

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Prohlídka lávky v Plzni

Footbrigde in Plzeň inspection

František Bajer

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš

Studijní program:

Stavební inženýrství

Studijní obor:

Konstrukce a dopravní stavby

Praha 2020

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Praze dne

.....

František Bajer

PODĚKOVÁNÍ:

Rád bych poděkoval především doc. Dr. Ing. Jakub Dolejšovi za vedení mé práce a jeho trpělivý přístup ke konzultacím i v problematické a bezprecedentní době bezkontaktní výuky. Dále musím poděkovat svému bratrovi za pomoc při prohlídce lávky.

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá prohlídkou Lochotínské lávky v Plzni. Prohlídka byla zaměřena na pochopení statického působení konstrukce a na změření základních rozměrů jednotlivých nosných prvků. Pozornost byla též věnována kontrole stávajícího stavu konstrukce. Další část práce je věnována orientačnímu statickému výpočtu únosnosti hlavních nosných prvků a jeho vyhodnocení.

KLÍČOVÁ SLOVA:

lávka, ocelová, příhradová, prohlídka, výpočet

ANOTATION

The bachelor's thesis deals with an inspection of Lochotínská lávka in Plzeň. This inspection was focused on understanding of the static behavior of the structure and the measurement of the basic dimensions of load-bearing elements. Attention was also paid to the control of the current state of the structure. The next part of the thesis is determined to indicative calculation of the load-bearing capacity of the main load-bearing elements and its evaluation.

KEYWORDS

footbridge, steel, truss, inspection, calculation

OBSAH

1	Úvod.....	7
2	Prohlídka.....	7
3	Popis.....	8
3.1	Hlavní nosná konstrukce.....	10
3.2	Mostovka.....	10
3.3	Podélníky.....	10
3.4	Příčnický.....	11
3.5	Ztužidla.....	12
4	Stav konstrukce.....	13
5	Statický výpočet.....	15
5.1	Materiál.....	15
5.2	Zatížení.....	15
5.3	Kombinace zatížení.....	16
5.4	Rozměry konstrukce.....	16
5.5	Statický model.....	16
5.6	Stabilitní model.....	17
6	Hlavní nosník.....	18
6.1	Horní pás.....	18
6.2	Dolní pás.....	22
6.3	Diagonály.....	25
6.4	Svislice.....	30
7	Podélníky.....	32
7.1	Vnitřní podélník.....	32
7.2	Krajní podélník.....	34
8	Příčník.....	36
8.1	Horní pás.....	36
8.2	Dolní pás.....	40
8.3	Diagonály.....	46
8.4	Svislice.....	49
9	Ztužidla.....	51
10	Závěr.....	53

1 ÚVOD

První část práce popisuje základní konstrukční údaje o lávce, které byly získány při její prohlídce. U jednotlivých prvků jsou popsány jejich rozměry, statické působení a zkontrolován jejich stav.

Dále je stanoveno zatížení lávky a vytvořeny zjednodušené statické modely pro výpočet vnitřních sil. U hlavních nosných prvků konstrukce (hlavní nosníky, podélníky, příčníky...) byla následně ověřena jejich únosnost zjednodušeným statickým výpočtem.

Závěrem byly vyhodnoceny výsledky výpočtů a navrženy případná opatření.

2 PROHLÍDKA

Datum prohlídky: 1. 3. 2020

Povětrnostní podmínky: zataženo, větrno

Teplota vzduchu: 10 °C

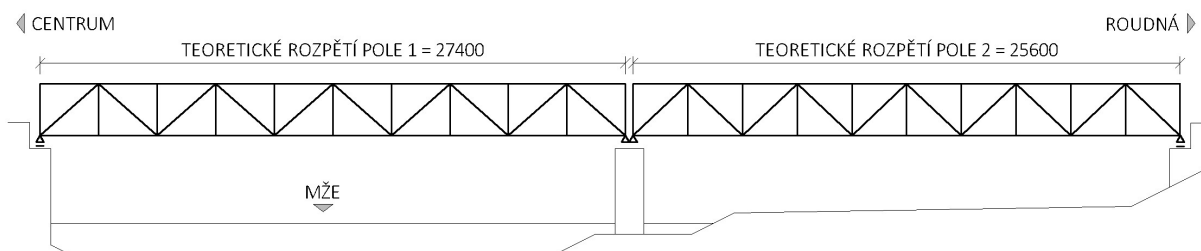
Prohlídku lávky jsem provedl dne 1. 3. 2020. Snažil jsem se zjistit a pochopit statické působení konstrukce jako podklad pro vytvoření odpovídajícího statického modelu. Na místě jsem změřil rozměry konstrukce i průřezy jednotlivých prutů. I přes špatnou přístupnost jsem se pokusil změřit rozměry a zjistit materiál potrubí vedoucího pod mostem. Vzhledem ke stáří lávky jsem se též soustředil na kontrolu stávajícího stavu ocelových prvků i betonové desky mostovky. Bohužel kvůli vodní hladině nebylo možné prozkoumat a zkontrolovat všechny prvky mostovky. Fotodokumentaci jsem pořídil kvůli příznivějším podmínkám až 15. 5. 2020.



Obr. 1 Poloha lávky [1]

3 POPIS

„Ocelová lávka, příhradová se středním pilířem, z kamenných kvádrů pochází z roku 1883. Překonává řeku Mži v severozápadní části městského jádra. Při regulaci řeky Mže v letech 1929-1930 byla lávka přestavěna. Nejprve byla v roce 1929 prodloužena směrem k Roudné o druhé pole. V následujícím roce pak bylo staré původní a nedokončené nosné pole vyměněno za nové. Novou ocelovou konstrukci dodala mostárna Akciové společnosti, dříve Škodovy závody v Plzni. Na pravém břehu je situována hranolová zděná budova, která bývá označována jako mýtnice; v poslední době byla využívána jako limnigrafická stanice (pro grafické znázornění kolísání stavu vodní hladiny).“ [2]



Obr. 2 Schéma hlavních nosníků

Lávka leží v centru Plzně přes řeku Mži a spojuje centrum s městskou částí Roudná. Ačkoli se v průběhu let snížila její důležitost, stále je chodci velmi využívána. Výhledově je plánováno lávku nahradit novou konstrukcí, která překlene nejen řeku Mži, ale i přilehlou magistrálu.

Jedná se o příhradovou otevřeně uspořádanou lávku s dolní mostovkou, kterou tvoří dvě prostá pole uložená na středním kamenném pilíři a krajních kamenných opěrách. Rozpětí pole 1 je 27400 mm a rozpětí pole 2 je 25600 mm. Až na mírně větší rozpětí jsou obě pole složená z prutů stejných průřezů, proto bude dále vyšetřováno pouze pole 1 s větším rozpětím a tím i větším namáháním jednotlivých prvků.

Hlavní nosnou konstrukci tvoří v každém poli dva přímopásové příhradové nosníky kosoúhlé soustavy s podružnými svislicemi.

Mostovku tvoří železobetonová deska podporovaná soustavou příčníků a podélníků. Podélníky tvoří v příčném řezu čtyři nosníky zapuštěné do příčníků. Příčníky jsou příhradové, umístěné v každém styčnicku hlavních nosníků.

Vodorovné ztužení konstrukce se nachází v úrovni spodního pásu hlavních nosníků.

Konstrukce je na spodní stavbu uložena pomocí ocelových ložisek. Na středním pilíři se nacházejí čtyři ocelová kloubová pevná ložiska, na krajních opěrách vždy dvě ocelová jednoválcová podélně posuvná ložiska.

Dilatační spáry mezi lávkou a opěrami jsou překryty pouze ocelovým plechem. Deska mostovka je mezi jednotlivými poli spojitá.

Z mostního vybavení se na lávce nachází pouze zábradlí. Je tvořeno madlem ve výšce 1080 mm a dalšími třemi vodorovnými výplňovými pruty ve výšce 170, 380 a 575 mm od povrchu lávky a tudíž nevyhovuje dnešním požadavkům.

Pod lávkou jsou vedeny kabelové chráničky a další potrubí.



Obr. 3 Pohled na lávku



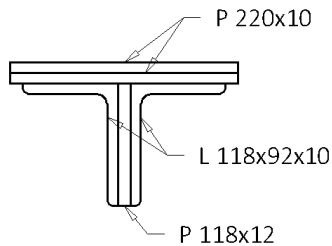
Obr. 4 Detail styčnicku hlavního nosníku



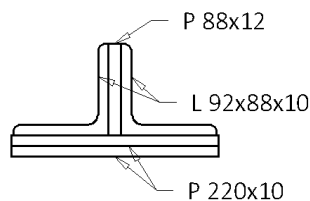
Obr. 5 Detail uložení na krajní opěru

3.1 Hlavní nosná konstrukce

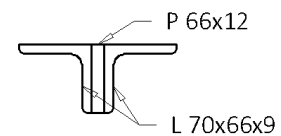
Úkolem hlavní nosné konstrukce je přenášet zatížení z mostovky do spodní stavby. Hlavní nosnou konstrukcí této lávky tvoří dva příhradové přímopásové nosníky kosoúhlé soustavy s podružnými svislicemi. Konstrukční výška nosníků uprostřed rozpětí (v místě zesílení pásnic) je 2450 mm, nad ložisky 2410 mm a jejich osová vzdálenost je 3810 mm. Teoretické rozpětí pole je 27400 mm, které je rozděleno na 10 jednotlivých příhrad se styčnicí po 2740 mm. Styčnice jsou řešeny přinýtováním prutů ke styčnickovým plechům P12. Průřezy konstrukce jsou složeny a nýtované, jejich základem je plech P12, který navazuje na styčnickové plechy a k němuž jsou přinýtované úhelníky.



Obr. 7 Horní pás



Obr. 7 Dolní pás



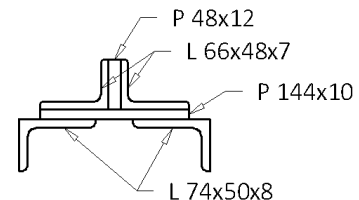
Obr. 8 Diagonála

Horní pás příhradového nosníku je průběžný přes celou délku a tvoří jej nýtovaný T průřez složený ze dvou úhelníků L 118x92x10 a plechu P12. Směrem ke středu rozpětí pole je jednou nebo dvěma přinýtovanými příložkami plechu P10 šířky 220 mm zesílena tloušťka pásnice.

Dolní pás tvoří též průběžný nýtovaný T průřez složený ze dvou úhelníků L 92x88x10 a plechu P12. Směrem ke středu rozpětí pole je opět jednou nebo dvěma přinýtovanými příložkami plechu P10 šířky 200 mm zesílena tloušťka pásnice.

Diagonály tvoří nýtovaný T průřez složený ze dvou úhelníků a plechu P12. Velikost úhelníků závisí na míře namáhání prutů a zvětšuje se od středu pole ke krajům, kde jsou nejvíce namáhané diagonály.

Svislice jsou tvořeny čtyřmi úhelníky a mezi nimi opět plechy P12. Tři krajní svislice z každého konce mostu jsou menšího průřezu, pět středních svislic je většího průřezu.



Obr. 8 Svislice

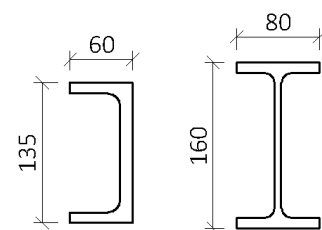
3.2 Mostovka

Desku mostovky tvoří železobetonová monolitická deska tloušťky 100 mm uložená na podélníky.

3.3 Podélníky

Úkolem podélníků je přenášet stálé i proměnné zatížení mostovky do příčniců a dále do hlavní nosné konstrukce. Desku mostovky podpírají celkem 4 podélníky s roztečí 1100, 1270 a 1100 mm (Obr 11). Podélníky jsou zapuštěné do příčniců, přípoje lze považovat za kloubové, proto působí jako prosté nosníky.

Dva krajní podélníky leží pod okrajem betonové desky a jsou tvořeny profilem tvaru U. Připojeny jsou mimo styčnice příčniců přímo na styčnickový plech svislic hlavních nosníků.



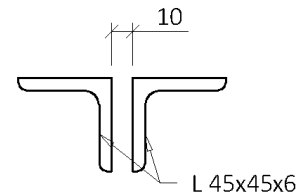
Obr. 9 Podélníky

Další dva podélníky se nachází v třetinách šířky lávky a jsou tvořeny profilem tvaru I. Připojeny jsou ke svislicím příčnicím.

