0080	0.00017	4.86	1.47	0.385	0.45	0.37	0.82 <u>VYHOVUJE</u>
0.05	3.60	0.0048	$6.4 \cdot 10^{-5}$	0.78	0.75	0.088	0.07	0.83	0.91 <u>VYHOVUJE</u>

Pozn. V posledním řádku se posuzuje táhlo.

Posouzení krokví a táhla na kombinaci ohybu a tahu

Posouzení se provede podle následujícího vztahu.

$$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{t,0,d}} < 1.0$$

pevnost v ohybu

$$f_{m,d} = 10.8 \text{ MPa}$$

pevnost v tahu

$$f_{t,0,d} = 6.5 \text{ MPa}$$

M	N (tah)	A	$W_{el,y}$	$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_{el}}$	$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A}$	$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}}$	$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}}$	< 1.0
[kNm]	[kN]	[m ²]	[m ³]	[MPa]	[MPa]	[-]	[-]	
0.90	0.14	0.0058	$8.6 \cdot 10^{-5}$	10.42	0.02	0.97	0.00	0.97 <u>VYHOVUJE</u>
0.81	0.79	0.0058	$8.6 \cdot 10^{-5}$	9.38	0.14	0.87	0.02	0.89 <u>VYHOVUJE</u>
0.05	10.02	0.0048	$6.4 \cdot 10^{-5}$	0.78	2.09	0.07	0.32	0.40 <u>VYHOVUJE</u>

Pozn. V posledním řádku se posuzuje táhlo.

Posouzení krokví ve smyku

$$\text{Smykové napětí } \tau_1 = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{(2 \cdot A)} \cdot 10^3 = \frac{3 \cdot 3.33}{(2 \cdot 8000)} \cdot 10^3 = 0.62 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1.2 \text{ MPa}$$

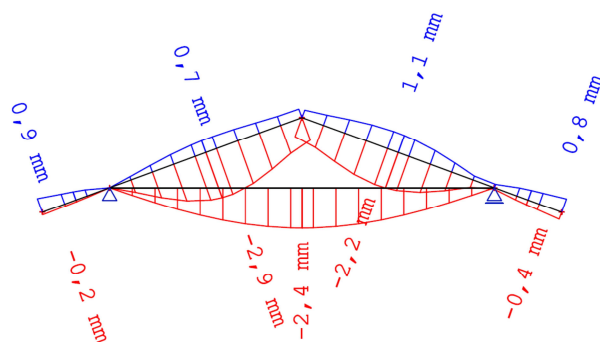
VYHOVUJE

Zeslabený průřez v místě uložení na příhradový nosník.

$$\tau_2 = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{(2 \cdot A)} \cdot 10^3 = \frac{3 \cdot 2.42}{(2 \cdot 5760)} \cdot 10^3 = 0.63 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1.2 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

Posouzení MSP



Obálka deformací krokve a příčle.

Maximální doporučená hodnota průhybu krokve je $\delta_{\max} = \frac{L}{250} = \frac{2130}{250} = 8.5 \text{ mm} > 2.9 \text{ mm}$

VYHOVUJE

Maximální doporučená hodnota průhybu příčle je $\delta_{\max} = \frac{L}{250} = \frac{4000}{250} = 16.0 \text{ mm} > 2.4 \text{ mm}$

VYHOVUJE

Hlavní ocelový příhradový nosník

Příhradový nosník svou konstrukcí vytváří komoru. Vodorovné ztužení je umístěno jak v úrovni dolních pásů, tak i v úrovni horních pásů. Síly z horního ztužení se převedou do ložisek pomocí zesílených diagonál vedoucích k podporám.

Pruty příhradového nosníku jsou navrženy jako obdélníkové, nebo čtvercové trubky. Diagonály ve vodorovném ztužení jsou navrženy z táhel Detan.

Příhradový nosník je modelován jako staticky neurčitá konstrukce, u které záleží na volbě profilů prutů. Proces návrhu a posouzení jednotlivých prutů probíhal v několika iterativních krocích, ve kterých byla postupně konstrukce optimalizována.

Pro posouzení většiny prutů je třeba uvažovat současné působení svislých i vodorovných zatížení.

Geometrie

Hlavní nosník

Vzdálenost os uložení	$L = 50.4 \text{ m}$
Délka 1 pole	$l_1 = 7.200 \text{ m}$
Délka 1 diagonály	$l_d = 5.091 \text{ m}$
Výška hlavního nosníku	$h = 3.600 \text{ m}$

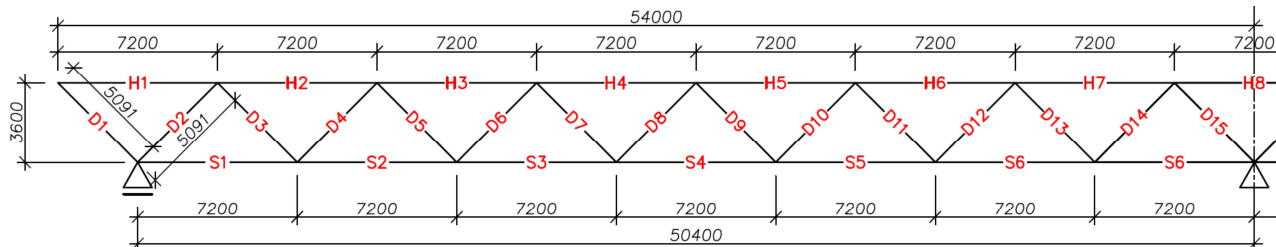


Schéma označení prutů příhradového nosníku

Pásy jsou modelovány jako průběžné nosníky, naopak přípoje diagonál jsou kloubové.

Horní ztužení

Délka 1 pole	$l_1 = 7.200 \text{ m}$
Délka 1 příčnicku	$l_p = 4.000 \text{ m}$
Délka 1 diagonály	$l_d = 8.237 \text{ m}$

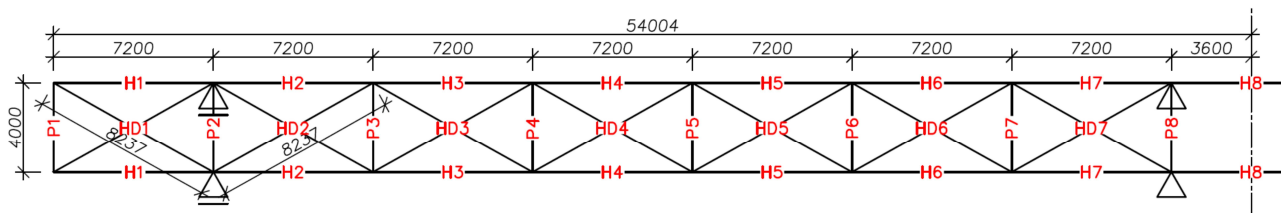


Schéma označení prutů horního ztužení

Pásky jsou modelovány jako průběžné nosníky. Příčle jsou k pásům připojeny kloubově. Diagonály jsou připojeny rovněž kloubově, avšak **do modelu jsou zahrnuty pouze ty diagonály, ve kterých pro dané zatížení nevzniká tlak.**

Dolní ztužení

Vzdálenost příčníků $b_p = 2.400 \text{ m}$
 Délka 1 příčniku $l_p = 4.000 \text{ m}$
 Délka 1 diagonály $l_d = 3.124 \text{ m}$ (od pásu do středu příčniku)

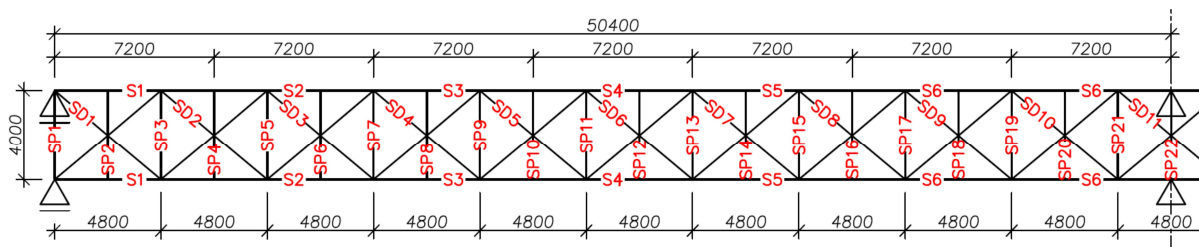


Schéma označení prutů dolního ztužení

Pásky jsou opět modelovány jako průběžné nosníky. Příčle a diagonály jsou připojeny kloubově. **Do modelu jsou zahrnuty pouze tažené diagonály.**

Ztužující rámy

Přenos vodorovného zatížení z horního ztužení do základů zajišťují ztužující rámy. Ty jsou umístěny v rovinách druhé diagonály **D2** a patnácté diagonály **D15**, vedoucích do podpor.

Výška rámu = délka diagonály $l_d = 3.124 \text{ m}$

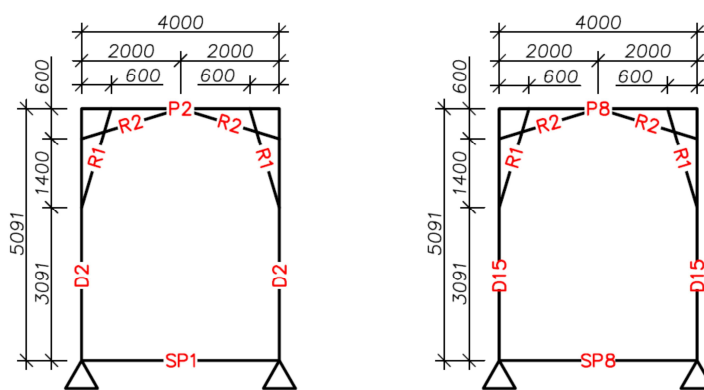


Schéma označení prutů ztužujícího rámu.

Rám je složený z výrazně zesílených diagonál na bocích, dolního a horního příčniku. Pro zajištění odolnosti proti deformacím bylo třeba přidat vzpěry.

Spoje příčníků a diagonál jsou modelovány jako tuhé, vzpěry jsou připojeny kloubově.

Zatížení

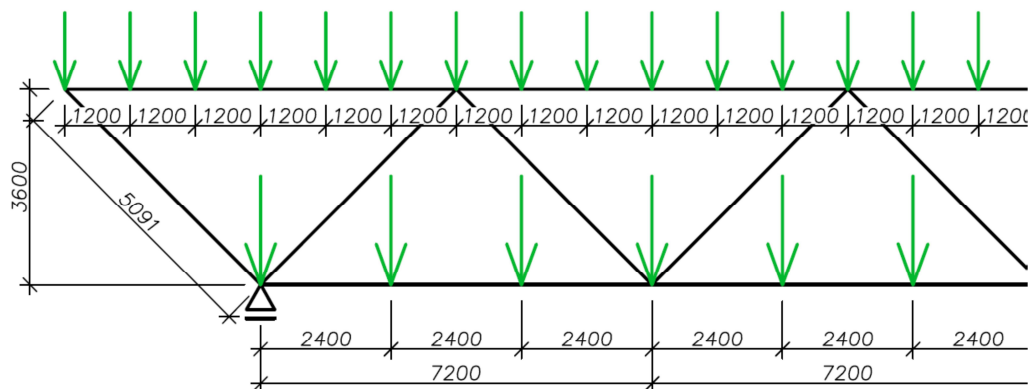


Schéma zatížení hlavního nosníku svislým zatížením

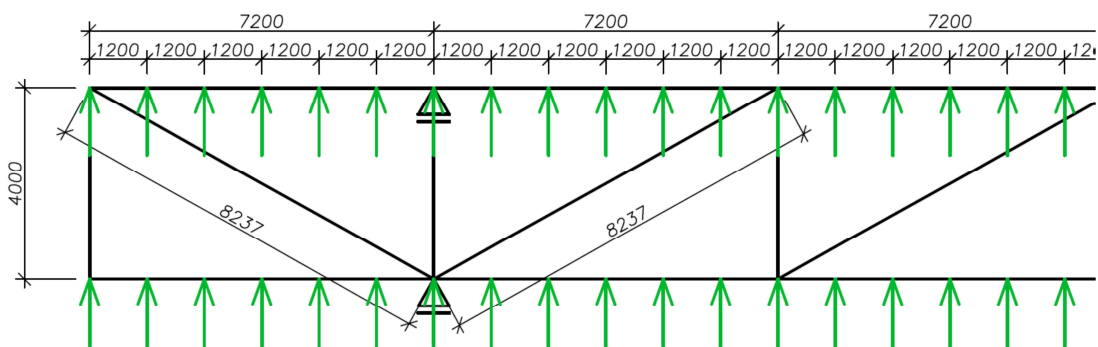


Schéma zatížení horního ztužení vodorovným zatížením

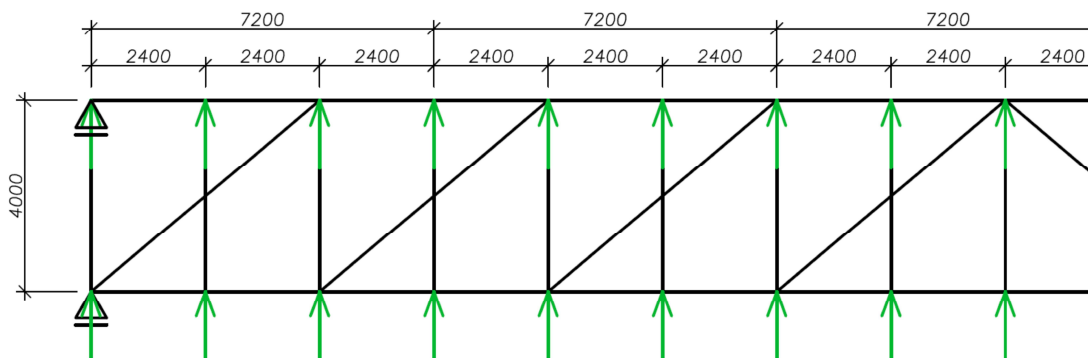


Schéma zatížení dolního ztužení vodorovným zatížením

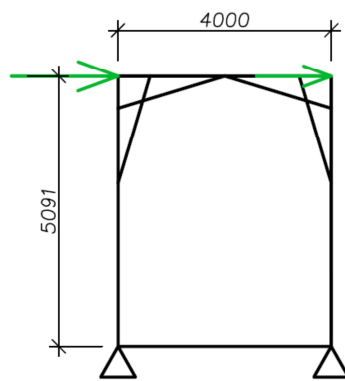


Schéma zatížení ztužujících rámců

Ztužující rámy slouží pro přenos vodorovného zatížení z horního ztužení do podpor. Zatížení odpovídá reakcím horního ztužení.

Zatěžovací šířky

vzdálenost střešních ráků $b_h = 1.2 \text{ m}$

vzdálenost ocelových příčníků $b_p = 2.4 \text{ m}$

Stálá zatížení

Vlastní tíha

Vlastní tíha je generována programem dle zadaných průřezů. Je uvažována pouze v modelu hlavního příhradového nosníku.

Ostatní stálé

Veškeré toto zatížení působí svisle dolů.

Horní pás

Zatížení		Charakteristická hodnota
Střešní vrstvy + střešní deska	$(\text{viz. zatížení střešního rámu}) f_{g,o} \cdot 3.0 = 0.35 \cdot 3.0$	1.06 kN
Střešní rám (krokve + táhlo)	$(A \cdot q_{\text{mean}} \cdot 3.0 + A \cdot q_{\text{mean}} \cdot 2.2) \cdot 10^{-8}$ $= (8000 \cdot 390 \cdot 3.0 + 4800 \cdot 390 \cdot 2.2) \cdot 10^{-8}$	0.13 kN
Celkem:		$F_{g,o,h} = 1.2 \text{ kN}$

Dolní pás

Zatížení		Charakteristická hodnota
Deska mostovky	$\frac{0.04 \cdot 2.4 \cdot 2.1 \cdot q_{\text{mean}}}{100} = \frac{0.04 \cdot 2.4 \cdot 2.1 \cdot 390}{100}$	0.79 kN
Trámy mostovky	$\frac{5 \cdot A \cdot q_{\text{mean}} \cdot b_p}{(2 \cdot 10^8)} = \frac{5 \cdot 18000 \cdot 390 \cdot 2.4}{(2 \cdot 10^8)}$	0.42 kN
Ocelové zábradlí	$0.5 \cdot b_p = 0.5 \cdot 2.4$	1.20 kN
Ocelový příčník	$\frac{2 \cdot G}{100} = \frac{2 \cdot 18.6}{100}$	0.37 kN
Celkem:		$F_{g,o,d} = 2.8 \text{ kN}$

Proměnná zatížení

Dopravou – chodci

Zatížení působí svisle pouze na dolní pás. Uvažuje se seskupení zatížení „gr1“ (rovnoměrné zatížení).

Dolní pás

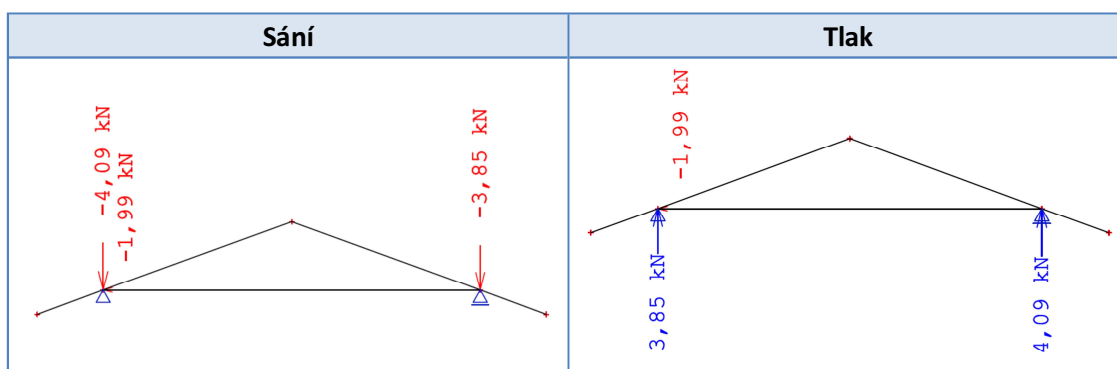
$$F_{q,k} = f_{ch} \cdot b_p \cdot 1.8 = 5 \cdot 2.4 \cdot 1.8 = 21.6 \text{ kN}$$

Vítr

Zatížení působí ve svislém i vodorovném směru na horní i dolní pás. Použijí se dva zatěžovací stavy.

1. zatížení působí svisle vzhůru (současně na horní i dolní pás) + vodorovné zatížení
2. zatížení působí svisle dolů (současně na horní i dolní pás) + vodorovné zatížení

Vzhledem k tomu, že současně s tímto zatížením působí i vodorovná složka, která způsobí přitížení jednoho příhradového nosníku a odlehčení druhého nosníku, buou se jako charakteristické hodnoty zatížení uvažovat svislé reakce spočtené na střešním rámu.



Horní pás

Svislá síla na horní pás $F_{w,z,h} = 4.09 \text{ kN}$

Vodorovná síla na horní pás $F_{w,x,h} = 1.99 \text{ kN}$

Dolní pás

Svislá síla na dolní pás $F_{w,z,d} = f_{w,z} \cdot b_p \cdot 2.0 = 1.22 \cdot 2.4 \cdot 2.0 = 5.86 \text{ kN}$

Zatěžovací výška pro vodorovné zatížení $d = 0.5 + 0.6 = 1.1 \text{ m}$ (pro oboustranné prodyšné zábradlí)

Vodorovná síla na dolní pás $F_{w,x,d} = f_{w,x,d} \cdot b_p \cdot d = 1.35 \cdot 2.4 \cdot 1.1 = 3.55 \text{ kN}$

Vodorovné zatížení se použije pro výpočet vodorovného ztužení. Předpokládá se, že se zatížení střešní konstrukcí či mostovkou rovnoměrně roznese do prvního i druhého pásu.

Sníh

Uvažuje se působení plného zatížení pouze svisle na horní pás.

Horní pás

Svislá síla na horní pás $F_{s,k,h} = s \cdot b_h \cdot 3 \cdot \cos\left(\frac{20}{180} \cdot \pi\right) = 0.6 \cdot 1.2 \cdot 3 \cdot \cos\left(\frac{20}{180} \cdot \pi\right) = 2.0 \text{ kN}$

Shrnutí zatížení

Veškerá zatížení působící na horní pás jsou přenášena ze střešních rámu. Mají charakter osamělých sil působících v osové vzdálenosti 1,2m.

Veškerá zatížení působící na dolní pás působí v místě ocelových příčníků. Mají charakter osamělých sil a působí v osové vzdálenosti 2,4m.

Zatížení	Místo působení	Svisle působící	Vodorovně působící
Ostatní stálé	Horní pás	$F_{g_o,h} = 1.2 \text{ kN}$	–
	Dolní pás	$F_{g_o,d} = 2.8 \text{ kN}$	–
Vítr	Horní pás	$F_{w,z,h} = \pm 4.1 \text{ kN}$	$F_{w,x,h} = 2.0 \text{ kN}$
	Dolní pás	$F_{w,z,d} = \pm 5.9 \text{ kN}$	$F_{w,x,d} = 3.6 \text{ kN}$
Sníh	Horní pás	$F_{s,k,h} = 2.0 \text{ kN}$	–
	Dolní pás	–	–

Zatěžovací kombinace

Kombinace pro MSÚ

Pro výpočet extrémních namáhání prutů příhradového nosníku budou uvažovány dvě kombinace.

Maximální svislé zatížení směrem dolů

Maximální svislé zatížení směrem nahoru

- $\gamma_{G,sup} \cdot (f_g + f_{g,o}) + \gamma_Q \cdot (f_q + \Psi_s \cdot f_s + \Psi_w \cdot f_w)$
- $\gamma_{G,inf} \cdot (f_g + f_{g,o}) + \gamma_Q \cdot f_w$

S vyčíslenými součiniteli

- $1.35 \cdot (f_g + f_{g,o}) + 1.35 \cdot (f_q + 0.8 \cdot f_s + 0.3 \cdot f_w)$
- $1.00 \cdot (f_g + f_{g,o}) + 1.35 \cdot f_w$

Z takto sestavených kombinací se získají návrhové vnitřní síly pro každý prut. Pruty se následně posoudí pro obě kombinace.

Kombinace pro MSP

- $1.00 \cdot (f_g + f_{g,o}) + 1.00 \cdot (f_q + \Psi_s \cdot f_s + \Psi_w \cdot f_w)$
- $1.00 \cdot (f_g + f_{g,o}) + 1.00 \cdot f_w$

Průřezové charakteristiky

Průřezové charakteristiky prutů použitých ve výpočetním programu.

Pruty	Průřez
Horní a dolní pás	
H1-H2, H5-H8, S1-S6	TR 260×180×8
H3-H4, S7	TR 260×180×10
Diagonály	
D1	TR 160×160×6,3
D2, D15	TR 160×160×16
D3, D5-D10	TR 100×100×4
D4, D12	TR 100×100×5
D11	TR 100×100×8
D13	TR 120×120×8
D14	TR 120×120×6,3
Příčníky horního pásu	
P1, P3-P7	TR 80×80×3,6
P2, P8	TR 160×160×16
Příčníky dolního pásu	
SP1, SP22	TR 180×100×12,5
SP2-SP21	TR 150×100×5
Diagonály horního pásu	
HD1, HD2-HD7	DETAN S460, ds=16mm
HD2	DETAN S460, ds=20mm
Diagonály dolního pásu	
SD1-SD9	DETAN S460, ds=16mm
SD10-SD11	DETAN S460, ds=20mm
Vzpěry ztužujících rámců	
R1, R2	TR 100×100×8

Výpočet vnitřních sil

Výpočet byl proveden ve výpočetním programu SCIA Engineer 2008. Konstrukce hlavního nosníku, horního i dolního ztužení byla modelována pomocí **tří rovinných modelů**.

Modely tvoří průběžné pruty pásů a kloubově připojené pruty diagonál, resp. příčníků.

V modelu horního a dolního ztužení se nepředpokládá působení diagonál (tvořených táhly Detan) v tlaku. **Tlačené diagonály jsou z modelu horního a dolního ztužení vypuštěny.**

Do výpočetního programu bylo vloženo zatížení dle jednotlivých zatěžovacích stavů. Byly sestaveny kombinace které program následně propočítal. Do modelu byly zadány průřezy dle výše uvedené tabulky.

Pozn: Výpočet byl prováděn v několika krocích. Nejprve byly do modelu zadány průřezy dle prvotních výpočtů ve studii variant. Následně byly pruty posouzeny na výsledné vnitřní síly a optimalizovány. To si vyžádalo opravu vložených dat ve výpočetním modelu, opakovaný výpočet a nové posouzení. Ve dříve zmíněné tabulce průřezů jsou uvedeny již optimalizované průřezy, které vyhověly posudkům.

Výsledky výpočtu vnitřních sil

Výsledky výpočtu jsou reprezentovány obrázky s průběhy vnitřních sil na prutech příhradového nosníku, resp. horního či dolního ztužení.

Průběhy všech vnitřních sil od obou zatěžovacích kombinací jsou uvedeny v příloze.

Posouzení prutů MSÚ

Obecně se všechny pruty s výjimkou diagonál horního a dolního ztužení posoudí na kombinaci osového tlaku a šikmého ohybu.

V pásech hlavního příhradového nosníku působí osová síla (tlak / tah) vznikající od svislého i vodorovného zatížení. Tato osová síla je vyčíslena na modelu příhradového nosníku pro svislé zatížení a na modelu ztužení pro vodorovné zatížení. Účinky obou zatížení je třeba pro posouzení sečíst.

V pásech dále vzniká ohybový moment M_y a M_z od svislého i vodorovného mimostyčnickového zatížení. Toto vyvolává šikmý ohyb.

Jednotlivé pruty je třeba posoudit na kombinaci tlaku/tahu a šikmého ohybu.

V diagonálách hlavního příhradového nosníku působí pouze osově síly. Výjimkou jsou diagonály, které jsou součástí ztužujících rámu pro přenos vodorovného zatížení z horního ztužení do základů (D2 a D15).

V příčnicích horního i dolního ztužení vznikají normálové síly od vodorovného zatížení. Momenty vznikají pouze na příčnicích P2, P8, SP1 a SP22, které jsou součástí ztužujícího rámu.

Do posouzení příčniců dolního ztužení je třeba zahrnout ohybové účinky od zatížení mostovkou. Viz výpočet dřevěné mostovky.

Posouzení bylo provedeno v tabulce – viz příloha.

Pruty byly následně optimalizovány. O vhodném průřezu rozhodovaly tyto faktory.

Namáhání nesmělo překročit únosnost. Všechny posudky ve všech kombinacích musely být splněny.

Průřez by neměl mít zbytečně vysokou rezervu.

Průřez nesměl spadat do 4. třídy.

Průřezy prutů horního a dolního pásu by měl mít shodné vnější rozměry, lišit se mohly v tloušťce stěny.

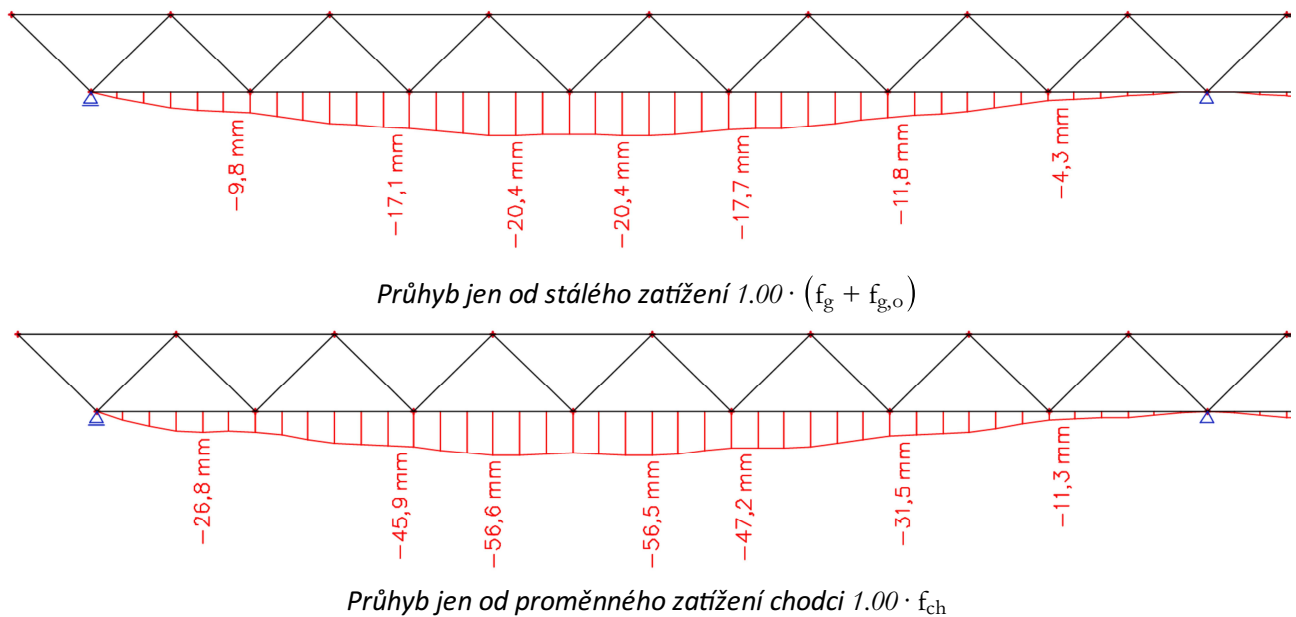
Pro dimenzi prutů ztužujícího rámu byl rozhodující mezní stav použitelnosti MSP. Proto jsou pruty z hlediska únosnosti výrazně předimenzované.

