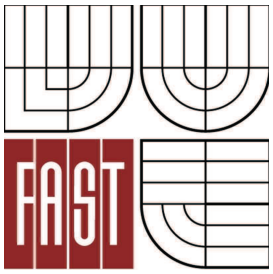


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

A – PRŮVODNÍ DOKUMENT

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE — BC. RADEK VLČEK
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — prof. Ing. MARCELA KARMAZÍNOVÁ, CSc.
SUPERVISOR

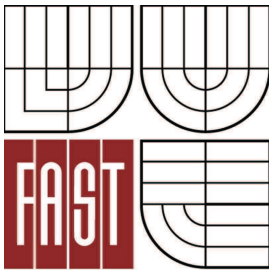
BRNO 2016

Obsah

001 Titulní list
002 Zadání VŠKP
003 Popisný soubor
004 Abstrakt, klíčová slova
005 Bibliografická citace
006 Prohlášení o původnosti VŠKP
007 Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP
008 Poděkování
009 Obsah práce
010 Seznam použité literatury
011 Seznam použitých zkratek a symbolů



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

OCELOVÁ KONSTRUKCE MOSTU NA POZEMNÍ KOMUNIKACI

STEEL STRUCTURE OF THE BRIDGE ON THE ROAD

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE — BC. RADEK VLČEK
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — prof. Ing. MARCELA KARMAZÍNOVÁ, CSc.
SUPERVISOR

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Radek Vlček
Název	Ocelová konstrukce mostu na pozemní komunikaci
Vedoucí diplomové práce	prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2015
Datum odevzdání diplomové práce	15. 1. 2016

V Brně dne 31. 3. 2015

.....	.....
prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.	prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Vedoucí ústavu	Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

1. Základní údaje o mostní konstrukci - délkové parametry a šířkové uspořádání
2. Evropské technické normy pro zatížení a navrhování ocelových konstrukcí a mostů
3. Literatura podle pokynů vedoucí diplomové práce

Zásady pro vypracování

Vypracujte statický a konstrukční návrh nosné ocelové konstrukce mostu, převádějícího pozemní komunikaci přes vodoteč v lokalitě poblíž města Olomouc. Šířkové uspořádání je dáno parametry silnice S 9,5/80 s oboustranným chodníkem. Most má 3 pole o rozpětích 31 + 74 + 31 m. V rámci zpracování variantních návrhů zvažte možnost použití obloukové konstrukce ve středním poli.
Vypracujte technickou zprávu, statický výpočet, varianty řešení a výkresovou dokumentaci v rozsahu podle pokynů vedoucí diplomové práce.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

.....

prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.
Vedoucí diplomové práce

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Vedoucí práce	prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.
Autor práce	Bc. Radek Vlček
Škola	Vysoké učení technické v Brně
Fakulta	Stavební
Ústav	Ústav kovových a dřevěných konstrukcí
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Název práce	Ocelová konstrukce mostu na pozemní komunikaci
Název práce v anglickém jazyce	Steel structure of the bridge on the road
Typ práce	Diplomová práce
Přidělovaný titul	Ing.
Jazyk práce	Čeština
Datový formát elektronické verze	

Anotace práce Náplní diplomové práce je návrh ocelové nosné konstrukce mostu o rozpětí 31+74+31m s dolní mostovkou převádějící silnici II. třídy v oblasti města Olomouc. Mostovka je tvořená ocelobetonovou deskou spřaženou s příčníky. Řešení bylo zaměřeno na použití obloukové konstrukce ve střední části mostu s různým nakloněním oblouků vůči vodorovné středové ose mostu. V rámci řešení byly vypočítány čtyři varianty. Nejvýhodnější z nich byla vybrána a detailněji zpracována. Výpočty jsou zpracovány podle platných normativů ČSN EN.

Anotace práce v anglickém jazyce The content of the thesis is a proposal of steel load-bearing structure (carrying structure of a steel) bridge of the span of 31+74+31m with the bottom bridge deck taking over the second-class road in the territory of Olomouc city. The bridge deck is created by composite steel-concrete slab with crossbars. The solution was focused on using arched construction in the middle of the bridge with different tilt of arches to the horizontal

central axis of the bridge. Under the term of the solution four alternatives have been calculated. The most optimal solution was selected and processed in detail. The calculations were made in compliance with the Czech technical norms ČSN EN.

Klíčová slova nosná konstrukce, ocel, obloukový most, silniční most, nakloněný oblouk, spřažená ocelobetonová deska, dolní mostovka, silnice II. třídy

Klíčová slova v anglickém jazyce load-bearing structure, steel, arched bridge, road bridge, inclined arch, composite steel-concrete slab, bottom bridge deck, second-class road

Abstrakt
Náplní diplomové práce je návrh ocelové nosné konstrukce mostu o rozpětí 31+74+31m s dolní mostovkou převádějící silnici II. třídy v oblasti města Olomouc. Mostovka je tvořená ocelobetonovou deskou spřaženou s příčníky. Řešení bylo zaměřeno na použití obloukové konstrukce ve střední části mostu s různým nakloněním oblouků vůči vodorovné středové ose mostu. V rámci řešení byly vypočítány čtyři varianty. Nejvýhodnější z nich byla vybrána a detailněji zpracována. Výpočty jsou zpracovány podle platných normativů ČSN EN.

Klíčová slova
nosná konstrukce, ocel, obloukový most, silniční most, nakloněný oblouk, spřažená ocelobetonová deska, dolní mostovka, silnice II. třídy

Abstract
The content of the thesis is a proposal of steel load-bearing structure (carrying structure of a steel) bridge of the span of 31+74+31m with the bottom bridge deck taking over the second-class road in the territory of Olomouc city. The bridge deck is created by composite steel-concrete slab with crossbars. The solution was focused on using arched construction in the middle of the bridge with different tilt of arches to the horizontal central axis of the bridge. Under the term of the solution four alternatives have been calculated. The most optimal solution was selected and processed in detail. The calculations were made in compliance with the Czech technical norms ČSN EN.

Keywords
load-bearing structure, steel, arched bridge, road bridge, inclined arch, composite steel-concrete slab, bottom bridge deck, second-class road

…

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Radek Vlček *Ocelová konstrukce mostu na pozemní komunikaci.* Brno, 2016. 139 s., 85 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 14.1.2016

……

podpis autora
Bc. Radek Vlček

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

Prohlášení:

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

V Brně dne 14.1.2016

……

podpis autora
Bc. Radek Vlček

Poděkování:

Rád bych touto cestou poděkoval prof. Ing. Marcele Karmazínové, CSc. za odborné vedení, poskytnuté rady, za vstřícné a ochotné jednání při konzultacích.
Dále děkuji své rodině za podporu a zázemí, kterou mi po celou dobu studia poskytovala.

Bc. Radek Vlček

Obsah práce

A – Průvodní dokument

001 Titulní list
002 Zadání VŠKP
003 Popisný soubor
004 Abstrakt, klíčová slova
005 Bibliografická citace
006 Prohlášení o původnosti VŠKP
007 Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP
008 Poděkování
009 Obsah práce
010 Seznam použité literatury
011 Seznam použitých zkratek a symbolů

B – Technická zpráva

C – Posouzení variant

D – Statický výpočet

E – Programové řešení variant

F – Výkresová dokumentace

001 Půdorys OK
002 Podélný řez OK
003 Příčné řezy v poli
004 Příčné řezy nad podporou
005 Detaily OK

Seznam použité literatury

[1] ČSN EN 1991-1-1 Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb

[2] ČSN EN 1991-2 Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů dopravou + ZMĚNA Z3

[3] ČSN EN 1991-1-4 Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem

[4] ČSN EN 1991-1-5 Zatížení konstrukcí – Část 1-5: Obecná zatížení – Zatížení teplotou

[5] ČSN EN 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

[6] ČSN EN 1994-1-1 Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

[7] ČSN EN 1993-2 Navrhování ocelových konstrukcí – Část 2: Ocelové mosty

[8] ČSN EN 1994-2 Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí - Část 2: Obecná pravidla a pravidla pro mosty

[9] ČSN EN 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

[10] ČSN EN 1993-1-9 Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-9: Únava

[11] ČSN EN 1993-1-5 Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-5: Obecná pravidla – doplňující pravidla pro rovinné deskostěnové konstrukce bez příčného zatížení

[12] Ocelové konstrukce 20 – Zatížení staveb podle Eurokódu, 2005, Studnička, Holický

[13] Ocelové konstrukce 30 – Ocelové mosty, pomůcka do cvičení, 1999, Studnička, Rotter

[14] Prvky ocelových konstrukcí 2 – Ocelobetonové konstrukce, 2000, Studnička

[15] Pružnost a plasticita 1, 1999, Šmiřák

[16] Navrhování betonových konstrukcí – Prvky z prostého a železového betonu, 2005, Procházka, Štěpánek, Krátký, Kohoutková, Vašková

[17] Firemní materiály firmy MACALLOY, www.macalloy.com

[18] Firemní materiály firmy MAGEBA, www.mageba-group.com

[19] PECHAL, Antonín. MOSTY: Zpráva o konstrukci a architektuře některých českých mostů, 2009

Seznam použitých zkratek a symbolů

Velká písmena

A průřezová plocha
$A_{s,min}$ minimální plocha výztuže
$A_{s,max}$ maximální plocha výztuže
A_s plocha výztuže
A_c plocha betonu
A_w průřezová plocha stojiny
C_{dir} součinitel směru
C_e součinitel expozice
C_{mLT} součinitel ekvivalentního konstantního momentu
C_{my} součinitel ekvivalentního konstantního momentu
$C_0(z)$ součinitel orografie
$C_{pe,10}$ součinitel tlaku
$C_r(z)$ součinitel drsnosti
C_{season} součinitel ročního období
Ct tepelný součinitel
F_{Ed} návrhová působící síla
E modul pružnosti v tahu, tlaku
E_{cm} modul pružnosti
G modul pružnosti ve smyku
I_t moment setrvačnosti v kroucení
$I_v(z)$ intenzita turbulence
I_w výsečový moment setrvačnosti
I_y moment setrvačnosti průřezu k ose y
I_z moment setrvačnosti průřezu k ose z
L délka svaru
$L_{cr,T}$ vzpěrná délka při vybočení zkroucením
$L_{cr,y}$ kritická vzpěrná délka kolmo k ose y
$L_{cr,z}$ kritická vzpěrná délka kolmo k ose z
L_{min} minimální délka svaru
$M_{c,Rd}$ vrhová únosnost v ohybu
M_{Ed} návrhový ohybový moment
$M_{el,Rd}$ návrhová elastická momentová únosnost
M_{Rk} charakteristická únosnost rozhodujícího průřezu v ohybu
$N_{b,Rd}$ vzpěrná únosnost
N_{cr} kritická síla
$N_{cr,y}$ pružná kritická síla při rovinném vzpěru k ose y
$N_{cr,z}$ pružná kritická síla při rovinném vzpěru k ose z
N_{Ed} návrhová hodnota osové síly
$N_{pl,Rd}$ návrhová únosnost neoslabeného průřezu
N_R počet cyklů do porušení
N_{Rk} charakteristická únosnost rozhodujícího průřezu při působení osové síly
$N_{t,Rd}$ návrhová únosnost v tahu
$V_{E,d}$ návrhová smyková síla
$V_{pl,Rd}$ plastická smyková únosnost

$W_{el,y}$ elastický modul průřezu k ose z
$W_{el,z}$ elastický průřezový modul k ose z
$W_{pl,y}$ plastický modul průřezu k ose y
$W_{pl,z}$ plastický průřezový modul k ose z

Malá písmena

a účinná výška svaru
b šířka průřezu
d hloubka konstrukce (délka povrchu rovnoběžného se směrem větru)
d výška rovné části stojiny
d jmenovitý průměr šroubu
e excentricita normálové síly
f_{cd} výpočtová hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku
f_{ck} charakteristická hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku
f_y mez kluzu
f_u mez pevnosti
f_{ub} mez pevnosti materiálu šroubu
h výška průřezu
h výška konstrukce
i_0 polární poloměr setrvačnosti
i_y poloměr setrvačnosti k ose y
i_z poloměr setrvačnosti k ose z
k_r součinitel terénu
k_w součinitel vzpěrné délky
k_{yy} součinitel interakce
k_{yz} součinitel interakce
k_z součinitel vzpěrné délky
k_{zy} součinitel interakce
k_{zz} součinitel interakce
k_τ součinitel napětí
l_{eff} efektivní délka
$q_p(z)$ maximální hodnota dynamického tlaku větru
s charakteristická hodnota zatížení sněhem (rovnoměrné spojité zatížení)
s_k základní tíha sněhu
t tloušťka
u průhyb
u_{max} maximální hodnota průhybu
$v_{b,0}$ výchozí hodnota základní rychlosti větru
v_m střední rychlost větru
w tlak větru (rovnoměrné spojité zatížení)
z_0 parametr drsnosti terénu
$z_{0,II}$ parametr drsnosti terénu
z výška nad zemí
z_{min} minimální výška

Velká řecká písmena

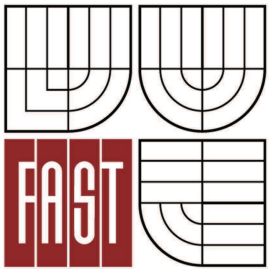
Φ hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti
Φ průměr
Φ_{LT} hodnota pro výpočet součinitele klopení

Malá řecká písmena

α součinitel
α_1 součinitel imperfekce
α_{LT} součinitel imperfekce pro klopení
β součinitel vzpěrné délky
β_W korelační součinitel pro svary závislý na druhu oceli
γ_{M1} dílčí součinitel spolehlivosti materiálu
γ_{M2} dílčí součinitel spolehlivosti pro spoje
ε součinitel závisející na f_y
κ_{wt} bezrozměrný parametr kroucení
λ štíhlost
λ_y štíhlost k ose y
λ_z štíhlost k ose z
λ_T poměrná štíhlost při klopení
λ poměrná štíhlost při vybočení zkroucením
λ_w poměrná štíhlost stěny
λ_y poměrná štíhlost k ose y
λ_z poměrná štíhlost k ose z
μ_{cr} bezrozměrný kritický moment
μ_i tvarový součinitel zatížení sněhem
π Ludolfovo číslo
ρ měrná hmotnost vzduchu
τ smykové napětí
ν poissonův součinitel
χ_{LT} součinitel klopení
χ_T součinitel vzpěrnosti při prostorovém vzpěru
χ_y součinitel vzpěrnosti při rovinném vzpěru k ose y
χ_z součinitel vzpěrnosti při rovinném vzpěru k ose z



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

B – TECHNICKÁ ZPRÁVA

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE — BC. RADEK VLČEK
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — prof. Ing. MARCELA KARMAZÍNOVÁ, CSc.
SUPERVISOR

BRNO 2016

Obsah

1. Úvod ... 3
2. Základní údaje ... 3
2.1. Identifikační údaje mostu ... 3
2.2. Charakteristika mostu ... 3
2.3. Základní údaje o mostě ... 4
2.4. Šířkové uspořádání vozovky na mostě ... 4
2.5. Skladba vozovky ... 4
3. Charakter překážky a převáděné komunikace ... 5
4. Zdůvodnění stavby mostu ... 5
5. Geologické podmínky ... 5
6. Prostorové určení objektu ... 5
7. Technické řešení mostu ... 5
7.1. Zemní práce ... 5
7.2. Spodní stavba ... 5
7.3. Úprava koryta řeky ... 5
7.4. Základní prvky nosné konstrukce ... 6
7.4.1. Hlavní nosník – trám ... 6
7.4.2. Oblouk a zavětrování ... 6
7.4.3. Mostovka ... 6
7.4.4. Ložiska ... 7
7.4.5. Mostní závěry ... 7
7.5. Příslušenství mostu ... 7
7.5.1. Vozovka ... 7
7.5.2. Římsy ... 8
7.5.3. Záchytné a bezpečnostní vybavení ... 8
7.5.4. Odvodnění ... 8
7.6. Revize a prohlídky ... 8
7.7. Protikorozní ochrana ... 8
7.8. Zatěžovací zkouška ... 8
7.9. Údržba konstrukce ... 9
7.10. Postup výstavby ... 9

8. Výpočet 9
9. Výkaz materiálů 10
10. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 11

1. Úvod

Předmětem zadání diplomové práce je navrhnout ocelovou konstrukci mostu převádějícího pozemní komunikaci přes vodoteč. Jedná se o ocelový most s dolní mostovkou a oboustranným chodníkem převádějící silnici II. třídy přes řeku Moravu na trase Nové Sady (Olomouc)-Holice (Olomouc). Řešení bylo zaměřeno na použití obloukové konstrukce ve střední části mostu s různým nakloněním oblouků vůči vodorovné středové ose mostu. Předpokladem bylo zachování rozpětí jednotlivých polí 31 m + 74 m + 31 m.
Při variantním řešení byly vytvořeny celkově čtyři varianty (viz. příloha Posouzení variant).
Varianta B byla vybrána pro detailní zpracování, a proto se v technické zprávě zaměřuji na její řešení.

2. Základní údaje

2.1. Identifikační údaje mostu

Stavba	Most ev. č. 23 přes řeku Moravu
Charakter stavby	Novostavba
Katastrální území	Nové Sady – Olomouc (500496)
Město	Olomouc
Kraj	Olomoucký
Správce stavby	Správa silnic Olomouckého kraje
Pozemní komunikace	Silnice II/570
Zadavatel	VUT v Brně-Ústav kovových a dřevěných konstrukcí
Úhel křížení	90°

2.2. Charakteristika mostu

Silniční most převádí pozemní komunikaci kategorie S9,5/80 přes řeku Moravu. Nový most bude situován v místě původního mostu. Nový mostní objekt bude mít dle ČSN 6200 (Mostní názvosloví) tyto charakteristiky:

Most na pozemní komunikaci, nepohyblivý, nad vodotečí, o třech polích, jednopodlažní, s železobetonovou mostovkou, trvalý, v přímé, ocelový, kolmý, obloukový, s dolní mostovkou.

2.3. Základní údaje o mostě

Délka mostu	144,7 m
Teoretické rozpětí	136 m
Délka přemostění	134,4 m
Šířka mezi obrubami	9,5 m
Chodníky	oboustranné 1,5 m
Stavební výška	1,38 m
Volná výška nad vozovkou	8,47 m
Výška nivelety nad dnem řeky	11,88 m

2.4. Šířkové uspořádání vozovky na mostě

Jízdní pruhy	2x4,50 m = 9,0 m
Vodící proužky	2x0,25 m = 0,5 m
Volná šířka mezi svodidly	9,50 m

2.5. Skladba vozovky

Asfaltový beton pro obrusné vrstvy	40mm
Spojovací postřik z mod. Emulze	
Asfaltový beton pro ložní vrstvy	50 mm
Izolace asfaltovými pásy	10 mm
ŽB. deska (C 30/37)	250mm

3. Charakter překážky a převáděné komunikace

Řeka Morava je významným tokem a protéká městem Olomouc. Výstavba bude provedena v extravilánu města Olomouc, přesněji mezi částmi Nové sady (Olomouc) – Holice (Olomouc). Spodní hrana ocelové konstrukce převyšuje hladinu stoleté vody Q_{100} o 5,119 m.

Převáděná komunikace silnice II/570 je na mostě směrově v přímé. Šířkové uspořádání odpovídá S9,5/80 s oboustranným chodníkem.

4. Zdůvodnění stavby mostu

Nová mostní konstrukce má nahradit stávající konstrukci, která neodpovídána platným technickým normám a z hlediska dopravní obslužnosti představuje závadu.

5. Geologické podmínky

Geologické podmínky pro vypracování diplomové práce nejsou známy. Řešení spodní stavby mostu není součástí projektu.

6. Prostorové určení objektu

Vytyčení opěr a pilot bude provedeno v souřadném systému S-JTSK a výškového systému BPV.

7. Technické řešení mostu

7.1. Zemní práce

Výkop zeminy pro založení konstrukce bude proveden se zajištěním svahů a srovnání terénu pro snadný přístup vrtné soupravy. Při zakládání v místě pilířů, kde je hladina řeky nad úrovní základové spáry, musí být provedeno opatření pro zajištění možnosti práce.

7.2. Spodní stavba

Mostní konstrukce je uložena na dvou železobetonových pilířích a dvou železobetonových opěrách se zavěšenými křídly. Návrh spodní stavby není součástí projektu.

7.3. Úprava koryta řeky

Svahy koryta řeky pod mostem budou zpevněny pomocí kamenné dlažby tl. 250 mm, která bude kladena do podkladního betonu tl. 100 mm. Dlažba bude osazena do základové patky v patě svahu koryta.

7.4. Základní prvky nosné konstrukce

7.4.1. Hlavní nosník – trám

Základním nosným prvkem je dvojice spojitých plnostěnných svařovaných trámů ve tvaru I o výšce 2100 mm. Horní a dolní pásnice mají šířku 700 mm a tloušťku 40 mm. Stojina má tloušťku 25mm. Osová vzdálenost hlavních nosníku je 15,25 m. Teoretické rozpětí hlavních nosníků je 136m. Celková délka nosné konstrukce je 136,94m. Stěny trámu jsou po obou stranách vyztuženy příčnými výztuhami ve vzdálenostech odpovídající vzdálenosti příčníků. Výztuhy jsou navrženy v tl. 10mm a v místech táhel tl. 20mm. První výztuha se nachází nad osami ložisek. Montážní svary trámů jsou navrženy jako svařované. Materiál hlavních nosníku je navržen z oceli S355.

7.4.2. Oblouk a zavětrování

Trámy jsou vyztuženy ocelovými oblouky se závěsy, které jsou vůči vodorovné rovině nakloněný o 75°. Oblouk (parabola 2°) je tvořen jako svařovaný truhlík šířky 850 mm a výšky 780 mm. Horní pásnice oblouku má rozměry 30x850 mm. Stěny oblouku mají tloušťku 22 mm a výšku 750 mm. Vzepětí oblouku je 11 m a stabilita proti vybočení v rovině je zajištěna sedmi táhly a z roviny pak příčným zavětrováním, které je uvažováno jako příhradové. Vzhledem k průjezdnému profilu je větrový portál, který je z truhlíkového svařovaného průřezu, umístěn na druhém styčníku oblouku. Vodorovné pruty zavětrování jsou tvořeny trubkami o průměru 219,1 mm a tloušťkou 6mm. Šikmé pruty zavětrování jsou tvořeny trubkami o průměru 219,1 mm a tloušťkou 12,5mm. Závěsy jsou tvořeny tyčemi průměru 75mm (Macalloy 460) a na oblouk a trám jsou napojeny pomocí styčníkového plechu tl. 20mm. Montážní svary jsou navrženy jako tupé. Materiál oblouku a zavětrování je navržen z oceli S355 a táhla jsou z oceli S460.

7.4.3. Mostovka

Nosná konstrukce mostovky je tvořena pomoci svařovaných ocelových příčníků profilu I spřažených s železobetonovou deskou. Stěna příčníku je 15mm. Horní a dolní pásnice má rozměry 18x250 mm. Výška příčníku je proměnná dle příčného sklonu vozovky a chodníků. Horní pásnice je zapuštěna do železobetonové desky. Přípoje příčníků k hlavním nosníkům jsou svařované v roztečích 2850 a 2550. Nad podporami, tedy v místě opěr a pilířů, jsou příčníky tvořeny uzavřeným průřezem. Rozměry horní a dolní pásnice jsou 18x250mm. Stěna příčníku je 14mm. Průřez je po výšce proměnný. Ve vzdálenosti 0,85m od os hlavních nosníků budou podporové příčníky vyztuženy příčnou výztuhou tl. 14mm pro případ nadzvedání mostu z ložisek při jejich případné výměně.

Nosným podkladem betonového svršku je železobetonová deska navržená z betonu C30/37, která je spřažená s ocelovými příčníky pomocí spřahovacích trnů ϕ19mm. Trny jsou na příčnících rozmístěny ve dvou řadách. Železobetonová deska má tl. 250mm a je vyztužena pomocí betonářské výztuže B500B.

7.4.4. Ložiska

Ocelová konstrukce je uložena pomocí hrncových ložisek od firmy Mageba. Na opěrách i pilířích je uložení přímé, tzv. ložiska jsou umístěna pod oběma hlavními nosníky.

A1 – pevné ložisko hrncové TF6

A2 a A3 – podélně pohyblivé ložisko hrncové TE7

A4 – podélně pohyblivé ložisko hrncové TE3

B1 – příčně pohyblivé ložisko hrncové TE7

B2 a B3 – všesměrně pohyblivé ložisko hrncové TA7

B4 - všesměrně pohyblivé ložisko hrncové TA3

- K dolním pásnicím hlavních nosníků budou ložiska připojena šroubovým stykem přes klínové desky vyrovnávající podélný sklon nosníků.

7.4.5. Mostní závěry

U opěry č. 1, v místě pevného ložiska je navržen mostní závěr Mageba RS – A 80/7 s dilatační schopností 80mm. U opěry č. 4, v místě pohyblivého ložiska je navržen závěr Mageba LR – A 80/7 s dilatační schopností 240mm.

7.5. Příslušenství mostu

Izolace je navržena jako celoplošná, jednovrstvá, pásová. Typ izolace je součástí dodávky zhotovitele stavebních prací. Izolace bude pokládána na předepsaný povrch železobetonové spřažené desky opatřené penetračním nátěrem. Izolace bude provedena na celou šířku desky s protispády. V nejnižším místě lomu spádů budou umístěny odvodňovací trubičky povrchu izolace. V místě chodníků je navržena přímo pochůzná povrchová izolace odolná opotřebení provozem s protiskluzovou úpravou.

7.5.1. Vozovka

Vozovka je navržena s obrusnou vrstvou asfaltového koberce tloušťky 40mm, ložnou vrstvou z asfaltového betonu tloušťky 50mm. V místě styku obrubníku s vozovkovými vrstvami bude vložen asfaltový pásek Texabit.

7.5.2. Římsy

Římsa probíhá po celé délce mostu, vymezuje dopravní prostor a vytváří zvýšenou obrubu. Římsy jsou zataženy až k místu hlavního nosníku, tedy v místech chodníků, pro rozdílnou výšku silničního a pěšího prostoru. Jsou provedeny jako monolitické z betonu C30/37 s příčným sklonem 4% a v místě chodníku s příčným sklonem 2,5%. Voda je pohlcena povrchovými odvodňovači.

7.5.3. Záchytné a bezpečnostní vybavení

Na římsy ohraničující vozovku bude osazeno silniční svodidlo NH4. V chodníkové části je trubkové zábradlí, které je zakotveno do římsy.

7.5.4. Odvodnění

Odvodnění je na mostě realizováno střechovitým sklonem 2,5% a podélným spádem. Na mostě jsou navrženy odvodňovače, které jsou vyústěny přímo do vodoteče. Systém odvodnění povrchového je doplněn i odvodněním podpovrchovým, které odvádí vodu prosáklou vrstvami vozovky, to je zajištěno odvodňovači izolace.

7.6. Revize a prohlídky

Revize a prohlídky mostu se předpokládají v průběhu provozu přímo z mostu a zespod mostu.

7.7. Protikorozní ochrana

Ocelová konstrukce je dle TP 84 řazena do kategorie korozní agresivity C4 – vysoká s požadavkem na životnost povrchové úpravy VV – velmi vysoká. Na tyto požadavky je navržen nátěrový systém.

Základní nátěr – epoxid se Zn prachem	80 µm
2 x mezilehlý nátěr na bázi epoxidu	160 µm
Svrchní nátěr na bázi polyuretanu	80 µm
Celková tl. nátěrového systému	320 µm

- Protikorozní nátěr se provede na povrch ocelové konstrukce předem upravené otryskáním.

7.8. Zatěžovací zkouška

Bude provedena základní statická zatěžovací zkouška. Během zkoušky budou sledovány průhyby trámu nosné konstrukce a oblouků. Bude taky sledováno stlačování a sedání mostních opěr. Na táhlech budou osazeny tenzometry a bude sledováno napětí v průběhu montáže a během zatěžovací zkoušky.

7.9. Údržba konstrukce

Je třeba zajistit pravidelné čištění ložisek, mostních závěrů a všech částí ocelové konstrukce, kde se drží drobné nečistoty. V zimním období je nutno konstrukci čistit od posypových materiálů. Je třeba taky kontrolovat systém odvodňovačů na průchodnost.

7.10. Postup výstavby

Trám hlavního nosníku je rozdělen na 11 montážních dílů, které nepřesahují délku 15m, což zaručuje hladký převoz na staveniště. Oblouk je rozdělen na 5 montážních dílů s max. délkou cca 14m.
Montážní dílce jsou označeny ve výkresu - Podélný řez OK.

Zjednodušený postup výstavby

Příprava staveniště a vybudování spodní stavby mostu, příprava montáže, zřízení montážních podpor, osazení trámů na montážní podpěry a zavaření montážních styků, montáž podporových příčníků, montáž běžných příčníků, montáž krajních dílů oblouku včetně táhel, montáž středních dílů oblouků včetně táhel, montáž větrového ztužidla, připojení táhel k trámu, betonáž ŽB desky vozovky a chodníků, osazení konstrukce na ložiska, osazení mostních závěrů, provedení jednotlivých vrstev vozovky na mostě i mimo most, vrchní nátěr ocelové konstrukce, pokládka pochůzné izolace chodníku, provedení povrchové ochrany betonových říms a spodní stavby, úpravy terénu pod mostem

8. Výpočet

Konstrukce je navržena jako 3D model v programu SCIA ENGINEER 14.0.1043. V tomto programu je proveden výpočet vnitřních sil, deformací konstrukce a také návrh průřezů. Model představuje kombinaci prutových a deskostěnových prvků. Je uvažováno spřažení ŽB desky s ocelovou konstrukcí (příčníky). Deska je tvořena 3D plochou s vnitřními žebry, které představují příčníky. Těm byly přiřazeny příslušné efektivní šířky pro spolupůsobení s betonem.

9. Výkaz materiálů

Prvek	Průřez	Materiál	Jednotková hmot. [kg/m]	Délka [m]	Hmotnost [t]	Povrch [m^2]
Hl. nosník	2100,700,40,25	S 355	836,0	272,0	227,4	1890,4
Oblouk	850,30,750,22,770,20,20	S 355	580,1	156,6	90,8	516,7
Diagonály	TR 219,1x12,5	S 355	63,7	108,3	6,9	74,5
Táhla	R75	S 460	34,7	119,4	4,2	28,1
Svislice	Tr 219,1x6	S355	31,5	29,3	0,9	20,2
Portál	500,20,500,12,450,12,10	S355	215,1	21,7	4,7	44,6
Příčník v poli	550,250,18,15	S355	131,2	762,5	100,1	1578,2
Příčník nad podp.	250,18,514,14,186	S355	183,6	61,0	11,2	102,0
				∑	**446,2**	
			Přípoje a výztuhy	5%	**468,51**	

10. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] ČSN EN 1991-1-1 Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb

[2] ČSN EN 1991-2 Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů dopravou + ZMĚNA Z3

[3] ČSN EN 1991-1-4 Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem

[4] ČSN EN 1991-1-5 Zatížení konstrukcí – Část 1-5: Obecná zatížení – Zatížení teplotou

[5] ČSN EN 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

[6] ČSN EN 1994-1-1 Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

[7] ČSN EN 1993-2 Navrhování ocelových konstrukcí – Část 2: Ocelové mosty

[8] ČSN EN 1994-2 Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí - Část 2: Obecná pravidla a pravidla pro mosty

[9] ČSN EN 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

[10] ČSN EN 1993-1-9 Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-9: Únava

[11] ČSN EN 1993-1-5 Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-5: Obecná pravidla – doplňující pravidla pro rovinné deskostěnové konstrukce bez příčného zatížení

[12] Ocelové konstrukce 20 – Zatížení staveb podle Eurokódu, 2005, Studnička, Holický

[13] Ocelové konstrukce 30 – Ocelové mosty, pomůcka do cvičení, 1999, Studnička, Rotter

[14] Prvky ocelových konstrukcí 2 – Ocelobetonové konstrukce, 2000, Studnička

[15] Pružnost a plasticita 1, 1999, Šmiřák

[16] Navrhování betonových konstrukcí – Prvky z prostého a železového betonu, 2005, Procházka, Štěpánek, Krátký, Kohoutková, Vašková

[17] Firemní materiály firmy MACALLOY, www.macalloy.com

[18] Firemní materiály firmy MAGEBA, www.mageba-group.com

[19] PECHAL, Antonín. MOSTY: Zpráva o konstrukci a architektuře některých českých mostů, 2009

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

C – POSOUZENÍ VARIANT

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE — BC. RADEK VLČEK
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — prof. Ing. MARCELA KARMAZÍNOVÁ, CSc.
SUPERVISOR

BRNO 2016

Obsah

1. Úvod 2
2. Návrh variant 2
2.1. Varianta A 2
2.2. Varianta B 3
2.3. Varianta C 4
2.4. Varianta D 5
3. Předpoklady výpočtu 6
4. Výpočtový model 6
5. Materiál 6
6. Zatížení 7
7. Kombinace 9
8. Průběhy vnitřních sil a deformací hlavních nosných prvků 10
8.1. Hlavní nosník – N[kN] 10
8.2. Hlavní nosník – V[kN] 11
8.3. Hlavní nosník – M[kNm] 12
8.4. Hlavní nosník – u[mm] 13
8.5. Oblouk – N[kN] 14
8.6. Oblouk – V[kN] 15
8.7. Oblouk – M[kNm] 16
8.8. Oblouk – u[mm] 17
8.9. Táhla – N[kN] 18
9. Přehled maximálních vnitřních sil 19
10. Posouzení MSÚ a MSP 20
11. Zhodnocení variant 21

1. Úvod

Předmětem zadání diplomové práce je navrhnout ocelovou konstrukci mostu převádějícího pozemní komunikaci přes vodoteč. V této příloze je popsáno a zhodnoceno variantní řešení konstrukce mostu se zaměřením na naklonění obloukové konstrukce vůči vodorovné středové ose mostu. Předpokladem bylo zachování rozpětí jednotlivých polí 31 m + 74 m + 31 m. Mostovka je dolní a je tvořena železobetonovou deskou spřaženou s příčníky.

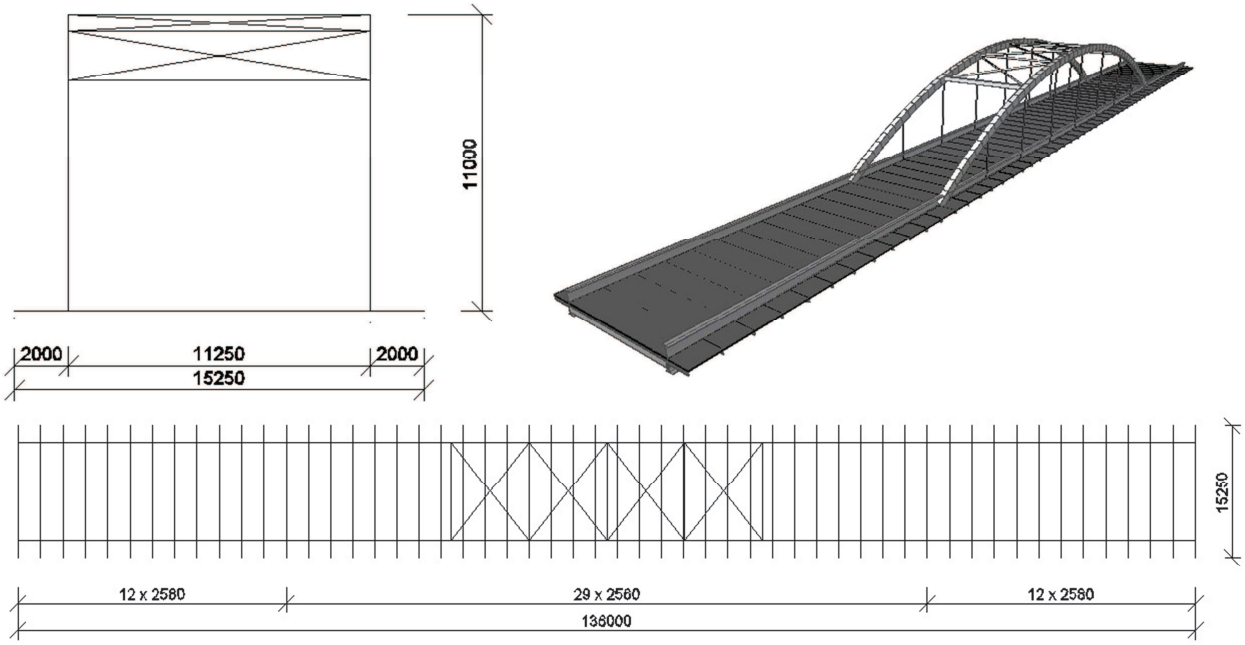
Při zpracování variantního řešení byly nejprve vytvořeny 3 varianty (A, B, C), které se především liší různým nakloněním oblouků. Osová vzdálenost hlavních nosníků je u varianty A 11,25m a z důvodu zachování průjezdného profilu je u variant B a C 15,25m. Pro optimální výsledné porovnání byla navrhnuta další varianta D, která vychází z varianty A, avšak má totožnou osovou vzdálenost hlavních nosníku jako varianty B a C.

