

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra betonových a zděných konstrukcí



Diplomová práce

Hodnocení existujícího betonového obloukového mostu

Assessment of existing reinforced concrete arch bridge

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

Vedoucí diplomové práce: Ing. Michal Drahorád, Ph.D.

Jiří Klír

Praha 2024

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Klír** Jméno: **Jiří** Osobní číslo: **477426**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra betonových a zděných konstrukcí**
Studijní program: **Stavební inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce a dopravní stavby**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Hodnocení existujícího betonového obloukového mostu

Název diplomové práce anglicky:

Assessment of Existing Reinforced Concrete Arch Bridge

Pokyny pro vypracování:

Provedení hodnocení existujícího betonového obloukového mostu, stanovení zatížitelnosti a návrh opravy, případně zesílení mostu.

Seznam doporučené literatury:

Soubor platných technických norem
Soubor platných technických předpisů MD ČR

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Michal Drahorád, Ph.D. katedra betonových a zděných konstrukcí FSv

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **27.09.2023**

Termín odevzdání diplomové práce: **08.01.2024**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Ing. Michal Drahorád, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Lukáš Vráblík, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Jiří Máca, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, za odborného vedení Ing. Michala Drahoráda, Ph.D.

Dále prohlašuji, že veškerá literatura, normy a zdroje, ze kterých jsem čerpal jsou řádně uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze, 08.01.2023

Jiří Klír

PODĚKOVÁNÍ

Velké poděkování patří hlavně vedoucímu závěrečné práce Ing. Michalu Drahorádovi, Ph.D. za skvělý přístup, ochotu, čas a odborné rady v průběhu práce.

Dále bych chtěl poděkovat přátelům za rady a podporu.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá stanovením zatížitelnosti existujícího silničního mostu ev. č. D1 – 075.1 přes řeku Želivku. Most je železobetonový obloukový s roštovou mostovkou. Jedná se o dvojici samostatných mostů vedle sebe. Nosná konstrukce je spojitá o šesti polích s celkovou délkou 161,40m a s rozpětím polí 10,80m + 16,95m + 92,50m + 16,95m + 16,00m + 7,80m. Mostovka se skládá ze čtyř podélných trámů, příčníků a mostkových desek. Oblouk je přímý a skládá se ze dvojice obloukových pasů. Spodní stavba pak z opěr, štíhlých stojek a stěnových pilířů. Práce se skládá ze tří částí. První obsahuje základní rešerši k hodnocení mostů, druhá vyhodnocení stavu stávajícího mostu, návrh opatření na základě získaných výsledků a třetí část základní výkresovou dokumentaci. Výpočetní modely byly vytvořeny ve Scia Engineer a konstrukce byla posouzena podle ČSN 73 6222.

KLÍČOVÁ SLOVA

Zatížitelnost, betonový most, obloukový most, silniční most, železobeton

ABSTRACT

This thesis deals with the determination of the load bearing capacity of the existing road bridge no. D1 – 075.1 over the Želivka river. The bridge is a reinforced concrete arch bridge with a continuous grillage bridge deck. It is a pair of separate bridges side by side. The superstructure has six spans with a total length of 161,40m and particular spans 10,80m + 16,95m + 92,50m + 16,95m + 16,00m + 7,80m. The superstructure consists of four longitudinal beams, crossbeams and deck slabs. The arch span is straight and consists of a pair of concrete arches. The substructure is then made of supports, slender wall piers and wall piers. The thesis consists of three parts. The first contains background information and desk study, the second contains structural analysis and a remediate measures proposal and the third contains drawings. The calculation models were created in Scia Engineer and the construction was calculated according to ČSN 73 6222.

KEYWORDS

Load bearing capacity, concrete bridge, arch bridge, road bridge, reinforced concrete

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**Fakulta stavební
Katedra betonových a zděných konstrukcí**



**Hodnocení existujícího betonového obloukového mostu
Assessment of existing reinforced concrete arch bridge**

ČÁST 1

OBSAH

| | |
|---------------------------------------|----|
| 1 Cíl práce a zhodnocení | 8 |
| 2 Identifikační údaje | 9 |
| 3 Základní údaje o mostní stavbě..... | 9 |
| 4 Popis stavby a historie | 10 |
| 4.1 Obecně | 10 |
| 4.2 Historie | 11 |
| 5 Geotechnické podmínky | 11 |
| 6 Technické řešení mostu | 12 |
| 6.1 Spodní stavba a založení | 13 |
| 6.2 Nosná konstrukce mostu..... | 14 |
| 6.3 Uložení nosné konstrukce | 15 |
| 6.4 Mostní závěry..... | 17 |
| 6.5 Odvodnění | 17 |
| 6.6 Mostní svršek..... | 17 |
| 6.7 Mostní vybavení..... | 17 |

1 CÍL PRÁCE A ZHODNOCENÍ

Cílem této diplomové práce je stanovení zatížitelnosti mostu ev. č. D1-075.1 na základě jeho stavu zjištěného z dostupné dokumentace a diagnostických průzkumů.

Při výpočtu se vycházelo z příslušných norem, diagnostického průzkumu od Experis DSKM s.r.o., průzkumu od Horský s.r.o., doplňkového průzkumu od INSET s.r.o. a hlavní mostní prohlídky od Mott MacDonald.

Zatížitelnost je definována největší možnou hmotností vozidla, které se smí po mostě za daných podmínek pohybovat.

Zatížitelnost nosné konstrukce je stanovena podle ČSN 73 6222 a TP200 podrobným a kombinovaným statickým výpočtem. S přihlédnutím ke stavu mostu se pak určí zatížitelnost normální, výhradní a výjimečná. Předpokládá se, že vliv únavy nebude pro stanovení zatížitelnosti rozhodující, a proto se neuvažuje.

Podrobný statický výpočet vychází ze současných platných předpisů, z reálného zatížení, vyztužení a materiálů konstrukce.

Při výpočtu kombinovaným statickým výpočtem se při zatížení a návrhu výztuže postupuje podle předpisů platných v době návrhu konstrukce. V tomto případě podle původního návrhového předpisu ČSN 1230–1937 (736202) „Jednotný mostní řad“. Následně se postupuje shodně jako v podrobném statickém výpočtu, za použití platných norem pro zatížení konstrukce dle ČSN EN 73 6222 a ČSN EN 1991 a stanovení únosnosti prvků nosné konstrukce dle ČSN EN 1990, ČSN EN 1992-1-1 a ČSN EN 1992-2 s použitím materiálových charakteristik z diagnostiky konstrukce.

Pro výpočet vnitřních sil a stanovení zatížitelnosti byly zkonstruovány potřebné výpočetní modely ve SCIA Engineer a vyhodnocení výsledků bylo dále zpracováno v tabulkovém editoru Excel případně ověřeno ve výpočetním programu Idea StatiCa.

Ve výpočtu v kapitole 5 je stanovena zatížitelnost podélných trámů, desky mostovky, oblouků a štíhlé stěnové stojky.

Výsledná zatížitelnost je:

| | |
|---|------|
| Normální zatížitelnost – V_n | 26 t |
| Výhradní zatížitelnost – V_r | 47 t |
| Výjimečná zatížitelnost – V_e | 94 t |
| Zatížitelnost na jednu nápravu – V_{aj} | 12 t |

2 IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

| | |
|------------------------|---|
| Stavba | Most ev. Č. D1 – 075.1 |
| Název objektu | Silniční most přes Želivku u obce Hroznětice |
| Místní název | Píšť spodní |
| Kraj | Vysočina |
| Okres | Pelhřimov |
| Správce mostu | ŘSD ČR/ PÚ GŘ ŘSD – Správa dálnice Čechy/ SSÚD 2 Bernartice |
| Staničení liniové | km 76,490 |
| Staničení na úseku | km 0,000 |
| Úhel křížení | Kolmý 100,00 g |
| Přemostňovaná překážka | Želivka |

3 ZÁKLADNÍ ÚDAJE O MOSTNÍ STAVBĚ

Zatřídění mostu dle ČSN 73 6200 Mosty – Terminologie a třídění

Most pozemní komunikace

| | |
|-----------------------------------|---|
| Druh převáděné pozemní komunikace | Silnice 3. třídy |
| Konstrukce mostovky | Horní ŽB roštová mostovka |
| Konstrukce vozovky | Živičná |
| Rozpětí polí | 10,80m + 16,95m + 92,50m + 16,95m + 16,00m + 7,80mDélka nosné konstrukce 161,40 m |
| Délka přemostění | 158,50 m |
| Šikmost mostu | Kolmý 100,00 g |
| Šířka mostu | 23,40 m |
| Volná šířka mostu | 22,00 m |
| Šířka mezi obrubami | 6,00 m |
| Šířka chodníků | 1,25 m |
| Konstrukční výška | 1,50 m |
| Výška mostu nad terénem | 29,50 m |
| Výška NK nad vodní hladinou | 14,50 m |

4 POPIS STAVBY A HISTORIE

4.1 OBECNĚ

Jedná se o trvalý železobetonový obloukový most ev. č. D1 – 075.1. „Silniční most přes Želivku u obce Hroznětice“. Převádí místní komunikaci III/13036 mezi obcemi Hořice a Vojslavice přes vodní nádrž Švihov pod dálničním mostem ev. č. D1 – 075.3. Spodní stavba horního dálničního mostu je propojena s pilíři P3 a P4 spodního mostu. Patky pilířů jsou centricky sepnuty přímými předpínacími kabely.

Most je od 4.8.2022 kulturní památkou rejst. č. ÚSKP 106942 – dolní obloukový dálniční most u Vojslavic.



Obrázek 1 Poloha mostu. Geoportal ŘSD



Obrázek 2 Pohled na pravý most od Brněnské opěry

4.2 HISTORIE

Výstavba probíhala v letech 1939–1950. Most měl být součástí budované dálnice z Čech přes Moravu, Slovensko až na Podkarpatskou Rus. Stavba byla v průběhu let několikrát přerušena a dokončení se dočkala až v roce 1967, ale jen pro účel převedení místní komunikace III. třídy, z důvodu nevyhovujících parametrů pro plánovanou stavbu dálnice D1. Jeho funkce tedy byla nahrazena novým ocelovým trémovým mostem, který byl vybudován nad jeho úrovní.

Most byl podroben diagnostickému průzkumu firmou Horský s.r.o. v roce 2013 a v roce 2015 firmou INSET s.r.o. a firmou Expressis s.r.o., kde byl zjištěn jeho stav a materiálové charakteristiky jednotlivých prvků.

Dále proběhla rozsáhlá rekonstrukce mostu v letech 2022-2024. Byl sanován povrch konstrukce, opraveny úložné prahy, zídky opěr a byly zřízeny přechodové oblasti za opěrami. Proběhla rekonstrukce krajních vložených polí, sanace říms a zábradlí, repasivace ložisek a osazení nových mostních závěrů. Byla zřízena spřažená deska a nová vozovka, provedly se opravy odvodnění, úpravy okolí mostu apod.



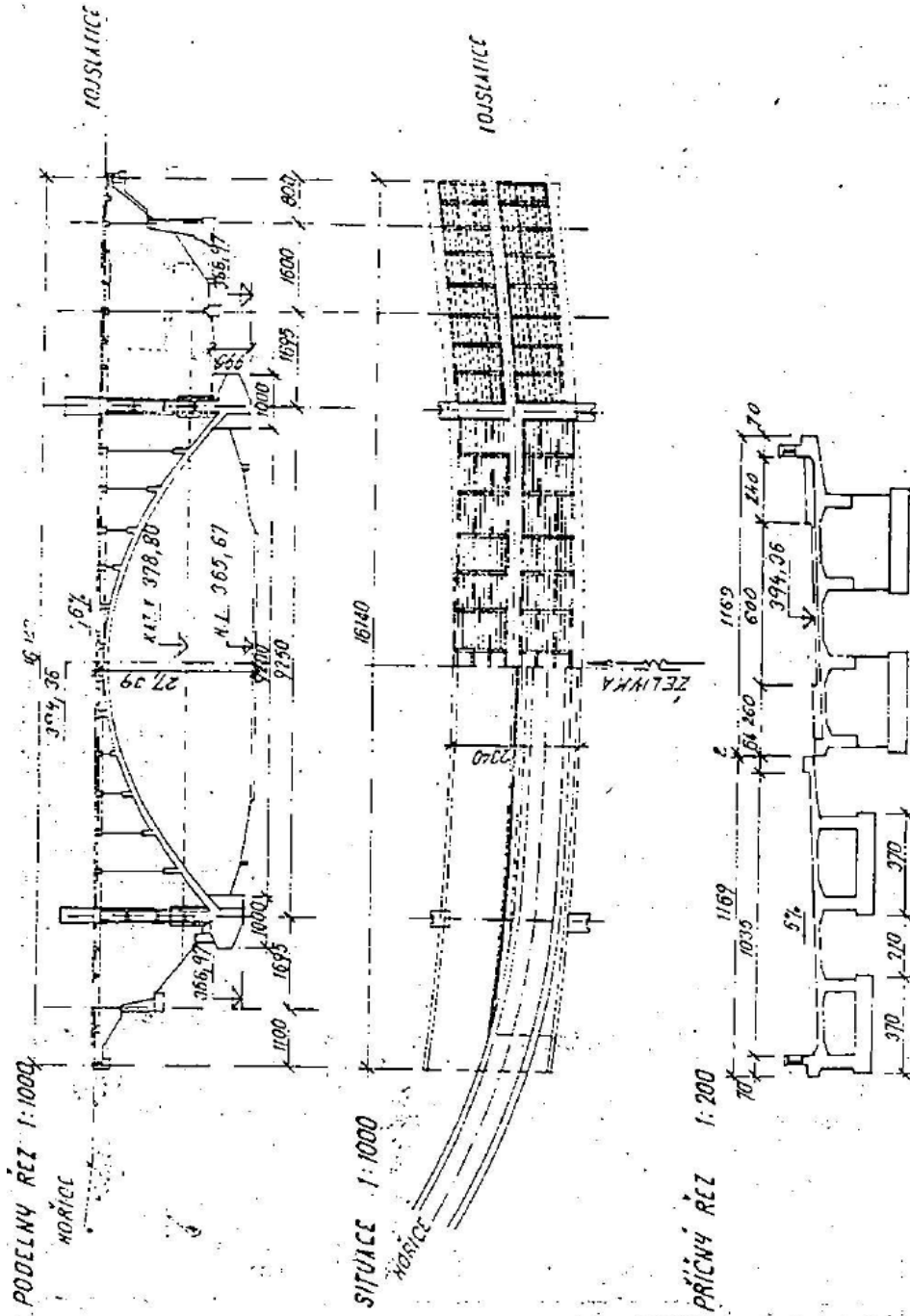
Obrázek 3 Historické foto. Foto Václav Lidl

5 GEOTECHNICKÉ PODMÍNKY

Podloží v oblasti mostu je pevné skalní tvořené rulami, vystupujícími na povrch u pražské opěry. Vzhledem k prohlídce mostu, nulovým poklesům a jeho dosavadnímu chování je předpoklad dostatečné únosnosti založení.

6 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ MOSTU

V příčném směru se objekt skládá ze dvou samostatných mostů. Oba mosty jsou shodné, a proto je v práci řešen pojižděný pravý most ve směru z Prahy na Brno. Číslování polí a opěr je zavedeno ve směru staničení dálnice D1. Most se skládá ze šesti polí. Vozovka na mostě je ve směrovém oblouku. Nosná konstrukce je však půdorysně přímá. Změny v příčném směru jsou řešeny proměnným vyložěním krajních konzol a lomy nad pilíři.



Obrázek 4 Schéma mostu z mostního listu

6.1 SPODNÍ STAVBA A ZALOŽENÍ

Spodní stavba se skládá ze zasypaných masivních tížných koncových opěr s křídly a stěnových pilířů s vrubovými klouby, působících jako kyvné stojky.

- Opěra 1 – Na pražské opěře pravého mostu jsou křídla vetknuta kolmo k ose mostu.
- Pilíř 2 – Kyvná stojka je opatřena vrubovými klouby při spodním i horním okraji. Skládá se ze dvou sloupků 0,500 x 0,500 m, propojených stěnou o tloušťce 0,250 m.
- Pilíř 3 – Skládá se ze dvojice stěn uzavřených na bocích, kde jsou spojeny s novou spodní stavbou horního mostu. V horní části jsou pilíře tvořeny kyvnými stojkami.
- Pilíř 4 – Skládá se ze dvojice stěn uzavřených na bocích, kde jsou spojeny s novou spodní stavbou horního mostu. V horní části jsou pilíře tvořeny kyvnými stojkami.
- Pilíř 5 – Nejvyšší kyvná stojka. Je opatřena vrubovými klouby při spodním i horním okraji. Skládá se ze dvou sloupků 0,500 x 0,500 m, propojených stěnou o tloušťce 0,250 m.
- Pilíř 6 – Kyvná stojka je opatřena vrubovými klouby při spodním i horním okraji. Skládá se ze dvou sloupků 0,500 x 0,500 m, propojených stěnou o tloušťce 0,250 m.
- Opěra 7 – Na brněnské opěře pravého mostu jsou vetknutá křídla šikmá.

Most je plošně založen na základových pasech, kromě stěnových pilířů a oblouků, které jsou založeny na masivních patkách. Základy mostu jsou nepřístupné. U mostních opěr a křídel je založení pod úroveň terénu. Základy pilířů P3, P4 a P5 jsou pod vodní hladinou. Základové patky stěnových pilířů P3 a P4 mají společné patky s horním dálničním mostem ev. č. D1 – 075.3. a jsou navzájem sepnuty.



Obrázek 5 Pohled na most zprava – založení pod hladinou vody – diagnostika

6.2 NOSNÁ KONSTRUKCE MOSTU

Nosná konstrukce je spojitá o šesti polích s celkovou délkou 161,40 m a s rozpětím polí 10,80 m + 16,95 m + 92,50 m + 16,95 m + 16,00 m + 7,80 m.

Deska mostovky je v půdorysném oblouku a změny v příčném směru jsou řešeny proměnným vyložení krajních konzol a lomy nad pilíři.

V poli 1, 2, 4, 5 a 6 je nosná konstrukce mostu navržena jako spojitá monolitická roštová mostovka, složená z desky tl. 200 mm, čtyř podélných trámů, mezilehlých a nadpodporových příčníků. Je půdorysně přímá. Se spodní stavbou je propojena vrubovými klouby. V krajních polích u opěr jsou dodatečně vložena krátká pole, uložená na dvouválečková ložiska na opěrách a ozub převislé části z přilehlého pole, kde je umožněno pootočení.

V poli 3 je mostovka podepřena stěnovými kyvnými stojkami na dvojici obloukových pasů. Paty oblouku jsou vetknuty do masivních základových patek a jeho vrchol tuze spojen s mostovkou. Železobetonové pasy oblouků jsou konstantního průřezu a půdorysně přímé. Kyvné stojky jsou na pasu oblouku rozmístěny symetricky a je jich mezi patou a vrcholem pět. První dvě stojky jsou tvořeny, stejně jako pilíře, bočními sloupky spojenými stěnou s vrubovými klouby v horní i spodní úrovni. Na zbylých stojkách směrem ke středu dvojice oblouků jsou již sloupky jen na vnější straně. První čtyři stojky od P3 obou obloukových pasů a poslední tři stojky u P4 jsou navzájem spojeny železobetonovými ztužidly nad úrovní spodního vrubového kloubu.

Podrobnější rozměry průřezů prvků konstrukce jsou uvedeny v kapitole 2.



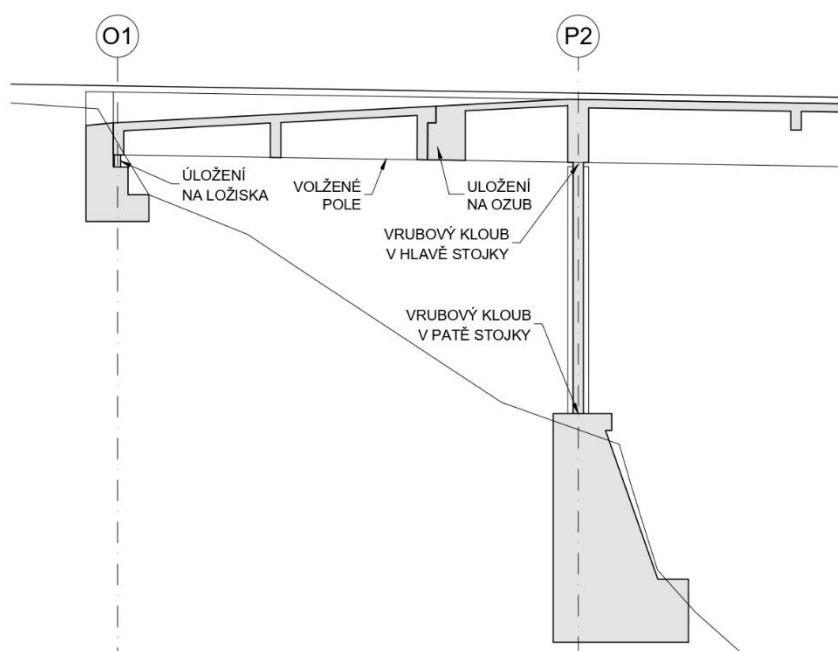
Obrázek 6 Podhled na roštovou mostovku a uložení na P4 a P5 – diagnostika



Obrázek 7 Pohled na kyvné stojky oblouku a obloukové pasy – diagnostika

6.3 ULOŽENÍ NOSNÉ KONSTRUKCE

Konstrukce je uložena na vrubových kloubech mezi stojkami a podporovými příčnicí. Na opěrách je uložena na ocelolitinových jednosměrných dvouválečkových ložiscích. V místě uložení vložených polí na ozub je umožněno kloubové pootočení.



Obrázek 8 Schéma umístění vrubových kloubů a uložení vloženého pole



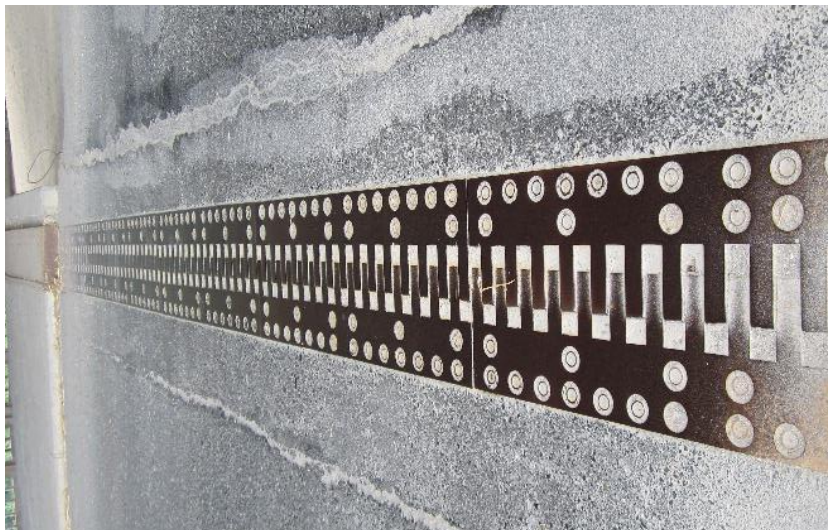
Obrázek 9 Vlevo vrubový kloub v hlavě kyvné stojky a vpravo uložení krajního pole na ozub – diagnostika



Obrázek 10 Jednosměrné ocelolitinové válečkové ložisko – diagnostika

6.4 MOSTNÍ ZÁVĚRY

Nad oběma opěrami pravého mostu je povrchový prstový dilatační mostní závěr.