Posouzení MSP

V mezním stavu použitelnosti je třeba posoudit průhyb nosníku od nahodilého zatížení.

Dále by bylo potřeba posoudit úroveň kmitání lehké lávky. Vlastní frekvence lávky musí být mimo nebezpečné oblasti frekvencí lidského kroku. Výpočet vlastních frekvencí by bylo potřeba provést na prostorovém modelu se započítáním veškerých hmot. Tento výpočet není součástí práce.

Svislý průhyb



Omezuje se průhyb od proměnného zatížení.

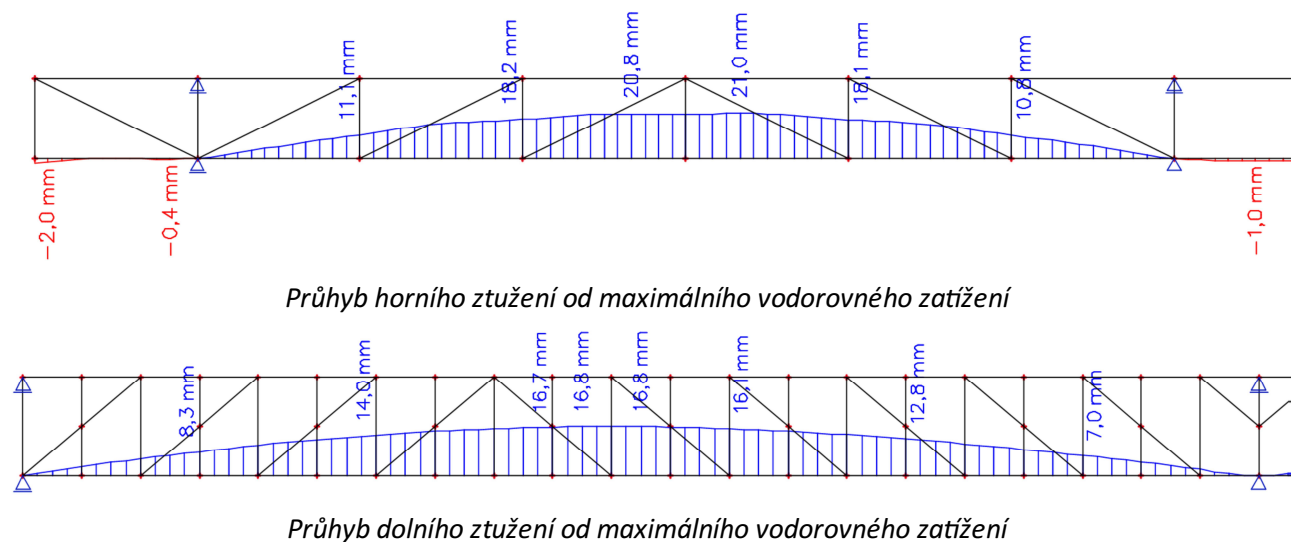
Maximální hodnota průhybu je $\delta_{max} = \frac{L}{300} = \frac{50400}{300} = 168.0 \text{ mm} \gg \delta = 55.6 \text{ mm}$

Pro eliminaci průhybu od stálého zatížení je možné provést nadvýšení $w_{inst} = 20.4 + \frac{1}{4} \cdot 55.6 = 34 \text{ mm}$

VYHOVUJE

Hodnota průhybu i případného nadvýšení je tak malá, že nemá význam nadvýšení navrhovat.

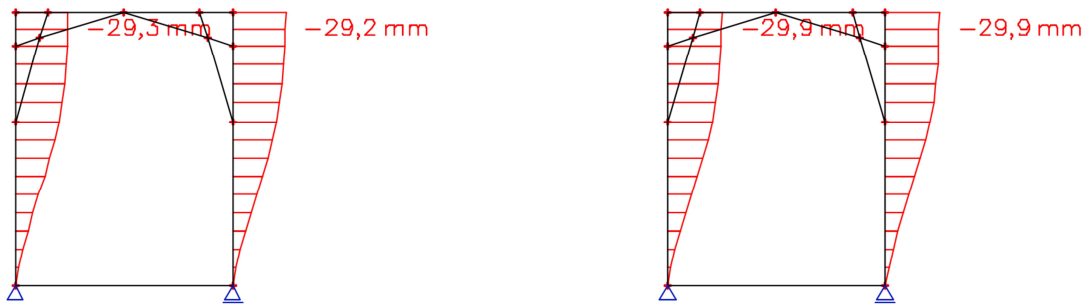
Boční průhyb



Průhyb horního i dolního ztužení vychází výrazně menší než limitní hodnota $\delta_{max} = 168.0 \text{ mm}$

VYHOVUJE

Boční průhyb ztužujícího rámu



Deformace ztužujícího rámu od maximálního vodorovného zatížení

Maximální hodnota bočního průhybu je $\delta_{\max} = \frac{L}{150} = \frac{5091}{150} = 33.9 \text{ mm} > \delta = 29.9 \text{ mm}$

VYHOVUJE

Pozn: Aby byla tato hodnota splněna, bylo třeba navrhnout vzpěry ve ztužujícím rámu a zvýšit tuhost diagonál a příčníků a tím je výrazně předimenzovat z hlediska únosnosti.

Mostní závěr a ložiska

Pro návrh ložisek a mostních závěrů je třeba znát maximální síly, které musí ložiska přenést, a současně maximální posuny, které musí ložiska umožnit.

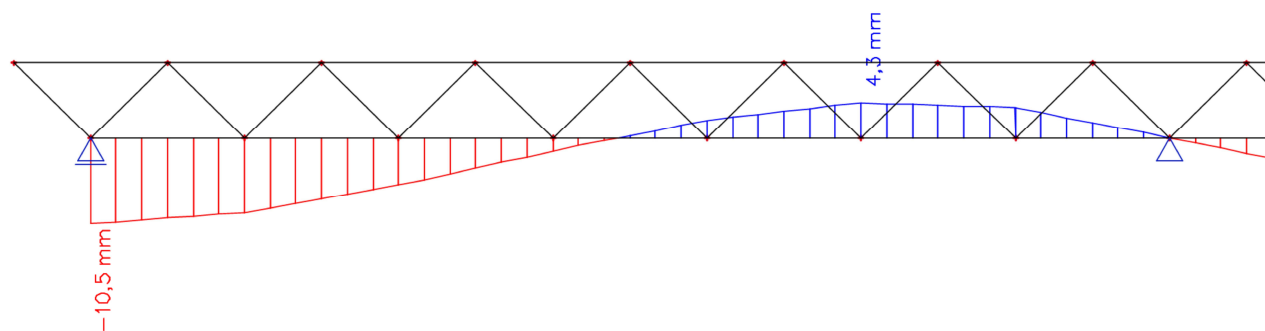
Maximální síly se získají z výsledků výpočtu vnitřních sil jako podporové reakce.

Maximální posuny v krajních ložiscích jako součty maximálních deformací od zatížení a teplotní roztažnosti.

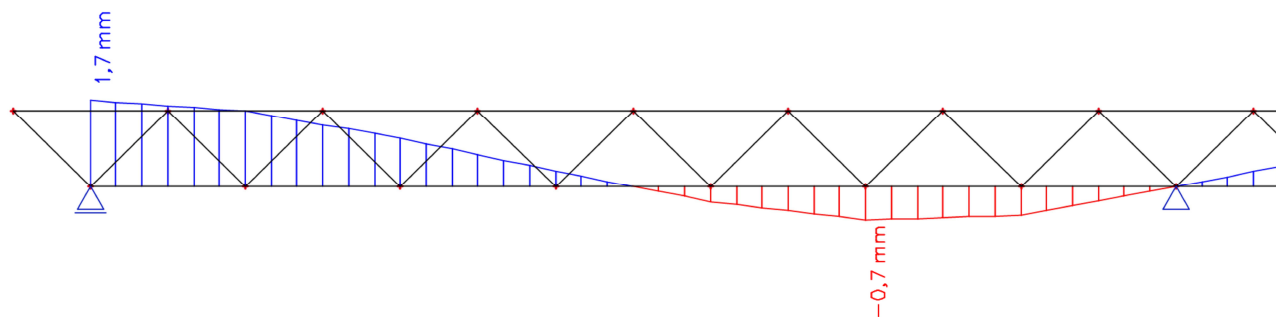
Návrh mostního závěru

Posuny v krajních ložiscích

Posuny od zatížení



Průběh vodorovné deformace pro kombinaci 1 $u_1 = 10,5 \text{ mm}$



Průběh vodorovné deformace pro kombinaci 2 $u_2 = 1,7 \text{ mm}$

Posuny od teplotních změn

teplota pro zkrácení $\Delta T_{N,\text{con}} = 46 \text{ }^\circ\text{C}$

teplota pro prodloužení $\Delta T_{N,\text{exp}} = 44 \text{ }^\circ\text{C}$

Pevná ložiska jsou umístěna na středním pilíři. Krajní ložiska jsou posuvná.

Vzdálenost posuvných ložisek od pevných $l_o = 50400 \text{ mm}$

koeficient délkové teplotní roztažnosti $\alpha_t = 0,000012 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

prodloužení od teploty $u_{\text{exp}} = l_o \cdot \alpha_t \cdot \Delta T_{N,\text{exp}} = 50400 \cdot 0,000012 \cdot 44 = 27 \text{ mm}$

zkrácení od teploty

$$u_{\text{con}} = l_o \cdot \alpha_t \cdot \Delta T_{N,\text{con}} = 50400 \cdot 0.000012 \cdot 46 = 28 \text{ mm}$$

Požadavky na velikost dilatačního závěru

minimální rozsah dilatačního závěru $u = u_{\text{exp}} + u_1 + u_2 + + u_{\text{con}} = 27 + 10.5 + 1.7 + + 28 = 67 \text{ mm}$

→ Návrh dilatačního závěru: **Elastický mostní závěr BRITFLEX – typ BEJ 8**

Maximální roztažná délka 80 mm

Dilatační spára

minimální 30 mm

střední 70 mm

maximální 110 mm

Návrh ložisek

Požadavky na posuny v ložiscích

maximální zkrácení

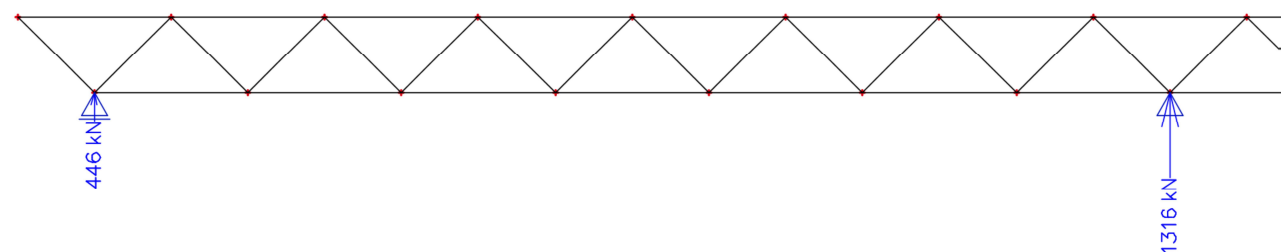
$$u_{\text{con}} + u_2 = 28 + 1.7 = 30 \text{ mm}$$

maximální protažení

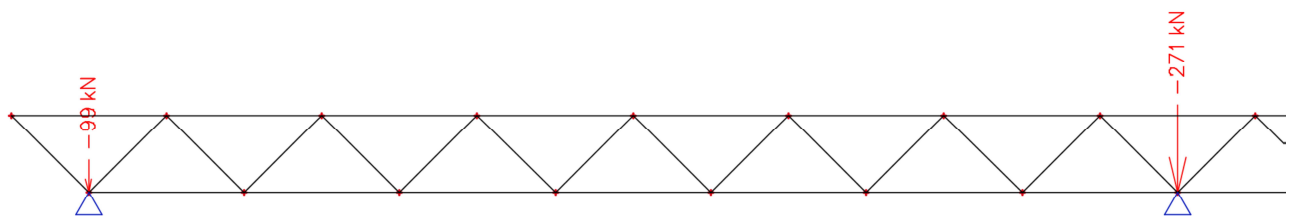
$$u_{\text{exp}} + u_1 = 27 + 10.5 = 37 \text{ mm}$$

Silové zatížení ložisek

Rakce v podporách hlavního nosníku



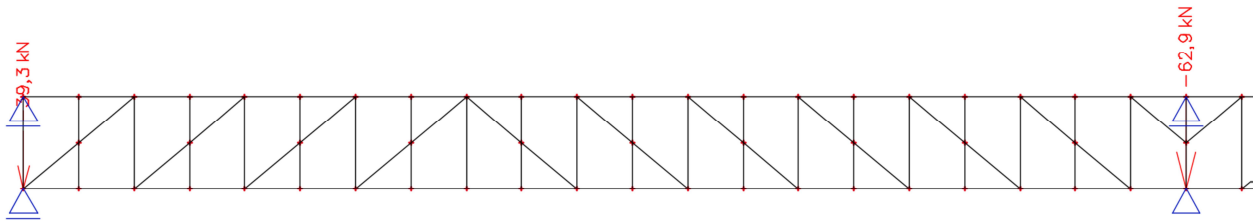
Maximální svislá reakce (kombinace 1)



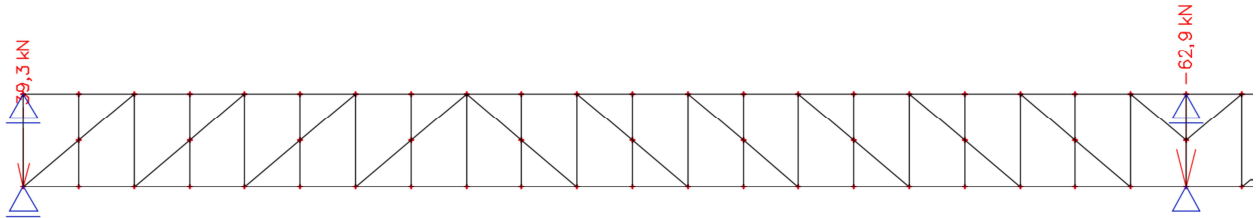
Ložiska musí být kotvená, aby byla schopna přenášet tahy (kombinace 2).

Vodorovné reakce dolního ztužení

Použijí se hodnoty pouze z kombinace 2, protože jsou vyšší než pro kombinaci 1.

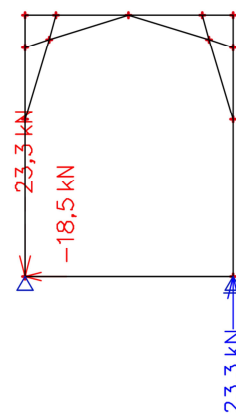
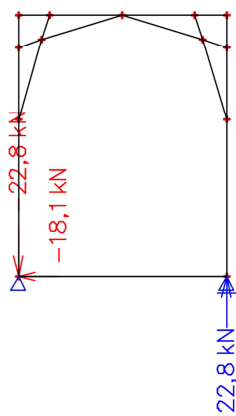


Reakce dolního ztužení pro kombinaci 2

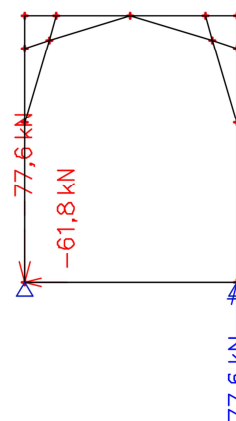
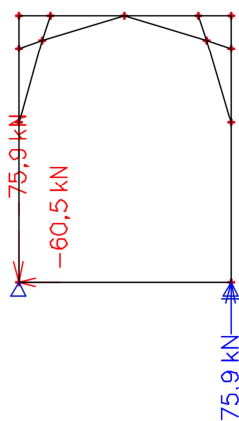


Reakce dolního ztužení pro kombinaci 2

Rakce ztužujícího rámu



Kombinace 1



Kombinace 2

Výpočet zatížení ložisek

Umístění ložiska	směr působení		Návrhové síly
Krajní	Svisle	Dolů	$F_{1,z} = 446 + 22.8 = 469 \text{ kN}$
		Nahoru	$F_{1,z,t} = 99 + 75.9 = 175 \text{ kN}$
	Vodorovně		$F_{1,y} = 100 \text{ kN}$
Středové	Svisle	Dolů	$F_{2,z} = 1316 + 2 \cdot 23.3 = 1363 \text{ kN}$
		Nahoru	$F_{2,z,t} = 271 + 2 \cdot 77.6 = 426 \text{ kN}$
	Vodorovně		$F_{2,y} = 2 \cdot 61.8 + 62.9 = 187 \text{ kN}$

Návrh ložisek

Návrh je proveden výběrem vhodných ložisek z katalogu výrobce Helmos.

Pevné ložisko na středovém pilíři

Rozměry elastomerového bloku: 300×400×63mm
Vnější rozměry ložiska: 320×540×123mm
Maximální svislá síla 1800kN
Maximální vodorovná síla příčná 140kN
Maximální vodorovná síla podélná 265kN
kotvené ložisko

Posuvné ložisko na krajních opěrách

Rozměry elastomerového bloku: 250×400×86mm
Vnější rozměry ložiska: 420×460×125mm
Maximální svislá síla 1250kN
Maximální vodorovná síla příčná 102kN
Maximální podélný posun ± 40mm
kotvené ložisko

Technická zpráva – krytá lávka pro chodce

OBSAH

Obsah	1
Úvod	2
Popis konstrukce	2
Konstrukce střechy	2
Konstrukce horního ztužení	2
Konstrukce mostovky	2
Konstrukce dolního ztužení	3
Konstrukce hlavních příhradových nosníků	3
Konstrukce ztužujících rámu	3
Použitý materiál	3
Ocel.....	3
Dřevo	3
Beton	3
Popis výroby a montáže	4
Ochrana proti korozi	4
Ochrana proti škůdcům	4
Statický výpočet	5
Odhad ceny	5
Hmotnost ocelové části.....	5
Objem dřevěné části	5
Hrubý odhad ceny	5

ÚVOD

Úkolem diplomové práce bylo navrhnout ocelovou lávku pro chodce přes Brněnskou přehradu. Lávka má překonávat údolí Brněnské přehrady pod hradem Veveří v místě původního mostu. Na daném místě již byla roku 2002 realizována lávka, jejímž autorem je Ing. Antonín Pechal, CSc. Řešení této práce má být k současné lávce alternativou. Rozpětí lávky má být 100m.

Byly zpracovány tři varianty nosné konstrukce. Plnostěnný komorový obloukový nosník, příhradová lávka o dvou polích s dolní mostovkou a zastřešením a visutá lávka. Pro každou variantu byly vytvořeny dispoziční výkresy a nadimenzovány prvky nosné konstrukce. Posouzení bylo provedeno ve zjednodušeném statickém výpočtu. Následně byla vybrána nejvhodnější varianta. Vybranou variantou byla krytá lávka (příhradová lávka o dvou polích s dolní mostovkou a zastřešením).

POPIS KONSTRUKCE

Krytou lávku tvoří dvojice příhradových nosníků kosoúhlé soustavy. Mostovka je umístěna v úrovni dolních pásů. Na horních pásech je usazena střecha. V úrovni dolních i horních pásů je umístěno vodorovné ztužení.

Konstrukce střechy

Střešní konstrukce je tvořena ze střešních ráků a střešní desky.

Střešní deska

Střešní deska je tvořena dřevěnými prkny $24 \times 120\text{mm}$. Prkna jsou uložena v podélném směru mostu spojitě vždy přes čtyři střešní ráky. Ve statickém výpočtu se předpokládá, že některá prkna umístěná na začátku nebo na konci mostu mohou být uložena pouze jako prosté nosníky.

Na střešní desce z prken je umístěna izolační fólie. Pro střešní krytinu jsou navrženy asfaltové šindele.

Střešní ráky

Ráky jsou tvořeny šikmými krokviemi, 3m dlouhými, složenými ze dvou na výšku postavených dřevěných fošen $32 \times 125\text{mm}$ a táhlem o průřezu $60 \times 80\text{mm}$.

Ráky jsou přišroubovány na horní pás ocelových příhradových nosníků v osové vzdálenosti 1,2m.

Konstrukce horního ztužení

Horní ztužení je umístěno mezi horní pásy ocelových příhradových nosníků. Ztužení je příhradové a skládá se z ocelových příčnic umístěných vždy do styčnic příhradového nosníku (po 7,2m) a táhel Detan v diagonálách. Ve statickém výpočtu se předpokládá, že tlačené diagonály nepřenášejí žádnou sílu. V modelu se uvažují pouze tažené diagonály. Ocelové příčnice jsou tvořeny čtvercovými trubkami.

Konstrukce mostovky

Mostovka je položena na ocelových příčnicích mezi dolními pásy příhradových nosníků. Tvoří ji dřevěné fošny $40 \times 250\text{mm}$ uložené na sraz příčně na 5 dřevěných trámů mostovky $100 \times 180\text{mm}$, které jsou

orientovány rovnoběžně s podélnou osou mostu. Trámy mají délku 5m a tvoří spojitě nosníky o dvou polích. Začátky a konce trámů jsou se sousedními trámy prostřídány, aby průhyby mostovky měly ve všech směrech hladký průběh. Osová vzdálenost trámů je 800 až 1000mm.

Konstrukce dolního ztužení

Dolní ztužení je umístěno mezi dolní pásy ocelových nosníků. Ztužení je příhradové a skládá se z ocelových příčníků, které současně podporují mostovku, a táhel Detan umístěných v diagonálách. Osová vzdálenost příčníků je 2,4m. Shodně s konstrukcí horního ztužení se v modelu dolního ztužení neuvažují tlačené diagonály. Ocelové příčníky jsou tvořeny obdélníkovými trubkami.

Konstrukce hlavních příhradových nosníků

Hlavní nosná konstrukce je tvořena svařovanými příhradovými nosníky kosoúhlé soustavy. Nosníky jsou tvořeny horním a dolním pásem a diagonálami. Diagonály mají sklon 45°. Veškeré pruty příhradového nosníku jsou tvořeny hranatými trubkami. Pásky probíhají spojitě přes celou délku mostu. Všechny styčníky jsou svařované.

Konstrukce ztužujících rámu

Pro přenos vodorovného zatížení z horního příhradového ztužení do základů je v konstrukci 4 × umístěn ztužující rám. Je umístěn vždy do roviny 2. a 15. diagonály (obě vedou do podporového styčníku). Ztužující rám je tvořen dvěma diagonálami po stranách, horním příčníkem a dolním příčníkem. Všechny tyto pruty mají oproti běžným prutům výrazně větší tloušťku stěny. Pro omezení deformací rámu bylo nutné rám vyztužit ocelovými vzpěrami, jejichž průřez je tvořen čtvercovými trubkami.

POUŽITÝ MATERIÁL

Ocel

Pro všechny pruty příhradového nosníku, s výjimkou táhel horního a dolního ztužení, se použije ocel S355 J2.

Pro diagonály z táhel Detan se použije ocel S460N (dle tabulek výrobce).

Šrouby a svorníky, pro připojení dřevěných částí konstrukce, jsou pevnosti 8.8.

Dřevo

Všechny dřevěné prvky jsou ze dřeva kategorie C20. Pro stanovení návrhových hodnot pevností je určena třída trvání zatížení jako „krátkodobá“ (chodci) a třída provozu „3 třída“ (vlhkost materiálu může přesáhnout 20%, nebo relativní vlhkost vzduchu může být větší než 85%).

Beton

Spodní stavba bude zhotovena z betonu C30/37 XC4 XF1.

POPIS VÝROBY A MONTÁŽE

V první fázi proběhne betonáž opěr a pilíře.

Pomocí vibroberaněných štětovnicových stěn a odčerpání vody se obnaží dno přehradní nádrže. Následně budou vybetonovány základy pilíře a opěr. Po dokončení všech betonových konstrukcí pod úrovní hladiny, se štětové stěny demontují.

V druhé fázi se vybudují dvě provizorní podpory na pontonech kotvených do dna nádrže. Provizorní podpory budou umístěny uprostřed obou polí mostu.

Ve třetí fázi výstavby budou montážní díly na stavbě svařovány v jeden celek příhradového mostu. Výroba montážních dílů bude probíhat v mostárně. Velikost montážních dílů je odvislá od lokality mostárny a transportní trasy. Za příznivé situace by montážní díl mohl být až 15m dlouhý 4,2m široký a 3,9m vysoký a tvořil by segment mostu o velikosti dvou příhrad. V opačném případě by byly v mostárně pruty pouze nařezány na správné délky a opatřeny základním nátěrem. Všechny svary by pak byly provedeny při montáži. Most bude svařován na pravém břehu (při silnici II/384) a poté postupně vysouván přes provizorní podpory. Stabilita vysouvané části konstrukce bude zajištěna pomocí lehkého vysouvacího nástavce.

Po svaření všech částí a vysunutí mostu, bude most uložen do definitivní polohy na ložiska. Provizorní podpory budou demontovány. Následně bude ocelová konstrukce opatřena vrchním nátěrem.

V poslední fázi bude položena dřevěná mostovka, osazena dřevěná střecha a zábradlí.

OCHRANA PROTI KOROZI

Návrh protikorozi ochrany vychází z ČSN ISO 12944-2. Konstrukce se nachází ve třetím stupni korozní agresivity atmosféry (C3 - střední). Pro dosažení vysoké životnosti ochrany (alespoň 15 let), je volena ochrana doporučeným nátěrovým systémem A3.04 dle ČSN EN ISO 12944-5. Ochrana proti korozi zahrnuje:

- úprava povrchu stupněm přípravy Sa 2½ (podle ČSN EN ISO 8501-1)
- základní akrylátový nátěr 80µm.
- 3x vrchní nátěr o celkové tloušťce 200µm.

V mostárně bude provedena úprava povrchu konstrukce. Základní nátěr a jeden vrchní nátěr celé konstrukce s výjimkou míst u montážních svarů. V místech montážních svarů bude konstrukce opatřena reaktivním nátěrem proti korozi, umožňujícím kvalitní provedení svarů.

Po montáži budou provedené spoje doplněny nátěry jako u ostatní konstrukce a celá konstrukce bude opatřena druhým a třetím vrchním nátěrem.

OCHRANA PROTI ŠKŮDCŮM

Všechny dřevěné konstrukční části jsou vystaveny vlivům prostředí. Spadají tedy do třídy ohrožení 3 (dle ČSN EN 335-1). Dřevo jehličnatých dřevin spadá do třídy trvanlivosti 4 (dle ČSN EN 350-2). Všechny dřevěné prvky je třeba chránit vhodným impregnačním prostředkem proti vlhkosti houbám i škůdcům.

STATICKÝ VÝPOČET

Návrh a posouzení prvků konstrukce bylo provedeno dle platných norem soustavy ČSN EN.

ODHAD CENY

Hmotnost ocelové části

Horní pás	12,9 tun
Diagonály	7,1 tun
Dolní pás	11,0 tun
Příčnice horního ztužení	1,5 tun
Příčnice dolního ztužení	3,8 tun
Vzpěry	0,6 tun
Táhla detan	1,0 tun
Celkem ocelová konstrukce:	37,8 tun

Objem dřevěné části

Střešní deska	15,6 m ³
Střešní rámy	6,2 m ³
Dolní mostovka	17,1 m ³
Trámy dolní mostovky	9,1 m ³
Celkem dřevěná konstrukce:	48,0 m³

Hrubý odhad ceny

Ocel:	$38 \text{ tun} \times 80000 \text{ Kč/tuna} =$	3 040 000 Kč
Dřevo:	$48 \text{ m}^3 \times 8000 \text{ Kč/m}^3 =$	384 000 Kč
Cena konstrukce celkem:		3 424 000 Kč

Výsledky výpočtu vnitřních sil na ocelovém příhradovém nosníku a ztužujících konstrukcích

OBSAH

Obsah	1
Hlavní příhradový nosník.....	1
Mezní stav únosnosti – MSÚ	2
Mezní stav použitelnosti – MSP	5
Horní ztužení	6
Mezní stav únosnosti – MSÚ	7
Mezní stav použitelnosti – MSP	10
Reakce od vodorovného zatížení	10
Dolní ztužení.....	11
Mezní stav únosnosti – MSÚ	11
Mezní stav použitelnosti – MSP	14
Tuhé rámy	15
Mezní stav únosnosti – MSÚ	15
Mezní stav použitelnosti - MSP	19

Poznámka: Most je symetrický podle osy symetrie procházející středním pilířem. Na následujících obrázcích je zobrazeno vždy jen jedno pole - polovina mostu.