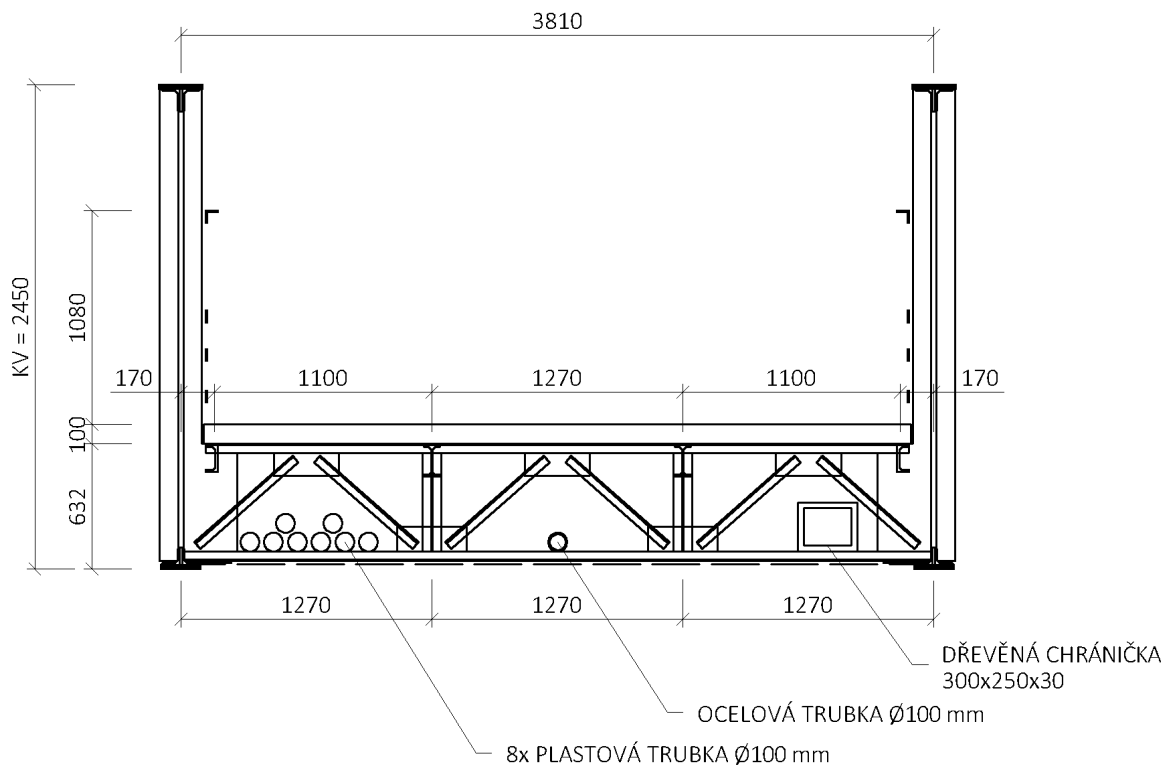
3.4 Příčnický

Úkolem příčnicků je přenášet zatížení z podélníků do hlavních příhradových trámů konstrukce. Přípoje musí být dostatečně tuhé, aby byla zajištěna dostatečná ohybová tuhost tzv. polorámu kvůli stabilitě proti vybočení tlaceného horního pásu hlavních příhradových nosníků.

Příčnický jsou příhradové nosníky kosoúhlé soustavy s podružnými svislicemi. V místech napojení ke svislicím hlavních nosníků je příčnický přes celou výšku zesílen plechem P10, ke kterému jsou také připojeny krajní podélníky. Všechny pruty jsou tvořeny dvojicí úhelníků L 45x45x6, mezi nimiž je mezera 10 mm odpovídající šířce styčnickových plechů.



Obr. 10 Horní pás příčnický



Obr. 11 Příčný řez v poli

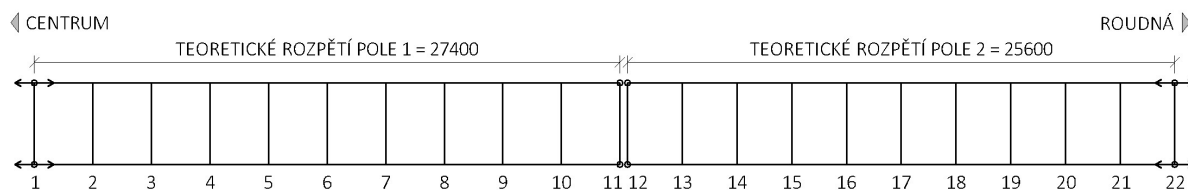
3.5 Ztužidla

Na mostě se nachází jediné vodorovné příhradové ztužidlo v rovině spodních pásů hlavních příhradových nosníků. Jedná se o ztužidlo se zkříženými diagonálami, které se stýkají pod každým druhým příčným. Všechny pruty jsou tvořeny dvojicí úhelníků L 45x45x6, mezi nimiž je mezera 10 mm odpovídající šířce styčnickových plechů.



Obr. 12 Pohled na prvky mostovky

4 STAV KONSTRUKCE



Obr. 13 Označení příčnicků

Lávka je opatřena novým nátěrem a na první pohled se zdá být v dobrém stavu. Pruty hlavních nosníků nejsou napadeny korozí a nebyly na nich objeveny ani žádné jiné vady. Stav prvků mostovky bylo zdola mostu možné zkontrolovat pouze v poli 2, neboť pole 1 se nachází nad vodní hladinou.

Horní povrch desky mostovky je nad středním pilířem příčně popraskaný pravděpodobně díky pootáčení konců jednotlivých polí a absenci mostního závěru. Menší příčné praskliny jsou kvůli záporným momentům též nad každým příčnickem. Příčné praskliny jsou patrné i při pohledu zdola mostu. Nacházejí se jak v polovině rozpětí mezi příčnickými kvůli kladným momentům tak i přímo nad některými příčnickými. Jedna příčná prasklina v poli 2 se dále rozšířila a vlivem degradace betonu došlo k obnažení výztuže desky (Obr. 14).

Střední podélníky nejeví žádné známky koroze. U krajních podélníků může být lokálně na styku s betonovou deskou koroze oslabena tloušťka horní pásnice.

V nejhorším stavu ze všech ocelových prvků jsou některé z příhradových příčnicků. Horní pás většiny příčnicků je zkorodovaný, nejvíce u koncového příčnicku 22, kde na styku s betonovou deskou chybí celá horní část T průřezu a jeho zbytek je zdeformovaný (Obr. 16). Příčnický 18 a 20 mají korozi oslabený dolní pás v místě přípojů k hlavním nosníkům a ve styčnickových plechách jsou několikacentimetrové otvory (Obr. 15). Zbytek příčnicků, ke kterým jsem měl přístup, se zdál být v pořádku.



Obr. 14 Detail obnažené výztuže desky



Obr. 15 Detail otvoru ve styčnickovém plechu příčnicku 20



Obr. 16 Detail horního pásu příčniku 22

5 STATICKÝ VÝPOČET

Součástí prohlídky lávky je orientační zjednodušený výpočet hlavních nosných prvků konstrukce.

Lávka je tvořena dvěma prostými poli o různém rozpětí. Obě pole jsou tvořena pruty stejných průřezů, proto byl výpočet proveden pro pole s větším rozpětím, kde předpokládáme větší vnitřní síly, a tudíž větší využití nosných prvků.

Při výpočtu jsou použity součinitele spolehlivosti dle normy ČSN EN 1993-2:

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$\gamma_{M1} = 1,10$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

5.1 Materiál

Materiál je odhadnut dle roku výroby mostu jako ocel, jejíž mechanické vlastnosti zhruba odpovídají dnešní oceli S235.

$$f_{y,k} = 235 \text{ MPa}$$

$$f_{u,k} = 360 \text{ MPa}$$

5.2 Zatížení

5.2.1 Zatížení stálé

Vlastní tíha ocelové konstrukce je vygenerována programem SCIA Engineer.

Vlastní tíha desky tl. 100 mm je vypočítána jako plošné zatížení.

$$g_{deska,k} = \gamma_{beton} \cdot t_{deska} = 25 \cdot 0,1 = 2,50 \text{ kN/m}^2$$

Dále je uvažováno zatížení od potrubí a chrániček, které jsou protaženy skrze příčníky. Toto zatížení je nesymetrické a způsobuje nerovnoměrné zatížení hlavních nosníků.

Všechna stálá zatížení jsou zvětšena součinitelem zatížení $\gamma_G = 1,35$.

5.2.2 Zatížení proměnné

Zatížení dopravou

Jako základní proměnné zatížení je uvažováno rovnoměrné zatížení davem lidí s charakteristickou hodnotou $g_{fk} = 5 \text{ kN/m}^2$. Lávka je rozpětí $L > 10 \text{ m}$, a proto lze redukovat hodnotu ztížení dle vztahu

$$g_{fk} = 2 + 120/(L + 30) = 2 + 120/(27,4 + 30) = 4,09 \text{ kN/m}^2$$

Jednotlivé prvky konstrukce nebudou posouzeny na účinek soustředěného zatížení Q_{fwk} , jelikož primárním předmětem výpočtu je posouzení nosné konstrukce a ne mostovky.

Vjezdu vozidla na lávku je mechanicky zabráněno překážkou (Obr. 17), proto nebude konstrukce posuzována na průjezd nouzového vozidla. Navíc se v okolí lávky nachází dva další mosty, proto není průjezd vozidla nutný.

Veškerá proměnná zatížení jsou zvětšena součinitelem zatížení $\gamma_Q = 1,35$.



Obr. 17 Zamezení vjezdu vozidel

5.3 Kombinace zatížení

Posouzení proběhne na kombinaci zatížení s plným vlivem stálého i proměnného zatížení, neboť jsou zanedbány některé další vlivy zatížení (vítr, sníh, teplota...).

$$\gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_k$$

5.4 Rozměry konstrukce

Základní rozměry konstrukce i rozměry průřezů byly změřeny přímo při prohlídce lávky. Přesné rozměry nýtů a děr na nýty nebylo možné změřit a byly odhadnuty po dohodě s vedoucím práce.

5.5 Statický model

Pro výpočty vnitřních sil na konstrukci je využit prostorový model v programu SCIA Engineer.

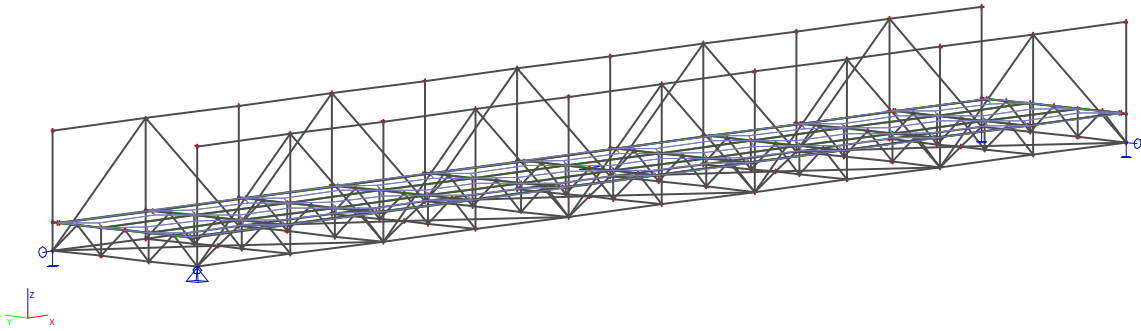
Hlavní nosníky jsou modelovány jako prosté příhradové nosníky s horním a dolním průběžným pásem, k němuž jsou kloubově připojeny svislice a diagonály.

Příčníky jsou modelovány stejně jako hlavní nosníky. Připojení horního a dolního pásu na svislici hlavních nosníků je kloubové.

Podélníky jsou statického hlediska prostými nosníky kloubově připojenými vždy mezi dva příčníky. Krajiní příčníky jsou z důvodu zjednodušení modelu připojeny mimostyčně přímo na horní pás příčníků a špičky momentů vyvolané tímto zatížením jsou ve výpočtu zanedbány.

Pro výpočet vnitřních sil na konstrukci bylo zanedbáno spolupůsobení desky mostovky. Zatížení bylo pomocí zatěžovacích ploch převedeno na liniové zatížení příčníků a podélníků. V hlavních nosnících tak budou vznikat vyšší hodnoty vnitřních sil a výpočet proběhne na bezpečné straně.

Ačkoli se na konstrukci nenachází žádné příčně posuvné ložisko, lze v ložisku předpokládat i toleranci pohybu v příčném směru. Na modelu je tedy použito typické schéma uložení, umožňující podélnou i příčnou dilataci.

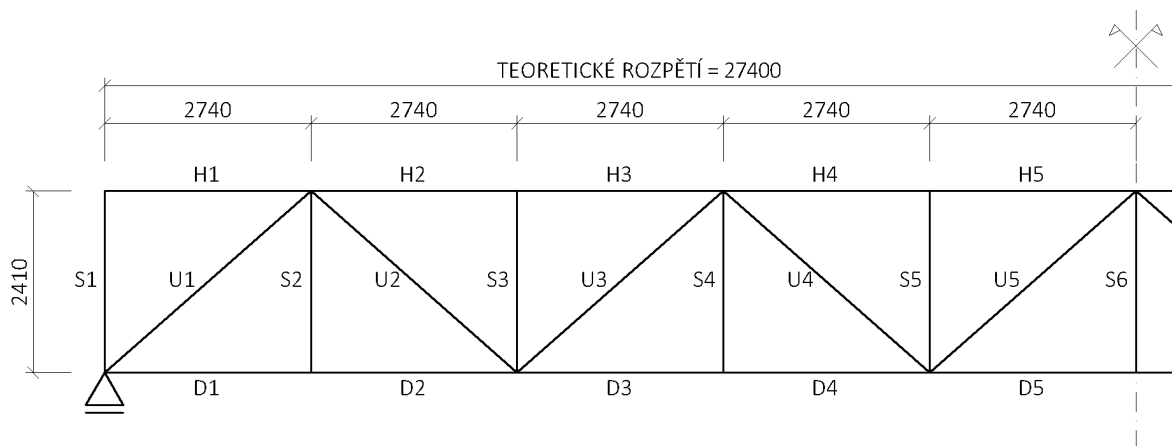


Obr. 18 Prostorový model

5.6 Stabilitní model

Pro výpočet stability horního pásu hlavního nosníku je opět využit prostorový model v programu SCIA Engineer. Oproti modelu pro výpočet vnitřních sil je zde počítáno se spolupůsobením desky mostovky. Ta zajistí stabilitu tlačných pásů příčníků a sníží tak počet ověřovaných vlastních tvarů.