Obrázek 11 Povrchový prstový mostní závěr – diagnostika

6.5 ODVODNĚNÍ

Odvodnění je řešeno jednostranným sklonem ke střednímu dělicímu pásu. Most je opatřen odvodňovači, ale bez funkčních svodů.

6.6 MOSTNÍ SVRŠEK

Na vyšetřovaném pravém mostě je živičný kryt vozovky i chodníků a kamenné obrubníky. Nad brněnskou opěrou je upraveno klopení. Izolace na pravém mostě je AIP.

6.7 MOSTNÍ VYBAVENÍ

Podél obou okrajů mostu jsou monolitické železobetonové římsy. Vnější římsa je opatřena truhlíkem pro vedení kabelových sítí a monolitickým zábradlím se svislou výplní. Vnitřní římsa ke střednímu dělicímu pásu je plná.



Obrázek 12 Pohled na ŽB zábradlí – diagnostika

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**Fakulta stavební
Katedra betonových a zděných konstrukcí**



**Hodnocení existujícího betonového obloukového mostu
Assessment of existing reinforced concrete arch bridge**

ČÁST 2

OBSAH

| | |
|---|----|
| 1 Úvod..... | 21 |
| 1.1 Použitá literatura | 22 |
| 1.2 Použité programy | 23 |
| 2 Konstrukce | 24 |
| 2.1 Schéma konstrukce..... | 24 |
| 2.2 Výsledky stavebnětechnického průzkumu | 25 |
| 2.2.1 Poruchy spodní stavby | 25 |
| 2.2.2 Poruchy nosné konstrukce | 26 |
| 2.2.3 Poruchy mostního svršku a vybavení | 28 |
| 2.2.4 Vyhodnocení | 28 |
| 2.3 Výpočetní modely | 29 |
| 3 Materiály | 31 |
| 3.1 Beton | 31 |
| 3.1.1 Beton C-/28 | 31 |
| 3.1.2 Beton ze zkoušek | 31 |
| 3.2 Výztuž | 32 |
| 3.2.1 Výztuž C 37 | 32 |
| 3.2.2 Výztuž C 52 | 32 |
| 4 Zatížení | 33 |
| 4.1 Stálé zatížení | 33 |
| 4.1.1 Vlastní tíha nosné konstrukce | 33 |
| 4.1.2 Ostatní stálé zatížení | 33 |
| 4.1.3 Poklesy podpor..... | 33 |
| 4.1.4 Smršťování..... | 33 |
| 4.2 Proměnná zatížení..... | 33 |
| 4.2.1 Zatížení dopravou dle ČSN 1230:1937 – Jednotný mostní řád | 33 |
| 4.2.2 Zatížení dopravou dle ČSN 73 6222– „Zatížitelnost mostů PK“ | 35 |
| 4.2.3 Klimatická zatížení | 40 |

| | |
|--|----|
| 4.3 Kombinace zatížení..... | 42 |
| 4.3.1 Mezní stavy únosnosti | 42 |
| 4.3.2 Mezní stavy použitelnosti | 42 |
| 4.3.3 Součinitelé zatížení | 42 |
| 5 Stanovení zatížitelnosti mostu | 43 |
| 5.1 Zatížitelnost trámů mostovky | 44 |
| 5.1.1 Stanovení spolupůsobící šířky..... | 44 |
| 5.1.2 Vnitřní síly | 44 |
| 5.1.3 Stanovení vyztužení a únosnosti průřezu..... | 54 |
| 5.1.4 Výpočet zatížitelnosti trámů..... | 65 |
| 5.2 Zatížitelnost desky mostovky | 67 |
| 5.2.1 Vnitřní síly | 67 |
| 5.2.2 Stanovení vyztužení a únosnosti průřezu..... | 69 |
| 5.2.3 Výpočet zatížitelnosti desky | 73 |
| 5.3 Zatížitelnost obloukových pasů..... | 75 |
| 5.3.1 Vnitřní síly | 75 |
| 5.3.2 Stanovení vyztužení a únosnosti průřezu..... | 84 |
| 5.3.3 Výpočet zatížitelnosti oblouku | 86 |
| 5.4 Zatížitelnost štíhlých stojek..... | 89 |
| 5.4.1 Model pro stabilitní výpočet a nelineární analýzu..... | 89 |
| 5.4.2 Zatížení | 89 |
| 5.4.3 Materiály a vyztužení průřezu | 90 |
| 5.4.4 Stabilitní výpočet..... | 91 |
| 5.4.5 Vnitřní síly z nelineární analýzy | 92 |
| 5.4.6 Posouzení únosnosti průřezu | 92 |
| 6 Závěr | 93 |

1 ÚVOD

Účelem tohoto statického výpočtu je stanovení zatížitelnosti mostu ev. č. D1-075.1, resp. všech jeho významných částí a prvků. Při výpočtu se vycházelo z příslušných norem, diagnostického průzkumu od Experis DSKM s.r.o., průzkumu od Horský s.r.o., doplňkového průzkumu od INSET s.r.o. a hlavní mostní prohlídky od Mott MacDonald.

Tato část práce obsahuje seznam použité literatury a programů, základní popis prvků konstrukce, shrnutí stavu konstrukce dle stavebnětechnického průzkumu a popis použitých výpočetních modelů. Dále se věnuje materiálovým charakteristikám dle původního návrhového předpisu a reálným vlastnostem materiálů z diagnostiky. Obsahuje popis a schémata použitých zatížení pro výpočet vnitřních sil a jejich kombinací. Na konci se zabývá vlastním určením zatížitelnosti konstrukce.

Zatížitelnost je stanovena podle ČSN 73 6222 a TP 200 podrobným a kombinovaným statickým výpočtem. S přihlédnutím ke stavu mostu se pak určí zatížitelnost normální, výhradní a výjimečná. Předpokládá se, že vliv únavy nebude pro stanovení zatížitelnosti rozhodující, a proto se neuvažuje.

Podrobný statický výpočet vychází ze současných platných předpisů, z reálného zatížení, vyztužení a materiálů konstrukce.

Při výpočtu kombinovaným statickým výpočtem se při zatížení a návrhu výztuže postupuje podle předpisů platných v době návrhu konstrukce. V tomto případě podle původního návrhového předpisu ČSN 1230–1937 (736202) „Jednotný mostní řad“. Následně se postupuje shodně jako v podrobném statickém výpočtu, za použití platných norem pro zatížení konstrukce dle ČSN EN 73 6222 a ČSN EN 1991 a stanovení únosnosti prvků nosné konstrukce dle ČSN EN 1990, ČSN EN 1992-1-1 a ČSN EN 1992-2 s použitím materiálových charakteristik z diagnostiky konstrukce.

| | Vn | Vr | Ve |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Trámy v přilehlých polích | 26 | 47 | 94 |
| Trámy nad oblouky | 41 | 110 | 159 |
| Deska | 42 | 195 | 342 |
| Oblouky | 42 | 111 | 160 |
| Stojky | 26 | 47 | 94 |
| Rozhodující zatížitelnost | 26 | 47 | 94 |

Tabulka 1 Shrnutí zatížitelnosti z kapitoly 5 [t]

Zatížitelnost na jednu nápravu $V_{aj} = 12$ t

1.1 POUŽITÁ LITERATURA

- 1) KUKAŇ, Vlastimil, Michal DRAHORÁD a Tomáš DVORSKÝ. *Betonové mosty: zatížitelnost: doplňkové skriptum*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03633-4.
- 2) ČSN EN 1990 ed. 2 (730002) Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- 3) ČSN EN 1991-1-1 (730035) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- 4) ČSN EN 1991-1-4 (730035) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
- 5) ČSN EN 1991-1-5 (730035) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-5: Obecná zatížení – Zatížení teplotou
- 6) ČSN EN 1991-2 (736203) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou
- 7) ČSN EN 1992-1-1 (731201) Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- 8) ČSN EN 1992-2 (736208) Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 2: Betonové mosty – Navrhování a konstrukční zásady
- 9) ČSN 73 0038 (730038) Hodnocení a ověřování existujících konstrukcí – doplňující ustanovení
- 10) ČSN 73 6200 (736200) Mosty – Terminologie a třídění
- 11) ČSN 1230–1937 (736202) Jednotný mostní řad. Zatížení a statický výpočet mostů
- 12) ČSN 73 6214 (736214) Navrhování betonových mostních konstrukcí
- 13) ČSN 73 6220 (736220) Evidence mostních objektů pozemních komunikací
- 14) ČSN 73 6222 (736222) Zatížitelnost mostů pozemních komunikací
- 15) TP 200 Stanovení zatížitelnosti mostů PK navržených podle norem a předpisů platných před účinností EN
- 16) Diagnostický průzkum mostu ev. č. D1-075.1 přes vodní nádrž Švihov (Želivka) - Horský s.r.o. 07/2013
- 17) Diagnostický průzkum mostu ev. č. D1-075.1 „Silniční most přes Želivku u obce Hroznětice“ - Experis DSKM, s.r.o. 08/2021
- 18) Diagnostický průzkum mostu ev. č. D1 - 075.3 (Dálniční most přes Želivku) - INSET s.r.o., Divize Brno 11/2015
- 19) Hlavní mostní prohlídka ev.č. D1-075.1 od Mott MacDonald 2022

1.2 POUŽITÉ PROGRAMY

SCIA Engineer 22.0 32b – SCIA CZ s.r.o. Prague – studentská licence

AutoCAD 2023 – Autodesk spol. s.r.o. – studentská licence

IDEA Statica 23.0.0.3259 – IDEA StatiCa s.r.o. – studentská licence

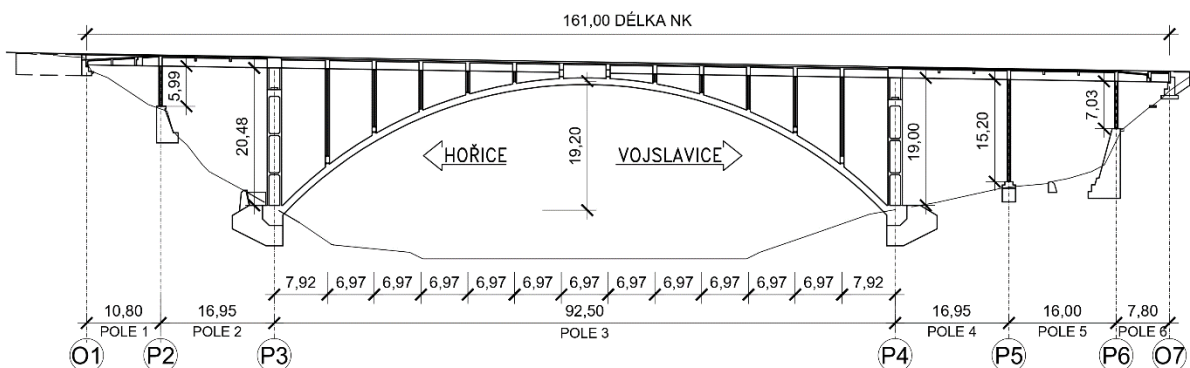
Microsoft 365 a Office 2021, Microsoft, s.r.o.

Microsoft s Word

Microsoft Excel

2 KONSTRUKCE

2.1 SCHÉMA KONSTRUKCE



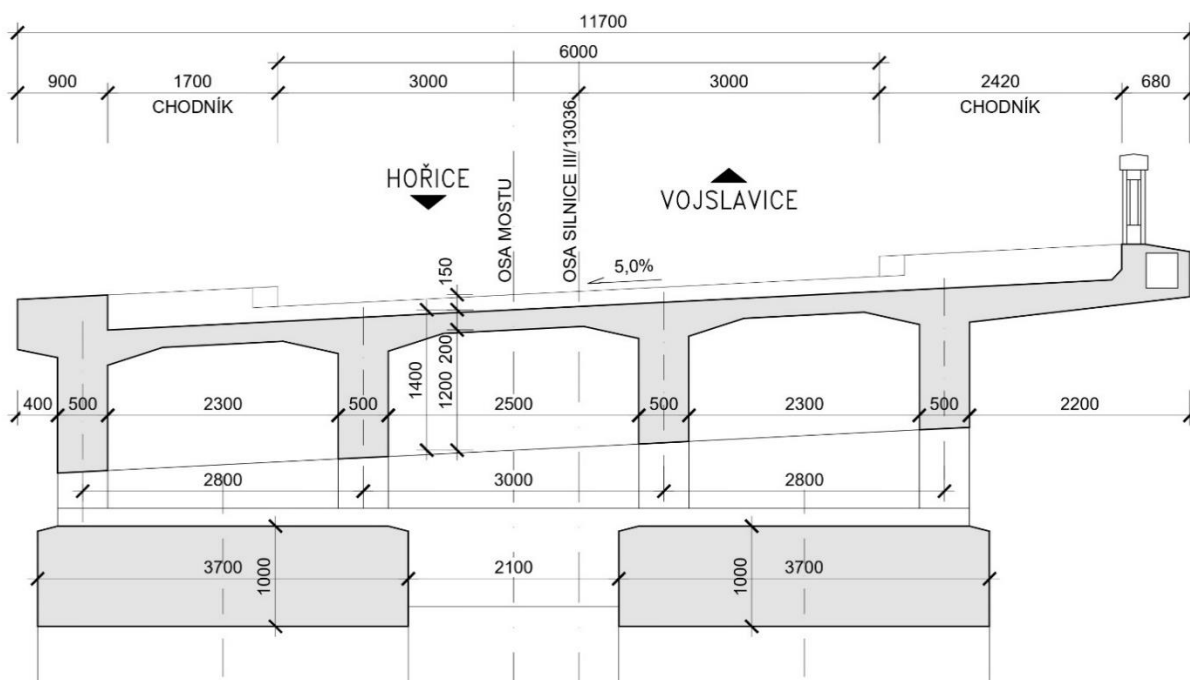
Obrázek 13 Schéma – podélný řez [m]

Nosná konstrukce je spojitá o šesti polích s celkovou délkou 161,40 m a s rozpětím polí 10,80 m + 16,95 m + 92,50 m + 16,95 m + 16,00 m + 7,80 m.

Kyvné stojky a pilíře mají délky P2 - 5,99 m, P3 - 20,48 m, P4 - 19,00 m, P5 - 15,20 m a P6 - 7,03 m.

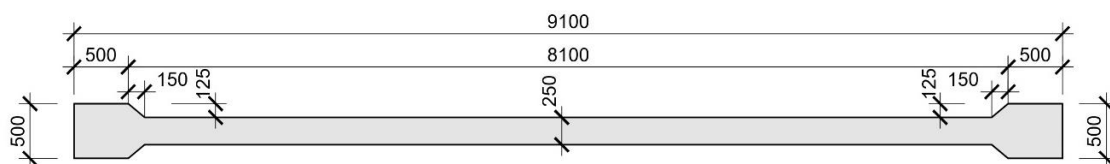
Železobetonový monolitický oblouk je složený ze dvou obloukových pasů s konstantním průřezem o šířce 3,700 m a výšce 1,000 m má vzezpečí 19,220 m a rozpětí 90,000 m.

Spodní stavba je založena na základových pasech, kromě pilířů P3, P4 a obloukových pasů, které jsou založeny na masivních patkách.



Obrázek 14 Schéma – příčný řez pravým mostem v poli 3 [mm]

Roštová monolitická železobetonová mostovka se skládá ze čtyř podélníků, příčníků, desky mostovky a konzol říms. Podélníky jsou široké 0,500 m, jejich výška pod deskou je 1,200 m v poli 3 a ve zbylých polích 1,300 m. Dalšími prvky jsou nadpodporové příčníky o šířce 0,500 m, výšce 1,200 m v poli 3 a ve zbylých polích 1,300 m a příčníky v krajních polích o šířce 0,250 a výšce 0,500 m. Deska je tloušťky 0,200 m s náběhy k podélníkům a příčníkům. Konzoly mají proměnné vyložení v závislosti na příčné poloze nivelety komunikace na mostě a jsou zpevněny příčnými žebry.



Obrázek 15 Schéma – řez kyvnou stojkou P5 [mm]

Vyšetřované štíhlé kyvné stojky jsou tvořené bočními sloupky 0,500 m x 0,500 m a stěnou tloušťky 0,250 m s náběhy ke sloupkům. V hlavě i patě jsou vrubové klouby.

2.2 VÝSLEDKY STAVEBNĚTECHNICKÉHO PRŮZKUMU

2.2.1 Poruchy spodní stavby

Základy

- základy pod vodní hladinou – potápěčský průzkum bez výraznějších poruch a stabilní
- nadměrné sednutí opěry O7 a odtržení její pravé části – trhliny přes celou výšku křídla

Opěry a křídla

- degradace betonu, trhliny
- odpadává krycí vrstva, koroze výztuže
- degradace úložného prahu
- degradace a trhliny v závěrné zídce
- odtržená křídla u O7

Pilíře

- odpadává krycí vrstva, koroze výztuže
- úbytek torkretu 30-50%



Obrázek 16 Pohled na opěru O6 – HPM



Obrázek 17 Pohled na kyvnou stojku P5 – diagnostika

2.2.2 Poruchy nosné konstrukce

Trámy a příčníky

- nedostatečné krytí výztuže z výstavby
- lokálně odtržená krycí vrstva
- korozní napadení obnažené výztuže
- pravidelně svislé trhliny ve čtvrtinách rozpětí mezi stojkami v poli 4,5,6
- v poli 2 štěrková hnízda a odhalení výztuže
- v místě uložení obou vložených polí je otevřená smyková trhlinka
- trhliny na bocích v místě podepření nad stojkami

Deska mostovky a konzoly říms

- odtržená krycí vrstva
- korozní napadení obnažené výztuže u konzol, úbytek cca 10%
- na spodním líci příčné trhliny s bílými inkrustacemi



Obrázek 18 Podhled trám a deska mostovky – diagnostika

Obloukové pasy

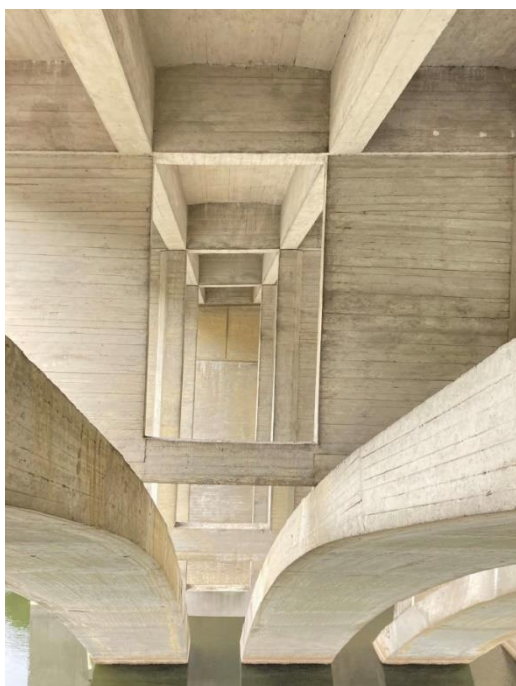
- horní povrch porostlý mechem
- odpadává krycí vrstva, koroze výztuže lokálně až 20%
- u vodní hladiny opatřeny torkretem – odpadává

Stěnové kyvné stojky

- obnažené třmínky, koroze výztuže



Obrázek 19 Pohled oblouky – diagnostika



Obrázek 20 Pohled na kyvné stěnové stojky – diagnostika

2.2.3 Poruchy mostního svršku a vybavení

Římsy

- degradace povrchu betonu, v poli 1 hloubková degradace
- část pravé římsy odpadá, výskyt jedné kaverny

ŽB zábradlí

- rozevřené spáry mezi poli
- lokální trhliny
- odpadává krycí vrstva, koroze výztuže
- lokálně hloubková degradace betonu
- některé sloupky přeražené, poslední pole úplně bez výplně

Kryt vozovky a chodníků

- příčné trhliny – největší výskyt u O7



Obrázek 21 Pohled na ŽB zábradlí – diagnostika

2.2.4 Vyhodnocení

Na konstrukci jsou vidět nedostatky způsobené prováděním ŽB konstrukcí v období výstavby. Jako nedostatečné krytí výztuže a tím způsobená koroze výztuže, neprobetonovaná místa, šterková hnízda, špatné provedení geometrie konstrukce apod.

Most je vzhledem ke svému stáří v příznivém stavu, ale přesto je nutná kompletní rekonstrukce. Vzhledem ke stavu konstrukce a korozi výztuže bude ve výpočtu zatížitelnosti snížena únosnost vybraných průřezů o 5 %. Jedná se tedy o snížení plochy ohybové výztuže u oblouků, trámů a desek v poli a výztuž smykovou u trámů v blízkosti podpěr.

Poloha a množství zjištěné výztuže je uvedeno u jednotlivých posuzovaných prvků v kapitole 5 a materiálové charakteristiky v kapitole 3.

2.3 VÝPOČETNÍ MODELY

Pro práci bylo vytvořeno několik výpočetních modelů v programu SCIA Engineer.