HLAVNÍ PŘÍHRADOVÝ NOSNÍK

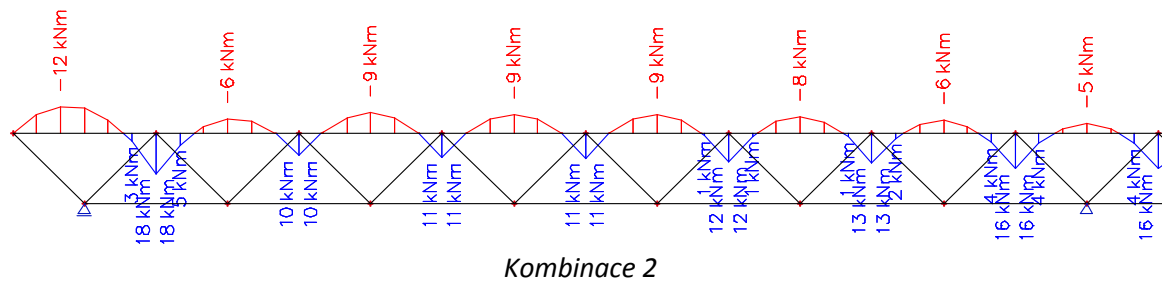
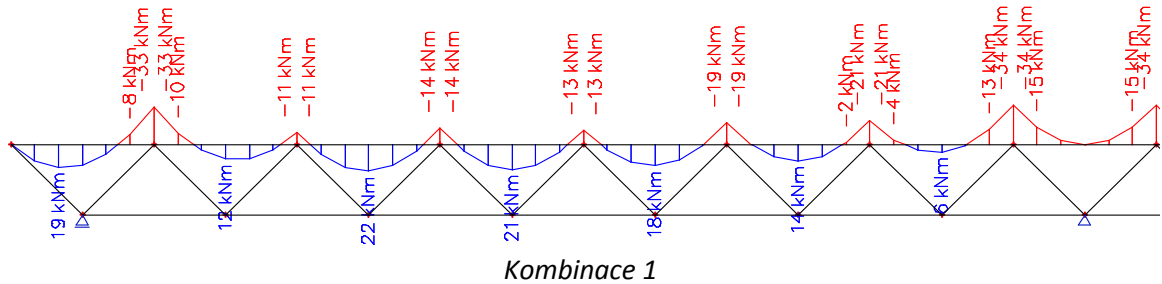
Mezní stav únosnosti – MSÚ

Kombinace pro mezní stav únosnosti – MSÚ – jsou sestaveny s návrhovými součiniteli $\gamma_G=1,35$ a $\gamma_Q=1,35$.

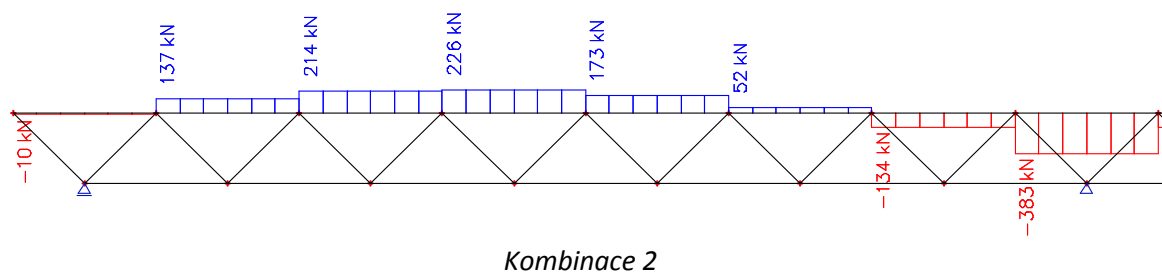
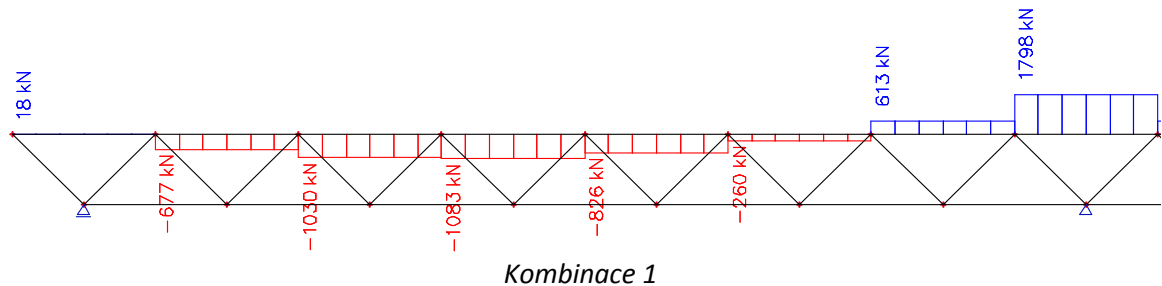
- $1,35 \times (f_g + f_{g0}) + 1,35 \times (f_q + 0,8 \times f_s + 0,3 \times f_w)$
- $1,00 \times (f_g + f_{g0}) + 1,35 \times f_w$

Horní pás

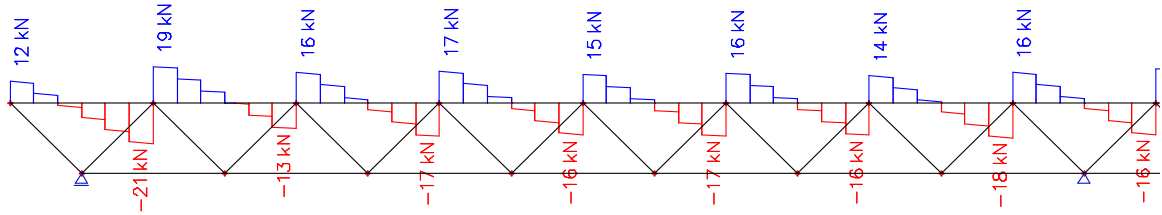
Momenty



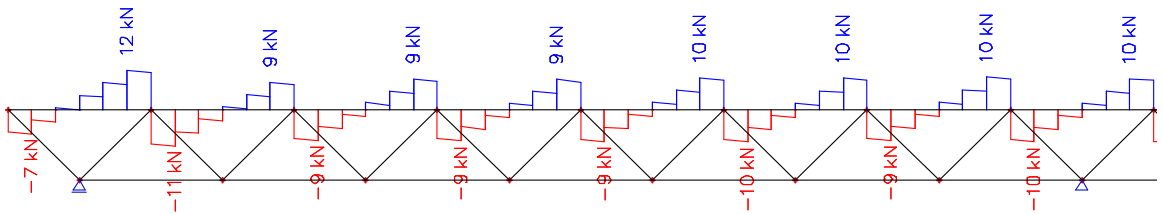
Normálové síly



Posouvající síly



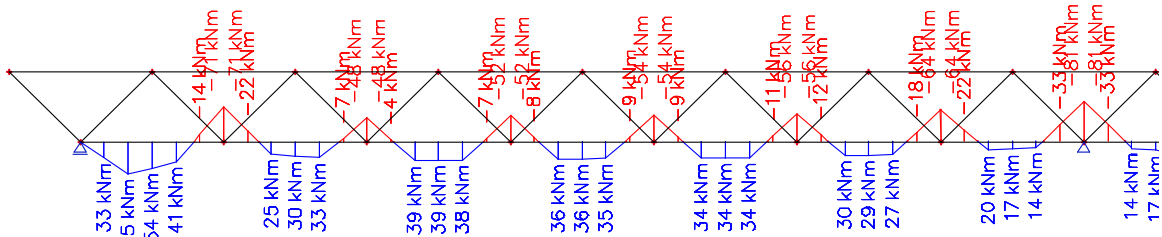
Kombinace 1



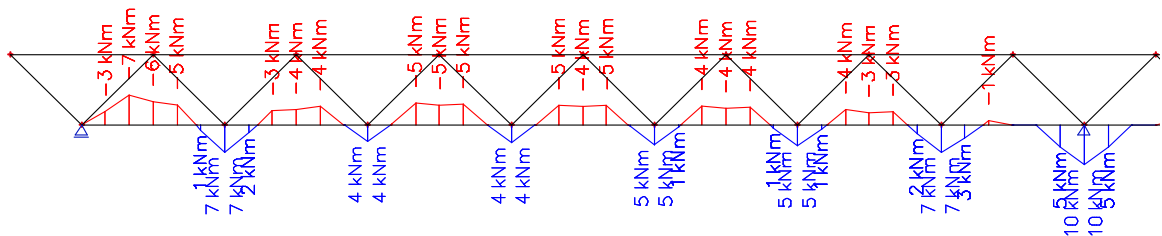
Kombinace 2

Dolní pás

Momenty

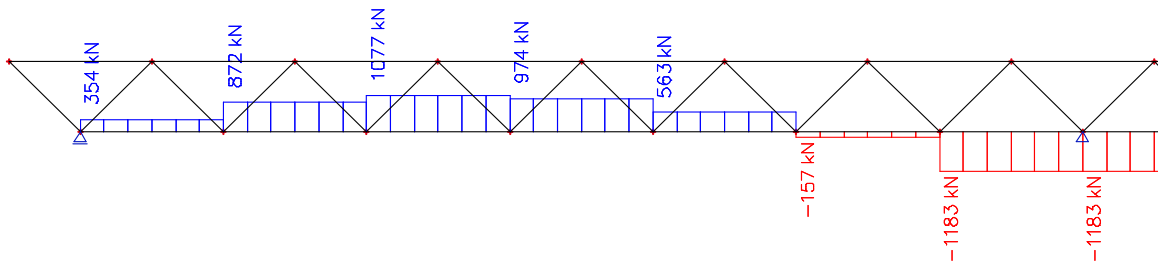


Kombinace 1

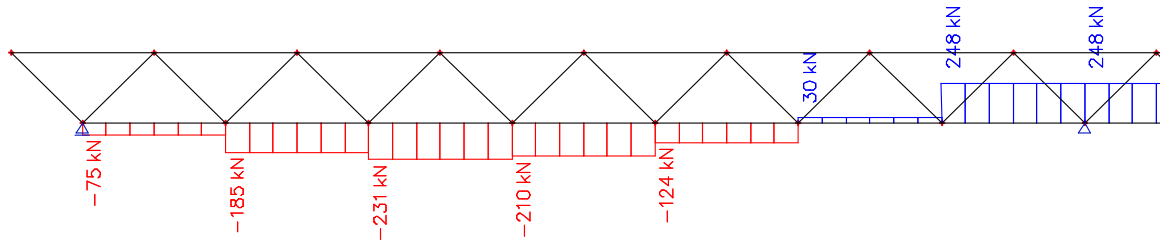


Kombinace 2

Normálové síly

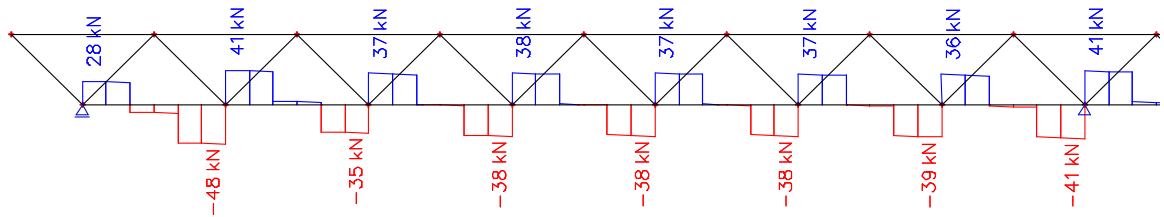


Kombinace 1

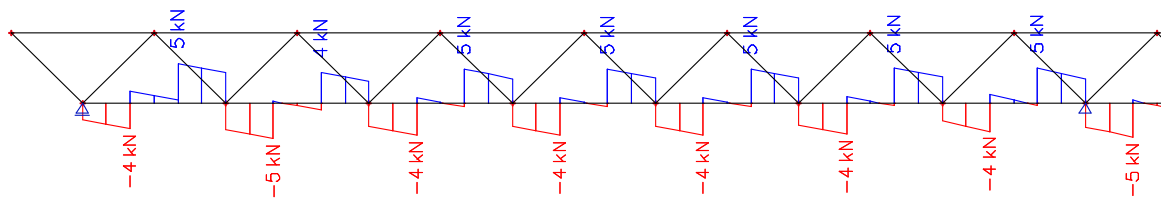


Kombinace 2

Posouvající síly



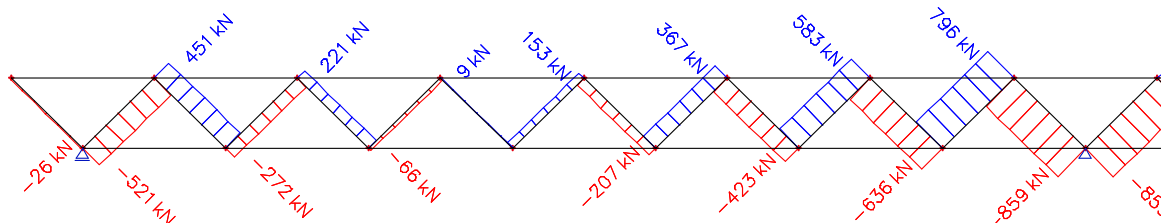
Kombinace 1



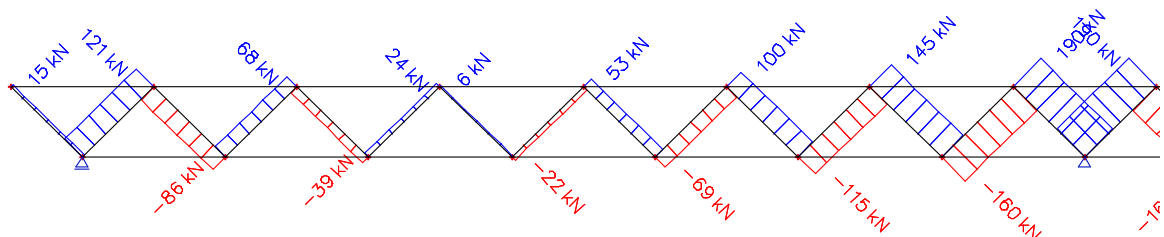
Kombinace 2

Diagonály

Normálové síly

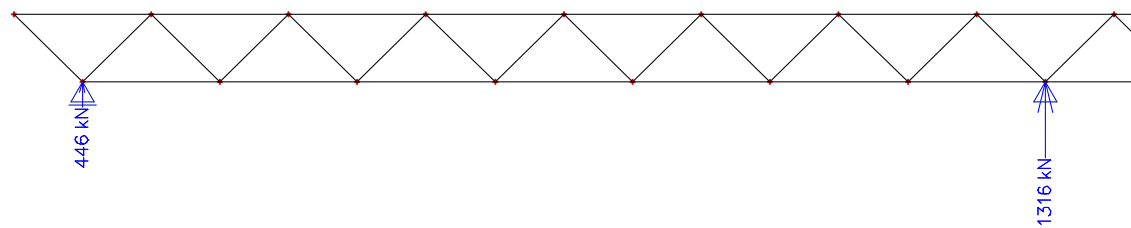


Kombinace 1

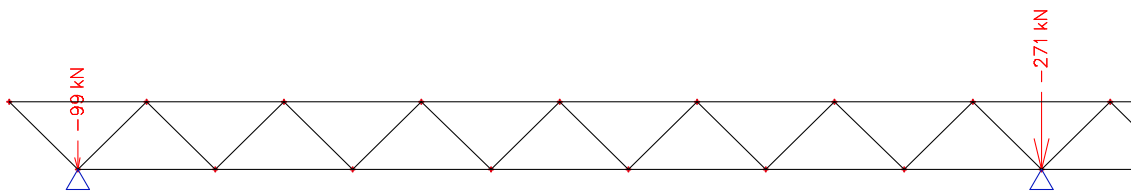


Kombinace 2

Reakce



Kombinace 1



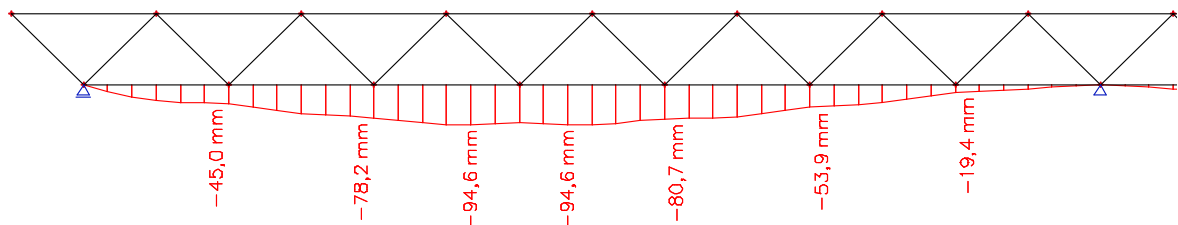
Kombinace 2

Mezní stav použitelnosti – MSP

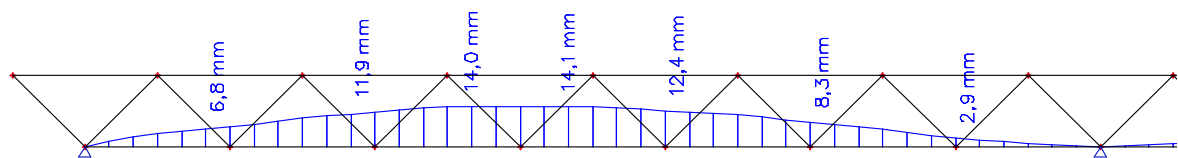
Kombinace pro mezní stav použitelnosti – MSP – jsou sestaveny v charakteristických hodnotách.

1. $1,00 \times (f_g + f_{g0}) + 1,00 \times (f_q + 0,8 \times f_s + 0,3 \times f_w)$
2. $1,00 \times (f_g + f_{g0}) + 1,00 \times f_w$

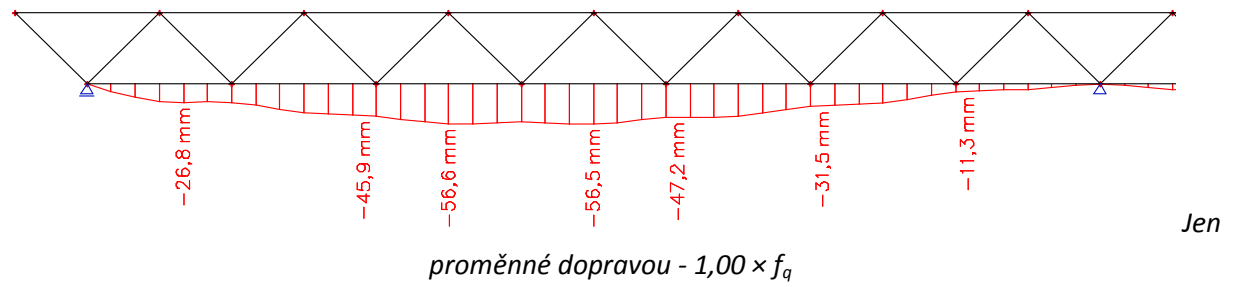
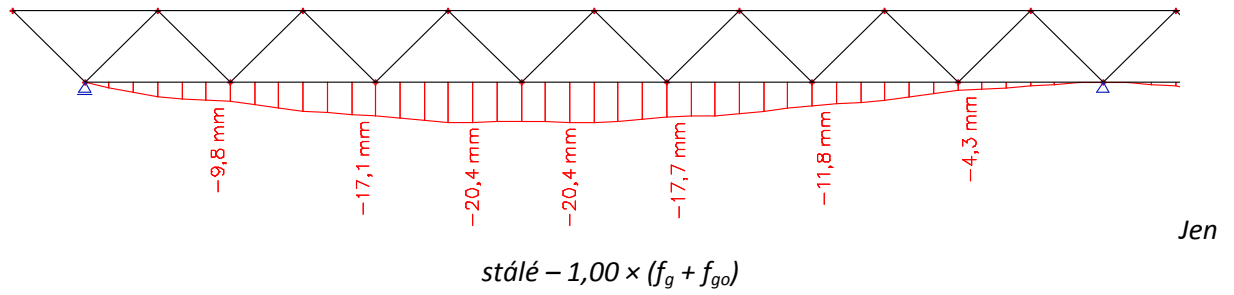
Průhyb dolního pásu



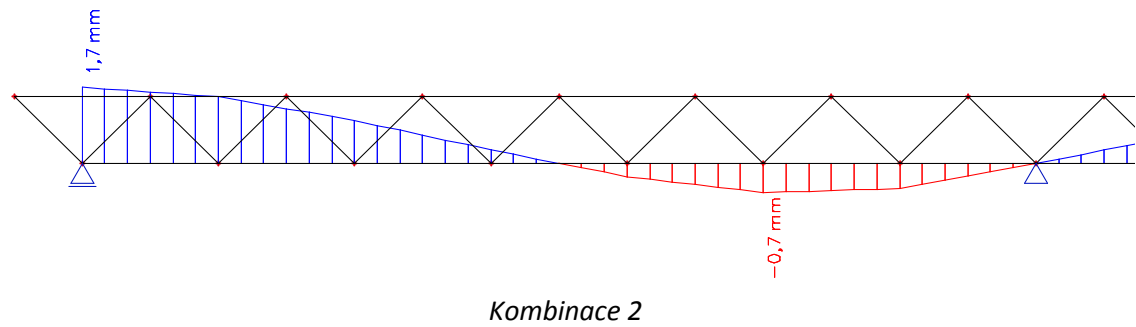
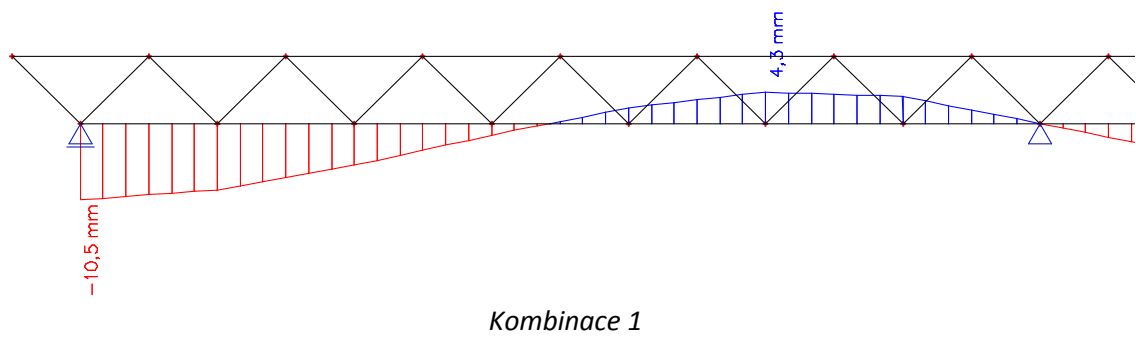
Kombinace 1



Kombinace 2



Vodorovný posun dolního pásu



HORNÍ ZTUŽENÍ

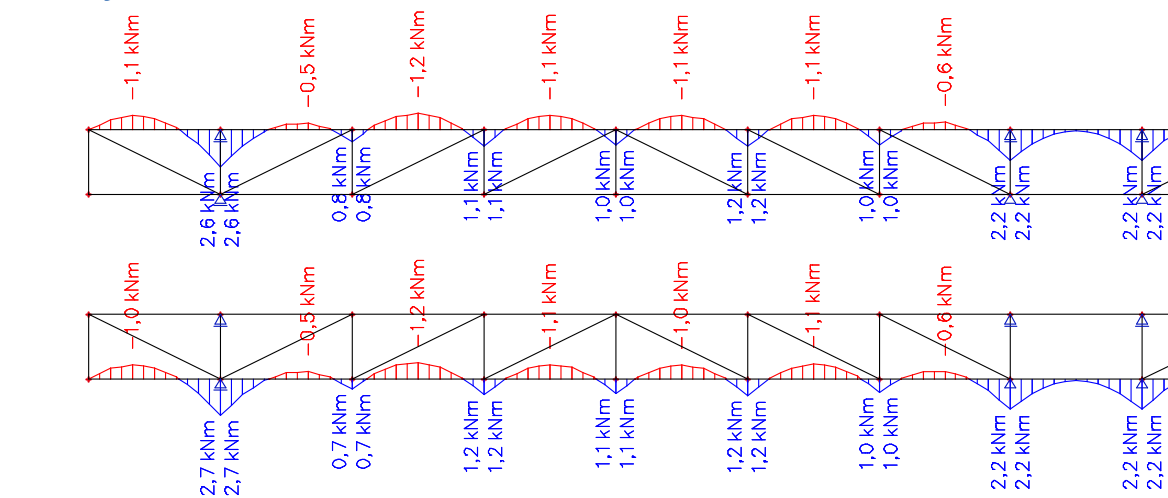
Mezní stav únosnosti – MSÚ

Kombinace je sestavena stejně jako pro hlavní příhradový nosník. Jelikož na pruty horního ztužení působí pouze vodorovné síly, kombinace se zredukuje do tvaru:

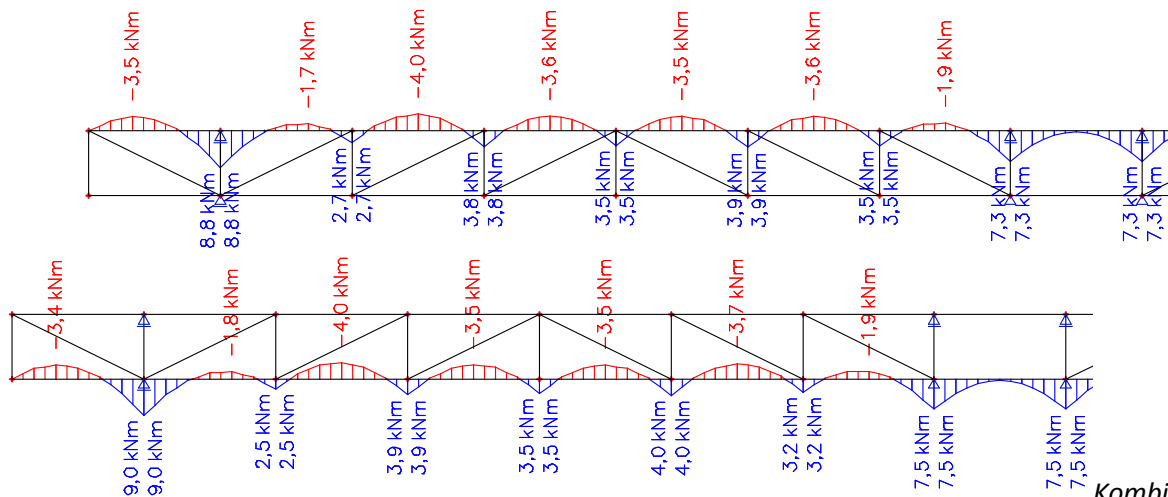
1. $1,35 \times 0,3 \times f_w$
2. $1,35 \times f_w$