6 HLAVNÍ NOSNÍK



Obr. 19 Schéma prutů hlavního nosníku

6.1 Horní pás

Celý horní pás hlavního nosníku je tlačný. Posuzovány jsou pouze tlakové normálové síly s vlivem vzpěru. Vliv ohybových momentů je zanedbán. Pruty jsou složeny a průběžně spojené nýty, dle kap. 6.4.4 ČSN EN 1993-1-1 je lze považovat za celistvé. Pro výpočet stability horního pásu při vybočení z roviny je použit 13. vlastní tvar konstrukce. Součinitel $\alpha_{cr,z}$ je konzervativně uvažován stejný pro celý tlačný pás.

1D vnitřní síly

Hodnoty: **N**

Lineární výpočet

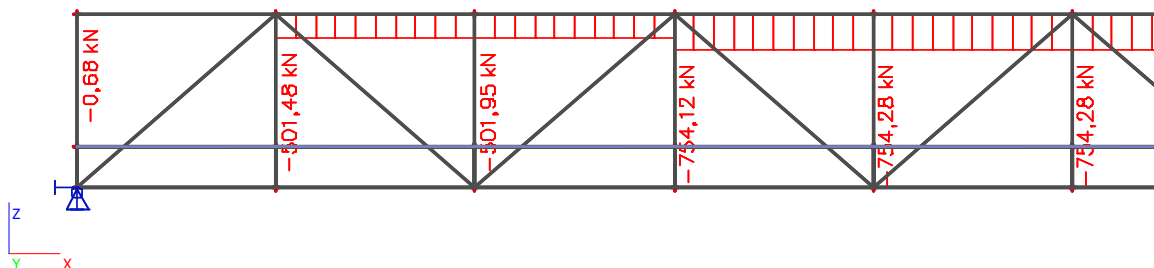
Kombinace: MSÚ

Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Dílec

Výběr: Pojmenovaný výběr - HN -

horní pás



Obr. 20 Průběh N na horním pásu

3D přemístění

Hodnoty: U_{total}

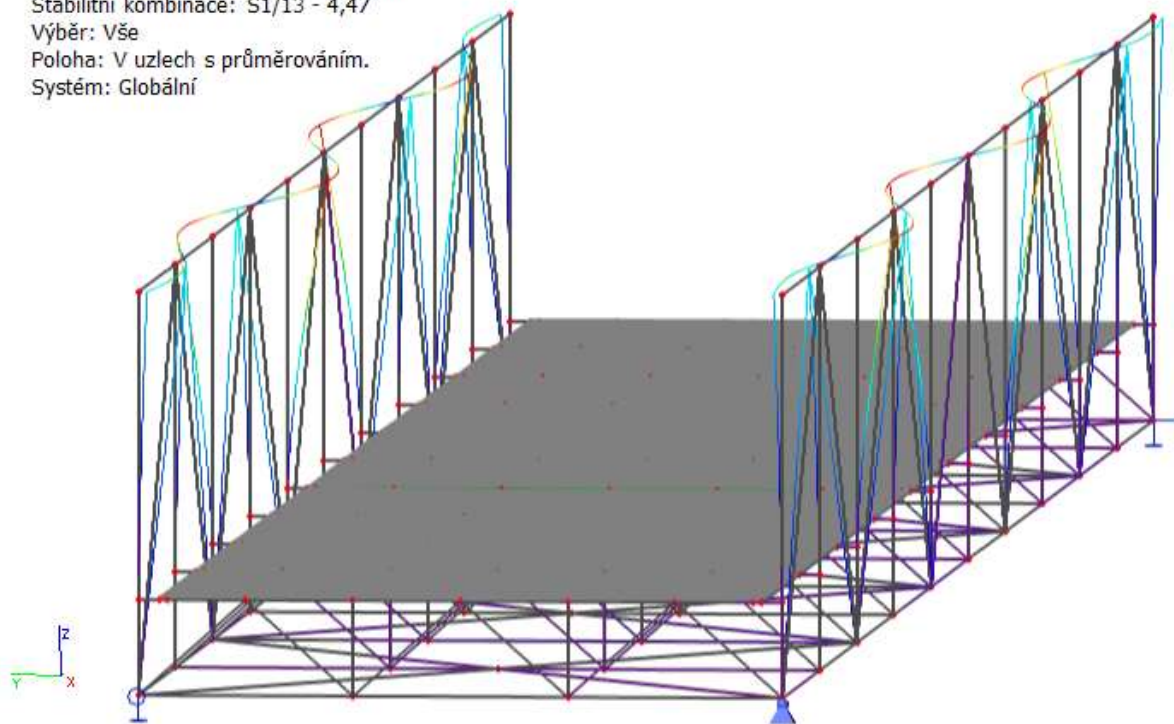
Stabilitní výpočet. Tvary vybočení jsou normované tak, aby se maximální složka přemístění nebo pootočení každého uzlu rovnala 1 m nebo 1 rad.

Stabilitní kombinace: S1/13 - 4,47

Výběr: Vše

Poloha: V uzlech s průměrováním.

Systém: Globální



Obr. 21 13. vlastní tvar konstrukce

6.1.1 Prut H1

$$N_{Ed} = -0,68 \text{ kN}$$

Prut H1 nebyl pro minimální vnitřní síly posuzován

6.1.2 Pruty H2, H3

$$N_{Ed} = -501,95 \text{ kN}$$

$$A = 7638 \text{ mm}^2$$

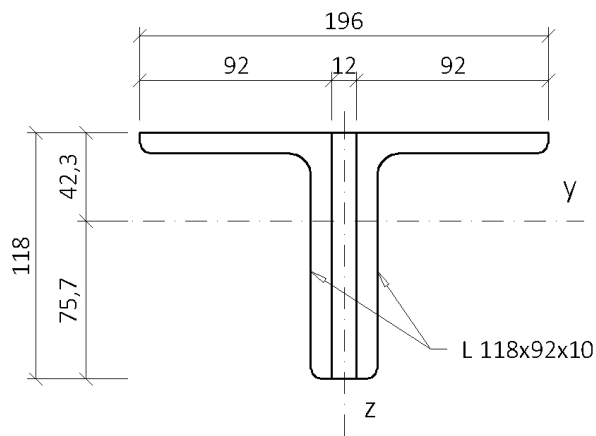
$$i_y = 38,3 \text{ mm}$$

$$L_{cr,y} = 2740 \text{ mm}$$

$$\alpha_{cr,z} = 4,47$$

Třída průřezu 3

Křivka vzpěrnosti b pro vybočení kolmo k ose y i ose z



Obr. 22 Průřez prutů H2 a H3

Vzpěr v rovině

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y \cdot \lambda_1} = \frac{L_{cr,y}}{i_y \cdot 93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{2740}{38,3 \cdot 93,9 \cdot 1} = 0,762$$

$$\chi_y = 0,748$$

Vzpěr z roviny

$$N_{cr,z} = \alpha_{cr,z} \cdot |N_{Ed}| = 4,47 \cdot 501,95 = 2243,72 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_{y,k}}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{7638 \cdot 235}{2243,72} \cdot 10^{-3}} = 0,894$$

$$\chi_z = 0,665$$

Posouzení

$$\chi_{min} = \chi_z = 0,665$$

Kritické je vybočení prutu z roviny

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{min} \cdot A \cdot f_{y,k}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,665 \cdot 7638 \cdot 235}{1,10} \cdot 10^{-3} = 1084,74 \text{ kN}$$

$$\frac{|N_{Ed}|}{N_{b,Rd}} = \frac{501,95}{1084,74} = 0,463 < 1$$

VYHOVUJE

6.1.3 Pruty H4, H5

$$N_{Ed} = -754,28 \text{ kN}$$

$$A = 9838 \text{ mm}^2$$

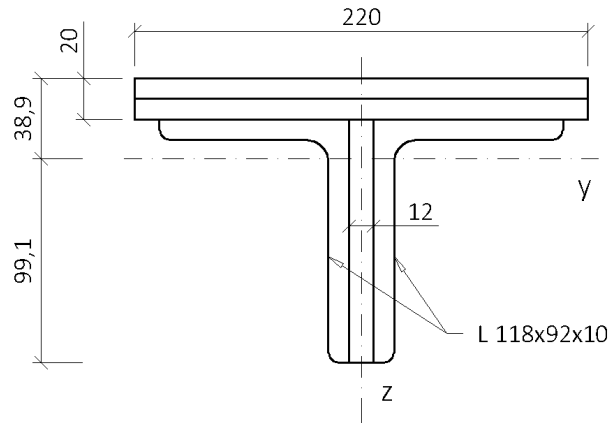
$$i_y = 38,4 \text{ mm}$$

$$L_{cr,y} = 2740 \text{ mm}$$

$$\alpha_{cr,z} = 4,47$$

Třída průřezu 3

Křivka vzpěrnosti b pro vybočení kolmo k ose y i ose z



Obr. 23 Průřez prutů H4 a H5

Vzpěr v rovině

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y \cdot \lambda_1} = \frac{L_{cr,y}}{i_y \cdot 93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{2740}{38,4 \cdot 93,9 \cdot 1} = 0,760$$

$$\chi_y = 0,749$$

Vzpěr z roviny

$$N_{cr,z} = \alpha_{cr,z} \cdot |N_{Ed}| = 4,47 \cdot 754,28 = 3371,63 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_{y,k}}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{9838 \cdot 235}{3371,63}} \cdot 10^{-3} = 0,828$$

$$\chi_z = 0,707$$

Není nutné posuzovat vliv vzpěru z roviny

Posouzení

$$\chi_{min} = \chi_y = 0,707$$

Kritické je vybočení prutu z roviny

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{min} \cdot A \cdot f_{y,k}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,707 \cdot 9838 \cdot 235}{1,10} \cdot 10^{-3} = 1485,90 \text{ kN}$$

$$\frac{|N_{Ed}|}{N_{b,Rd}} = \frac{754,28}{1485,90} = 0,508 < 1$$

VYHOVUJE

6.2 Dolní pás

Celý dolní pás hlavních nosníků je tažený. Posuzuje se únosnost neoslabeného průřezu a průřezu oslabeného otvory pro nýty. Vliv ohybových momentů je zanedbán.

1D vnitřní síly

Hodnoty: **N**

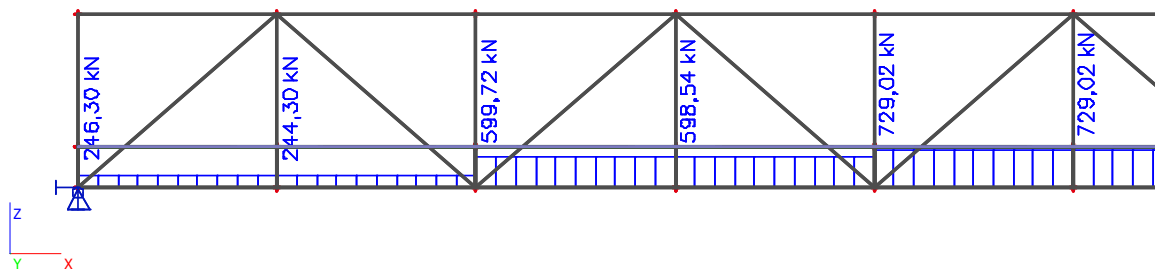
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ

Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Dílec

Výběr: Pojmenovaný výběr - HN -
dolní pás



Obr. 24 Průběh N na dolním pásu

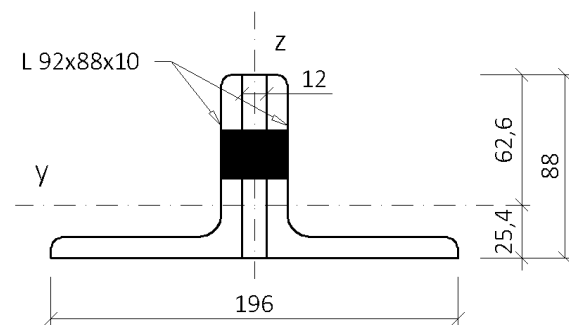
6.2.1 Pruty D1, D2

$$N_{Ed} = 246,30 \text{ kN}$$

$$A = 4478 \text{ mm}^2$$

$$A_{net} = 3742 \text{ mm}^2$$

$$d = 23 \text{ mm}$$



Obr. 25 Průřez prutů D1 a D2

Neoslabený průřez

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = \frac{4478 \cdot 235}{1,00} \cdot 10^{-3} = 1052,33 \text{ kN}$$

Oslabený průřez

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 3742 \cdot 360}{1,25} \cdot 10^{-3} = 969,93 \text{ kN}$$

Posouzení

$$N_{t,Rd} = \min(N_{pl,Rd}; N_{u,Rd}) = N_{u,Rd} = 969,93 \text{ kN}$$

Rozhoduje únosnost oslabeného průřezu

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{246,30}{969,93} = 0,254 < 1$$