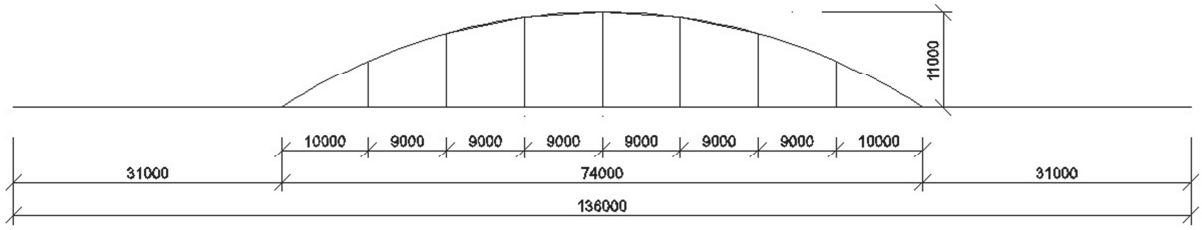
Pro toto zadání byly tedy celkově vytvořeny čtyři varianty. Porovnání bylo provedeno převážně z hlediska vnitřních sil, MSÚ, estetiky, hmotnosti a deformací.

2. Návrh variant

2.1. Varianta A

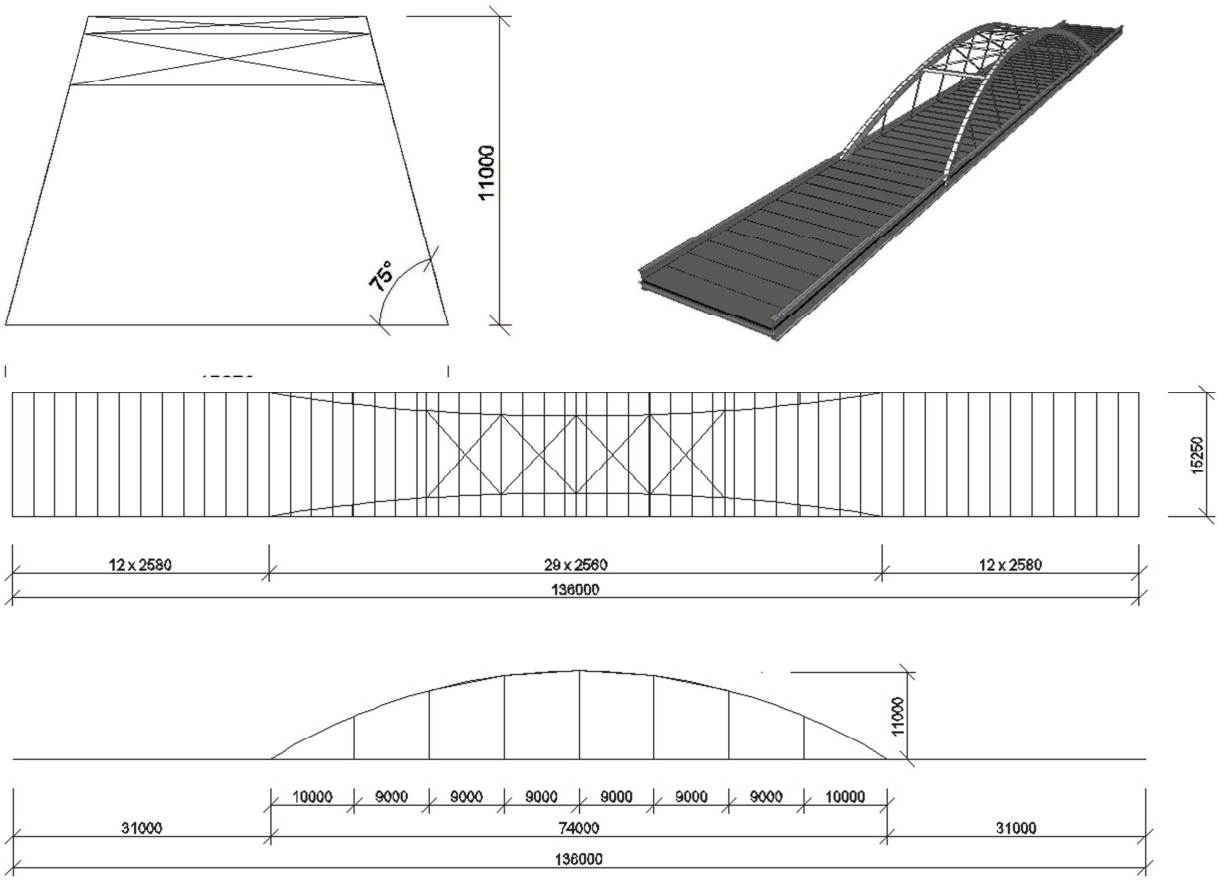
Tato varianta je tvořena dvěma spojitými hlavními nosníky, které jsou ve středním poli vyztuženy obloukem se svislými závěsy. Hlavní nosníky jsou tvořeny svařovaným I profilem výšky 1,95 m a šířky pásnice 0,70 m. Osová vzdálenost nosníku je 11,25 m. Mezi hlavními nosníky jsou příčníky tvořeny jako prosté nosníky a pod chodníkovou deskou jako konzoly délky 2 m. Vzdálenost příčníků ve středním poli je 2,55 m a v krajních polích 2,58 m. Oblouk je tvořen uzavřeným svařovaným průřezem šířky 850mm a výšky 775mm. Vzepětí oblouku je 11 m a stabilita proti vybočení v rovině je zajištěna sedmi táhly a z roviny pak příčným zavětrováním, které je uvažováno jako příhradové. Vzhledem k průjezdnému profilu je větrový portál umístěn na druhém styčníku oblouku. Závěsy jsou tvořeny tyčemi průměru 70 mm.





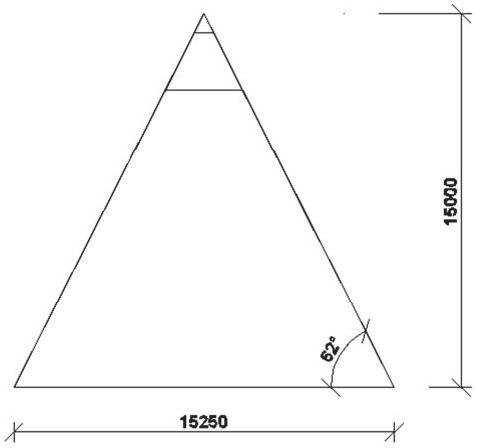
2.2. Varianta B

Tato varianta je tvořena dvěma spojitými hlavními nosníky, které jsou ve středním poli vyztuženy obloukem se závěsy, který je vůči vodorovné rovině nakloněný o 75°. Hlavní nosníky jsou tvořeny svařovaným I profilem výšky 2,1 m a šířky pásnice 0,70 m. Vzhledem k průjezdnému profilu je osová vzdálenost nosníku 15,25 m. Mezi hlavními nosníky jsou příčníky tvořeny jako prosté nosníky. Vzdálenost příčníků ve středním poli je 2,55 m a v krajních polích 2,58 m. Oblouk je tvořen uzavřeným svařovaným průřezem šířky 850mm a výšky 780mm. Vzepětí oblouku je 11 m a stabilita proti vybočení v rovině je zajištěna sedmi táhly a z roviny pak příčným zavětrováním, které je uvažováno jako příhradové. Vzhledem k průjezdnému profilu je větrový portál umístěn na druhém styčníku oblouku. Závěsy jsou tvořeny tyčemi průměru 75 mm.

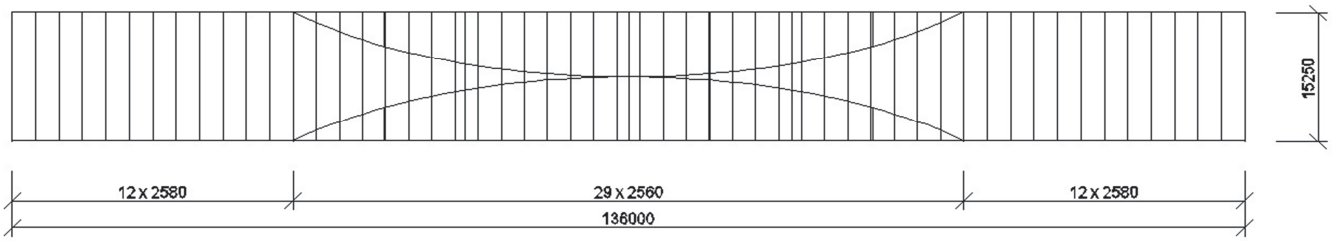


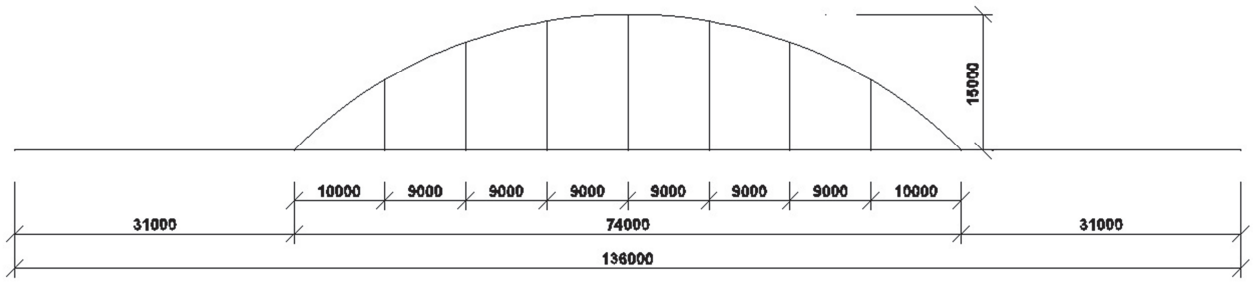
2.3. Varianta C

Tato varianta je tvořena dvěma spojitými hlavními nosníky, které jsou ve středním poli vyztuženy obloukem se závěsy, který je vůči vodorovné rovině nakloněný o 62°, tzv. se dotýkají ve střední části mostu. Hlavní nosníky jsou tvořeny svařovaným I profilem výšky 2,4 m a šířky pásnice 0,85 m. Vzhledem k průjezdnému profilu je osová vzdálenost nosníku 15,25 m. Mezi hlavními nosníky jsou příčníky tvořeny jako prosté nosníky. Vzdálenost příčníků ve středním poli je 2,55 m a v krajních polích 2,58 m. Oblouk je tvořen uzavřeným svařovaným průřezem šířky 1100mm a výšky 990mm. Vzepětí oblouku je 15 m a stabilita proti vybočení v rovině je zajištěna sedmi táhly a z roviny pak protilehlým obloukem a čtyřmi příčnými ztužidly. Vzhledem k průjezdnému profilu je větrový portál umístěn na druhém styčníku oblouku. Závěsy jsou tvořeny tyčemi průměru 95 mm.



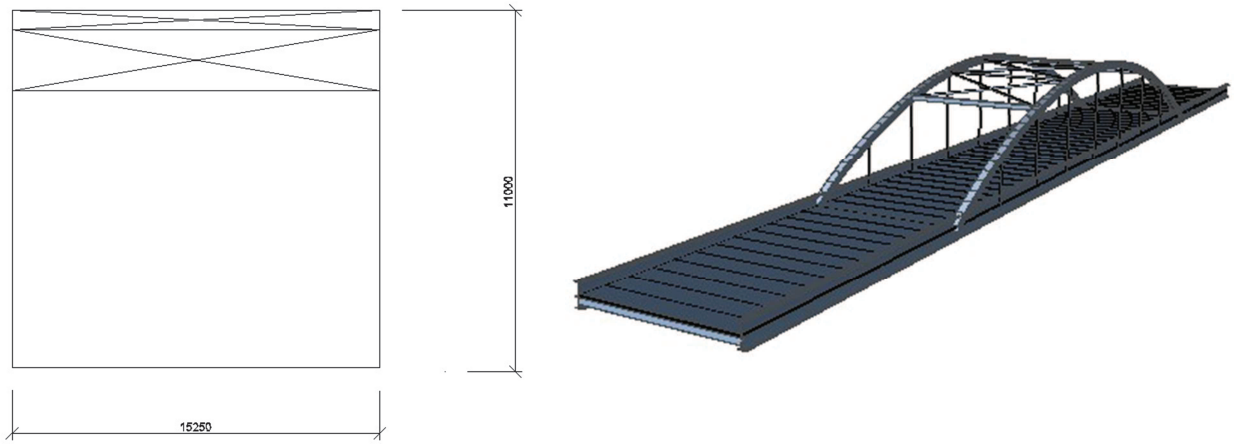


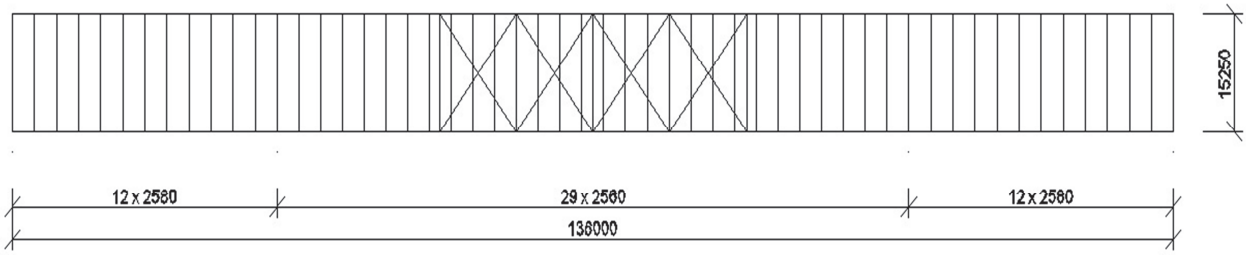


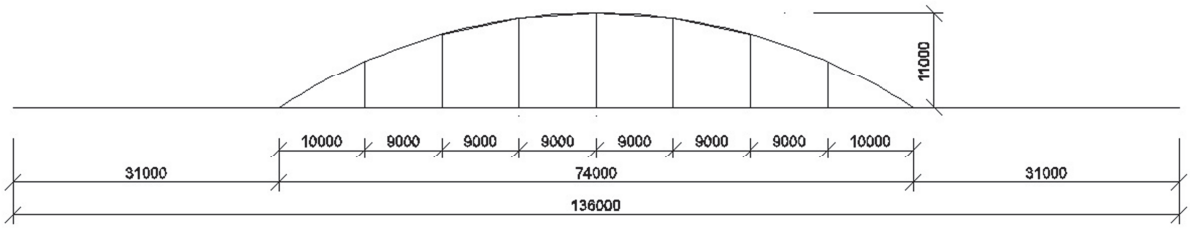


2.4. Varianta D

Tato varianta je tvořena dvěma spojitými hlavními nosníky, které jsou ve středním poli vyztuženy obloukem se svislými závěsy. Hlavní nosníky jsou tvořeny svařovaným I profilem výšky 2,1 m a šířky pásnice 0,75m. Osová vzdálenost nosníku je 15,25 m. Mezi hlavními nosníky jsou příčníky tvořeny jako prosté nosníky. Vzdálenost příčníků ve středním poli je 2,55 m a v krajních polích 2,58 m. Oblouk je tvořen uzavřeným svařovaným průřezem šířky 850mm a výšky 775mm. Vzepětí oblouku je 11 m a stabilita proti vybočení v rovině je zajištěna sedmi táhly a z roviny pak příčným zavětrováním, které je uvažováno jako příhradové. Vzhledem k průjezdnému profilu je větrový portál umístěn na druhém styčníku oblouku. Závěsy jsou tvořeny tyčemi průměru 70 mm.







3. Předpoklady výpočtu

- spojení trámu a oblouku uvažujeme jako rámově tuhé
- připojení táhel k oblouku a trámu předpokládáme kloubově
- zanedbáváme příčný sklon konstrukce – deska a horní pásnice příčníku jsou v příčném směru modelovány jako vodorovné
- zanedbáváme proměnný podélný sklon mostu – deska je v podélném směru modelována jako vodorovná

4. Výpočtový model

Konstrukce je navržena jako 3D model v programu SCIA ENGINEER 14.0.1043. V tomto programu je proveden výpočet vnitřních sil, deformací konstrukce a také návrh průřezů. Mimo desku jsou všechny prvky modelovány prutově Deska je tvořena 3D plochou s vnitřními žebry, které představují příčníky. Těm byly přiřazeny příslušné efektivní šířky pro spolupůsobení s betonem. Konstrukce je uložena na osmi podporách, z nichž jedna je pevná, jedna posuvná v příčném směru, tři posuvné v podélném směru a tři všesměrně posuvné.



5. Materiál

Ocel S335

- modul pružnosti $E = 210000\ MPa$
- objemová hmotnost $\gamma = 7850\ kg/m^3$
- poissonův součinitel $\nu = 0{,}2$
- tepelná roztažnost $\alpha = 1{,}2 \cdot 10^{-5}\ K^{-1}$
- mez kluzu $f_y = 355\ MPa$
- mez pevnosti v tahu $f_u = 510\ MPa$

Beton C30/37

- modul pružnosti $E_{cm} = 32000\ MPa$
- objemová hmotnost $\gamma = 2500\ kg/m^3$
- poissonův součinitel $\nu = 0{,}15$
- tepelná roztažnost $\alpha = 1{,}2 \cdot 10^{-5}\ K^{-1}$

- mez kluzu $f_{ck} = 30\ MPa$
- mez pevnosti v tahu $f_{ctm} = 2{,}9\ MPa$
- průměrná pevnost betonu $f_{cm} = 38\ MPa\ (28\ dn\text{ů})$
- mezní poměrné přetvoření $\varepsilon_{cu} = 3{,}5\ \%$

Macalloy 460

- modul pružnosti $E = 205000\ MPa$
- objemová hmotnost $\gamma = 7850\ kg/m^3$
- poissonův součinitel $\nu = 0{,}2$
- tepelná roztažnost $\alpha = 1{,}2 \cdot 10^{-5}\ K^{-1}$
- mez kluzu $f_y = 460\ MPa$
- mez pevnosti v tahu $f_u = 610\ MPa$

6. Zatížení

- Zatížení je definováno na základě norem:
- ČSN EN 1991-1-1 Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- ČSN EN 1991-1-4 Obecná zatížení – Zatížení větrem
- ČSN EN 1991-2 Zatížení mostů dopravou + ZMĚNA Z3
- ČSN EN 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí – Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

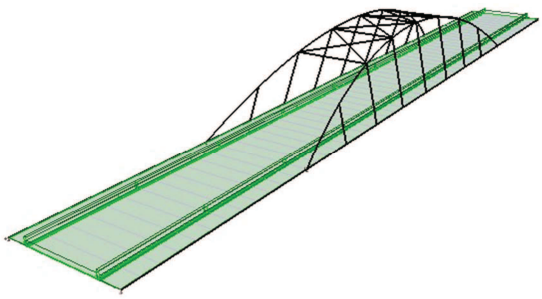
Stálé zatížení

Vlastní tíha konstrukce

Vlastní tíha ocelové konstrukce a betonové desky byla automaticky vypočítaná pomocí programu SCIA ENGINEER.

Ostatní stálá zatížení

- Kryt vozovky $2{,}2\ kN/m^2$
- Římsa $4{,}25\ kN/m^2$
- Svodidlo $1{,}5\ kN/m$
- Kryt chodníku $0{,}22 kN/m^2$
- Zábradlí $1{,}0\ kN/m$

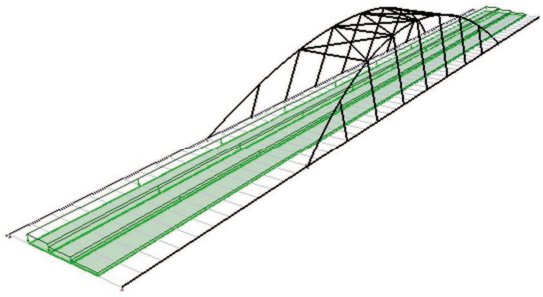


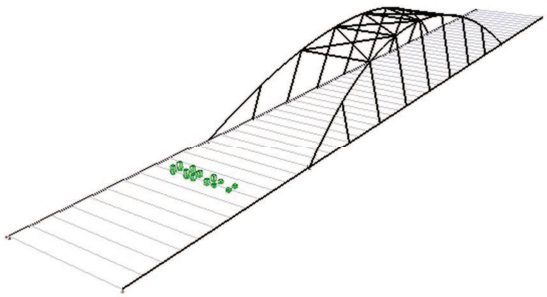
Nahodilá zatížení

Zatížení dopravou

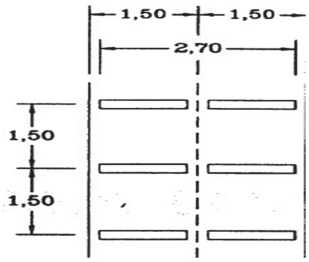
Svislá zatížení

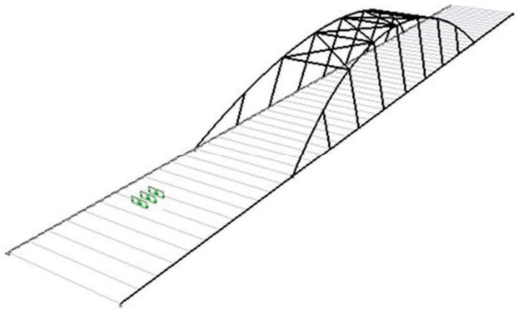
- Model zatížení 1 (LM1)





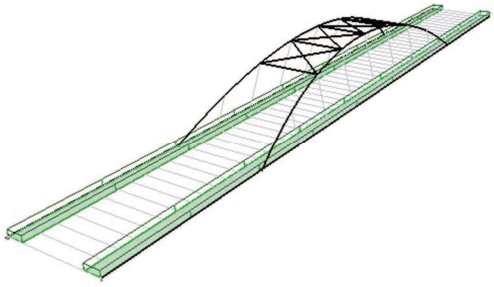
- Model zatížení 3 (LM3)



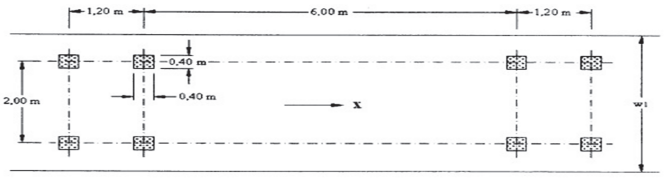


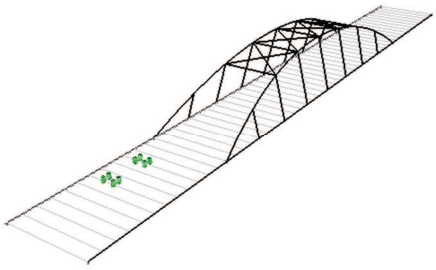
- Zatížení chodníků

Pro chodníky na mostech pozemních komunikací se uvažuje rovnoměrné zatížení
$q_{fk} = 5kN/m^2$



- Zatížení na únavu





Vodorovné zatížení

- Brzdné a rozjezdové síly $Q_{1k} = 727{,}6\ kN$

Klimatické zatížení

- Zatížení větrem v příčném směru

Síla od větru $F_{wk} = 925{,}8 \cdot A_{ref}\ N/m^2$

- Zatížení větrem v podélném směru

Je uvažováno 25% sil od zatížení příčným směrem.

- Zatížení teplotou

Zkrácení: $\Delta T_{N,con} = 35{,}5\ °C$

Prodloužení: $\Delta T_{N,exp} = 32{,}5\ °C$

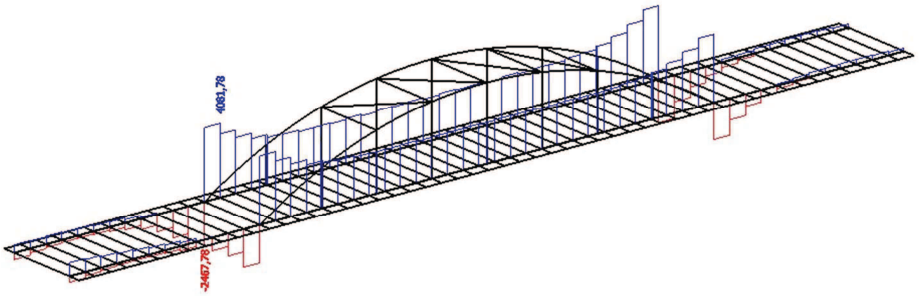
7. Kombinace

- Kombinace jsou tvořeny automaticky v programu SCIA ENGINEER.

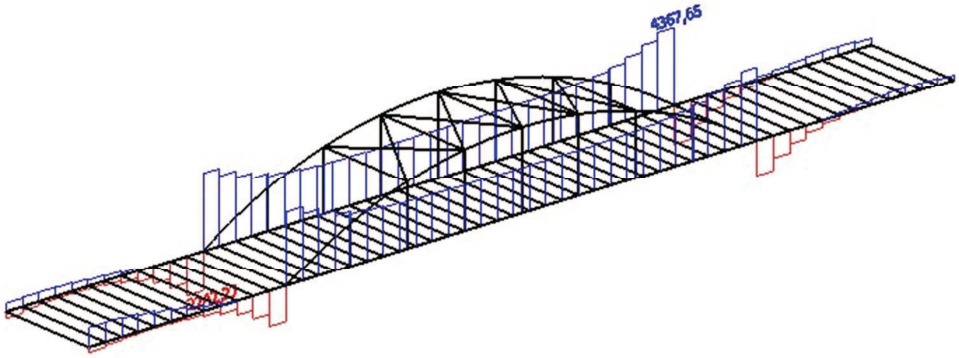
8. Průběhy vnitřních sil a deformací hlavních nosných prvků