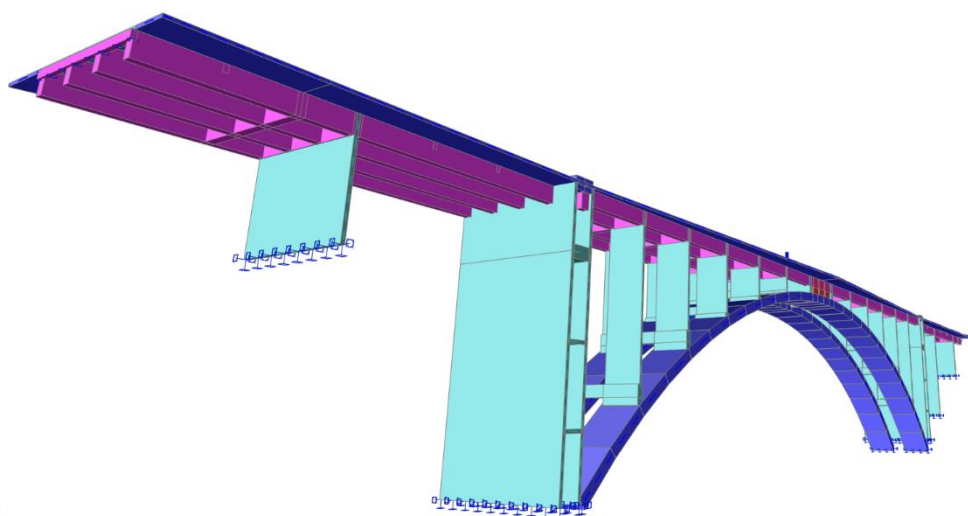
Jako hlavní model pro výpočet vnitřních sil v podélném směru a vystižení prostorového chování konstrukce byl použit 3D deskostěnový model. Roštová mostovka byla modelována jako „deska se žebry“. Z tohoto modelu byly získány vnitřní síly na podélnících a síly v hlavě největší stojky P5.

Dále byl vytvořen model pro vyhodnocení vnitřních sil na desce v příčném směru.

Jako poslední model byl sestaven prutový model stojky P5 pro stabilitní výpočet a geometricky i materiálově nelineární analýzu.

3D deskostěnový model

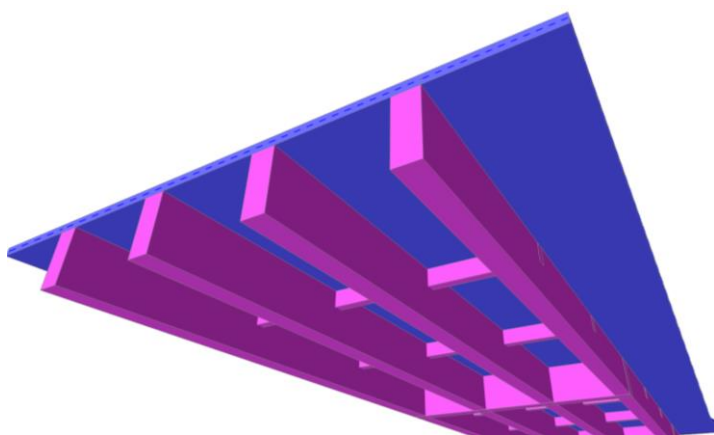
- rozměry odpovídají skutečnému stavu, jsou stanoveny na základě ML, dostupné dokumentace a prohlídek mostu
- základové konstrukce byly modelovány jako tuhé neposuvné podpory
- paty pilířů P3, P4 a oblouku jsou vetknuté do základu
- kyvné stojky a vrchní části pilířů byly zadány jako stěny s liniovým neposuvným kloubem na hranách v hlavě a patě, kde bylo umožněno volné pootočení ve směru osy mostu a tím pokryto působení vrubových kloubů
- uložení nosné konstrukce na opěrách bylo modelováno jako kloubové posuvné ve směru osy mostu
- oblouk je ve svém vrcholu tuze spojen s mostovkou
- mostovka s podélníky a příčnými je modelována jako deska se žebry



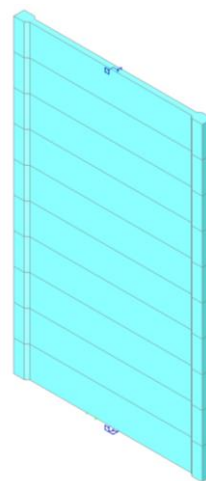
Obrázek 22 3D deskostěnový model – pohled

Prutový model stojky P5 pro stabilitní výpočet a geometricky i materiálově nelineární analýzu

- stojka je modelována jako prostorová prutová konstrukce výšky 15 m s průřezem viz obr.15
- základ je modelován jako tuhá neposuvná podpora
- podpora představující napojení na nosnou konstrukci je tuhá svisle posuvná
- připojení prutu na obou koncích je kloubové umožňující pootočení pouze ve směru menší ohybové tuhosti (ve směru osy mostu)
- pro nelineární analýzu je nadefinováno vyztužení průřezu a jsou použity příslušné pracovní diagramy betonu a oceli viz. kapitola 5.4.



Obrázek 23 Deska se žebry – pohled



Obrázek 24 Prutový model stojky – pohled

3 MATERIÁLY

Pro stavbu nosné konstrukce byl použit beton značky B330 tedy C-/28 a hladká betonářská výztuž C37 a C52. Tyto materiály budou dále použity při stanovení vyztužení v průřezech, kde není vyztužení jasné z průzkumu.

Pro výpočet únosnosti kritických průřezů budou použity reálné vlastnosti zjištěné destruktivně z odebraných vývrtů nebo nedestruktivně na konstrukci.

3.1 BETON

3.1.1 Beton C-/28

Nejmenší krychelná pevnost $f_{ck,c} = 33,0 \text{ MPa}$

Dovolené namáhání v tlaku za ohybu $k_{bd} = 13,2 \text{ MPa}$

Objemová tíha $\gamma = 25,00 \text{ kN/m}^3$

Modul pružnosti $E_b = 30,5 \text{ GPa}$

3.1.2 Beton ze zkoušek

3.1.2.1 Oblouk

Charakteristická pevnost v tlaku $f_{ck} = 42,6 \text{ MPa}$

Objemová tíha $\gamma = 23,50 \text{ kN/m}^3$

Modul pružnosti $E = 30,7 \text{ GPa}$

3.1.2.2 Stojky oblouku

Charakteristická pevnost v tlaku $f_{ck} = 30,0 \text{ MPa}$

Objemová tíha $\gamma = 23,55 \text{ kN/m}^3$

Modul pružnosti $E = 34,7 \text{ GPa}$

3.1.2.3 Stěnové pilíře

Charakteristická pevnost v tlaku $f_{ck} = 25,0 \text{ MPa}$

Objemová tíha $\gamma = 23,35 \text{ kN/m}^3$

Modul pružnosti $E = 32,1 \text{ GPa}$

3.1.2.4 Opěry

Charakteristická pevnost v tlaku $f_{ck} = 31,0 \text{ MPa}$

3.1.2.5 Úložné prahy

Charakteristická pevnost v tlaku $f_{ck} = 32,0 \text{ MPa}$

3.1.2.6 Trámy

Charakteristická pevnost v tlaku

$$f_{ck} = 32,0 \text{ MPa}$$

Objemová tíha

$$\gamma = 23,25 \text{ kN/m}^3$$

Modul pružnosti

$$E = 31,9 \text{ GPa}$$

3.1.2.7 Mostovka

Charakteristická pevnost v tlaku

$$f_{ck} = 44,2 \text{ MPa}$$

Objemová tíha

$$\gamma = 23,30 \text{ kN/m}^3$$

Modul pružnosti

$$E = 31,1 \text{ GPa}$$

3.2 VÝZTUŽ

3.2.1 Výztuž C 37

Objemová tíha

$$\gamma = 78,5 \text{ kN/m}^3$$

Charakteristická mez pevnosti

$$f_u = 370 \text{ MPa}$$

Charakteristická mez kluzu

$$f_{yd} = 180 \cdot 1,15 = 207 \text{ MPa}$$

Návrhová hodnota pevnosti oceli v tahu

$$f_{yd} = 180 \text{ MPa}$$

Dovolené namáhání

$$k_a = 140 \text{ MPa}$$

Modul pružnosti

$$E_a = 200\,000 \text{ MPa}$$

3.2.2 Výztuž C 52

Objemová tíha

$$\gamma = 78,5 \text{ kN/m}^3$$

Charakteristická mez pevnosti

$$f_u = 520 \text{ MPa}$$

Charakteristická mez kluzu

$$f_{yd} = 340 \text{ MPa}$$

Návrhová hodnota pevnosti oceli v tahu

$$f_{yd} = 250 \text{ MPa}$$

Dovolené namáhání

$$k_a = 150 \text{ MPa}$$

Modul pružnosti

$$E_a = 200\,000 \text{ MPa}$$

4 ZATÍŽENÍ

4.1 STÁLÉ ZATÍŽENÍ

4.1.1 Vlastní tíha nosné konstrukce

Zatížení od vlastní tíhy konstrukce je generováno automaticky ve výpočetním programu. Charakteristická hodnota objemové tíhy betonu je uvažována hodnotou $\gamma = 25,0 \text{ kN/m}^3$.

4.1.2 Ostatní stálé zatížení

| | | | | | | | |
|----------------------|------|--------------|------|-----------------|---|------|-----------------|
| Živičný kryt vozovky | 0,15 | m | 24,0 | kN/m^3 | = | 3,6 | kN/m^2 |
| Kryt říms | 0,15 | m | 24,0 | kN/m^3 | = | 3,6 | kN/m^2 |
| Kamenný obrubník | 1,00 | m | 1,4 | kN/m | = | 1,4 | kN/m |
| ŽB zábradlí | 0,16 | m^2 | 25,0 | kN/m^3 | = | 3,9 | kN/m |
| Beton říms | 0,30 | m | 25,0 | kN/m^3 | = | 15,0 | kN/m^2 |

4.1.3 Poklesy podpor

Neuvažovány – proběhlo v minulosti.

4.1.4 Smršťování

Neuvažováno – proběhlo v minulosti.

4.2 PROMĚNNÁ ZATÍŽENÍ

4.2.1 Zatížení dopravou dle ČSN 1230:1937 – Jednotný mostní řád

Alternativy zatížení:

- Strojní válec (240 kN) na vozovce a rovnoměrné zatížení chodníků (5 kN/m^2).
- Jeden nákladní automobil (120 kN) v každém jízdním pruhu šířky 2,5 m a rovnoměrné zatížení (5 kN/m^2) zbývající plochy vozovky a chodníků.
- Rovnoměrné zatížení (5 kN/m^2) vozovky a chodníků.

| Rovnoměrně rozdělené zatížení v kg/m^2 | Pro třídu mostu | | | |
|---|-----------------|-------------|-------------|-------------|
| | I. | II. | III. | |
| Pro rozpětí ℓ hlavních nosníků | 0 až 30m | 500 | 450 | 400 |
| | 30 až 130m | 530- ℓ | 480- ℓ | 430- ℓ |
| | nad 130 m | 400 | 350 | 300 |

Tabulka 2 Rovnoměrné zatížení vozovky a chodníků ČSN 1230:1937

| Váhy připadající na kola vozidel v tunách | | Pro třídu mostu | | |
|---|------------------------------|-----------------|------|------|
| | | I. | II. | III. |
| | celá váha strojního válce | 24 | 15 | 9 |
| | váha předního kola | 9 | 5 | 3 |
| | váha zadního kola | 7,5 | 5 | 3 |
| | celá váha jednoho automobilu | 12 | 7,5 | 4,5 |
| | váha předního kola | 2 | 1,25 | 0,75 |
| | váha zadního kola | 4 | 2,5 | 1,5 |

Tabulka 3 Alternativy zatížení, váhy vozidel a váhy na kola ČSN 1230:1937

4.2.1.1 Dynamický součinitel dle ČSN 1230:1937

Dynamické účinky na konstrukci byly zohledněny pomocí dynamického součinitele, který bude následně použit při výpočtu kombinací vnitřních sil. Dynamický součinitel je v ČSN 1230-1937 dán vztahem:

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2L} + \frac{0,6}{1 + \frac{4G}{P}}$$

Součinitele jsou určeny zvlášť pro trámy mostovky a pro oblouky.

$$L_{\text{TRÁM}} = 16,95 \text{ m} \quad G_T = 3\,776 \text{ kN} \quad P_T = 946 \text{ kN}$$

$$L_{\text{OBLOUK}} = 50,25 \text{ m} \quad G_O = 40\,903 \text{ kN} \quad P_O = 2\,628 \text{ kN}$$

$$\delta_T = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2L} + \frac{0,6}{1 + \frac{4G}{P}} = 1,13$$

$$\delta_O = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2L} + \frac{0,6}{1 + \frac{4G}{P}} = 1,05$$

$$\delta < 1,40$$

Kde L je rozpětí vyšetřované části konstrukce, uvažováno mezi inflexními body od vlastní tíhy

G je veškeré stálé zatížení pro L

P je veškeré nahodilé zatížení pro L

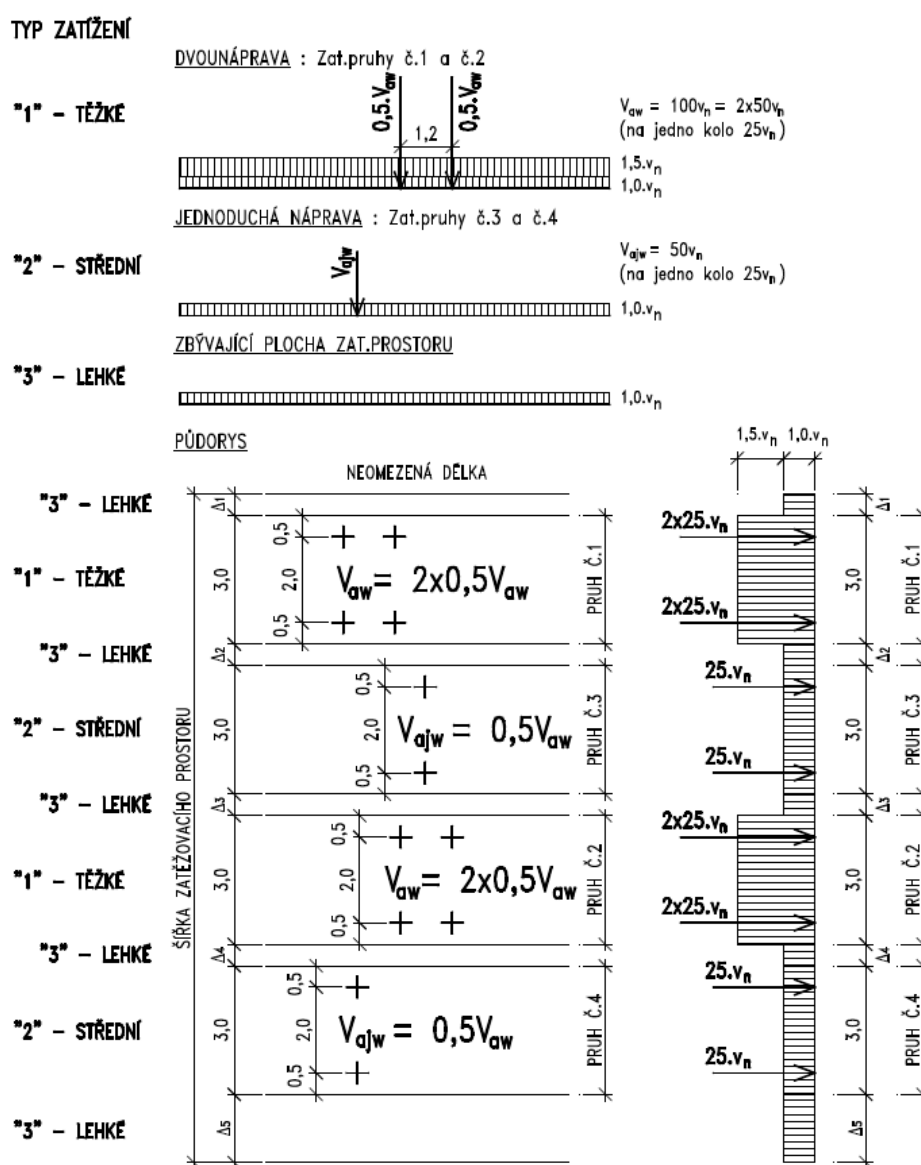
4.2.2 Zatížení dopravou dle ČSN 73 6222– „Zatížitelnost mostů PK“

4.2.2.1 Normální zatížitelnost

Pro určení normální zatížitelnosti je uvažováno zatížení třinápravovým vozidlem. Zatížení je na mostě uvažováno ve dvou pruzích o šířce 3,0 m a rovnoměrné na zbývající ploše. Zatěžovací plocha vozovky je uvažována mezi kamennými obrubami, jejíž šířka dělená do zatěžovacích pruhů je 6,0 m.

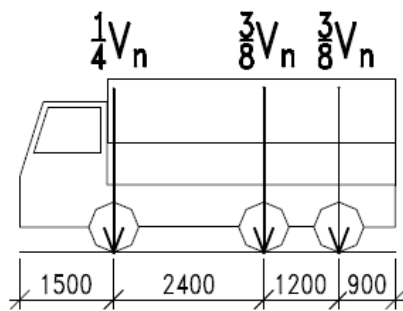
V pruzích č. 1 a 2 je uvažováno zatížení dvounápravovou $V_{aw} = 100.v_n = 2.50.v_n$ tj. zatížení na jedno kolo $25.v_n$. Rovnoměrné zatížení v pruzích č. 1 a 2 je uvažováno $2,5.v_n$, na zbývající ploše $1,0.v_n$.

Zatížení je z kontaktní plochy kol roznášeno pod úhlem 45° vrstvami vozovky a ŽB deskou do její osy. Kontaktní plocha kol $0,4 \times 0,4$ m je tedy na všechny strany zvětšena o „e“.

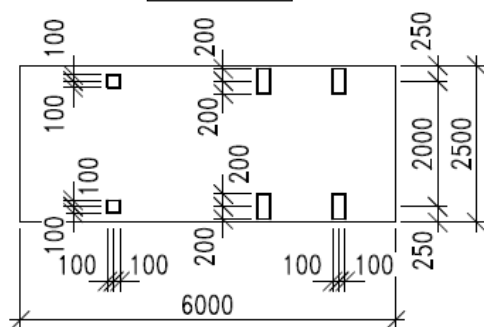


Obrázek 25 Schéma zatížení pro stanovení normální zatížitelnosti ČSN 73 6222

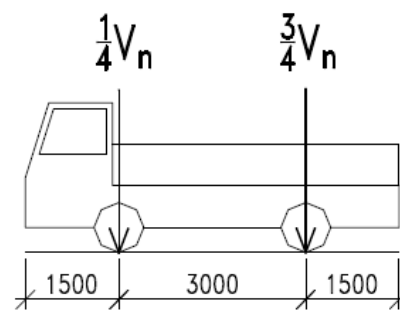
a) třínápravové vozidlo $V_n = \frac{1}{10} V_{nw} \geq 16 t$



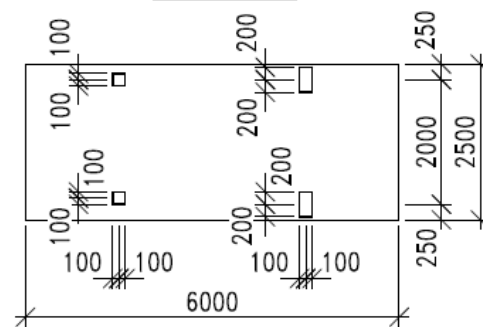
$$\frac{3}{8} V_n = \frac{1}{2} V_d$$



b) dvounápravové vozidlo $V_n = \frac{1}{10} V_{nw} < 16 t$



$$\frac{3}{4} V_n = V_d$$



Obrázek 26 Schéma vozidel pro stanovení normální zatížitelnosti V_n ČSN 73 6222

| | |
|----------|--------|
| Hmotnost | 10 t |
| Tíha | 100 kN |
| Náprava | 50 kN |
| Kolo | 25 kN |

Tabulka 4 Parametry třínápravového vozidla

Kolové zatížení přepočtené na působící plochu

$$e = 2 \cdot (0,10 + 0,15) = 0,50 \text{ m}$$

rozšíření plochy do roviny desky

$$A = 0,90 \cdot 0,90 = 0,81 \text{ m}^2$$

roznášecí plocha kola

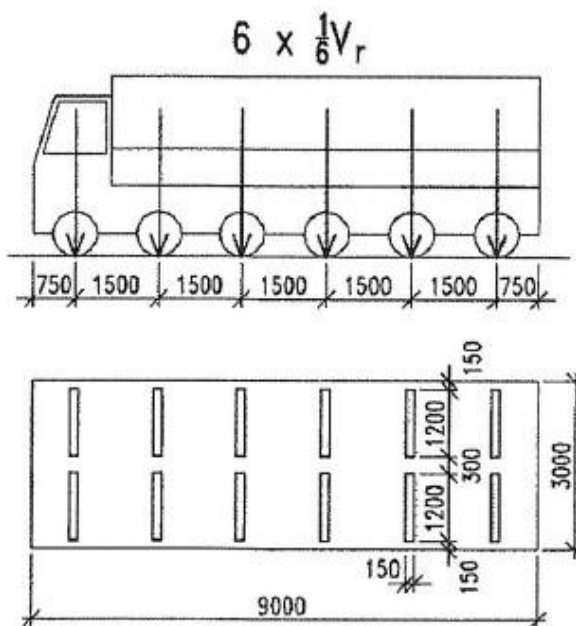
$$q_0 = 25 / 0,81 = 30,86 \text{ kN/m}^2$$

rozesené kolové zatížení

4.2.2.2 Výhradní zatížitelnost

Pro stanovení výhradní zatížitelnosti je uvažováno jediné šestnápravové vozidlo. Na mostě působí pouze jedno vozidlo bez dalšího rovnoměrného zatížení kromě zatížení chodníků.

Zatížení je z kontaktní plochy kol roznášeno pod úhlem 45° vrstvami vozovky a ŽB deskou do její osy. Kontaktní plocha kol $0,15 \times 1,20 \text{ m}$ je tedy na všechny strany zvětšena o „e“.



Obrázek 27 Schéma šestinápravového vozidla pro stanovení výhradní zatížitelnosti V_r

ČSN 73 6222

| | |
|----------|---------|
| Hmotnost | 1 t |
| Tíha | 1 kN |
| Náprava | 1/6 kN |
| Kolo | 1/12 kN |

Tabulka 5 Parametry šestinápravového vozidla

Pro výpočet se uvažuje jednotkové kolové zatížení. Kolové zatížení přepočtené na působící plochu:

$$e = 2 \cdot (0,10 + 0,15) = 0,50 \text{ m}$$

rozšíření plochy do roviny desky

$$A = 0,65 \cdot 1,70 = 1,105 \text{ m}^2$$

roznášecí plocha kola

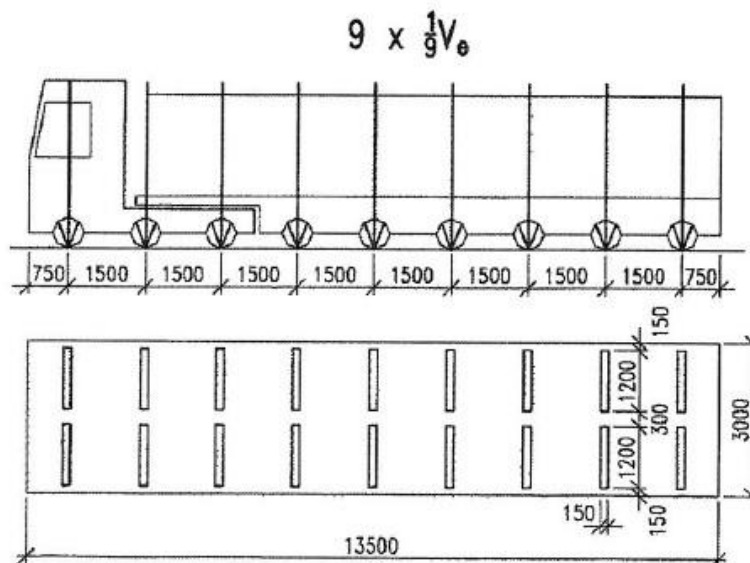
$$q_0 = 1/12/1,105 = 0,075 \text{ kN/m}^2$$

roznesené kolové zatížení

4.2.2.3 Výjimečná zatížitelnost

Pro stanovení výjimečné zatížitelnosti je uvažováno devítinápravové vozidlo. Na mostě působí pouze jedno vozidlo bez dalšího rovnoměrného zatížení.