VYHOVUJE

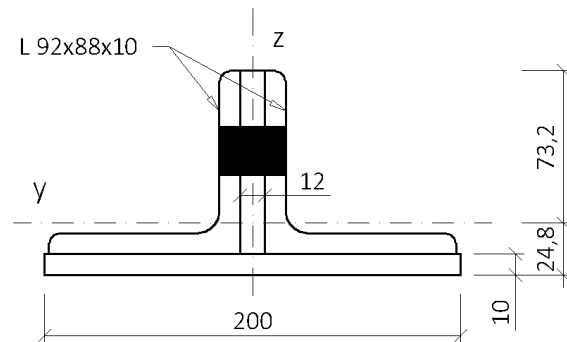
6.2.2 Prut D3, D4

$$N_{Ed} = 599,72 \text{ kN}$$

$$A = 6478 \text{ mm}^2$$

$$A_{net} = 4822 \text{ mm}^2$$

$$d = 23 \text{ mm}$$



Obr. 26 Průřez prutů D3 a D4

Neoslabený průřez

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = \frac{6478 \cdot 235}{1,00} \cdot 10^{-3} = 1522,33 \text{ kN}$$

Oslabený průřez

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 4822 \cdot 360}{1,25} \cdot 10^{-3} = 1249,86 \text{ kN}$$

Posouzení

$$N_{t,Rd} = \min(N_{pl,Rd}; N_{u,Rd}) = N_{u,Rd} = 1249,86 \text{ kN}$$

Rozhoduje únosnost oslabeného průřezu

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{599,72}{1249,86} = 0,480 < 1$$

VYHOVUJE

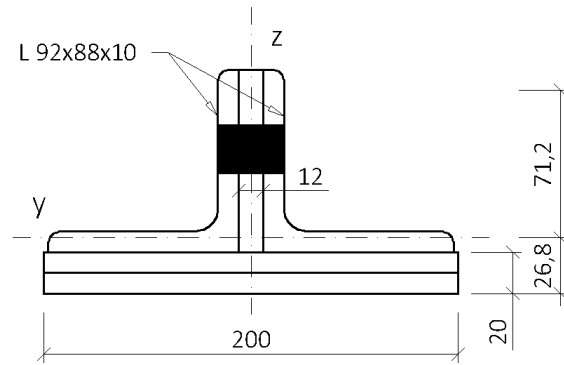
6.2.3 Prut D5

$$N_{Ed} = 729,02 \text{ kN}$$

$$A = 8478 \text{ mm}^2$$

$$A_{net} = 6362 \text{ mm}^2$$

$$d = 25 \text{ mm}$$



Obr. 27 Průřez prutu D5

Neoslabený průřez

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = \frac{8478 \cdot 235}{1,00} \cdot 10^{-3} = 1992,33 \text{ kN}$$

Oslabený průřez

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 6362 \cdot 360}{1,25} \cdot 10^{-3} = 1649,03 \text{ kN}$$

Posouzení

$$N_{t,Rd} = \min(N_{pl,Rd}; N_{u,Rd}) = N_{u,Rd} = 1649,03 \text{ kN}$$

Rozhoduje únosnost oslabeného průřezu

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{729,02}{1649,03} = 0,442 < 1$$

VYHOVUJE

6.3 Diagonály

Diagonály jsou posuzovány na tahové a tlakové normálové síly s vlivem vzpěru. Vzpěrné délky v obou směrech vybočení konzervativně odpovídají rozpětí prutů.

1D vnitřní síly

Hodnoty: **N**

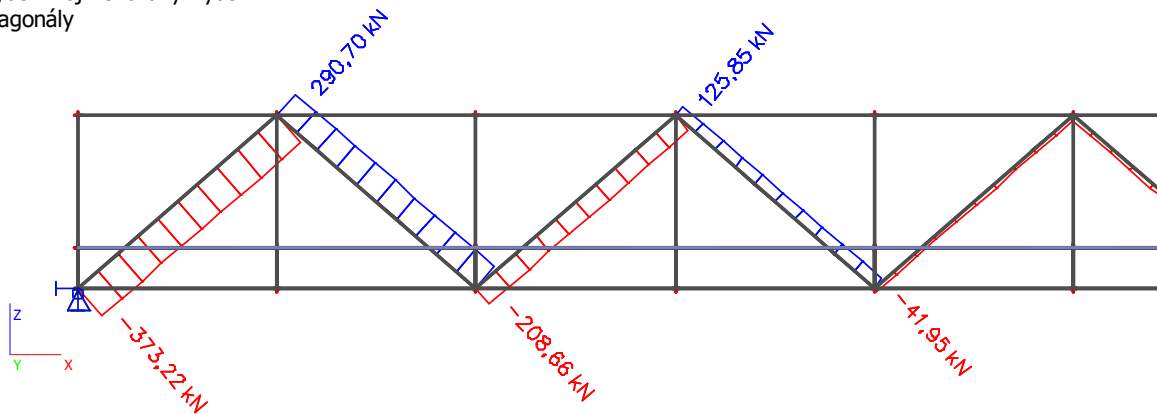
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ

Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Dílec

Výběr: Pojmenovaný výběr - HN -
diagonály



Obr. 28 Průběh N na diagonálách

6.3.1 Prut U1

$$N_{Ed} = -373,22 \text{ kN}$$

$$A = 6224 \text{ mm}^2$$

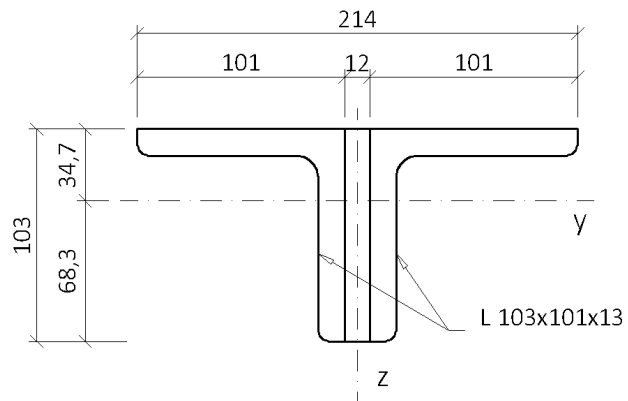
$$i_y = 32,0 \text{ mm}$$

$$i_z = 41,9 \text{ mm}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 3629 \text{ mm}$$

Třída průřezu 3

Křivka vzpěrnosti b pro vybočení
kolmo k ose y i ose z



Obr. 29 Průřez prutu U1

Vzpěr

Při stejných vzpěrných délkách rozhoduje poloměr setrvačnosti, proto je kritické vybočení v rovině

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y \cdot \lambda_1} = \frac{L_{cr,y}}{i_y \cdot 93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{3629}{32,0 \cdot 93,9 \cdot 1} = 1,208$$

$$\chi_y = 0,474$$

Posouzení

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_{y,k}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,474 \cdot 6224 \cdot 235}{1,10} \cdot 10^{-3} = 630,19 \text{ kN}$$

$$\frac{|N_{Ed}|}{N_{b,Rd}} = \frac{373,22}{630,19} = 0,592 < 1$$

VYHOVUJE

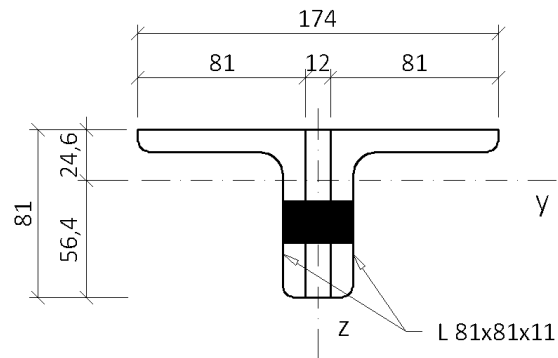
6.3.2 Prut U2

$$N_{Ed} = 290,70 \text{ kN}$$

$$A = 4305 \text{ mm}^2$$

$$A_{net} = 3625 \text{ mm}^2$$

$$d = 20 \text{ mm}$$



Obr. 30 Průřez prutu U2

Neoslabený průřez

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = \frac{6224 \cdot 235}{1,00} \cdot 10^{-3} = 1011,68 \text{ kN}$$

Oslabený průřez

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 3545 \cdot 360}{1,25} \cdot 10^{-3} = 939,60 \text{ kN}$$

Posouzení

$$N_{t,Rd} = \min(N_{pl,Rd}; N_{u,Rd}) = N_{u,Rd} = 939,60 \text{ kN}$$

Rozhoduje únosnost oslabeného průřezu

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{290,70}{939,60} = 0,309 < 1$$

VYHOVUJE

6.3.3 Prut U3

$$N_{Ed} = -208,66 \text{ kN}$$

$$A = 4305 \text{ mm}^2$$

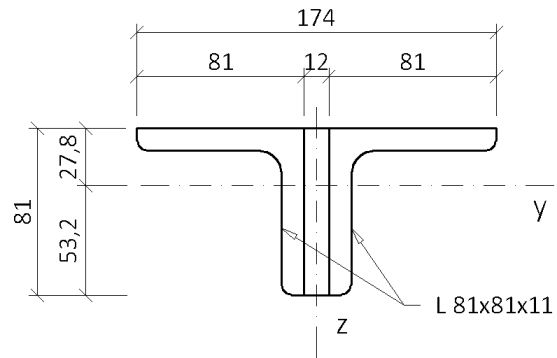
$$i_y = 25,1 \text{ mm}$$

$$i_z = 29,3 \text{ mm}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 3629 \text{ mm}$$

Třída průřezu 3

Křivka vzpěrnosti b pro vybočení kolmo k ose y i ose z



Obr. 31 Průřez prutu U3

Vzpěr

Při stejných vzpěrných délkách rozhoduje poloměr setrvačnosti, proto je kritické vybočení v rovině

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y \cdot \lambda_1} = \frac{L_{cr,y}}{i_y \cdot 93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{3629}{25,1 \cdot 93,9 \cdot 1} = 1,540$$

$$\chi_y = 0,328$$

Posouzení

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_{y,k}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,328 \cdot 4305 \cdot 235}{1,10} \cdot 10^{-3} = 301,67 \text{ kN}$$

$$\frac{|N_{Ed}|}{N_{b,Rd}} = \frac{208,66}{301,67} = 0,692 < 1$$

VYHOVUJE

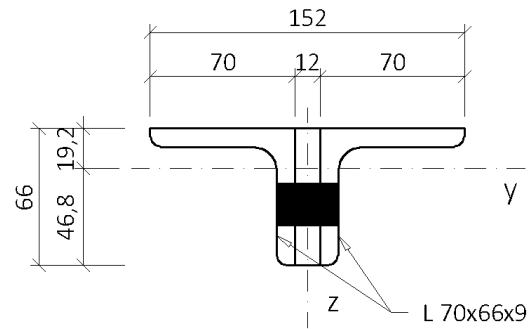
6.3.4 Prut U4

$$N_{Ed} = 125,85 \text{ kN}$$

$$A = 3100 \text{ mm}^2$$

$$A_{net} = 2500 \text{ mm}^2$$

$$d = 20 \text{ mm}$$



Obr. 32 Průřez prutu U4

Neoslabený průřez

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = \frac{3100 \cdot 235}{1,00} \cdot 10^{-3} = 728,50 \text{ kN}$$

Oslabený průřez

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 2500 \cdot 360}{1,25} \cdot 10^{-3} = 648,00 \text{ kN}$$

Posouzení

$$N_{t,Rd} = \min(N_{pl,Rd}; N_{u,Rd}) = N_{u,Rd} = 648,00 \text{ kN}$$

Rozhoduje únosnost oslabeného průřezu

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{125,85}{648,00} = 0,194 < 1$$

VYHOVUJE

6.3.5 Prut U5

$$N_{Ed} = -41,95 \text{ kN}$$

$$A = 2870 \text{ mm}^2$$

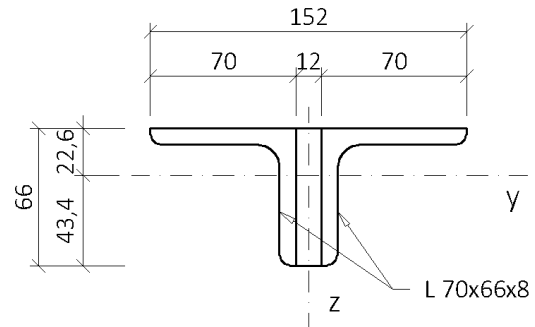
$$i_y = 20,5 \text{ mm}$$

$$i_z = 29,2 \text{ mm}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 3629 \text{ mm}$$

Třída průřezu 3

Křivka vzpěrnosti b pro vybočení kolmo k ose y i ose z



Obr. 33 Průřez prutu U5

Vzpěr

Při stejných vzpěrných délkách rozhoduje poloměr setrvačnosti, proto je kritické vybočení v rovině

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y \cdot \lambda_1} = \frac{L_{cr,y}}{i_y \cdot 93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{3629}{20,5 \cdot 93,9 \cdot 1} = 1,885$$

$$\chi_y = 0,233$$

Posouzení

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_{y,k}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,233 \cdot 2870 \cdot 235}{1,10} \cdot 10^{-3} = 142,57 \text{ kN}$$

$$\frac{|N_{Ed}|}{N_{b,Rd}} = \frac{41,95}{142,57} = 0,294 < 1$$

VYHOVUJE

6.4 Svislice

Primárním úkolem svislic není přenos vnitřních sil, ale zajištění stability horního pásu proti vybočení z roviny díky tuhosti tzv. příčných polorámů. Liché svislice jsou tlačené a sudé svislice tažené. Tlakové síly jsou minimální a budou při výpočtu zanedbány a posuzován bude pouze oslabený a neoslabený průřez na tahové síly.