Pásy

Momenty

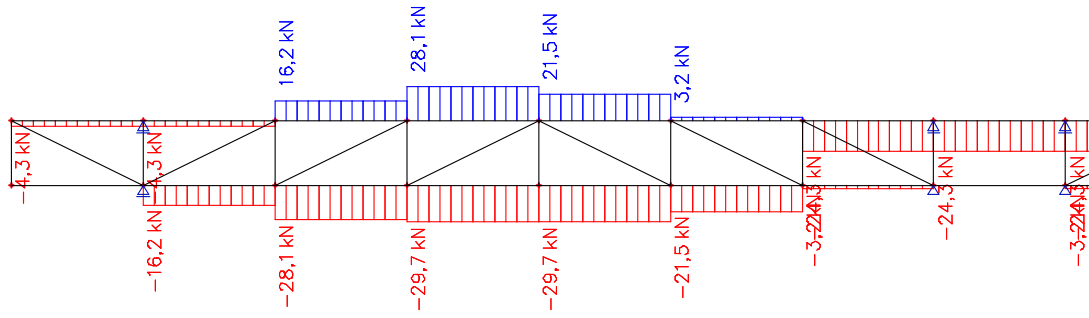


Kombinace 1

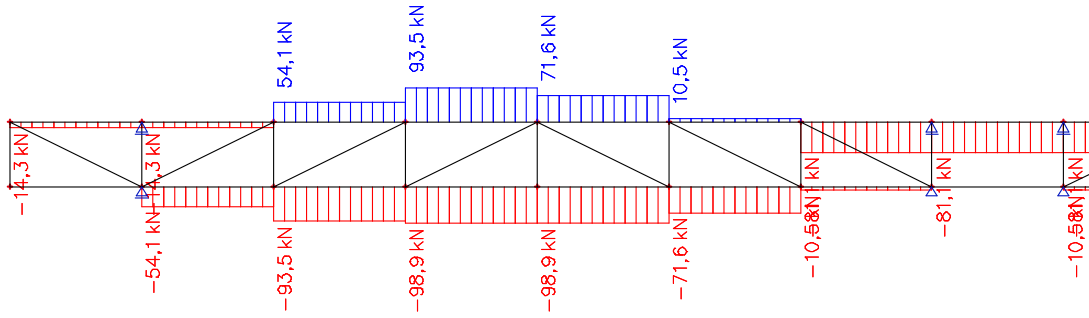


Kombinace 2

Normálové síly

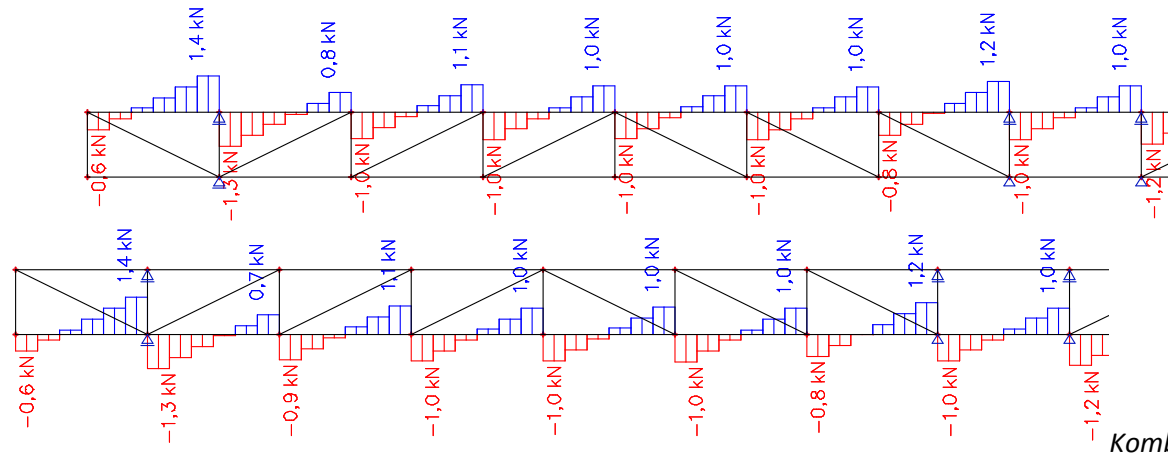


Kombinace 1

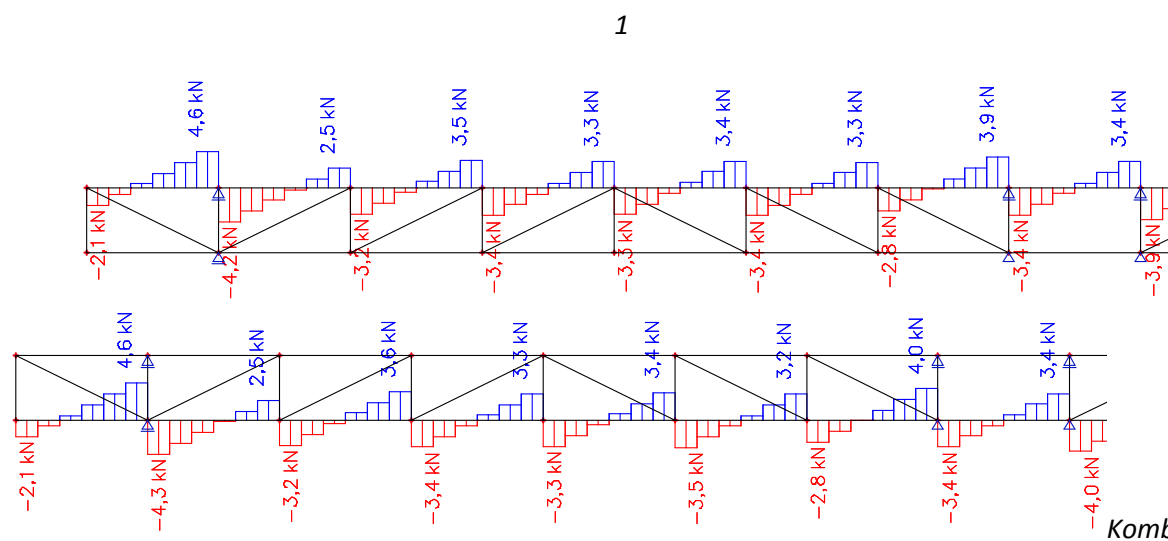


Kombinace 2

Posouvající síly



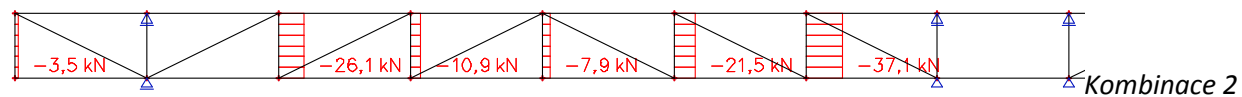
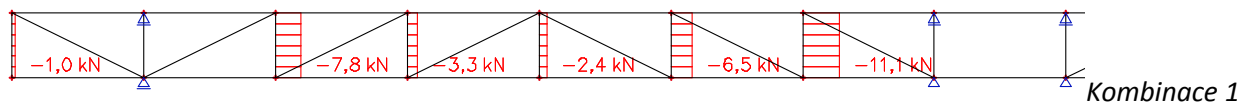
Kombinace 1



Kombinace 2

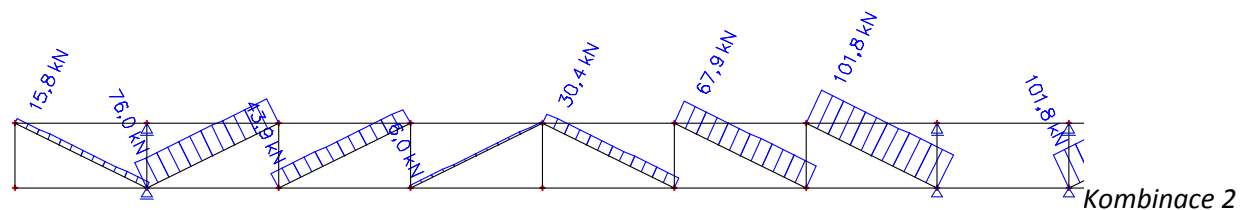
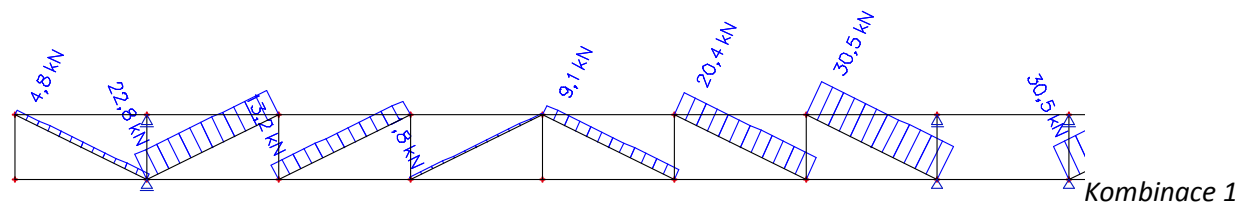
Příčníky

Normálové síly



Diagonály

Normálové síly

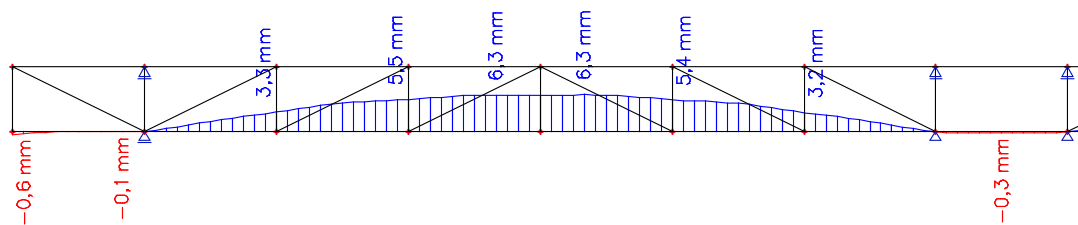


Mezní stav použitelnosti – MSP

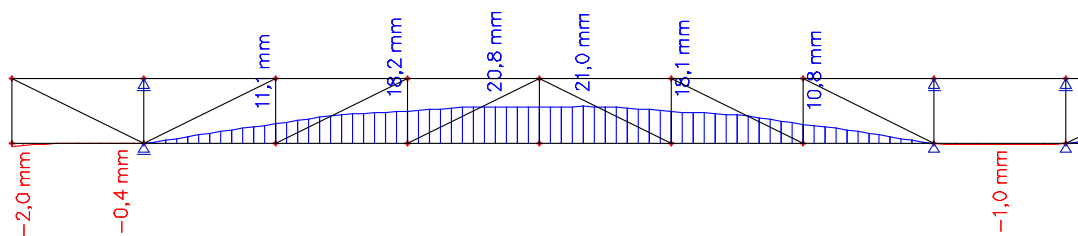
Kombinace pro MSP má tvar:

1. $1,00 \times 0,3 \times f_w$
2. $1,00 \times f_w$

Boční průhyb pásů



Kombinace 1

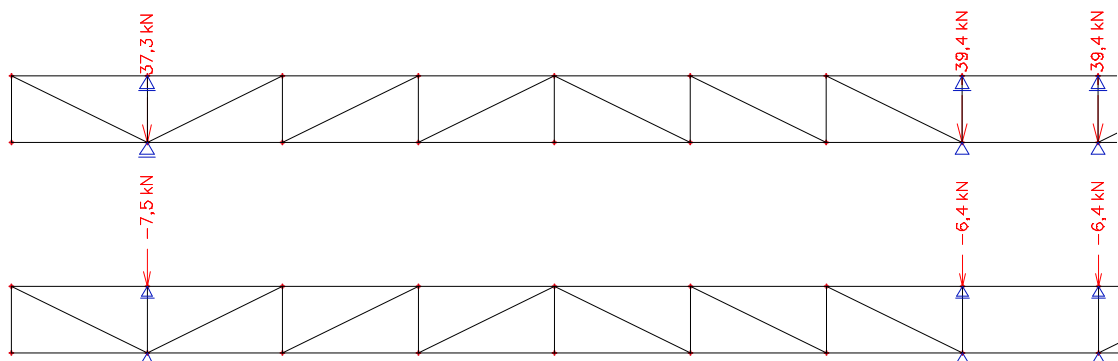


Kombinace 2

Reakce od vodorovného zatížení

Zatížení modelu tuhých rámců pro přenos zatížení z horního ztužení do podpor se stanoví podle reakcí plného zatěžovacího stavu.

1. $1,00 \times f_w$



Reakce od zatěžovacího stavu f_w

DOLNÍ ZTUŽENÍ

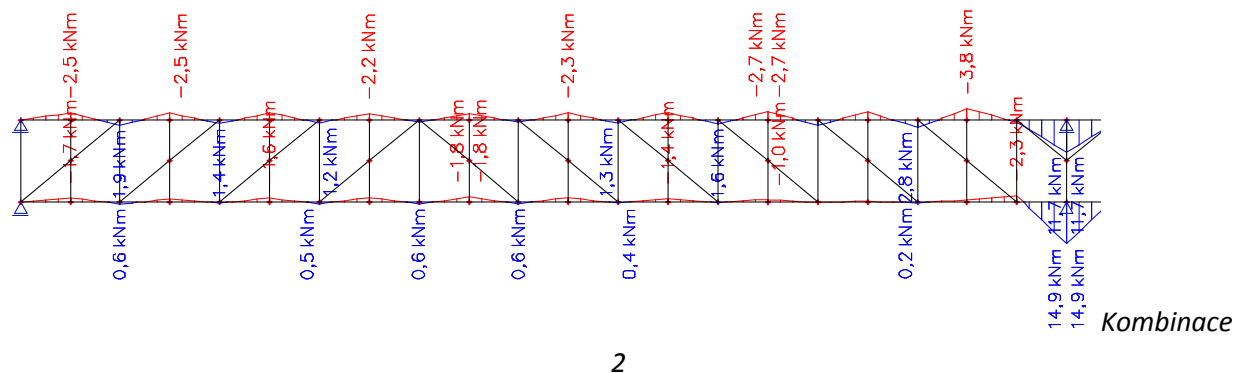
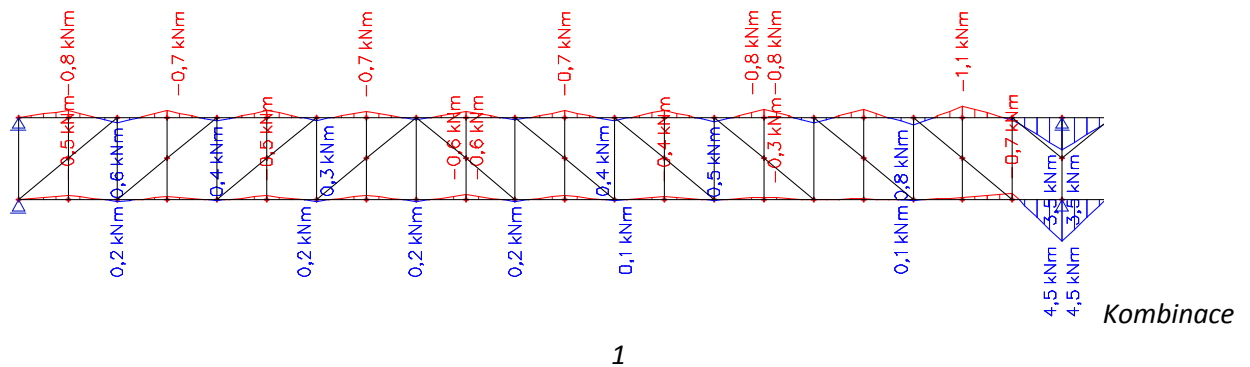
Mezní stav únosnosti – MSÚ

Kombinace je sestavena stejně jako pro hlavní příhradový nosník. Jelikož na pruty horního ztužení působí pouze vodorovné síly, kombinace se zredukuje do tvaru:

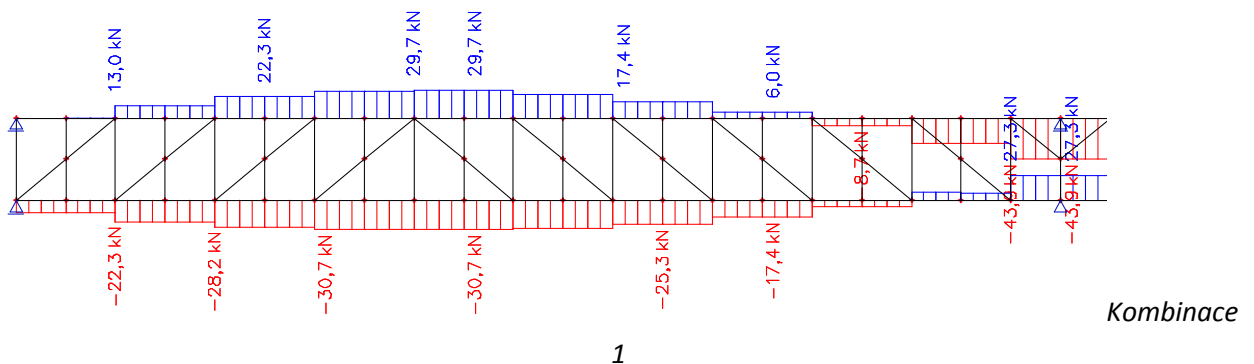
1. $1,35 \times 0,3 \times f_w$
2. $1,35 \times f_w$

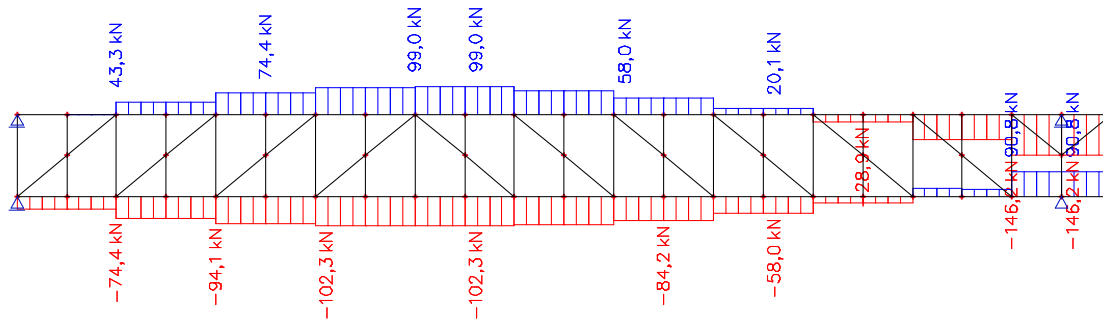
Pásy

Momenty



Normálové síly

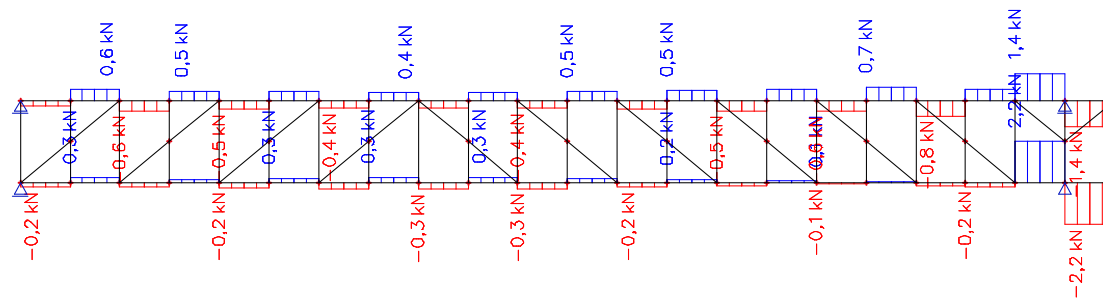




Kombinace

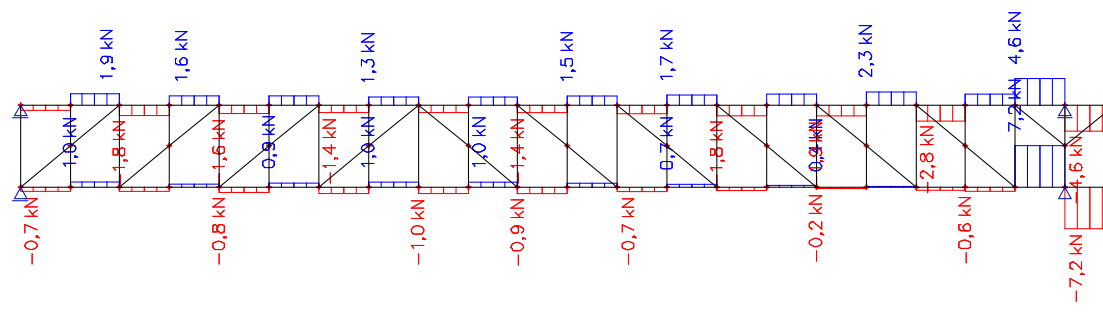
2

Posouvající síly



Kombinace

1

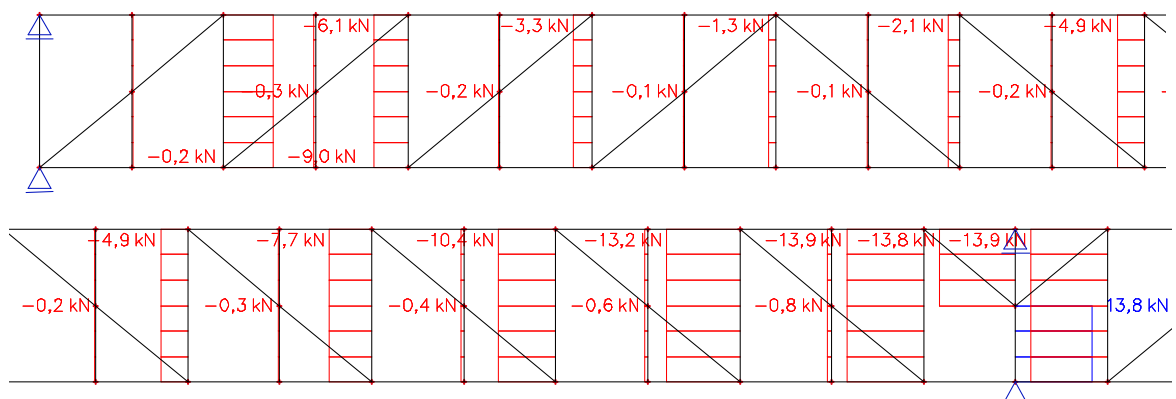


Kombinace

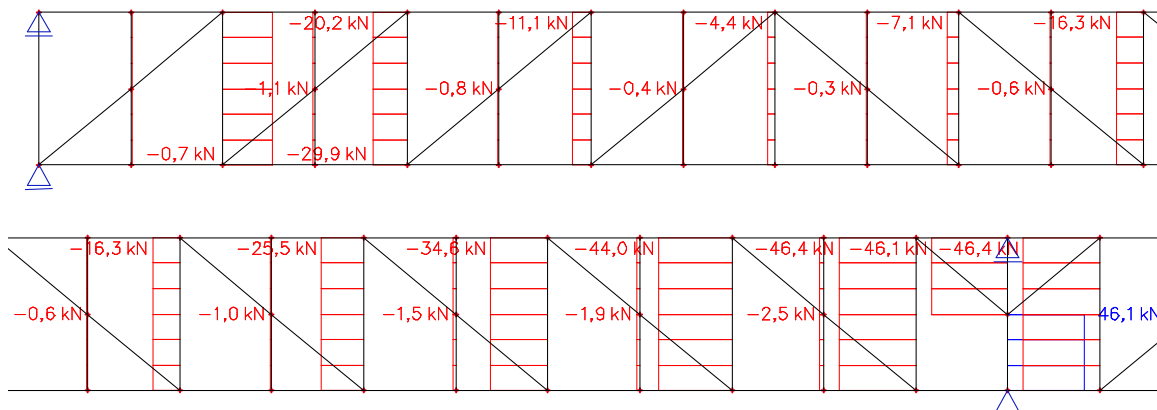
2

Příčnický

Normálové síly



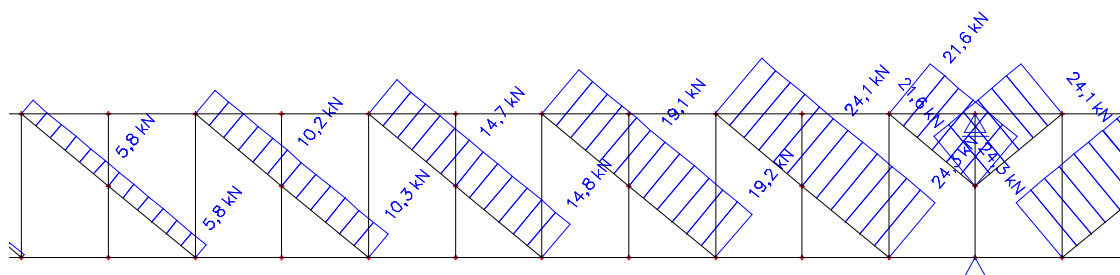
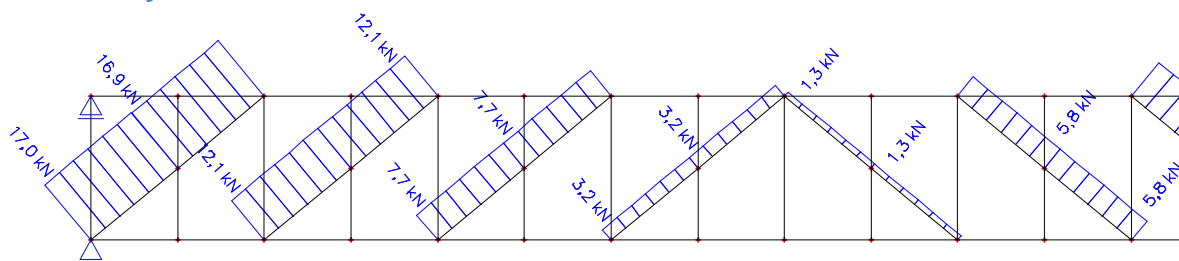
Kombinace 1



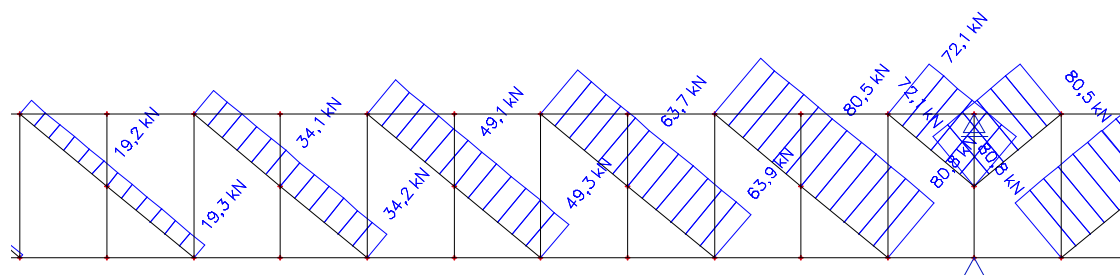
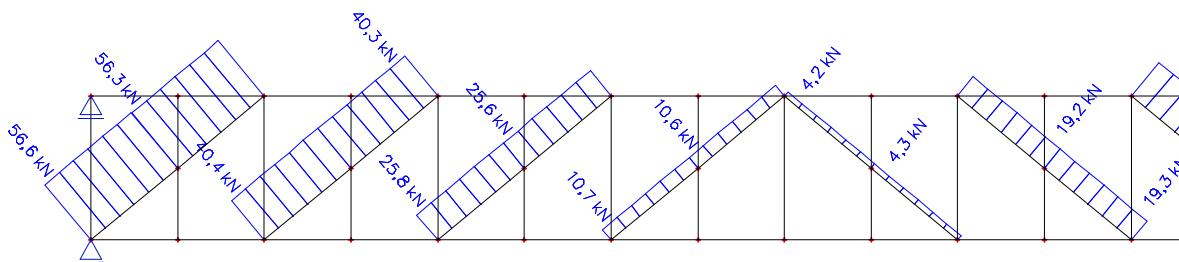
Kombinace 2

Diagonály

Normálové síly

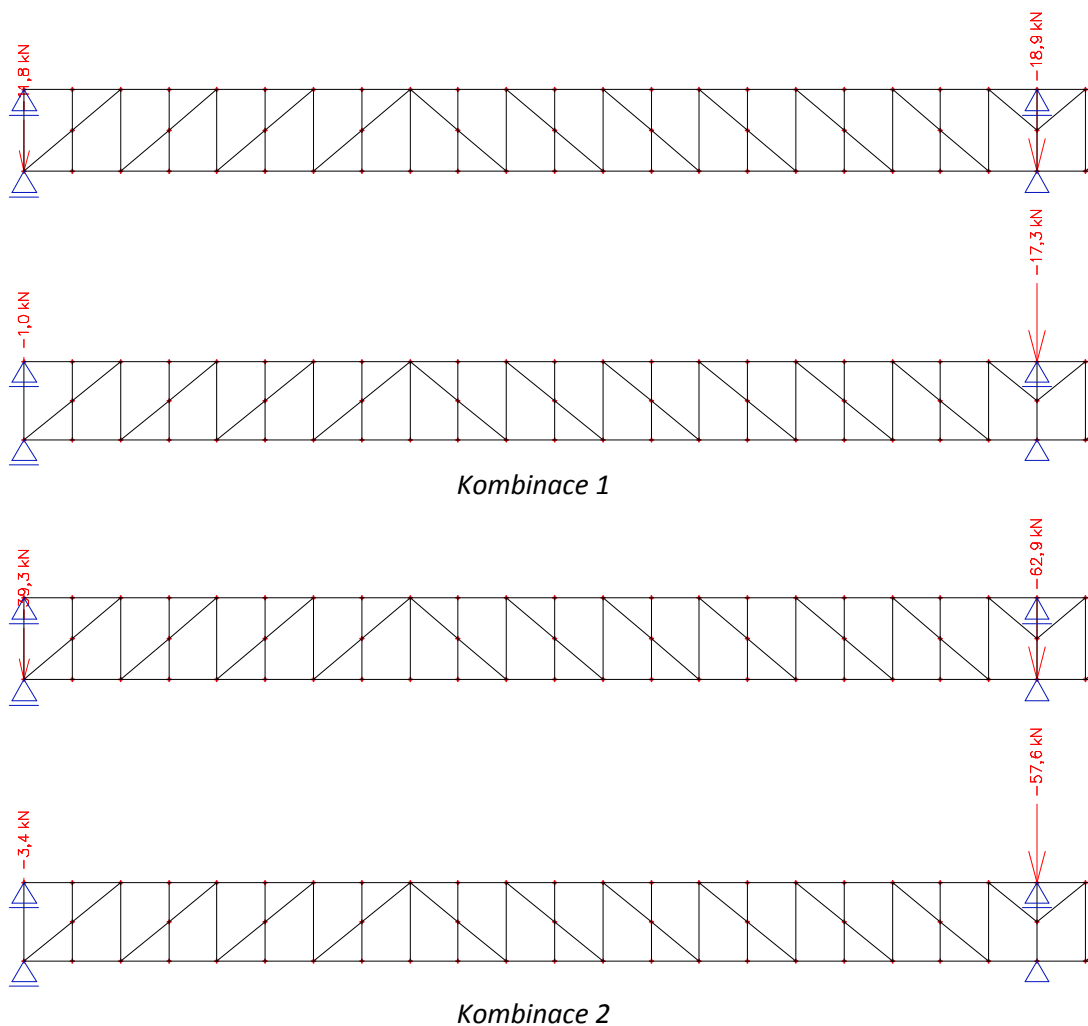


Kombinace 1



Kombinace 2

Reakce

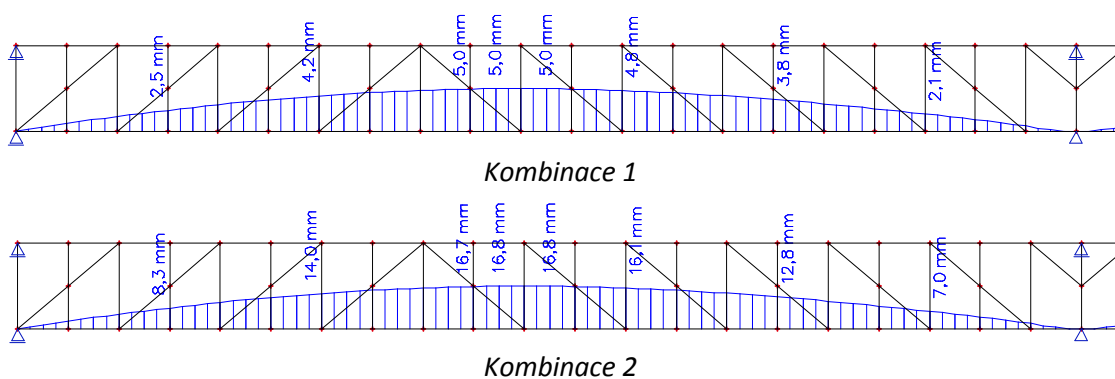


Mezní stav použitelnosti – MSP

Kombinace pro MSP má tvar:

1. $1,00 \times 0,3 \times f_w$
2. $1,00 \times f_w$

Boční průhyb pásů



TUHÉ RÁMY

Tuhé rámy slouží pro přenos vodorovného zatížení z horního ztužení do podpor.