Zatížení je z kontaktní plochy kol roznášeno pod úhlem 45° vrstvami vozovky a ŽB deskou do její osy. Kontaktní plocha kol $0,15 \times 1,20 \text{ m}$ je tedy na všechny strany zvětšena o „e“.



Obrázek 28 Schéma zvláštní soupravy pro stanovení výjimečné zatížitelnosti V_e ČSN 73 6222

| | |
|----------|---------|
| Hmotnost | 1 t |
| Tíha | 1 kN |
| Náprava | 1/9 kN |
| Kolo | 1/18 kN |

Tabulka 6 Parametry devítinápravového vozidla

Pro výpočet se uvažuje jednotkové kolové zatížení. Kolové zatížení přepočtené na působící plochu:

$$e = 2 \cdot (0,10 + 0,15) = 0,50 \text{ m} \quad \text{rozšíření plochy do roviny desky}$$

$$A = 0,65 \cdot 1,70 = 1,105 \text{ m}^2 \quad \text{roznášecí plocha kola}$$

$$q_Q = 1/18 / 1,105 = 0,050 \text{ kN/m}^2 \quad \text{roznesené kolové zatížení}$$

4.2.2.4 Vodorovné podélné účinky zatížení při stanovení zatížitelnosti

Pro normální zatížitelnost se uvažuje:

$$0,45 \cdot V_{aw} + 0,04 \cdot v_{n1} \cdot w_1 \cdot L = 0,45 \cdot 100 + 0,04 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 160,99 = 64,320 \text{ kN}$$

$$64,32 / 11,7 = 5,500 \text{ kN/m} \quad \text{přepočet na šířku desky}$$

Kde je v_{n1} rovnoměrné zatížení v pružích č. 1 a 2

$$V_{aw} = 2 \cdot 50 \text{ kN} = 100 \text{ kN} \text{ síla na zadní nápravy}$$

w_1 šířka zatěžovacího pruhu

L délka zatížené části nosné konstrukce

Pro výjimečnou zatížitelnost 15%

$$0,15 \cdot V_r = 0,15 \cdot 1 = 0,15 \text{ kN}$$

$$0,15 / 11,7 = 0,013 \text{ kN/m} \quad \text{přepočet na šířku desky}$$

4.2.2.5 Vodorovné příčné síly

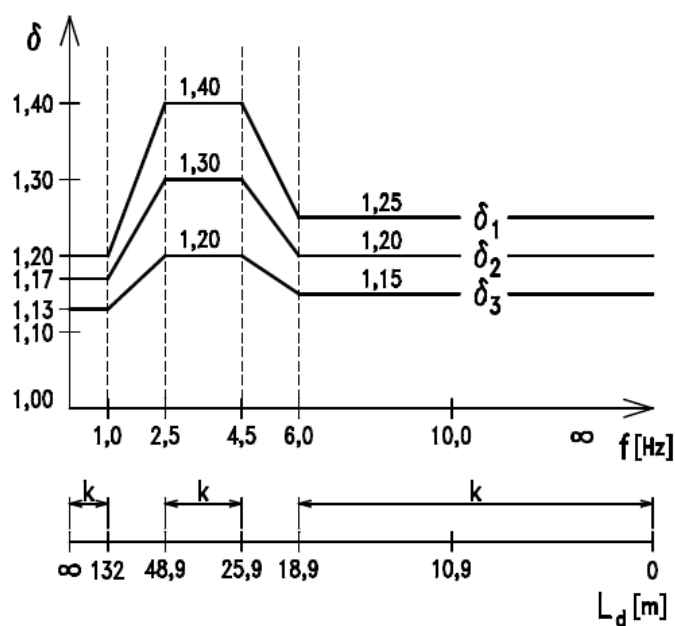
Odstředivé síly působí jako příčné síly v úrovni vozovky. Vzhledem k velkému poloměru směrového oblouku na mostě a nízké rychlosti projíždějících vozidel lze účinky zanedbat.

4.2.2.6 Dynamický součinitel dle ČSN 73 6222

Dynamický součinitel je zjednodušeně stanoven pomocí náhradní délky rozpětí mostu L_D pro jednotlivé zatížitelnosti dle čl. 8, zvláště pro oblouk, desku, trám mostovky a stojky.

Výraz pro určení vlastní frekvence vyšetřovaného prvku konstrukce:

$$f = 90,6 \cdot L_d^{-0,923}$$



Obrázek 29 Dynamické součinitele v závislosti na vlastní frekvenci f [Hz] ČSN 73 6222

| Prvek | f [Hz] | δ_1 | δ_2 | δ_3 |
|--------|----------|------------|------------|------------|
| Trám | 6,6 | 1,25 | 1,2 | 1,15 |
| Oblouk | 2,4 | 1,4 | 1,3 | 1,2 |
| Stojka | 7,4 | 1,25 | 1,2 | 1,15 |

| Zatížitelnost | | Normální | Výhradní | Výjimečná |
|---------------|----------|------------|------------|-----------|
| Prvek | f [Hz] | δ_2 | δ_1 | 1,05 |
| Trám | 6,6 | 1,2 | 1,25 | 1,05 |
| Oblouk | 2,4 | 1,3 | 1,4 | 1,05 |
| Stojka | 7,4 | 1,2 | 1,25 | 1,05 |
| Deska | - | 1,4 | 1,25 | 1,05 |

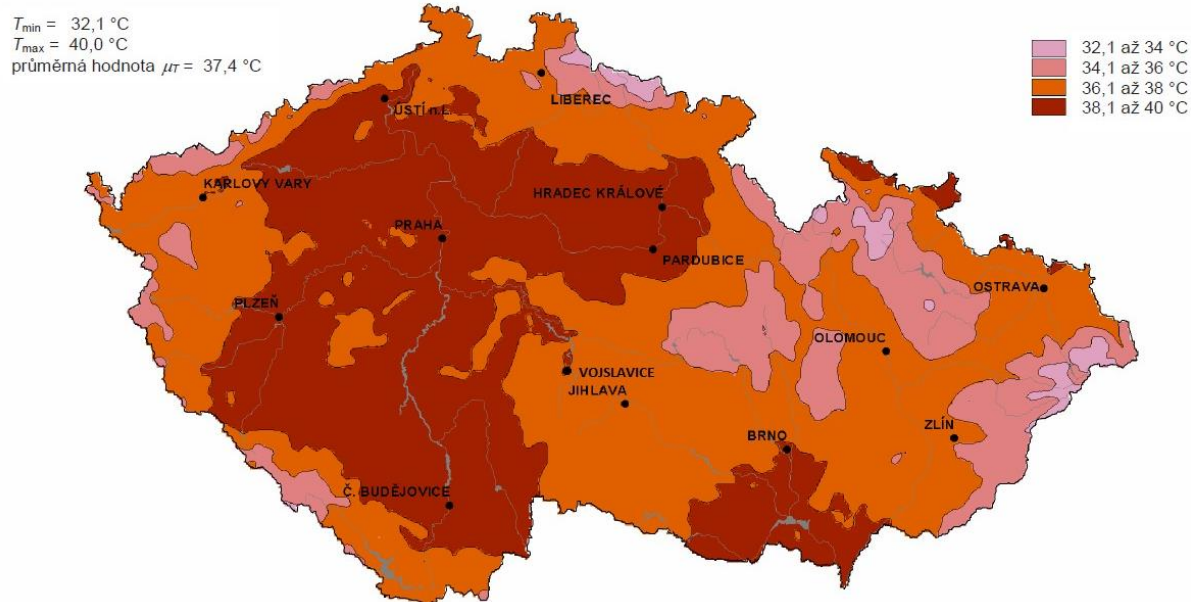
Tabulka 7 Přiřazení dynamických součinitelů

Dynamický součinitel pro rovnoměrné proměnné zatížení chodníků je $\delta = 1,0$

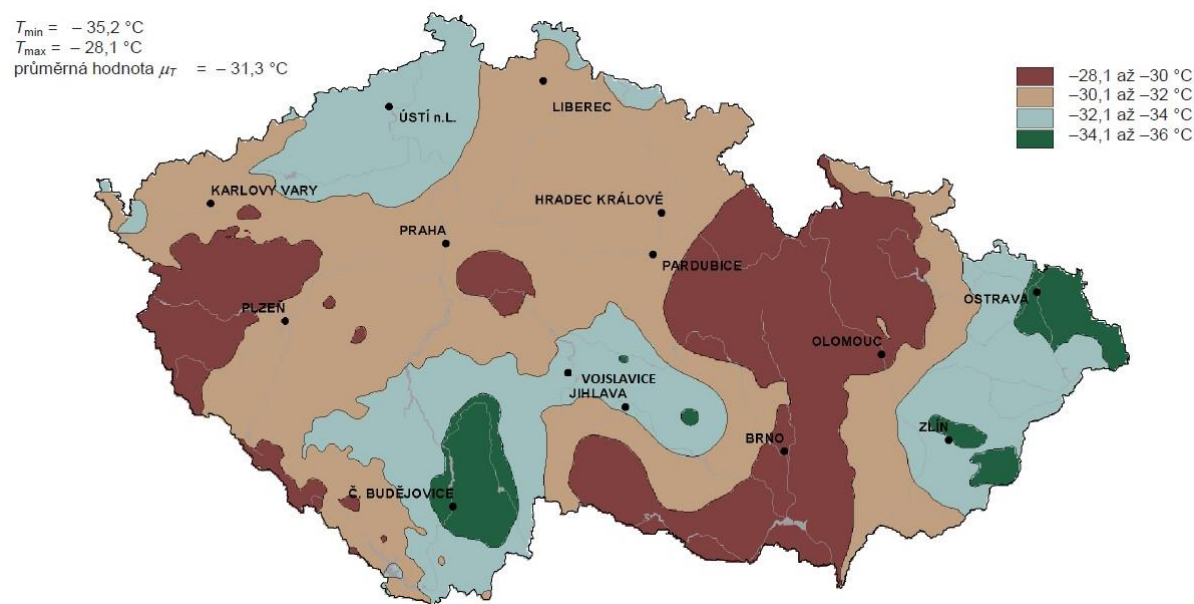
4.2.3 Klimatická zatížení

4.2.3.1 Zatížení teplotou – rovnoměrná složka

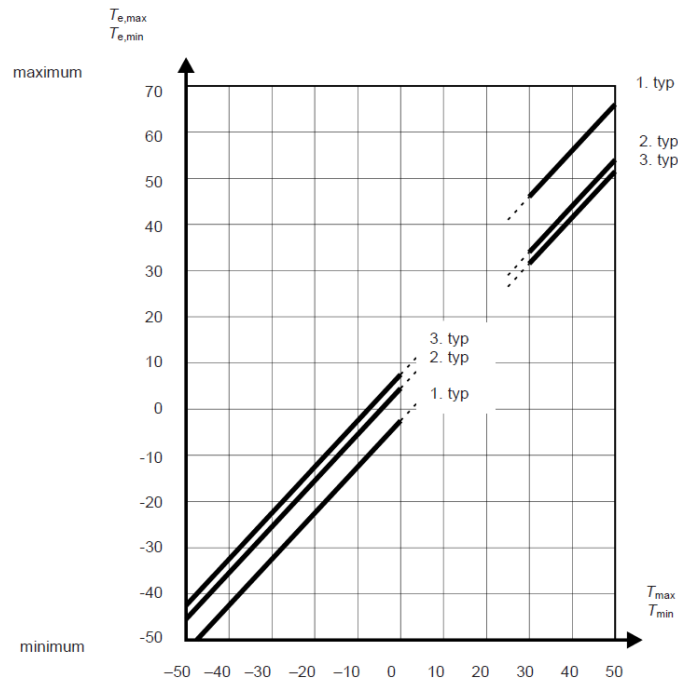
Konstrukce byla vystavena rovnoměrné složce teploty. Lokalita Vojslavice



Obrázek 30 Mapa maximálních teplot vzduchu ve stínu ČSN EN 1991-1-5



Obrázek 31 Mapa minimálních teplot vzduchu ve stínu ČSN EN 1991-1-5



Obrázek 32 Vztah mezi min./max. teplotou vzduchu ve stínu (T_{min}/T_{max}) a min./max. rovnoměrnou složkou teploty mostu ($T_{e,min}/T_{e,max}$) ČSN EN 1991-1-5

Pro stanovení účinku teplot je nosná konstrukce zařazena do: Typ konstrukce 3 – Betonové konstrukce

$$T_{max} = 39 \text{ °C} \quad \Rightarrow \quad T_{e,max} = 55 \text{ °C}$$

$$T_{min} = -33 \text{ °C} \quad \Rightarrow \quad T_{e,min} = -24 \text{ °C}$$

$$T_0 = 10 \text{ °C}$$

$$\Delta T_{N,exp} = T_{e,max} - T_0 = 45 \text{ °C}$$

$$\Delta T_{N,con} = T_0 - T_{e,max} = -34 \text{ °C}$$

$$\Delta T_N = T_{e,max} - T_{e,min} = 79 \text{ °C}$$

uvažovaná počáteční teplota

zatížení rovnoměrným oteplením

zatížení rovnoměrným ochlazením

rozsah teplot na mostě

4.2.3.2 Zatížení větrem

Současné působení teploty a větru se podle ČSN EN 1990 nemusí uvažovat. Teplota je pro výpočet zatížitelnosti rozhodující, a proto lze zatížení větrem zanedbat. Je uvažováno pouze při výpočtu zatížitelnosti štíhlé stojky.

Zatížení větrem bylo spočteno obecnou metodou na 1 m délky konstrukce podle [4].

Kategorie terénu II.

Základní rychlost větru

$$v_{b,0} = 25,0 \text{ m/s}$$

Na stojku ve směru kolmo na osu mostu

$$f_{wII} = 0,2 \text{ kN/m}$$

Na stojku ve směru rovnoběžně s osou (25 % z f_{wII})

$$f_{wI} = 2,8 \text{ kN/m}$$

4.2.3.3 Zatížení sněhem

Vzhledem k poloze mostu a minimálnímu vliv, není uvažováno.

4.3 KOMBINACE ZATÍŽENÍ

4.3.1 Mezní stavy únosnosti

Pro sestavení kombinací zatížení byly použity rovnice 6.10, 6.10a a 6.10b dle ČSN 1990.

$$\Sigma \gamma_{G,j} \cdot G_{Gk,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \Sigma \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{Qk,i} \quad (6.10)$$

$$\Sigma \gamma_{G,j} \cdot G_{Gk,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot Q_{k,1} + \Sigma \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{Qk,i} \quad (6.10a)$$

$$\Sigma \xi_j \cdot \gamma_{G,j} \cdot G_{Gk,j} + \gamma_P \cdot P + \Sigma \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{Qk,i} \quad (6.10b)$$

Jako hlavní proměnné zatížení se uvažovalo zatížení dopravou a teplotou.

4.3.2 Mezní stavy použitelnosti

$$\Sigma G_{Gk,j} + P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \Sigma \psi_{2,i} \cdot Q_{Qk,i} \quad \text{Charakteristická}$$

$$\Sigma G_{Gk,j} + P + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \Sigma \psi_{2,i} \cdot Q_{Qk,i} \quad \text{Častá}$$

$$\Sigma G_{Gk,j} + P + \gamma_{Q,1} \cdot \Sigma \psi_{2,i} \cdot Q_{Qk,i} \quad \text{Kvazistálá}$$

Pro účely práce bude použita pouze kombinace charakteristická při posouzení průřezu metodou dovolených namáhání.

Dále je uveden rozpis součinitelů uvažovaných při sestavování kombinací.

4.3.3 Součinitelé zatížení

4.3.3.1 Dílčí součinitelé

Stálá zatížení $\gamma_G = 1,35$

Zatížení silniční dopravou $\gamma_Q = 1,35$

Ostatní proměnná zatížení $\gamma_Q = 1,35$

4.3.3.2 Redukční součinitelé

Pro stálé zatížení $\xi = 0,85$

4.3.3.3 Součinitele kombinace pro proměnné zatížení

Doprava $\psi_0 = 0,75; \psi_1 = 0,75; \psi_2 = 0$

Zatížení teplotou $\psi_0 = 0,60; \psi_1 = 0,60; \psi_2 = 0,5$

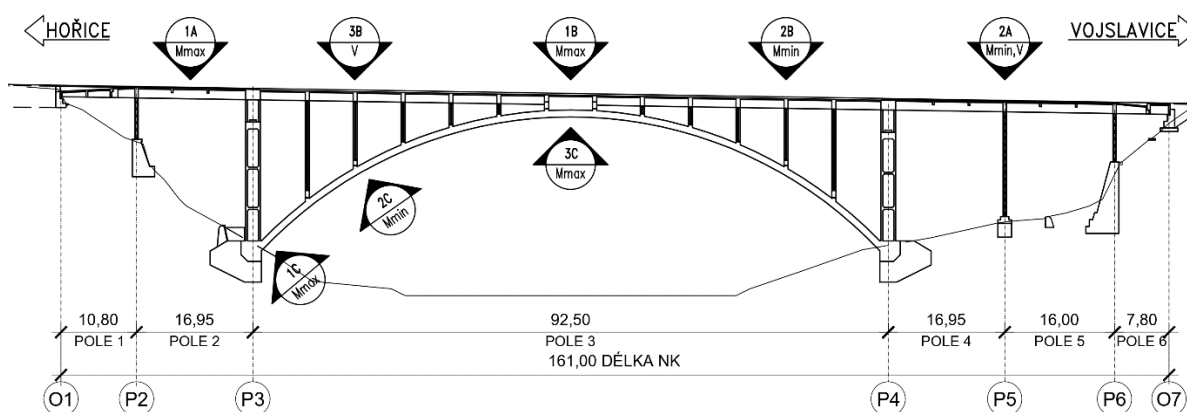
5 STANOVENÍ ZATÍŽITELNOSTI MOSTU

Pro stanovení zatížitelnosti byl zvolen kombinovaný statický výpočet dle ČSN 73 6222.

Zatížitelnost je vypočtena ve vybraných rozhodujících řezech pro extrémní ohybového a smykového namáhání viz. schéma. Nejprve je v daných průřezech stanovena výztuž dle diagnostiky nebo dopočítána podle původní návrhové normy ČSN 1230:1937 – Jednotný mostní řád. Posléze je stanovena únosnost daných průřezů dle současných norem a dopočtena zatížitelnost.

Z diagnostiky je zjištěna výztuž v poli 3 - smyková výztuž trámů v poli a u podpor, ohybová výztuž při spodním povrchu trámů v poli, výztuž desek, vrchní vrstva výztuže ve vrcholu oblouku a vyztužení kyvných stojek. Dále je zjištěna výztuž trámů v prostředku pole 2 a vyztužení kyvné stojky P5.

Posouzení zatížitelnosti na únavu se v práci neuvažuje.



Obrázek 33 Kritické řezy na konstrukci [m]

Řezy označené A přísluší podélníkům v krajních polích o výšce „T“ průřezu 1,400 m.

Řezy označené B přísluší podélníkům v poli 3 nad obloukem o výšce „T“ průřezu 1,500 m.

Řezy označené C přísluší obloukovým pasům.

5.1 ZATÍŽITELNOST TRÁMŮ MOSTOVKY

5.1.1 Stanovení spolupůsobící šířky

Stanovena bude pro posuzované průřezy v tabulkovém editoru excel v kapitole 5.

5.1.1.1 Podle ČSN 1230:1937

$$b_{\text{eff}} \leq B$$

B je vzdálenost mezi trámy

$$b_{\text{eff}} = b_t + 12 \cdot d_o$$

b_t je šířka trámu a d_o je tloušťka desky

$$b_{\text{eff}} \leq 1/3 \cdot l_d$$

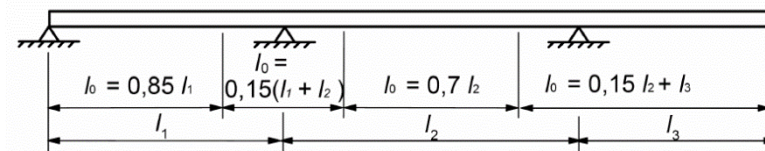
l_d je rozpětí mezi podporami

5.1.1.2 Podle ČSN EN 1992-1-1

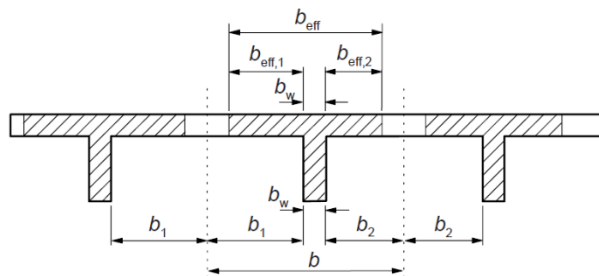
$$b_{\text{eff}} = \sum b_{\text{eff},i} + b_w \leq b$$

$$b_{\text{eff},i} = 0,2 \cdot b_i + 0,1 \cdot l_o \leq 0,2 \cdot l_o$$

$$b_{\text{eff},i} \leq b_i$$



Obrázek 34 Definice l_o pro výpočet spolupůsobící šířky

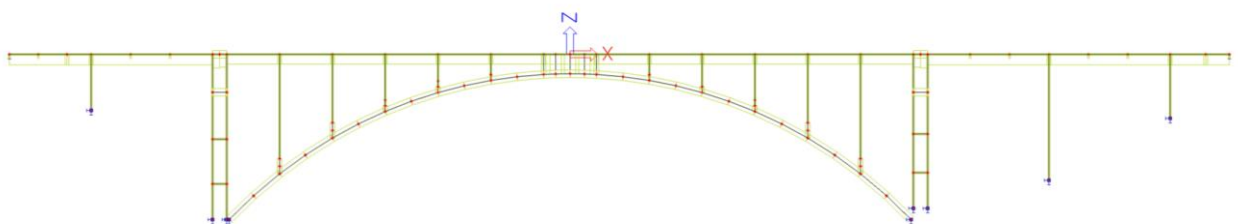


Obrázek 35 Parametry pro spolupůsobící šířku desky

5.1.2 Vnitřní síly

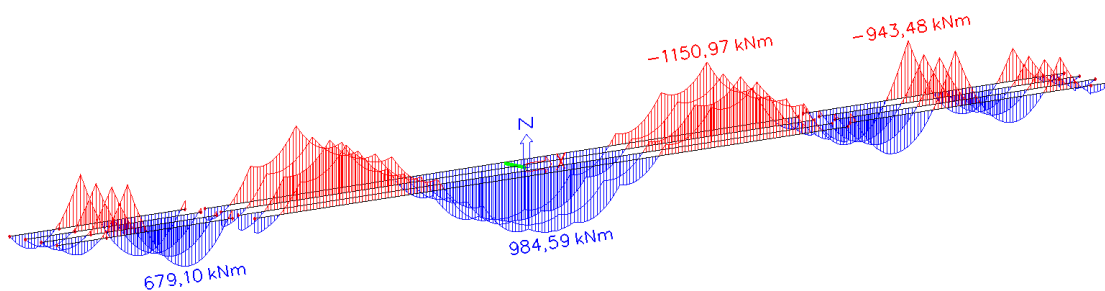
Vnitřní síly jsou spočteny v programu SCIA Engineer na 3D deskostěnovém modelu. Bylo vytvořeno celkem 388 zatěžovacích stavů, které byly zařazeny do výběrových skupin zatížení, do tříd a kombinací.