1D vnitřní síly

Hodnoty: **N**

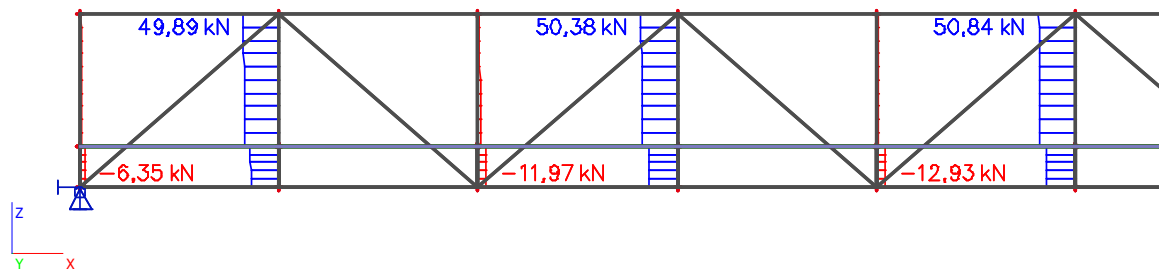
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ

Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Dílec

Výběr: Pojmenovaný výběr - HN - svislice



Obr. 34 Průběh N na svislicích

6.4.1 Pruty S1, S2 a S3

$$N_{Ed} = 49,89 \text{ kN}$$

$$A = 5395 \text{ mm}^2$$

$$A_{net} = 4255 \text{ mm}^2$$

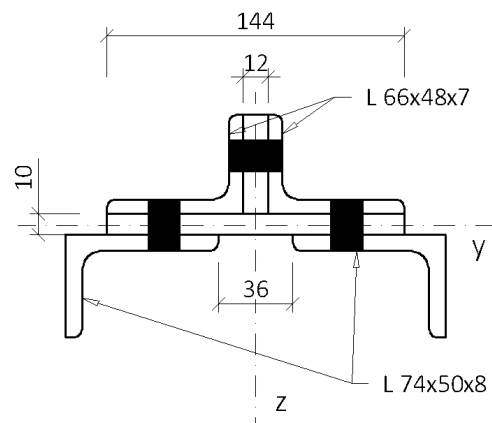
$$d = 15 \text{ mm}$$

Neoslabený průřez

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = \frac{5395 \cdot 235}{1,00} \cdot 10^{-3} = 1267,83 \text{ kN}$$

Oslabený průřez

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 4255 \cdot 360}{1,25} \cdot 10^{-3} = 1102,90 \text{ kN}$$



Obr. 35 Průřez prutů S1, S2 a S3

Posouzení

$$N_{t,Rd} = \min(N_{pl,Rd}; N_{u,Rd}) = N_{u,Rd} = 1102,90 \text{ kN}$$

Rozhoduje únosnost oslabeného průřezu

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{49,89}{1102,90} = 0,045 < 1$$

VYHOVUJE

6.4.2 Pruty S4, S5 a S6

$$N_{Ed} = 50,84 \text{ kN}$$

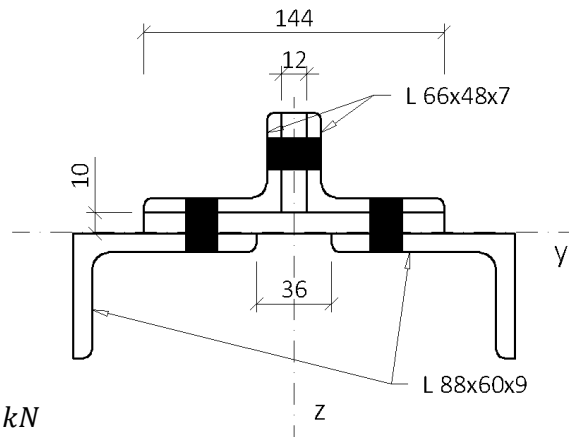
$$A = 6041 \text{ mm}^2$$

$$A_{net} = 4871 \text{ mm}^2$$

$$d = 15 \text{ mm}$$

Neoslabený průřez

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = \frac{6041 \cdot 235}{1,00} \cdot 10^{-3} = 1419,64 \text{ kN}$$



Obr. 36 Průřez prutů S4, S5 a S6

Oslabený průřez

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 4871 \cdot 360}{1,25} \cdot 10^{-3} = 1262,56 \text{ kN}$$

Posouzení

$$N_{t,Rd} = \min(N_{pl,Rd}; N_{u,Rd}) = N_{u,Rd} = 1262,56 \text{ kN}$$

Rozhoduje únosnost oslabeného průřezu

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{50,84}{1262,56} = 0,040 < 1$$

VYHOVUJE

7 PODÉLNÍKY

Podélníky jsou posouzeny na vliv ohybových momentů a smykových sil. Normálové síly jsou zanedbány, neboť na celkovém využití průřezu se podílejí pouze minimálně.

7.1 Vnitřní podélník

1D vnitřní síly

Hodnoty: V_z

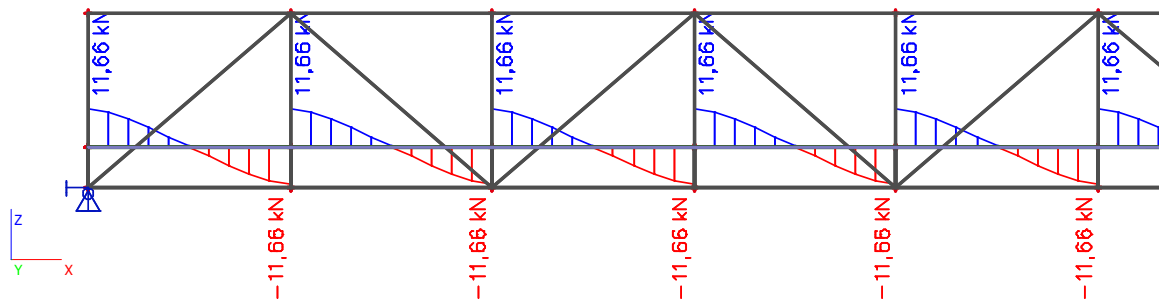
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ

Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Dílec

Výběr: Pojmenovaný výběr - Podélníky vnitřní



Obr. 37 Průběh V_z na vnitřních podélnících

1D vnitřní síly

Hodnoty: M_y

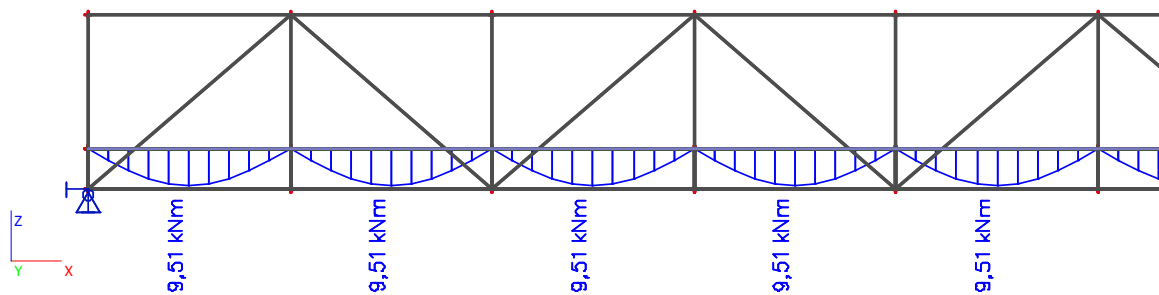
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ

Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Dílec

Výběr: Pojmenovaný výběr - Podélníky vnitřní



Obr. 38 Průběh M_y na vnitřních podélnících

Smyk

$$V_{Ed} = 11,66 \text{ kN}$$

$$h_w = 120 \text{ mm}$$

$$t_w = 6 \text{ mm}$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{120}{6} = 20 < 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \frac{1}{1} = 72$$

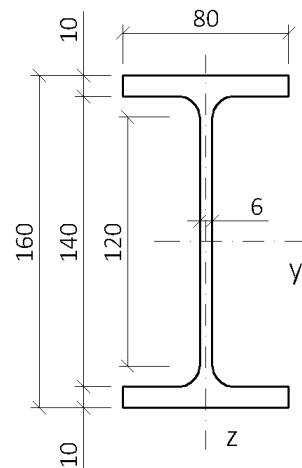
Není třeba ověřovat únosnost stojiny bez mezilehlých podpor při boulení

$$A_v = h_w \cdot t_w = 120 \cdot 6 = 720 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{720 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 97,69 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{11,66}{97,69} = 0,119 < 0,5$$

VYHOVUJE - jde o malý smyk, není nutné posuzovat vliv na ohybovou únosnost



Obr. 39 Průřez vnitřních podélníků

Ohyb

$$M_{Ed,y} = 9,51 \text{ kNm}$$

$$W_{pl,y} = 134840 \text{ mm}^3$$

Stojina - ohýbaná - posudek pro 1. třídu

$$\frac{c}{t} = \frac{120}{6} = 20 < 72\varepsilon = 72$$

Pásnice - tlačená - posudek pro 1. třídu

$$\frac{c}{t} = \frac{27}{10} = 2,7 < 9\varepsilon = 9$$

Průřez je 1. třídy

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = \frac{134840 \cdot 235}{1,00} \cdot 10^{-6} = 31,69 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{9,51}{31,69} = 0,300 < 1$$

VYHOVUJE

7.2 Krajiní podélník

1D vnitřní síly

Hodnoty: V_z

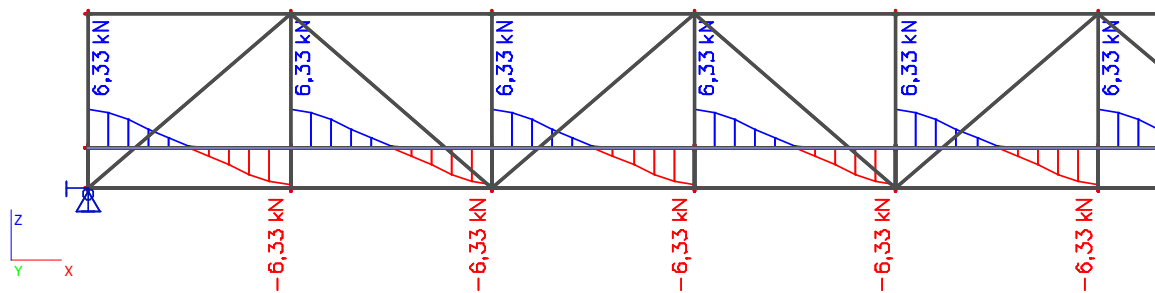
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ

Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Dílec

Výběr: Pojmenovaný výběr - Podélníky krajní



Obr. 40 Průběh V_z na krajních podélnících

1D vnitřní síly

Hodnoty: M_y

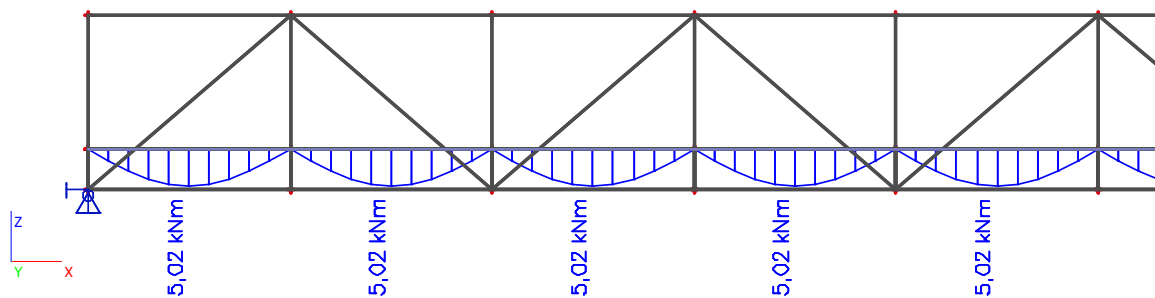
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ

Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Dílec

Výběr: Pojmenovaný výběr - Podélníky krajní



Obr. 41 Průběh M_y na krajních podélnících

Smyk

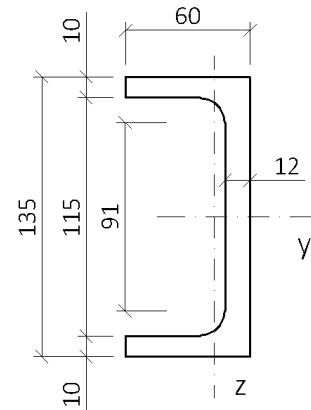
$$V_{Ed} = 6,33 \text{ kN}$$

$$h_w = 91 \text{ mm}$$

$$t_w = 12 \text{ mm}$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{91}{12} = 7,583 < 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \frac{1}{1} = 72$$

Není třeba ověřovat únosnost stojiny bez mezilehlých podpor při boulení



Obr. 42 Průřez krajních podélníků

$$A_v = h_w \cdot t_w = 91 \cdot 12 = 1092 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1092 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 148,16 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{6,33}{148,16} = 0,043 < 0,5$$