Mezní stav únosnosti – MSÚ

Kombinace pro MSÚ má tvar:

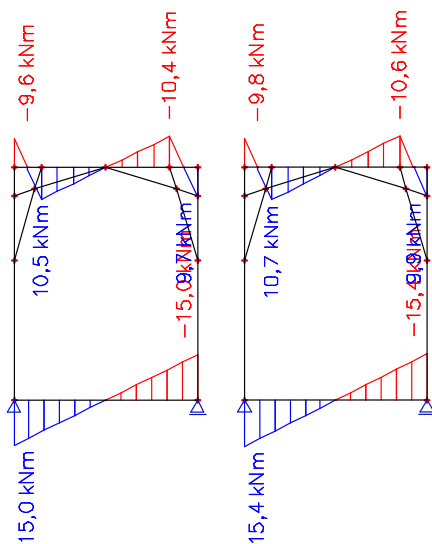
1. $1,35 \times 0,3 \times f_w$
2. $1,35 \times f_w$

Zatížení f_w je získáno jako reakce od vodorovného zatížení na modelu horního ztužení. Použita je charakteristická hodnota.

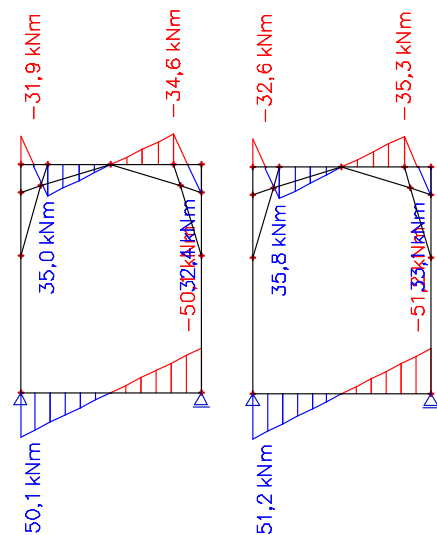
Pro každou kombinaci je výpočet proveden na rámu přilehlém krajní podpoře (vlevo) a rámu přilehlém střední podpoře (vpravo).

Příčle

Momenty

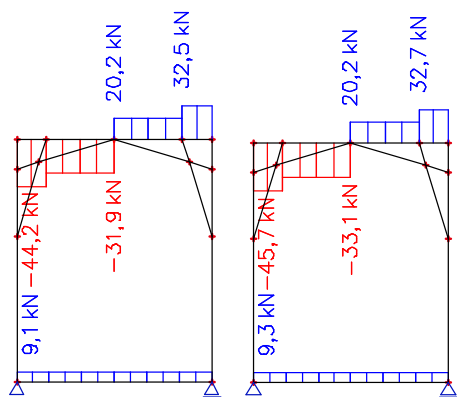


Kombinace 1

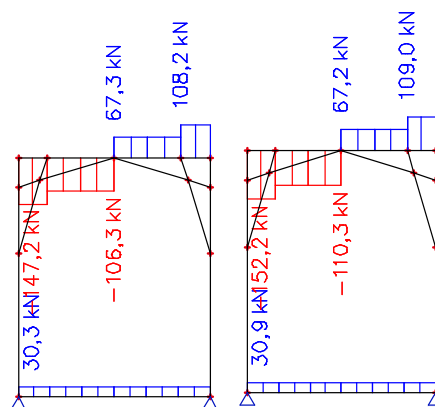


Kombinace 2

Normálové síly

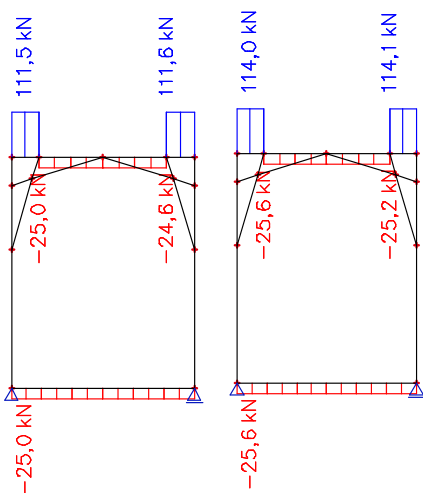


Kombinace 1

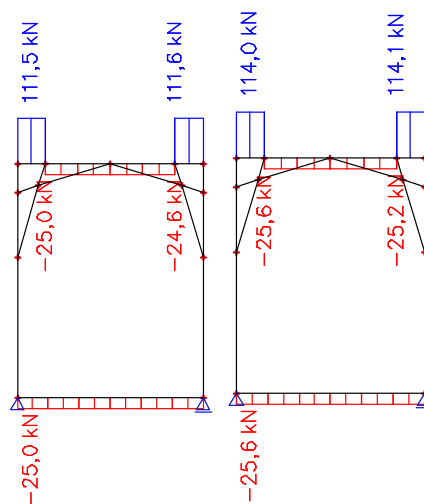


Kombinace 2

Posouvající síly



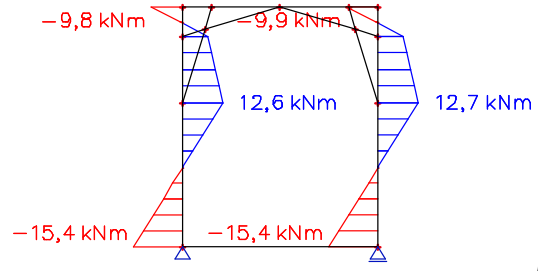
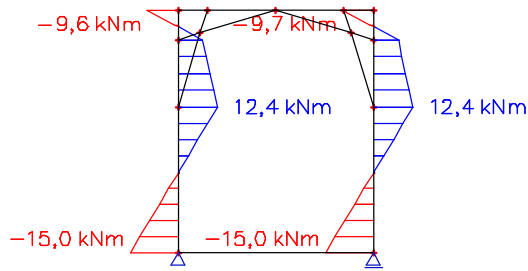
Kombinace 1



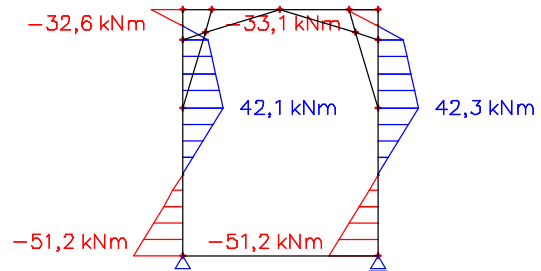
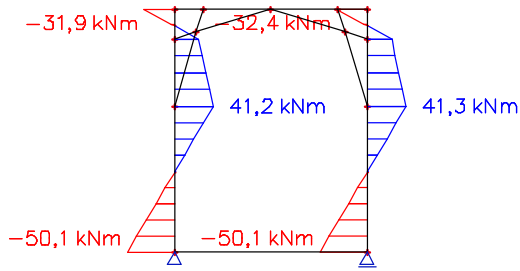
Kombinace 2

Stojky

Momenty



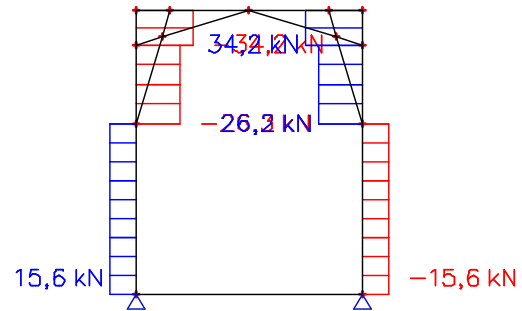
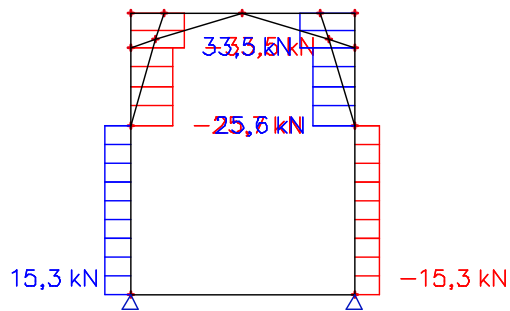
Kombinace 1



Kombinace

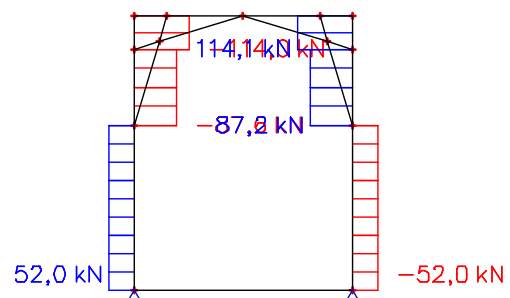
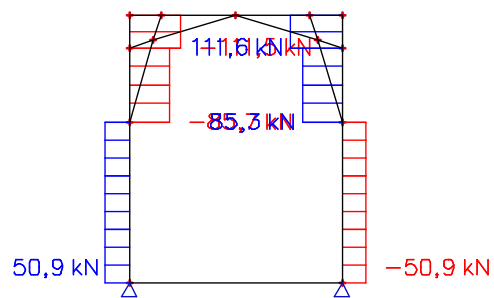
2

Normálové síly



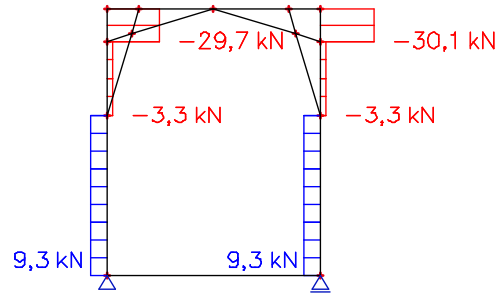
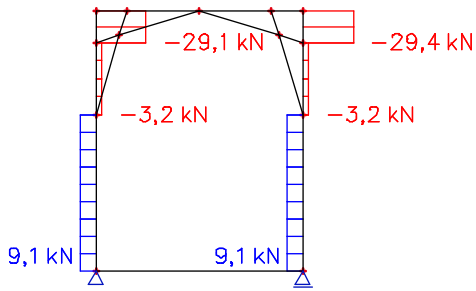
Kombinace

1

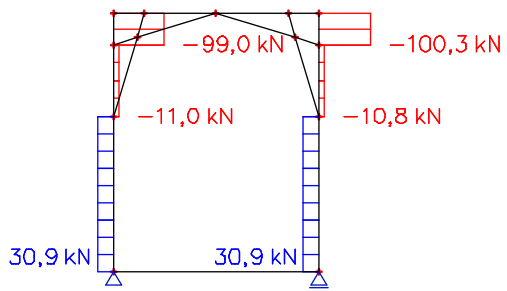
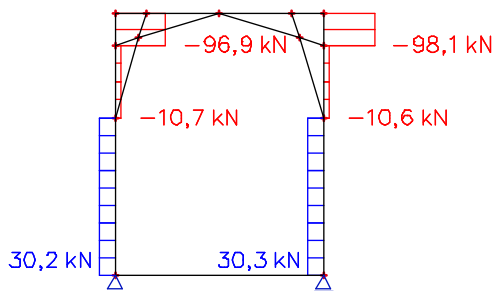


Kombinace 2

Posouvající síly



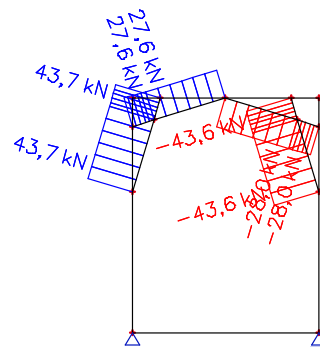
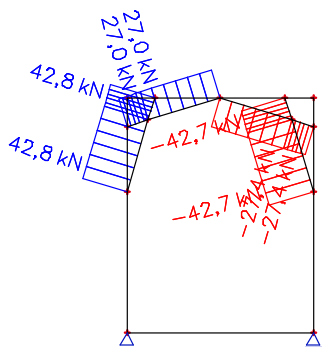
Kombinace 1



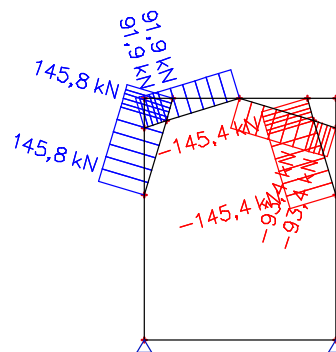
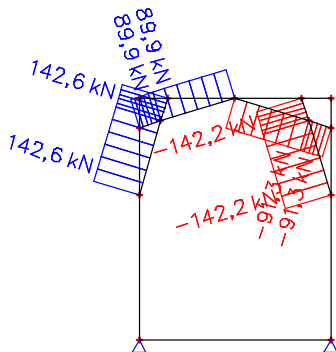
Kombinace 2

Vzpěry

Normálové síly

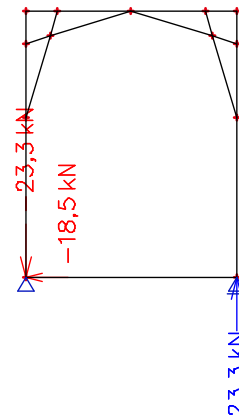
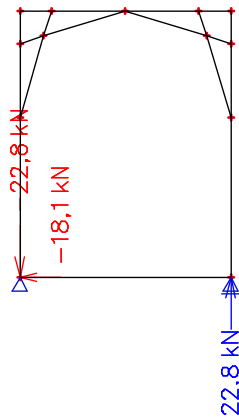


Kombinace 1

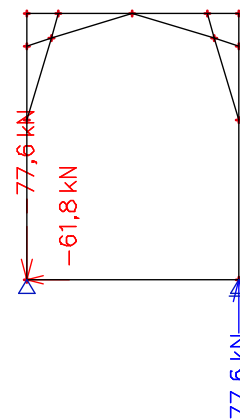
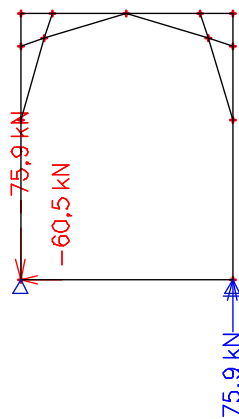


Kombinace 2

Reakce



Kombinace 1



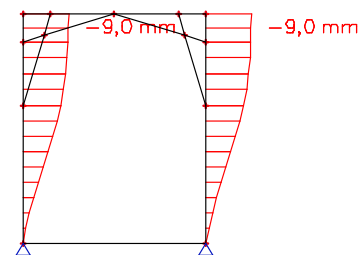
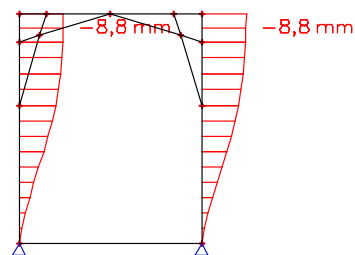
Kombinace 2

Mezní stav použitelnosti - MSP

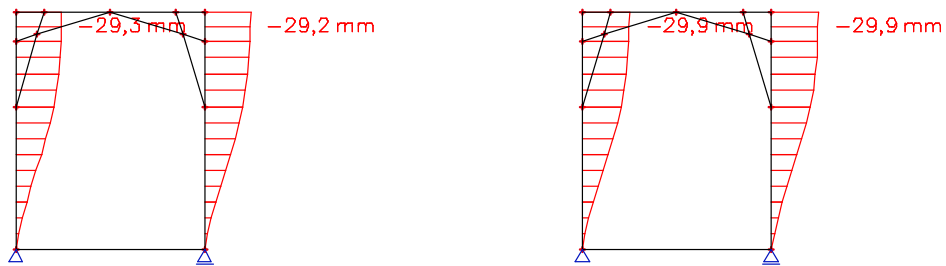
Kombinace pro MSP má tvar:

1. $1,00 \times 0,3 \times f_w$
2. $1,00 \times f_w$

Boční průhyb rámu



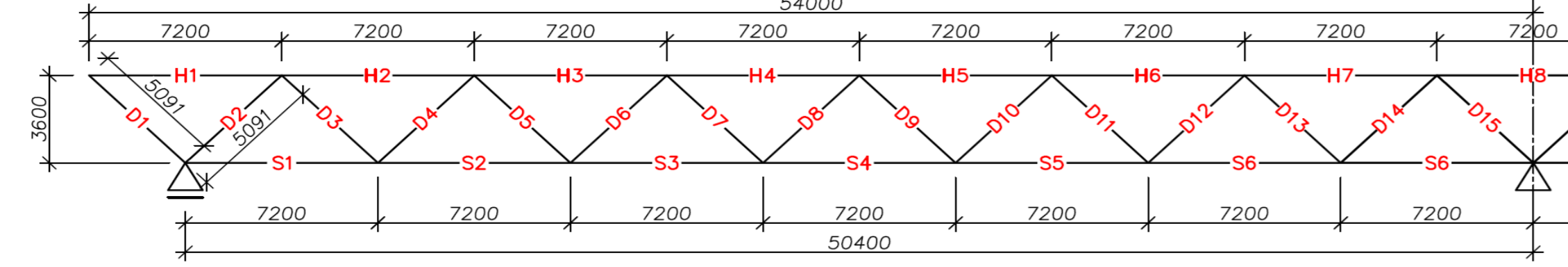
Kombinace 1



Kombinace 2

Posouzení prutů hlavního příhradového nosníku na kombinaci tahu/tlaku a šikmého ohybu

České S355
 $f_{td} = 355 \text{ MPa}$
 $\epsilon = 0.81$



Omačeni prutů	Návrhové vnitřní síly												Geometrie				Navržený profil						Prostá únosnost			Vzpěr tlačných prutů						Kombinační součinitele				Návrhové vnitřní síly				Využití		Posouzení		Omačeni prutů																									
	Zatížení v rovině nosniku - svíslé						Zatížení kolmé k rovině nosniku - vodorovné						Délka	v rovině		z roviny		Název profilu	třída	Plocha		Průřezový modul	Moment setrvačnosti		poloměr setrvačnosti		Tahová			Ohybová			Smyková			Vzpěr ve svíslé rovině - rovině nosniku			Vzpěr ve vodorovné rovině - z roviny nosniku			k_{yy}			k_{zz}		k_{yy}	k_{zz}	k_{yy}	k_{zz}	Tah		Tlak		Ohyb		Smyk		N + M		v								
	N' (tah)	N' (tlak)	M_{y1}	M_y	M_{yP}	Tvar mom.	V_z	N' (tah)	N' (tlak)	M_{z1}	M_z	M_{zP}	Tvar mom.	V_y	L_{yP}	β_y	L_{z1}			β_z	L_{z2}	A	A_{z1}	A_{y1}	$W_{pl,y}$	$W_{pl,z}$	I_y	I_z	i_y	i_z	N_{Rd}	$M_{Rd,y}$	$M_{Rd,z}$	$V_{Rd,z}$	$V_{Rd,y}$	λ_y	λ_z	ϕ_y	χ_y	λ_z	λ_z	ϕ_z	χ_z		$\min(\chi_y, \chi_z)$	ψ					a_1	C_{my}	k_{yy}	ψ	a_1	C_{mz}	k_{zz}	k_{yy}	k_{zz}	N_{Ed}		N_{Ed}	$M_{Ed,y}$	$M_{Ed,z}$	N_{Ed}	N_{Ed}	N_{Ed}	N_{Ed}	$M_{Ed,y}$
H1	18	0	19	-33	2	21		4,3	0	1	-2,7	2	1,4	7200	1	7200	1	7200	TR 260x180/8	2	6720	3971	2749	592000	459000	63900000	36100000	97,5	73,3	2386	210	163	814	563	73,8	0,97	1,05	0,689	98,2	1,29	1,44	0,478	0,478	1,000	-0,576	0,561	0,565	1,000	-0,370	0,400	0,405	0,243	0,339	18	4,3	33	2,7	0,008	0,003	0,004	0,157	0,017	0,026	0,002	0,100	0,068	0,028	malý smyk	H1

Poznámky:

- ... Na pruty horního pásu působí svíslé zatížení a vodorovné zatížení
- ... Diagonály příhradového nosníku jsou zatíženy pouze osovým tlakem / tahem, který vyvolává pouze svíslé zatížení.
- ... Diagonály D2 a D15 jsou součástí střešních rámu pro přenos vodorovného zatížení do podpor
- ... Na pruty dolního pásu působí obdobně jako na pruty horního pásu svíslé zatížení a vodorovné zatížení.
- ... Na příčnicku v horním pásu působí pouze osová síla vyvolaná vodorovným zatížením. Pruty jsou navrženy čtvercového průřezu.
- ... Na příčnicku v dolním pásu působí osová síla vyvolaná vodorovným zatížením a současně ohybový moment od zatížení mostovkou (viz. statický výpočet).
- ... Pro diagonály se uvažuje vzpěrná délka jako 0,75 l díky svařovaným stykům.
- ... Nepředpokládá se držení horního pásu proti vybočení z roviny střešní konstrukci - ta je vyměněná.
- ... Dolní pás je proti vybočení z roviny držen příčnicku po 2,4m
- ... Všechny profily jsou buď 1. nebo 2. třídy. Použije se plastický průřezový modul.
- ... "y" - tuší osa průřezu
- ... "z" - měkčí osa průřezu
- ... křivka vzpěrné pevnosti "a" (duté průřezy válcované za tepla)
- ... $\alpha = 0,2$
- ... $\lambda_1 = 76,4$
- ... Interakční součinitele spočteny metodou 2
- ... $-1 \leq a_1 \leq 0$
- ... $C_{m,y,z} = 0,1 - 0,8 \cdot a_1 \geq 0,4$
- ... $k_{yy} = C_{m,y} \cdot (1 + (\lambda - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{Z_y \cdot N_{Rd}})$
- ... $\leq C_{m,y} \cdot (1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{Z_y \cdot N_{Rd}})$
- ... Tah / tlak je součtem osových sil (viz. první část tabulky)
- ... Pro dosazení do vzorce pro posouzení se použije vyšší využití (tah / tlak)


Vpracoval: Ondřej Krouský
 Skupina: K5-4.3
 Kontroloval: Ing. Prof. Jiří Studnička, DrSc.
 Předmět: 1340PM
 ČVUT v Praze
 FSV
 K 134 - Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí
 Formát: A1
 Měřítko: -
 Datum: 11.5.2011
 Obsah: Návrh a posouzení prutů
 Číslo přílohy: 4

Návrh diagonál horního a dolního ztužení - táhla

Označení prutů	Návrhová síla	Navržený profil		Posouzení	Označení prutů		
		Název profilu	Tahová únosnost				
			N_{Rd}			N_{Ed}^+ / N_{Rd}	
N^+ (tah)		[kN]	[-]				
Kombinace 2) $1,00 \times (fg + fgo) + 1,35 \times fw$	Horní ztužení	HD1	15,8	DETAN S460, ds=16mm	70,5	0,224	HD1
		HD2	76	DETAN S460, ds=20mm	110,2	0,690	HD2
		HD3	43,9	DETAN S460, ds=16mm	70,5	0,623	HD3
		HD4	6	DETAN S460, ds=16mm	70,5	0,085	HD4
		HD5	30,4	DETAN S460, ds=16mm	70,5	0,431	HD5
		HD6	67,9	DETAN S460, ds=16mm	70,5	0,963	HD6
		HD7	101,8	DETAN S460, ds=20mm	110,2	0,924	HD7
		HD8		DETAN S460, ds=16mm	70,5	0,000	HD8
	Dolní ztužení	SD1	56,6	DETAN S460, ds=16mm	70,5	0,803	SD1
		SD2	40,4	DETAN S460, ds=16mm	70,5	0,573	SD2
		SD3	25,8	DETAN S460, ds=16mm	70,5	0,366	SD3
SD4		10,7	DETAN S460, ds=16mm	70,5	0,152	SD4	
SD5		4,3	DETAN S460, ds=16mm	70,5	0,061	SD5	
SD6		19,3	DETAN S460, ds=16mm	70,5	0,274	SD6	
SD7		34,2	DETAN S460, ds=16mm	70,5	0,485	SD7	
SD8		49,3	DETAN S460, ds=16mm	70,5	0,699	SD8	
SD9		63,9	DETAN S460, ds=16mm	70,5	0,906	SD9	
SD10		80,8	DETAN S460, ds=20mm	110,2	0,733	SD10	
SD11		72,1	DETAN S460, ds=20mm	110,2	0,654	SD11	

Poznámky:

... Pro návrh táhel se použije kombinace 2), protože vede k maximálním návrhovým silám.

Vypracoval:	Ondřej Krouský	Skupina:	K5-43	ČVUT v Praze FSV	
Kontroloval:	Ing. Prof. Jiří Studnička, DrSc.	Předmět:	134DPM		
Projekt:	Krytá lávka pro chodce přes Brněnskou přehradu			K 134 – Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí	
Obsah:				Návrh a posouzení prutů	
				Měřítko:	-
				Datum:	11.5.2011
				Číslo přílohy:	6

Lávka pro pěší přes brněnskou přehradu

Zadání

Navrhnout alternativní řešení přemostění brněnské přehrady k již realizované stavbě lávky pro pěší přes brněnskou přehradu.

Základní parametry

Rozpětí: $L=100m$

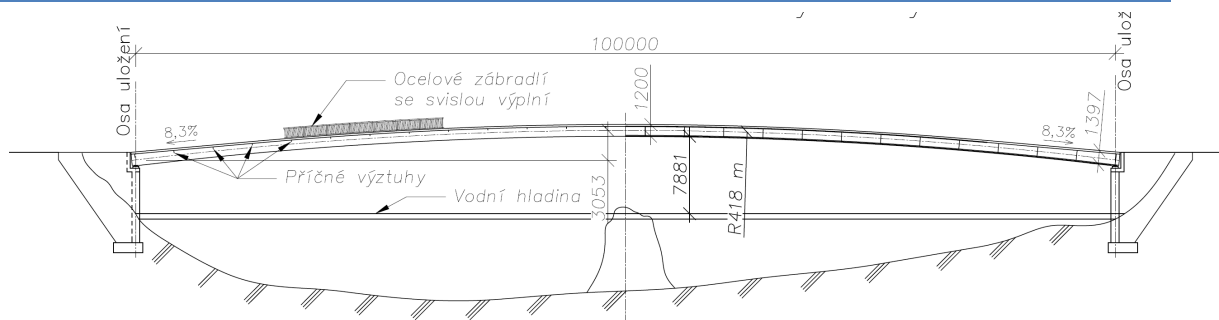
Průchozí šířka mezi zábradlím: $s=3,5m$

Návrh řešení

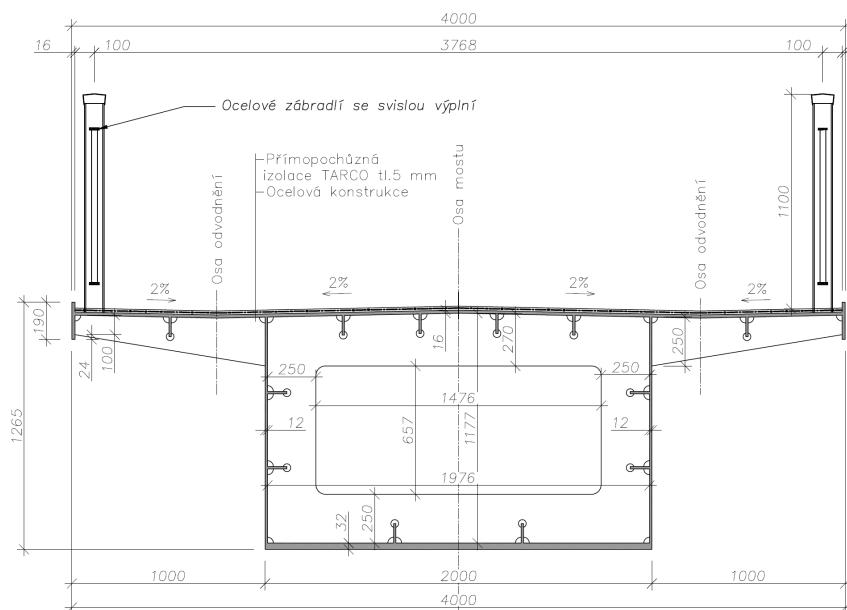
Snaha byla navrhnout konstrukci, která by svým objemem nenarušovala okolní prostředí. Zdánlivě nejjednodušším řešením se jeví komorový obloukový nosník. Nosník je proveden ve tvaru výškového oblouku o poloměru $R=418m$. Tím se dosáhne vzepětí ve vrcholu 3m. U opěr se provede náběh na horní straně nosníku tak, aby maximální podélný sklon nepřekročil limitní hodnotu 8,33%.

Nosník je kloubově neposuvně uložen na opěrách a vytváří dle statického hlediska velmi plochý dvoukloubový oblouk.