8.1. Hlavní nosník – N[kN]

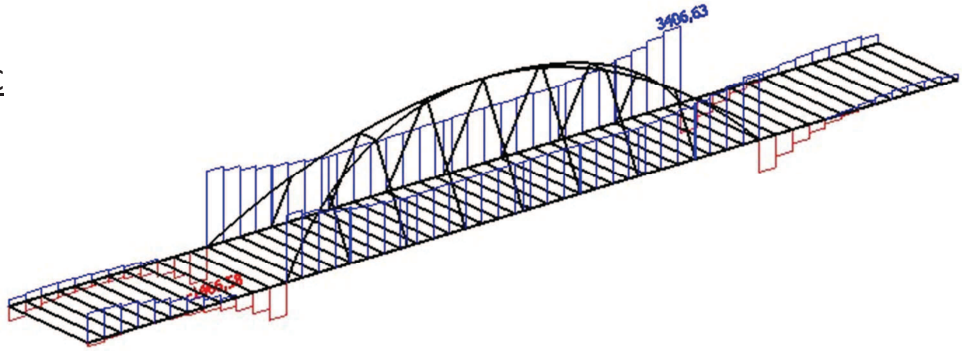
Varianta A



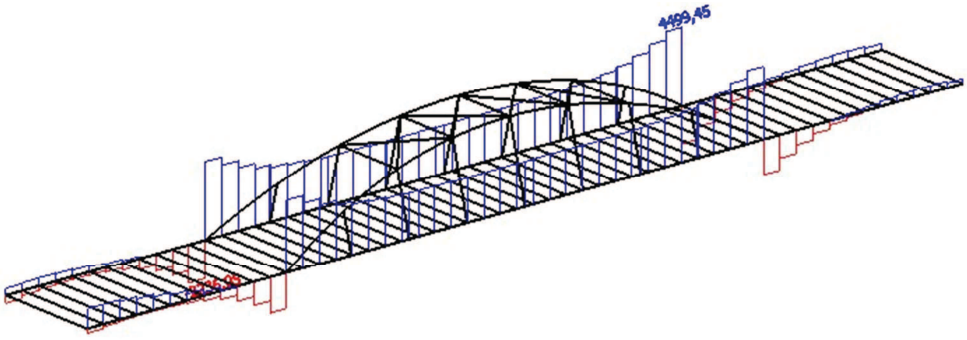
Varianta B



Varianta C

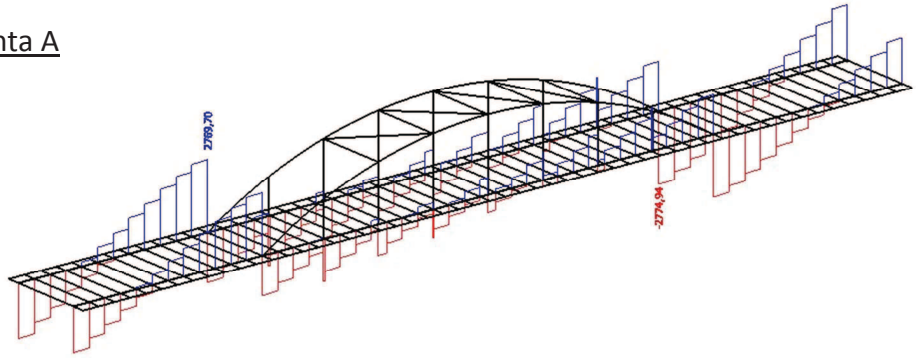


Varianta D

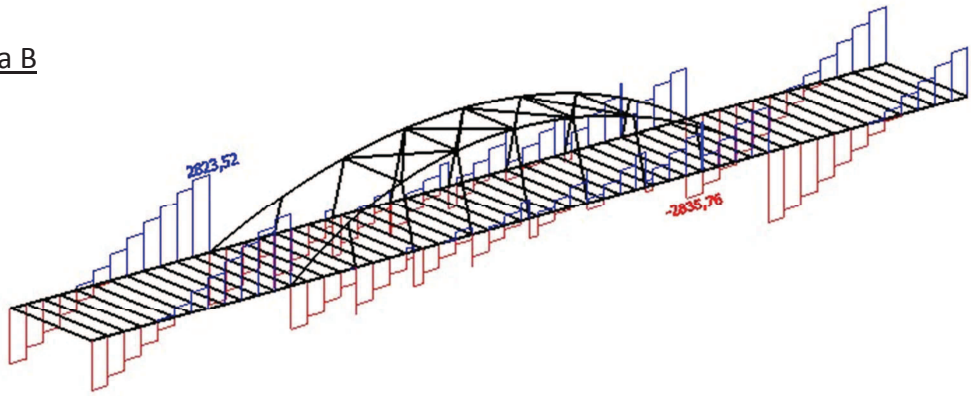


8.2. Hlavní nosník – V[kN]

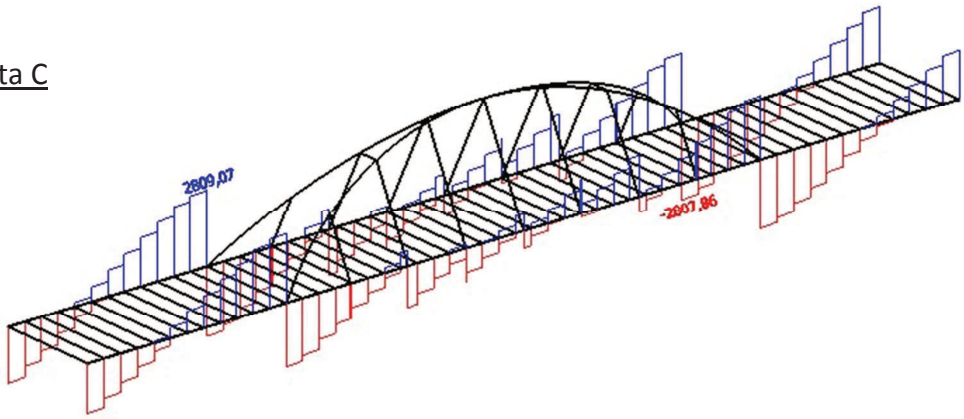
Varianta A



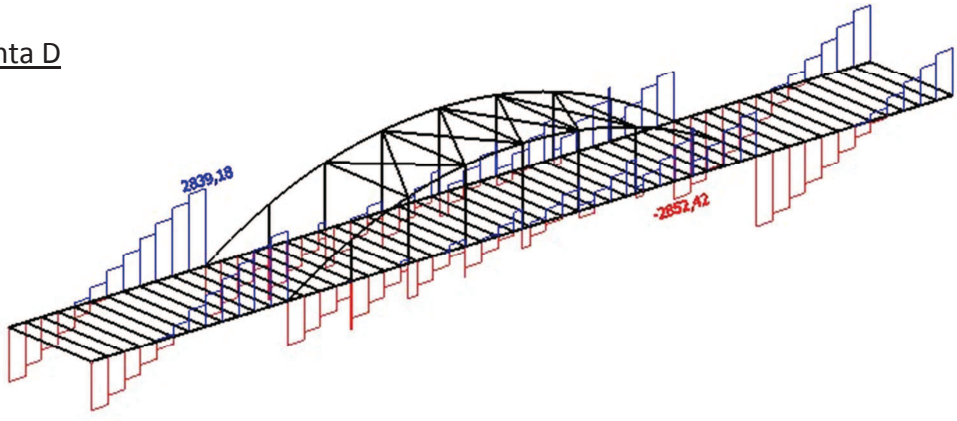
Varianta B



Varianta C

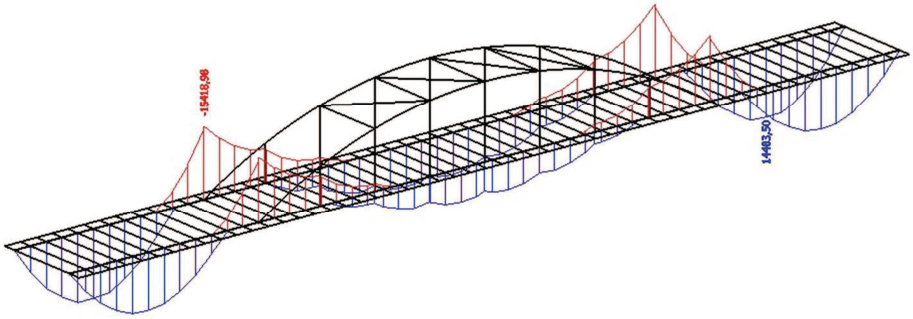


Varianta D

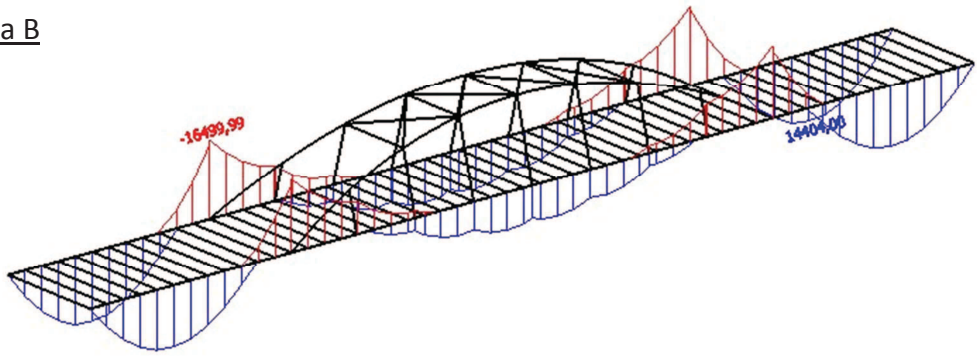


8.3. Hlavní nosník – M[kNm]

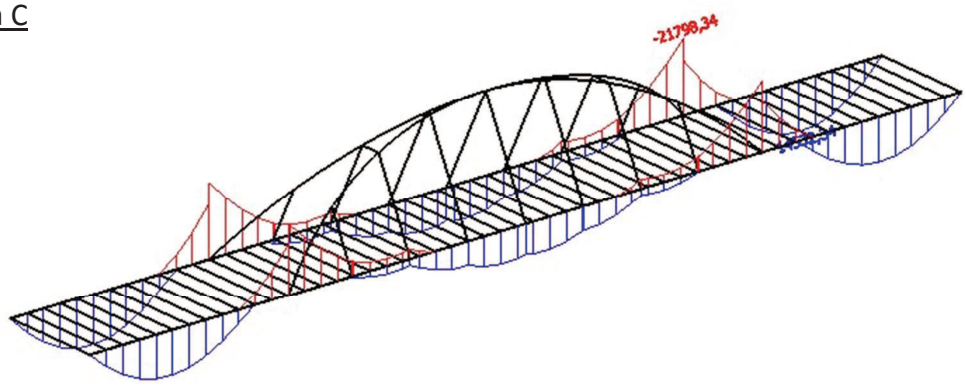
Varianta A



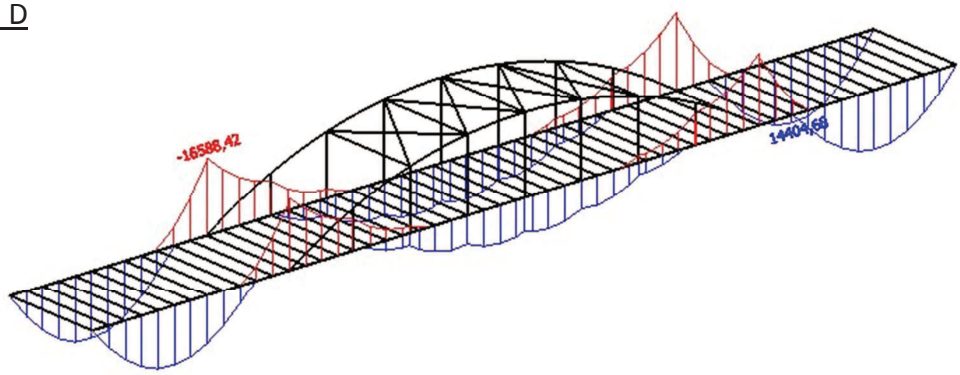
Varianta B



Varianta C

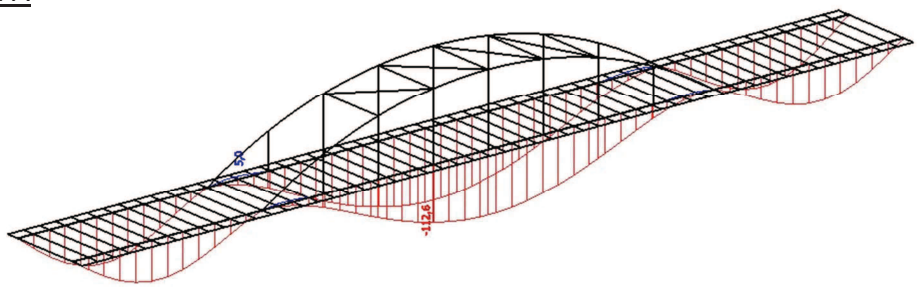


Varianta D

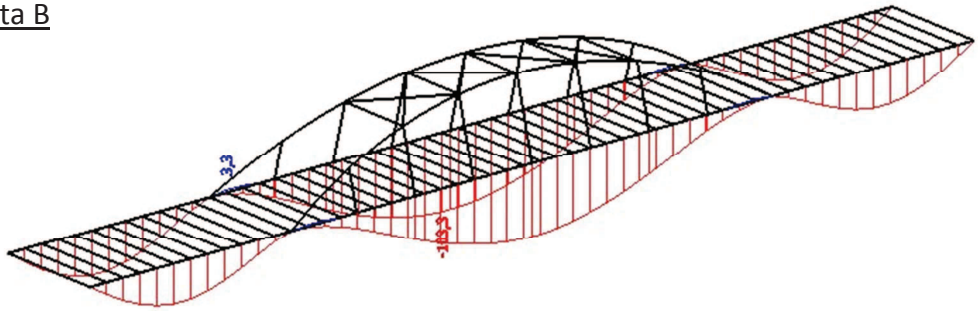


8.4. Hlavní nosník – u[mm]

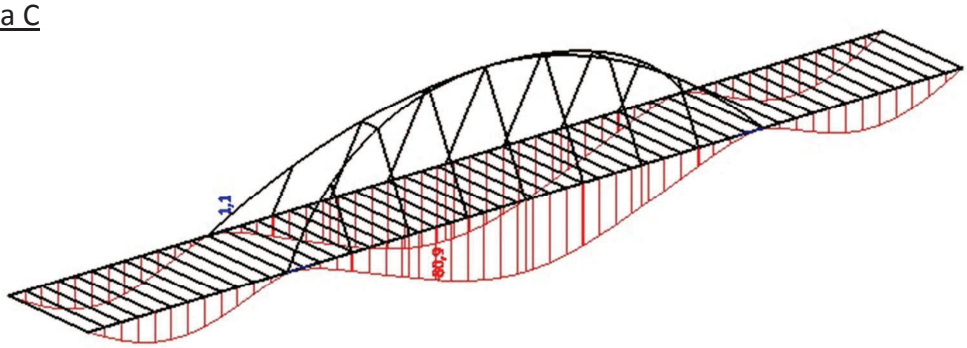
Varianta A



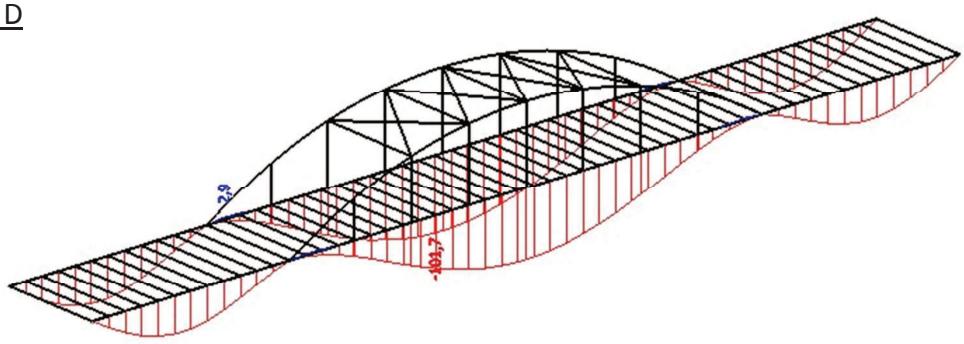
Varianta B



Varianta C

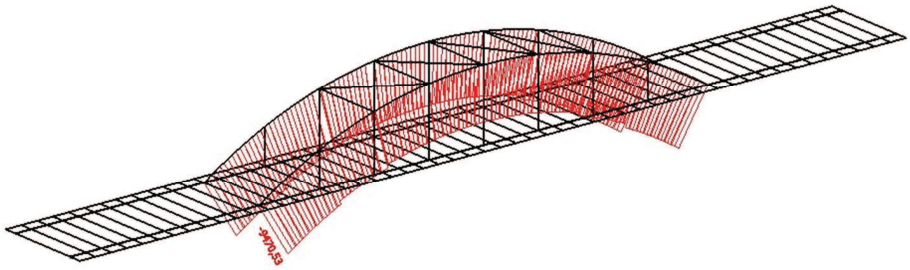


Varianta D

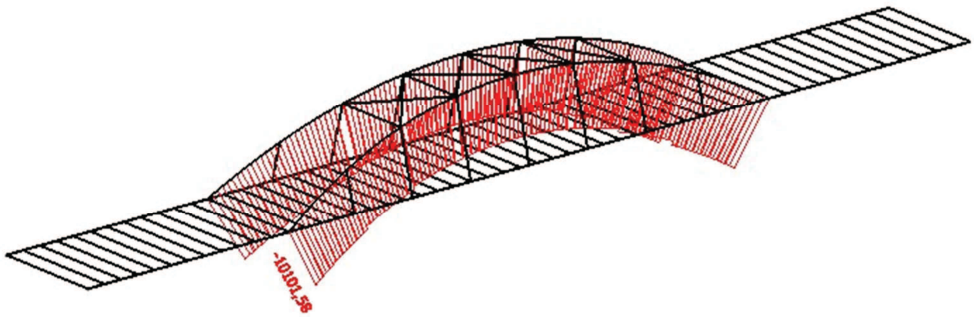


8.5. Oblouk – N[kN]

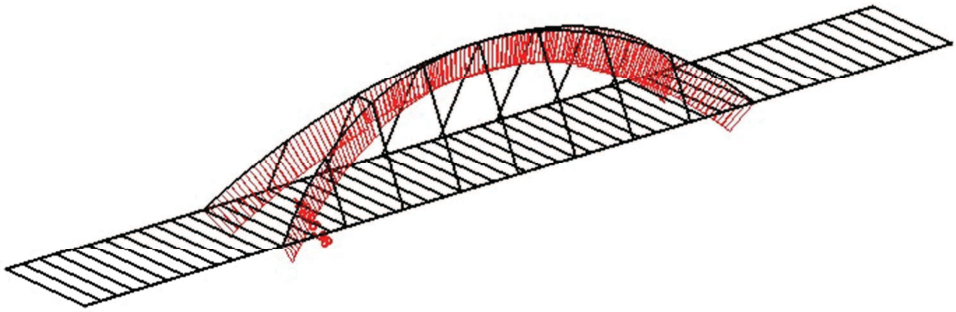
Varianta A



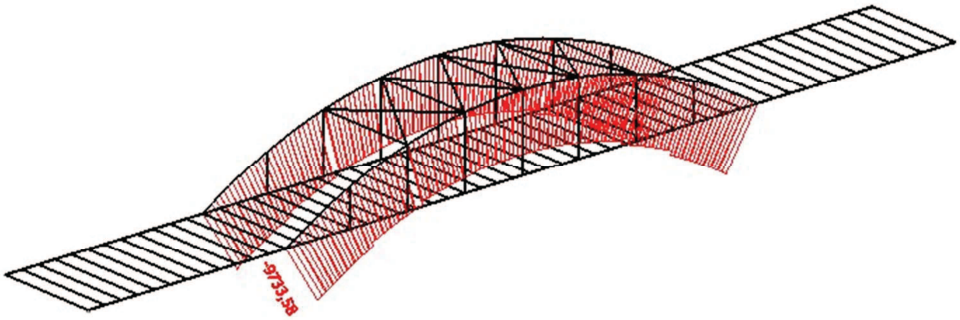
Varianta B



Varianta C

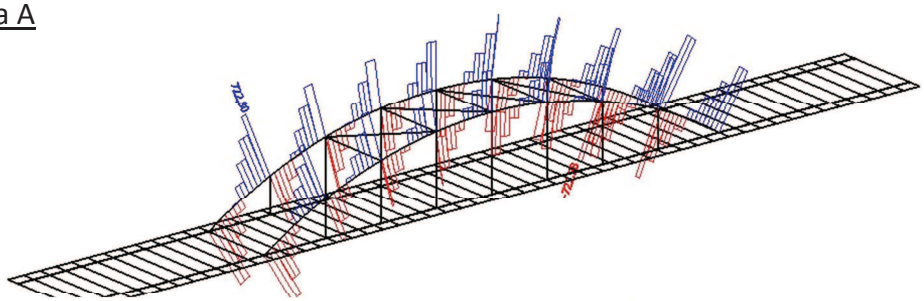


Varianta D

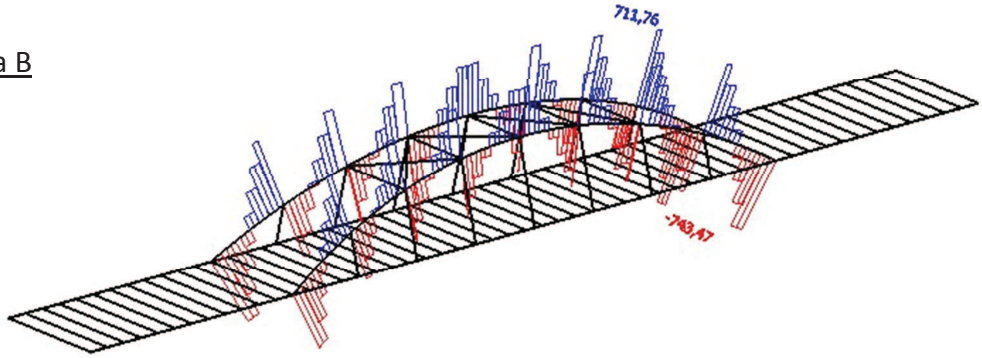


8.6. Oblouk – V[kN]

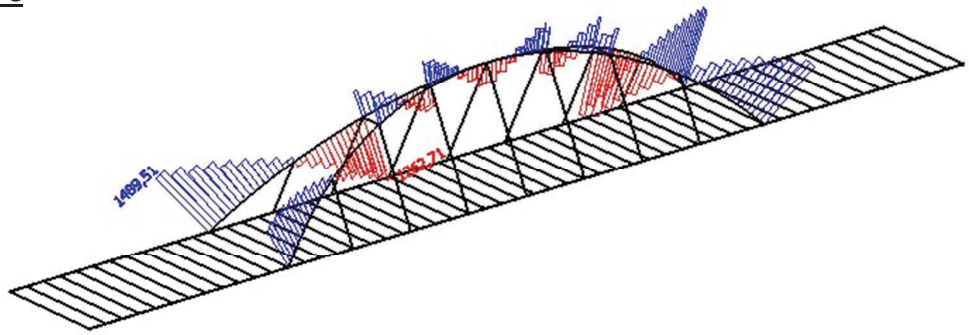
Varianta A



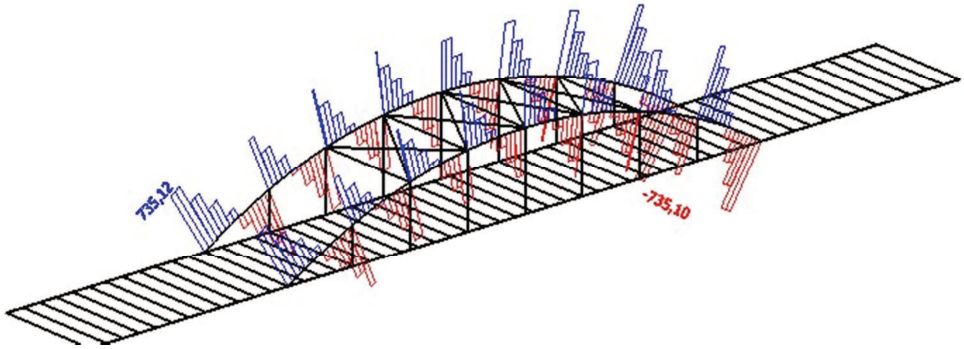
Varianta B



Varianta C

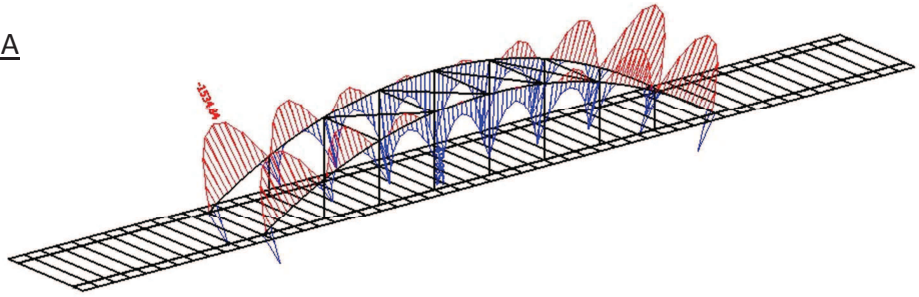


Varianta D

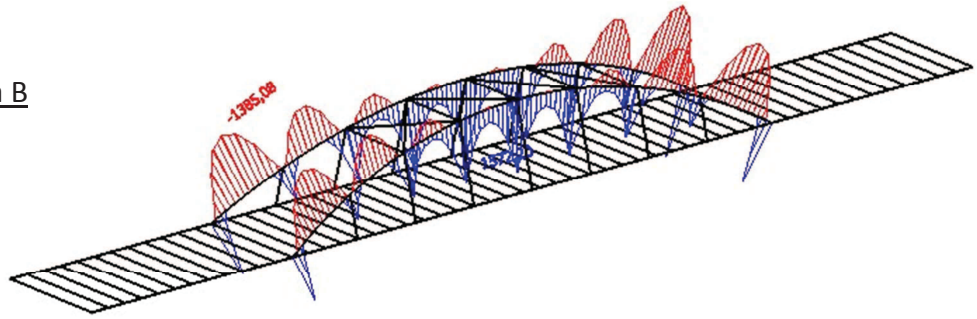


8.7. Oblouk – M[kNm]

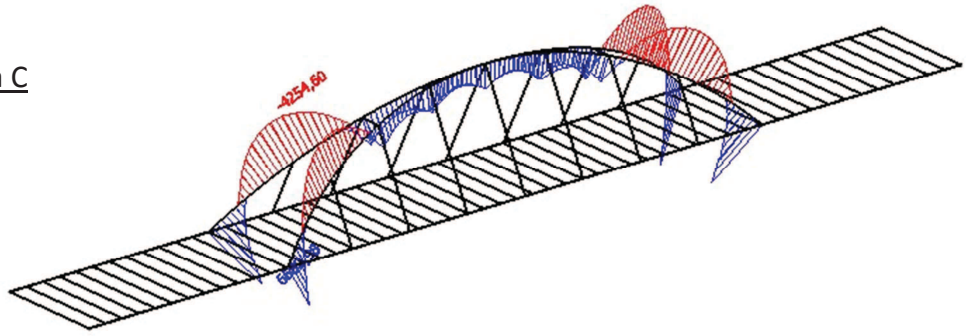
Varianta A



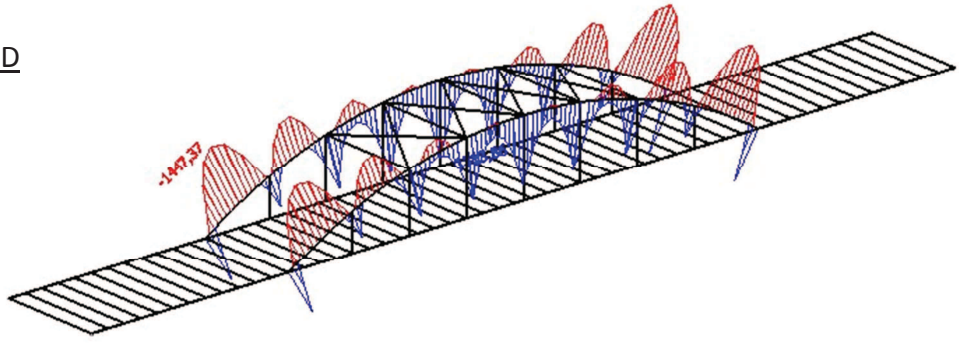
Varianta B



Varianta C

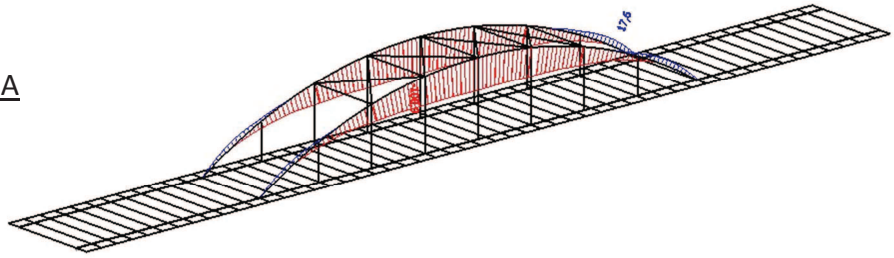


Varianta D

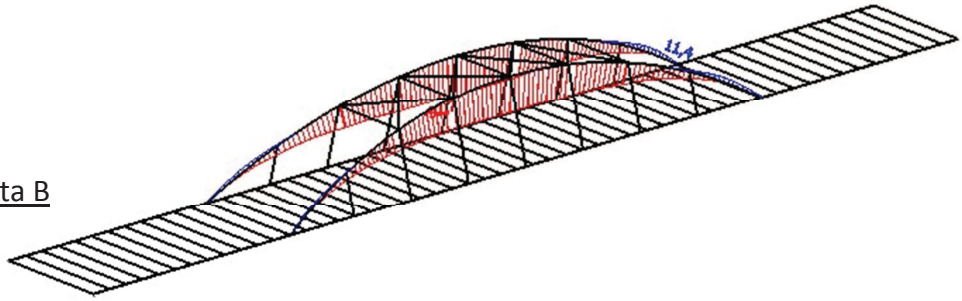


8.8. Oblouk – u[mm]

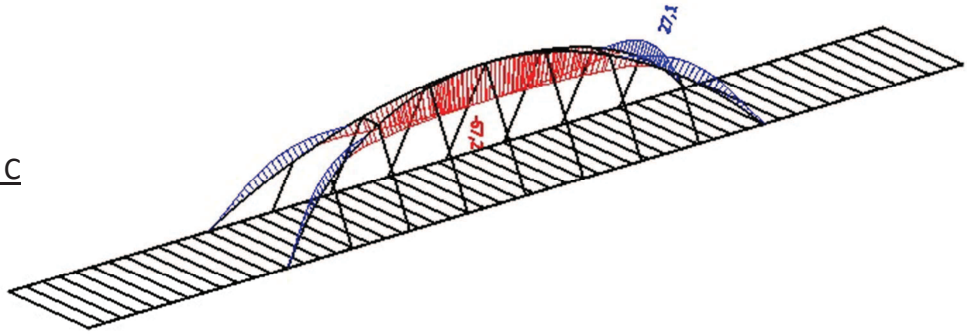
Varianta A



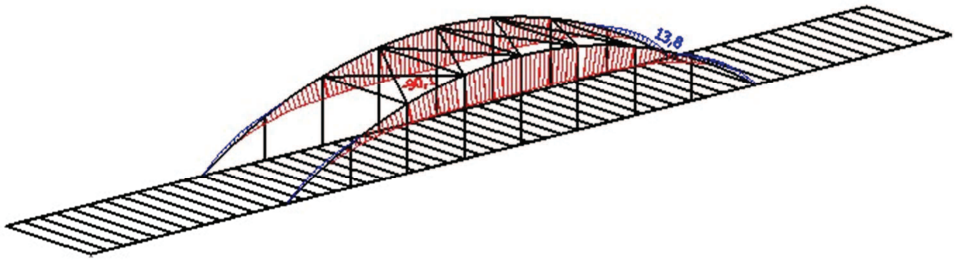
Varianta B



Varianta C

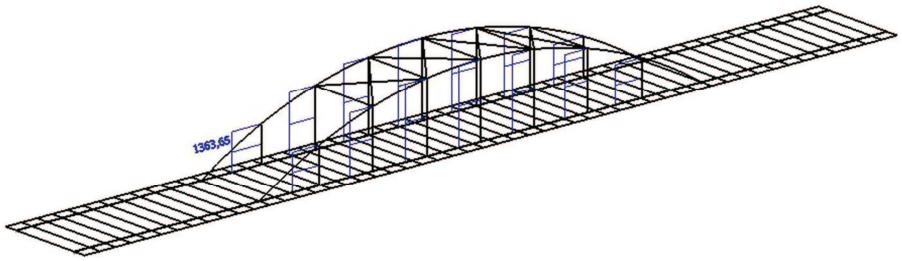


Varianta D

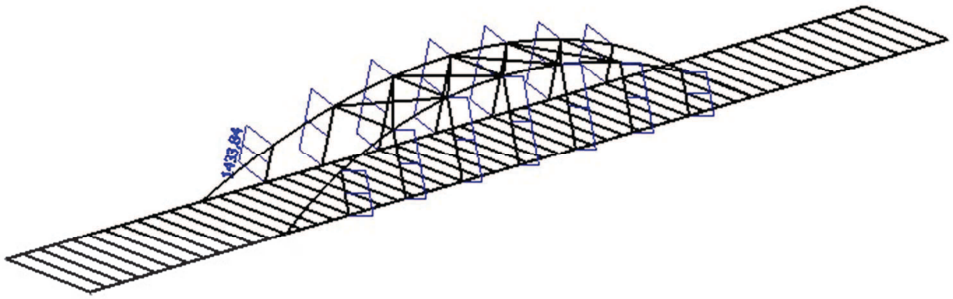


8.9. Táhla – N[kN]

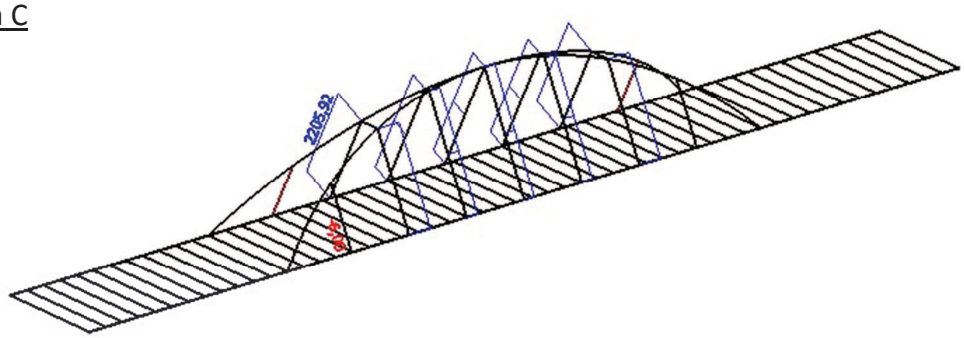
Varianta A



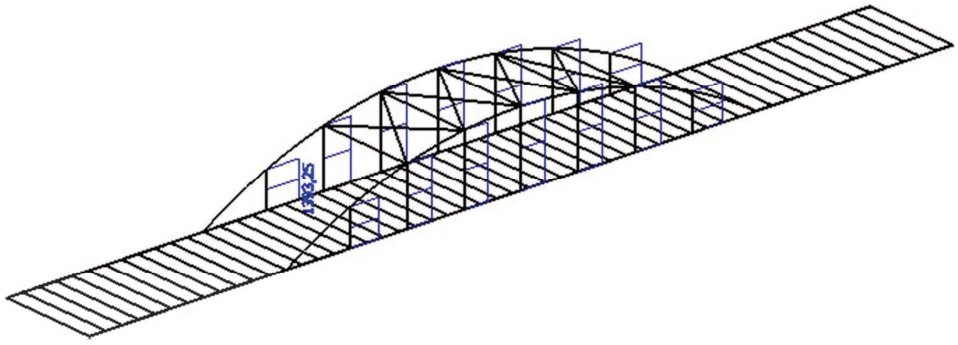
Varianta B



Varianta C



Varianta D



9. Přehled maximálních vnitřních sil

Varianta A

Prvek	N max [kN]	V max [kN]	M max [kNm]
Hl. nosník	4081,78	-2774,94	-15418,98
Oblouk	-9470,53	722,8	1586,63
Diagonály	-276,82	-6,52	-15,03
Táhla	1363,65	0	0
Svislice	252,05	2,74	4,84
Portál	135,36	29,23	161,02
Příčník v poli	2089,31	428,6	240,1
Příčník nad podp.	3314,08	661,94	-416,66
Konzola	-112,51	192,32	-54,74

Varianta B

Prvek	N max [kN]	V max [kN]	M max [kNm]
Hl. nosník	4499,44	-2835,76	-16499,99
Oblouk	-10101,58	-743,47	1572,2
Diagonály	-269,89	-6,33	-13,1
Táhla	1433,84	0	0
Svislice	292,04	-2,48	5,99
Portál	-86,98	-28,17	228,13
Příčník v poli	3530,4	396,64	514,67
Příčník nad podp.	5435,16	1225,22	790,04

Varianta C

Prvek	N max [kN]	V max [kN]	M max [kNm]
Hl. nosník	3406,63	2809,07	-21798,34
Oblouk	-7896,98	1489,51	6682,98
Táhla	2205,92	0	0
Svislice	358,04	35,88	20,14
Portál	-674,52	45,54	266,75
Příčník v poli	3561,66	386,75	515,03
Příčník nad podp.	5415,13	999,45	-1623,82

Varianta D

Prvek	N max [kN]	V max [kN]	M max [kNm]
Hl. nosník	4367,65	-2852,42	-16588,42
Oblouk	-9733,58	735,12	1633,61
Diagonály	-177,92	7,76	-20,6
Táhla	1393,25	0	0
Svislice	166,71	3,25	7,56
Portál	-81,95	-27,47	194,45
Příčník v poli	3541,86	-404,57	514,78
Příčník nad podp.	5426,87	1117,31	789,64

10. Posouzení MSÚ a MSP

Varianta A

Prvek	Průřez	Materiál	Hmotnost [t]	MSU	MSP
Hl. nosník	1950,700,40,20	S 355	199,5	0,93	u = 112,6 mm
Oblouk	850,25,750,20,770,20,20	S 355	82,0	0,87	u = 100,9 mm
Diagonály	TR 219,1x12,5	S 355	7,4	0,87	
Táhla	R70	S 460	3,6	0,91	
Svislice	Tr 219,1x6	S355	1,1	0,17	
Portál	500,20,500,12,450,12,10	S355	4,9	0,15	
Příčník v poli	500,200,12,12	S355	46,5	0,7	
Příčník nad podp.	200,14,472,10,150	S355	5,3	0,8	
Konzola	250,100,10,10	S355	7,3	0,57	
Celkem			**357,6**		

Varianta B

Prvek	Průřez	Materiál	Hmotnost [t]	MSU	MSP
Hl. nosník	2100,700,40,25	S 355	227,4	0,91	u = 103,3 mm
Oblouk	850,30,750,25,770,20,20	S 355	96,4	0,86	u = 92,7 mm
Diagonály	TR 219,1x12,5	S 355	6,9	0,8	
Táhla	R75	S 460	4,2	0,84	
Svislice	Tr 219,1x6	S355	0,9	0,2	
Portál	500,20,500,12,450,12,10	S355	4,7	0,2	
Příčník v poli	550,250,18,15	S355	100,1	0,79	
Příčník nad podp.	250,18,514,14,186	S355	11,2	0,88	
Celkem			**451,8**		

Varianta C

Prvek	Průřez	Materiál	Hmotnost [t]	MSU	MSP
Hl. nosník	2400,850,40,25	S 355	269,0	0,91	u = 80,9 mm
Oblouk	1100,40,950,35,950,30,10	S 355	182,9	0,88	u = 67,2 mm
Táhla	R95	S 460	10,4	0,8	
Svislice	Tr 219,1x6	S355	0,1	0,25	
Portál	500,20,500,12,450,12,10	S355	1,3	0,36	
Příčník v poli	550,250,18,15	S355	100,1	0,79	
Příčník nad podp.	250,18,514,14,186	S355	11,2	0,88	
Celkem			**575,0**		

Varianta D

Prvek	Průřez	Materiál	Hmotnost [t]	MSU	MSP
Hl. nosník	2100,750,40,25	S 355	236,0	0,92	u = 101,7 mm
Oblouk	850,25,750,25,770,20,20	S 355	91,1	0,87	u = 90,1 mm
Diagonály	TR 219,1x12,5	S 355	9,1	0,87	
Táhla	R70	S 460	3,6	0,93	
Svislice	Tr 219,1x6	S355	1,4	0,12	
Portál	500,20,500,12,450,12,10	S355	6,6	0,2	
Příčník v poli	550,250,18,15	S355	100,1	0,79	
Příčník nad podp.	250,18,514,14,186	S355	11,2	0,88	
Celkem			**459,1**		

11. Zhodnocení variant

	Varianta A	Varianta B	Varianta C	Varianta D
Hmotnost	++++	+++	+	++
Vnitřní síly	++++	+++	+	+++
MSÚ	+	++++	+++	++
Deformace	+	++	++++	+++
Estetika	++	+++	++++	+

Při návrhu variant byl brán ohled na porovnání přibližně stejných jednotkových posudků jednotlivých částí konstrukce.
Ve výsledném porovnání hmotnosti vyšla nejlépe varianta A, což je především dáno osovou vzdáleností hlavních nosníků a tedy menší hmotností příčníků. Tato varianta je však brána jako klasické řešení tohoto typu mostu. Při stejné osové vzdálenosti hlavních nosníků je varianta B nejvýhodnější.
Z hlediska estetiky je obtížné konstrukci zhodnotit, záleží na subjektivním dojmu. Dle mého názoru varianty B a C nejlépe zapadají do krajiny.

V celkovém hodnocení variant vyšla **varianta B** jako nejpříznivější a byla tedy vybrána k detailnějšímu zpracování.

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

D – STATICKÝ VÝPOČET

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE — BC. RADEK VLČEK
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — prof. Ing. MARCELA KARMAZÍNOVÁ, CSc.
SUPERVISOR

BRNO 2016

Obsah

1. ÚVOD 4

2. STATICKÉ ŘEŠENÍ 4
2.1. Geometrie konstrukce 4
2.1.1. Půdorys 5
2.1.2. Podélný řez 6
2.1.3. Příčný řez 7
2.1.4. 3D pohled 7
2.2. Výpočtový model 8
2.3. Předpoklady výpočtu 8

3. MATERIÁL 9
3.1. Ocel S335 9
3.2. Beton C30/37 9
3.3. Macalloy 460 9
3.4. Betonářská výztuž B500B 9

4. ZATÍŽENÍ 10
4.1. Stálé zatížení 10
4.1.1. Vlastní tíha konstrukce 10
4.1.2. Ostatní stálá zatížení 10
4.2. Nahodilá zatížení 11
4.2.1. Zatížení dopravou 11
4.2.2. Klimatické zatížení 14

5. ZATĚŽOVACÍ STAVY 17

6. KOMBINACE 18

7. OBLOUK 19
7.1. Posouzení dle I. MS 20
7.1.1. Tlak: 21
7.1.2. Smyk: 21
7.1.3. Ohyb a svislý smyk 22
7.1.4. Ohyb a osová síla: 22
7.1.5. Posouzení krčních svarů 25
7.2. Posouzení dle II. MS 26

8. TRÁM 27
8.1. Posouzení dle I. MS 29

8.1.1. Tah: 29
8.1.2. Ohybový moment: 29
8.1.3. Kombinace ohybu a osové síly 29
8.1.4. Smyk: 29
8.1.5. Ověření boulení stojiny 30
8.1.6. Posouzení krčních svarů 32
8.2. Posouzení dle II. MS 33

9. ŽELEZOBETONOVÁ DESKA 34
9.1. Posudek dle I. MS 34
9.1.1. Ohyb 34
9.1.2. Smyk 39
9.2. Posudek dle II. MS 41

10. PŘÍČNÍK V POLI 44
10.1. Nespřažený průřez 45
10.1.1. Posudek dle I. MS 45
10.1.2. Posouzení dle II. MS 47
10.2. Spřažený průřez 48
10.2.1. Posouzení dle I. MS 48
10.2.2. Posouzení dle II. MS 50

11. PŘÍČNÍK NAD PODPOROU 52
11.1. Nespřažený průřez 53
11.1.1. Posudek dle I. MS 53
11.1.2. Posouzení dle II. MS 54
11.2. Spřažený příčník 55
11.2.1. Posouzení dle I. MS 55
11.2.2. Posouzení dle II. MS 58

12. TÁHLO 59
12.1. Posudek dle I. MS 60
12.1.1. Tah: 60

13. ZAVĚTROVÁNÍ – VĚTROVÝ PORTÁL 60
13.1. Posouzení dle I. MS 62
13.1.1. Smyk: 62
13.1.2. Ohyb a osová síla: 62
13.1.3. Posouzení krčních svarů 65

14. ZAVĚTROVÁNÍ – VODOROVNÝ PRUT 66
14.1. Posudek dle I. MS 67
14.1.1. Tah: 67

15. ZAVĚTROVÁNÍ – ŠIKMÝ PRUT 68
15.1. Posouzení dle I. MS 69
15.1.1. Ohyb a osová síla: 69

16. NÁVRH MOSTNÍCH ZÁVĚRŮ 73
16.1. Mostní závěr na opěře 1 73
16.2. Mostní závěr na opěře 4 74

17. NÁVRH LOŽISEK 76
17.1. Posuny ložisek ve směru mostu 76
17.2. Posuny ložisek v příčném směru 77

18. SPOJE 81

19. POSOUZENÍ NA ÚNAVU 85

1. Úvod

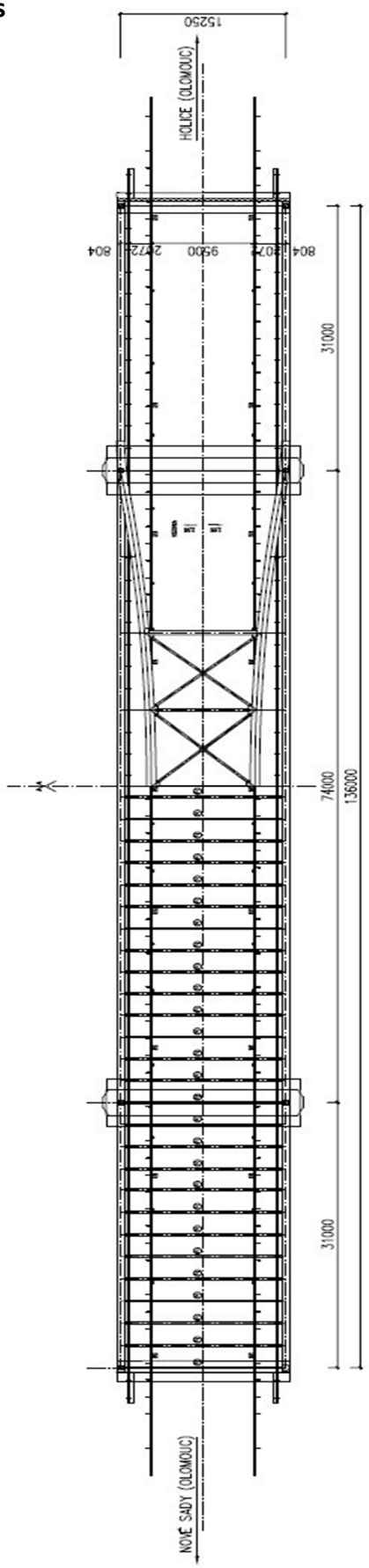
Předmětem zadání diplomové práce je navrhnout ocelovou konstrukci mostu převádějícího pozemní komunikaci přes vodoteč. Jedná se o ocelový most s dolní mostovkou a oboustranným chodníkem převádějící silnici II. třídy přes řeku Moravu na trase Nové Sady (Olomouc) - Holice (Olomouc). Rozpětí jednotlivých polí 31 m + 74 m + 31 m. Mostovka je tvořena železobetonovou deskou spřaženou s příčníky.