VYHOVUJE - jde o malý smyk, není nutné posuzovat vliv na ohybovou únosnost

Ohyb

$$M_{Ed,y} = 5,02 \text{ kNm}$$

$$W_{pl,y} = 118120 \text{ mm}^3$$

Stojina - ohýbaná - posudek pro 1. třídu

$$\frac{c}{t} = \frac{91}{12} = 7,583 < 72\varepsilon = 72$$

Pásnice - tlačená - posudek pro 1. třídu

$$\frac{c}{t} = \frac{36}{10} = 3,6 < 9\varepsilon = 9$$

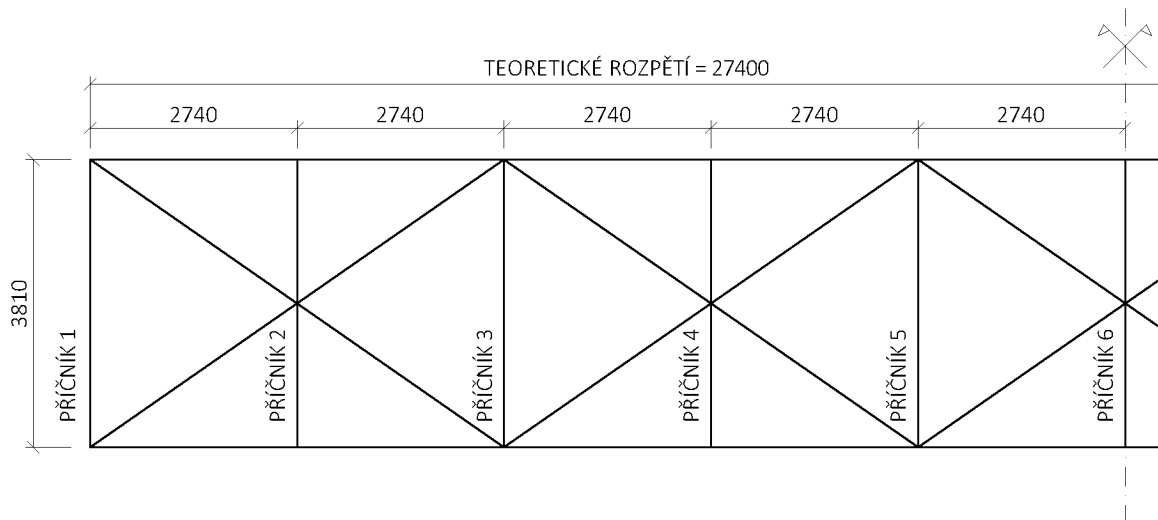
Průřez je 1. třídy

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = \frac{118120 \cdot 235}{1,00} \cdot 10^{-6} = 27,76 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{5,02}{27,76} = 0,181 < 1$$

VYHOVUJE

8 PŘÍČNÍK



Obr. 43 Schéma příčníků a ztužidel

8.1 Horní pás

Maximální normálové síly i ohybové momenty vznikají na příčniku 5

1D vnitřní síly

Hodnoty: **N**

Lineární výpočet

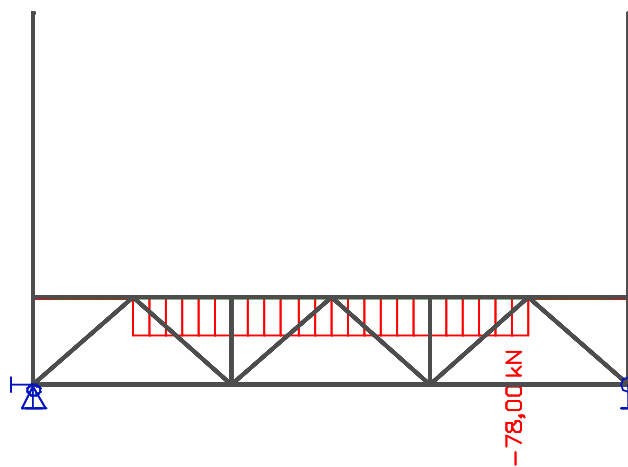
Kombinace: MSÚ

Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Dílec

Výběr: Pojmenovaný výběr - Příčnik 5

- Horní pás



Obr. 44 Průběh N na horním pásu příčniku 5

1D vnitřní síly

Hodnoty: M_y

Lineární výpočet

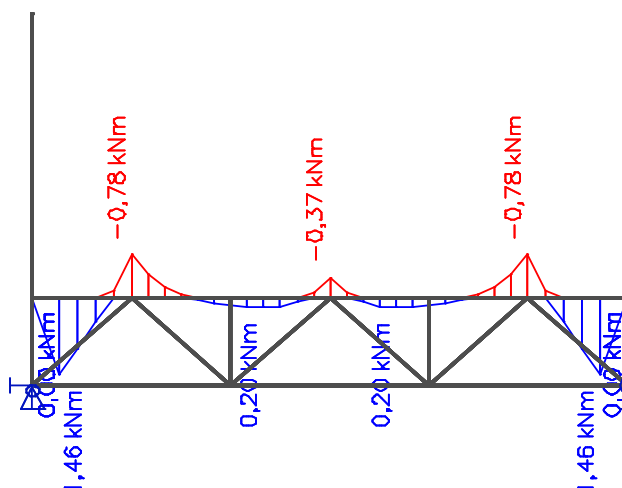
Kombinace: MSÚ

Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Lokální

Výběr: Pojmenovaný výběr - Příčník 5

- Horní pás



Obr. 45 Průběh M_y na horním pásu příčníku 5

$$N_{Ed} = -78,00 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed}^- = -0,37 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed}^+ = 0,20 \text{ kNm}$$

$$W_{el,y,h} = 13874 \text{ mm}^3$$

$$W_{el,y,d} = 5759 \text{ mm}^3$$

$$A = 1020 \text{ mm}^2$$

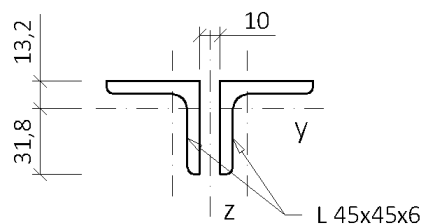
$$i_{ch,min} = 8,7 \text{ mm}$$

$$i_y = 13,4 \text{ mm}$$

$$L_{cr,y} = 635 \text{ mm}$$

Křivka vzpěrnosti b

Třída průřezu 3



Obr. 46 Průřez horního pásu

Pruty jsou spojené pouze ve styčnicích.

$$a_{spojek} = 635 \text{ mm} \leq 15i_{min} = 15 \cdot 8,7 = 130,5 \text{ mm}$$

NESPLŇUJE, Prut je při výpočtu uvažován jako členěný, neboť nesplňuje podmínky z tab. 6.9 normy ČSN EN 1993-1-1 pro posudek vzpěru jako pro celistvý prut. Jako kritické je předpokládáno vybočení kolmo ke hmotné ose y, vybočení kolmo k nehmotné ose z brání deska mostovky.

Vzpěr

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y \cdot \lambda_1} = \frac{L_{cr,y}}{i_y \cdot 93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{635}{13,4 \cdot 93,9 \cdot 1} = 0,505$$

$$\chi_y = 0,882$$

Klopení

Klopení průřezu je zanedbáno

$$\chi_{LT} = 1,0$$

Součinitele interakce

Součinitel je bezpečně stanoven pro nejhorší možný (konstantní) průběh momentů

$$\psi = 1,00$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4\psi = 0,6 + 0,4 \cdot 1,00 = 1,00$$

$$k_{yy} = \min \left(\begin{array}{c} C_{my} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \\ C_{my} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \end{array} \right) =$$
$$= \min \left(\begin{array}{c} 1,00 \left(1 + 0,6 \cdot 0,505 \frac{78,00}{0,882 \cdot 239,70 / 1,00} \right) \\ 1,00 \left(1 + 0,505 \frac{78,00}{0,882 \cdot 239,70 / 1,00} \right) \end{array} \right) = \min \left(\begin{array}{c} 1,112 \\ 1,221 \end{array} \right) = 1,112$$

Tlak + ohyb nad styčником

Nad styčником vzniká záporný moment, který vyvolá přídatný tlak od ohybu v dolních vláknech

$$N_{Rk} = A \cdot f_{y,k} = 1020 \cdot 235 \cdot 10^{-3} = 239,70 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{el,y,d} \cdot f_{y,k} = 5759 \cdot 235 \cdot 10^{-6} = 1,35 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}^-}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} = \frac{78,00}{0,882 \cdot 239,70} + 1,112 \frac{0,37}{1,0 \cdot 1,35} = 0,612 < 1$$

VYHOVUJE

Tlak + ohyb v poli

V poli vzniká kladný moment, který vyvolá přídatný tlak od ohybu v horních vláknech

$$N_{Rk} = A \cdot f_{y,k} = 1020 \cdot 235 \cdot 10^{-3} = 239,70 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{el,y,h} \cdot f_{y,k} = 13874 \cdot 235 \cdot 10^{-6} = 3,26 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}^-}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} = \frac{78,00}{0,882 \cdot 239,70} + 1,112 \frac{0,20}{1,0 \cdot 3,26} = 0,397 < 1$$

VYHOVUJE

8.2 Dolní pás

Kvůli působení vodorovného ztužidla v úrovni dolních pásů příčníků vznikají v každém lichém příčniku i tlakové síly. Proto bude spodní pás posuzován na kombinaci tahu a ohybu a na kombinaci tlaku a ohybu při vzpěru.

Největší tahové síly vznikají na příčniku 2

Největší tlakové síly vznikají na příčniku 5

8.2.1 Tažený dolní pás

1D vnitřní síly

Hodnoty: **N**

Lineární výpočet

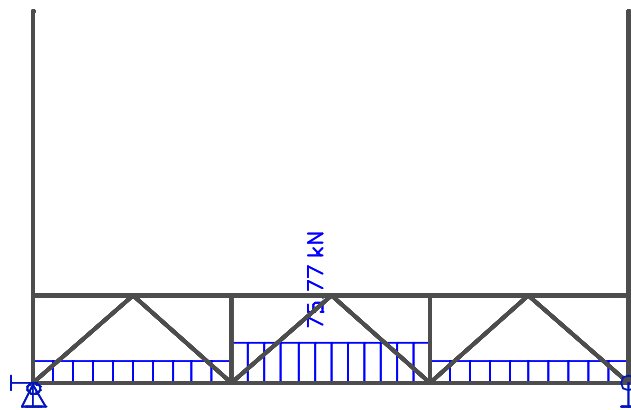
Kombinace: MSÚ

Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Dílec

Výběr: Pojmenovaný výběr - Příčnick 2

- Dolní pás



Obr. 47 Průběh N na dolním pásu příčnicku 2

1D vnitřní síly

Hodnoty: **M_y**

Lineární výpočet

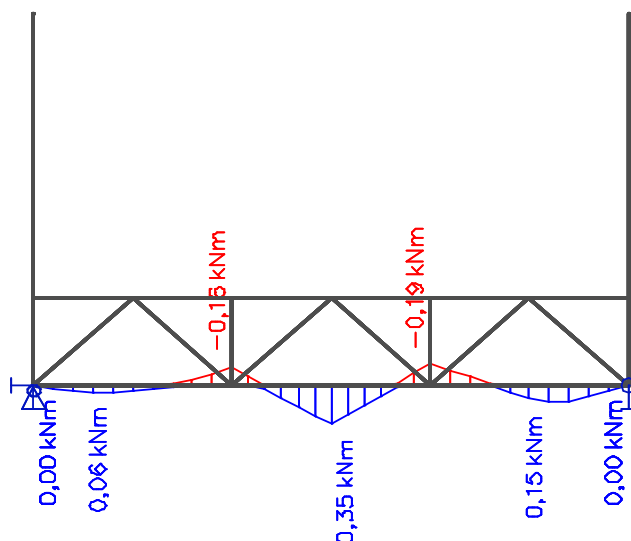
Kombinace: MSÚ

Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Lokální

Výběr: Pojmenovaný výběr - Příčnick 2

- Dolní pás



Obr. 48 Průběh M_y na dolním pásu příčnicku 2

$$N_{Ed} = 75,77 \text{ kN}$$

$$M_{Ed}^- = -0,19 \text{ kN}$$

$$M_{Ed}^+ = 0,35 \text{ kN}$$

$$W_{el,y,h} = 5759 \text{ mm}^3$$

$$W_{el,y,d} = 13874 \text{ mm}^3$$

$$A = 1020 \text{ mm}^2$$

$$A_{net} = 876 \text{ mm}^2$$

$$d = 12 \text{ mm}$$

Třída průřezu 3

Tah

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = \frac{1020 \cdot 235}{1,00} \cdot 10^{-3} = 239,70 \text{ kN}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 876 \cdot 360}{1,25} \cdot 10^{-3} = 227,06 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = \min(N_{pl,Rd}; N_{u,Rd}) = N_{u,Rd} = 211,43 \text{ kN}$$

Tah + ohyb nad styčnickem

Nad styčnickem vzniká záporný moment, který vyvolá přídavný tah od ohybu v horních vláknech

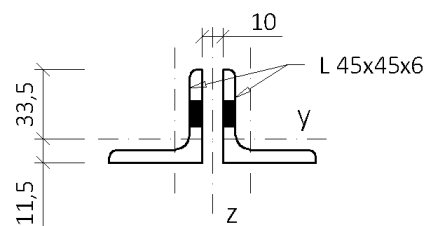
Je nutné uvažovat s oslabením tažené části průřezu dírami na nýty

$$W_{net,y,h} = 4888 \text{ mm}^3$$

$$M_{el,Rd} = \frac{W_{el,y,h} \cdot f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = \frac{4888 \cdot 235}{1,00} \cdot 10^{-6} = 1,15 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{|M_{Ed}^-|}{M_{el,Rd}} = \frac{75,77}{227,06} + \frac{0,19}{1,15} = 0,499 < 1$$