Dispozice

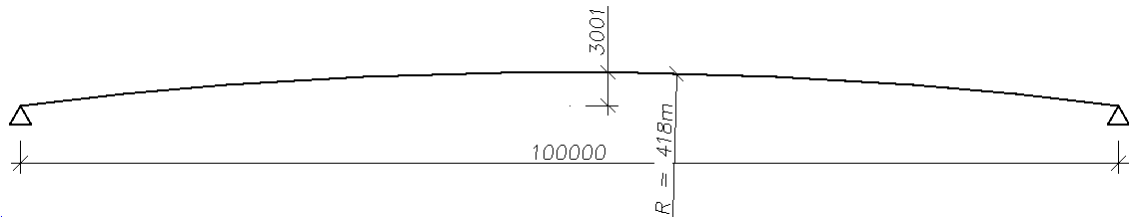


Pohled a podélný svislý řez



Příčný řez

Konstrukční schema



Oboustranně vetknutý obloukový nosník na rozpětí 100m.

Konstrukce bude modelována jako jeden prut s konstantním průřezem. Výpočetní model bude vymodelován v program SCIA Engineer 2008.

Zatížení

Zatížení na 1m délky mostu.

Stálé	
Vlastní tíha trámu	generováno výpočetním programem
Ostatní stálé (zábradlí, pochozí izolace)	$f_{go} = 5 \text{ kN/m}$
Proměnné	
Chodci na celé šíři (dav lidí) 5 kN/m^2	$f_q = 3,5 * 5 = 17,5 \text{ kN/m}$

Proměnné zatížení se uvažuje ve dvou zatěžovacích stavech

1. Na celou délku mostu
2. Nesymetricky na půlku mostu

Zatížení teplotou

Nosník neposuvně uložený na obou koncích bude citlivý na změny teploty. Zjednodušeně se bude uvažovat pouze rovnoměrná změna teploty.

Teplota vzduchu ve stínu

Hodnoty byly odečteny z mapy charakteristických hodnot teploty vzduchu ve stínu pro lokalitu Brněnské přehradu.

$$T_{min} = -34^\circ\text{C}$$

$$T_{max} = 38^\circ\text{C}$$

Rovnoměrná teplota mostu

Dle tabulky pro přepočet teploty vzduchu ve stínu na teplotu mostu. (pro typ 1)

$$T_{Nmin} = -25^\circ\text{C}$$

$$T_{Nmax} = 54^\circ\text{C}$$

Uvažovaná změna hodnoty

Výchozí teplota $T_o = 10^\circ\text{C}$ (doporučená hodnota)

Pro zkrácení: $\Delta T_{Ncon} = T_o - T_{Nmin} = 10 - (-25) = 35^\circ\text{C}$

Pro prodloužení: $\Delta T_{Nexp} = T_{Nmax} - T_o = 54 - 10 = 44^\circ\text{C}$

Kombinace zatížení

Pro MSU byly uvažovány tyto kombinace zatěžovacích stavů

1. 1,35* stálé + 1,35 * chodci na celém + 1,35 * 0,6 * rovn. ochlazení
2. 1,35* stálé + 1,35 * chodci na celém + 1,35 * 0,6 * rovn. oteplení
3. 1,35* stálé + 1,35 * chodci na 1/2 + 1,35 * 0,6 * rovn. ochlazení
4. 1,35* stálé + 1,35 * chodci na 1/2 + 1,35 * 0,6 * rovn. oteplení
5. 1,35* stálé + 1,35 * 0,4 * chodci na celém + 1,35 * rovn. ochlazení
6. 1,35* stálé + 1,35 * 0,4 * chodci na celém + 1,35 * rovn. oteplení
7. 1,35* stálé + 1,35 * 0,4 * chodci na 1/2 + 1,35 * rovn. ochlazení
8. 1,35* stálé + 1,35 * 0,4 * chodci na 1/2 + 1,35 * rovn. oteplení

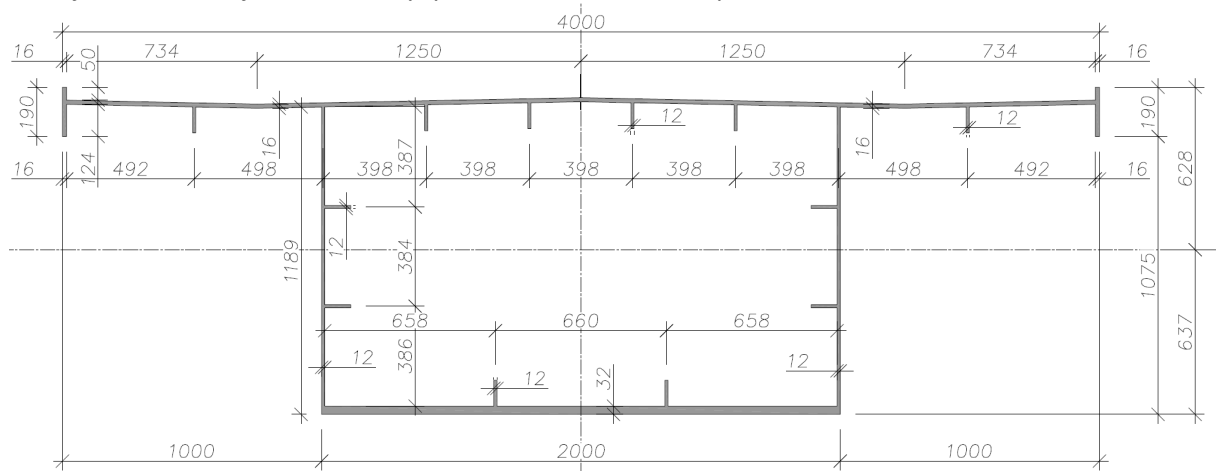
Pozn.: 0,4 a 0,6 jsou kombinační součinitele. Součinitel zatížení je pro stálé, I proměnné zatížení roven 1,35.

Pro MSP byly uvažovány tyto kombinace zatěžovacích stavů

1. stálé
2. chodci na celém + 0,6 * rovn. ochlazení
3. 0,4 * chodci na celém + rovn. ochlazení
4. rovn. oteplení

Návrh trámu

Trám je modelován jako komorový, po délce s konstantním průřezem.



Průřez trámu

Průřezové charakteristiky

- Průřezová plocha $A = 0,17895 \text{ m}^2$
- Moment setrvačnosti $I_y = 0,053225 \text{ m}^4$
- Moment setrvačnosti $I_z = 0,16857 \text{ m}^4$
- Průřezový modul $W_{ely} = 0,083587 \text{ m}^3$
- Poloměr setrvačnosti $i_y = 0,545 \text{ m}$
- Hmotnost $m = 1405 \text{ kg/m}$

Výpočet vnitřních sil

Vnitřní síly byly vypočteny pomocí programu SCIA Engineer 2008 pro zmíněné kombinace zatěžovacích stavů na uvedeném modelu. Výpočet proběhl prvním řádem.

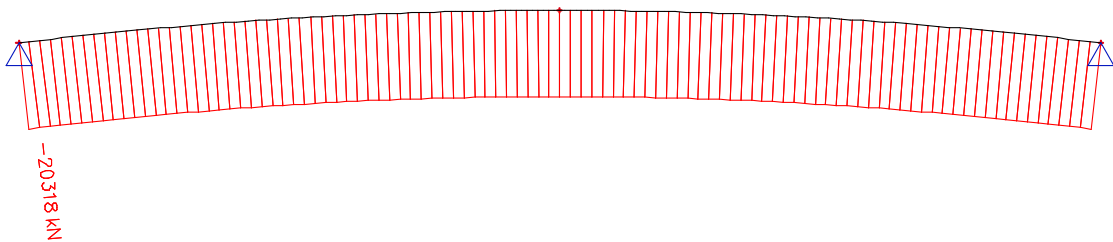


Prutový 2D model ve výpočetním programu

Výsledky vnitřních sil

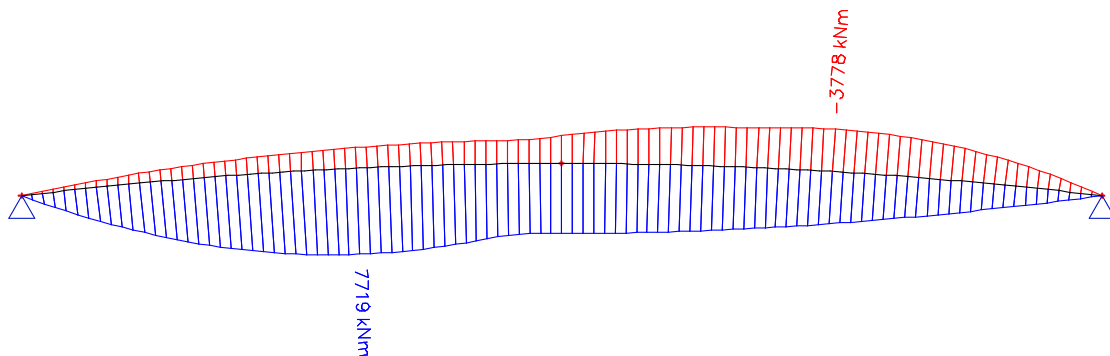
Pro vyhodnocení globální analýzy byly zobrazeny obálky vnitřních sil.

Obálka normálové síly



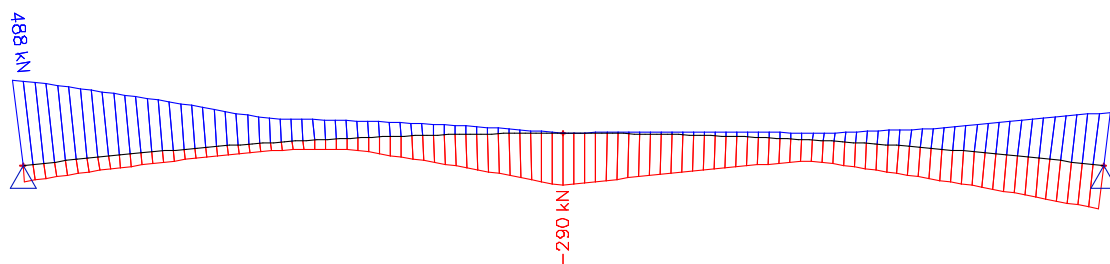
Maximální tlaková síla $N_{Ed} = 20318\text{kN}$

Obálka momentu



Maximální moment $M_{Ed} = 7719\text{kNm}$

Obálka posouvající síly

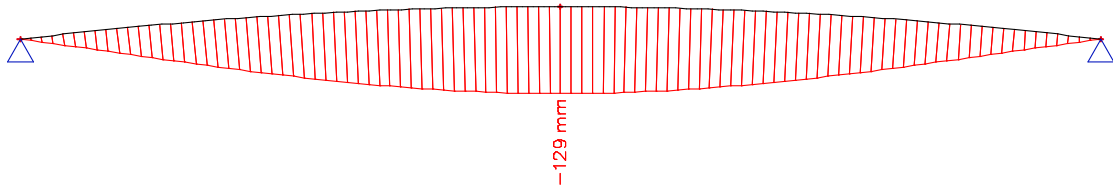


Maximální posouvající síla $V_{Ed} = 488\text{kN}$

Zjednodušeně lze říci, že maximální normálová síla a moment působí v jednom průřezu. Maximální hodnoty však nemusí vznikat ve stejné kombinaci. Posoudí-li se kombinace maximálních hodnot, pak jistě vyhoví i ostatní kombinace.

Průhyby konstrukce (MSP)

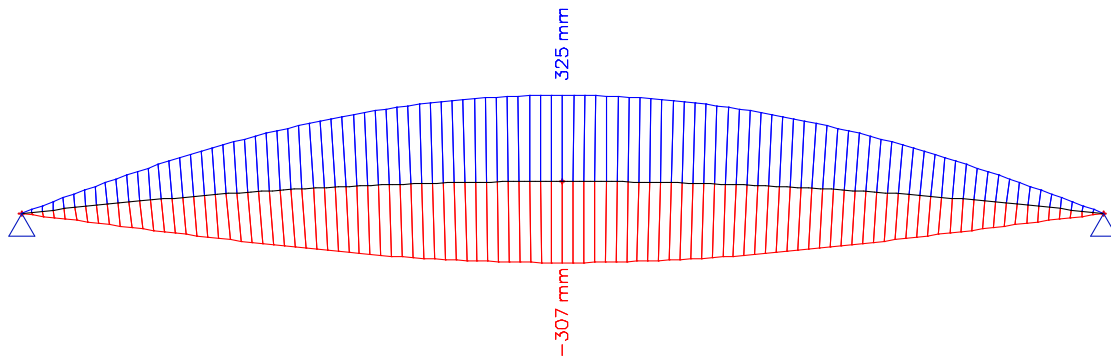
Pouze od stálého



Maximální průhyb od stálého zatížení 129mm

Průhyb je tak malý, že nemá význam eliminovat ho nadvýšením.

Obálka průhybů od proměnného

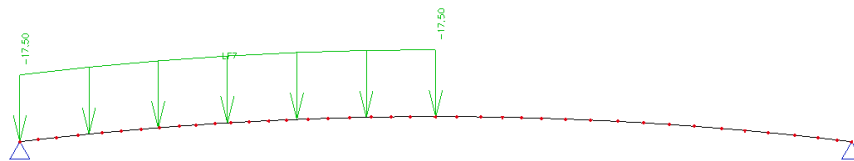


Maximální průhyb od rovnoměrného oteplení 325mm
Průhyb od chodců + rovnoměrného ochlazení 307mm

Oba průhyby jsou menší než $L/300$. Toto kritérium je však pouze orientační, neboť norma žádné limitní hodnoty neuvádí.

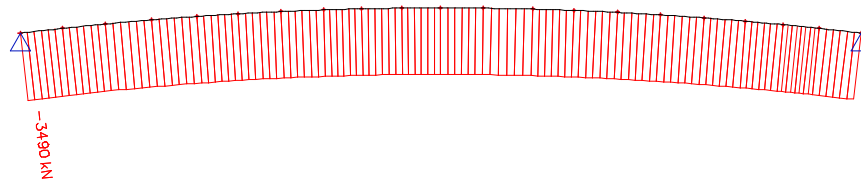
Určení vzpěrné délky

Pro určení vzpěrné délky byl zvolen stabilitní zatěžovací stav – chodci na půlce mostu.

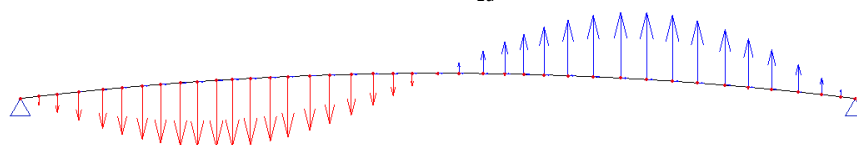


Chodci na půlce mostu

Pro tento zatěžovací stav byly pomocí úlohy lineární stability určeny hodnoty koeficientu α_{cr} a odpovídající normálové síly v trámu.



Normálová síla $N_{Ed}=3490\text{kN}$



$$\alpha_{cr} = 12,69$$

Následně byla vypočtena vzpěrná délka

$$N_{cr} = N * \alpha_{cr} = 3490 * 12,69 = 44288kN$$

$$L_{cr} = \pi * (EI/N_{cr})^{1/2} = 3,14 * (210 * 10^9 * 0,0532 / 44288000)^{1/2} = 49,9m$$

Zatřídění průřezu

Rozdělení napětí po průřezu:

$$\text{Napětí od normálové síly: } \sigma_N = -20318000 / 178950 = -114 \text{ MPa}$$

$$\text{Napětí od ohybu: } \sigma_{M-} = (-7719 * 628 / 0,053225) * 10^{-6} = -91 \text{ MPa}$$

$$\text{Napětí od ohybu: } \sigma_{M+} = (7719 * 637 / 0,053225) * 10^{-6} = +92 \text{ MPa}$$

$$\text{Napětí v horních vláknech: } \sigma_h = -114 - 91 = -205 \text{ MPa}$$

$$\text{Napětí v horních vláknech: } \sigma_d = -114 + 92 = -22 \text{ MPa}$$

č.	část	typ namáhání	b [mm]	t [mm]	σ_1 [MPa]	σ_2 [MPa]	$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	b/t		Podmínka 3. třídy	Třída průřezu
a	přečn.	N + M	100	12	-205	-189	0,93	8,33	<	$21 * \varepsilon * \sqrt{\frac{0,578}{\psi + 0,34}}$ = 11,5	≤ 3
b	přečn.	N	100	12	-143	-143	1,00	8,33	<	$14 * \varepsilon = 11,3$	≤ 3
c	přečn.	N	100	12	-82	-82	1,00	8,33	<	$14 * \varepsilon = 11,3$	≤ 3
d	přečn.	N + M	100	12	-36	-22	0,58	8,33	<	$21 * \varepsilon * \sqrt{\frac{0,578}{\psi + 0,34}}$ = 11,5	≤ 3
1	vnitřní	N	492	16	-205	-205	1,00	30,7	<	$42 * \varepsilon = 34,0$	≤ 3
2	vnitřní	N	498	16	-205	-205	1,00	31,1	<	$42 * \varepsilon = 34,0$	≤ 3
3	vnitřní	N	398	16	-205	-205	1,00	24,9	<	$42 * \varepsilon = 34,0$	≤ 3
4	vnitřní	N	398	16	-205	-205	1,00	24,9	<	$42 * \varepsilon = 34,0$	≤ 3
5	vnitřní	N	398	16	-205	-205	1,00	24,9	<	$42 * \varepsilon = 34,0$	≤ 3
6	vnitřní	N + M	387	12	-205	-143	0,70	32,3	<	$\frac{42 * \varepsilon}{0,67 + 0,33 * \psi} = 37,7$	≤ 3
7	vnitřní	N + M	384	12	-143	-82	0,57	32,0	<	$\frac{42 * \varepsilon}{0,67 + 0,33 * \psi} = 37,7$	≤ 3
8	vnitřní	N + M	386	12	-82	-22	0,26	32,2	<	$\frac{42 * \varepsilon}{0,67 + 0,33 * \psi} = 37,7$	≤ 3
9	vnitřní	N	660	32	-22	-22	1,00	20,6	<	$42 * \varepsilon = 34,0$	≤ 3
10	vnitřní	N	660	32	-22	-22	1,00	20,6	<	$42 * \varepsilon = 34,0$	≤ 3

a,b,c,d ... podélné výztuhy (horní, ve stěně, dolní)

1 – 5 ... subpanely horní pásnice (mezi výztuhami, od kraje)

6 – 7 ... subpanely stojiny (od shora dolů)

9,10 ... subpanely dolní pásnice (mezi výztuhami, od kraje)

Všechny části průřezu jsou navrženy alespoň 3. třídy. Průřez lze tedy posoudit pružně s plnou průřezovou plochou.

Smykové ochabnutí

Smykové ochabnutí v pásnicích lze zanedbat, pokud $b_0 < L_e/50$.

$$b_0 = 1\text{m} \quad (\text{přečnávající části pásnic})$$

$$L_e = 100\text{m} \quad (\text{vzdálenost bodů s nulovými momenty})$$

$$b_0 = 1\text{m} < L_e/50 = 100/50 = 2\text{m} \quad \rightarrow \quad \text{smykové ochabnutí lze zanedbat}$$

Tlaková únosnost s vlivem vzpěru

Uvažuje se pouze vybočení v rovině mostu. Vybočení z roviny nenastane, neboť nosník má v tomto směru větší tuhost a současně by vzpěrná rozhodně nebyla delší.

$$L_{cr} = 49,9\text{m}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i_y} = \frac{49,9}{0,545} = 91,55$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 0,81 = 76,1$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{91,55}{76,1} = 1,20$$

$$\rightarrow \text{dle křivky „C“} \quad \chi = 0,434$$

$$\text{Únosnost: } N_{pl,Rd} = \chi * A * f_{yd} = 0,434 * 0,17895 * 355 = 27,57\text{MN} > N_{Ed} = 20,32\text{MN}$$

VYHOVUJE

$$\text{Maximální využití na tlak } \eta_N = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{20,32}{27,57} = 0,737$$

Ohybová únosnost

Klopení se neuvažuje, neboť zatížení působí ve směru menší tuhosti nosníku.

$$\text{Únosnost: } M_{pl,Rd} = W_{ely} * f_{yd} = 0,083587 * 355 = 29,67\text{MNm} > M_{Ed} = 7,7\text{MNm}$$

VYHOVUJE

$$\text{Maximální využití na ohyb } \eta_M = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{7,7}{29,67} = 0,259$$

Interakce ohybu a tlaku

Pro posouzení je třeba sledovat sobě odpovídající kombinace tlaku a ohybu a ty posuzovat.

Součinitel k_{yy} je zjednodušeně na straně bezpečné uvažován 1,10.

č.	N_{Ed} [MN]	M_{Ed} [MNm]	η_N	η_M	k_{yy}	η
1	18,6	5,8	0,674	0,195	1,1	0,889
2	20,3	0,8	0,737	0,026	1,1	0,766
3	14,0	7,7	0,508	0,259	1,1	0,793
4	15,7	3,8	0,569	0,128	1,1	0,710
5	12,5	6,3	0,453	0,212	1,1	0,686
6	15,3	2,1	0,555	0,071	1,1	0,633
7	10,7	6,7	0,388	0,226	1,1	0,637
8	13,5	3,5	0,490	0,118	1,1	0,620

Pro všechny kombinace je podmínka $\eta < 1,00$ splněna. Průřez vyhoví.

VYHOVUJE

Posouzení ve smyku

Plocha stojin: $A_{vz} = 1189 \cdot 12 \cdot 2 = 28536 \text{mm}^2$

Únosnost ve smyku: $V_{Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{28536 \cdot 355}{\sqrt{3}} = 5848719 \text{N} = 5,849 \text{MN} > V_{Ed} = 0,48 \text{MN}$

VYHOVUJE

Únosnost více než dvakrát převyšuje návrhovou smykovou sílu, jedná se tedy o malý smyk a není třeba řešit interakci normálového a smykového napětí.

Závěr

Konstrukce je navržena spolehlivě.

V dalších krocích by bylo potřeba provést dynamický výpočet, analyzovat vlastní frekvence a vlastní tvary kmitání, v případě nepříznivého výsledku navrhnout tlumiče kmitání.

Dále zohlednit ostatní klimatická zatížení.

Lávka pro pěší přes Brněnskou přehradu

ZADÁNÍ

Úkolem je navrhnout alternativní řešení přemostění brněnské přehrady k již realizované stavbě lávky pro pěší jejímž autorem je Ing. Antonín Pechal, CSc.

ZÁKLADNÍ PARAMETRY REALIZOVANÉ KONSTRUKCE

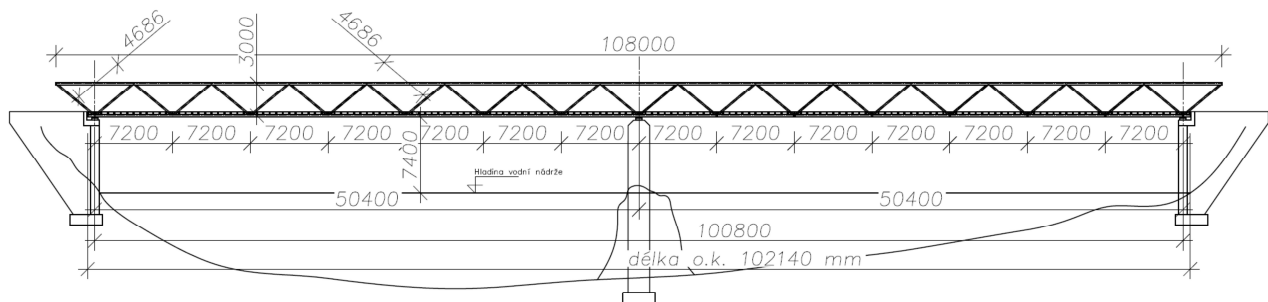
Teoretické rozpětí: 100,200 m
 Délka přemostění: 99,295 m
 Šířka mostu: 4,056 m
 Průchozí šířka mezi zábradlím: 3,5 m
 Celková hmotnost O.k.: 160 tun

NÁVRH ŘEŠENÍ

Snaha byla navrhnout lehkou, štíhlou konstrukci, která by svým vzezřením nenarušovala okolní prostředí. Jako vhodná druhá varianta se jeví příhradový most s otevřenou dřevěnou dolní mostovkou a zastřešením uloženém na horním pásu.

Most je navržen jako spojitý symetrický příhradový nosník o dvou polích. Využívá se středového pilíře v místě původní podpěry.

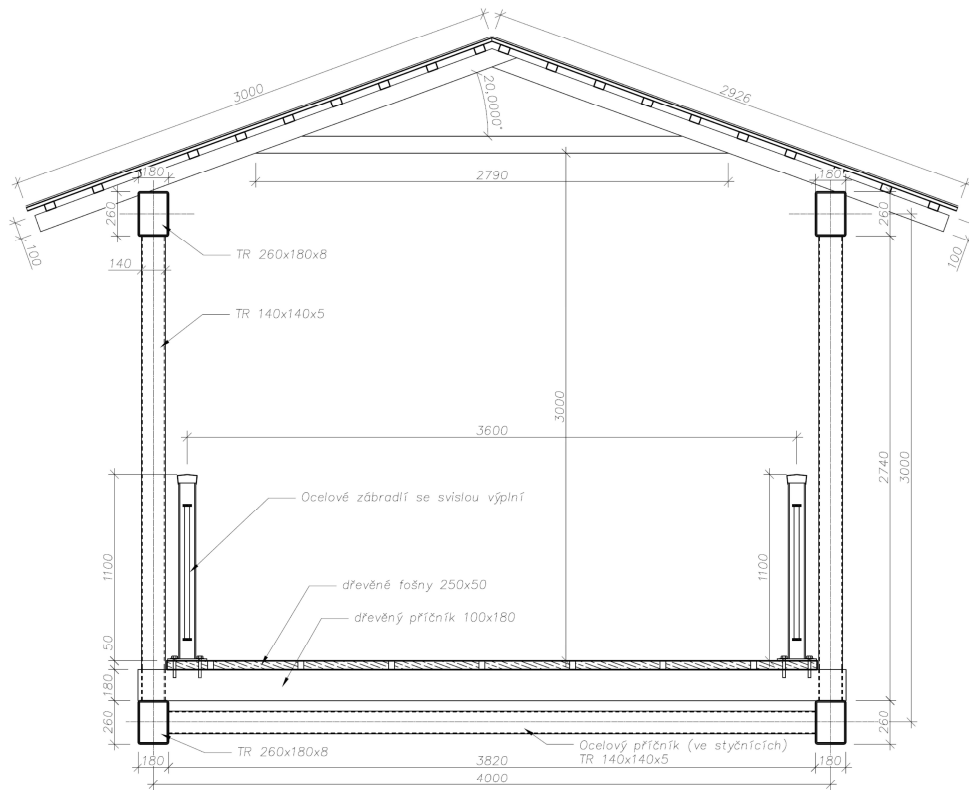
DISPOZICE



Pohled na konstrukci

Příhradový nosník se skládá ze sedmi příhrad, z nichž každá je 7,2m dlouhá. Most je symetrický a obě pole mají teoretické rozpětí 50,4m. Na středovém pilíři jsou navržena pevná ložiska, na obou opěrách pak budou posuvná ložiska.

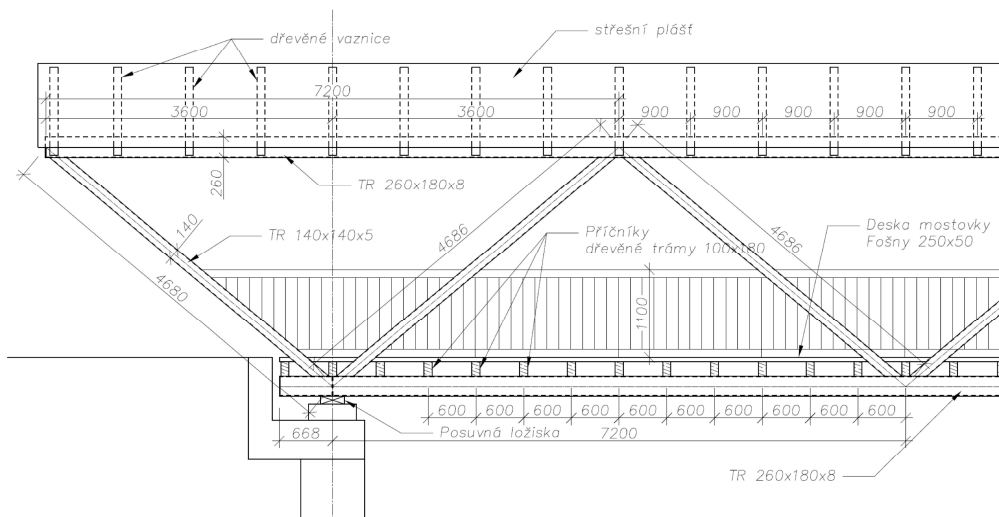
Mostovka je navržena otevřená. Tvoří ji dřevěné fošny uložené na příčných trámech. Tyto příčné trámy jsou shora upevněny k dolnímu pásu příhradového nosníku.



Příčný řez

Na horních pásech je položena dřevěná střecha, která částečně kryje dřevěnou mostovku proti povětrnostním vlivům. Současně střecha tvoří ztužení a spojuje oba příhradové nosníky v jeden komorový.

Na krajích mostu je osazeno ocelové zábradlí 1100mm vysoké se svislou výplní.



Detail první příhrady

ZATÍŽENÍ KONSTRUKCE

Zjednodušeně bude uvažováno pouze zatížení vlastní tíhou a proměnné zatížení od chodců.