2. Statické řešení

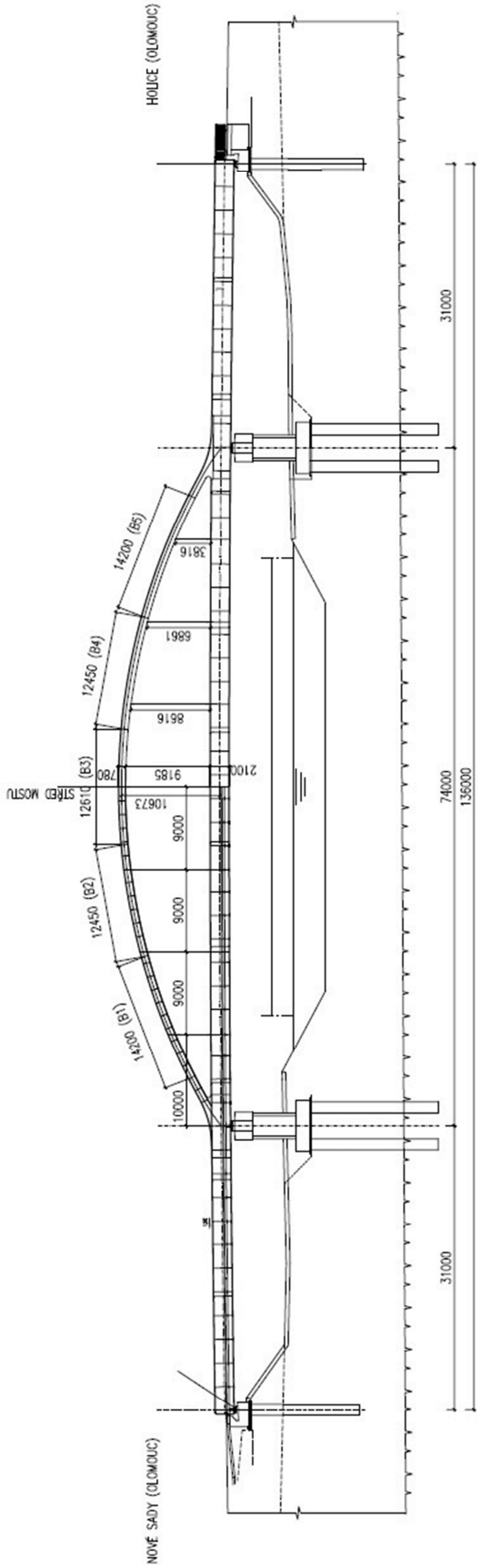
2.1. Geometrie konstrukce

Konstrukce je tvořena dvěma spojitými hlavními nosníky, které jsou ve středním poli vyztuženy obloukem se závěsy, který je vůči vodorovné rovině nakloněný o 75°. Hlavní nosníky jsou tvořeny svařovaným I profilem výšky 2,1 m a šířky pásnice 0,70 m. Vzhledem k průjezdnému profilu je osová vzdálenost nosníku 15,25 m. Mezi hlavními nosníky jsou příčníky tvořeny jako prosté nosníky. Vzdálenost příčníků ve středním poli je 2,55 m a v krajních polích 2,58 m. Oblouk je tvořen uzavřeným svařovaným průřezem šířky 850mm a výšky 780mm. Vzepětí oblouku je 11 m a stabilita proti vybočení v rovině je zajištěna sedmi táhly a z roviny pak příčným zavětrováním, které je uvažováno jako příhradové. Vzhledem k průjezdnému profilu je větrový portál umístěn na druhém styčníku oblouku. Závěsy jsou tvořeny tyčemi průměru 75 mm.

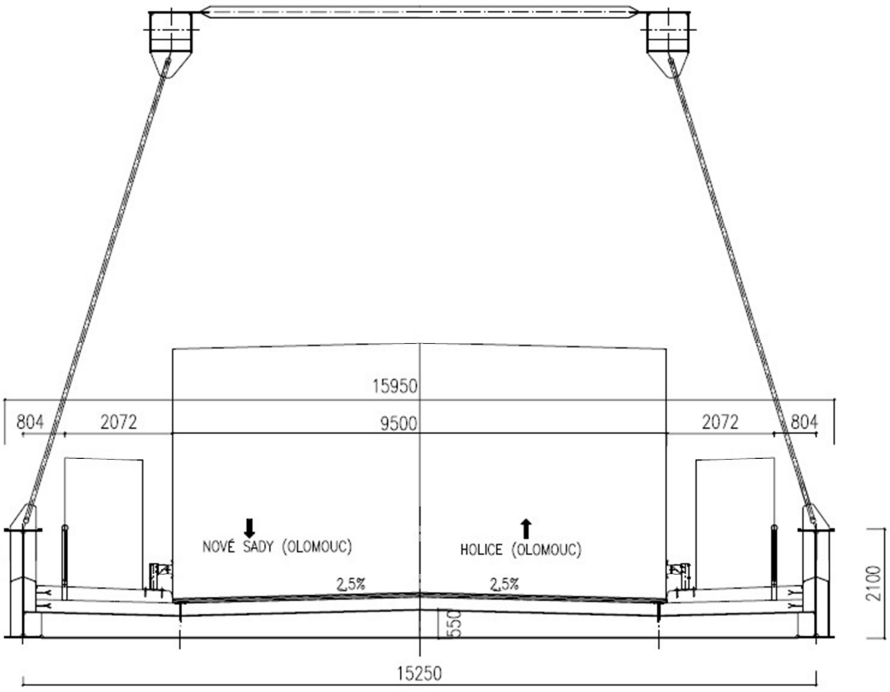
2.1.1. Půdorys


15250
HOLICE (OLOMOUC)
804
2072
9500
2772
804
31000
74000
136000
31000
NOVÉ SADY (OLOMOUC)

2.1.2. Podélný řez



2.1.3. Příčný řez



2.1.4. 3D pohled



2.2. Výpočtový model

Konstrukce je navržena jako 3D model v programu SCIA ENGINEER 14.0.1043. V tomto programu je proveden výpočet vnitřních sil, deformací konstrukce a také návrh průřezů. Model představuje kombinaci prutových a deskostěnových prvků. Je uvažováno spřažení ŽB desky s ocelovou konstrukcí (příčníky). Deska je tvořena 3D plochou s vnitřními žebry, které představují příčníky. Těm byly přiřazeny příslušné efektivní šířky pro spolupůsobení s betonem. Příčníky jsou uloženy na dvou hlavních spojitých nosnících. Každý spojitý nosník je ve středním poli vyztuženy obloukem se závěsy, který je vůči vodorovné rovině nakloněný o 75°. Táhla jsou kloubově připojena k oblouku a hlavnímu nosníku. Stabilita oblouku proti vybočení z roviny oblouku je zajištěna příčným větrovým ztužidlem, které je uvažované jako příhradové a větrovým portálem. Vzhledem k průjezdnému profilu je větrový portál umístěn na druhém styčníku oblouku. Konstrukce je uložena na osmi podporách, z nichž jedna je pevná, jedna posuvná v příčném směru, tři posuvné v podélném směru a tři všesměrně posuvné.



2.3. Předpoklady výpočtu

- spojení trámu a oblouku uvažujeme jako rámově tuhé
- připojení táhel k oblouku a trámu předpokládáme kloubově
- zanedbáváme příčný sklon konstrukce – deska a horní pásnice příčníku jsou v příčném směru modelovány jako vodorovné
- zanedbáváme proměnný podélný sklon mostu – deska je v podélném směru modelována jako vodorovná
- uvažuji dokonalé tuhé spřažení mezi ocelovými příčníky a železobetonovou deskou

3. Materiál

3.1. Ocel S335

- modul pružnosti $E = 210000\ MPa$
- objemová hmotnost $\gamma = 7850\ kg/m^3$
- poissonův součinitel $\nu = 0{,}2$
- tepelná roztažnost $\alpha = 1{,}2 \cdot 10^{-5}\ K^{-1}$
- mez kluzu $f_y = 355\ MPa$
- mez pevnosti v tahu $f_u = 510\ MPa$

3.2. Beton C30/37

- modul pružnosti $E_{cm} = 32000\ MPa$
- objemová hmotnost $\gamma = 2500\ kg/m^3$
- poissonův součinitel $\nu = 0{,}15$
- tepelná roztažnost $\alpha = 1{,}2 \cdot 10^{-5}\ K^{-1}$
- mez kluzu $f_{ck} = 30\ MPa$
- mez pevnosti v tahu $f_{ctm} = 2{,}9\ MPa$
- průměrná pevnost betonu $f_{cm} = 38\ MPa$ $(28\ dn\text{ů})$
- mezní poměrné přetvoření $\varepsilon_{cu} = 3{,}5\ \%$

3.3. Macalloy 460

- modul pružnosti $E = 205000\ MPa$
- objemová hmotnost $\gamma = 7850\ kg/m^3$
- poissonův součinitel $\nu = 0{,}2$
- tepelná roztažnost $\alpha = 1{,}2 \cdot 10^{-5}\ K^{-1}$
- mez kluzu $f_y = 460\ MPa$
- mez pevnosti v tahu $f_u = 610\ MPa$

3.4. Betonářská výztuž B500B

- modul pružnosti $E = 200000\ MPa$
- objemová hmotnost $\gamma = 7850\ kg/m^3$
- poissonův součinitel $\nu = 0{,}3$
- tepelná roztažnost $\alpha = 1{,}2 \cdot 10^{-5}\ K^{-1}$
- mez kluzu $f_y = 500\ MPa$

4. Zatížení

Zatížení je definováno na základě norem:

- ČSN EN 1991-1-1 Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- ČSN EN 1991-1-4 Obecná zatížení – Zatížení větrem
- ČSN EN 1991-2 Zatížení mostů dopravou + ZMĚNA Z3
- ČSN EN 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí – Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

4.1. Stálé zatížení

4.1.1. Vlastní tíha konstrukce

Vlastní tíha ocelové konstrukce a betonové desky byla automaticky vypočítaná pomocí programu SCIA ENGINEER 14.0.1043.

4.1.2. Ostatní stálá zatížení

Kryt vozovky

$h = 0{,}10\ m$
$\gamma = 22\ kN/m^3$

$g_k = h \cdot \gamma = 0{,}10 \cdot 22 = 2{,}2\ kN/m^2$

Římsa

$A = 0{,}17\ m$

$\gamma = 25\ kN/m^3$

$g_k = A \cdot \gamma = 0{,}17 \cdot 25 = 4{,}25\ kN/m^2$

Svodidlo

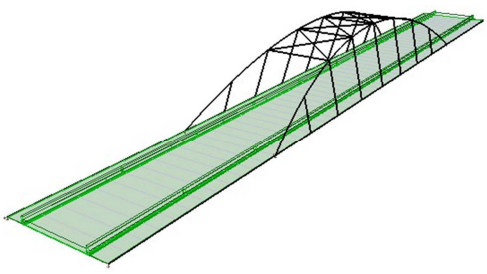
$g_k = 1{,}5\ kN/m$

Pochůzná izolace

$h = 0{,}01\ m$
$g_k = h \cdot \gamma = 0{,}01 \cdot 22 = 0{,}22\ kN/m^2$

Zábradlí

$g_k = 1{,}0\ kN/m$



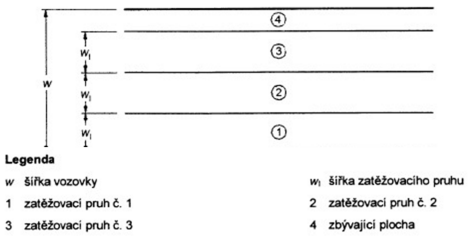
4.2. Nahodilá zatížení

4.2.1. Zatížení dopravou

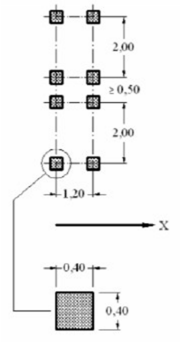
Zatížení dopravou bylo v programu SCIA ENGINEER zadáno jako pohyblivé zatížení.

Svislá zatížení

- Model zatížení 1 (LM1)
  Model zatížení je složen ze dvou soustav:
  Soustředěné zatížení od dvounápravy s každou nápravou o tíze $\alpha_Q \cdot Q_k$
  Rovnoměrné zatížení o tíze na $1\ m^2$ zatěžovacího pruhu $\alpha_q \cdot q_k$

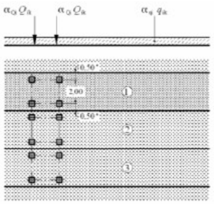


Vozovka šířky 9,5 m byla rozdělena na zatěžovací pruhy:
Pruh 1 – 3 m
Pruh 2 – 3 m
Pruh 3 – 3 m
Pruh z – 0,5 m



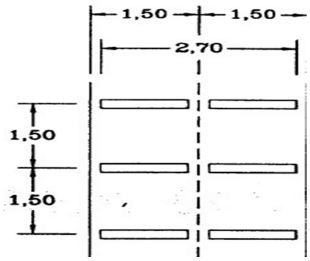
Charakteristické hodnoty LM1

Umístění	Dvounáprava (TS)	Rovnoměrné zatížení (UDL)
	Q_{ik} [kN]	q_{ik} [kN/m^2]
Pruh č.1	300	9
Pruh č.2	200	2,5
Pruh č.3	100	2,5
Ostatní pruhy	0	2,5
Zbývající plocha	0	2,5



Hodnoty regulačních součinitelů α pro ČR

Skupina poz. komunikací	α_{Q1}	α_{Q2}	α_{Q3}	α_{q1}	α_{q2}	α_{qr}
1	1	1	1	1	2,4	1,2
2	0,8	0,8	0,8	0,45	1,6	1,6



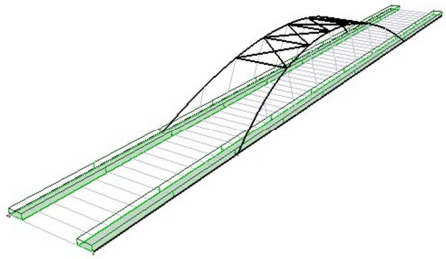
- Model zatížení 3 (LM3)

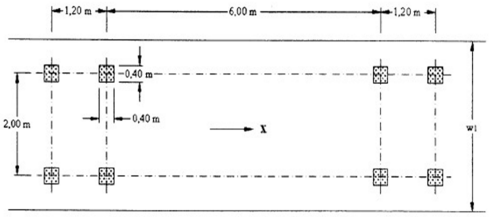
Je soubor soustav nápravových sil představující zvláštní vozidla, která mohou jezdit po trasách, kde je povoleno výjimečné zatížení.

Pro zatížení zvláštním vozidlem uvažuji vozidlo 900/150 (nápravová síla 150 k, celkem 6 náprav).

- Zatížení chodníků

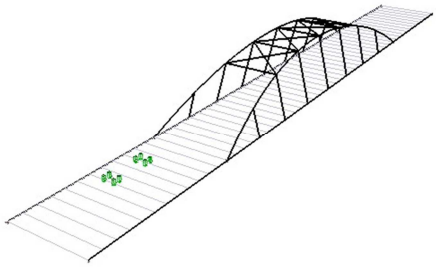
Pro chodníky na mostech pozemních komunikací se uvažuje rovnoměrné zatížení $q_{fk} = 5\ kN/m^2$





- Zatížení na únavu

Je uvažován model zatížení na únavu 3. Model má čtyři nápravy a nápravová síla každé nápravy je 120 kN. Vozidlo se pohybuje v pruhu 1.



<u>Sestava zatížení gr1a</u>

<u>Pruh 1</u>

$TS: \alpha_{Q1} \cdot Q_{k1} = 1{,}0 \cdot 300 = 300\ kN$

$UDL: \alpha_{q1} \cdot q_{k1} = 1{,}0 \cdot 9 = 9\ kN/m^2$

<u>Pruh 2</u>

$TS: \alpha_{Q2} \cdot Q_{k2} = 1{,}0 \cdot 200 = 200\ kN$

UDL: $\alpha_{q2} \cdot q_{k2} = 2{,}4 \cdot 2{,}5 = 6\ k\ N/m^2$

Pruh 3

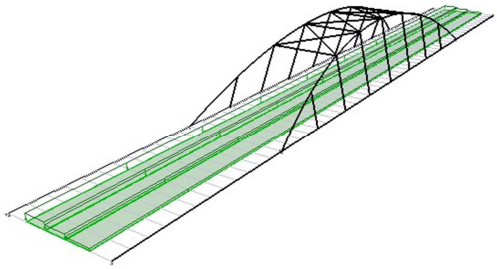
TS: $\alpha_{Q3} \cdot Q_{k3} = 1{,}0 \cdot 100 = 100\ kN$

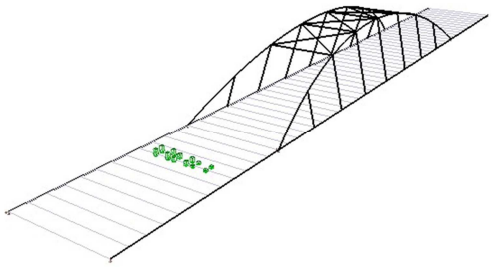
UDL: $\alpha_{q3} \cdot q_{k3} = 1{,}2 \cdot 2{,}5 = 3\ k\ N/m^2$

Pruh z

TS: $\alpha_{Qz} \cdot Q_{kz} = 0\ kN$

UDL: $\alpha_{qz} \cdot q_{kz} = 1{,}2 \cdot 2{,}5 = 3\ k\ N/m^2$





Sestava zatížení gr5

Sestava zatížení gr5 obsahuje zatížení zvláštním vozidlem na vozovce v zatěžovacím pruhu 1. Po celé délce mostu musí být vyloučena veškerá ostatní doprava. Uvažuji pohyb vozidla normální rychlostí (≤70 km/hod). U modelů pohybujících se normální rychlostí se má uvažovat dynamický součinitel $\varphi = 1{,}25$

Pruh 1

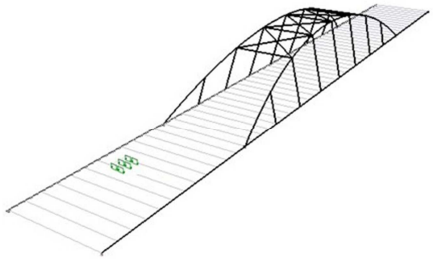
TS: $\varphi \cdot Q = 1{,}25 \cdot 150 = 187{,}5\ kN$

UDL: $0\ kN/m^2$

Pruh 2,3 a z

TS: $\Psi_1 \cdot \alpha_{Q2} \cdot Q_{k2} = 0\ kN$

UDL: $\Psi_1 \cdot \alpha_{q2} \cdot q_{k2} = 0\ kN/m^2$



Vodorovné zatížení

- Brzdné a rozjezdové síly Q_{1k}

Brzdné a rozjezdové síly se uvažují jako vodorovné zatížení působící ve směru osy mostu v úrovni povrchu vozovky. Síly působí v ose zatěžovacího pruhu a jsou uvažované jako rovnoměrné zatížení na příčníky.

LM1

$$Q_{1k} = 0{,}6 \cdot \alpha_{Q1} \cdot (2Q_{1k}) + 0{,}1 \cdot \alpha_{q1} \cdot q_{1k} \cdot w_1 \cdot L$$
$$Q_{1k} = 0{,}6 \cdot 1{,}0 \cdot (2 \cdot 300) + 0{,}1 \cdot 1{,}0 \cdot 9 \cdot 3 \cdot 136 = 727{,}2\ kN$$
$$180\alpha_{Q1} \leq Q_{1k} \leq 900 \rightarrow 180 \leq 727{,}2 \leq 900$$

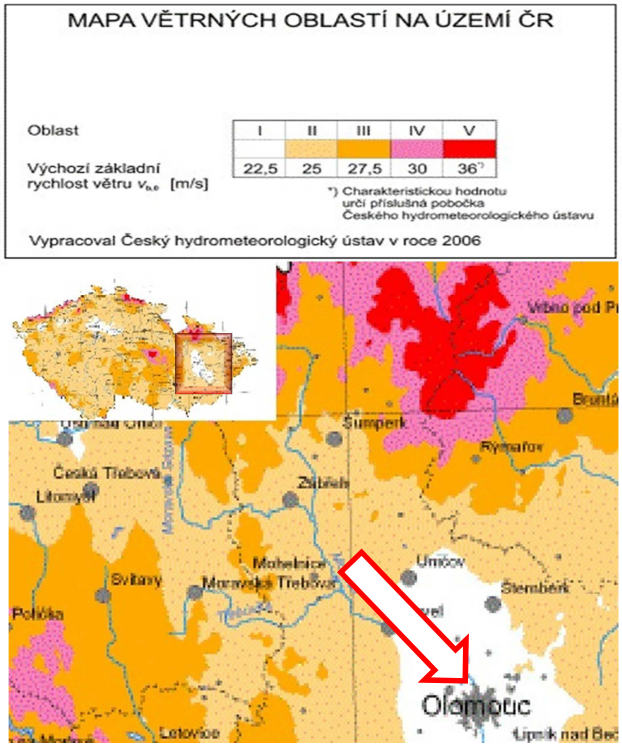
LM3

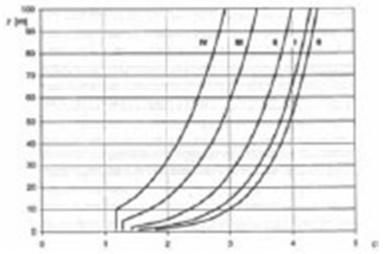
$$Q_{1k} = 0{,}6 \cdot (Q_{LM3}) + 0{,}1 \cdot \alpha_{q2} \cdot q_{2k} \cdot w_1 \cdot L$$
$$Q_{1k} = 0{,}6 \cdot 187{,}5 + 0{,}1 \cdot 2{,}4 \cdot 2{,}5 \cdot 3 \cdot 136 = 357{,}3\ kN$$
$$180\alpha_{Q1} \leq Q_{1k} \leq 900 \rightarrow 180 \leq 357{,}3 \leq 600$$

4.2.2. Klimatické zatížení

Zatížení větrem v příčném směru

Větrná oblast **I.** $v_{b,0} = 22{,}5\ m/s$





Součinitel směru větru

$c_{dir} = 1{,}0$

Součinitel ročního období

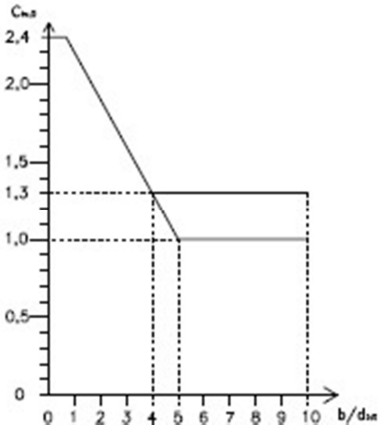
$c_{seas} = 1{,}0$

Základní rychlost větru

$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0} = 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 22{,}5 = 22{,}5\ m/s$

Hustota vzduchu

$\rho = 1{,}25\ kg/m^3$



Základní dynamický tlak větru

$q_b = 0{,}5 \cdot \rho \cdot v_b^2 = 0{,}5 \cdot 1{,}25 \cdot 22{,}5^2 = 316{,}5\ N/m^2$

Kategorie terénu III.

Součinitel expozice

$C_e = 2{,}15$

Součinitel síly

$C_{tx,0} = 1{,}3$

Součinitel zatížení větrem

$C = C_e \cdot C_{tx,0} = 2{,}15 \cdot 1{,}3 = 2{,}8$

Síla od větru ve směru x – zjednodušená metoda

$F_{wk} = 0{,}5 \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C \cdot A_{ref} = 0{,}5 \cdot 1{,}25 \cdot 22{,}5^2 \cdot 2{,}8 \cdot A_{ref}$

$F_{wk} = 885{,}94 \cdot A_{ref}\ N/m^2$

- Zatížení na konstrukci je uvažováno na všechny návětrné plochy konstrukce vystavené směru působení větru
- Zatížení na vozidlo je dle normy uvažované zvětšením výšky hlavní nosné konstrukce o 2,0 m od úrovně vozovky

Zatížení větrem v podélném směru

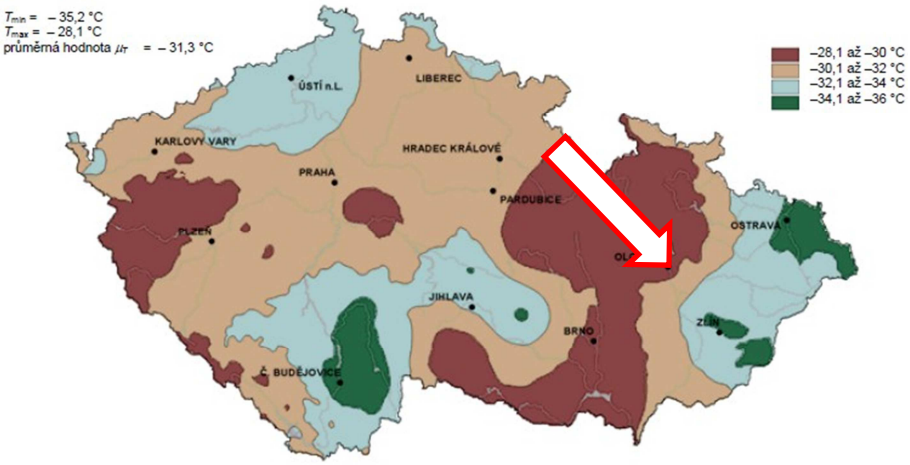
- Je uvažováno 25% sil od zatížení příčným směrem.

Zatížení teplotou

Dle ČSN EN 1991-5 je uvažováno oteplení respektive ochlazení konstrukce.

Minimální teplota vzduchu ve stínu T_{min}

$T_{min} = -30\ °C$

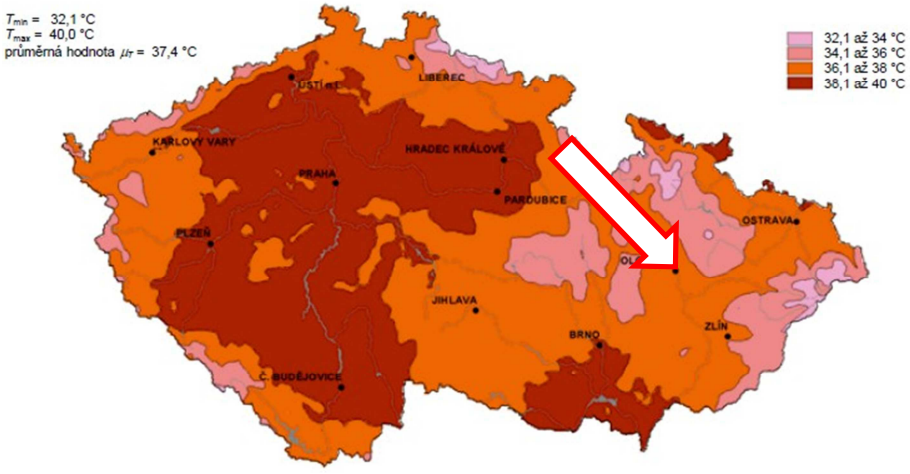


Minimální složka $T_{N,min}$

$T_{N,min} = -30\ °C + 4{,}5\ °C = -25{,}5\ °C$

Maximální teplota vzduchu ve stínu T_{max}

$T_{max} = 38\ °C$



Maximální složka $T_{N,max}$
$T_{N,max} = 38\ °C + 4{,}5\ °C = 42{,}5\ °C$

Výchozí teplota
$T_0 = 10\ °C$

Maximální rozsah rovnoměrných teplot je dán:

Zkrácení
$\Delta T_{N,con} = T_0 - T_{N,min} = 10\ °C - (-25{,}5\ °C) = 35{,}5\ °C$

Prodloužení
$\Delta T_{N,exp} = T_{N,max} - T_0 = 42{,}5\ °C - 10\ °C = 32{,}5\ °C$

5. Zatěžovací stavy

- Zatěžovací stavy v programu Scia Engineer.

Stav	Název	Skup. zatí.	Součinitel
ZS1	Vlastní tíha	LG1	1,35
ZS2	Ostatní stálé	LG2	1,35
ZS3	LM1 UDL	LG3	1,35
ZS4	Brzdné LM1	LG4	1,35
ZS5	Rozjezdové LM1	LG4	1,35
ZS6	Brzdné LM3	LG4	1,35
ZS7	Rozjezdové LM3	LG4	1,35
ZS8	Vítr x zleva	LG5	1,5
ZS9	Vítr x zprava	LG5	1,5
ZS10	Vítr y zleva	LG5	1,5
ZS11	Vítr y zprava	LG5	1,5
ZS12	Chodci	LG6	1,5
ZS13	Teplota-zkrácení	LG7	1,5
ZS14	Teplota-prodloužení	LG7	1,5
ZS100-128	LM1 TS	LG8	1,35
ZS200-228	LM3 TS	LG9	1,35
ZS300-328	Únava	LG10	1,35

6. Kombinace

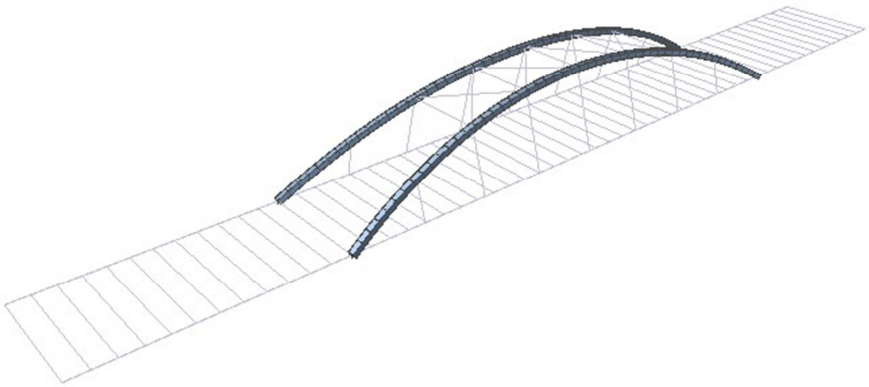
- Kombinace jsou tvořeny automaticky v programu SCIA ENGINEER.

Mezní stav únosnosti – návrhové hodnoty jsou stanoveny podle rovnice 6.10a a 6.10b.

Mezní stav použitelnosti – charakteristická kombinace 6.14b.

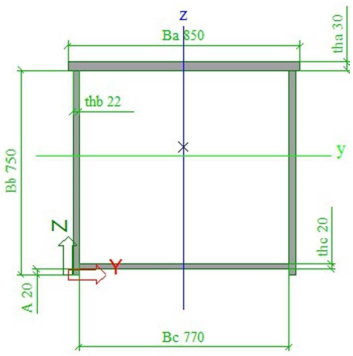
Kombinace	Název	Součinitel
K	Vlastní tíha	1,35
	Ostatní stálé	1,35
	Chodci	1,5
	Vítr x zleva	1,5
	Vítr x zprava	1,5
	Vítr y zleva	1,5
	Vítr y zprava	1,5
	Teplota-zkrácení	1,5
	Teplota-prodloužení	1,5
1	LM1 UDL	1,35
	LM1 TS	1,35
	Brzdné LM1	1,35
	Rozjezdové LM1	1,35
2	LM3 - zvláštní vozidlo	1,35
	Brzdné LM3	1,35
	Rozjezdové LM3	1,35
K3	Únava	1,35

7. Oblouk



Průřezové charakteristiky:

A [m^2]	7,3900e-02
Ay [m^2]	3,9779e-02
Az [m^2]	3,3281e-02
AL [m^2/m]	3,3000e+00
AD [m^2/m]	6,2600e+00
cYUSS [mm]	425
cZUSS [mm]	438
α [deg]	0,00
Iy [m^4]	6,9705e-03
Iz [m^4]	7,4725e-03
iy [mm]	307
iz [mm]	318
Wely [m^3]	1,5926e-02
Welz [m^3]	1,7582e-02
Wply [m^3]	2,0866e-02



Materiálové charakteristiky:

Ocel: S 355 => $f_y = 355$ MPa
$f_u = 510$ MPa
$E = 210$ GPa

Zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0{,}81$$

Pásnice $\frac{c}{t} = \frac{770}{30} = 25{,}67 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0{,}81 = 26{,}73$ →Třída 1

Stojina $\frac{c}{t} = \frac{710}{22} = 32{,}28 \leq 42 \cdot \varepsilon = 42 \cdot 0{,}81 = 34{,}02$ →Třída 3

- výsledná třída průřezu 3

Návrhové hodnoty vnitřních sil

Vnitřní síly na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : Vše
Kombinace : Kombinace MSU

Prvek	Stav	dx [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Studentská verze	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studen
B491	Kombinace MSU/5	0,000	**-10037,10**	38,70	-313,71	112,29	-678,49	815,92
B508	Kombinace MSU/117	1,500	**-4076,97**	76,10	-266,96	-7,38	578,75	-113,30
B496	Kombinace MSU/149	0,000	-9013,96	**-279,20**	630,92	238,78	14,52	229,28
B470	Kombinace MSU/42	0,000	-9001,81	**277,81**	629,90	-236,63	3,37	-227,13
B463	Kombinace MSU/5	1,642	-10010,31	-178,81	**-739,14**	-83,44	128,98	-651,25
B470	Kombinace MSU/51	0,000	-9614,36	238,60	**709,73**	-181,71	94,25	-161,79
B472	Kombinace MSU/7	0,000	-7467,02	31,14	-146,56	**-301,35**	-364,11	-186,65
B498	Kombinace MSU/126	0,000	-7487,56	-32,04	-148,32	**304,47**	-351,95	186,33
B493	Kombinace MSU/142	0,000	-9894,71	-53,16	109,46	167,83	**-1367,13**	715,40
B488	Kombinace MSU/39	1,500	-8716,07	123,82	469,13	2,85	**1557,59**	278,39
B464	Kombinace MSU/13	1,500	-8045,34	-39,35	-423,79	-180,10	-462,41	**-1160,68**
B490	Kombinace MSU/99	1,500	-8067,84	38,26	-424,98	181,34	-447,75	**1174,91**

Návrhové hodnoty vnitřních sil v kritickém průřezu podle posudku oceli v programu Scia Engineer:

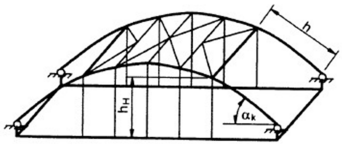
Vnitřní síly	Vypočtené	Jednotka
Studentská verze	*Studentská verze*	*Studentská verze* *Stu
N,Ed	-10034,18	kN
Vy,Ed	-110,77	kN
Vz,Ed	26,24	kN
T,Ed	-123,54	kNm
My,Ed	-868,83	kNm
Mz,Ed	1161,95	kNm

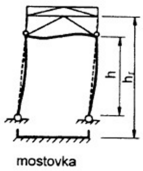
7.1. Posouzení dle I. MS

Výpočet vzpěrných délek

Výpočet součinitelů vzpěrných délek β v rovině a z roviny dle přílohy D ČSN EN 1993-2.