Uvedeny jsou charakteristické hodnoty účinků zatížení.

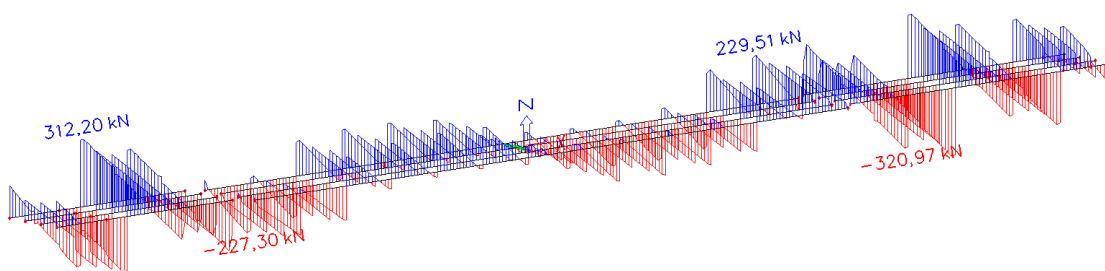


Obrázek 36 Výpočetní model – deskostěnový

5.1.2.1 Vlastní tíha konstrukce

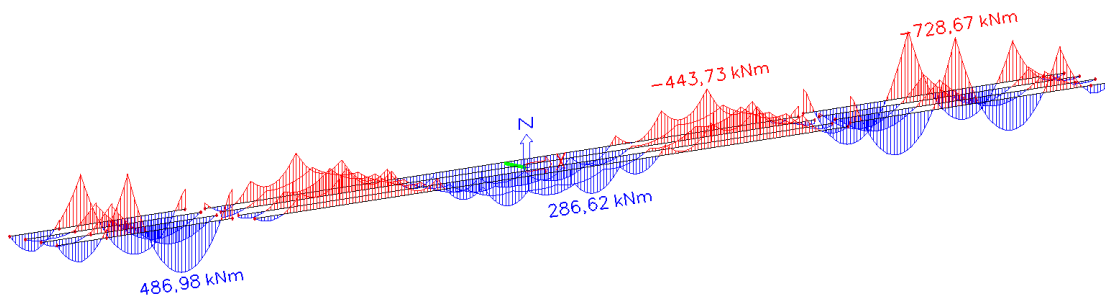


Obrázek 37 My – vlastní tíha

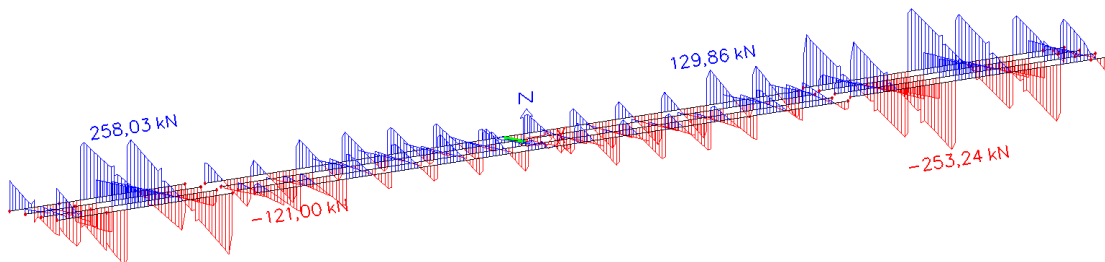


Obrázek 38 Vz – vlastní tíha

5.1.2.2 Ostatní stálé zatížení

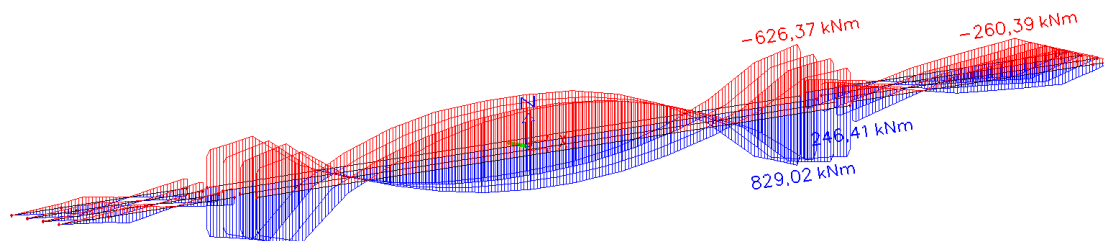


Obrázek 39 My – ostatní stálé

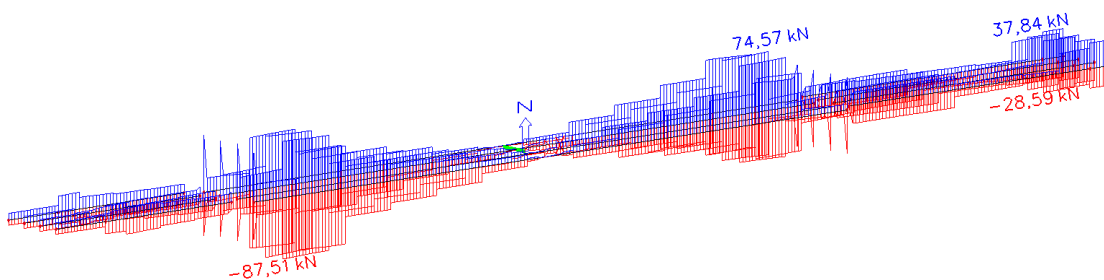


Obrázek 40 Vz – ostatní stálé

5.1.2.3 Zatížení teplotou

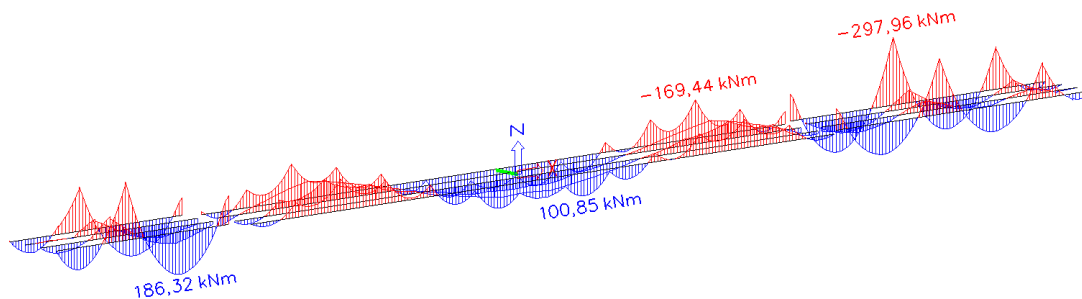


Obrázek 41 My obálka – zatížení teplotou

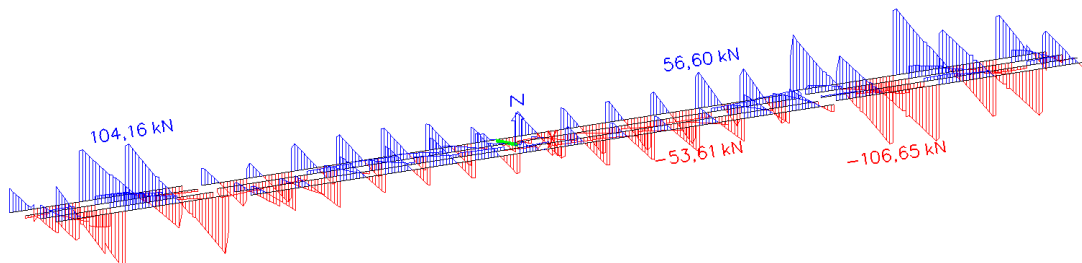


Obrázek 42 Vz obálka – zatížení teplotou

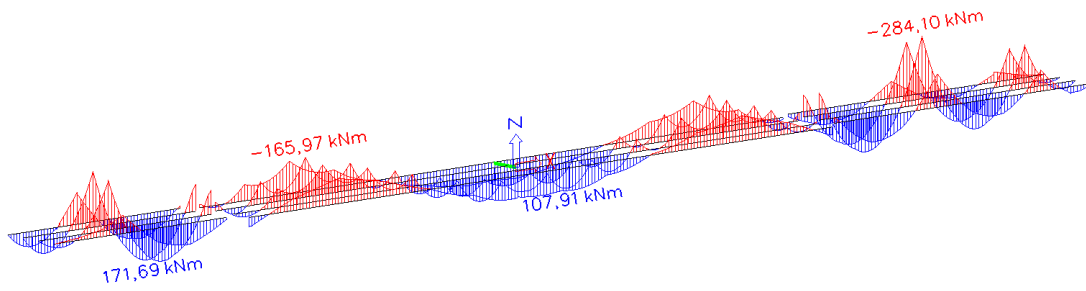
5.1.2.4 Zatížení dopravou dle ČSN 1230:1937



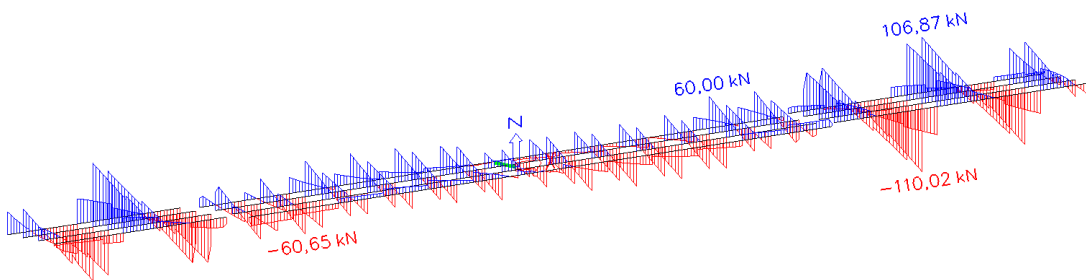
Obrázek 43 My – rovnoměrné zatížení chodníků



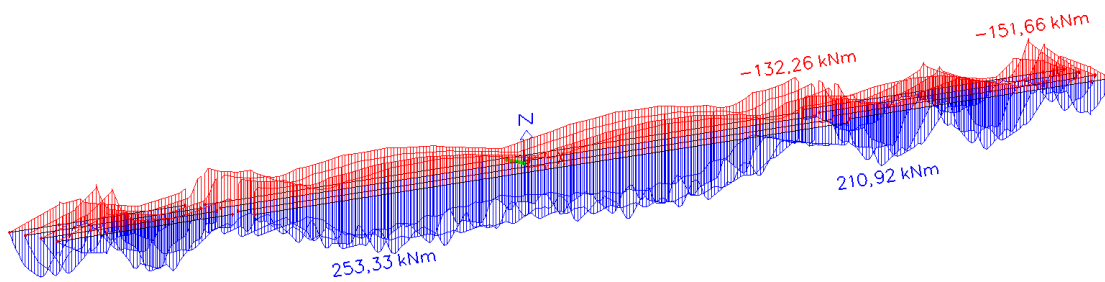
Obrázek 44 Vz – rovnoměrné zatížení chodníků



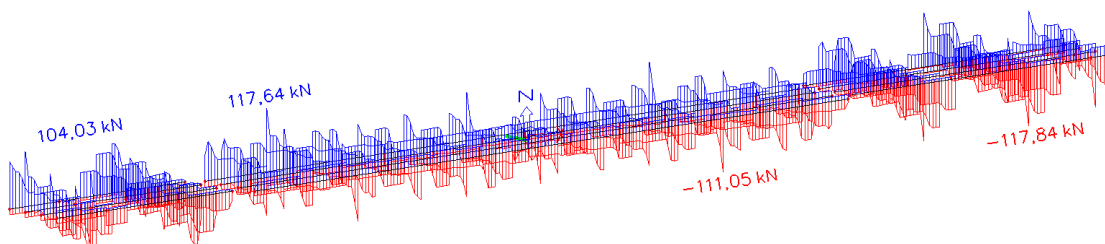
Obrázek 45 My – rovnoměrné zatížení vozovky



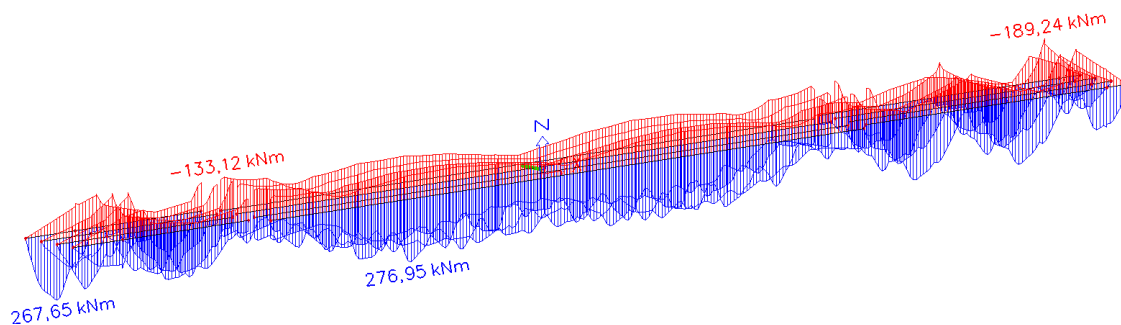
Obrázek 46 Vz – rovnoměrné zatížení vozovky



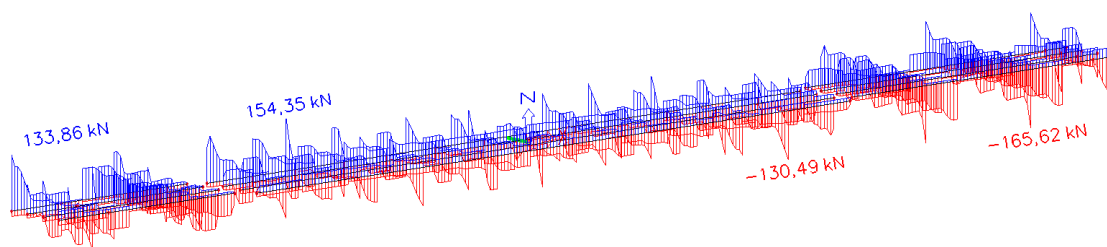
Obrázek 47 My obálka – jeden nákladní automobil v každém jízdním pruhu



Obrázek 48 Vz obálka – jeden nákladní automobil v každém jízdním pruhu

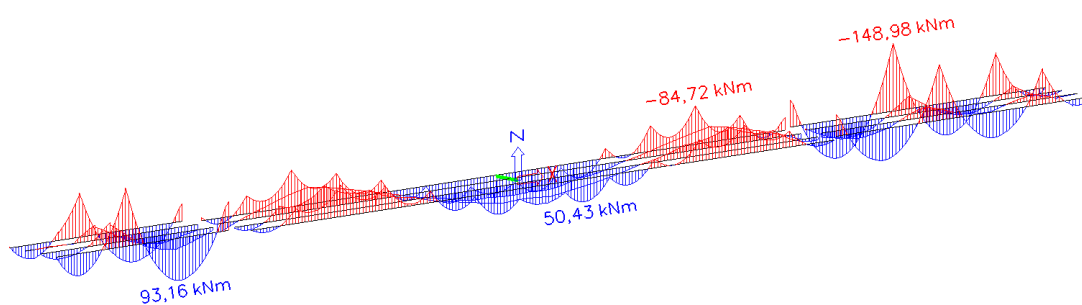


Obrázek 49 My obálka – strojní válec

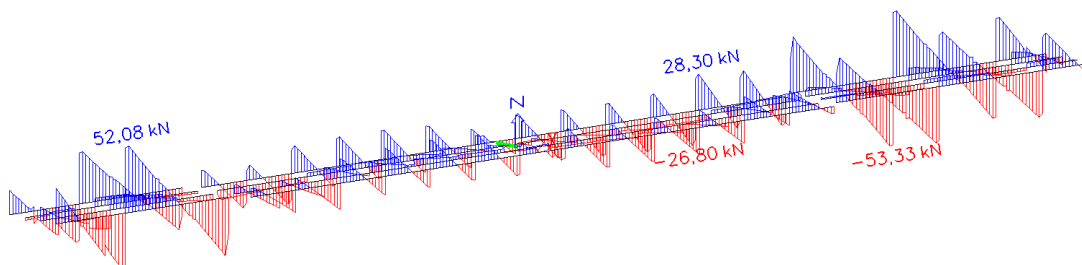


Obrázek 50 Vz obálka – strojní válec

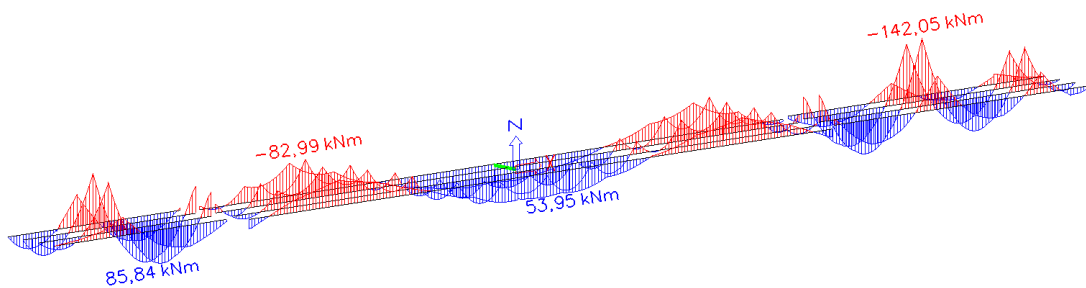
5.1.2.5 Normální zatížitelnost



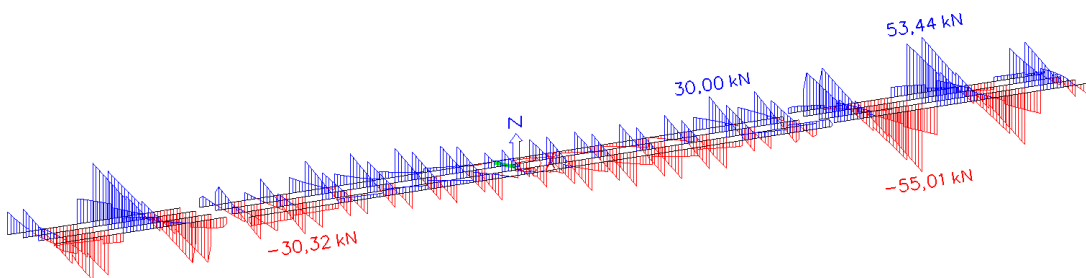
Obrázek 51 My – rovnoměrné zatížení chodníků



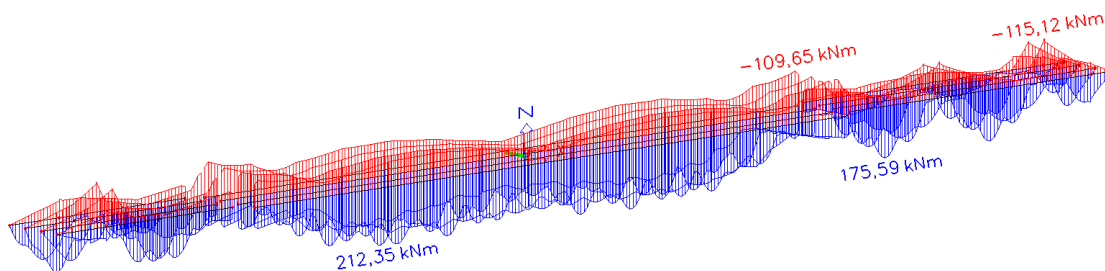
Obrázek 52 Vz – rovnoměrné zatížení chodníků



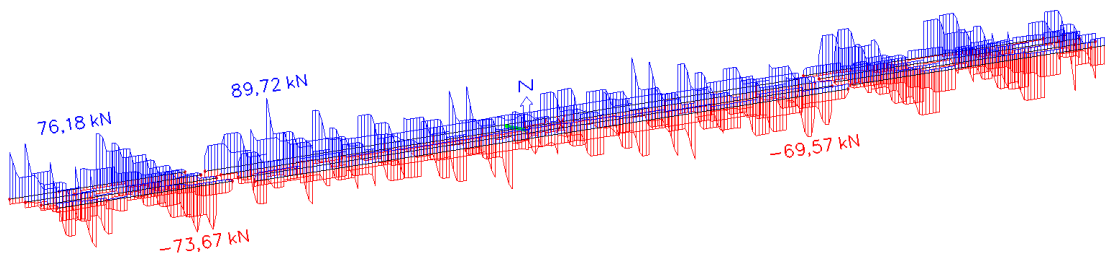
Obrázek 53 My – rovnoměrné zatížení vozovky