Veškerá zatížení budou stanovena pouze na půlce mostu. (Výpočet bude později proveden právě na modelu zahrnujícím pouze půlku mostu).

Zatížení příhradového nosníku příčníky, mostovkou a střechou má charakter osamělých sil. Zjednodušeně je toto zatížení přepočítáno na rovnoměrné liniové zatížení.

Veškerá zatížení jsou zatím v charakteristických hodnotách.

Vzdálenost ocelových příčníků: $\Delta_{op} = 7.2 \text{ m}$ (vzdálenost ocelových styčnicků na pásu)

Vzdálenost dřevěných příčníků: $\Delta_{dp} = 0.6 \text{ m}$

Vzdálenost střešních ráků: $\Delta_{sp} = 0.9 \text{ m}$

Tíha dřeva: $g_{dr} = 8 \text{ kN/m}^3$

Průchozí šířka: $s = 3.5 \text{ m}$

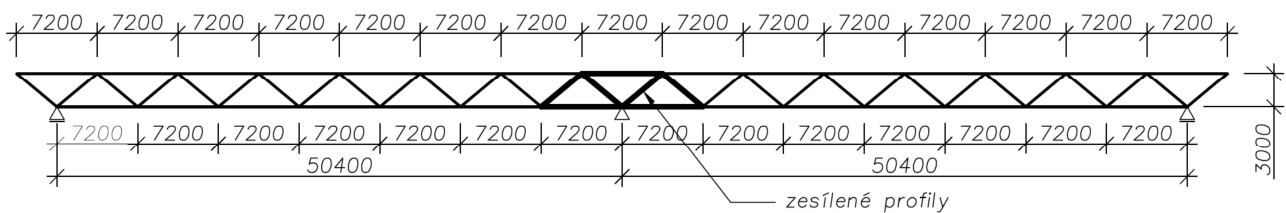
Stálé zatížení		
Vlastní tíha ocelové konstrukce	bude generováno výpočetním programem	
Ostatní stálé zatížení		
Ocelové příčnický (jen ve styčnicku na dolním pásu)	$\left(\frac{20.96 \cdot 9.81}{1000}\right) \cdot \left(\frac{2}{\Delta_{op}}\right) = \left(\frac{20.96 \cdot 9.81}{1000}\right) \cdot \left(\frac{2}{7.2}\right)$	0.06 kN/m
Dřevěné příčné trámy (po 600mm)	$\frac{(0.1 \cdot 0.18 \cdot 2.2 \cdot g_{dr})}{\Delta_{dp}} = \frac{(0.1 \cdot 0.18 \cdot 2.2 \cdot 8)}{0.6}$	0.53 kN/m
Dřevěná deska mostovky	$0.05 \cdot 2 \cdot g_{dr} = 0.05 \cdot 2 \cdot 8$	0.80 kN/m
Ocelové zábradlí		0.50 kN/m
Zatížení dolního pásu CELKEM:		1.9 kN/m
Střešní rám	$\frac{0.1 \cdot 0.1 \cdot 4.5 \cdot g_{dr}}{\Delta_{sp}} = \frac{0.1 \cdot 0.1 \cdot 4.5 \cdot 8}{0.9}$	0.40 kN/m
Střecha (odhad)		1.00 kN/m
Zatížení horního pásu CELKEM:		1.4 kN/m
Ostatní stálé CELKEM:		$f_{g,o} = 3.3 \text{ kN/m}$
Proměnné zatížení		
Chodci na celé šíři $f_{ch} = 5 \text{ kN/m}^2$	$\frac{s \cdot f_{ch}}{2} = \frac{3.5 \cdot 5}{2}$	8.8 kN/m
Proměnné CELKEM:		$f_q = 8.8 \text{ kN/m}$

Pozn.: Klimatická nebyla zjednodušeně uvažována.

VÝPOČETNÍ MODEL

Pro modelování a výpočet byl použit výpočetní program SCIA Engineer 2008.

Pro výpočet byl ve výpočetním programu zkonstruován rovinný model příhradového vazníku.



Model konstrukce pro výpočet

V oblasti střední podpory byly do modelu vloženy zesílené pruty.

Pásky jsou modelovány jako průběžné pruty, diagonály jako pruty kloubově připojené.

Materiál

Byla zvolena ocel S355.

$$f_{yd} = 355$$

Profily prutů

Pásy

Veličina	Základní	Zesílený
Označení	TR 260×180×8	TR 260×180×16
Schema		
Průřezová plocha A [mm ²]	6784	13056
Moment setrvačnosti I _y [mm ²]	65107000	117460000
Moment setrvačnosti I _z [mm ²]	36671000	64766000

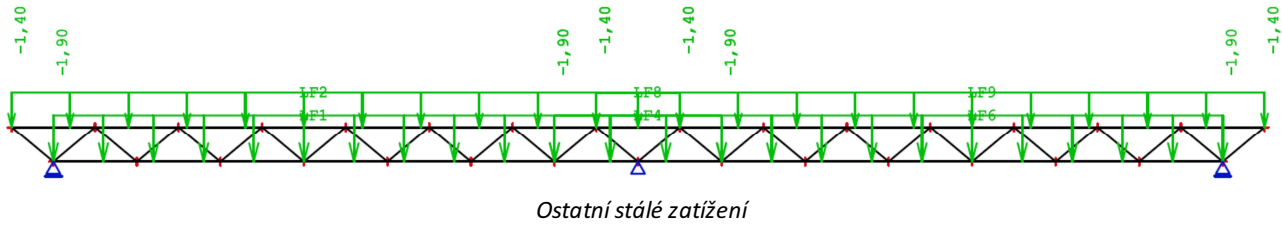
Diagonály

Veličina	Základní	Zesílený
Označení	TR 140×140×5	TR 140×140×8
Schema		
Průřezová plocha A [mm ²]	2700	4224
Moment setrvačnosti I _y , I _z [mm ²]	8212500	12312000

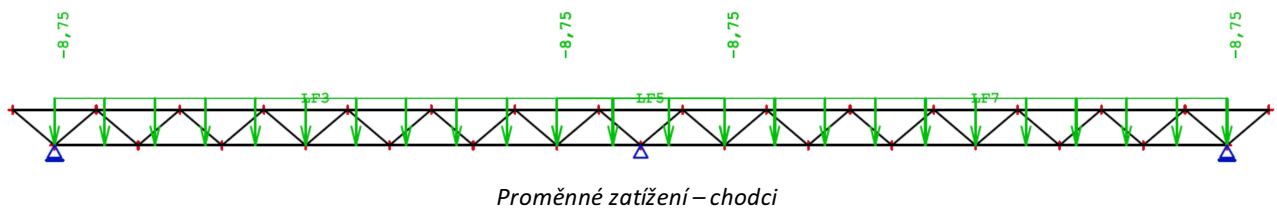
Zatěžovací stavy

Uvažují se tyto tři zatěžovací stavy:

- Vlastní tíha (*generuje výpočetní program*)
- Ostatní stálé zatížení



- Proměnné zatížení chodci



Kombinace zatěžovacích stavů

Zjednodušeně jsou uvažovány tyto kombinace zatěžovacích stavů:

Kombinace pro MSÚ	
1) MSÚ	$\gamma_G \cdot (f_g + f_{g,o}) + \gamma_Q \cdot f_q$
Kombinace pro MSP	
2) MSP	$f_g + f_{g,o} + f_q$
3) MSP – jen stálé	$f_g + f_{g,o}$
4) MSP – jen proměnné	f_q

Součinitele zatížení

Stálé: $\gamma_G = 1.35$

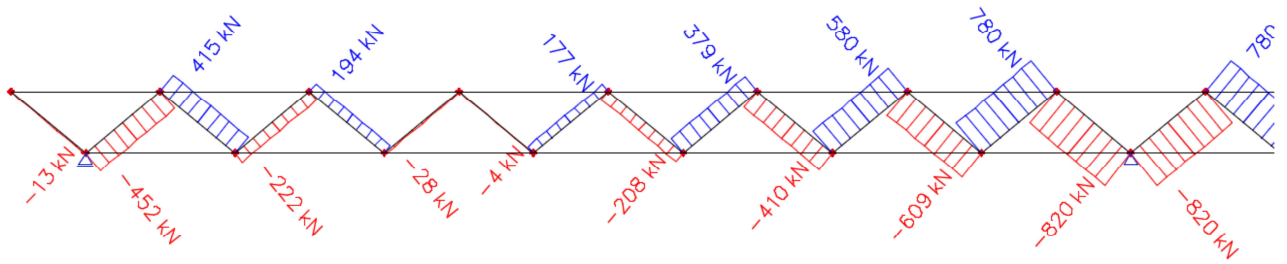
Proměnné: $\gamma_Q = 1.35$

VÝSLEDKY GLOBÁLNÍ ANALÝZY

Konstrukce i zatížení je symetrické vzhledem ke středové podpoře, výsledky jsou tedy také symetrické a obrázky budou zobrazovat pouze polovinu konstrukce.

Diagonály:

Diagonály jsou zatíženy pouze osovou normálovou silou. Vznikající momenty a posouvající síly od vlastní tíhy jsou zanedbatelné a jsou také zanedbány.



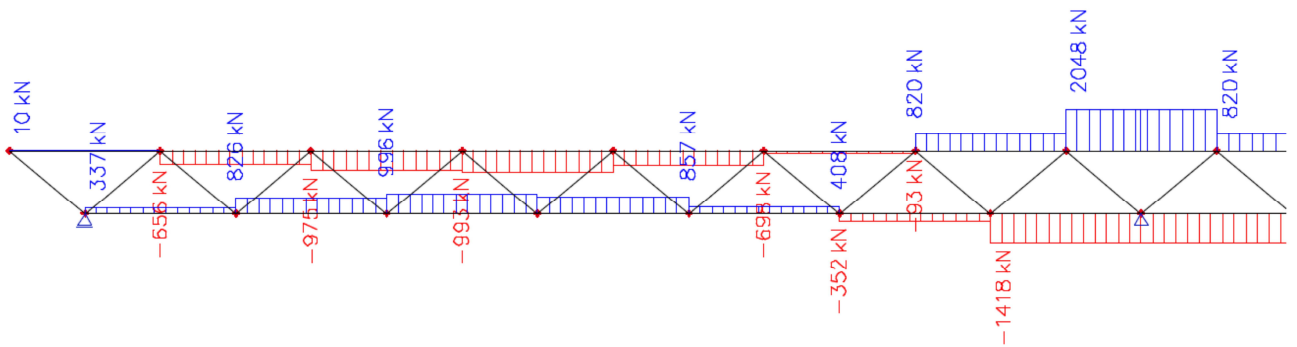
Normálové síly v diagonálách

Průřez	Tah [kN]	Tlak [kN]
Obyčejný – TR 140×140×5	580	609
Zesílený – TR 140×140×8	780	820

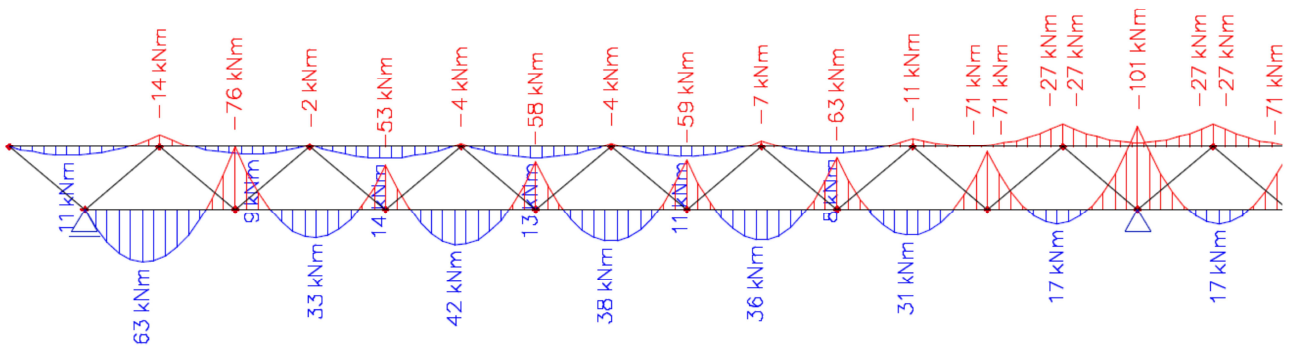
Pro oba případy budou pruty posouzeny pouze v tlaku. Pokud vyhoví, pak v tahu vyhoví s jistotou.

Pásy:

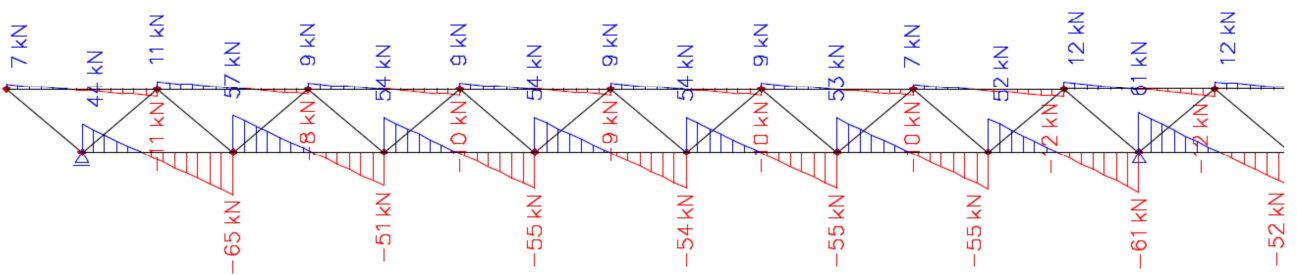
Vzhledem zatížení obou pásů rovnoměrným zatížením, vznikají v pásích momenty, normálové síly i posouvající síly.



Normálové síly v pásích



Momenty v pásích



Posouvající síly v pásích

Průřez	Tah [kN]	Tlak [kN]	Moment [kNm]	Posouvající síla [kN]
Obyčejný – TR 260×180×8 (3. pole, dolní pás)	996		-58	55
Obyčejný – TR 260×180×8 (4. pole, horní pás)		993	13	9
Obyčejný – TR 260×180×8 (7. pole, horní pás)	820		-27	12
Zesílený – TR 260×180×16 (u stř. podpory, horní pás)	2048		-27	12
Zesílený – TR 260×180×16 (u stř. podpory, dolní pás)		1418	-101	61

POSOUZENÍ

Únosnost diagonály ve vzpěrném tlaku

Diagonála je dvojose symetrický průřez, bude se uvažovat delší vzpěrná délka.

$$\text{Délka diagonály: } L_{\text{sys}} = 4.686 \text{ m}$$

Vzhledem k tomu, že styčníky budou svařované, budou spíše tužší, tak budu uvažovat $\frac{L_{\text{cr}}}{L_{\text{sys}}} = \frac{3}{4}$

$$\text{Pro vybočení z roviny } L_{\text{cr}} = 0.75 \cdot L_{\text{sys}} = 0.75 \cdot 4.7 = 3.51 \text{ m}$$

$$\text{Pro vybočení v rovině } L_{\text{cr}} = 0.75 \cdot L_{\text{sys}} = 0.75 \cdot 4.7 = 3.51 \text{ m}$$

Veličina	Běžný průřez	Zesílený průřez
Průřezová plocha	$A = 2670 \text{ mm}^2$	$A_{\text{zes}} = 4160 \text{ mm}^2$
Moment setrvačnosti	$I = 8070000 \text{ mm}^4$	$I_{\text{zes}} = 12000000 \text{ mm}^4$
Poloměr setrvačnosti $i = \sqrt{\frac{I}{A}}$	$i = 55.0 \text{ mm}$	$i_{\text{zes}} = 53.7 \text{ mm}$
Štíhlost $\lambda = \frac{L_{\text{cr}}}{i}$	$\lambda = 63.9$	$\lambda_{\text{zes}} = 65.4$
$\lambda_1 = 93.9 \cdot \epsilon$	$\lambda_1 = 76.06$	$\lambda_1 = 76.06$
Poměrná štíhlost $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$	$\bar{\lambda} = 0.84$	$\bar{\lambda}_{\text{zes}} = 0.86$
	Dle křivky „b“ (válcované za studena)	
Součinitel vzpěrnosti	$\chi = 0.699$	$\chi = 0.687$
Únosnost ve vzpěru $N_{\text{pl,Rd}} = \chi \cdot A \cdot f_{\text{yd}}$	$N_{\text{pl,Rd}} = 663 \text{ kN}$	$N_{\text{pl,Rd,zes}} = 1015 \text{ kN}$
Namáhání v tlaku	$N_{\text{Ed}} = 609 \text{ kN}$	$N_{\text{Ed,zes}} = 820 \text{ kN}$
Využití v tlaku	0.92	0.81

Běžný i zesílený průřez vyhoví. **VYHOVUJE**

Únosnost pásů ve vzpěrném tlaku

Pás je jednoose symetrický průřez, pro vzpěr je třeba uvažovat nepříznivější kombinaci vzpěrné délky a momentu setrvačnosti.

$$L_{\text{sys}} = 7.2 \text{ m}$$

Vybočení v rovině

Oba pásy mohou vybočovat v rovině pouze mezi styčníky. $\rightarrow L_{\text{cr}} = 0.9 \cdot L_{\text{sys}} = 0.9 \cdot 7.2 = 6.48 \text{ m}$

Vybočení z roviny

Horní pás vybočovat nemůže, je téměř souvisle držen střechou.

Dolní pás vybočovat také nemůže, je téměř souvisle držen desou mostovky.

Veličina	Běžný průřez	Zesílený průřez
Průřezová plocha	$A = 6720 \text{ mm}^2$	$A_{zes} = 12800 \text{ mm}^2$
Moment setrvačnosti	$I = 63900000 \text{ mm}^4$	$I_{zes} = 112500000 \text{ mm}^4$
Poloměr setrvačnosti $i = \sqrt{\frac{I}{A}}$	$i = 97.5 \text{ mm}$	$i_{zes} = 93.8 \text{ mm}$
Štíhlost $\lambda = \frac{L_{cr}}{i}$	$\lambda = 66.5$	$\lambda_{zes} = 69.1$
$\lambda_1 = 93.9 \cdot \epsilon$	$\lambda_1 = 76.06$	$\lambda_1 = 76.06$
Poměrná štíhlost $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$	$\bar{\lambda} = 0.87$	$\bar{\lambda}_{zes} = 0.91$
Dle křivky „b“ (válcované za studena)		
Součinitel vzpěrnosti	$\chi = 0.680$	$\chi = 0.655$
Únosnost ve vzpěru $N_{pl,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$	$N_{pl,Rd} = 1622 \text{ kN}$	$N_{pl,Rd,zes} = 2976 \text{ kN}$
Únosnost v tahu $N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$	$N_{t,Rd} = 2386 \text{ kN}$	$N_{t,Rd,zes} = 4544 \text{ kN}$

Únosnost pásů v ohybu

Veličina	Běžný průřez	Zesílený průřez
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y} = 0.000592 \text{ m}^3$	$W_{pl,y,zes} = 0.001080 \text{ m}^3$
Momentová únosnost $M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$	$M_{pl,Rd} = 210 \text{ kNm}$	$M_{pl,Rd,zes} = 383 \text{ kNm}$

Posouzení pásů

Průřez	Tah/tlak	N [kN]	M [kNm]	NRd [kN]	MRd [kNm]	Využití N	Využití M	Využití celkově
Obyčejný – TR 260×180×8 (3. pole, dolní pás)	tah	996	58	2386	210	0.42	0.28	0.69
Obyčejný – TR 260×180×8 (4. pole, horní pás)	tlak	993	13	1622	210	0.61	0.06	0.67
Obyčejný – TR 260×180×8 (7. pole, horní pás)	tah	820	27	2386	210	0.34	0.13	0.47
Zesílený – TR 260×180×16 (u stř. podpory, horní pás)	tah	2048	27	4544	383	0.45	0.07	0.52
Zesílený – TR 260×180×16 (u stř. podpory, dolní pás)	tlak	1418	101	2976	383	0.48	0.26	0.74

Využití na moment je velmi malé, přesto nezanedbatelné.

Celkové využití jasně prokazuje spolehlivost návrhu jak běžného, tak zesíleného průřezu.

VYHOVUJE

ZÁVĚR

Konstrukce je navržena spolehlivě.

Ukazuje se, že by bylo možné provést drobnou optimalizaci a dosáhnout tak většího využití materiálu.

V dalších krocích by bylo potřeba:

- ověřit styčníky příhradového nosníku – odolnost na protlačení pásu, odolnost ve smyku ve styčníku apod.
- ověřit únosnost dřevěných příčníků, resp. navrhnout požadovanou pevnostní třídu dřeva.
- provést dynamický výpočet, analyzovat vlastní frekvence a vlastní tvary kmitání, v případě nepříznivého výsledku navrhnout tlumiče kmitání.

ORIENTAČNÍ HOMOTNOST MATERIÁLU

Ocel S355

Polovina mostu: $m_1 = 15.4$ tun (výstup z výpočtového modelu)

Příčnky: $m_p = 1.3$ tun

Ocel celkem: $m = 32.1$ tun

Dřevo

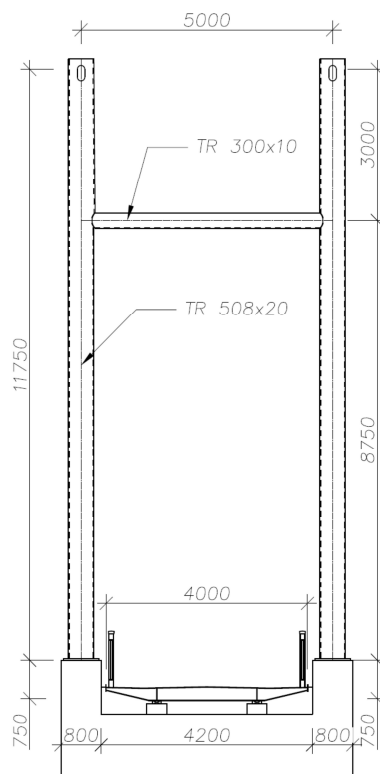
Příčnky: $m_1 = 10.3$ tun

Deska mostovky: $m_2 = 16.0$ tun

Střecha: $m_3 = 30.0$ tun

Dřevo celkem: $m = 56.3$ tun

Lávka je tvořena komorovým velmi plochým trámem. Plech horního pásu vytváří desku mostovky, na kterou je nanášena přímopochůzná izolace TARCO. Trám mostovky je vyztužen každých 2500mm příčnicí do kterého je kotven na obou stranách závěs. Lávka je po obou stranách lemována ocelovým zábradlím se svislou výplní 1100mm vysokým.



Příčný řez u podpory s pohledem na pylon

Pylon se skládá ze dvou kruhových trubek masivního průřezu spojených příčlí přibližně ve 3/4 výšky.

ZATÍŽENÍ KONSTRUKCE

Zjednodušeně bude uvažováno zatížení stálé a proměnné zatížení od chodců.

Zatížení bude stanoveno na celé šířce mostu.

Zatížení nosného lana má charakter osamělých sil. Zjednodušeně je toto zatížení uvažováno jako rovnoměrné liniové zatížení.

Veškerá zatížení jsou zatím v charakteristických hodnotách.

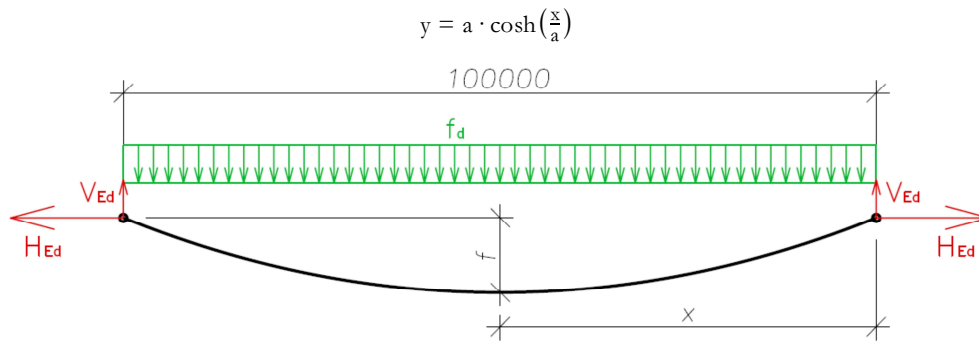
Stálé zatížení		
Vlastní tíha ocelové konstrukce	odhad	$f_g = 6.0 \text{ kN/m}$
Ostatní stálé zatížení		
Ocelové zábradlí		1.00 kN/m
Ochranná pochůzní izolace		2.00 kN/m
Ostatní stálé CELKEM:		$f_{go} = 3.0 \text{ kN/m}$
Proměnné zatížení		
Chodci na celé šíři $f_{ch} = 5 \text{ kN/m}^2$	$s \cdot f_{ch} = 3.5 \cdot 5$	17.5 kN/m
Proměnné CELKEM:		$f_q = 17.5 \text{ kN/m}$

Návrhové zatížení

$$f_d = \gamma_G \cdot (fg + fgo) + \gamma_Q \cdot fq = 1.35 \cdot (6 + 3) + 1.35 \cdot 17.5 = 35.8 \text{ kN/m}$$

NÁVRH PRŮVĚSU NEZATÍŽENÉHO LANA

Nosné lano se prověsí do tvaru řetězovky.



Zjednodušené schéma působení

→ Návrh parametru: $a = 126.632$

Průvěs uprostřed rozpětí: $f = a \cdot \cosh\left(\frac{x}{a}\right) - a = 126.632 \cdot \cosh\left(\frac{50}{126.632}\right) - 126.632 = 10.000 \text{ m}$

Souřadnice bodů



Souřadnicový systém pro výpočet geometrie nosného lana

č. závěsu	x [m]	y [m]	č. závěsu	x [m]	y [m]
0	0.0	0.000	11	27.5	7.996
1	2.5	0.986	12	30.0	8.417
2	5.0	1.920	13	32.5	8.789
3	7.5	2.801	14	35.0	9.111
4	10.0	3.630	15	37.5	9.383
5	12.5	4.407	16	40.0	9.605
6	15.0	5.132	17	42.5	9.778
7	17.5	5.807	18	45.0	9.901
8	20.0	6.430	19	47.5	9.975
9	22.5	7.002	20	50.0	10.000
10	25.0	7.524	21	52.5	9.975

Délka nezatíženého lana: $l = 2 \cdot a \cdot \sinh\left(\frac{x}{a}\right) = 2 \cdot 126.632 \cdot \sinh\left(\frac{50}{126.632}\right) = 102.619 \text{ m}$

REAKCE, SÍLA V LANĚ

Lana jsou dvě po obou stranách mostu. Zatížení se tedy rozdělí na polovinu.

Zatížení do 1 lana: $f_{d,1} = \frac{f_d}{2} = \frac{35.8}{2} = 17.9 \text{ kN}$

$$\text{Svislá reakce: } V_{Ed} = \frac{f_{d,1} \cdot L}{2} = \frac{17,9 \cdot 100}{2} = 894 \text{ kN}$$

$$\text{Vodorovná reakce: } H_{Ed} = \frac{(f_{d,1} \cdot L^2)}{(8 \cdot f)} = \frac{(17,9 \cdot 100^2)}{(8 \cdot 10)} = 2236 \text{ kN}$$

$$\text{Síla v laně: } F_{Ed} = \sqrt{V_{Ed}^2 + H_{Ed}^2} = \sqrt{894^2 + 2236^2} = 2408 \text{ kN}$$

NÁVRH PRŮMĚRU NOSNÉHO LANA

Materiál lana

LP 15.5 1620

Smluvní mez 0.2: 1380MPa

Mezní napětí v tahu: 1539MPa

jmenovitá pevnost v tahu: 1620MPa

Plocha 1 lana: $A_1 = 142 \text{ mm}^2$

Modul pružnosti: $E = 195000 \text{ MPa}$

$$F_{Ed} < F_{Rd} = K \cdot d^2 \cdot R_d$$

$$\rightarrow d_{\min} = \sqrt{\frac{F_{Ed} \cdot 10^3}{(K \cdot R_d \cdot 10^6)}} = \sqrt{\frac{2408 \cdot 10^3}{(1 \cdot 1200 \cdot 10^6)}} = 0,045 \text{ m}$$

$$A_{\min} = \left(\frac{\pi \cdot d_{\min}^2}{4} \right) \cdot 10^6 = \left(\frac{\pi \cdot 0,045^2}{4} \right) \cdot 10^6 = 1576 \text{ mm}^2$$

$$\text{Potřebný počet lan v průřezu: } n_{\min} = \frac{A_{\min}}{A_1} = \frac{1576}{142} = 11,1$$

→ Návrh $n = 27$ lan

$$\text{Plocha svazku lan: } A = A_1 \cdot n = 142 \cdot 27 = 3834 \text{ mm}^2$$

$$\text{Napětí ve svazku lan: } \sigma = \frac{F_{Ed} \cdot 1000}{A} = \frac{2408 \cdot 1000}{3834} = 628 \text{ MPa}$$

$$\text{Únosnost svazku lan: } F_{Rd} = \frac{n \cdot A_1 \cdot R_d}{1000} = \frac{27 \cdot 142 \cdot 1200}{1000} = 4601 \text{ kN}$$

Pozn.: Je zvolen podstatně vyšší počet pramenů lana, než by bylo třeba. Primární důvod je dosažení nižšího napětí v laně, tím menší přetvoření, menší protažení a tím i menší průhyb, resp. průhyb od proměnného zatížení. Průhyb od stálého zatížení lze eliminovat nadvýšením konstrukce. Průhyb od proměnného ovlivňuje pružné protažení lana a to lze omezit pouze velikostí nosného lana.