Vybočení oblouku v rovině





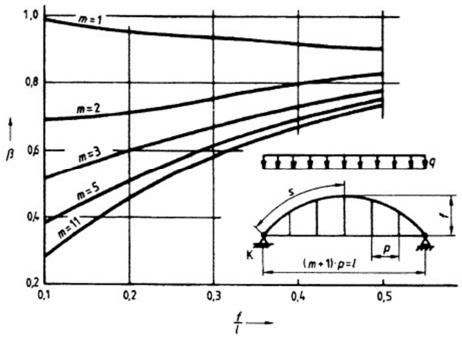
mostovka

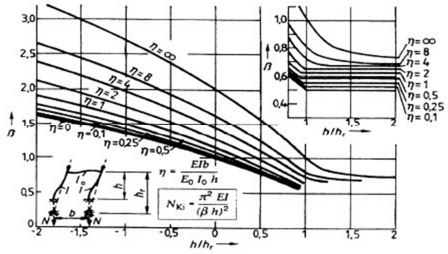
$\frac{f}{l} = \frac{11}{74} = 0{,}149$ m= 7

$\rightarrow \beta_y = 0{,}42$

$\bar{s} = 39{,}142\ m$

$L_{cr,y} = \beta_y \cdot \bar{s} = 16{,}44\ m$





	f/l	0,05	0,075	0,10	0,15	0,20
	K	35	23	17	10	8
		319	97	42	13	6

Vybočení oblouku z roviny

$h = 21\ m$

$n = 5$

$h_r = \sum h_{Hi} \cdot \frac{1}{\sin \alpha_k \cdot n} = (2 \cdot 8{,}562 + 2 \cdot 10{,}399 + 11{,}0) \cdot \frac{1}{\sin 32° \cdot 5} = 18{,}5\ m$

$\eta = \frac{E \cdot l \cdot b}{E_0 \cdot I_0 \cdot h} = \frac{210 \cdot 7{,}473 \cdot 10^9 \cdot 15{,}25}{210 \cdot 0{,}93993 \cdot 10^9 \cdot 21} = 5{,}77$

$\frac{h}{h_r} = \frac{21}{18{,}5} = 1{,}135$

$\rightarrow \beta_z = 0{,}8$

$L_{cr,z} = \beta_z \cdot h = 16{,}8\ m$

Prolomení oblouku

$\kappa = 13$

$l\sqrt{\frac{EA}{12EI_y}} = 74\sqrt{\frac{210 \cdot 10^3 \cdot 0{,}0739}{12 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 0{,}006971}} = 69{,}55 > \kappa$

$69{,}55 > 13 - k\ prolomení\ oblouku\ nedojde$

7.1.1. Tlak:

$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1{,}0$

$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7{,}39 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^3}{1{,}0} = 26234{,}5\ kN$

$\frac{10034{,}18}{26234{,}5} = \mathbf{0{,}38 \leq 1{,}0}$ ***VYHOVUJE***

7.1.2. Smyk:

$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 1{,}0$

$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (\frac{f_y}{\sqrt{3}})}{\gamma_{M0}} = \frac{0{,}0409 \cdot (\frac{355 \cdot 10^3}{\sqrt{3}})}{1{,}0} = 8382{,}84\ kN$

$A_v = 0{,}85 \cdot 0{,}03 + 0{,}77 \cdot 0{,}02 = 0{,}0409\ m^2$

$$\frac{110,77}{8382,84} = \mathbf{0,013} \leq \mathbf{1,0} \qquad \boldsymbol{VYHOVUJE}$$

7.1.3. Ohyb a svislý smyk

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

$V_{ed} = 110{,}77\ kN \leq 0{,}5 \cdot 8382{,}84 = 4191{,}42\ kN \qquad \boldsymbol{VYHOVUJE}$

Zanedbávám vliv smykové síly na momentovou únosnost.

7.1.4. Ohyb a osová síla:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1{,}0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1{,}0$$

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

Vzpěrný tlak v rovině

$L_{cr,y} = \beta_y \cdot \bar{s} = 16{,}44\ m$

Kritická normálová síla:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 6{,}971 \cdot 10^{-3}}{16{,}44^2} = 53457{,}73\ kN$$

Štíhlost prutu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{16{,}44}{0{,}307} = 53{,}55$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{7{,}39 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^3}{53457{,}73}} = 0{,}700$$

Součinitel imperfekce:

$$\emptyset_y = 0{,}5 \cdot \left[1 + \alpha_1 \cdot \left(\bar{\lambda}_y - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}_y^2\right]$$

$$\emptyset_y = 0{,}5 \cdot [1 + 0{,}34 \cdot (0{,}7 - 0{,}2) + 0{,}7^2] = 0{,}83$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_y = \frac{1}{\emptyset_y + \sqrt{\emptyset_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0{,}83 + \sqrt{0{,}83^2 - 0{,}7^2}} = 0{,}78$$

Vzpěrný tlak z roviny

$$L_{cr,z} = \beta_z \cdot h = 16{,}8\ m$$

Kritická normálová síla:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 7{,}473 \cdot 10^{-3}}{16{,}8^2} = 54877{,}65\ kN$$

Štíhlost prutu:

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{16{,}8}{0{,}318} = 52{,}83$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{7{,}39 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^3}{54877{,}65}} = 0{,}69$$

Součinitel imperfekce:

$$\emptyset_z = 0{,}5 \cdot \left[1 + \alpha_1 \cdot \left(\bar{\lambda}_z - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}_z^2\right]$$

$$\emptyset_z = 0{,}5 \cdot [1 + 0{,}34 \cdot (0{,}69 - 0{,}2) + 0{,}69^2] = 0{,}82$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_z = \frac{1}{\emptyset_z + \sqrt{\emptyset_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0{,}82 + \sqrt{0{,}82^2 - 0{,}69^2}} = 0{,}79$$

Únosnost normálové síly:

$N_{Rk} = A \cdot f_y = 7{,}39 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^3 = 26234{,}5\ kN$

Únosnost za ohybu:

$M_{y,Rk} = W_{el,y} \cdot f_y = 1{,}5926 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^3 = 5653{,}73\ kNm$

$M_{z,Rk} = W_{el,z} \cdot f_y = 1{,}7782 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^3 = 6312{,}61\ kNm$

Interakční součinitel podle přílohy B

$c_{my} = 0{,}982$

$$k_{yy} = c_{my} \cdot \left(1 + 0{,}6\bar{\lambda}_y \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{my} \cdot \left(1 + 0{,}6 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{yy} = 0{,}982 \cdot \left(1 + 0{,}6 \cdot 0{,}7 \cdot \frac{10034{,}18}{\frac{0{,}78 \cdot 26234{,}5}{1{,}0}} \right) = 1{,}18$$

$$k_{yy} \leq 0{,}982 \cdot \left(1 + 0{,}6 \cdot \frac{10034{,}18}{\frac{0{,}78 \cdot 26234{,}5}{1{,}0}} \right) = 1{,}451$$

$k_{yy} = 1{,}18 \leq 1{,}451$

$k_{zy} = 0{,}8 \cdot k_{yy} = 0{,}8 \cdot 1{,}18 = 0{,}944$

$c_{mz} = 0{,}9$

$$k_{zz} = c_{mz} \cdot \left(1 + 0{,}6\bar{\lambda}_z \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{mz} \cdot \left(1 + 0{,}6 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{zz} = 0{,}9 \cdot \left(1 + 0{,}6 \cdot 0{,}69 \cdot \frac{10034{,}18}{\frac{0{,}79 \cdot 26234{,}5}{1{,}0}} \right) = 1{,}085$$

$$k_{zz} \leq 0{,}9 \cdot \left(1 + 0{,}6 \cdot \frac{10034{,}18}{\frac{0{,}79 \cdot 26234{,}5}{1{,}0}} \right) = 1{,}16$$

$k_{zz} = 1{,}085 \leq 1{,}16$

$k_{yz} = k_{zz} = 1{,}249$

$$\frac{10034{,}18}{\frac{0{,}78 \cdot 26234{,}5}{1{,}0}} + 1{,}18 \cdot \frac{868{,}83}{\frac{1{,}0 \cdot 5653{,}73}{1{,}0}} + 1{,}249 \cdot \frac{1161{,}95}{\frac{1{,}0 \cdot 6312{,}61}{1{,}0}} = \mathbf{0{,}91} \leq \mathbf{1{,}0}$$

VYHOVUJE

$$\frac{10034{,}18}{\frac{0{,}79 \cdot 26234{,}5}{1{,}0}} + 0{,}944 \cdot \frac{868{,}83}{\frac{1{,}0 \cdot 5653{,}73}{1{,}0}} + 1{,}085 \cdot \frac{1161{,}95}{\frac{1{,}0 \cdot 6312{,}61}{1{,}0}} = \mathbf{0{,}88} \leq \mathbf{1{,}0}$$

VYHOVUJE

7.1.5. Posouzení krčních svarů

$N_{ed} = -10037{,}1\ kN$

$V_{z,ed} = 313{,}71 kN$

$M_{y,ed} = 678{,}49\ kNm$

Průřezové charakteristiky

$I_y = 6{,}971 \cdot 10^{-3}\ m^4$

$S_y = 0{,}85 \cdot 0{,}03 \cdot 0{,}342 = 8{,}721 \cdot 10^{-3}\ m^3$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{z,ed} . S_y}{I_y \cdot 2 \cdot a} = \frac{313{,}71 \cdot 10^3 \cdot 8{,}721 \cdot 10^{-3}}{6{,}971 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 0{,}006} = 32{,}71\ MPa$$

$$\sigma_{\parallel} = \frac{N_{ed}}{A} + \frac{M_{y,ed}}{I_y} \cdot z = \frac{10037{,}1 \cdot 10^3}{7{,}39 \cdot 10^{-2}} + \frac{678{,}49 \cdot 10^3}{6{,}971 \cdot 10^{-3}} \cdot 0{,}312 = 166{,}18\ MPa$$

$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0\ MPa$

Posouzení svaru:

$$\sqrt{\sigma_{\parallel}^2 + 3 \cdot \left(\tau_{\parallel}^2\right)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{166{,}18^2 + 3 \cdot (32{,}71^2)} = 175{,}57\ MPa \leq \frac{510}{0{,}9 \cdot 1{,}25} = 453{,}33\ MPa$$

VYHOVUJE

7.2. Posouzení dle II. MS

- Průhyb oblouk byl spočítán pomocí programu SCIA ENGINEERING.

Deformace na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : Vše
Kombinace : Kombinace MSP

Stav	Prvek	dx [m]	ux [mm]	uy [mm]	uz [mm]	fix [mrad]	fiy [mrad]	fiz [mrad]
*Studentská verze!	*Studentská verze!	*Studentská verze!	*Studentská verze!	*Studentská verze!	*Studentská verze!	*Studentská verze!	*Studentská verze!	*Studentská ve
Kombinace MSP/322	B477	1,500	**-16,3**	-7,7	-32,2	-2,4	3,4	-0,4
Kombinace MSP/323	B514	0,000	**7,9**	2,2	-83,3	2,5	-0,4	0,0
Kombinace MSP/324	B495	0,750	-4,9	**-21,0**	-6,6	5,3	2,6	0,0
Kombinace MSP/325	B468	1,500	-10,1	**21,6**	-1,7	-5,5	2,4	0,3
Kombinace MSP/326	B514	1,500	3,2	-4,5	**-95,8**	2,5	-0,2	0,0
Kombinace MSP/322	B466	1,500	-9,6	10,5	**11,1**	-4,3	0,0	0,3
Kombinace MSP/327	B463	0,000	-5,4	1,7	3,2	**-7,9**	0,0	**4,4**
Kombinace MSP/328	B489	0,000	0,0	-0,7	0,0	**8,0**	0,1	**-4,4**
Kombinace MSP/329	B490	0,000	-1,1	-4,3	3,3	4,9	**-1,8**	-2,1
Kombinace MSP/330	B475	0,750	-14,0	8,1	-39,1	-2,5	**4,7**	-1,1

Délka oblouku: $L = 74000\ mm$

Maximální přípustný průhyb:

$$u_{lim} = \frac{l}{300} = \frac{74000}{300} = 246{,}67mm$$

Posouzení:

$$\boldsymbol{u_{lim} = 246{,}67\ mm \geq u_{max} = 95{,}8\ mm} \qquad \boldsymbol{VYHOVUJE}$$

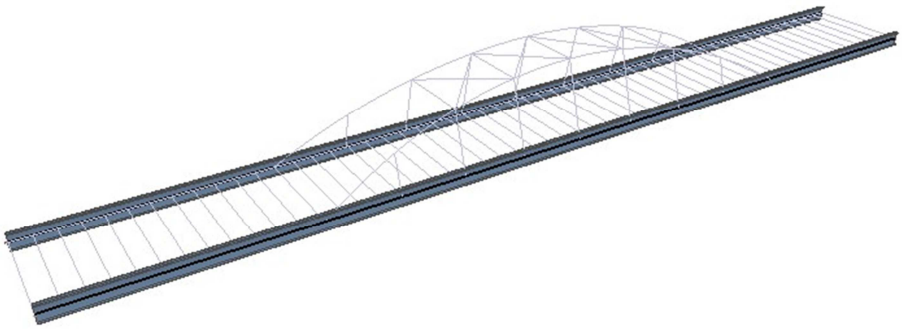
Nadvýšení oblouku

Nadvýšení konstrukce vyrovnává součet deformací od zatížení stálého, nahodilého dlouhodobého a 25 % nahodilého krátkodobého.

Průhyb oblouku

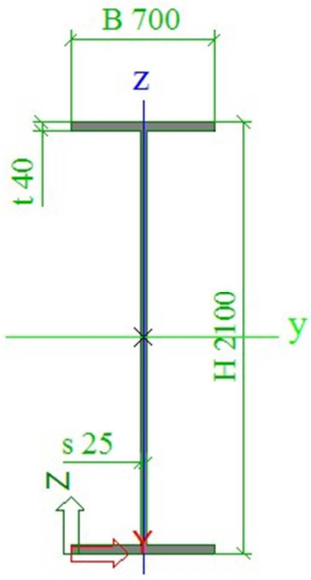
$u = 67{,}8mm \rightarrow nadvýšení\ 68mm$

8. Trám



Průřezové charakteristiky:

A [m^2]	1,0650e-01
Ay [m^2]	5,1309e-02
Az [m^2]	5,2357e-02
AL [m^2/m]	6,9498e+00
AD [m^2/m]	6,9498e+00
cYUSS [mm]	350
cZUSS [mm]	1050
α [deg]	0,00
Iy [m^4]	7,6590e-02
Iz [m^4]	2,2893e-03
iy [mm]	848
iz [mm]	147
Wely [m^3]	7,2942e-02
Welz [m^3]	6,5408e-03
Wply [m^3]	8,3183e-02
Wplz [m^3]	1,0116e-02



Materiálové charakteristiky:

Ocel: S 355 => f_y = 355 MPa
f_u = 510 MPa
E = 210 GPa

Zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0{,}81$$

Pásnice $\frac{c}{t} = \frac{337{,}5}{40} = 8{,}44 \leq 14 \cdot \varepsilon = 14 \cdot 0{,}81 = 11{,}34$ → Třída 3

Stojina $\frac{c}{t} = \frac{2020}{25} = 80{,}8 \leq 124 \cdot \varepsilon = 124 \cdot 0{,}81 = 100{,}44$→ Třída 3

- výsledná třída průřezu 3.

Návrhové hodnoty vnitřních sil

Vnitřní síly na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : Vše
Kombinace : Kombinace MSU

Prvek	Stav	dx [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Studentská verze	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studen
B516	Kombinace MSU/5	105,000	**-2237,48**	67,55	2312,02	1,25	-13603,54	-151,82
B516	Kombinace MSU/148	102,448	**4524,42**	99,52	-1298,33	-1,00	-11637,09	-74,59
B516	Kombinace MSU/3	94,793	3167,84	**-327,94**	-1615,70	-0,35	-6965,15	-0,27
B516	Kombinace MSU/3	41,207	3213,39	**327,73**	1573,30	0,38	-7073,71	-0,45
B516	Kombinace MSU/322	31,000	-1778,32	-41,78	**-2843,67**	-2,89	-14953,06	-97,48
B516	Kombinace MSU/323	105,000	-1704,29	25,30	**2830,50**	1,45	-15544,45	-61,74
B516	Kombinace MSU/324	102,448	3697,86	210,53	-1852,97	**-4,64**	-9777,44	-120,93
B516	Kombinace MSU/325	133,417	263,97	-10,04	-1066,44	**5,19**	2794,81	22,40
B516	Kombinace MSU/278	105,000	4012,59	174,13	-1470,34	-1,24	**-16644,76**	341,81
B516	Kombinace MSU/326	12,917	211,68	-0,35	371,22	3,05	**14362,10**	1,15
B459	Kombinace MSU/316	31,000	3396,41	235,90	1316,93	0,06	-13106,28	**-466,97**
B516	Kombinace MSU/198	31,000	3567,69	-257,40	1415,61	-0,49	-13968,42	**504,59**

Návrhové hodnoty vnitřních sil v kritickém průřezu podle posudku oceli v programu Scia Engineer:

Vnitřní síly	Vypočtené	Jednotka
Studentská verze	*Studentská verze*	*Studentská verze* *Stu
N,Ed	4055,55	kN
Vy,Ed	-242,26	kN
Vz,Ed	1513,34	kN
T,Ed	0,12	kNm
My,Ed	-15337,43	kNm
Mz,Ed	473,92	kNm

Vzpěrné délky

$L_{cr,y} = 31\ m$

$L_{cr,z} = 2{,}583\ m$

- pomocí příčných výztuh ve vzdálenosti příčníku je zabráněno klopení hlavního nosníku.

8.1. Posouzení dle I. MS

8.1.1. Tah:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1{,}0$$

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{10{,}65 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^3}{1{,}0} = 37807{,}5\ kN$$

$$\frac{4055{,}55}{37807{,}5} = \mathbf{0{,}11 \leq 1{,}0} \qquad \boldsymbol{VYHOVUJE}$$

8.1.2. Ohybový moment:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1{,}0$$

$$M_{y,c,Rd} = \frac{W_{el,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7{,}2942 \cdot 10^{-2} \cdot 335 \cdot 10^3}{1{,}0} = 25894{,}57\ kNm$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,c,Rd}} = \frac{15337{,}43}{25894{,}57} = \mathbf{0{,}59 \leq 1{,}0} \qquad \boldsymbol{VYHOVUJE}$$

$$M_{z,c,Rd} = \frac{W_{el,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{6{,}5408 \cdot 10^{-3} \cdot 335 \cdot 10^3}{1{,}0} = 2322{,}0\ kNm$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,c,Rd}} = \frac{473{,}92}{2322{,}0} = \mathbf{0{,}20 \leq 1{,}0} \qquad \boldsymbol{VYHOVUJE}$$

8.1.3. Kombinace ohybu a osové síly

$$\frac{N_{ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{ed,y}}{\frac{M_{Rk,y}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{ed,z}}{\frac{M_{Rk,z}}{\gamma_{M0}}} \leq 1{,}0$$

$$\frac{4055{,}55}{\frac{37807{,}5}{1{,}0}} + \frac{15337{,}43}{\frac{25894{,}57}{1{,}0}} + \frac{473{,}92}{\frac{2322}{1{,}0}} = 0{,}91 \leq 1{,}0$$

8.1.4. Smyk:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 1{,}0$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (\frac{f_y}{\sqrt{3}})}{\gamma_{M0}} = \frac{0{,}0505 \cdot (\frac{355 \cdot 10^3}{\sqrt{3}})}{1{,}0} = 10350{,}44\ kN$$

$A_v = 2{,}02 \cdot 0{,}025 = 0{,}0505\ m^2$

$\frac{1513{,}34}{10350{,}44} = \mathbf{0{,}15 \leq 1{,}0}$ ***VYHOVUJE***

8.1.5. Ověření boulení stojiny

Boulení stěn při namáhaní tlakem

$\varepsilon = 0{,}81$

$b_p = b_w = 2{,}02\ m$

$\Psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{320{,}6}{-259{,}7} = -1{,}23$

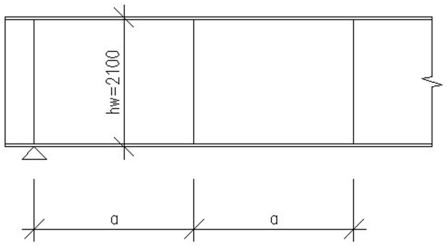
$k_v = 5{,}98 \cdot (1 - \Psi)^2 = 5{,}98 \cdot (1 + 1{,}23)^2 = 29{,}74$

$\bar{\lambda}_p = \frac{b_p/t}{28{,}4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{2{,}02/0{,}025}{28{,}4 \cdot 0{,}81 \cdot \sqrt{29{,}74}} = 0{,}65 \leq 0{,}673 \rightarrow \rho = 1$

$\rightarrow boulení\ nenastává$

Boulení stěn při namáhaní smykem

- výztuhy umístěny v místech příčníků



$a = 2{,}583\ m$

$h_w = 2{,}02\ m$

$t_w = 0{,}025\ m$

$\frac{a}{h_w} = \frac{2{,}583}{2{,}02} = 1{,}279 \geq 1 \rightarrow k_\tau$

$k_\tau = 5{,}34 + \frac{4}{\left(\frac{a}{h_w}\right)^2} = 5{,}34 + \frac{4}{\left(\frac{2{,}583}{2{,}02}\right)^2} = 7{,}79$

$\frac{h_w}{t_w} = \frac{2{,}02}{0{,}025} 80{,}8 \geq 31 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau} = 31 \cdot 0{,}81 \cdot \sqrt{7{,}79} = 70{,}08$

→ Je nutné ověřit smykovou únosnost při boulení

Boulení od smyku nenastane pokud $\frac{h_w}{t_w} \leq 31 \cdot \varepsilon \cdot \frac{\sqrt{k_\tau}}{\eta}$

- Mezilehlé i podporové výztuhy jsou stejné

Do průřezu výztuhy se započítá spolupůsobící část stojiny $30 \cdot \varepsilon \cdot t_w = 30 \cdot 0{,}81 \cdot 25 = 607{,}5$

$$k_{\tau st} = 9 \cdot \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 \cdot \sqrt[4]{\left(\frac{I_{sl}}{t^3 \cdot h_w}\right)^3} = 9 \cdot \left(\frac{2{,}02}{2{,}583}\right)^2 \cdot \sqrt[4]{\left(\frac{7{,}72 \cdot 10^{-5}}{0{,}025^3 \cdot 2{,}02}\right)^3} = 10{,}77$$

$$k_\tau = 5{,}34 + \frac{4}{\left(\frac{a}{h_w}\right)^2} + k_{\tau st} = 5{,}34 + \frac{4}{\left(\frac{2{,}583}{2{,}02}\right)^2} = 7{,}79 + 10{,}77 = 18{,}56$$

$$\eta = 1{,}2$$

$$\frac{2{,}02}{0{,}025} = 80{,}8 \leq 31 \cdot 0{,}81 \cdot \frac{\sqrt{18{,}56}}{1{,}2} = 90{,}14$$

$$\rightarrow \textit{boulení od smyku nenastává}$$

Posouzení tuhosti výztuhy

$$\frac{a}{h_w} = \frac{2{,}583}{2{,}02} = 1{,}28 < \sqrt{2} = 1{,}41 \rightarrow I_{st} \geq 1{,}5 \frac{h_w^3 \cdot t^3}{a^2}$$

$$I_{st} = 7{,}72 \cdot 10^{-5} \geq 1{,}5 \frac{2{,}02^3 \cdot 0{,}025^3}{2{,}583^2} = 1{,}44 \cdot 10^{-5}$$

→ Vyhovuje

$$k_\tau = 5{,}34 + \frac{4}{\left(\frac{a}{h_w}\right)^2} = 5{,}34 + \frac{4}{\left(\frac{2{,}583}{2{,}02}\right)^2} = 7{,}79$$

$$\eta = 1{,}2$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{b_p}{37{,}4 \cdot t \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau}} = \frac{2{,}02}{37{,}4 \cdot 0{,}025 \cdot 0{,}81 \cdot \sqrt{7{,}79}} = 0{,}95$$

$$\frac{0{,}83}{\eta} = \frac{0{,}83}{1{,}2} = 0{,}69 \leq \bar{\lambda}_w = 0{,}95$$

Příspěvek stojiny pro únosnost při smyku

$$\chi_w = \frac{0{,}83}{\bar{\lambda}_w} = \frac{0{,}83}{0{,}95} = 0{,}88$$

Příspěvek pásnic χ_f zanedbán

Návrhová únosnost

$$V_{c,Rd} = \chi_w \cdot f_y \cdot \frac{b \cdot t}{\sqrt{3}} = 0{,}88 \cdot 355 \cdot 10^3 \cdot \frac{2{,}02 \cdot 0{,}025}{\sqrt{3}} = 9108{,}39\ kN$$

$$V_{ed} = 2843{,}67\ kN \leq V_{c,Rd} = 9108{,}39\ kN$$

Vyhovuje

8.1.6. Posouzení krčních svarů

$N_{ed} = 4055{,}55\ kN$

$V_{z,ed} = 1513{,}34$

$M_{y,ed} = 15337{,}43\ kNm$

Průřezové charakteristiky

$I_y = 7{,}65 \cdot 10^{-2}\ m^4$

$$S_y = 0{,}7 \cdot 0{,}04 \cdot \frac{2{,}1 - 0{,}04}{2} = 28{,}84 \cdot 10^{-3}\ m^3$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{ed,max} \cdot S_y}{I_y \cdot 2 \cdot a} = \frac{1513{,}34 \cdot 10^3 \cdot 28{,}84 \cdot 10^{-3}}{7{,}65 \cdot 10^{-2} \cdot 2 \cdot 0{,}006} = 47{,}55\ MPa$$

$$\sigma_{\parallel} = \frac{N_{ed}}{A} + \frac{M_{y,ed}}{I_y} \cdot z = \frac{4055{,}55 \cdot 10^3}{0{,}1065} + \frac{15337{,}43 \cdot 10^3}{7{,}65 \cdot 10^{-2}} \cdot 1{,}01 = 240{,}33\ MPa$$

$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0\ MPa$

Posouzení svaru:

$$\sqrt{\sigma_{\parallel}^2 + 3 \cdot (\tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{240{,}33^2 + 3 \cdot (47{,}55^2)} = 254{,}1\ MPa \leq \frac{510}{0{,}9 \cdot 1{,}25} = 453{,}33\ MPa$$

Vyhovuje

8.2. Posouzení dle II. MS

- Průhyb oblouk byl spočítán pomocí programu SCIA ENGINEERING.

Deformace na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : Vše
Kombinace : Kombinace MSP

Stav	Prvek	dx [m]	ux [mm]	uy [mm]	uz [mm]	fix [mrad]	fiy [mrad]	fiz [mrad]
*Studentská verze!	*Studentská verze!	*Studentská verze!	*Studentská verze!	*Studentská verze!	*Studentská verze!	*Studentská verze!	*Studentská verz
Kombinace MSP/373	B516	31,000	**-7,5**	0,2	0,0	-5,7	-1,4	-0,4
Kombinace MSP/374	B516	105,000	**0,6**	0,2	0,0	-5,1	1,3	0,3
Kombinace MSP/375	B459	68,000	-3,4	**-1,2**	-91,7	9,2	0,2	0,0
Kombinace MSP/376	B516	136,000	0,0	**2,6**	0,0	**-13,5**	-5,0	0,2
Kombinace MSP/377	B516	69,276	-3,5	0,5	**-106,3**	-9,8	-0,3	-0,1
Kombinace MSP/378	B516	102,448	0,1	0,5	**3,1**	-6,0	0,6	-0,1
Kombinace MSP/376	B459	136,000	0,0	0,0	0,0	**12,3**	-4,7	-0,2
Kombinace MSP/379	B516	136,000	0,0	1,0	0,0	-5,0	**-6,4**	0,0
Kombinace MSP/380	B516	0,000	-5,8	1,1	0,0	-5,2	**6,4**	0,0
Kombinace MSP/381	B516	31,000	-6,5	0,5	0,0	-8,6	-1,5	**-0,6**
Kombinace MSP/382	B516	105,000	0,2	0,6	0,0	-8,7	1,4	**0,5**

Délka trámu v krajním poli: $L = 31000\ mm$

Maximální přípustný průhyb:

$$u_{lim} = \frac{l}{300} = \frac{31000}{300} = 103{,}33mm$$

Posouzení:

$$\boldsymbol{u_{lim} = 103,33\ mm \geq u_{max} = 58,5\ mm} \qquad \boldsymbol{VYHOVUJE}$$

Délka trámu ve středním poli: $L = 74000\ mm$

Maximální přípustný průhyb:

$$u_{lim\frac{1}{2}} = \frac{l}{300} = \frac{74000}{300} = 246{,}67mm$$

Posouzení:

$$\boldsymbol{u_{lim} = 246,67\ mm \geq u_{max} = 106,3\ mm} \qquad \boldsymbol{VYHOVUJE}$$

$$u_{lim\frac{1}{4}} = \frac{l/2}{300} = \frac{74000/2}{300} = 123{,}33mm$$

Posouzení:

$$\boldsymbol{u_{lim} = 123,33\ mm \geq u_{max} = 106,3\ mm} \qquad \boldsymbol{VYHOVUJE}$$

Nadvýšení trámu

Nadvýšení konstrukce vyrovnává součet deformací od zatížení stálého, nahodilého dlouhodobého a 25 % nahodilého krátkodobého.

Průhyb v krajních polích

$u_{1,3} = 37{,}6mm \rightarrow nadvýšení\ 38mm$

Průhyb ve středním poli

$u_2 = 75{,}5mm \rightarrow nadvýšení\ 76mm$

9. ŽELEZOBETONOVÁ DESKA

- Železobetonová deska je navržena tl. 250 mm a je modelována jako 3D plocha s vnitřními žebry, které reprezentují příčníky.