Obrázek 54 Vz – rovnoměrné zatížení vozovky

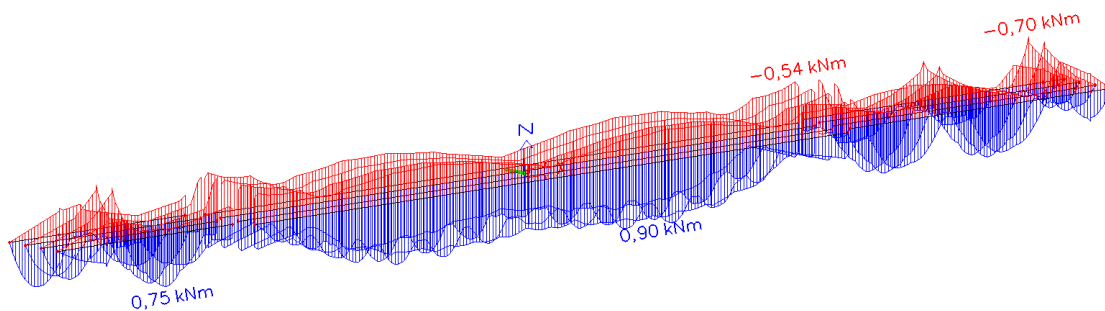


Obrázek 55 My obálka – třínápravové vozidlo

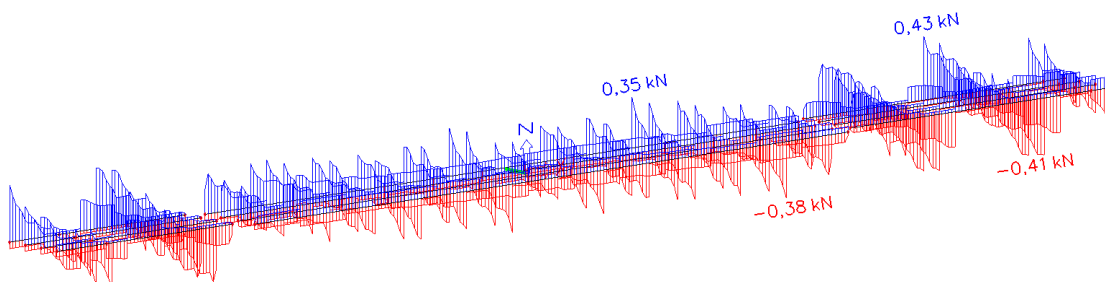


Obrázek 56 Vz obálka – třínápravové vozidlo

5.1.2.6 Výhradní zatížitelnost

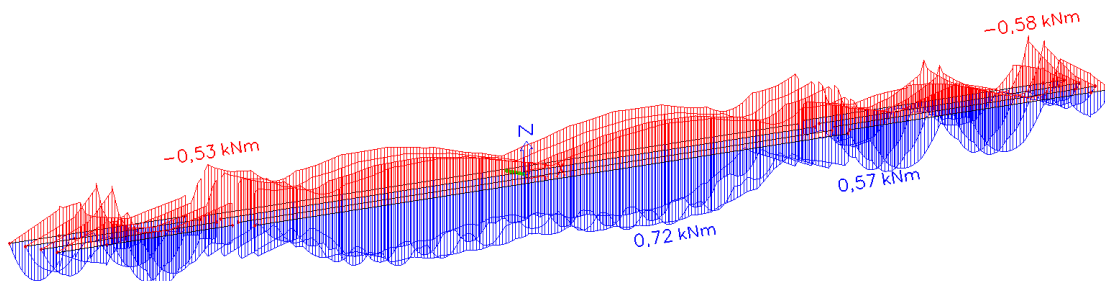


Obrázek 57 My obálka – šestnápravové vozidlo

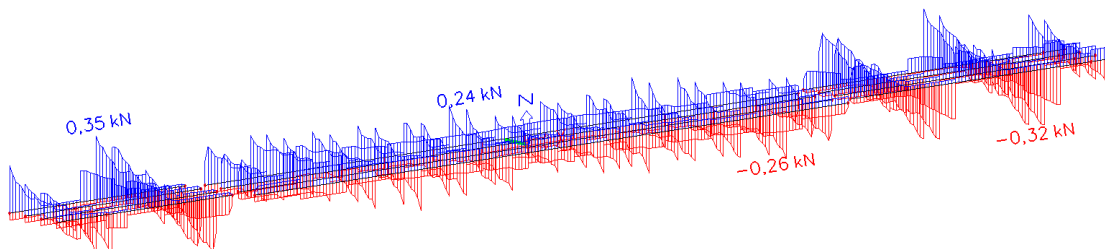


Obrázek 58 Vz obálka – šestnápravové vozidlo

5.1.2.7 Výjimečná zatížitelnost

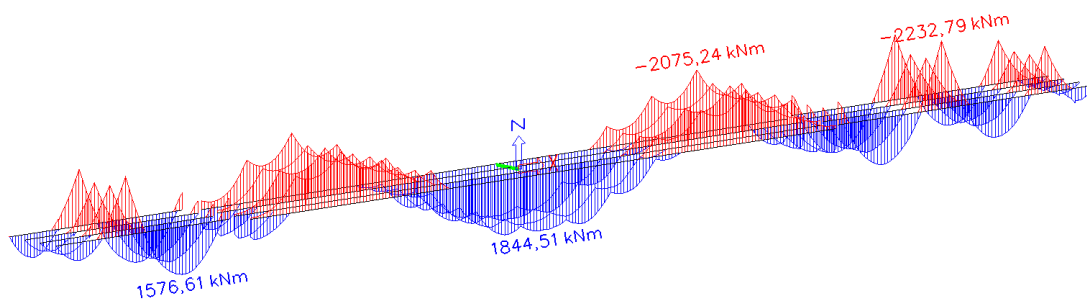


Obrázek 59 My obálka – devítinápravové vozidlo

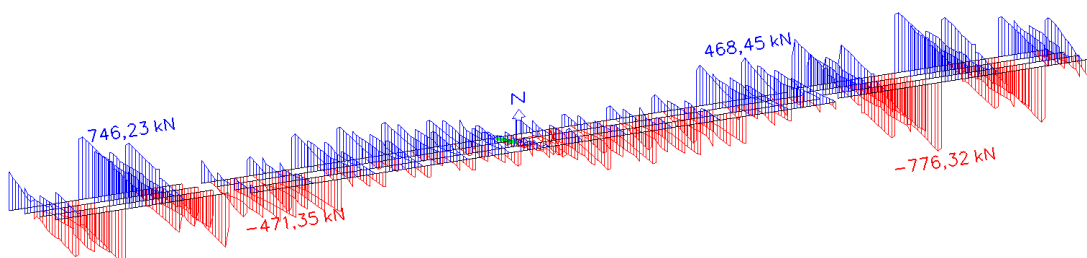


Obrázek 60 Vz obálka – devítinápravové vozidlo

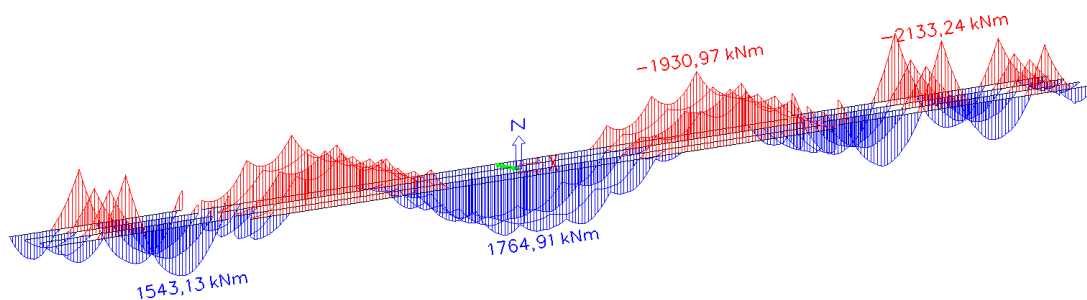
5.1.2.8 Kombinace zatížení dle ČSN 1230:1937



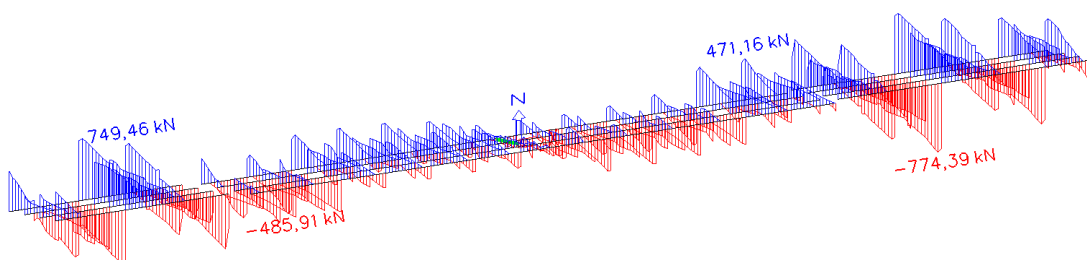
Obrázek 61 My obálka – charakteristická kombinace jeden nákladní automobil v každém jízdním pruhu



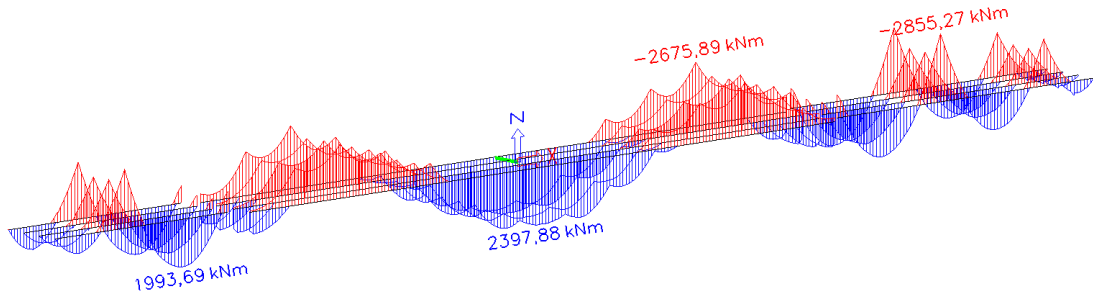
Obrázek 62 Vz obálka – charakteristická kombinace jeden nákladní automobil v každém jízdním pruhu



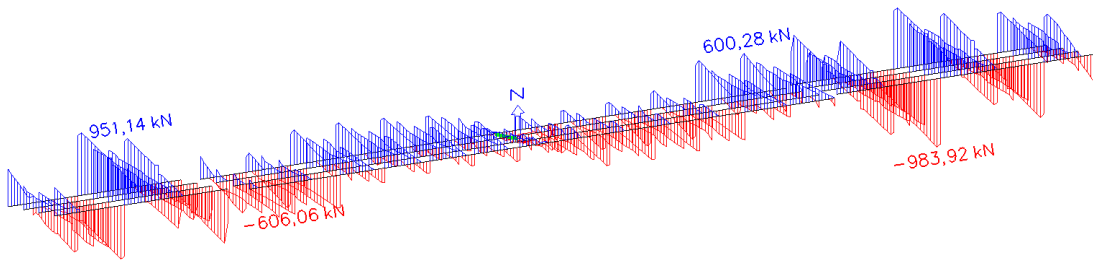
Obrázek 63 My obálka – charakteristická kombinace strojní válec



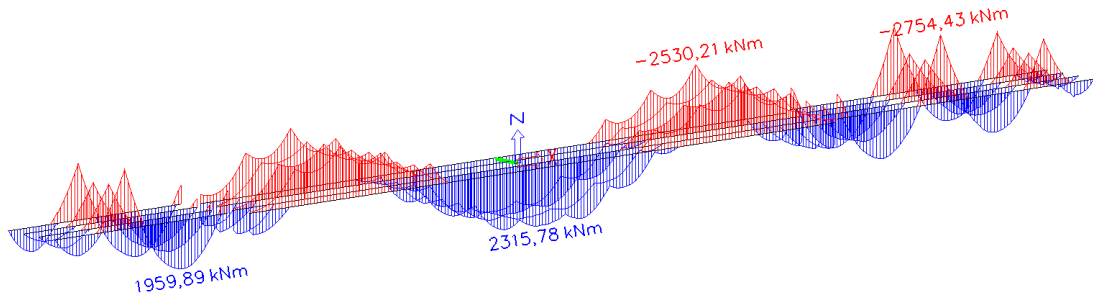
Obrázek 64 Vz obálka – charakteristická kombinace strojní válec



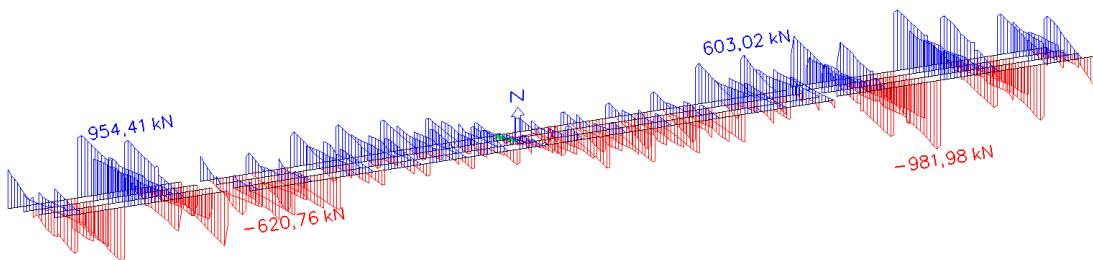
Obrázek 65 My obálka – 6.10a jeden nákladní automobil v každém jízdním pruhu



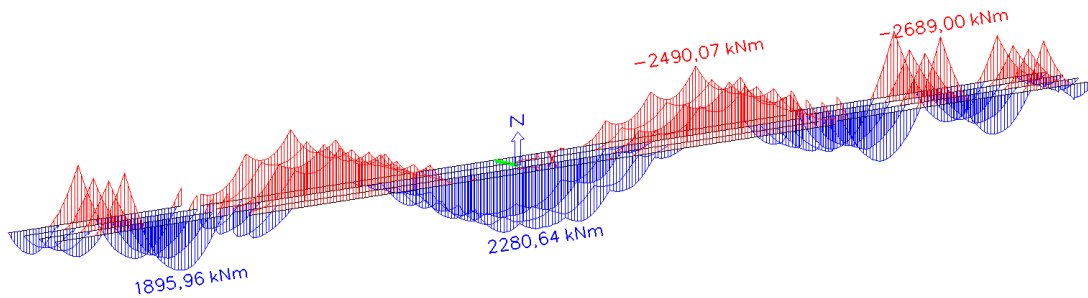
Obrázek 66 Vz obálka – 6.10a jeden nákladní automobil v každém jízdním pruhu



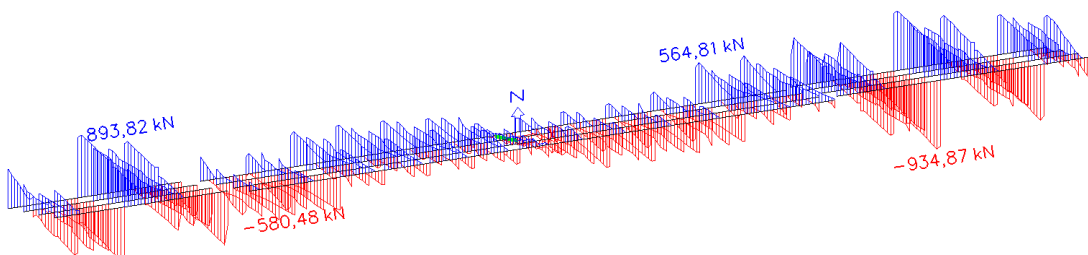
Obrázek 67 My obálka – 6.10a strojní válec



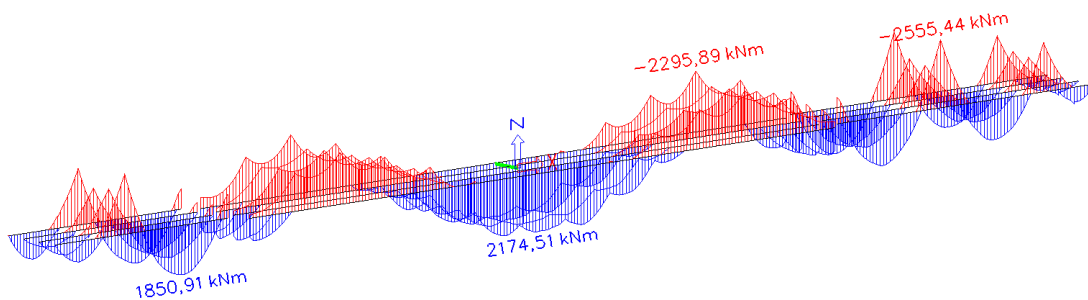
Obrázek 68 Vz obálka – 6.10a strojní válec



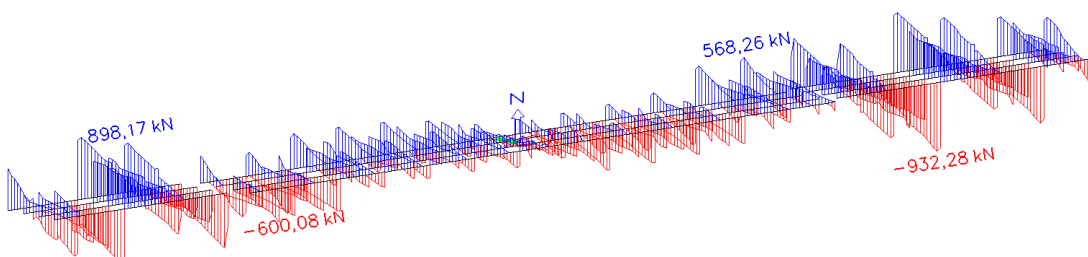
Obrázek 69 My obálka – 6.10b jeden nákladní automobil v každém jízdním pruhu



Obrázek 70 Vz obálka – 6.10b jeden nákladní automobil v každém jízdním pruhu



Obrázek 71 My obálka – 6.10b strojní válec



Obrázek 72 Vz obálka – 6.10b strojní válec

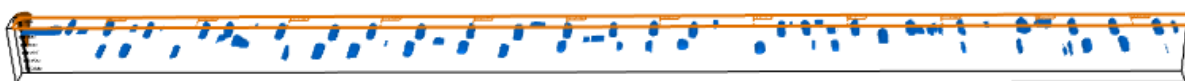
5.1.3 Stanovení vyztužení a únosnosti průřezu

5.1.3.1 Diagnostika – trámy v poli 3

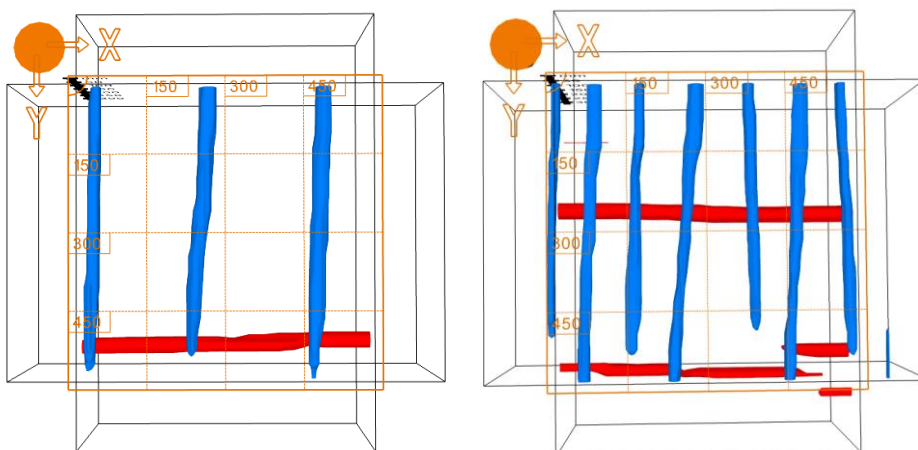
Na základě průzkumu je uvažována třmínková výztuž průměru 10 mm s roztečí v poli 200 mm a u podpor 100 mm. Tahová výztuž průměru 32 mm 5-6 položek při spodním povrchu. Deska nad trámem je hustě vyztužena třemi vrstvami hladké výztuže o průměru 14 mm. Vzhledem k hustě vyztuženému průřezu a nejasným odezvám je třeba výztuž dopočítat.

Na schématech z diagnostiky je podélná výztuž ve směru osy mostu vyznačena červeně a příčná modře.

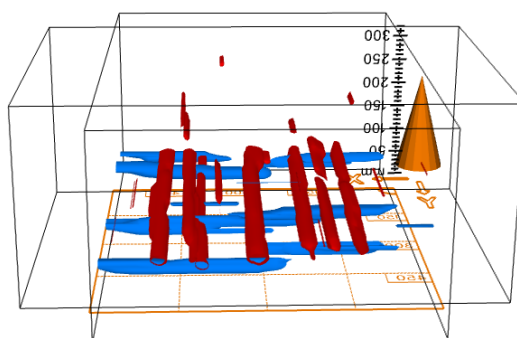
Výztuž třídy C37.



Obrázek 73 Rozložení třmínků nad obloukem (vodorovný řez v pohledu) - diagnostika



Obrázek 74 Boční plochy trámů – diagnostika



Obrázek 75 Spodní vrstva výztuže – diagnostika

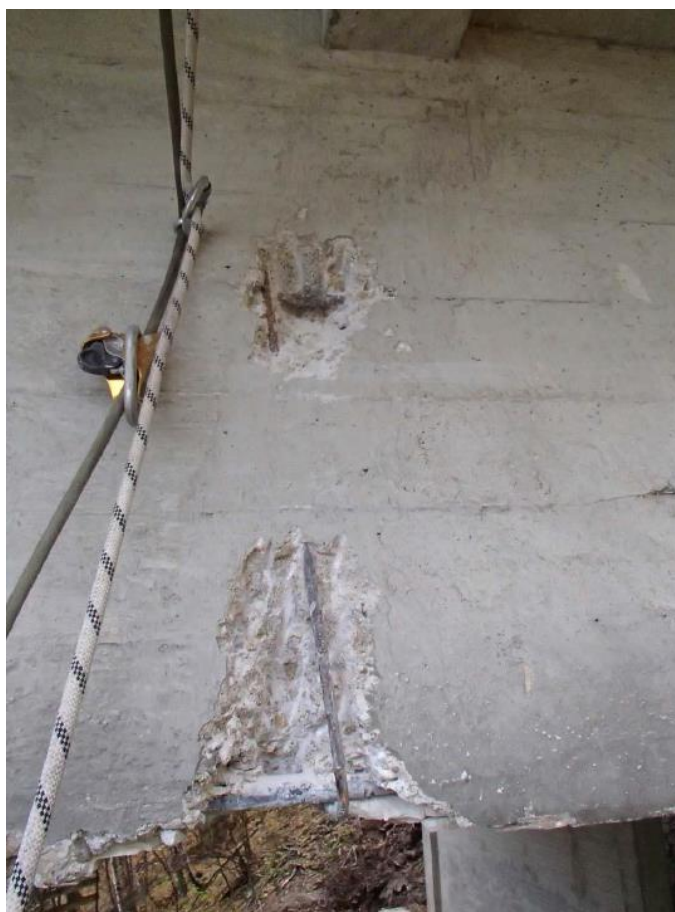
5.1.3.2 Diagnostika – trámy v poli 2

Na základě průzkumu je uvažována třmínková výztuž průměru 12 mm čtyřstřížná. Rozteče se uvažují shodně s trámy z pole 3. Tahová výztuž průměru 30 mm 8 položek při spodním povrchu uvažovaná třída C52.