Druhým důvodem vyššího počtu lan je skutečnost, že v kotevních lanech za pylony bude díky vyššímu sklonu lana také vyšší síla, než v hlavním poli. (Nosné lano bude průběžné)

NÁVRH ZÁVĚSNÝCH LAN

Závěsná lana jsou ve vzdálenosti $L_z = 2,5 \text{ m}$.

$$\text{Síla do jednoho lana: } F_{Ed} = \frac{f_d \cdot L_z}{2} = \frac{35,8 \cdot 2,5}{2} = 44,7 \text{ kN.}$$

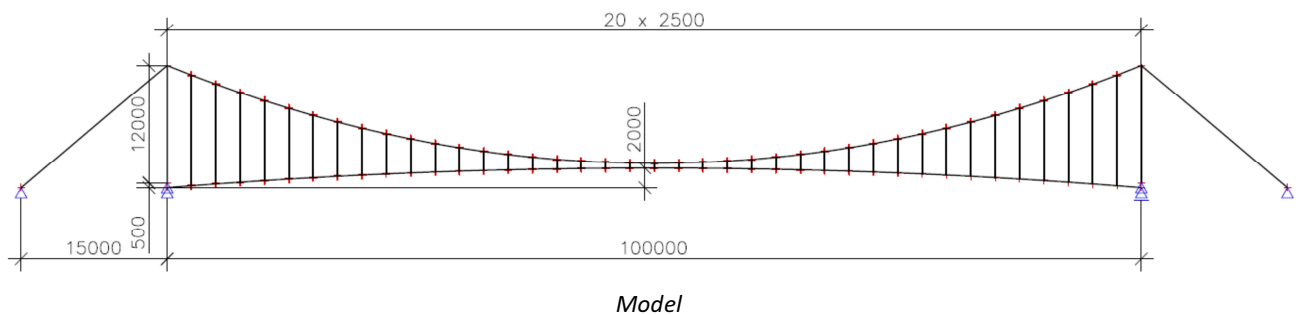
$$\text{Únosnost jednoho lana je: } F_{Rd,1} = \frac{A_1 \cdot R_d}{1000} = \frac{142 \cdot 1200}{1000} = 170 \text{ kN} > F_{Ed} = 44,7 \text{ kN} \rightarrow \text{ **VYHOVUJE** }$$

TRÁM MOSTOVKY

Trám mostovky je ze statického hlediska spojitý nosník na pružných podporách. Aby bylo možné definovat pružnost těchto podpor, bude celá lávka modelována ve výpočetním programu SCIA Engineer 2008.

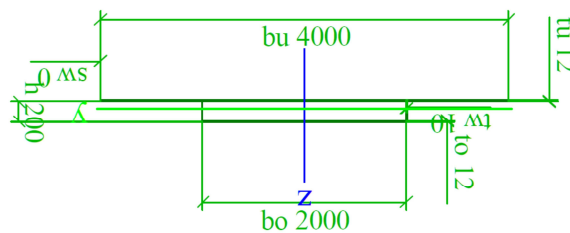
Výpočetní model

- Model byl proveden jako rovinný.
- Trám mostovky je modelován jako prut se reálným průřezem (celá šířka lávky).
- Hlavní nosná lana jsou modelována jako kruhové tyče z materiálu lana (s nižším modulem pružnosti) a průřezovou plochou odpovídající dvojici nosných lan.
- Svislé závěsy jsou modelovány stejně jako hlavní nosná lana – jako tyč s průřezem dvojice lan.
- Pylon je modelován jako prut masivního průřezu. Tento prut je kloubově připojen k ostatní konstrukci. Jako část je staticky určitý a jeho tuhost nebude mít vliv na výpočet vnitřních sil.



Použité průřezy

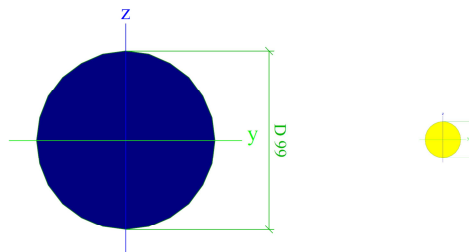
Trám



Schema průřezu mostovky

- šířka průřezu 4000mm
- šířka komory 2000mm
- výška komory 250mm
- tloušťka plechů horní a dolní desky 12mm
- tloušťka plechu stojiny 10mm

Lana a závěsy



Schema průřezů lan (vlevo nosné lano, vpravo svislé závěsy)

Veličina	Nosné lano	Svislé závěsy
Průměr	99mm	19mm
Průřezová plocha	2× 3834mm ²	2× 142mm ²
počet pramenů lan	2× 27	2× 1

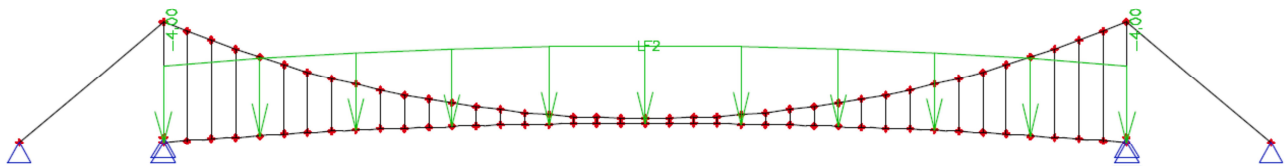
Pylony

Pylony jsou modelovány pruty s klouby na obou stranách. Jsou to tedy staticky určité části a tuhost prutu nemá vliv na vnitřní síly.

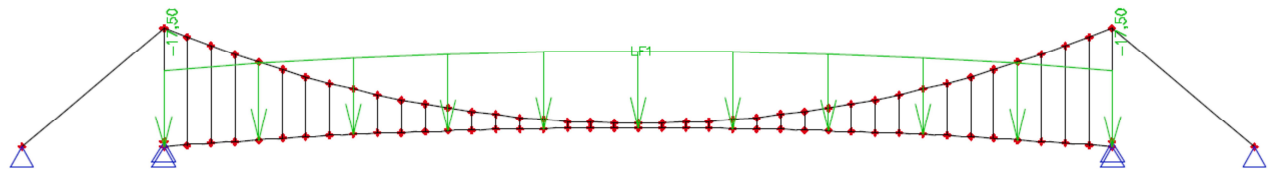
Do modelu byl vložen pylon – TR 813×16.

Zatížení v modelu

Stálé zatížení		
Vlastní tíha ocelové konstrukce	generováno výpočetním programem	
Ostatní stálé zatížení		
Ocelové zábradlí	1.0 kN/m	
Ochranná pochozí izolace	2.0 kN/m	
Příčníky rozpočtené do linie (odhad)	1.0 kN/m	
Ostatní stálé CELKEM:	f_{go} = 4.0 kN/m	
Proměnné zatížení		
Chodci na celé šíři f _{ch} = 5 kN/m ²	s · f _{ch} = 3,5 · 5	17.5 kN/m
Proměnné CELKEM:	f_q = 17.5 kN/m	



Zatěžovací stav – ostatní stálé



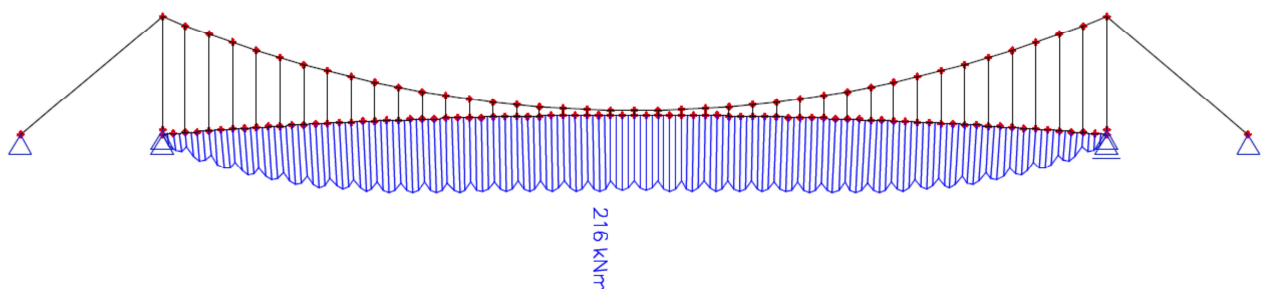
Zatěžovací stav – proměnné zatížení chodci

Kombinace zatížení

1. MSU – 1,35 * stálé + 1,35 * proměnné
2. MSP – stálé
3. MSP – proměnné

Výsledky globální analýzy

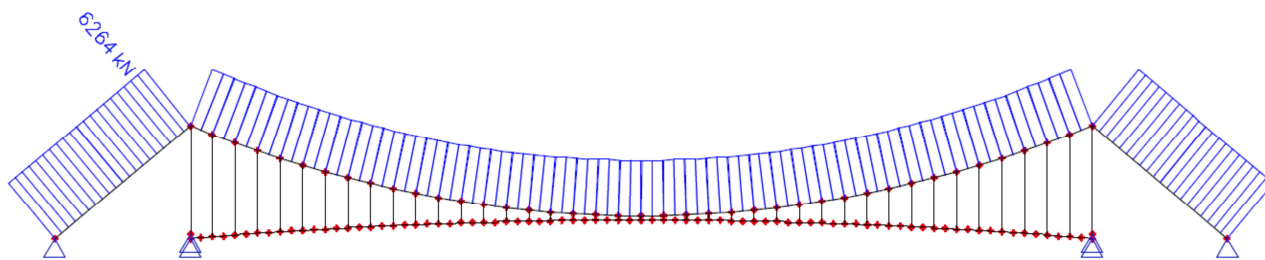
Momenty na trámu



Momenty na trámu mostovky

Maximální moment je $M_{Ed} = 216 \text{ kNm}$

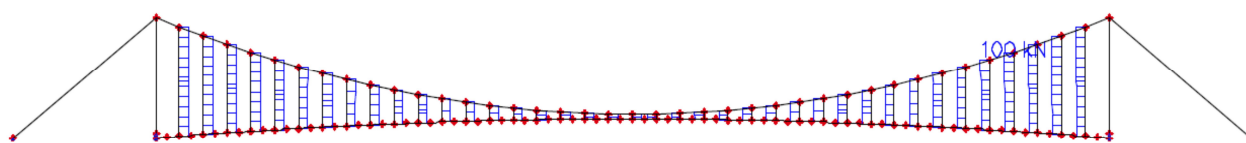
Tahová síla v lanech



Tahová síla v nosném laně

Síla, která byla spočtena na modelu je dvakrát větší než ta, která působí v jednom laně.

Síla působící v jednom laně: $F_{Ed} = 3132 \text{ kN} < F_{Rd} = 4601 \text{ kN} \rightarrow$ **VYHOVUJE**

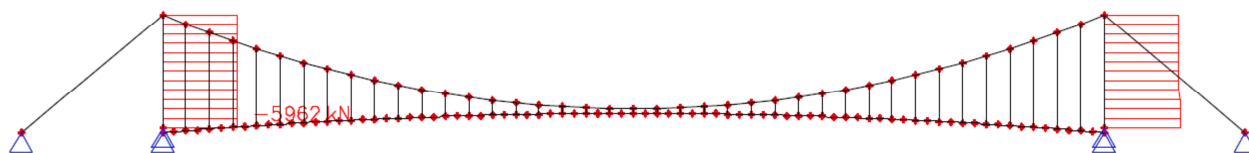


Tahová síla v závěsech

Zobrazená hodnota je opět součtem síly ve dvou lanech.

Síla působící v jednom laně: $F_{Ed,1} = 50 \text{ kN} < F_{Rd,1} = 170 \text{ kN} \rightarrow$ **VYHOVUJE**

Tlak v pylonech

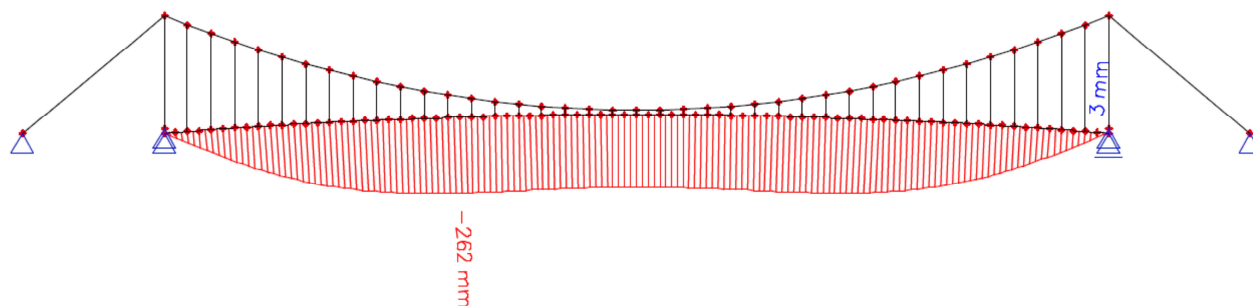


Tlaková síla v pylonu

Pylony jsou také dva, jako nosná lana. Působící síla bude opět poloviční.

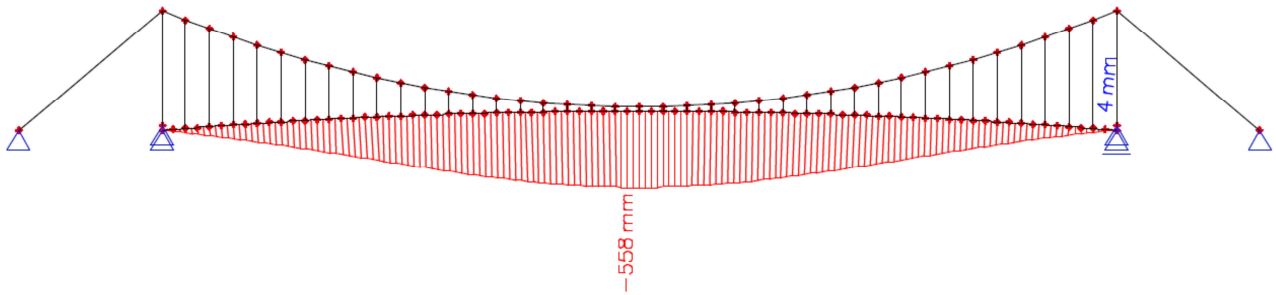
Návrhová tlaková síla v pylonu: $N_{Ed} = 2981 \text{ kN}$

Průhyby lávky



Průhyb od stálého zatížení

Průhyb od stálého zatížení je tak malý, že není třeba ho eliminovat nadvýšením.



Průhyb pouze od proměnného zatížení

Průhyb nepatrně přesahuje hodnotu $\frac{L}{200}$. Maximální hodnotu průhybu od proměnného zatížení norma neudává. Vzhledem k charakteru konstrukce velikost průhybu nijak nevadí.

NÁVRH A POSOUZENÍ PYLONŮ

Návrh

Kruhová trubka TR 406×16

$$A = 19604 \text{ mm}^2$$

$$I = 373340000 \text{ mm}^4$$

$$I = 138.0 \text{ mm}$$

Materiál S355

$$\text{Návrhová mez kluzu: } f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$

$$\epsilon = 0.81$$

Posouzení – tlaková únosnost s vlivem vzpěru

$$\text{Vzpěrná délka: } L_{cr} = 12.5 \text{ m}$$

$$\text{Štíhlost: } \lambda = \frac{L_{cr} \cdot 1000}{I} = \frac{12.5 \cdot 1000}{138} = 90.58$$

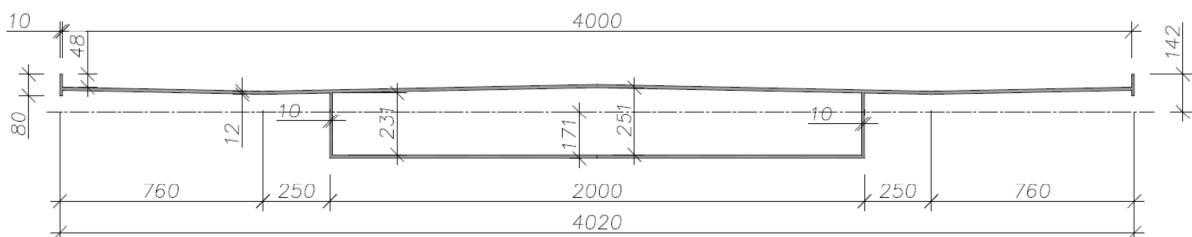
$$\lambda_1 = 93.9 \cdot \epsilon = 93.9 \cdot 0.81 = 76.1$$

$$\text{Poměrná štíhlost: } \bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{90.58}{76.1} = 1.2$$

→ Dle křivky „a“ (pro za tepla válcovaný průřez) $\chi = 0.536$

$$\text{Tlaková únosnost: } N_{pl,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_{yd}}{1000} = \frac{0.536 \cdot 19604 \cdot 355}{1000} = 3730 \text{ kN} > N_{Ed} = 2981 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

POSOUZENÍ TRÁMU MOSTOVKY



Schema průřezu trámu mostovky

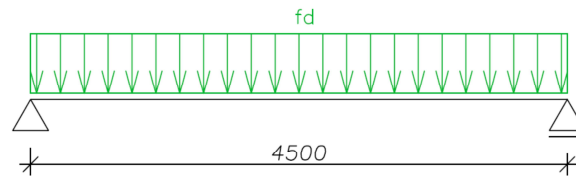
- Průřezová plocha: $A = 78202 \text{ mm}^2$
- Moment setrvačnosti: $I_y = 1038705000 \text{ mm}^4$
- horní vlákna: $z_h = 142 \text{ mm}$
- dolní vlákna: $z_d = 171 \text{ mm}$
- průřezový modul: $W_{pl,y} = 6074298 \text{ mm}^3$
- Hmotnost 1 bm: $m = 604 \text{ kg/m}$

Ohybová únosnost průřezu

$$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd} \cdot 10^{-6} = 6074298 \cdot 355 \cdot 10^{-6} = 2156 \text{ kNm} > M_{Ed} = 216 \text{ kNm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

PŘÍČNÍK

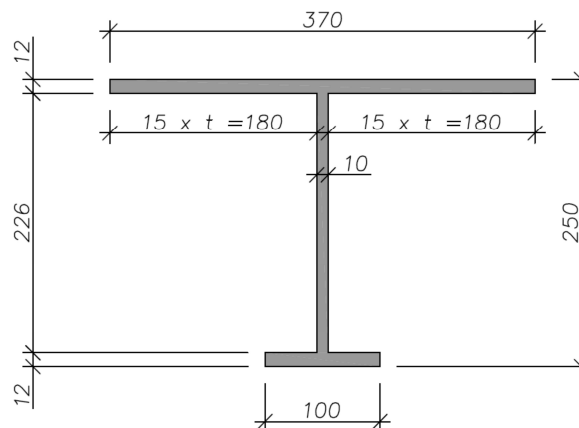
Statické schema je jako prostý nosník zatížený rovnoměrným zatížením.



Statické schema příčnicku

$$\text{Návrhové zatížení: } f_{d,p} = \frac{f_d \cdot 2.5}{4.5} = \frac{35.8 \cdot 2.5}{4.5} = 20 \text{ kN/m}$$

$$\text{Návrhový moment: } M_{Ed,p} = \frac{f_{d,p} \cdot 4.5^2}{8} = \frac{20 \cdot 4.5^2}{8} = 50 \text{ kNm}$$

Průřez

Průřez příčnicku. Z plechu mostovky uvažováno 15 tloušťek.

- Průřezová plocha: $A = 7900 \text{ mm}^2$
- Moment setrvačnosti: $I_y = 70738000 \text{ mm}^4$
- horní vlákna: $z_h = 76 \text{ mm}$
- dolní vlákna: $z_d = 174 \text{ mm}$
- průřezový modul: $W_{pl,y} = 406540 \text{ mm}^3$

Ohybová únosnost příčnicku

$$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd} \cdot 10^{-6} = 406540 \cdot 355 \cdot 10^{-6} = 144 \text{ kNm} > M_{Ed,p} = 50 \text{ kNm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Průhyb příčnicku

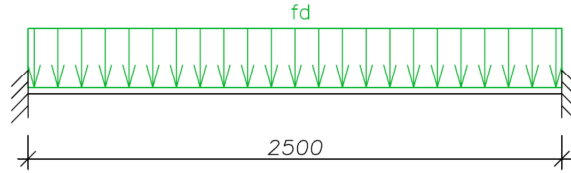
Zjednodušeně počítán se zatížením pro MSU.

$$\delta = \frac{5 \cdot f_d \cdot 1000 \cdot 4.5^4}{(384 \cdot E \cdot 10^6 \cdot I \cdot 10^{-12})} = \frac{5 \cdot 35.8 \cdot 1000 \cdot 4.5^4}{(384 \cdot 210000 \cdot 10^6 \cdot 70738000 \cdot 10^{-12})} = 0.002 \text{ m} < \frac{4.5}{300} = 0.015 \text{ m}$$

Průhyb příčnicku je zanedbatelný.

PLECH MOSTOVKY MEZI PŘÍČNÍKY

Schema působení je jako vetknutý nosník zatížený rovnoměrným zatížením.



Schema působení plechu mostovky mezi příčnicku.

Zatížení

Zatížení	Ch. Hodnota [kN/m]	γ	Návrhová hodnota
Vlastní tíha plechu	0.9 kN/m	1.35	1.3 kN/m
Pochozí izolace	0.5 kN/m	1.35	0.7 kN/m
Proměnné zatížení	5.0 kN/m	1.35	6.8 kN/m
CELKEM:	6.4 kN/m		8.7 kN/m

Moment

$$M_{Ed} = \frac{f_d \cdot 2.5^2}{12} = \frac{8.7 \cdot 2.5^2}{12} = 4.5 \text{ kN}$$

Ohybová únosnost

$$\text{Plastický průřezový modul: } W_{pl,y} = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{1000 \cdot 12^2}{6} = 24000 \text{ mm}^3$$

$$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd} \cdot 10^{-6} = 24000 \cdot 355 \cdot 10^{-6} = 9 \text{ kNm} > M_{Ed} = 4.5 \text{ kNm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Průhyb plechu

$$\text{Moment setrvačnosti: } I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{1000 \cdot 12^3}{12} = 144000 \text{ mm}^4$$

$$\text{Průhyb: } \delta = \frac{f_k \cdot 1000 \cdot 2.5^4}{(384 \cdot E \cdot 10^6 \cdot I_y \cdot 10^{-12})} = \frac{6.4 \cdot 1000 \cdot 2.5^4}{(384 \cdot 210000 \cdot 10^6 \cdot 144000 \cdot 10^{-12})} = 0.022 \text{ m} > \frac{2.5}{300} = 0.008 \text{ m}$$

→ Hodnota průhybu je relativně veliká, bude třeba plech mostovky vyztužit podélníky, tak aby nedocházelo ke zvlnění plechu mostovky přes příčnicku.

ZÁVĚR

Konstrukce je navržena spolehlivě.

V dalších krocích by bylo potřeba:

- provést dynamický výpočet, analyzovat vlastní frekvence a vlastní tvary kmitání, v případě nepříznivého výsledku navrhnout tlumiče kmitání.

ORIENTAČNÍ HOMOTNOST MATERIÁLU

Ocel S355

Trám mostovky: $m_1 = 60.4 \text{ tun}$ (výstup z výpočtového modelu)

Příčníky: $m_2 = 5.7 \text{ tun}$

Pylony: $m_3 = 7.7 \text{ tun}$

Ocel 355 celkem: $m = 73.9 \text{ tun}$

Ocelová lana

Hlavní nosné lano: $m_1 = 8.5 \text{ tun}$

Svislé závěsy: $m_2 = 0.4 \text{ tun}$

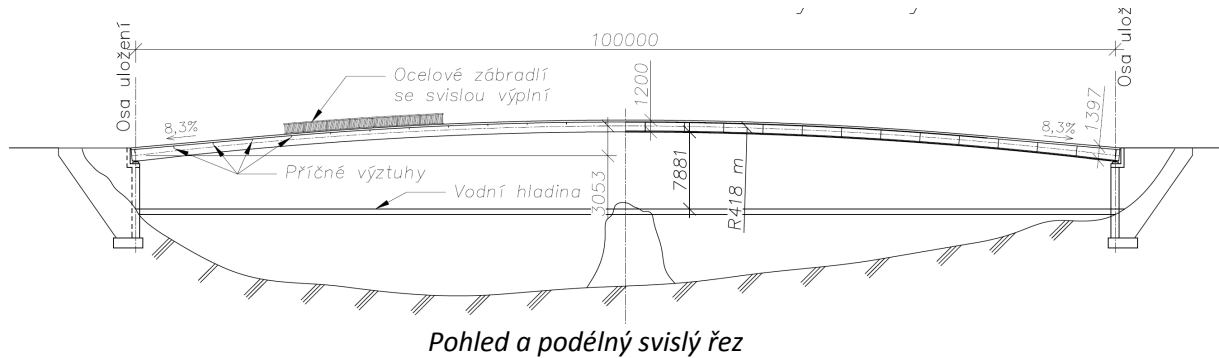
Lana celkem: $m = 8.9 \text{ tun}$

Celková délka 1 pramene: $l = 7975 \text{ m}$.

Lávka pro pěší přes brněnskou přehradu

Porovnání variant

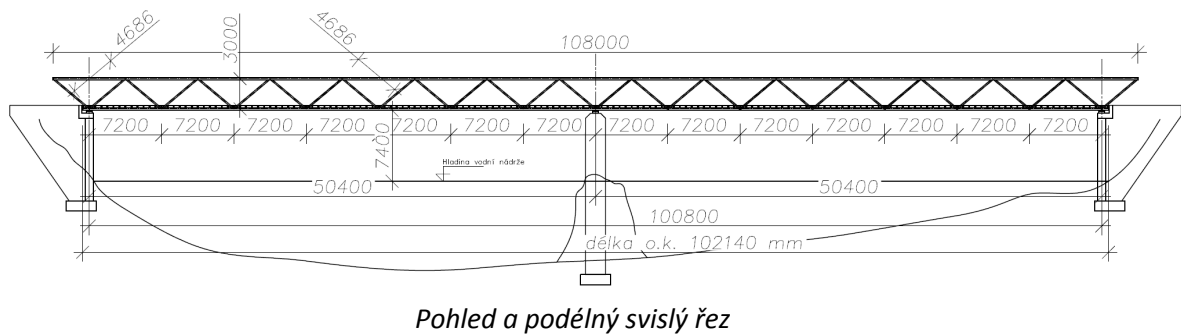
Varianta 1 – Obloukový komorový trám



Hrubý výpočet ceny projektu:

Ocelová konstrukce:	150tun x 80Kč/kg	12 000 000 Kč
---------------------	------------------	---------------

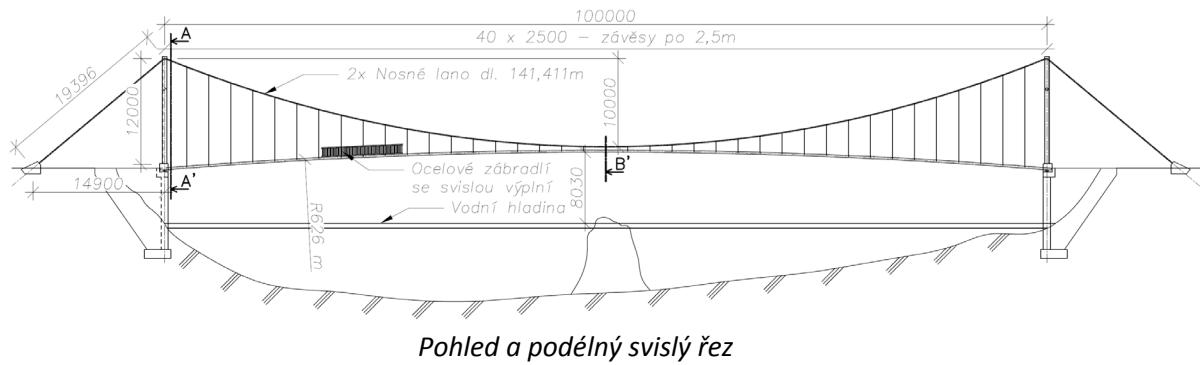
Varianta 2 – Příhradový most se střední podporou



Hrubý výpočet ceny projektu:

Ocelová konstrukce:	32tun x 80Kč/kg	2 560 000 Kč
Dřevěná konstrukce:	56tun ≈ 120m ³ x 6000Kč/m ³	720 000 Kč
Celkem:		3 328 000 Kč

Varianta 3 – Visutá lávka



Hrubý výpočet ceny projektu:

Ocelová konstrukce:	74tun x 80Kč/kg	5 920 000 Kč
Ocelová lana:	9tun x 240Kč/kg	2 160 000 Kč
Celkem:		8 080 000 Kč

Shrnutí a porovnání variant:

Varianta	Cena	Pozn.
1. obloukový kom. trám	12 mil. Kč	
2. příhradový most	3,3 mil. Kč	Dražší zakládání stavby (pilíř uprostřed rozpětí)
3. visutá lávka	8,1 mil. Kč	

Výběr varianty pro diplomovou práci:

Pro dopracování v rámci diplomové práce volím variantu **2 – příhradový most**. Jedná se o nejlevnější variantu.