Návrhové hodnoty vnitřních sil v kritickém průřezu:

Maximální vnitřní síly v poli

$M_x = M_{ed} = 166{,}25\ kNm$

$n_x = N_{ed} = 73{,}1\ kN$

Maximální vnitřní síly nad podporou

$M_x = M_{ed} = -97{,}43\ kNm$

$n_x = N_{ed} = 357{,}89\ kN$

9.1. Posudek dle I. MS

9.1.1. Ohyb

Beton C30/37

$f_{ck} = 30\ Mpa$

$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0{,}85 \cdot \frac{30}{1{,}5} = 17\ MPa$

$f_{ctm} = 2{,}9\ Mpa$

$\epsilon_{c3} = 1{,}75$

$\epsilon_{cu3} = 3{,}5$

Výztuž B500B

$f_{yk} = 500\ Mpa$

$f_{yd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_s} = \frac{500}{1{,}15} = 434{,}78\ MPa$

$E_s = 200\ Gpa$

$\epsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_S} = \frac{434{,}78}{200 \cdot 10^3} = 2{,}17\ \%$

Výpočet krytí

$c \geq c_{nom}$

$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$

$c_{min} = max(c_{min,b}; c_{min,dur}; 10)$

$c_{min,b} = \emptyset = 25\ mm$

$c_{min,dur} = 25\ mm$

$c_{min} = max(25; 25; 10)$=25 mm

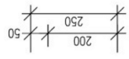
$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 25 + 10 = 35\ mm$

návrh $\rightarrow c = 40\ mm$

Výztuž nad podporou

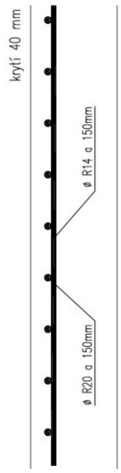
účinná výška průřezu

$d_1 = c + \frac{\emptyset}{2} = 40 + 10 = 50\ mm$



$d = h - d_1 = 250 - 52{,}5 = 200\ mm$

$z \cong 0{,}9 \cdot d = 0{,}9 \cdot 196 = 180\ mm$



$A_{s,req} = \frac{M_{ed}}{z \cdot f_{yd}} = \frac{97{,}43 \cdot 10^3}{0{,}180 \cdot 434{,}78} = 12{,}45 \cdot 10^{-4}\ m^2$

$návrh\ \emptyset\ 20\ po\ 150mm \rightarrow A_s = 20{,}94 \cdot 10^{-4}\ m^2$

Stupeň vyztužení

$\rho_s = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{20{,}94 \cdot 10^{-4}}{1 \cdot 0{,}2} = 0{,}0105$

$$\rho_{s,min} = 0{,}26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0{,}26 \cdot \frac{2{,}9}{500} = 0{,}00151 \geq 0{,}0013$$

$$\rho_{s,min} = 0{,}00151 \leq \rho_s = 0{,}0105$$

Minimální plocha výztuže

$$A_{s,min} = 0{,}26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0{,}26 \cdot \frac{2{,}9}{500} \cdot 1 \cdot 0{,}2 = 0{,}00031\, m^2$$

$$A_{s,min} \geq 0{,}0013 \cdot b \cdot d = 0{,}0013 \cdot 1 \cdot 0{,}2 = 0{,}00026\, m^2$$

$$A_{s,min} = 0{,}00031\, m^2 \geq 0{,}00026\, m^2$$

Maximální plocha výztuže

$$A_{s,max} = 0{,}04 \cdot A_c = 0{,}04 \cdot 1 \cdot 0{,}25 = 0{,}01\, m^2$$

$$A_{s,min} = 0{,}00031\, m^2 \leq A_s = 0{,}002094\, m^2 \leq A_{s,max} = 0{,}01\, m^2$$

Poloha normálové osy

- Podmínka rovnováhy sil $F_c = F_s$

$$F_c = \lambda \cdot x \cdot b \cdot f_{cd}$$

$$F_s = A_s \cdot \sigma_s - p\check{r}edpoklad\ \sigma_s = f_{yd}$$

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{\lambda \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{0{,}002094 \cdot 434780}{0{,}8 \cdot 1 \cdot 17000} = 0{,}0669\, m$$

$$\varepsilon_{s1} = |\varepsilon_{cu}| \cdot \frac{d - x}{x} = 3{,}5 \cdot \frac{0{,}2 - 0{,}0669}{0{,}0669} = 6{,}96$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434780}{200000} = 2{,}17$$

$$\varepsilon_{s1} = 6{,}96 \geq \varepsilon_{yd} = 2{,}17$$

$$x_{lim} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{yd}} \cdot d = \frac{3{,}5}{3{,}5 + 2{,}17} \cdot 0{,}200 = 0{,}123\, m$$

$$x_{lim} = 0{,}123\, m \geq x = 0{,}0669\, m$$

Návrhový moment únosnosti

$$z_c = d - \frac{x_c}{2} = d - \frac{\lambda x}{2} = 0{,}2 - \frac{0{,}8 \cdot 0{,}0669}{2}\, 0{,}173\ m$$

$$M_{Rd} = F_s \cdot z = A_s \cdot f_{yd} \cdot z = 0{,}002094 \cdot 434780 \cdot 0{,}173 = 157{,}5\ kNm$$

$$M_{Rd} = 157{,}5 kNm \geq M_{ed} = 97{,}43\ kNm$$ ***Vyhovuje***

Tahová rezerva ve výztuži

$$\sigma_{r,s} = f_{yd} \cdot \left(1 - \frac{M_{ed}}{M_{Rd}}\right) = 434{,}78 \cdot \left(1 - \frac{97{,}43}{157{,}5}\right) = 165{,}82\ MPa$$

Napětí od normálové síly

$$\sigma_s = \frac{N_{ed}}{2 \cdot A_s} = \frac{357{,}89 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0{,}002094} = 85{,}46\ MPa$$

$$\sigma_{r,s} = 165{,}82\ MPa \geq \sigma_s = 85{,}46\ MPa$$ ***Vyhovuje***

Rozdělovací vyztuž

Návrh $\emptyset\ 14\ po\ 150\ mm \rightarrow A_{s,r} = 10{,}26 \cdot 10^{-4}\ m^2$

Výztuž v poli

účinná výška průřezu

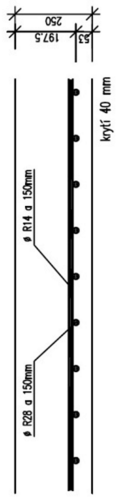
$$d_1 = c + \frac{\emptyset}{2} = 40 + 12{,}5 = 52{,}5\ mm$$

$$d = h - d_1 = 250 - 52{,}5 = 197{,}5\ mm$$

$$z \cong 0{,}9 \cdot d = 0{,}9 \cdot 197{,}5 = 177{,}75\ mm$$

$$A_{s,req} = \frac{M_{ed}}{z \cdot f_{yd}} = \frac{166{,}25 \cdot 10^3}{0{,}17775 \cdot 434{,}78} = 30{,}57 \cdot 10^{-4}\ m^2$$

$$návrh\ \emptyset\ 25\ po\ 150mm \rightarrow A_s = 32{,}72 \cdot 10^{-4}\ m^2$$



Stupeň vyztužení

$$\rho_s = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{32{,}72 \cdot 10^{-4}}{1 \cdot 0{,}1975} = 0{,}0166$$

$$\rho_{s,min} = 0{,}26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0{,}26 \cdot \frac{2{,}9}{500} = 0{,}00151 \geq 0{,}0013$$

$$\rho_{s,min} = 0{,}00151 \leq \rho_s = 0{,}0166$$

Minimální plocha výztuže

$$A_{s,min} = 0{,}26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0{,}26 \cdot \frac{2{,}9}{500} \cdot 1 \cdot 0{,}1975 = 0{,}00030\ m^2$$

$$A_{s,min} \geq 0{,}0013 \cdot b \cdot d = 0{,}0013 \cdot 1 \cdot 0{,}1975 = 0{,}000257 m^2$$

$$A_{s,min} = 0{,}00030\ m^2 \geq 0{,}000257\ m^2$$

Maximální plocha výztuže

$$A_{s,max} = 0{,}04 \cdot A_c = 0{,}04 \cdot 1 \cdot 0{,}25 = 0{,}01\ m^2$$

$$A_{s,min} = 0{,}00030\ m^2 \leq A_s = 0{,}003272\ m^2 \leq A_{s,max} = 0{,}01\ m^2$$

Poloha normálové osy

- Podmínka rovnováhy sil $F_c = F_s$

$$F_c = \lambda \cdot x \cdot b \cdot f_{cd}$$

$$F_s = A_s \cdot \sigma_s - p\check{r}edpoklad\ \sigma_s = f_{yd}$$

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{\lambda \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{0{,}003272 \cdot 434780}{0{,}8 \cdot 1 \cdot 17000} = 0{,}105m$$

$$\varepsilon_{s1} = |\varepsilon_{cu}| \cdot \frac{d - x}{x} = 3{,}5 \cdot \frac{0{,}1975 - 0{,}105}{0{,}105} = 3{,}08$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434780}{200000} = 2{,}17$$

$$\varepsilon_{s1} = 3{,}08 \geq \varepsilon_{yd} = 2{,}17$$

$$x_{lim} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{yd}} \cdot d = \frac{3{,}5}{3{,}5 + 2{,}17} \cdot 0{,}1975 = 0{,}122\ m$$

$$x_{lim} = 0{,}122\ m \geq x = 0{,}105\ m$$

Návrhový moment únosnosti

$$z_c = d - \frac{x_c}{2} = d - \frac{\lambda x}{2} = 0{,}1975 - \frac{0{,}8 \cdot 0{,}105}{2} = 0{,}1555\ m$$

$$M_{Rd} = F_s \cdot z = A_s \cdot f_{yd} \cdot z = 0{,}003272 \cdot 434780 \cdot 0{,}1555 = 221{,}93\ kNm$$

$M_{Rd} = 221{,}21\ kNm \geq M_{ed} = 166{,}25\ kNm$ ***Vyhovuje***

Tahová rezerva ve výztuži

$$\sigma_{r,s} = f_{yd} \cdot \left(1 - \frac{M_{ed}}{M_{Rd}}\right) = 434{,}78 \cdot \left(1 - \frac{166{,}25}{221{,}21}\right) = 108{,}02\ MPa$$

Napětí od normálové síly

$$\sigma_s = \frac{N_{ed}}{2 \cdot A_s} = \frac{73{,}1 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0{,}003272} = 11{,}17\ MPa$$

$\sigma_{rs} = 108{,}02\ MPa \geq \sigma_s = 11{,}17\ MPa$ ***Vyhovuje***

Rozdělovací vyztuž

Návrh $\emptyset\ 14\ po\ 150\ mm \rightarrow A_{s,r} = 10{,}26 \cdot 10^{-4}\ m^2$

9.1.2. Smyk

$V_{ed} = 215{,}23\ kN$

$h = 0{,}250\ m$

$b_w = 1\ m$

$d = 0{,}1975\ m$

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3}\right] \cdot b_w \cdot d$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0{,}18}{\gamma_c} = \frac{0{,}18}{1{,}5} = 0{,}12$$

$$k = 1 + \left(\frac{200}{d}\right)^{0{,}5} = 1 + \left(\frac{200}{197{,}5}\right)^{0{,}5} = 2 \leq 2{,}0$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{32{,}72 \cdot 10^{-4}}{1 \cdot 0{,}1975} = 1{,}66 \cdot 10^{-2} \leq 0{,}02$$

$$V_{Rd,c} = \left[0{,}12 \cdot 2 \cdot (100 \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-2} \cdot 30)^{1/3}\right] \cdot 1 \cdot 0{,}1975 = 174{,}38\ kN$$

$$v_{min} = 0{,}035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot {f_{ck}}^{0{,}5} = 0{,}035 \cdot 2^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{0{,}5} = 0{,}5\ kN$$

$$V_{Rd,c} = 174{,}38\ kN \geq v_{min} \cdot b_w \cdot d = 0{,}5 \cdot 1000 \cdot 197{,}5 = 98{,}75\ kN$$

$$V_{Rd,c} = 174{,}38\ kN \geq V_{ed} = 215{,}23\ kN$$

$$\rightarrow nutno\ navrhnout\ smykovou\ výztuž$$

Návrh smykové výztuže

Návrh $Třmínky\ R10\ po\ 150\ mm \rightarrow A_{s,r} = 5{,}24 \cdot 10^{-4}\ m^2$

$b_w = 1{,}0m$ ν=0,6 $\alpha = 90°$

$d = 0{,}205\ m$ $z = 0{,}185m$ $\theta = 40°$

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{ywd} \cdot z \cdot cotg\theta$$

$$V_{Rd,s} = \frac{5{,}24 \cdot 10^{-4}}{0{,}15} \cdot 434{,}78 \cdot 0{,}185 \cdot cotg40 = 334{,}87kN$$

$$V_{rd,max} = \frac{f_{cd} \cdot b_w \cdot z \cdot \nu}{(tg\theta + cotg\theta)}$$

$$V_{rd,max} = \frac{17000 \cdot 1{,}0 \cdot 0{,}185 \cdot 0{,}6}{(tg40 + cotg40)} = 929{,}16kN$$

$$\rho = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w \cdot sin\alpha} = \frac{5{,}24 \cdot 10^{-4}}{0{,}15 \cdot 1 \cdot sin90} = 3{,}49 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_{w,min} = \frac{0{,}08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0{,}08 \cdot \sqrt{30}}{500} = 8{,}76 \cdot 10^{-4} \leq \rho$$

$V_{rd,max} = 926{,}16kN \geq V_{ed} = 215{,}23\ kN$ ***Vyhovuje***

$V_{Rd,s} = 334{,}84kN \geq V_{ed} = 215{,}23\ kN$ ***Vyhovuje***

9.2. Posudek dle II. MS

Mezní šířka trhlin nad podporou

$k = 1600$ součinitel povrchu výztuže (R-žebírková)

$\lambda = 1{,}2$ součinitel trvalé šířky trhlin

$\kappa = 1{,}0$ součinitel způsobu namáhání (ohyb)

$w_{tb} = 6 \cdot \frac{a_t}{h} = \frac{50}{250} = 1{,}2$ součinitel krycí vrstvy

$\mu_{st} = 0{,}84\%$ stupeň vyztužení

$$d_w = 1{,}1 \cdot \sqrt{\frac{A_{st}}{n_t}} = 1{,}1 \cdot \sqrt{\frac{20{,}94 \cdot 10^{-4}}{6}} = 20{,}55mm$$

Napětí ve výztuži od stálého a dlouhodobého zatížení

$M_{sd} = 54{,}2kNm$

$N_{sd} = 229{,}42kN$

$$\sigma_{Sa} = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \cdot f_{yd} + \frac{N_{Sd}}{2 \cdot A_{st}} = \frac{54{,}2}{157{,}5} \cdot 434{,}78 + \frac{229{,}42 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 20{,}94 \cdot 10^{-4}} = 204{,}4\ MPa$$

Napětí ve výztuži od krátkodobého zatížení

$M_{sd} = 43{,}23kNm$

$N_{sd} = 128{,}47kN$

$$\sigma_{Sb} = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \cdot f_{yd} + \frac{N_{Sd}}{2 \cdot A_{st}} = \frac{43{,}23}{157{,}5} \cdot 434{,}78 + \frac{128{,}47 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 20{,}94 \cdot 10^{-4}} = 150{,}1MPa$$

Trvalá šířka trhlin

$$w_{3a} = \lambda \cdot \kappa \cdot k \cdot w_{tb} \cdot (0{,}035 - \mu_{st}) \cdot \frac{\sigma_{sa}}{E_s} \cdot \sqrt[3]{d_w}$$

$$w_{3a} = 1{,}2 \cdot 1 \cdot 1600 \cdot 1{,}2 \cdot (0{,}035 - 0{,}0084) \cdot \frac{204{,}4}{210000} \cdot \sqrt[3]{20{,}55} = 0{,}169mm$$

$w_{3a} = 0{,}169 \leq w_{3a,lim} = 0{,}2\ mm$ ***Vyhovuje***

Přechodná šířka trhlin

$$w_{3b} = w_{3a} + \kappa \cdot k \cdot w_{tb} \cdot (0{,}035 - \mu_{st}) \cdot \frac{\sigma_{sb}}{E_s} \cdot \sqrt[3]{d_w}$$

$$w_{3b} = 0{,}169 + 1{,}2 \cdot 1 \cdot 1600 \cdot 1{,}2 \cdot (0{,}035 - 0{,}0084) \cdot \frac{150{,}1}{210000} \cdot \sqrt[3]{20{,}55} = 0{,}289mm$$

$w_{3b} = 0{,}289 \leq w_{3b,lim} = 0{,}3\ mm$ ***Vyhovuje***

Mezní šířka trhlin v poli

$k = 1600$	součinitel povrchu výztuže (R-žebírková)
$\lambda = 1{,}2$	součinitel trvalé šířky trhlin
$\kappa = 1{,}0$	součinitel způsobu namáhání (ohyb)
$w_{tb} = 6 \cdot \frac{a_t}{h} = \frac{52{,}5}{250} = 1{,}26$	součinitel krycí vrstvy
$\mu_{st} = 1{,}31\%$	stupeň vyztužení

$$d_w = 1{,}1 \cdot \sqrt{\frac{A_{st}}{n_t}} = 1{,}1 \cdot \sqrt{\frac{32{,}72 \cdot 10^{-4}}{6}} = 25{,}69mm$$

Napětí ve výztuži od stálého a dlouhodobého zatížení

$M_{sd} = 38{,}66kNm$

$N_{sd} = 23{,}3kN$

$$\sigma_{Sa} = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \cdot f_{yd} + \frac{N_{Sd}}{2 \cdot A_{st}} = \frac{38{,}66}{221{,}21} \cdot 434{,}78 + \frac{23{,}3 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 32{,}72 \cdot 10^{-4}} = 79{,}55\ MPa$$

Napětí ve výztuži od krátkodobého zatížení

$M_{sd} = 127{,}59kNm$

$N_{sd} = 49{,}8kN$

$$\sigma_{Sb} = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \cdot f_{yd} + \frac{N_{Sd}}{2 \cdot A_{st}} = \frac{127{,}59}{221{,}21} \cdot 434{,}78 + \frac{49{,}8 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 32{,}72 \cdot 10^{-4}} = 258{,}4\ MPa$$

Trvalá šířka trhlin

$$w_{3a} = \lambda \cdot \kappa \cdot k \cdot w_{tb} \cdot (0{,}035 - \mu_{st}) \cdot \frac{\sigma_{sa}}{E_s} \cdot \sqrt[3]{d_w}$$

$$w_{3a} = 1{,}2 \cdot 1 \cdot 1600 \cdot 1{,}26 \cdot (0{,}035 - 0{,}0131) \cdot \frac{79{,}55}{210000} \cdot \sqrt[3]{25{,}69} = 0{,}059mm$$

$w_{3a} = 0{,}059 \leq w_{3a,lim} = 0{,}2\ mm$ ***Vyhovuje***

Přechodná šířka trhlin

$$w_{3b} = w_{3a} + \kappa \cdot k \cdot w_{tb} \cdot (0{,}035 - \mu_{st}) \cdot \frac{\sigma_{sb}}{E_s} \cdot \sqrt[3]{d_w}$$

$$w_{3b} = 0{,}059 + 1{,}2 \cdot 1 \cdot 1600 \cdot 1{,}26 \cdot (0{,}035 - 0{,}0131) \cdot \frac{258{,}4}{210000} \cdot \sqrt[3]{25{,}69} = 0{,}252mm$$

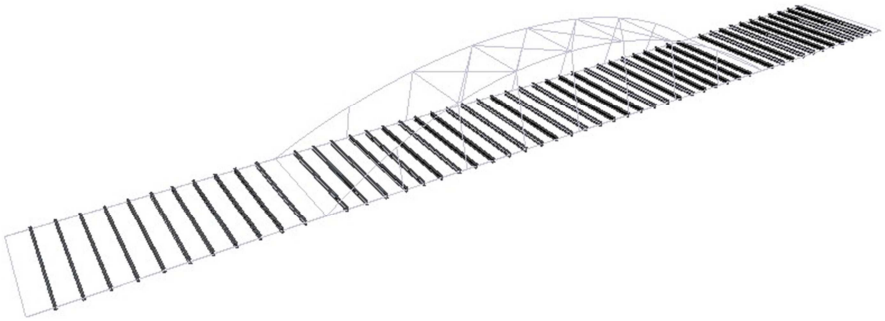
$w_{3b} = 0{,}252 \leq w_{3b,lim} = 0{,}3\ mm$ ***Vyhovuje***

10. Příčník v poli

- Vzhledem k proměnnému průřezu příčníku je vždy počítáno s výškou stojiny odpovídající místu působení maximální vnitřní síly

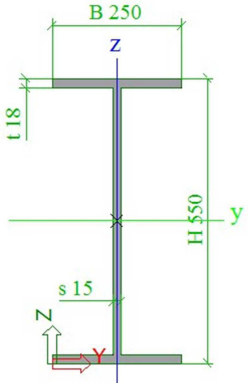
Zatížení

- Nespřažený průřez - zatížení vlastní váhou a tíhou mokrého betonu
- Spřažený průřez - dlouhodobé i krátkodobé zatížení



Průřezové charakteristiky:

A [m^2]	1,6710e-02
Ay [m^2]	8,9300e-03
Az [m^2]	8,2688e-03
AL [m^2/m]	2,0698e+00
AD [m^2/m]	2,0698e+00
cYUSS [mm]	125
cZUSS [mm]	275
α [deg]	0,00
Iy [m^4]	8,0679e-04
Iz [m^4]	4,7020e-05
iy [mm]	220
iz [mm]	53
Wely [m^3]	2,9338e-03
Welz [m^3]	3,7616e-04
Wply [m^3]	3,3847e-03
Wplz [m^3]	5,9141e-04



Materiálové charakteristiky:

Ocel: S 355 => f_y = 355 MPa
f_u = 510 MPa
E = 210 GPa

Beton: C30/37 => f_{ck} = 30 MPa
f_{cd} = 17 MPa
f_{ctm} = 2,9 MPa

Zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0{,}81$$

Pásnice $\frac{c}{t} = \frac{117{,}5}{18} = 6{,}53 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0{,}81 = 7{,}29$ → Třída 1

Stojina $\frac{c}{t} = \frac{514}{15} = 34{,}27 \leq 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 0{,}81 = 58{,}32$ → Třída 1

- výsledná třída průřezu 1

10.1. Nespřažený průřez

Návrhové hodnoty vnitřních sil v kritickém průřezu:

$N_{Ed} = 752{,}7\ kN$

$V_{Ed} = 148{,}62\ kN$

$M_{Ed} = 111{,}11\ kNm$

10.1.1. Posudek dle I. MS

10.1.1.1. Smyk:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 1{,}0$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (\frac{f_y}{\sqrt{3}})}{\gamma_{M0}} = \frac{0{,}00771 \cdot (\frac{355 \cdot 10^3}{\sqrt{3}})}{1{,}0} = 1508{,}24\ kN$$

$A_v = 0{,}514 \cdot 0{,}015 = 0{,}00771\ m^2$

$\frac{148{,}62}{1508{,}24} = \mathbf{0{,}10 \leq 1{,}0}$ ***VYHOVUJE***

10.1.1.2. Ohyb a svislý smyk

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

$V_{ed} = 148{,}62\ kN \leq 0{,}5 \cdot 1508{,}24 = 754{,}12\ kN$ ***VYHOVUJE***

Zanedbávám vliv smykové síly na momentovou únosnost.

10.1.1.3. Ohyb

$$\frac{M_{y,ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1{,}0$$

Návrhový moment únosnosti nosníku při klopení

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

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

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[\sqrt{1 + k_{wt}^2 + \left(c_2\xi_g - c_3\xi_j\right)^2} - \left(c_2\xi_g - c_3\xi_j\right)\right]$$

$$\xi_g = \frac{\pi \cdot Z_g}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{EI_z}{GI_z}} = \frac{\pi \cdot 0{,}275}{1{,}0 \cdot \frac{15{,}25}{2}} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 4{,}7 \cdot 10^{-5}}{81 \cdot 10^9 \cdot 1{,}5549 \cdot 10^{-6}}} = 1{,}0$$

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = \frac{\pi}{1{,}0 \cdot \frac{15{,}25}{2}} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 3{,}3167 \cdot 10^{-6}}{81 \cdot 10^9 \cdot 1{,}5549 \cdot 10^{-6}}} = 1{,}51$$

$$Z_j = 0$$

$$\xi_j = \frac{\pi \cdot Z_j}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{EI_z}{GI_z}} = \frac{\pi \cdot 0}{1{,}0 \cdot \frac{15{,}25}{2}} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 4{,}7 \cdot 10^{-5}}{81 \cdot 10^9 \cdot 1{,}5549 \cdot 10^{-6}}} = 0$$

$$\mu_{cr} = \frac{1{,}13}{1{,}0} \cdot \left[\sqrt{1 + 1{,}51^2 + (0{,}46 \cdot 1{,}0 - 0{,}53 \cdot 0)^2} - (0{,}46 \cdot 1{,}0 - 0{,}53 \cdot 0)\right] = 1{,}59$$

$$M_{cr} = 1{,}59 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^9 \cdot 4{,}7 \cdot 10^{-5} \cdot 81 \cdot 10^9 \cdot 1{,}5549 \cdot 10^{-6}}}{\frac{15{,}25}{2}} = 730{,}4\ kNm$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{3{,}38 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{730{,}4}} = 1{,}29$$

$$\alpha_{LT} = 0{,}76 \rightarrow k\check{r}ivka\ d\ pro\ sva\check{r}ovan\acute{y}\ I\ pr\mathring{u}\check{r}ez\ \frac{h}{b} > 2$$

$$\emptyset = 0{,}5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot \left(\bar{\lambda}_{LT} - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}_{LT}^2\right]$$

$$\emptyset = 0{,}5 \cdot [1 + 0{,}76 \cdot (1{,}29 - 0{,}2) + 1{,}29^2] = 1{,}75$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\emptyset + \sqrt{\emptyset^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1{,}75 + \sqrt{1{,}75^2 - 1{,}29^2}} = 0{,}34$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0{,}34 \cdot 3{,}38 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1{,}0} = 407{,}97\ kNm$$

$$\frac{M_{y,ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{111{,}11}{407{,}94} = 0{,}28 \leq 1{,}0$$

10.1.2. Posouzení dle II. MS

$$u_{max} = \frac{5 \cdot M \cdot L^2}{48 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \cdot 111{,}11 \cdot 10^3 \cdot 15{,}250^2}{48 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 8{,}0679 \cdot 10^{-4}} = 0{,}016\ m = 16\ mm$$

Maximální přípustný průhyb:

$$u_{lim} = \frac{l}{300} = \frac{15250}{300} = 50{,}83\ mm$$

Posouzení:

$$\boldsymbol{u_{lim} = 50{,}8\ mm \geq u_{max} = 16\ mm} \qquad \boldsymbol{VYHOVUJE}$$

10.2. Spřažený průřez

Posouzení nosníku v místě maximálního ohybového momentu

Výpočet spřaženého průřezu – uvažuji plastické rozdělení napětí po průřezu.

Návrhové hodnoty vnitřních sil v kritickém průřezu:

Vnitřní síly na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : B837..B847,B850..B860,B862..B889
Kombinace : Kombinace MSU

Prvek	Stav	dx [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
*Studentská verze	*Studentská verze	*Studentská verze	*Studentská verze	*Studentská verze	*Studentská verze	*Studentská verze	*Studentská verze	*Studen
B865	Kombinace MSU/346	0,000	**-47,77**	-86,21	156,70	0,61	58,35	3,90
B857	Kombinace MSU/347	6,060	**3530,43**	-0,40	8,56	0,00	506,30	0,28
B847	Kombinace MSU/348	0,000	128,13	**-395,95**	248,75	0,84	22,19	38,52
B850	Kombinace MSU/349	0,000	124,96	**395,00**	235,36	-0,84	20,92	-38,68
B865	Kombinace MSU/160	15,150	27,05	79,90	**-303,01**	-0,60	65,52	4,17
B865	Kombinace MSU/293	0,000	70,24	-92,43	**396,57**	0,61	72,80	6,77
B889	Kombinace MSU/350	0,000	255,21	216,61	188,62	**-2,07**	-33,52	-19,06
B862	Kombinace MSU/342	0,000	306,17	-182,24	262,90	**2,08**	-35,19	15,70
B889	Kombinace MSU/242	0,000	305,62	202,54	207,88	-1,49	**-48,23**	-35,87
B837	Kombinace MSU/351	7,070	3409,05	2,42	-7,83	0,00	**515,31**	-1,92
B850	Kombinace MSU/352	0,000	127,71	374,04	247,28	-0,61	23,04	**-41,68**
B847	Kombinace MSU/353	0,000	132,50	-377,20	266,56	0,62	24,81	**41,57**

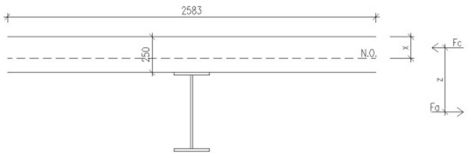
Efektivní šířka spřaženého průřezu

$L_0 = 15{,}25\ m$

$$b_e = \frac{L_0}{8} = \frac{15{,}25}{8} = 1{,}91\ m > \frac{a}{2} = \frac{2{,}583}{2} = 1{,}2915\ m$$

$$b_{eff} = 2 \cdot b_e = 2 \cdot 1{,}2915 = 2{,}583\ m$$

10.2.1. Posouzení dle I. MS



$$x = \frac{A_a \cdot f_{yd}}{b_{eff} \cdot 0{,}85 f_{cd}} = \frac{16710 \cdot 355}{2583 \cdot 0{,}85 \cdot 17} = 158{,}93\ mm$$

10.2.1.1. Posouzení na tahovou sílu

$N_{t,RD} = A_a \cdot f_{yd} = 16710 \cdot 355 = 5932{,}05\ kN$

$N_{Ed} = 3409{,}05\ kN \leq N_{t,RD} = 5932{,}05 kN$

10.2.1.2. Plastický moment únosnosti

$M_{pl,RD} = N_{t,RD} \cdot z = 5932{,}05 \cdot 445{,}53 = 2642{,}9\ kNm$

$M_{Ed} = 515{,}31\ kNm \leq M_{pl,RD} = 2642{,}9\ kNm$

10.2.1.3. Posouzení na interakci tahu s ohybem

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,RD}} + \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{515{,}31}{2642{,}9} + \frac{3409{,}05}{5932{,}05} = \mathbf{0{,}77 \leq 1{,}0} \quad \rightarrow \quad \textbf{Vyhovuje}$$

10.2.1.4. Smyk:

$$\frac{V_{Ed,max}}{V_{pl,Rd}} \leq 1{,}0$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (\frac{f_y}{\sqrt{3}})}{\gamma_{M0}} = \frac{0{,}0054 \cdot (\frac{355 \cdot 10^3}{\sqrt{3}})}{1{,}0} = 1106{,}79\ kN$$

$A_v = 0{,}360 \cdot 0{,}015 = 0{,}0054\ m^2$

$$\frac{396{,}57}{1106{,}79} = \mathbf{0{,}10 \leq 1{,}0} \qquad \boldsymbol{VYHOVUJE}$$

10.2.1.5. Ohyb a svislý smyk

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

$V_{ed} = 7{,}83\ kN \leq 0{,}5 \cdot 1106{,}79 = 553{,}39\ kN \qquad \boldsymbol{VYHOVUJE}$

Zanedbávám vliv smykové síly na momentovou únosnost.

Návrh smykového spojení

- Spřažení betonové desky s ocelovým nosníkem se zajistí pomocí spřahovacích trnů přivařenými na horní pásnici. Uvažuji dokonale tuhé spřažení mezi ocelovými příčníky a železobetonovou deskou.

Charakteristika trnu

$d = 19\ mm$

$f_u = 340\ MPa$

Únosnost jednoho trnu

$$P_{Rk1} = 0{,}8 f_u \cdot \frac{\pi d^2}{4} = 0{,}8 \cdot 340 \cdot \frac{\pi \cdot 19^2}{4} = 77{,}12\ kN$$

$$P_{Rk2} = 0{,}29\alpha d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}} = 0{,}29 \cdot 1 \cdot 19^2 \cdot \sqrt{30 \cdot 32000} = 102{,}57\ kN$$

$$P_{Rk} = min\{P_{Rk1}; P_{Rk2}\} = min\{77{,}12; 102{,}57\} = 77{,}12\ kN$$

Návrhová únosnost jednoho trnu

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk}}{\gamma_v} = \frac{77{,}12}{1{,}25} = 61{,}7\ kN$$

Smyková síla na polovině nosníku

$$F_{cf,1} = \frac{A_a \cdot f_y}{\gamma_a} = \frac{16{,}71 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1{,}0} = 5932{,}05\ kN$$

$$F_{cf,2} = A_c \cdot 0{,}85 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 2{,}583 \cdot 0{,}15893 \cdot 0{,}85 \cdot \frac{30 \cdot 10^3}{1{,}5} = 6978{,}78\ kN$$

$$F_{cf} = min\{F_{cf1}; F_{cf2}\} = min\{5932{,}05; 6978{,}78\} = 5932{,}05\ kN$$

Potřebný počet trnů

$$N_f = \frac{F_{cf}}{P_{Rd}} = \frac{5932{,}05}{61{,}7} = 96{,}15 \rightarrow návrh\ 100\ trnů\ na\ polovinu\ příčníku$$

10.2.2. Posouzení dle II. MS

$$M_{vl.tíha} = 111{,}11\ kNm$$

$$M_{dlouh.} = 45{,}69\ kNm$$

$$M_{kratk.} = 220{,}23\ kNm$$

$$I_t = I_a + A_a \cdot y_a^2 + (I_c + A_c \cdot y_c^2) \cdot \frac{1}{n}$$

$$I_t = 0{,}80679 \cdot 10^9 + 16710 \cdot 341{,}1^2 + (3{,}5 \cdot 10^9 + 672000 \cdot 33{,}93^2) \cdot \frac{1}{6{,}563/2}$$

$$I_t = 3{,}07972 \cdot 10^9\ mm^4$$

Průhyb ocelového nosníku při betonáži

$$\delta_a = \frac{5 \cdot M_{vl.tíha} \cdot l^2}{48EI} = \frac{5 \cdot 111{,}11 \cdot 10^6 \cdot 15250^2}{48 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 0{,}80679 \cdot 10^9} = 15{,}89\ mm$$

Průhyb spřaženého nosníku

$$\delta_c{}^{dlouh.} = \frac{5 \cdot M_{dlouh.} \cdot l^2}{48EI_t} = \frac{5 \cdot 45{,}69 \cdot 10^6 \cdot 15250^2}{48 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 3{,}07972 \cdot 10^9} = 1{,}71\ mm$$

$$\delta_c{}^{kratk.} = \frac{5 \cdot M_{kratk.} \cdot l^2}{48EI_t} = \frac{5 \cdot 220{,}23 \cdot 10^6 \cdot 15250^2}{48 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 3{,}07972 \cdot 10^9} = 8{,}25\ mm$$

Celkový průhyb

$$\delta = \delta_a + \delta_c{}^{dlouh.} + \delta_c{}^{kratk.} = 15{,}89 + 1{,}71 + 8{,}25 = 25{,}89\ mm$$

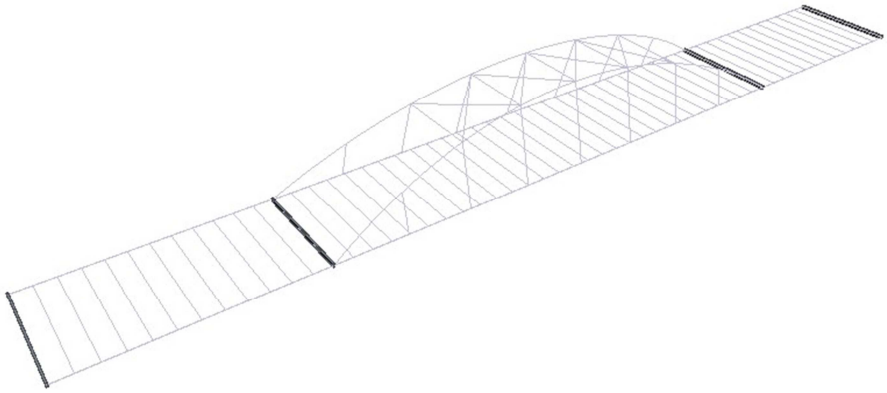
$$\delta = 25{,}89\ mm \leq \delta_{lim} = \frac{l}{300} = \frac{15250}{300} = 50{,}83\ mm \rightarrow \boldsymbol{vyhovuje}$$

11. Příčník nad podporou

- Vzhledem k proměnnému průřezu příčníku je vždy počítáno s výškou stojiny odpovídající místu působení maximální vnitřní síly

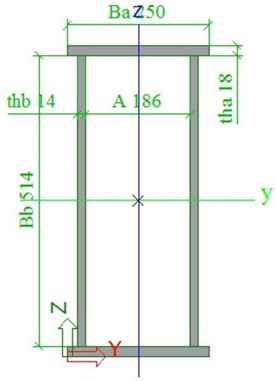
Zatížení

- Nespřažený průřez - zatížení vlastní váhou a tíhou mokrého betonu
- Spřažený průřez - dlouhodobé i krátkodobé zatížení



Průřezové charakteristiky:

A [m^2]	2,3392e-02
Ay [m^2]	8,0312e-03
Az [m^2]	1,4961e-02
AL [m^2/m]	1,6720e+00
AD [m^2/m]	3,0720e+00
cYUSS [mm]	125
cZUSS [mm]	275
α [deg]	0,00
Iy [m^4]	9,5391e-04
Iz [m^4]	1,9103e-04
iy [mm]	202
iz [mm]	90
Wely [m^3]	3,4687e-03
Welz [m^3]	1,5282e-03
Wply [m^3]	4,2434e-03
Wplz [m^3]	2,0017e-03



Materiálové charakteristiky:

Ocel: S 355 => f_y = 355 MPa
f_u = 510 MPa
E = 210 GPa

Beton: C30/37 => f_{ck} = 30 MPa
f_{cd} = 17 MPa
f_{ctm} = 2,9 MPa

Zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0{,}81$$

Pásnice $\frac{c}{t} = \frac{186}{18} = 10{,}33 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0{,}81 = 26{,}73 \rightarrow$ Třída 1

Stojina $\frac{c}{t} = \frac{514}{14} = 36{,}72 \leq 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 0{,}81 = 58{,}32 \rightarrow$ Třída 1

- výsledná třída průřezu 1

11.1. Nespřažený průřez

Návrhové hodnoty vnitřních sil v kritickém průřezu:

$N_{Ed} = 254{,}16\ kN$

$V_{Ed} = 464{,}65\ kN$

$M_{Ed} = 163{,}17\ kNm$

11.1.1. Posudek dle I. MS

11.1.1.1. Smyk:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 1{,}0$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (\frac{f_y}{\sqrt{3}})}{\gamma_{M0}} = \frac{0{,}009 \cdot (\frac{355 \cdot 10^3}{\sqrt{3}})}{1{,}0} = 1844{,}63\ kN$$

$A_v = 0{,}25 \cdot 0{,}018 \cdot 2 = 0{,}009\ m^2$

$\frac{464{,}65}{1844{,}63} = \mathbf{0{,}25 \leq 1{,}0}$ ***VYHOVUJE***

11.1.1.2. Ohyb a svislý smyk

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

$V_{ed} = 464{,}65\ kN \leq 0{,}5 \cdot 1844{,}63 = 922{,}31\ kN$ ***VYHOVUJE***

Zanedbávám vliv smykové síly na momentovou únosnost.

11.1.1.3. Ohyb

- průřez není náchylný ke klopení

$$\frac{M_{y,ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1{,}0$$

Návrhový moment únosnosti nosníku při klopení

$$M_{b,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{4{,}24 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1{,}0} = 1505{,}2\ kNm$$

$$\frac{M_{y,ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{163{,}17}{1505{,}2} = 0{,}11 \leq 1{,}0$$

11.1.2. Posouzení dle II. MS

$$u_{max} = \frac{5 \cdot M \cdot L^2}{48 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \cdot 163{,}17 \cdot 10^3 \cdot 15{,}250^2}{48 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 9{,}53 \cdot 10^{-4}} = 0{,}0198\ m = 19{,}8mm$$

Maximální přípustný průhyb:

$$u_{lim} = \frac{l}{300} = \frac{15250}{300} = 50{,}83\ mm$$

Posouzení:

$$\boldsymbol{u_{lim} = 50{,}8\ mm \geq u_{max} = 19{,}8\ mm} \qquad \boldsymbol{VYHOVUJE}$$

11.2. Spřažený příčník

Posouzení nosníku v místě maximálního ohybového momentu

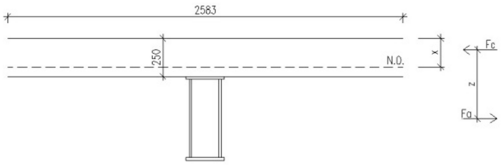
Výpočet spřaženého průřezu – uvažuji plastické rozdělení napětí po průřezu.