VYHOVUJE



Obr. 49 Průřez dolního pásu nad styčnickem

Tah + ohyb v poli

V poli vzniká kladný moment, který vyvolá přídatný tah od ohybu v dolních vláknech

$$\frac{A_{f,net} \cdot 0,9 \cdot f_{u,k}}{\gamma_{M2}} = \frac{389 \cdot 0,9 \cdot 360}{1,25} \cdot 10^{-3} = 100,83 \text{ kN} \geq \frac{A_f \cdot f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = \frac{533 \cdot 235}{1,00} \cdot 10^{-3} = 125,26 \text{ kN}$$

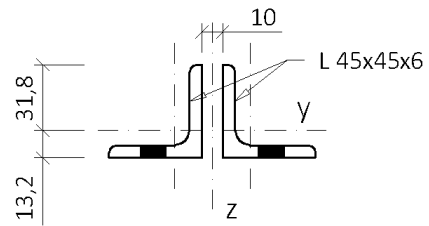
NESPLŇUJE, Je nutné uvažovat s oslabením tažené pásnice dírami na nýty

$$W_{net,y,d} = 11091 \text{ mm}^3$$

$$M_{el,Rd} = \frac{W_{net,y,d} \cdot f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = \frac{11091 \cdot 235}{1,00} \cdot 10^{-6} = 2,61 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} + \frac{|M_{Ed}^+|}{M_{el,Rd}} = \frac{75,77}{227,06} + \frac{0,35}{2,61} = 0,468 < 1$$

VYHOVUJE



Obr. 50 Průřez dolního pásu v poli

8.2.2 Tlačený dolní pás

1D vnitřní síly

Hodnoty: **N**

Lineární výpočet

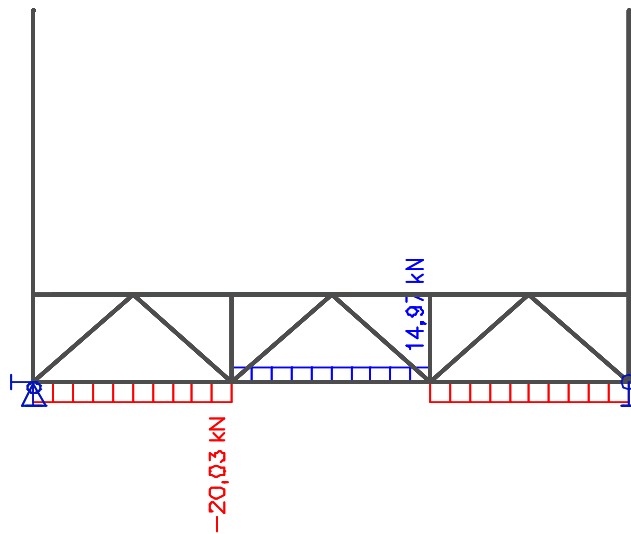
Kombinace: MSÚ

Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Dílec

Výběr: Pojmenovaný výběr - Příčník 5

- Dolní pás



Obr. 51 Průběh N na dolním pásu příčníku 5

1D vnitřní síly

Hodnoty: **M_y**

Lineární výpočet

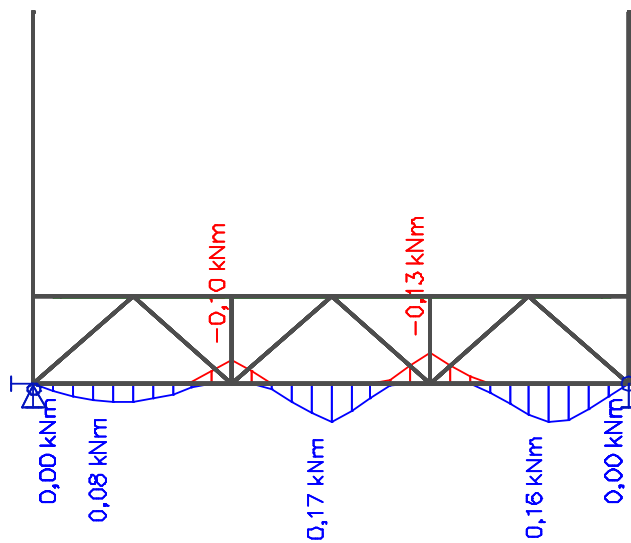
Kombinace: MSÚ

Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Lokální

Výběr: Pojmenovaný výběr - Příčník 5

- Dolní pás



Obr. 52 Průběh M_y na dolním pásu příčníku 5

$$N_{Ed} = -20,03 \text{ kN}$$

$$M_{Ed}^- = -0,13 \text{ kN}$$

$$M_{Ed}^+ = 0,16 \text{ kN}$$

$$W_{el,y,h} = 5759 \text{ mm}^3$$

$$W_{el,y,d} = 13874 \text{ mm}^3$$

$$A = 1020 \text{ mm}^2$$

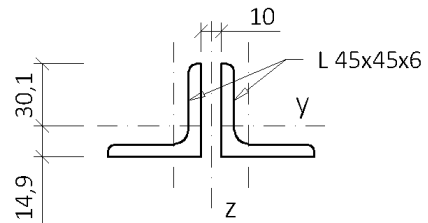
$$i_{ch,min} = 8,7 \text{ mm}$$

$$i_y = 13,4 \text{ mm}$$

$$L_{cr,y} = 1270 \text{ mm}$$

Křivka vzpěrnosti b

Třída průřezu 3



Obr. 53 Průřez dolního pásu

Spojky se nacházejí pouze v polovině rozpětí mezi styčníky

$$a_{spojek} = \frac{L}{2} = \frac{1270}{2} = 635 \text{ mm} \leq 15i_{min} = 15 \cdot 8,7 = 130,5 \text{ mm}$$

NESPLŇUJE, Prut je při výpočtu uvažován jako členěný, neboť nesplňuje podmínky z tab. 6.9 normy ČSN EN 1993-1-1 pro posudek vzpěru jako pro celistvý prut. Po dohodě s vedoucím práce je jako kritické vybočení uvažováno vybočení kolmo k hmotné ose y.

Vzpěr

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y \cdot \lambda_1} = \frac{L_{cr,y}}{i_y \cdot 93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{1270}{13,4 \cdot 93,9 \cdot 1} = 1,009$$

$$\chi_y = 0,591$$

Klopení

Klopení průřezu je zanedbáno

$$\chi_{LT} = 1,0$$

Součinitele interakce

Součinitel je bezpečně stanoven pro nejhorší možný (konstantní) průběh momentů

$$\psi = 1,00$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4\psi = 0,6 + 0,4 \cdot 1,00 = 1,00$$

$$k_{yy} = \min \left(C_{my} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \right. \\ \left. C_{my} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \right) = \\ = \min \left(1,00 \left(1 + 0,6 \cdot 1,009 \frac{20,03}{0,591 \cdot 239,70 / 1,00} \right) \right. \\ \left. 1,00 \left(1 + 1,009 \frac{20,03}{0,591 \cdot 239,70 / 1,00} \right) \right) = \min (1,086) = 1,085$$

Tlak + ohyb nad styčným

Nad styčným vzniká záporný moment, který vyvolá přídatný tlak od ohybu v dolních vláknech

$$N_{Rk} = A \cdot f_{y,k} = 1020 \cdot 235 \cdot 10^{-3} = 239,70 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{el,y,d} \cdot f_{y,k} = 13874 \cdot 235 \cdot 10^{-6} = 3,26 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}^-}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} = \frac{20,03}{\frac{0,591 \cdot 239,70}{1,10}} + 1,085 \frac{0,13}{\frac{1,0 \cdot 3,26}{1,10}} = 0,168 < 1$$

VYHOVUJE

Tlak + ohyb v poli

V poli vzniká kladný moment, který vyvolá přídatný tlak od ohybu v horních vláknech

$$N_{Rk} = A \cdot f_{y,k} = 1020 \cdot 235 \cdot 10^{-3} = 239,70 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{el,y,h} \cdot f_{y,k} = 5759 \cdot 235 \cdot 10^{-6} = 1,35 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}^-}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} = \frac{20,03}{\frac{0,591 \cdot 239,70}{1,10}} + 1,085 \frac{0,16}{\frac{1,0 \cdot 1,35}{1,10}} = 0,245 < 1$$

VYHOVUJE

8.3 Diagonály

8.3.1 Tažená diagonála

Maximální tahová síla vzniká v příčniku 2

1D vnitřní síly

Hodnoty: **N**

Lineární výpočet

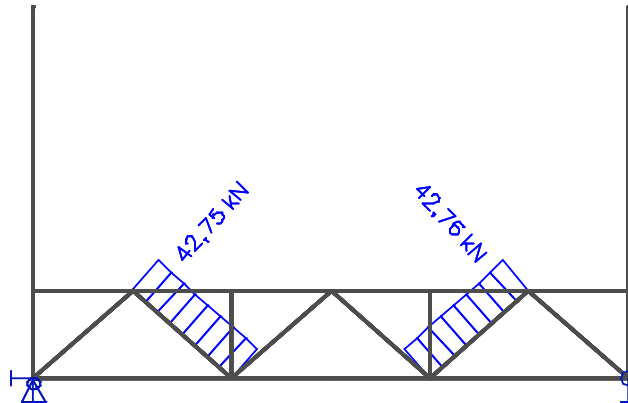
Kombinace: MSÚ

Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Dílec

Výběr: Pojmenovaný výběr - Příčnik 2

- Tažené diagonály



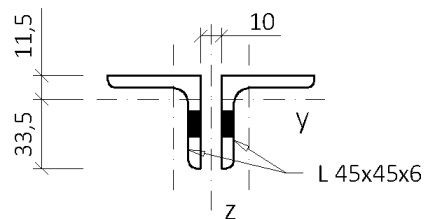
Obr. 54 Průběh N na tažených diagonálách příčniku 2

$$N_{Ed} = 42,76 \text{ kN}$$

$$A = 1020 \text{ mm}^2$$

$$A_{net} = 876 \text{ mm}^2$$

$$d = 12 \text{ mm}$$



Obr. 55 Průřez tlačných diagonál

Neoslabený průřez

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = \frac{1020 \cdot 235}{1,00} \cdot 10^{-3} = 239,70 \text{ kN}$$

Oslabený průřez

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 876 \cdot 360}{1,25} \cdot 10^{-3} = 227,06 \text{ kN}$$

Posouzení

$$N_{t,Rd} = \min(N_{pl,Rd}; N_{u,Rd}) = N_{u,Rd} = 227,06 \text{ kN}$$

Rozhoduje únosnost oslabeného průřezu

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{42,76}{227,06} = 0,188 < 1$$

VYHOVUJE

8.3.2 Tlačená diagonála

Maximální tlaková síla vzniká v příčniku 6

1D vnitřní síly

Hodnoty: **N**

Lineární výpočet

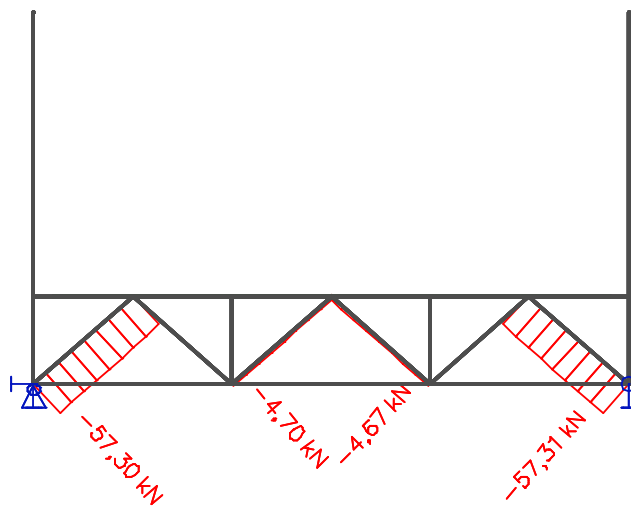
Kombinace: MSÚ

Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Dílec

Výběr: Pojmenovaný výběr - Příčnik 6

- Tlačené diagonály



Obr. 56 Průběh N na tlačných diagonálách příčniku 6

$$N_{Ed} = -57,31 \text{ kN}$$

$$A = 1020 \text{ mm}^2$$

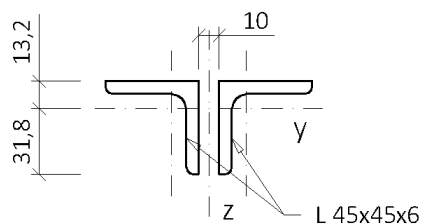
$$i_{ch,min} = 8,7 \text{ mm}$$

$$i_y = 13,4 \text{ mm}$$

$$L_{cr,y} = 849 \text{ mm}$$

Křivka vzpěrnosti b

Třída průřezu 3



Obr. 57 Průřez tlačných diagonál

Pruty jsou spojené pouze ve styčnicích.

$$a_{\text{spojek}} = 849 \text{ mm} \leq 15i_{\text{min}} = 15 \cdot 8,7 = 130,5 \text{ mm}$$

NESPLŇUJE, Prut je při výpočtu uvažován jako členěný, neboť nesplňuje podmínky z tab. 6.9 normy ČSN EN 1993-1-1 pro posudek vzpěru jako pro celistvý prut. Po dohodě s vedoucím je proveden orientačně proveden pouze posudek vybočení kolmo k hmotné ose y.