Výztuž nad podporami a rozteče se uvažují shodně s trámy v poli 3.



Obrázek 76 Destruktivní sonda ve středu pole 2 ze spodu trámu – diagnostika



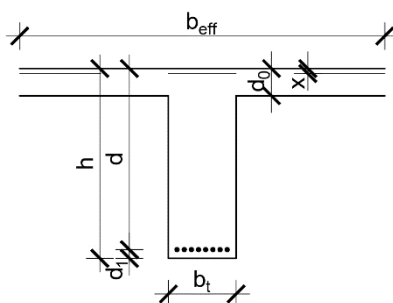
Obrázek 77 Destruktivní sonda ve středu pole 2 bok trámu – diagnostika

5.1.3.3 Stanovení momentové únosnosti průřezu 1A v poli – dle ČSN 73 6222

Výpočet je proveden v tabulkovém editoru excel

Z diagnostiky – výztuž při spodním okraji 8 ks Ø 30 mm, krytí 35 mm

Uvažovaná třída výztuže C57



Obrázek 78 Průřez v poli (1A)

| | | | | | | |
|-----------------------------------|-------|-------------------|--------|-------------|---------|---|
| $M_{Ed} =$ | 1994 | kNm | | | | |
| Počet profilů | 8 | ks | | ks | těžiště | |
| Průměr profilů | 30 | mm | řada 1 | 6 | 50 | mm |
| třmínky | 12 | mm | řada 2 | 0 | 0 | mm |
| $f_{yd} =$ | 250,0 | MPa | řada 3 | 0 | 0 | mm |
| $f_{ck} =$ | 32,0 | MPa | suma | 8 | 50 | mm |
| $f_{cd} =$ | 18,1 | MPa | | | | |
| Výška průřezu $h =$ | 1500 | mm | | $d_0 =$ | 200 | mm |
| Šířka průřezu $b_T =$ | 500 | mm | | $b_{eff} =$ | 2700 | mm |
| Efekt. š. průřezu $b_{eff} =$ | 2700 | mm | | | | |
| Krytí výztuže $c =$ | 35 | mm | | | | |
| Počet řad = | 1 | - | | | | |
| Vzdálenost výztuže = | 45 | mm | | | | |
| příčná = | 27 | mm | | | | |
| $t_{min} = \max(D;30\text{mm}) =$ | 30 | mm | | | | KO |
| $A_a =$ | 5655 | mm ² | | | | |
| $d =$ | 1450 | mm | | | | |
| $x =$ | 36 | mm | | | | Tlač. oblast je nižší než tl. desky = neuvažuje se T průřez |
| $\epsilon_s =$ | 1,371 | $\geq f_{yd}/E_s$ | | | | Vyhovuje |
| $\xi = x/d =$ | 0,02 | $\leq 0,45$ | | | | Vyhovuje |
| $z =$ | 1436 | mm | | | | |

$M_{Rd} =$ 2029,5 kNm

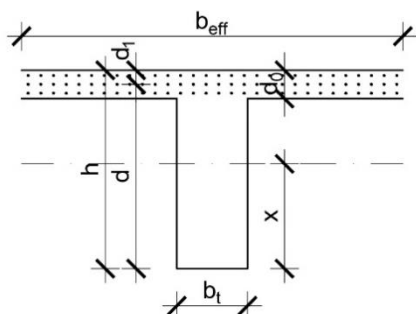
Tabulka 8 Výpočet M_{Rd} v řezu 1A

5.1.3.4 Návrh a ověření průřezu 2A – dovolená namáhání ČSN 1230

Výpočet je proveden v tabulkovém editoru excel

Předpoklad – výztuž Ø 14 mm ve třech řadách, krytí 30 mm

Uvažovaná třída výztuže C37



Použité vzorce:

Výška tlačené oblasti $x = \frac{0,5 \cdot b \cdot d_0^2 \cdot A_a + n \cdot A_a \cdot d}{b \cdot d_0 + n \cdot A_a}$

Rameno vnitřních sil $z_b = d - 0,5 \cdot d_0 + \frac{d_0^2}{6(2x-d)_0}$

Napětí ve výztuži $\sigma_a = \frac{M}{A_a \cdot z_b} \leq k_a$

Napětí v betonu $\sigma_b = \frac{\sigma_a}{n} \cdot \frac{x}{d-x} \leq k_b$

Obrázek 79 Průřez nad podporou (2A)

| | | | | | | |
|-----------------------------------|--------|-----------------|----------|----|-------------|-----------------------|
| $M_{ek} =$ | -2233 | kNm | | | | |
| Počet profilů | 90 | ks | | | | těžiště |
| Průměr profilů | 14 | mm | řada 1 | 6 | 37 | mm |
| $k_a =$ | 140,0 | MPa | řada 2 | 6 | 100 | mm |
| $k_{bd} =$ | 13,2 | MPa | řada 3 | 6 | 163 | mm |
| Výška průřezu $h =$ | 1500 | mm | suma | 18 | 100 | mm |
| Šířka průřezu $b_T =$ | 500 | mm | | | | |
| Efekt. š. průřezu $b_{eff} =$ | 2700 | mm | | | $d_0 =$ | 200,00 mm |
| Krytí výztuže $c =$ | 30 | mm | | | $> 0,1d$ | 150,00 mm OK |
| Počet řad = | 3 | - | | | $b_{eff} =$ | 2900 mm |
| Vzdálenost výztuže = | 63 | mm | | | $< 2,7$ | 2700 mm KO |
| příčná = | 90 | mm | | | $< 1/3ld$ | 5650,00 mm OK |
| $t_{min} = \max(D;30\text{mm}) =$ | 30 | mm | Vyhovuje | | | |
| $A_a =$ | 13854 | mm ² | | | $z_b =$ | 1260 mm |
| $d_1 =$ | 100 | mm | | | $A_{a,h} =$ | 12658 mm ² |
| $d =$ | 1400,0 | mm | | | potřeba | 82 ks |
| $x =$ | 740 | mm | | | | |
| $z =$ | 1153 | mm | | | | |

| | | | | | | | | |
|--------------|-------|-----|----------|-------|--------------|-------|-----|----------------------|
| $\sigma_a =$ | 139,8 | Mpa | Vyhovuje | 100 % | $\sigma_a =$ | 140,0 | Mpa | výztuž na mezi kluzu |
| $\sigma_b =$ | 10,5 | Mpa | Vyhovuje | 79 % | $\sigma_b =$ | 10,5 | Mpa | Vyhovuje 79 % |

Tabulka 9 Stanovení množství ohybové výztuže v řezu 2A

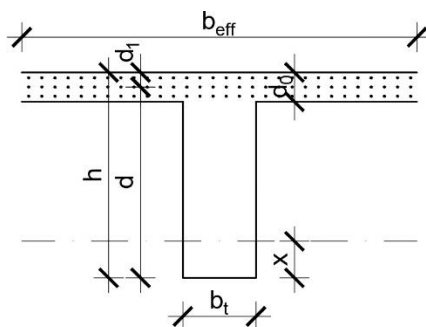
Z výpočtu vyplývá, že slabším prvkem konstrukce je výztuž a pokud je na mezi kluzu, maximální využití betonu je 79% a to odpovídá bezpečnému návrhu. V průřezu 2A bylo navrženo celkem 90 profilů po 30 kusech ve 3 řadách o celkové ploše 13854 mm². Vzhledem ke zjištěnému hustému vyztužení konstrukce se předpokládá reálná přítomnost počtu navržené výztuže.

5.1.3.5 Stanovení momentové únosnosti průřezu 2A – dle ČSN 73 6222

Výpočet je proveden v tabulkovém editoru excel

Z výpočtu – výztuž \varnothing 14 mm ve třech řadách, 90 ks, krytí 30 mm

Uvažovaná třída výztuže C37



Obrázek 80 Průřez nad podporou (2A)

| | | | | | | |
|-----------------------------------|-------|-------------------|--------|-------------|---------|----------|
| $M_{Ed} =$ | -2855 | kNm | | | | |
| Počet profilů | 90 | ks | | ks | těžiště | |
| Průměr profilů | 14 | mm | řada 1 | 30 | 37 | mm |
| třmínky | 10 | mm | řada 2 | 30 | 100 | mm |
| $f_{yd} =$ | 180,0 | MPa | řada 3 | 30 | 163 | mm |
| $f_{ck} =$ | 44,2 | MPa | suma | 90 | 100 | mm |
| $f_{cd} =$ | 25,0 | MPa | | | | |
| Výška průřezu $h =$ | 1500 | mm | | $d_0 =$ | 200 | mm |
| Šířka průřezu $b_T =$ | 500 | mm | | $b_{eff} =$ | 2700 | mm |
| Efekt. š. průřezu $b_{eff} =$ | 2700 | mm | | | | |
| Krytí výztuže $c =$ | 30 | mm | | | | |
| Počet řad = | 3 | - | | | | |
| Vzdálenost výztuže = | 63 | mm | | | | |
| příčná = | 90 | mm | | | | |
| $t_{min} = \max(D;30\text{mm}) =$ | 30 | mm | | | | Vyhovuje |
| $A_a =$ | 13854 | mm ² | | | | |
| $d =$ | 1400 | mm | | | | |
| $x =$ | 249 | mm | | | | |
| $\epsilon_s =$ | 0,162 | $\geq f_{yd}/E_s$ | | | | Vyhovuje |
| $\xi = x/d =$ | 0,18 | $\leq 0,45$ | | | | Vyhovuje |
| $z =$ | 1300 | mm | | | | |

$M_{Rd} = 3243,0 \text{ kNm}$

Tabulka 10 Výpočet M_{Rd} v řezu 2A

5.1.3.6 Stanovení smykové únosnosti průřezu 2A u podpory – dle ČSN 73 6222

Výpočet je proveden v tabulkovém editoru excel

Diagnostika – třmínky čtyřstřížné Ø 12 mm

Předpoklad – rozteče u podpory cca 150 mm

Uvažovaná třída výztuže C37

| Rozměry průřezu | | Smyková výztuž – materiál | | Beton | |
|------------------|---------------------|---------------------------|-----------|-------------------|----------|
| h = | 1,500 m | f _{ywk} = | 207,0 MPa | f _{ck} = | 32,0 MPa |
| b _w = | 0,500 m | γ _s = | 1,15 - | γ _c = | 1,5 - |
| A _c = | 0,75 m ² | f _{ywd} = | 180,0 MPa | α _{cc} = | 0,9 - |
| | | | | f _{cd} = | 18,1 MPa |

| Ohybová výztuž | | Smyková výztuž | | Ohyby | |
|----------------|--------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| c = | 0,03 m | A _{sw,1} = | 113 mm ² | A _{sw,1} = | 707 mm ² |
| Ø = | 14 mm | Ø = | 12 mm | Ø = | 30 mm |
| n = | 15 ks | s = | 150 mm | n = | 2 ks |
| d = | 1,40 m | střížnost | 4 - | s = | 2,00 m |
| z = | 1,15 m | | | α = | 45,00 ° |
| | | | | cotgα = | 1,0 |

Sklon tlačných diagonál

$$\cotg\Phi = 1,5 -$$

Únosnost ve smyku bez smykové výztuže

| | | | | |
|----------------------------|--------------------|----------|-------------------------|-----------------|
| součinitel tl. prvku | k = | 1,38 - | V _{Rd,c} = | 253,9 kN |
| součinitel tl. prvku | k ₁ = | 0,15 - | V _{Rd,c,min} = | 224,2 kN |
| stupěň vyztužení ohyb. v. | ρ = | 0,0033 - | V _{Rd,c} = | 253,9 kN |
| prům. napětí od předpětí | σ _{cp} = | 0,00 MPa | | |
| redukční součinitel betonu | v _{min} = | 0,32 - | | |

$$V_{Rd,c} = 253,9 \text{ kN} < V_{Ed} = 983,9 \text{ kN}$$

Nutná smyková výztuž

Únosnost tlačné diagonály

| | | | | |
|------------------------------|-------------------|----------|-----------------------|------------------|
| redukční součinitel betonu | v ₁ = | 0,52 - | | |
| prům. napětí od předpětí | σ _{cp} = | 0,00 MPa | | |
| součinitel napětí v tl. pásu | α _{cw} = | 1,00 - | V _{Rd,max} = | 2524,8 kN |

$$V_{Rd,max} = 2524,8 \text{ kN} > V_{Ed} = 983,9 \text{ kN}$$

OK

Únosnost smykové výztuže

| | | | | |
|---------------------------|---------------------|-----------------------|--|----------------------|
| plocha smykové výztuže | A _{sw} = | 452,4 mm ² | A _{sw} = | 1414 mm ² |
| stupěň vyztužení smyk. v. | ρ _{w,s} = | 0,0060 - | ρ _{w,s} = | 0,0188 - |
| min. stupěň vyztužení | ρ _{min} = | 0,0022 - | V _{Rd,s} = A _{sw} * z * f _{y,wd} * (cotgΦ + cotgα) * sinα / s | |
| | V _{Rd,s} = | 939,0 kN | V _{Rd,s} = | 259,4 kN |

$$\rho_{w,s} = 0,0063 - > \rho_{min} = 0,0022 -$$

OK

Celková únosnost prvku na smyk

$$V_{Rd,s} = 1198,4 \text{ kN} > V_{Ed} = 983,9 \text{ kN}$$

OK

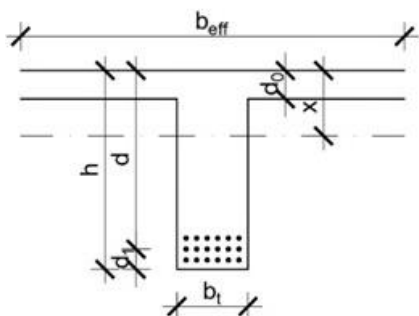
Tabulka 11 Výpočet V_{Rd} v řezu 2A

5.1.3.7 Návrh a ověření průřezu 1B v poli – dovolená namáhání ČSN 1230

Výpočet je proveden v tabulkovém editoru excel

Diagnostika – výztuž Ø 32 mm, 6 ks při spodním povrchu, více řad

Uvažovaná třída výztuže C37



Obrázek 81 Průřez v poli (1B)

Použité vzorce:

Výška tlačené oblasti $x = \frac{n \cdot A_a}{b_t} \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2b_t \cdot d}{n \cdot A_a}} \right)$

Rameno vnitřních sil $z_b = d - \frac{x}{3}$

Napětí ve výztuži $\sigma_a = \frac{M}{A_a \cdot z_b} \leq k_a$

Napětí v betonu $\sigma_b = \frac{2M}{b_t \cdot x \cdot z_b} \leq k_b$

| | | | | | | |
|--------------------------------------|-------|-----------------|----------|----|--------------------------|-----------------|
| M _{ek} = | 1845 | kNm | | | | |
| Počet profilů | 18 | ks | | ks | těžiště | |
| Průměr profilů | 32 | mm | řada 1 | 6 | 64 | mm |
| třmínky | 10 | mm | řada 2 | 6 | 141 | mm |
| k _a = | 140,0 | MPa | řada 3 | 6 | 218 | mm |
| k _{bd} = | 13,2 | MPa | suma | 18 | 141 | mm |
| Výška průřezu h = | 1400 | mm | | | | |
| Šířka průřezu b _T = | 500 | mm | | | d ₀ = 200 | mm |
| Efekt. š. průřezu b _{eff} = | 2900 | mm | | | > 0,1d | 140 mm OK |
| Krytí výztuže c = | 48 | mm | | | b _{eff} = 2900 | mm |
| Počet řad = | 3 | - | | | < 2,7 | 2900 mm KO |
| Vzdálenost výztuže = | 45 | mm | | | < 1/3ld | 5650 mm OK |
| příčná = | 42 | mm | | | | |
| t _{min} = max(D;30mm) = | 32 | mm | Vyhovuje | | z _b = 1133 | mm |
| A _a = | 14476 | mm ² | | | A _{a,h} = 11631 | mm ² |
| d ₁ = | 141 | mm | | | potřeba | 14 ks |
| d = | 1259 | mm | | | | |
| x = | 416 | mm | T průřez | | | |
| z = | 1159 | mm | | | | |

$\sigma_a = 110,0$ Mpa Vyhovuje 79 % $\sigma_a = 140,0$ Mpa výztuž na mezi kluzu
 $\sigma_b = 3,6$ Mpa Vyhovuje 27 % $\sigma_b = 4,6$ Mpa Vyhovuje 35 %

Tabulka 12 Stanovení množství ohybové výztuže v řezu 1B

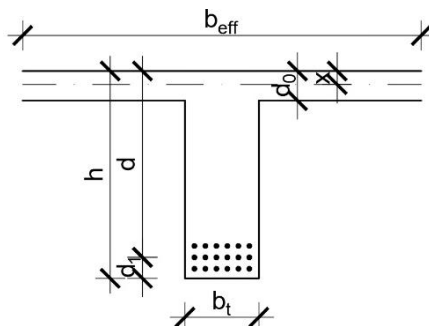
Z výpočtu vyplývá, že slabším prvkem konstrukce je výztuž a pokud je na mezi kluzu, maximální využití betonu je 35%. V průřezu 1B bylo navrženo celkem 18 profilů po 6 kusech ve 3 řadách o celkové ploše 14476 mm². Vzhledem ke zjištěnému hustému vyztužení trámu při diagnostice se předpokládá reálná přítomnost počtu navržené výztuže.

5.1.3.8 Stanovení momentové únosnosti průřezu 1B v poli – dle ČSN 73 6222

Výpočet je proveden v tabulkovém editoru excel

Z výpočtu – výztuž \varnothing 32 mm, 18 ks rovnoměrně ve třech vrstvách

Uvažovaná třída výztuže C37



Obrázek 82 Průřez v poli (1B)

| | | | | | | | |
|------------------------------------|-------|-------------------|--------|----|-------------|---------|---|
| $M_{Ed} =$ | 2398 | kNm | | | | | |
| Počet profilů | 18 | ks | | | ks | těžiště | |
| Průměr profilů | 32 | mm | řada 1 | 6 | 64 | mm | |
| třmínky | 10 | mm | řada 2 | 6 | 141 | mm | |
| $f_{yd} =$ | 180,0 | MPa | řada 3 | 6 | 218 | mm | |
| $f_{ck} =$ | 32 | MPa | suma | 18 | 141 | mm | |
| $f_{cd} =$ | 18,1 | MPa | | | | | |
| Výška průřezu $h =$ | 1400 | mm | | | $d_0 =$ | 200 | mm |
| Šířka průřezu $b_T =$ | 500 | mm | | | $b_{eff} =$ | 1960 | mm |
| Efekt. š. průřezu $b_{eff} =$ | 1960 | mm | | | | | |
| Krytí výztuže $c =$ | 48 | mm | | | | | |
| Počet řad = | 3 | - | | | | | |
| Vzdálenost výztuže = | 45 | mm | | | | | |
| příčná = | 42 | mm | | | | | |
| $t_{min} = \max(D; 30\text{mm}) =$ | 32 | mm | | | | | Vyhovuje |
| $A_a =$ | 14476 | mm ² | | | | | |
| $d =$ | 1259 | mm | | | | | |
| $x =$ | 92 | mm | | | | | Tlač. oblast je nižší než tl. desky = neuvažuje se T průřez |
| $\epsilon_s =$ | 0,446 | $\geq f_{yd}/E_s$ | | | | | Vyhovuje |
| $\xi = x/d =$ | 0,07 | $\leq 0,45$ | | | | | Vyhovuje |
| $z =$ | 1222 | mm | | | | | |

$M_{Rd} =$ **3185,1** kNm

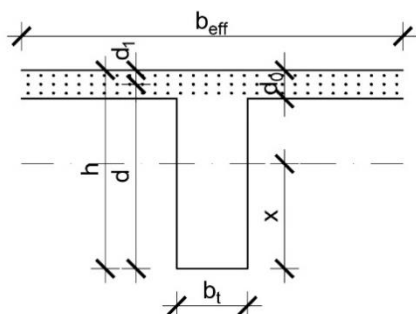
Tabulka 13 Výpočet M_{Rd} v řezu 1B

5.1.3.9 Návrh a ověření průřezu 2B– dovolená namáhání ČSN 1230

Výpočet je proveden v tabulkovém editoru excel

Diagnostika – výztuž Ø 14 mm ve třech řadách, krytí 30 mm

Uvažovaná třída výztuže C37



Použité vzorce:

Výška tlačené oblasti
$$x = \frac{0,5 \cdot b \cdot d_0^2 \cdot A_a + n \cdot A_a \cdot d}{b \cdot d_0 + n \cdot A_a}$$

Rameno vnitřních sil
$$z_b = d - 0,5 \cdot d_0 + \frac{d_0^2}{[6(2x-d)_0]}$$

Napětí ve výztuži
$$\sigma_a = \frac{M}{A_a \cdot z_b} \leq k_a$$

Napětí v betonu
$$\sigma_b = \frac{\sigma_a \cdot x}{n \cdot d - x} \leq k_b$$

Obrázek 83 Průřez nad podporou (2B)

| | | | | | | |
|--------------------------------------|--------|-----------------|----------|----|--------------------|-----------------------|
| M _{ek} = | -2075 | kNm | | | | |
| Počet profilů | 90 | ks | | | | těžiště |
| Průměr profilů | 14 | mm | řada 1 | 6 | 37 | mm |
| k _a = | 140,0 | MPa | řada 2 | 6 | 100 | mm |
| k _{bd} = | 13,2 | MPa | řada 3 | 6 | 163 | mm |
| Výška průřezu h = | 1400 | mm | suma | 18 | 100 | mm |
| Šířka průřezu b _T = | 500 | mm | | | | |
| Efekt. š. průřezu b _{eff} = | 2900 | mm | | | d ₀ | 200 mm |
| Krytí výztuže c = | 30 | mm | | | > 0,1d | 140 mm OK |
| Počet řad = | 3 | - | | | b _{eff} | 2900 mm |
| Vzdálenost výztuže = | 63 | mm | | | < 2,9 | 2900 mm OK |
| příčná = | 97 | mm | | | < 1/3ld | 5650 mm OK |
| t _{min} = max(D;30mm) = | 30 | mm | Vyhovuje | | | |
| A _a = | 13854 | mm ² | | | z _b = | 1170 mm |
| d ₁ = | 100 | mm | | | A _{a,h} = | 12669 mm ² |
| d = | 1300,0 | mm | | | potřeba | 82 ks |
| x = | 704 | mm | | | | |
| z = | 1065 | mm | | | | |

| | | | | |
|------------------------|----------|-------|------------------------|----------------------|
| $\sigma_a = 140,0$ Mpa | Vyhovuje | 100 % | $\sigma_a = 140,0$ Mpa | výztuž na mezi kluzu |
| $\sigma_b = 11,0$ Mpa | Vyhovuje | 83 % | $\sigma_b = 11,0$ Mpa | Vyhovuje 83 % |

Tabulka 14 Stanovení množství ohybové výztuže v řezu 2B

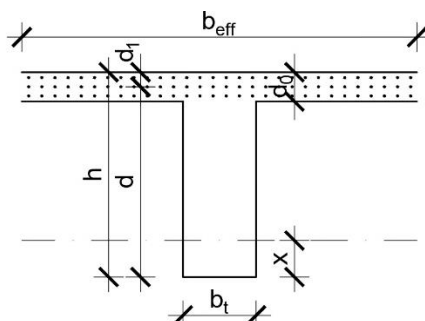
Z výpočtu vyplývá, že slabším prvkem konstrukce je výztuž a pokud je na mezi kluzu, maximální využití betonu je 83%. V průřezu 2B bylo navrženo celkem 90 profilů po 30 kusech ve 3 řadách o celkové ploše 13854 mm². Vzhledem ke zjištěnému vyztužení při diagnostice konstrukce se předpokládá reálná přítomnost počtu navržené výztuže.