Návrhové hodnoty vnitřních sil v kritickém průřezu:

Vnitřní síly na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : B836,B848,B849,B861
Kombinace : Kombinace MSU

Prvek	Stav	dx [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Studentská verze	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*
B848	Kombinace MSU/362	15,150	**-342,35**	579,07	-234,19	-144,88	-144,82	4,36
B836	Kombinace MSU/338	7,325	**5435,24**	-4,49	-40,26	-1,47	765,30	-4,99
B848	Kombinace MSU/148	0,000	643,82	**-1217,84**	395,50	296,47	-416,74	98,40
B849	Kombinace MSU/3	0,000	646,07	**1223,61**	393,61	-297,63	-413,50	-100,11
B848	Kombinace MSU/126	15,150	71,80	856,99	**-566,72**	-210,76	-583,34	-5,49
B848	Kombinace MSU/99	0,000	343,23	-898,00	**700,20**	218,24	**-708,28**	-4,22
B849	Kombinace MSU/363	0,000	549,88	1088,21	502,58	**-305,77**	-500,46	-38,32
B848	Kombinace MSU/330	0,000	554,66	-1094,04	484,77	**303,79**	-488,45	42,35
B836	Kombinace MSU/351	5,825	5321,39	-4,42	77,17	-17,73	**791,05**	-5,95
B849	Kombinace MSU/17	0,000	607,66	1110,36	338,37	-268,53	-324,85	**-105,29**
B848	Kombinace MSU/364	0,000	605,92	-1104,83	338,24	267,21	-324,69	**104,72**



Efektivní šířka spřaženého průřezu

$$L_0 = 15{,}25\ m$$

$$b_e = \frac{L_0}{8} = \frac{15{,}25}{8} = 1{,}91\ m > \frac{a}{2} = \frac{2{,}583}{2} = 1{,}2915\ m$$

$$b_{eff} = 2 \cdot b_e = 2 \cdot 1{,}2915 = 2{,}583\ m$$

11.2.1. Posouzení dle I. MS

Stanoveni polohy neutrální osy

$$x = \frac{A_a \cdot f_{yd}}{b_{eff} \cdot 0{,}85 f_{cd}} = \frac{23392 \cdot 355}{2583 \cdot 0{,}85 \cdot 17} = 222{,}48\ mm$$

11.2.1.1. Posouzení na tahovou sílu

$N_{t,RD} = A_a \cdot f_{yd} = 23392 \cdot 355 = 8304{,}16\ kN$

$N_{Ed} = 5321{,}39\ kN \leq N_{t,RD} = 8304{,}16\ kN$

11.2.1.2. Plastický moment únosnosti

$M_{pl,RD} = N_{t,RD} \cdot z = 8304{,}16 \cdot 413{,}76 = 3435{,}93\ kNm$

$M_{Ed} = 791{,}05\ kNm \leq M_{pl,RD} = 3435{,}93\ kNm$

11.2.1.3. Posouzení na interakci tahu s ohybem

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,RD}} + \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{791{,}05}{3435{,}93} + \frac{5321{,}39}{8304{,}16} = 0{,}88 \leq 1{,}0 \qquad \boldsymbol{VYHOVUJE}$$

11.2.1.4. Smyk:

$$\frac{V_{Ed,max}}{V_{pl,Rd}} \leq 1{,}0$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (\frac{f_y}{\sqrt{3}})}{\gamma_{M0}} = \frac{0{,}009 \cdot (\frac{355 \cdot 10^3}{\sqrt{3}})}{1{,}0} = 1844{,}63\ kN$$

$A_v = 0{,}25 \cdot 0{,}018 \cdot 2 = 0{,}009\ m^2$

$$\frac{1223{,}61}{1844{,}63} = \mathbf{0{,}10 \leq 1{,}0} \qquad \boldsymbol{VYHOVUJE}$$

11.2.1.5. Ohyb a svislý smyk

$V_{ed,max} \leq 0{,}5 V_{pl,Rd}$

$V_{ed,max} = 77{,}17\ kN \leq 0{,}5 \cdot 1106{,}79 = 553{,}39\ kN$

$\boldsymbol{VYHOVUJE}$

Zanedbávám vliv smykové síly na momentovou únosnost.

Návrh smykového spojení

- Spřažení betonové desky s ocelovým nosníkem se zajistí pomocí spřahovacích trnů přivařenými na horní pásnici. Uvažuji dokonale tuhé spřažení mezi ocelovými příčníky a železobetonovou deskou.

Charakteristika trnu

$d = 19\ mm$

$f_u = 340\ MPa$

Únosnost jednoho trnu

$$P_{Rk1} = 0{,}8 f_u \cdot \frac{\pi d^2}{4} = 0{,}8 \cdot 340 \cdot \frac{\pi \cdot 19^2}{4} = 77{,}12\ kN$$

$$P_{Rk2} = 0{,}29 \alpha d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}} = 0{,}29 \cdot 1 \cdot 19^2 \cdot \sqrt{30 \cdot 32000} = 102{,}57\ kN$$

$$P_{Rk} = min\{P_{Rk1}; P_{Rk2}\} = min\{77{,}12; 102{,}57\} = 77{,}12\ kN$$

Návrhová únosnost jednoho trnu

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk}}{\gamma_v} = \frac{77{,}12}{1{,}25} = 61{,}7\ kN$$

Smyková síla na polovině nosníku

$$F_{cf,1} = \frac{A_a \cdot f_y}{\gamma_a} = \frac{23{,}39 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1{,}0} = 8303{,}45\ kN$$

$$F_{cf,2} = A_c \cdot 0{,}85 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 2{,}583 \cdot 0{,}22248 \cdot 0{,}85 \cdot \frac{30 \cdot 10^3}{1{,}5} = 9769{,}31\ kN$$

$$F_{cf} = min\{F_{cf1}; F_{cf2}\} = min\{8303{,}45; 9769{,}31\} = 8303{,}45\ kN$$

Potřebný počet trnů

$$N_f = \frac{F_{cf}}{P_{Rd}} = \frac{8303{,}45}{61{,}7} = 134{,}6$$

$$\rightarrow návrh\ 140\ trnů\ na\ polovinu\ příčníku$$

11.2.2. Posouzení dle II. MS

$M_{vl.tíha} = -163{,}17\ kNm$

$M_{dlouh.} = -65{,}67\ kNm$

$M_{kratk.} = -297{,}1\ kNm$

$$I_t = I_a + A_a \cdot y_a^2 + (I_c + A_c \cdot y_c^2) \cdot \frac{1}{n}$$

$$I_t = 0{,}953 \cdot 10^9 + 23392 \cdot 277{,}52^2 + (3{,}5 \cdot 10^9 + 672000 \cdot 97{,}48^2) \cdot \frac{1}{6{,}563/2}$$

$$I_t = 3{,}515 \cdot 10^9\ mm^4$$

Průhyb ocelového nosníku při betonáži

$$\delta_a = \frac{5 \cdot M_{vl.tíha} \cdot l^2}{48EI} = \frac{5 \cdot 163{,}17 \cdot 10^6 \cdot 15250^2}{48 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 0{,}953 \cdot 10^9} = 19{,}76\ mm$$

Průhyb spřaženého nosníku

$$\delta_c{}^{dlouh.} = \frac{5 \cdot M_{dlouh.} \cdot l^2}{48EI_t} = \frac{5 \cdot 65{,}67 \cdot 10^6 \cdot 15250^2}{48 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 3{,}515 \cdot 10^9} = 2{,}16\ mm$$

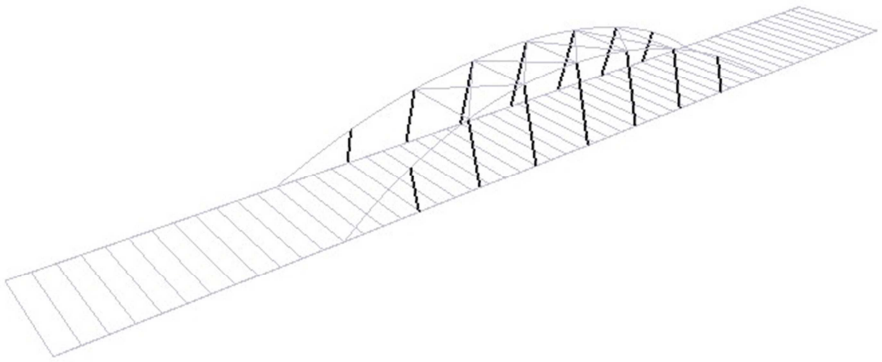
$$\delta_c{}^{kratk.} = \frac{5 \cdot M_{kratk.} \cdot l^2}{48EI_t} = \frac{5 \cdot 297{,}1 \cdot 10^6 \cdot 15250^2}{48 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 3{,}515 \cdot 10^9} = 9{,}76\ mm$$

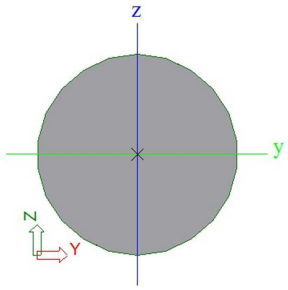
Celkový průhyb

$$\delta = \delta_a + \delta_c{}^{dlouh.} + \delta_c{}^{kratk.} = 19{,}76 + 2{,}16 + 9{,}76 = 31{,}68\ mm$$

$$\delta = 31{,}68\ mm \leq \delta_{lim} = \frac{l}{300} = \frac{15250}{300} = 50{,}83\ mm \rightarrow \boldsymbol{vyhovuje}$$

12. Táhlo





Průřezové charakteristiky:

A = 0,0044 m^2

Ø 75 mm

Materiálové charakteristiky:

Ocel: S 460 => f_y = 460 MPa
f_u = 610 MPa
E = 205 GPa

Návrhové hodnoty vnitřních sil v kritickém průřezu:

Vnitřní síly na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : B515,B517..B522,B576..B582
Kombinace : Kombinace MSU

Prvek	Stav	dx [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Studentská verze	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studen
B515	Kombinace MSU/117	0,000	**502,99**	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00
B521	Kombinace MSU/5	0,000	**1432,23**	0,00	0,14	-0,18	0,00	0,00
B515	Kombinace MSU/322	0,000	970,00	**-0,16**	0,56	0,00	0,00	0,00
B515	Kombinace MSU/323	0,000	693,37	**0,16**	0,56	0,00	0,00	0,00
B515	Kombinace MSU/324	11,000	629,19	0,00	**-1,15**	0,00	0,00	0,00
B515	Kombinace MSU/325	0,000	1045,60	0,00	**1,15**	0,00	0,00	0,00
B521	Kombinace MSU/99	0,000	1155,40	0,00	0,10	**-0,25**	0,00	0,00
B518	Kombinace MSU/13	0,000	1150,46	0,00	0,10	**0,24**	0,00	0,00
B515	Kombinace MSU/8	5,500	527,19	0,00	0,00	0,00	**-0,31**	0,00
B515	Kombinace MSU/325	5,500	1047,51	0,00	0,00	0,00	**3,17**	0,00
B515	Kombinace MSU/326	5,500	677,87	0,00	0,00	0,00	1,53	**-0,43**
B515	Kombinace MSU/327	5,500	972,10	0,00	0,00	0,00	1,53	**0,43**

12.1. Posudek dle I. MS

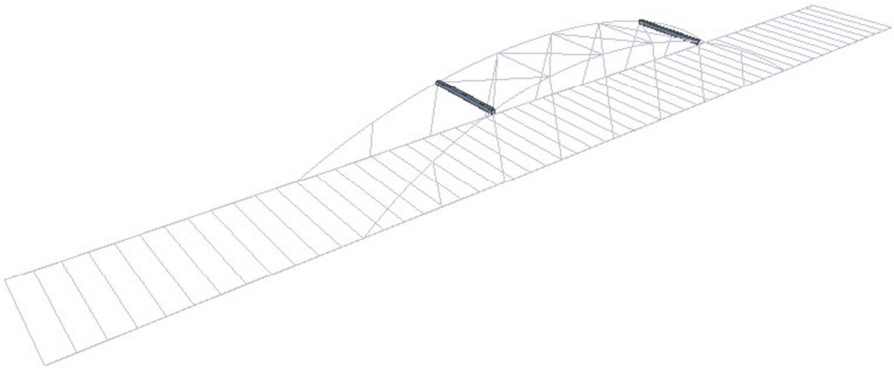
12.1.1. Tah:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1{,}0$$

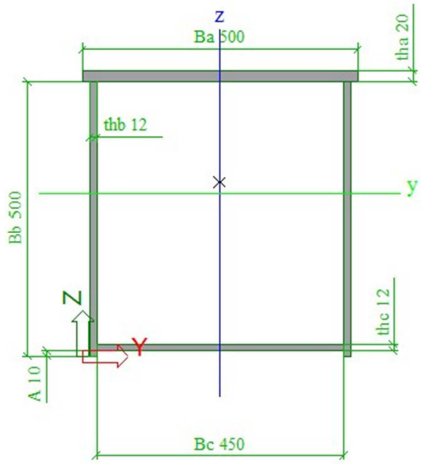
$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4{,}4156 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1{,}0} = 1567{,}54\ kN$$

$$\frac{1432{,}23}{1567{,}54} = \mathbf{0{,}92 \leq 1{,}0} \qquad \boldsymbol{VYHOVUJE}$$

13. Zavětrování – větrový portál



Průřezové charakteristiky:



A [m^2]	2,7400e-02
Ay [m^2]	1,4788e-02
Az [m^2]	1,2135e-02
AL [m^2/m]	2,0600e+00
AD [m^2/m]	3,9160e+00
cYUSS [mm]	250
cZUSS [mm]	299
α [deg]	0,00
Iy [m^4]	1,1569e-03
Iz [m^4]	9,3993e-04
iy [mm]	205
iz [mm]	185
Wely [m^3]	3,8722e-03
Welz [m^3]	3,7597e-03
Wply [m^3]	5,1432e-03
Wplz [m^3]	4,6295e-03

Materiálové charakteristiky:

Ocel: S 355 => $f_y = 355$ MPa
$f_u = 510$ MPa
$E = 210$ GPa

Zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0{,}81$$

Pásnice $\frac{c}{t} = \frac{450}{20} = 22{,}5 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0{,}81 = 26{,}73$ → Třída 1

Stojina $\frac{c}{t} = \frac{458}{12} = 38{,}2 \leq 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 0{,}81 = 58{,}32$ → Třída 1

- výsledná třída průřezu 1

Návrhové hodnoty vnitřních sil

Vnitřní síly na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : B587,B583
Kombinace : Kombinace MSU

Prvek	Stav	dx [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Studentská verze	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*
B587	Kombinace MSU/116	0,000	**-70,51**	-3,62	2,18	-0,68	171,76	-44,40
B583	Kombinace MSU/12	0,000	**37,67**	-3,65	20,30	3,04	63,88	75,80
B583	Kombinace MSU/105	0,000	27,95	**-9,19**	22,54	1,79	56,53	106,46
B587	Kombinace MSU/349	0,000	27,06	**9,18**	22,64	-1,97	56,39	-106,67
B583	Kombinace MSU/350	10,818	24,07	4,97	**-28,06**	4,79	29,49	85,05
B587	Kombinace MSU/351	0,000	28,95	5,98	**26,17**	1,02	4,28	-75,33
B587	Kombinace MSU/319	0,000	24,33	-2,44	3,62	**-6,97**	161,87	-45,60
B583	Kombinace MSU/261	0,000	24,37	2,34	3,43	**6,94**	162,89	46,12
B587	Kombinace MSU/224	0,000	18,53	5,86	24,42	1,50	**-10,97**	-66,44
B587	Kombinace MSU/104	0,000	-39,51	-6,22	-1,40	-3,72	**225,96**	-42,84
B587	Kombinace MSU/146	0,000	-35,94	7,94	23,03	-0,73	91,19	**-118,04**
B583	Kombinace MSU/30	0,000	-34,59	-7,87	23,06	0,77	90,18	**117,20**

Návrhové hodnoty vnitřních sil v kritickém průřezu podle posudku oceli v programu Scia Engineer:

Vnitřní síly	Vypočtené	Jednotka
Studentská verze	*Studentská verze*	*Studentská verze*
N,Ed	-60,82	kN
Vy,Ed	-3,20	kN
Vz,Ed	2,90	kN
T,Ed	-3,03	kNm
My,Ed	219,34	kNm
Mz,Ed	-67,21	kNm

13.1. Posouzení dle I. MS

13.1.1. Smyk:

$maxV_{ed,z} = 28{,}6\ kN$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 1{,}0$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (\frac{f_y}{\sqrt{3}})}{\gamma_{M0}} = \frac{0{,}012 \cdot (\frac{355 \cdot 10^3}{\sqrt{3}})}{1{,}0} = 2459{,}51\ kN$$

$A_v = 2 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}012 = 0{,}012\ m^2$

$$\frac{110{,}77}{8382{,}84} = \mathbf{0{,}013 \leq 1{,}0} \qquad \boldsymbol{VYHOVUJE}$$

13.1.2. Ohyb a osová síla:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1{,}0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1{,}0$$

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

$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 10{,}818\ m$

Kritická normálová síla:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 1{,}157 \cdot 10^{-3}}{10{,}818^2} = 20490{,}78\ kN$$

Štíhlost prutu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{10{,}818}{0{,}205} = 52{,}77$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2{,}74 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^3}{20490{,}78}} = 0{,}69$$

Součinitel imperfekce:

$$\emptyset_y = 0{,}5 \cdot \left[1 + \alpha_1 \cdot \left(\bar{\lambda}_y - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}_y^2\right]$$

$$\emptyset_y = 0{,}5 \cdot [1 + 0{,}34 \cdot (0{,}69 - 0{,}2) + 0{,}69^2] = 0{,}82$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_y = \frac{1}{\emptyset_y + \sqrt{\emptyset_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0{,}82 + \sqrt{0{,}82^2 - 0{,}69^2}} = 0{,}74$$

Kritická normálová síla:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 0{,}94 \cdot 10^{-3}}{10{,}818^2} = 16646{,}71\ kN$$

Štíhlost prutu:

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{10{,}818}{0{,}185} = 58{,}46$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{2{,}74 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^3}{16646{,}71}} = 0{,}76$$

Součinitel imperfekce:

$$\emptyset_z = 0{,}5 \cdot \left[1 + \alpha_1 \cdot \left(\bar{\lambda}_z - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}_z^2\right]$$

$$\emptyset_z = 0{,}5 \cdot [1 + 0{,}34 \cdot (0{,}76 - 0{,}2) + 0{,}76^2] = 0{,}884$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_z = \frac{1}{\emptyset_z + \sqrt{\emptyset_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0{,}884 + \sqrt{0{,}884 - 0{,}76^2}} = 0{,}74$$

Únosnost normálové síly:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 2{,}74 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^3 = 9727\ kN$$

Únosnost za ohybu:

$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 0{,}5143 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^3 = 1825{,}76\ kNm$

$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \cdot f_y = 0{,}463 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^3 = 1643{,}47\ kNm$

Interakční součinitel podle přílohy B

$c_{my} = 0{,}900$

$$k_{yy} = c_{my} \cdot \left(1 + \left(\bar{\lambda}_y - 0{,}2\right) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right) \leq c_{my} \cdot \left(1 + 0{,}8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right)$$

$$k_{yy} = 0{,}900 \cdot \left(1 + (0{,}69 - 0{,}2) \cdot \frac{60{,}82}{\frac{0{,}74 \cdot 9727}{1{,}0}}\right) = 0{,}904$$

$$k_{yy} \leq 0{,}900 \cdot \left(1 + 0{,}8 \cdot \frac{60{,}82}{\frac{0{,}74 \cdot 9727}{1{,}0}}\right) = 0{,}906$$

$k_{yy} = 0{,}902 \leq 0{,}906$

$k_{zy} = 0{,}6 \cdot k_{yy} = 0{,}6 \cdot 0{,}902 = 0{,}541$

$c_{mz} = 0{,}856$

$$k_{zz} = c_{mz} \cdot \left(1 + \left(\bar{\lambda}_z - 0{,}2\right) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right) \leq c_{mz} \cdot \left(1 + 0{,}8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right)$$

$$k_{zz} = 0{,}856 \cdot \left(1 + (0{,}76 - 0{,}2) \cdot \frac{60{,}82}{\frac{0{,}74 \cdot 9727}{1{,}0}}\right) = 0{,}86$$

$$k_{zz} \leq 0{,}856 \cdot \left(1 + 0{,}8 \cdot \frac{60{,}82}{\frac{0{,}74 \cdot 9727}{1{,}0}}\right) = 0{,}862$$

$k_{zz} = 0{,}86 \leq 0{,}862$

$k_{yz} = 0{,}6 \cdot k_{zz} = 0{,}6 \cdot 0{,}86 = 0{,}516$

$$\frac{60{,}82}{\frac{0{,}74 \cdot 9727}{1{,}0}} + 0{,}902 \cdot \frac{219{,}34}{\frac{1{,}0 \cdot 1825{,}76}{1{,}0}} + 0{,}516 \cdot \frac{67{,}21}{\frac{1{,}0 \cdot 1643{,}47}{1{,}0}} = \mathbf{0{,}14} \leq \mathbf{1{,}0}$$

VYHOVUJE

$$\frac{60{,}82}{\frac{0{,}74 \cdot 9727}{1{,}0}} + 0{,}541 \cdot \frac{219{,}34}{\frac{1{,}0 \cdot 1825{,}76}{1{,}0}} + 0{,}86 \cdot \frac{67{,}21}{\frac{1{,}0 \cdot 1643{,}47}{1{,}0}} = \mathbf{0{,}11} \leq \mathbf{1{,}0}$$

VYHOVUJE

13.1.3. Posouzení krčních svarů

$N_{ed} = 60{,}82\ kN$

$V_{z,ed} = 2{,}9\ kN$

$M_{y,ed} = 219{,}34\ kNm$

Průřezové charakteristiky

$I_y = 1{,}157 \cdot 10^{-3}\ m^4$

$S_y = 0{,}5 \cdot 0{,}02 \cdot 0{,}181 = 1{,}81 \cdot 10^{-3}\ m^3$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{ed,max} \cdot S_y}{I_y \cdot 2 \cdot a} = \frac{2{,}9 \cdot 10^3 \cdot 1{,}81 \cdot 10^{-3}}{1{,}157 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 0{,}004} = 0{,}5\ MPa$$

$$\sigma_{\parallel} = \frac{N_{ed}}{A} + \frac{M_{y,ed}}{I_y} \cdot z = \frac{60{,}82 \cdot 10^3}{0{,}0274} + \frac{219{,}34 \cdot 10^3}{1{,}157 \cdot 10^{-3}} \cdot 0{,}201 = 40{,}3\ MPa$$

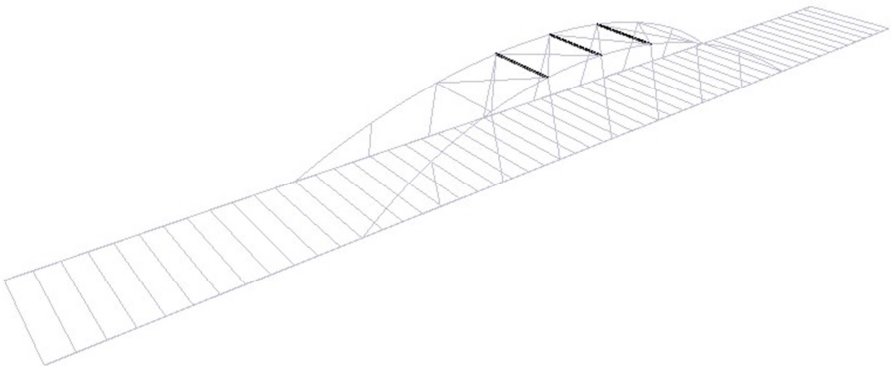
$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0\ MPa$

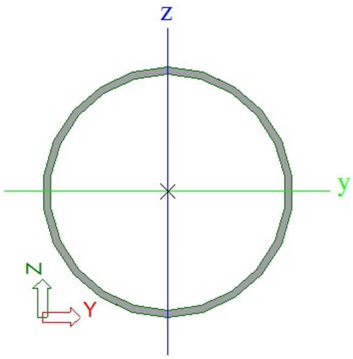
Posouzení svaru:

$$\sqrt{\sigma_{\parallel}^2 + 3 \cdot \left(\tau_{\parallel}^2\right)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{40{,}3^2 + 3 \cdot (0{,}5^2)} = 40{,}4\ MPa \leq \frac{510}{0{,}9 \cdot 1{,}25} = 453{,}33\ MPa$$

14. Zavětrování – vodorovný prut





Průřezové charakteristiky:

TR 219,1/6

A [m^2]	2,7400e-02
Ay [m^2]	1,4788e-02
Az [m^2]	1,2135e-02
AL [m^2/m]	2,0600e+00
AD [m^2/m]	3,9160e+00
cYUSS [mm]	250
cZUSS [mm]	299
α [deg]	0,00
Iy [m^4]	1,1569e-03
Iz [m^4]	9,3993e-04
iy [mm]	205
iz [mm]	185
Wely [m^3]	3,8722e-03
Welz [m^3]	3,7597e-03
Wply [m^3]	5,1432e-03
Wplz [m^3]	4,6295e-03

Materiálové charakteristiky:

Ocel: S 355 => f_y = 355 MPa
f_u = 510 MPa
E = 210 GPa

Zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0{,}81$$

$$\frac{d}{t} = \frac{219{,}1}{6} = 36{,}52 \leq 70 \cdot \varepsilon^2 = 70 \cdot 0{,}81^2 = 45{,}93 \rightarrow \text{Třída 2}$$

- výsledná třída průřezu 2

Návrhové hodnoty vnitřních sil

Vnitřní síly na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : B586,B585,B584
Kombinace : Kombinace MSU

Prvek	Stav	dx [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
*Studentská verze	*Studentská verze	*Studentská verze	*Studentská verze	*Studentská verze	*Studentská verze	*Studentská verze	*Studentská verze	*Studentská verze
B585	Kombinace MSU/54	0,000	**88,64**	0,00	1,32	0,01	1,35	0,02
B586	Kombinace MSU/102	0,000	**305,59**	0,06	1,78	-0,12	1,56	-0,63
B584	Kombinace MSU/101	0,000	274,35	**-0,10**	1,29	0,09	2,64	**0,78**
B586	Kombinace MSU/352	0,000	274,39	**0,10**	1,29	-0,10	2,61	**-0,77**
B585	Kombinace MSU/148	9,556	198,52	0,00	**-2,48**	0,03	-1,65	0,00
B586	Kombinace MSU/353	0,000	222,82	-0,04	**2,24**	-0,05	-1,49	-0,06
B586	Kombinace MSU/114	0,000	283,29	0,00	1,65	**-0,20**	0,82	-0,29
B584	Kombinace MSU/209	0,000	283,11	0,00	1,64	**0,20**	0,87	0,29
B584	Kombinace MSU/354	9,867	201,28	-0,08	-2,11	-0,01	**-2,17**	-0,16
B586	Kombinace MSU/120	4,934	298,09	0,06	-0,27	-0,04	**5,98**	-0,35

Návrhové hodnoty vnitřních sil v kritickém průřezu podle posudku oceli v programu Scia Engineer:

Vnitřní síly	Vypočtené	Jednotka
*Studentská verze	*Studentská verze	*Studentská verze
N,Ed	305,59	kN
Vy,Ed	0,06	kN
Vz,Ed	1,78	kN
T,Ed	-0,12	kNm
My,Ed	1,56	kNm
Mz,Ed	-0,63	kNm

14.1. Posudek dle I. MS

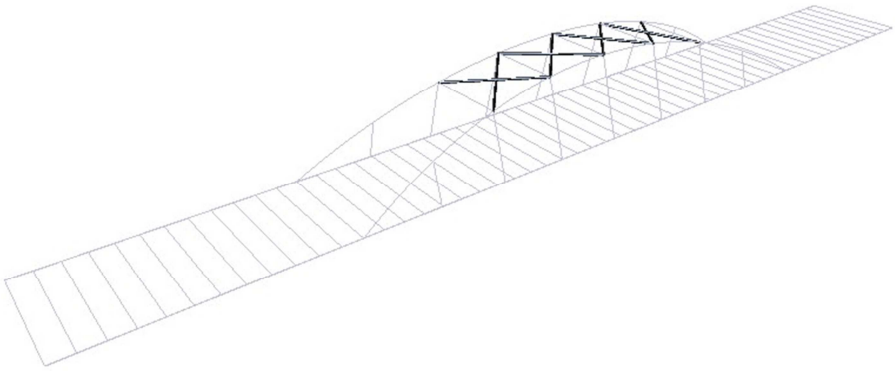
14.1.1. Tah:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1{,}0$$

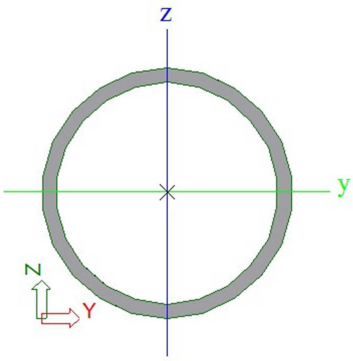
$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4{,}0 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1{,}0} = 1420\ kN$$

$$\frac{\mathbf{305,59}}{\mathbf{1420}} = \mathbf{0,22} \leq \mathbf{1,0} \qquad \boldsymbol{VYHOVUJE}$$

15. Zavětrování – šikmý prut



Průřezové charakteristiky:



A [m^2]	8,1130e-03
Ay [m^2]	5,4492e-03
Az [m^2]	5,4492e-03
AL [m^2/m]	6,8800e-01
AD [m^2/m]	1,2980e+00
cYUSS [mm]	110
cZUSS [mm]	110
α [deg]	0,00
Iy [m^4]	4,3446e-05
Iz [m^4]	4,3446e-05
iy [mm]	73
iz [mm]	73
Wely [m^3]	3,9658e-04
Welz [m^3]	3,9658e-04
Wply [m^3]	5,3420e-04
Wplz [m^3]	5,3420e-04

Materiálové charakteristiky:

Ocel: S 355 => $f_y = 355$ MPa
$f_u = 510$ MPa
$E = 210$ GPa

Zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0{,}81$$

$$\frac{d}{t} = \frac{219{,}1}{12{,}5} = 17{,}53 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0{,}81^2 = 32{,}81 \quad \rightarrow \quad \text{Třída 1}$$

- výsledná třída průřezu 1

Návrhové hodnoty vnitřních sil

Vnitřní síly na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : Vše
Kombinace : Kombinace MSU

Prvek	Stav	dx [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Studentská verze	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studen
B592	Kombinace MSU/102	0,000	**-280,00**	-0,63	6,24	-2,22	-12,94	5,59
B592	Kombinace MSU/196	13,824	**-52,42**	-0,23	-4,31	-1,10	-7,56	-1,34
B588	Kombinace MSU/35	0,000	-248,98	**-0,76**	6,08	-2,46	-10,62	6,74
B591	Kombinace MSU/149	0,000	-248,06	**0,76**	5,48	2,47	-6,44	**-3,72**
B595	Kombinace MSU/27	13,824	-260,97	0,61	**-6,34**	1,83	-12,95	5,46
B592	Kombinace MSU/142	0,000	-261,90	-0,61	**6,34**	-1,85	-12,97	5,47
B592	Kombinace MSU/126	0,000	-216,80	-0,73	5,34	**-2,64**	-9,76	6,54
B595	Kombinace MSU/7	0,000	-215,92	0,73	4,49	**2,63**	-3,95	-3,56
B595	Kombinace MSU/355	13,824	-253,26	0,58	-6,31	1,96	**-13,18**	5,23
B593	Kombinace MSU/120	6,627	-122,68	0,36	-0,19	1,91	**12,05**	-0,20
B591	Kombinace MSU/149	13,824	-249,55	0,76	-6,08	2,47	-10,59	**6,78**

Návrhové hodnoty vnitřních sil v kritickém průřezu podle posudku oceli v programu Scia Engineer:

Vnitřní síly	Vypočtené	Jednotka
Studentská verze	*Studentská verze*	*Studentská verze* *Stu
N,Ed	-280,00	kN
Vy,Ed	-0,63	kN
Vz,Ed	6,24	kN
T,Ed	-2,22	kNm
My,Ed	-12,94	kNm
Mz,Ed	5,59	kNm

15.1. Posouzení dle I. MS

15.1.1. Ohyb a osová síla:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1{,}0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1{,}0$$

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

$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 13{,}824\ m$

Kritická normálová síla:

$$N_{cr,y(z)} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{y(z)}}{L_{cr,y(z)}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 4{,}34 \cdot 10^{-5}}{13{,}824^2} = 471{,}16kN$$

Štíhlost prutu:

$$\lambda_{y(z)} = \frac{L_{cr,y(z)}}{i_{y(z)}} = \frac{13{,}824}{0{,}073} = 186{,}81$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_{y(z)} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y(z)}}} = \sqrt{\frac{0{,}81 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^3}{471{,}16}} = 2{,}47$$

Součinitel imperfekce:

$$\emptyset_{y(z)} = 0{,}5 \cdot \left[1 + \alpha_1 \cdot \left(\bar{\lambda}_{y(z)} - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}_{y(z)}^2\right]$$

$$\emptyset_{y(z)} = 0{,}5 \cdot [1 + 0{,}21 \cdot (2{,}47 - 0{,}2) + 2{,}47^2] = 3{,}79$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_{y(z)} = \frac{1}{\emptyset_{y(z)} + \sqrt{\emptyset_{y(z)}^2 - \bar{\lambda}_{y(z)}^2}} = \frac{1}{3{,}79 + \sqrt{3{,}79^2 - 2{,}47^2}} = 0{,}15$$

Únosnost normálové síly:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 0{,}81 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^3 = 2875{,}5\ kN$$

Únosnost za ohybu:

$$M_{y(z),Rk} = W_{pl,y(z)} \cdot f_y = 5{,}34 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3 = 189{,}57\ kNm$$

Interakční součinitel podle přílohy B

$c_{my} = 0{,}900$

$$k_{yy} = c_{my} \cdot \left(1 + \left(\bar{\lambda}_y - 0{,}2 \right) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{my} \cdot \left(1 + 0{,}8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{yy} = 0{,}900 \cdot \left(1 + (2{,}47 - 0{,}2) \cdot \frac{280}{\frac{0{,}15 \cdot 2875{,}5}{1{,}0}} \right) = 2{,}22$$

$$k_{yy} \leq 0{,}900 \cdot \left(1 + 0{,}8 \cdot \frac{280}{\frac{0{,}15 \cdot 2875{,}5}{1{,}0}} \right) = 1{,}367$$

$k_{yy} = 2{,}22 \leq 1{,}367$

$k_{zy} = 0{,}6 \cdot k_{yy} = 0{,}6 \cdot 1{,}367 = 0{,}82$

$c_{mz} = 0{,}400$

$$k_{zz} = c_{mz} \cdot \left(1 + \left(\bar{\lambda}_z - 0{,}2 \right) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{mz} \cdot \left(1 + 0{,}8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{zz} = 0{,}400 \cdot \left(1 + (2{,}47 - 0{,}2) \cdot \frac{280}{\frac{0{,}15 \cdot 2875{,}5}{1{,}0}} \right) = 0{,}99$$

$$k_{zz} \leq 0{,}400 \cdot \left(1 + 0{,}8 \cdot \frac{280}{\frac{0{,}15 \cdot 2875{,}5}{1{,}0}} \right) = 0{,}61$$

$k_{zz} = 0{,}99 \leq 0{,}61$

$k_{yz} = 0{,}6 \cdot k_{zz} = 0{,}6 \cdot 0{,}61 = 0{,}37$

$$\frac{280}{\frac{0{,}15 \cdot 2875{,}5}{1{,}0}} + 1{,}367 \cdot \frac{12{,}94}{\frac{1{,}0 \cdot 489{,}57}{1{,}0}} + 0{,}37 \cdot \frac{5{,}59}{\frac{1{,}0 \cdot 489{,}57}{1{,}0}} = \mathbf{0{,}70} \leq \mathbf{1{,}0}$$