Vzpěr

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y \cdot \lambda_1} = \frac{L_{cr,y}}{i_y \cdot 93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{849}{13,4 \cdot 93,9 \cdot 1} = 0,675$$

$$\chi_y = 0,798$$

Posouzení

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_{y,k}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,798 \cdot 1020 \cdot 235}{1,10} \cdot 10^{-3} = 173,84 \text{ kN}$$

$$\frac{|N_{Ed}|}{N_{b,Rd}} = \frac{57,31}{173,84} = 0,330 < 1$$

VYHOVUJE

8.4 Svislice

1D vnitřní síly

Hodnoty: **N**

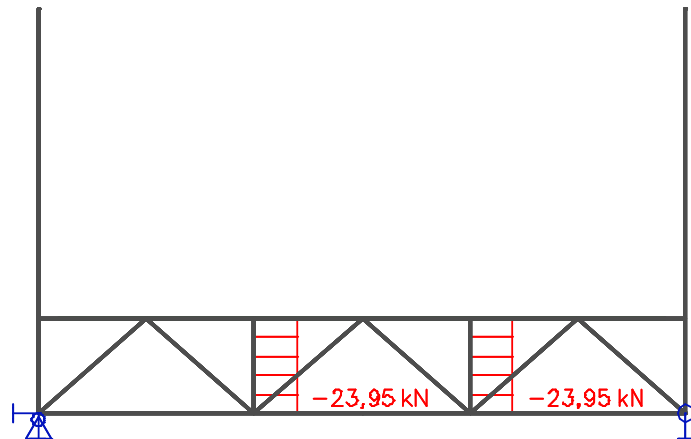
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ

Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Dílec

Výběr: Pojmenovaný výběr - Příčník 2
- Svislice



Obr. 58 Průběh N na svislicích příčníku 2

$$N_{Ed} = 23,95 \text{ kN}$$

$$A = 1020 \text{ mm}^2$$

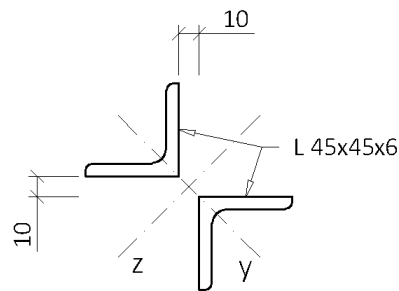
$$i_{ch,min} = 8,7 \text{ mm}$$

$$i_y = 16,9 \text{ mm}$$

$$L_{cr,y} = 564 \text{ mm}$$

Křivka vzpěrnosti b

Třída průřezu 3



Obr. 59 Průřez svislic

Dvojice spojek se nacházejí pouze v polovině rozpětí mezi styčníky.

$$a_{spojek} = \frac{L}{2} = \frac{564}{2} = 282 \text{ mm} \leq 70i_{min} = 70 \cdot 8,7 = 609 \text{ mm}$$

SPLŇUJE podmínky dle tab. 6.9 normy ČSN EN 1993-1-1 pro posudek vzpěru jako pro celistvý prut.

Vzpěr

Při stejných vzpěrných délkách rozhoduje poloměr setrvačnosti, proto je kritické vybočení kolmo k hmotné ose y.

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y \cdot \lambda_1} = \frac{L_{cr,y}}{i_y \cdot 93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{564}{16,9 \cdot 93,9 \cdot 1} = 0,355$$

$$\chi_y = 0,943$$

Posouzení

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_{y,k}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,943 \cdot 1020 \cdot 235}{1,10} \cdot 10^{-3} = 205,58 \text{ kN}$$

$$\frac{|N_{Ed}|}{N_{b,Rd}} = \frac{23,95}{205,58} = 0,117 < 1$$

VYHOVUJE

9 ZTUŽIDLA

1D vnitřní síly

Hodnoty: **N**

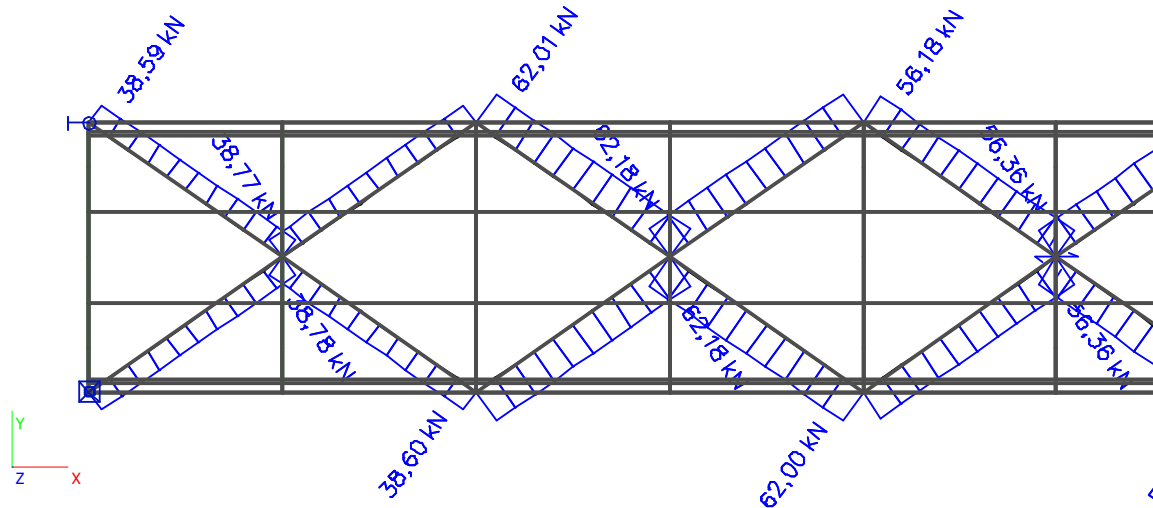
Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ

Souřadný systém: Dílec

Extrém 1D: Lokální

Výběr: Pojmenovaný výběr - Ztužidla



Obr. 60 Průběh N na ztužidlech

$$N_{Ed} = 62,16 \text{ kN}$$

$$A = 1020 \text{ mm}^2$$

$$A_{net} = 867 \text{ mm}^2$$

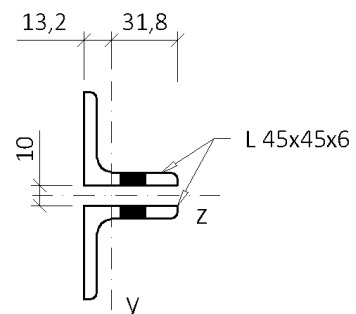
$$d = 12 \text{ mm}$$

Neoslabený průřez

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = \frac{1020 \cdot 235}{1,00} \cdot 10^{-3} = 239,70 \text{ kN}$$

Oslabený průřez

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 876 \cdot 360}{1,25} \cdot 10^{-3} = 227,06 \text{ kN}$$



Obr. 61 Průřez ztužidel

Posouzení

$$N_{t,Rd} = \min(N_{pl,Rd} ; N_{u,Rd}) = N_{u,Rd} = 227,06 \text{ kN}$$

Rozhoduje únosnost oslabeného průřezu

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{62,16}{227,06} = 0,274 < 1$$

VYHOVUJE

10 ZÁVĚR

Orientačním výpočtem byla ověřena únosnost základních prvků nosné konstrukce. Všechny prvky vyhověly, většina s využitím pod 50 %. Nejvíce využitým prvkem je tlakem namáhaná diagonála U3 hlavního nosníku při využití 69,2 %. Vzhledem k nízkému využití prvků lze předpokládat, že by konstrukce vyhověla i při podrobnějším posudku. Zvláštní pozornost by při podrobnějším posudku měla být věnována korozi oslabeným prvkům mostovky, které by mohly mít zásadní vliv na únosnost.

Obr. 62 Využití prvků hlavních nosníků

	prut	využití [%]
HLAVNÍ NOSNÍK	H1	25,0
	H2	46,2
	H3	46,3
	H4	50,8
	H5	50,8
	D1	25,4
	D2	25,2
	D3	48,0
	D4	47,9
	D5	44,2
	U1	59,2
	U2	30,9
	U3	69,2
	U4	19,4
	U5	29,4
	S1, S2, S3	4,5
	S4, S5, S6	4,0

Obr. 63 Využití ostatních nosných prvků

	prut	využití [%]
PŘÍČNÍK	Horní pás	61,2
	Dolní pás	49,9
	Tlačené diagonály	33,0
	Tažené diagonály	18,8
	Svislice	11,7
PODÉLNÍKY	Vnitřní	30,0
	Vnější	18,1
ZTUŽIDLA		27,4

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1	Poloha lávky [1]	7
Obr. 2	Schéma hlavních nosníků	8
Obr. 3	Pohled na lávku	9
Obr. 4	Detail styčnicku hlavního nosníku	9
Obr. 5	Detail uložení na krajní opěru	9
Obr. 7	Horní pás	10
Obr. 7	Dolní pás	10
Obr. 8	Svislice	10
Obr. 9	Podélníky	10
Obr. 10	Horní pás příčnicku	11
Obr. 11	Příčný řez v poli	11
Obr. 12	Pohled na prvky mostovky	12
Obr. 13	Označení příčnicků	13
Obr. 14	Detail obnažené výztuže desky	13
Obr. 15	Detail otvoru ve styčnickovém plechu příčnicku 20	13
Obr. 16	Detail horního pásu příčnicku 22	14
Obr. 17	Zamezení vjezdu vozidel	16
Obr. 18	Prostorový model	17
Obr. 19	Schéma prutů hlavního nosníku	18
Obr. 20	Průběh N na horním pásu	18
Obr. 21	13. vlastní tvar konstrukce	19
Obr. 22	Průřez prutů H2 a H3	19
Obr. 23	Průřez prutů H4 a H5	21
Obr. 24	Průběh N na dolním pásu	22
Obr. 25	Průřez prutů D1 a D2	22
Obr. 26	Průřez prutů D3 a D4	23
Obr. 27	Průřez prutu D5	24
Obr. 28	Průběh N na diagonálách	25
Obr. 29	Průřez prutu U1	25
Obr. 30	Průřez prutu U2	26
Obr. 31	Průřez prutu U3	27
Obr. 32	Průřez prutu U4	28
Obr. 33	Průřez prutu U5	29
Obr. 34	Průběh N na svislicích	30
Obr. 35	Průřez prutů S1, S2 a S3	30
Obr. 36	Průřez prutů S4, S5 a S6	31
Obr. 37	Průběh V_z na vnitřních podélnících	32
Obr. 38	Průběh M_y na vnitřních podélnících	32
Obr. 39	Průřez vnitřních podélníků	33
Obr. 40	Průběh V_z na krajních podélnících	34
Obr. 41	Průběh M_y na krajních podélnících	34
Obr. 42	Průřez krajních podélníků	35
Obr. 43	Schéma příčnicků a ztužidel	36
Obr. 44	Průběh N na horním pásu příčnicku 5	36
Obr. 45	Průběh M_y na horním pásu příčnicku 5	37
Obr. 46	Průřez horního pásu	37
Obr. 47	Průběh N na dolním pásu příčnicku 2	40
Obr. 48	Průběh M_y na dolním pásu příčnicku 2	40

Obr. 49	Průřez dolního pásu nad styčnickem	41
Obr. 50	Průřez dolního pásu v poli.....	42
Obr. 51	Průběh N na dolním pásu příčnicku 5.....	43
Obr. 52	Průběh M_y na dolním pásu příčnicku 5.....	43
Obr. 53	Průřez dolního pásu	44
Obr. 54	Průběh N na tažených diagonálách příčnicku 2.....	46
Obr. 55	Průřez tlačných diagonál.....	46
Obr. 56	Průběh N na tlačných diagonálách příčnicku 6.....	47
Obr. 57	Průřez tlačných diagonál.....	47
Obr. 58	Průběh N na svislicích příčnicku 2.....	49
Obr. 59	Průřez svislic	49
Obr. 60	Průběh N na ztužidlech	51
Obr. 61	Průřez ztužidel.....	51
Obr. 62	Využití prvků hlavních nosníků.....	53
Obr. 63	Využití ostatních nosných prvků.....	53

POUŽITÁ LITERATURA

1. *Mapy.cz* [online]. [cit. 17.05.2020]. Dostupné z: <https://mapy.cz>
2. *ENCYKLOPEDIÉ MOSTŮ -- PLZEŇ 1* [online]. [cit. 17.05.2020]. Dostupné z: <https://libri.cz/databaze/mosty/heslo.php?id=744>
3. ROTTER, Tomáš a Jiří STUDNIČKA. *Ocelové mosty*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-01-03410-0.
4. SOKOL, Zdeněk a František WALD. *Ocelové konstrukce: tabulky*. 3. vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2016. ISBN 978-80-01-06032-2.
5. ELIÁŠOVÁ, Martina. *Ocelové konstrukce 3: příklady*. V Praze: České vysoké učení technické, 2010. ISBN 978-80-01-04516-9.
6. ČSN EN 1991-2 ed. 2 (736203). *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou*. Praha: ÚNMZ, listopad 2015.
7. ČSN EN 1993-1-1 ed. 2 (731401). *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: ÚNMZ, červenec 2011.
8. ČSN EN 1993-2 (736205). *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 2: Ocelové mosty*. 1. vydání. Praha: ČNI, leden 2008.