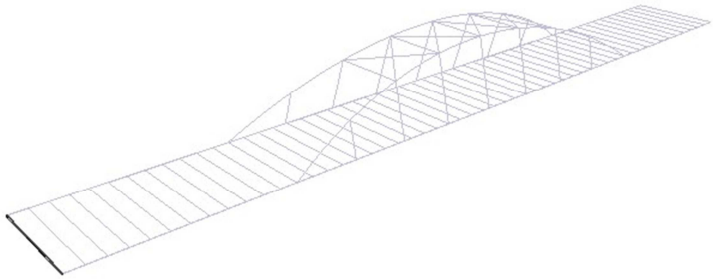
VYHOVUJE

$$\frac{280}{\frac{0{,}15 \cdot 2875{,}5}{1{,}0}} + 0{,}82 \cdot \frac{12{,}94}{\frac{1{,}0 \cdot 489{,}57}{1{,}0}} + 0{,}61 \cdot \frac{5{,}59}{\frac{1{,}0 \cdot 489{,}57}{1{,}0}} = \mathbf{0{,}68} \leq \mathbf{1{,}0}$$

VYHOVUJE

16. Návrh mostních závěrů

16.1. Mostní závěr na opěře 1



Montážní teplota
$T_0 = 10\ °C$
Maximální teplota konstrukce
$T_{N,max} = 42{,}5\ °C$
Minimální teplota konstrukce
$T_{N,min} = -25{,}5\ °C$
Součinitel teplotní roztažnosti
$\alpha = 1{,}2 \cdot 10^{-5} K^{-1}$
Vzdálenost pevného bodu a závěru
$L_1 = 500\ mm$

Dilatace od teploty

$\Delta l_t^{celk} = \alpha_t \cdot L_1 \cdot \Delta t \cdot 1{,}5 = 1{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot 500 \cdot \big(42{,}5 - (-25{,}5)\big) \cdot 1{,}5 = 0{,}612$ mm

$\Delta l_t^{+} = \alpha_t \cdot L_1 \cdot (T_{max} - T_0) \cdot 1{,}5 = 1{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot 500 \cdot (42{,}5 - 10) \cdot 1{,}5 = 0{,}2925\ mm$

$\Delta l_t^{-} = \alpha_t \cdot L_1 \cdot (T_{min} - T_0) \cdot 1{,}5 = 1{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot 500 \cdot (-25{,}5 - 10) \cdot 1{,}5 = -0{,}3195\ mm$

Dilatace od průhybu hlavního nosníku

- Pootočení nosné konstrukce odečteno z programu Scia Engineer

$\alpha^{+} = 16{,}5\ mrad$ $\quad\quad$ $\Delta l_f^{+} = 0{,}0165 \cdot 255 = 3{,}72\ mm$

$\alpha^{-} = -16{,}5\ mrad$ $\quad\quad$ $\Delta l_f^{-} = -0{,}0165 \cdot 255 = -3{,}72\ mm$

$h = 255\ mm \rightarrow vzdálenost\ mezi\ těžištěm\ trámu\ a\ úrovní\ vozovky$

Dilatace od smrštění ŽB desky

Poměrné přetvoření od smršťování
$\varepsilon_{cs} = 0{,}000319$

$\Delta l_s^- = \varepsilon_{cs} \cdot L_1 = -0{,}000319 \cdot 500 = -0{,}16\ mm$

Celková dilatace

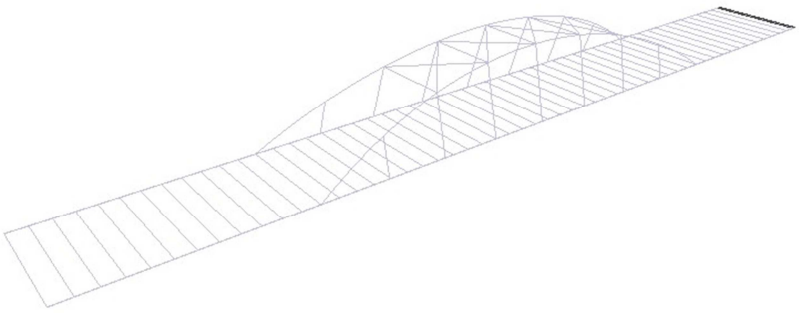
$\Delta l = \Delta l^+ + |\Delta l^-| = 4{,}1 + 4{,}2 = 8{,}3\ mm$

$\Delta l^+ = \Delta l_t^+ + \Delta l_f^+ = 0{,}2925 + 3{,}72 = 4{,}1\ mm$

$\Delta l^- = \Delta l_t^- + \Delta l_f^- + \Delta l_s^- = -0{,}3195 - 3{,}72 - 0{,}16 = -4{,}2\ mm$

Návrh →mostní závěr Mageba RS – A80/7 s možným posuvem 80 mm

16.2. Mostní závěr na opěře 4



Montážní teplota
$T_0 = 10\ °C$
Maximální teplota konstrukce
$T_{N,max} = 42{,}5\ °C$
Minimální teplota konstrukce
$T_{N,min} = -25{,}5\ °C$
Součinitel teplotní roztažnosti
$\alpha = 1{,}2 \cdot 10^{-5} K^{-1}$
Vzdálenost pevného bodu a závěru
$L_2 = 136500\ mm$

Dilatace od teploty

$\Delta l_t^{celk} = \alpha_t \cdot L_1 \cdot \Delta t \cdot 1{,}5 = 1{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot 136500 \cdot \big(42{,}5 - (-25{,}5)\big) \cdot 1{,}5 =$111,4 mm

$$\Delta l_t^+ = \alpha_t \cdot L_1 \cdot (T_{max} - T_0) \cdot 1{,}5$$
$$= 1{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot 136500 \cdot (42{,}5 - 10) \cdot 1{,}5 = 79{,}86\ mm$$

$$\Delta l_t^- = \alpha_t \cdot L_1 \cdot (T_{min} - T_0) \cdot 1{,}5$$
$$= 1{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot 136500 \cdot (-25{,}5 - 10) \cdot 1{,}5$$
$$= -87{,}23\ mm$$

Dilatace od průhybu hlavního nosníku

- Pootočení nosné konstrukce odečteno z programu Scia Engineer

$\alpha^+ = 16{,}5\ mrad$ $\Delta l_f^+ = 0{,}0165 \cdot 255 = 3{,}72\ mm$

$\alpha^- = -16{,}5\ mrad$ $\Delta l_f^- = -0{,}0165 \cdot 255 = -3{,}72\ mm$

$h = 255\ mm \rightarrow vzdálenost\ mezi\ těžištěm\ trámu\ a\ úrovní\ vozovky$

Dilatace od smrštění ŽB desky

Poměrné přetvoření od smršťování
$\varepsilon_{cs} = 0{,}000319$

$\Delta l_s^- = \varepsilon_{cs} \cdot L_1 = -0{,}000319 \cdot 136500 = -43{,}6\ mm$

Celková dilatace

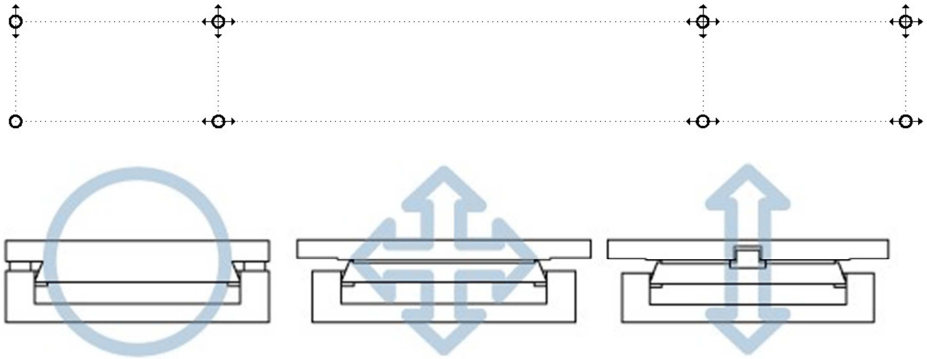
$\Delta l = \Delta l^+ + |\Delta l^-| = 83{,}58 + 134{,}55 = 218{,}13\ mm$

$\Delta l^+ = \Delta l_t^+ + \Delta l_f^+ = 79{,}86 + 3{,}72 = 83{,}58\ mm$

$\Delta l^- = \Delta l_t^- + \Delta l_f^- + \Delta l_s^- = -87{,}23 - 3{,}72 - 43{,}6 = -134{,}55\ mm$

Návrh →mostní závěr Mageba LR3 – A80/7 s možným posuvem 240 mm

17. Návrh ložisek



17.1. Posuny ložisek ve směru mostu

Montážní teplota
$T_0 = 10\ °C$
Maximální teplota konstrukce
$T_{N,max} = 42{,}5\ °C$
Minimální teplota konstrukce
$T_{N,min} = -25{,}5\ °C$
Součinitel teplotní roztažnosti
$\alpha = 1{,}2 \cdot 10^{-5} K^{-1}$
Osová vzdálenost ložisek
$L = 136000\ mm$

Dilatace od teploty

$$\Delta l_t^{celk} = \alpha_t \cdot L_1 \cdot \Delta t \cdot 1{,}5 = 1{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot 136000 \cdot \big(42{,}5 - (-25{,}5)\big) \cdot 1{,}5 = 166{,}0\ mm$$

$$\Delta l_t^{+} = \alpha_t \cdot L_1 \cdot (T_{max} - T_0) \cdot 1{,}5 = 1{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot 136000 \cdot (42{,}5 - 10) \cdot 1{,}5 = 79{,}56 mm$$

$$\Delta l_t^{-} = \alpha_t \cdot L_1 \cdot (T_{min} - T_0) \cdot 1{,}5 = 1{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot 136000 \cdot (-25{,}5 - 10) \cdot 1{,}5 = -86{,}9\ mm$$

Dilatace od průhybu hlavního nosníku

- Pootočení nosné konstrukce odečteno z programu Scia Engineer

$\alpha^{+} = 16{,}5\ mrad$ $\Delta l_f^{+} = 0{,}0165 \cdot 1150 = 19{,}0\ mm$

$\alpha^- = -16{,}5\ mrad$ $\Delta l_f^- = -0{,}0165 \cdot 1150 = -19{,}0\ mm$

$h = 1150\ mm$
$\rightarrow$ *vzdálenost mezi těžištěm trámu a těžištěm ložiska*

Dilatace od smrštění ŽB desky

Poměrné přetvoření od smršťování
$\varepsilon_{cs} = 0{,}000319$

$\Delta l_s^- = \varepsilon_{cs} \cdot L_1 = -0{,}000319 \cdot 136000 = -43{,}4\ mm$

Celková dilatace

$\Delta l = \Delta l^+ + |\Delta l^-| = 83{,}58 + 134{,}55 = 247{,}86 mm$

$\Delta l^+ = \Delta l_t^+ + \Delta l_f^+ = 79{,}56 + 19{,}0 = 98{,}56\ mm$

$\Delta l^- = \Delta l_t^- + \Delta l_f^- + \Delta l_s^- = -86{,}9 - 19{,}0 - 43{,}4 = -149{,}3\ mm$

17.2. Posuny ložisek v příčném směru

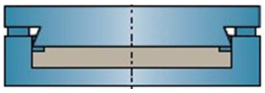
Montážní teplota
$T_0 = 10\ °C$
Maximální teplota konstrukce
$T_{N,max} = 42{,}5\ °C$
Minimální teplota konstrukce
$T_{N,min} = -25{,}5\ °C$
Součinitel teplotní roztažnosti
$\alpha = 1{,}2 \cdot 10^{-5} K^{-1}$
Osová vzdálenost ložisek
$L = 15250\ mm$

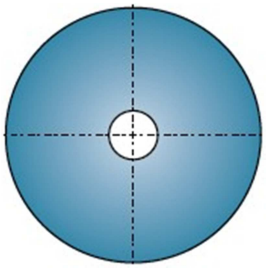
Dilatace od teploty

$$\Delta l_t^{celk} = \alpha_t \cdot L_1 \cdot \Delta t \cdot 1{,}5 = 1{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot 15250 \cdot \big(42{,}5 - (-25{,}5)\big) \cdot 1{,}5 = 18{,}67\ mm$$

$$\Delta l_t^+ = \alpha_t \cdot L_1 \cdot (T_{max} - T_0) \cdot 1{,}5 = 1{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot 15250 \cdot (42{,}5 - 10) \cdot 1{,}5 = 8{,}93\ mm$$

$$\Delta l_t^- = \alpha_t \cdot L_1 \cdot (T_{min} - T_0) \cdot 1{,}5 = 1{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot 15250 \cdot (-25{,}5 - 10) \cdot 1{,}5 = -9{,}75\ mm$$





Hrncové ložisko 1A – pevné

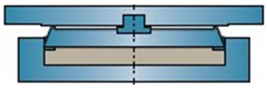
Reakce

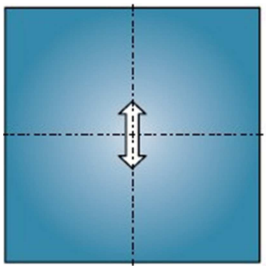
Lineární výpočet, Extrém : Globální
Výběr : Sn15
Kombinace : Kombinace MSU

Podpora	Stav	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Studentská verze	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentsk
Sn15/N956	Kombinace MSU/322	**-47,94**	280,79	1234,57	0,00	0,00	0,00
Sn15/N956	Kombinace MSU/323	**563,90**	-1147,50	1892,97	0,00	0,00	0,00
Sn15/N956	Kombinace MSU/324	556,17	**-1218,24**	2170,91	0,00	0,00	0,00
Sn15/N956	Kombinace MSU/325	-27,37	**477,95**	955,51	0,00	0,00	0,00
Sn15/N956	Kombinace MSU/301	105,56	-536,99	**894,87**	0,00	0,00	0,00
Sn15/N956	Kombinace MSU/326	460,31	-424,06	**2172,32**	0,00	0,00	0,00
Sn15/N956	Kombinace MSU/327	117,95	-179,53	1284,93	**0,00**	**0,00**	**0,00**

Navrhuji hrncové ložisko Mageba TF 6.

$F_{z,Rd,max} = 8647\ kN$ $F_{x,y,Rd,max} = 1556\ kN$





Hrncové ložisko 2A a 3A – podélně pohyblivé

Reakce

Lineární výpočet, Extrém : Globální
Výběr : Sn20
Kombinace : Kombinace MSU

Podpora	Stav	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Studentská verze	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentsk
Sn20/N960	Kombinace MSU/328	**-1097,95**	0,00	5917,60	0,00	0,00	0,00
Sn20/N960	Kombinace MSU/329	**662,16**	0,00	6196,56	0,00	0,00	0,00
Sn20/N960	Kombinace MSU/327	-114,43	**0,00**	6109,41	**0,00**	**0,00**	**0,00**
Sn20/N960	Kombinace MSU/287	576,51	0,00	**4465,18**	0,00	0,00	0,00
Sn20/N960	Kombinace MSU/330	-457,90	0,00	**8521,63**	0,00	0,00	0,00

Reakce

Lineární výpočet, Extrém : Globální
Výběr : Sn18
Kombinace : Kombinace MSU

Podpora	Stav	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Studentská verze	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentsk
Sn18/N958	Kombinace MSU/331	**-795,99**	0,00	5907,96	0,00	0,00	0,00
Sn18/N958	Kombinace MSU/332	**747,35**	0,00	5726,17	0,00	0,00	0,00
Sn18/N958	Kombinace MSU/327	-41,58	**0,00**	6109,41	**0,00**	**0,00**	**0,00**
Sn18/N958	Kombinace MSU/226	648,15	0,00	**4465,05**	0,00	0,00	0,00
Sn18/N958	Kombinace MSU/333	-372,65	0,00	**8521,77**	0,00	0,00	0,00

Navrhuji hrncové ložisko Mageba TE 7.

$F_{z,Rd,max} = 9627\ kN$ $F_{x,Rd,max} = 1422\ kN$

Hrncové ložisko 4A – podélně pohyblivé

Reakce

Lineární výpočet, Extrém : Globální
Výběr : Sn17
Kombinace : Kombinace MSU

Podpora	Stav	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Studentská verze	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studen
Sn17/N955	Kombinace MSU/334	**-79,05**	0,00	1334,42	0,00	0,00	0,00
Sn17/N955	Kombinace MSU/335	**125,05**	0,00	1565,98	0,00	0,00	0,00
Sn17/N955	Kombinace MSU/327	38,05	**0,00**	1284,89	**0,00**	**0,00**	**0,00**
Sn17/N955	Kombinace MSU/227	-16,09	0,00	**894,56**	0,00	0,00	0,00
Sn17/N955	Kombinace MSU/336	53,14	0,00	**2083,47**	0,00	0,00	0,00

Navrhuji hrncové ložisko Mageba TE 3.

$F_{z,Rd,max} = 2772\ kN$ $F_{x,Rd,max} = 542\ kN$

Hrncové ložisko 1B – příčně pohyblivé

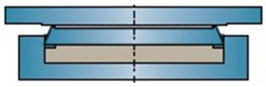
Reakce

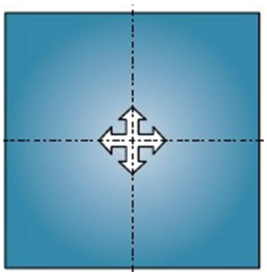
Lineární výpočet, Extrém : Globální
Výběr : Sn14
Kombinace : Kombinace MSU

Podpora	Stav	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Studentská verze	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská
Sn14/N1014	Kombinace MSU/327	**0,00**	179,53	1284,53	**0,00**	**0,00**	**0,00**
Sn14/N1014	Kombinace MSU/337	0,00	**-442,60**	955,10	0,00	0,00	0,00
Sn14/N1014	Kombinace MSU/338	0,00	**1193,50**	2521,85	0,00	0,00	0,00
Sn14/N1014	Kombinace MSU/339	0,00	-206,57	**875,96**	0,00	0,00	0,00
Sn14/N1014	Kombinace MSU/340	0,00	1167,62	**2521,88**	0,00	0,00	0,00

Navrhuji hrncové ložisko Mageba TE 7.

$F_{z,Rd,max} = 9627\ kN$ $F_{y,Rd,max} = 1422\ kN$





Hrncové ložisko 2B a 3B – všesměrně pohyblivé

Reakce

Lineární výpočet, Extrém : Globální
Výběr : Sn21
Kombinace : Kombinace MSU

Podpora	Stav	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Studentská verze	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studen
Sn21/N961	Kombinace MSU/327	**0,00**	**0,00**	6109,77	**0,00**	**0,00**	**0,00**
Sn21/N961	Kombinace MSU/341	0,00	0,00	**4465,14**	0,00	0,00	0,00
Sn21/N961	Kombinace MSU/342	0,00	0,00	**9133,49**	0,00	0,00	0,00

Reakce

Lineární výpočet, Extrém : Globální
Výběr : Sn19
Kombinace : Kombinace MSU

Podpora	Stav	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Studentská verze	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studen
Sn19/N959	Kombinace MSU/327	**0,00**	**0,00**	6109,78	**0,00**	**0,00**	**0,00**
Sn19/N959	Kombinace MSU/150	0,00	0,00	**4465,09**	0,00	0,00	0,00
Sn19/N959	Kombinace MSU/343	0,00	0,00	**9133,58**	0,00	0,00	0,00

Navrhuji hrncové ložisko Mageba TA 7.

$F_{z,Rd,max} = 12375\ kN$

<u>Hrncové ložisko 4B – všesměrně pohyblivé</u>

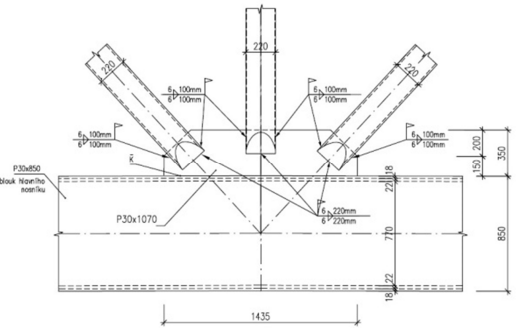
Reakce

Lineární výpočet, Extrém : Globální
Výběr : Sn16
Kombinace : Kombinace MSU

Podpora	Stav	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Studentská verze	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studentská verze*	*Studen
Sn16/N957	Kombinace MSU/327	**0,00**	**0,00**	1284,57	**0,00**	**0,00**	**0,00**
Sn16/N957	Kombinace MSU/344	0,00	0,00	**875,57**	0,00	0,00	0,00
Sn16/N957	Kombinace MSU/345	0,00	0,00	**2354,13**	0,00	0,00	0,00

Navrhuji hrncové ložisko Mageba TA 3.

$F_{z,Rd,max} = 2913kN$



18. Spoje

- posouzení vybraných detailů připojení

Připojení vodorovného a šikmého prutu zavětrování

Návrhové hodnoty vnitřních sil v kritickém spoji

$N_{Ed,1} = -137{,}72\ kN$
$N_{ed,2} = -280\ kN$
$N_{ed,3} = 305{,}59\ kN$

Posouzení koutového svaru – ztužidlo a styčníkový plech

Účinná výška svaru:

$a = 6\ mm$

Minimální délka svaru:

$l_{min} = max\{30\ mm; 6a\} = max\{30; 36\} = 36\ mm$

Účinná délka svaru:
$navrhuji \rightarrow\ l = 100\ mm$

Napětí od normálové síly

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{ed}}{l \cdot a \cdot n} = \frac{305590}{100 \cdot 6 \cdot 4} = 127{,}33\ MPa$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = 0\ MPa$$

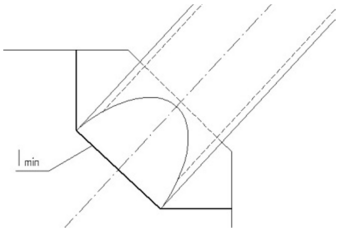
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \left(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2\right)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{0^2 + 3 \cdot (0 + 127{,}33^2)} = 220{,}55\ MPa \leq \frac{510}{0{,}9 \cdot 1{,}25} = 453{,}33\ MPa \qquad \boldsymbol{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0{,}9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$0\ MPa \leq \frac{0{,}9 \cdot 510}{1{,}25} = 367{,}2\ MPa \qquad \boldsymbol{VYHOVUJE}$$

- Přestože svar vyhovuje, navrhuji boční svary až ke konci styčníkového plechu a konstrukční čelní svary. Pro ostatní prvky svar vyhoví díky menší působící síle nebo menší ploše svaru.



Posouzení tupého K svaru – oblouk a styčníkový plech

- Návrhová únosnost se stanoví z návrhové únosnosti slabšího z připojovaných prvků – styčníkový plech

$t = 30\ mm$

$A_{min} = l_{min} \cdot t = 474{,}47 \cdot 30 = 14234{,}1\ mm^2$

$N_{pl} = \frac{A_{min} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{14234{,}1 \cdot 355}{1{,}0} = 5053{,}1\ kN$

$\frac{N_{ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{305{,}59}{5053{,}1} = 0{,}06 \leq 1{,}0 \quad \rightarrow \quad \boldsymbol{svar\ vyhovuje}$

Posouzení styčníkového plechu

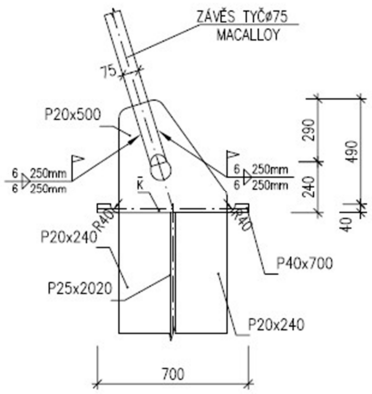
$t = 30\ mm$

$A_{min} = l_{min} \cdot t = 474{,}47 \cdot 30 = 14234{,}1\ mm^2$

$N_{pl} = \frac{A_{min} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{14234{,}1 \cdot 355}{1{,}0} = 5053{,}1\ kN$

$\frac{N_{ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{305{,}59}{5053{,}1} = 0{,}06 \leq 1{,}0 \quad \rightarrow \quad \boldsymbol{svar\ vyhovuje}$

Připojení táhla k hlavnímu nosníku



Návrhové hodnoty vnitřních sil v kritickém spoji

$N_{Ed} = 1432{,}23\ kN$

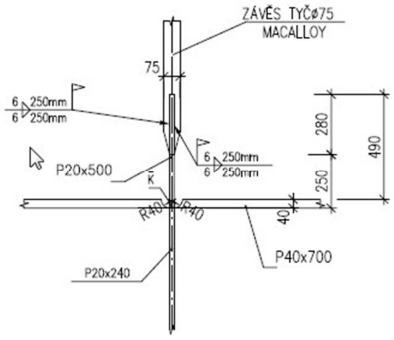
Posouzení koutového svaru – táhlo a styčníkový plech

Účinná výška svaru:

$a = 6\ mm$

Minimální délka svaru:

$l_{min} = max\{30\ mm; 6a\} = max\{30; 36\} = 36\ mm$



Účinná délka svaru:

$navrhuji \rightarrow l = 250\ mm$

Napětí od normálové síly

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{ed}}{l \cdot a \cdot n} = \frac{1432230}{250 \cdot 6 \cdot 4} = 238{,}71\ MPa$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = 0\ MPa$$

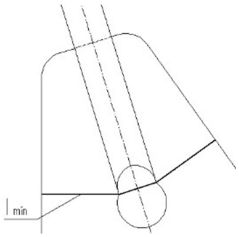
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \left(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2\right)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{0^2 + 3 \cdot (0 + 238{,}71^2)} = 413{,}45\ MPa \leq \frac{510}{0{,}9 \cdot 1{,}25} = 453{,}33\ MPa \qquad \boldsymbol{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0{,}9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$0\ MPa \leq \frac{0{,}9 \cdot 510}{1{,}25} = 367{,}2\ MPa \qquad \boldsymbol{VYHOVUJE}$$

<u>Posouzení styčníkového plechu</u>

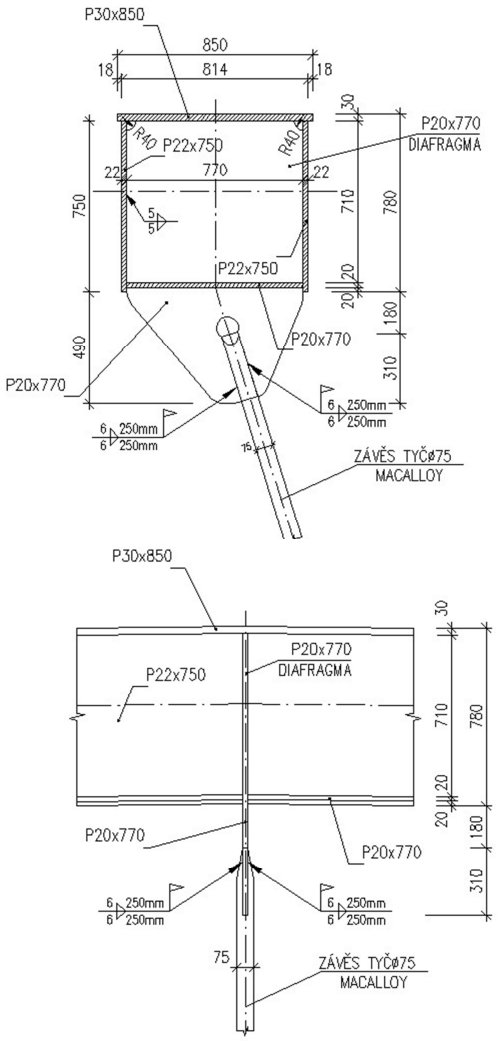


$t = 20\ mm$

$$A_{min} = l_{min} \cdot t = 364 \cdot 20 = 7280\ mm^2$$

$$N_{pl} = \frac{A_{min} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7280 \cdot 355}{1{,}0} = 2584{,}4\ kN$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{1432{,}23}{2584{,}4} = 0{,}56 \leq 1{,}0 \qquad \rightarrow \qquad \boldsymbol{svar\ vyhovuje}$$



Připojení táhla k oblouku

Návrhové hodnoty vnitřních sil v kritickém spoji

$N_{Ed} = 1432{,}23\ kN$

Posouzení koutového svaru – táhlo a styčníkový plech

Účinná výška svaru:

$a = 6\ mm$

Minimální délka svaru:

$l_{min} = max\{30\ mm; 6a\} = max\{30; 36\} = 36\ mm$

Účinná délka svaru:
$navrhuji\ \rightarrow\ l = 250\ mm$

Napětí od normálové síly

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{ed}}{l \cdot a \cdot n} = \frac{1432230}{250 \cdot 6 \cdot 4} = 238{,}71\ MPa$$

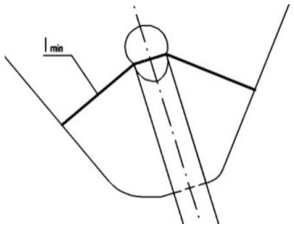
$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = 0\ MPa$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \left(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2\right)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{0^2 + 3 \cdot (0 + 238{,}71^2)} = 413{,}45\ MPa \leq \frac{510}{0{,}9 \cdot 1{,}25} = 453{,}33\ MPa \qquad \boldsymbol{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0{,}9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$0\ MPa \leq \frac{0{,}9 \cdot 510}{1{,}25} = 367{,}2\ MPa \qquad \boldsymbol{VYHOVUJE}$$



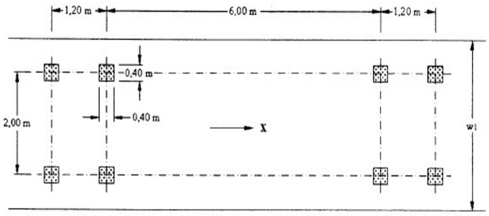
Posouzení styčníkového plechu

$t = 20\ mm$

$A_{min} = l_{min} \cdot t = 503 \cdot 20 = 10060\ mm^2$

$$N_{pl} = \frac{A_{min} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{10060 \cdot 355}{1{,}0} = 3571{,}3\ kN$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{1432{,}23}{3571{,}3} = 0{,}41 \leq 1{,}0 \qquad \rightarrow \qquad svar\ vyhovuje$$



19. Posouzení na únavu

- Pro posouzení na únavu je použitý model doporučený normou ČSN EN 1991-2 model zatížení 3.

Připojení pásnice příčníku ke stojině koutovým svarem

$\sigma_{p,max} = 68{,}4\ MPa$

$\sigma_{p,min} = 16{,}4\ MPa$

Referenční rozkmit napětí

$\Delta\sigma_p = |\sigma_{p,max} - \sigma_{p,min}| = |68{,}4 - 16{,}4| = 52\ MPa$

Součinitel ekvivalentního poškození mostu

$\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 = 2{,}5 \cdot 0{,}625 \cdot 1 \cdot 1 = 1{,}563$

$\lambda_1 = 1{,}9$ součinitel účinků poškození od dopravy, který závisí na délce příčníkové čáry nebo plochy

$\lambda_2 = 0{,}625$ součinitel zahrnující vliv dopravy

$\lambda_3 = 1{,}0$ součinitel návrhové životnosti mostu (100let)

$\lambda_4 = 1{,}0$ součinitel vlivu dopravy v dalších jízdních pruzích

Ekvivalentní rozkmit napětí vztažený na $2 \cdot 10^6$ cyklů:

$\Delta\sigma_{E2} = \lambda \cdot \emptyset_2 \cdot \Delta\sigma_p = 1{,}563 \cdot 1{,}0 \cdot 52 = 81{,}3\ MPa$

$\emptyset_2 = 1{,}0$ ekvivalentní dynamický součinitel, u mostů pozemních komunikací je možné brát $\emptyset_2 = 1{,}0$, jelikož je zahrnut v modelu únavového zatížení

Podmínka posouzení

$\Delta\sigma_c = 125$ referenční rozkmit napětí, kategorie detailu 125

$\gamma_{Mf} = 1{,}15$ součinitel únavové pevnosti

$\gamma_{Ff} = 1{,}0$ součinitel únavového zatížení

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E2} = 1{,}0 \cdot 81{,}3 = 81{,}3\ MPa \leq \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}} = \frac{125}{1{,}15} = 108{,}69\ MPa$$

Připojení na horní pásnici (výztuhy) nosníku v místě styčníkového plechu táhla

$\sigma_{p,max} = 50{,}7\ MPa$

$\sigma_{p,min} = 39{,}0\ MPa$

Referenční rozkmit napětí

$$\Delta\sigma_p = \left|\sigma_{p,max} - \sigma_{p,min}\right| = |50{,}7 - 39{,}0| = 11{,}7\ MPa$$

Součinitel ekvivalentního poškození mostu

$$\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 = 1{,}9 \cdot 0{,}625 \cdot 1 \cdot 1 = 1{,}19$$

$\lambda_1 = 1{,}9$ součinitel účinků poškození od dopravy, který závisí na délce příčníkové čáry nebo plochy

$\lambda_2 = 0{,}625$ součinitel zahrnující vliv dopravy

$\lambda_3 = 1{,}0$ součinitel návrhové životnosti mostu (100let)

$\lambda_4 = 1{,}0$ součinitel vlivu dopravy v dalších jízdních pruzích

Ekvivalentní rozkmit napětí vztažený na $2 \cdot 10^6$ cyklů:

$$\Delta\sigma_{E2} = \lambda \cdot \emptyset_2 \cdot \Delta\sigma_p = 1{,}19 \cdot 1{,}0 \cdot 11{,}7 = 13{,}93\ MPa$$

$\emptyset_2 = 1{,}0$ ekvivalentní dynamický součinitel, u mostů pozemních komunikací je možné brát $\emptyset_2 = 1{,}0$, jelikož je zahrnut v modelu únavového zatížení

Podmínka posouzení

$\Delta\sigma_c = 80$ referenční rozkmit napětí, kategorie detailu 80

$\gamma_{Mf} = 1{,}15$ součinitel únavové pevnosti

$\gamma_{Ff} = 1{,}0$ součinitel únavového zatížení

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E2} = 1{,}0 \cdot 13{,}93 = 13{,}93\ MPa \leq \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}} = \frac{80}{1{,}15} = 69{,}56\ MPa$$

Připojení příčníku k hlavnímu nosníku

Napětí v místě přípoje příčníku

$\sigma_{p,max} = 47{,}2\ MPa$

$\sigma_{p,min} = 20{,}4\ MPa$

Referenční rozkmit napětí

$\Delta\sigma_p = \left|\sigma_{p,max} - \sigma_{p,min}\right| = |47{,}2 - 20{,}4| = 26{,}8\ MPa$

Součinitel ekvivalentního poškození mostu

$\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 = 1{,}9 \cdot 0{,}625 \cdot 1 \cdot 1 = 1{,}19$

$\lambda_1 = 1{,}9$ součinitel účinků poškození od dopravy, který závisí na délce příčníkové čáry nebo plochy

$\lambda_2 = 0{,}625$ součinitel zahrnující vliv dopravy

$\lambda_3 = 1{,}0$ součinitel návrhové životnosti mostu (100let)

$\lambda_4 = 1{,}0$ součinitel vlivu dopravy v dalších jízdních pruzích

Ekvivalentní rozkmit napětí vztažený na $2 \cdot 10^6$ cyklů:

$\Delta\sigma_{E2} = \lambda \cdot \emptyset_2 \cdot \Delta\sigma_p = 1{,}19 \cdot 1{,}0 \cdot 26{,}8 = 31{,}9\ MPa$

$\emptyset_2 = 1{,}0$ ekvivalentní dynamický součinitel, u mostů pozemních komunikací je možné brát $\emptyset_2 = 1{,}0$, jelikož je zahrnut v modelu únavového zatížení

Podmínka posouzení

$\Delta\sigma_c = 80$ referenční rozkmit napětí, kategorie detailu 80

$\gamma_{Mf} = 1{,}15$ součinitel únavové pevnosti

$\gamma_{Ff} = 1{,}0$ součinitel únavového zatížení

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E2} = 1{,}0 \cdot 31{,}9 = 31{,}9\ MPa \leq \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}} = \frac{80}{1{,}15} = 69{,}56\ MPa$$