5.1.3.10 Stanovení momentové únosnosti průřezu 2B – dle ČSN 73 6222

Výpočet je proveden v tabulkovém editoru excel

Z výpočtu – výztuž \varnothing 14 mm ve třech řadách, 90 ks, krytí 30 mm

Uvažovaná třída výztuže C37



Obrázek 84 Průřez nad podporou (2B)

| | | | | | | |
|------------------------------------|-------|-------------------|--------|-------------|---------|----------|
| $M_{Ed} =$ | -2676 | kNm | | | | |
| Počet profilů | 90 | ks | | ks | těžiště | |
| Průměr profilů | 14 | mm | řada 1 | 30 | 37 | mm |
| třmínky | 10 | mm | řada 2 | 30 | 100 | mm |
| $f_{yd} =$ | 180,0 | MPa | řada 3 | 30 | 163 | mm |
| $f_{ck} =$ | 44,2 | MPa | suma | 90 | 100 | mm |
| $f_{cd} =$ | 25,0 | MPa | | | | |
| Výška průřezu $h =$ | 1400 | mm | | $d_0 =$ | 200 | mm |
| Šířka průřezu $b_T =$ | 500 | mm | | $b_{eff} =$ | 2900 | mm |
| Efekt. š. průřezu $b_{eff} =$ | 2900 | mm | | | | |
| Krytí výztuže $c =$ | 30 | mm | | | | |
| Počet řad = | 3 | - | | | | |
| Vzdálenost výztuže = | 63 | mm | | | | |
| příčná = | 97 | mm | | | | |
| $t_{min} = \max(D; 30\text{mm}) =$ | 30 | mm | | | | Vyhovuje |
| $A_a =$ | 13854 | mm ² | | | | |
| $d =$ | 1300 | mm | | | | |
| $x =$ | 249 | mm | | | | |
| $\epsilon_s =$ | 0,148 | $\geq f_{yd}/E_s$ | | | | Vyhovuje |
| $\xi = x/d =$ | 0,19 | $\leq 0,45$ | | | | Vyhovuje |
| $z =$ | 1200 | mm | | | | |

$M_{Rd} =$ 2993,6 kNm

Tabulka 15 Výpočet M_{Rd} v řezu 2B

5.1.3.11 Stanovení smykové únosnosti průřezu 3B u podpory – dle ČSN 73 6222

Výpočet je proveden v tabulkovém editoru excel

Diagnostika – třmínky čtyřstřížné Ø 10 mm, rozteče u podpory 100 mm

Uvažovaná třída výztuže C37

| Rozměry průřezu | | Smyková výztuž – materiál | | Beton | |
|------------------|---------------------|---------------------------|-----------|-------------------|----------|
| h = | 1,400 m | f _{ywk} = | 207,0 MPa | f _{ck} = | 32,0 MPa |
| b _w = | 0,500 m | γ _s = | 1,15 - | γ _c = | 1,5 - |
| A _c = | 0,70 m ² | f _{ywd} = | 180,0 MPa | α _{cc} = | 0,9 - |
| | | | | f _{cd} = | 18,1 MPa |

| Ohybová výztuž | | Smyková výztuž | | Ohyby | |
|----------------|--------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| c = | 0,03 m | A _{sw,1} = | 79 mm ² | A _{sw,1} = | 804 mm ² |
| Ø = | 14 mm | Ø = | 10 mm | Ø = | 32 mm |
| n = | 15 ks | s = | 100 mm | n = | 2 ks |
| d = | 1,30 m | střížnost | 4 - | s = | 2,00 m |
| z = | 1,07 m | | | α = | 45,00 ° |
| | | | | cotgα = | 1,0 |

Sklon tlačných diagonál

$$\cotg\Phi = 1,5 -$$

Únosnost ve smyku bez smykové výztuže

| | | | | |
|----------------------------|--------------------|----------|---------------------------|-----------------|
| součinitel tl. prvku | k = | 1,39 - | V _{Rd,c} = | 244,2 kN |
| součinitel tl. prvku | k ₁ = | 0,15 - | V _{Rd,c,min} = | 211,4 kN |
| stupěň vyztužení ohyb. v. | ρ = | 0,0036 - | | |
| prům. napětí od předpětí | σ _{cp} = | 0,00 MPa | V_{Rd,c} = | 244,2 kN |
| redukční součinitel betonu | V _{min} = | 0,33 - | | |

$$V_{Rd,c} = 244,2 \text{ kN} < V_{Ed} = 620,8 \text{ kN}$$

Nutná smyková výztuž

Únosnost tlačné diagonály

| | | | | |
|------------------------------|-------------------|----------|-----------------------------|------------------|
| redukční součinitel betonu | v ₁ = | 0,52 - | | |
| prům. napětí od předpětí | σ _{cp} = | 0,00 MPa | | |
| součinitel napětí v tl. pásu | α _{cw} = | 1,00 - | V_{Rd,max} = | 2332,5 kN |

$$V_{Rd,max} = 2332,5 \text{ kN} > V_{Ed} = 620,8 \text{ kN}$$

OK

Únosnost smykové výztuže

| | | | | | |
|---------------------------|---------------------------|-----------------------|--|--------------------|----------------------|
| plocha smykové výztuže | A _{sw} = | 314,2 mm ² | Ohyby | A _{sw} = | 1608 mm ² |
| stupěň vyztužení smyk. v. | ρ _{w,s} = | 0,0063 - | | ρ _{w,s} = | 0,0322 - |
| min. stupěň vyztužení | ρ _{min} = | 0,0022 - | V _{Rd,s} = A _{sw} * z * f _{y,wd} * (cotgΦ + cotgα) * sinα / s | | |
| 903,7 | V_{Rd,s} = | 978,2 kN | V_{Rd,s} = | 272,6 kN | |

$$\rho_{w,s} = 0,0063 - > \rho_{min} = 0,0022 -$$

OK

Celková únosnost prvku na smyk

$$V_{Rd,s} = 1176,3 \text{ kN} > V_{Ed} = 620,8 \text{ kN}$$

OK

Tabulka 16 Výpočet V_{Rd} v řezu 3B

5.1.4 Výpočet zatížitelnosti trámů

Obecné rovnice pro výpočet zatížitelnosti rozhodují-li ohybové momenty. Pro posouvající síly je výpočet proveden obdobně.

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

$$M_{Ed,a} = \Sigma \gamma_{G,j} \cdot M_{Gk,j} + \gamma_{Q,1} \cdot \Psi_{0,1} \cdot M_{Qk,1} + \Sigma \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot M_{Qk,i} \quad (6.10a)$$

$$M_{Ed,b} = \Sigma \xi_j \cdot \gamma_{G,j} \cdot M_{Gk,j} + \gamma_{Q,1} \cdot M_{Qk,1} + \Sigma \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot M_{Qk,i} \quad (6.10b)$$

$$M_{V_{k,c,a}} = \frac{M_{Rd} - \Sigma \gamma_{G,j} \cdot M_{Gk,j} - \Sigma \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot M_{Qk,i}}{\gamma_{Q,1} \cdot \Psi_{0,1}} \quad (6.10a)$$

$$M_{V_{k,c,b}} = \frac{M_{Rd} - \Sigma \xi_j \cdot \gamma_{G,j} \cdot M_{Gk,j} - \Sigma \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot M_{Qk,i}}{\gamma_{Q,1}} \quad (6.10b)$$

Normální zatížitelnost

$$M_{v_{k,c,n}} = \delta \cdot M_{v_{k,c,n}} \cdot v_n$$

$$V_a = 100 \cdot v_n$$

$$V_{nw} = \frac{4}{3} \cdot V_a$$

Výhradní zatížitelnost

$$M_{v_{k,c,r}} = \delta \cdot M_{v_{k,c,r}} \cdot V_{rw}$$

$$V_r = V_{rw}$$

Výhradní zatížitelnost

$$M_{v_{k,c,e}} = \delta \cdot M_{v_{k,c,e}} \cdot V_{ew}$$

$$V_e = V_{ew}$$

Použité značky a symboly

$\gamma_{G,j}$ součinitel j-tého stálého zatížení

$\gamma_{Q,1}$ součinitel uvažovaného proměnného zatížení dopravou pro stanovení zatížitelnosti mostu

$\gamma_{Q,i}$ součinitel i-tého proměnného zatížení

$M_{Gk,j}$ charakteristická hodnota ohybového momentu od j-tého stálého zatížení

$M_{Qk,1}$ charakteristická hodnota ohybového momentu od proměnného zatížení dopravou včetně vlivu dynamických účinků

$M_{Qk,i}$ charakteristická hodnota ohybového momentu od i-tého vedlejšího proměnného zatížení

$\Psi_{0,1}$ součinitel kombinace pro stanovení zatížitelnosti

$\Psi_{0,i}$ součinitel kombinace pro i-té vedlejší proměnné zatížení

ξ redukční součinitel pro stálá zatížení

δ dynamický součinitel

V_n zatížitelnost normální

V_r zatížitelnost výhradní

V_e zatížitelnost výjimečná

V_{aj} zatížitelnost na jednu nápravu

5.1.4.1 Zatížitelnost trámů v krajních polích

Výpočet uveden pro rozhodující trám. Únosnost průřezů byla pro zatížitelnost snížena o 5 % kvůli úbytku výztuže korozí.

| | | Řez | Vlastní tíha | Ostatní stálé | Teplota | Chodníky | Plošné | 3NV | 6NV | 9NV | R _d | δ * M _Q |
|-------|------------------|-----|--------------|---------------|---------|----------|--------|-----|-------|-------|----------------|--------------------|
| 6.10a | M _{max} | 1A | 679 | 479 | 26 | 91 | 44 | 64 | 0,420 | 0,340 | 1928 | 337 |
| | M _{min} | 2A | 931 | 727 | 93 | 122 | 70 | 13 | 0,060 | 0,060 | 3081 | 750 |
| | V | 2A | 297 | 238 | 23 | 41 | 21 | 27 | 0,210 | 0,170 | 1138 | 390 |
| 6.10b | M _{max} | 1A | 679 | 479 | 26 | 91 | 44 | 64 | 0,420 | 0,340 | 1928 | 427 |
| | M _{min} | 2A | 931 | 727 | 93 | 122 | 70 | 13 | 0,060 | 0,060 | 3081 | 811 |
| | V | 2A | 297 | 238 | 23 | 41 | 21 | 27 | 0,210 | 0,170 | 1138 | 373 |

Tabulka 17 Výpočet zatížitelnosti trámů v krajních polích [kN, kNm]

| | | Vn | Vr | Ve |
|-------|------------------|-----------|-----------|-----------|
| 6.10a | M _{max} | 26 | 47 | 94 |
| | M _{min} | 84 | 837 | 1190 |
| | V | 82 | 133 | 219 |
| 6.10b | M _{max} | 35 | 64 | 119 |
| | M _{min} | 92 | 919 | 1287 |
| | V | 78 | 126 | 209 |
| | | 26 | 47 | 94 |

Tabulka 18 Shrnutí zatížitelnosti trámů v krajních polích [t]

5.1.4.2 Zatížitelnost trámů v poli 3 nad obloukem

Výpočet uveden pro rozhodující trám. Únosnost průřezů byla pro zatížitelnost snížena o 5 % kvůli úbytku výztuže korozí.

| | | Řez | Vlastní tíha | Ostatní stálé | Teplota | Chodníky | Plošné | 3NV | 6NV | 9NV | R _d | δ * M _Q |
|-------|------------------|-----|--------------|---------------|---------|----------|--------|-----|-------|-------|----------------|--------------------|
| 6.10a | M _{max} | 1B | 981 | 229 | 414 | 40 | 49 | 140 | 0,650 | 0,560 | 3026 | 1007 |
| | M _{min} | 2B | 1151 | 444 | 128 | 85 | 64 | 66 | 0,330 | 0,320 | 2844 | 569 |
| | V | 3B | 191 | 121 | 82 | 24 | 14 | 13 | 0,070 | 0,060 | 1117 | 615 |
| 6.10b | M _{max} | 1B | 981 | 229 | 414 | 40 | 49 | 140 | 0,650 | 0,560 | 3026 | 937 |
| | M _{min} | 2B | 1151 | 444 | 128 | 85 | 64 | 66 | 0,330 | 0,320 | 2844 | 666 |
| | V | 3B | 191 | 121 | 82 | 24 | 14 | 13 | 0,070 | 0,060 | 1117 | 508 |

Tabulka 19 Výpočet zatížitelnosti trámů poli nad obloukem [kN, kNm]

| | | Vn | Vr | Ve |
|-------|------------------|-----------|------------|------------|
| 6.10a | M _{max} | 57 | 119 | 171 |
| | M _{min} | 41 | 117 | 169 |
| | V | 245 | 676 | 977 |
| 6.10b | M _{max} | 53 | 110 | 159 |
| | M _{min} | 50 | 141 | 198 |
| | V | 201 | 554 | 807 |
| | | 41 | 110 | 159 |

Tabulka 20 Shrnutí zatížitelnosti trámů v poli nad obloukem [t]

5.2 ZATÍŽITELNOST DESKY MOSTOVKY

5.2.1 Vnitřní síly

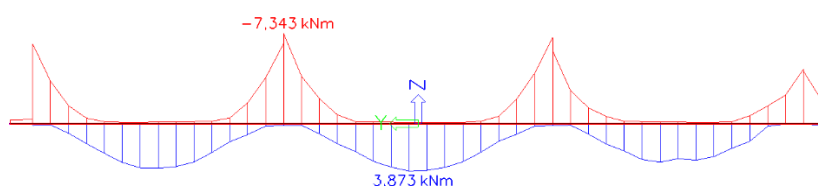
Vnitřní síly jsou spočteny v programu SCIA Engineer na 3D deskostěnovém modelu.

Pro zatížitelnost desky je zjednodušeně uvažováno pouze kolové zatížení, protože vliv zatížení rovnoměrného je pro tento případ příčného uspořádání konstrukce minimální.

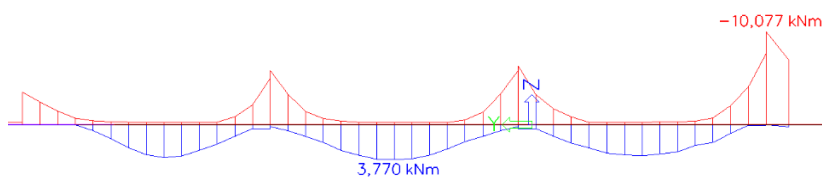
Model je zatížen pojezdy v příčném směru příslušnými vozidly, pro vyvolání co nejnepříznivějších účinků na desku mostovky.

Uvedeny jsou charakteristické hodnoty účinků zatížení v rozhodujících řezech.

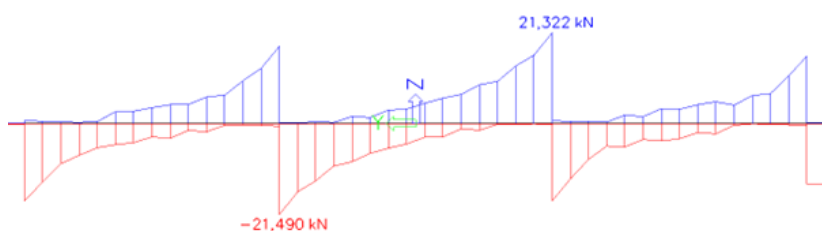
5.2.1.1 Normální zatížitelnost



Obrázek 85 M_{max} obálka – Normální zatížitelnost

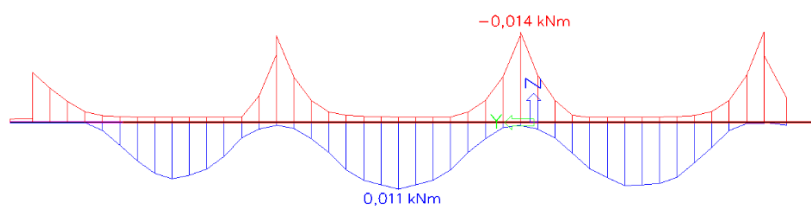


Obrázek 86 M_{min} obálka – Normální zatížitelnost

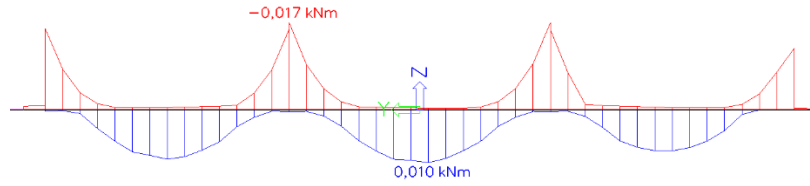


Obrázek 87 V_z obálka – Normální zatížitelnost

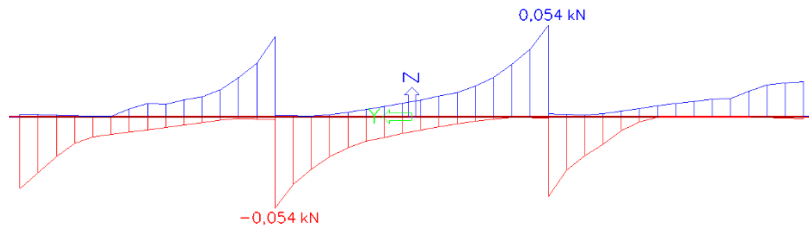
5.2.1.2 Výhradní zatížitelnost



Obrázek 88 M_{max} obálka – Výhradní zatížitelnost

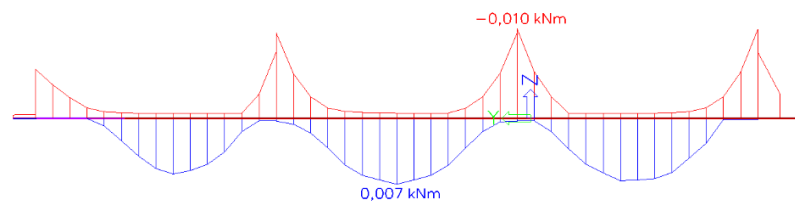


Obrázek 89 M_{min} obálka – Výhradní zatížitelnost

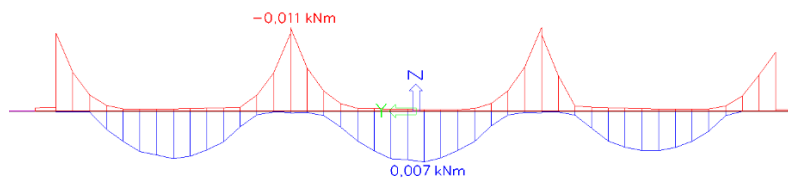


Obrázek 90 V_z obálka – Výhradní zatížitelnost

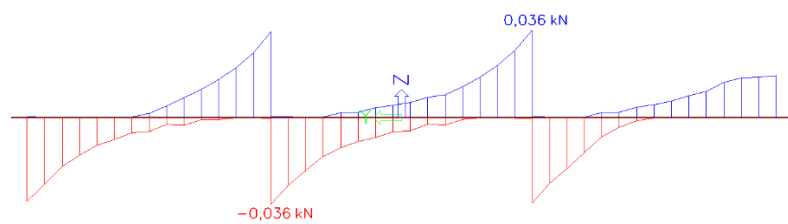
5.2.1.3 Výjimečná zatížitelnost



Obrázek 91 M_{max} obálka – Výjimečná zatížitelnost



Obrázek 92 M_{min} obálka – Výjimečná zatížitelnost

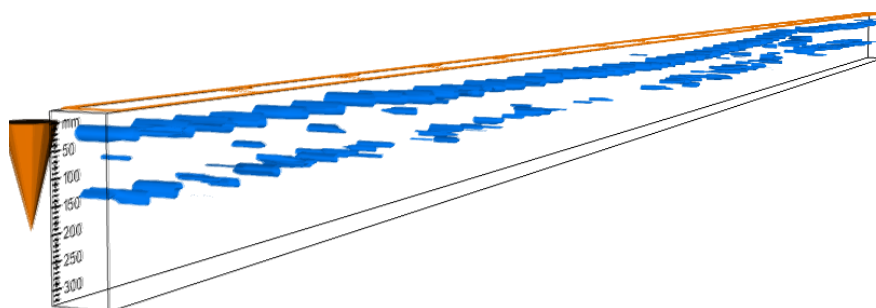


Obrázek 93 V_z obálka – Výjimečná zatížitelnost

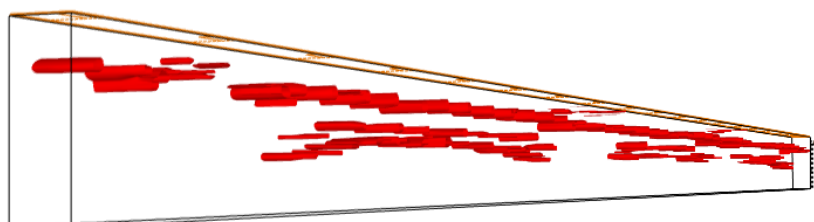
5.2.2 Stanovení vyztužení a únosnosti průřezu

Na základě průzkumu je uvažována výztuž průměru 14 mm v obou směrech desky při horním i dolním povrchu. Příčný směr je vyztužen ve dvou vrstvách a nad stojkou jsou ještě pruty přidavné. V podélném směru jsou mezi trámy tři vrstvy výztuže. Při spodním povrchu desky mezi trámy má podélná výztuž rozteč 200 mm a příčná 100 mm. Horní příčná výztuž mezi trámy má rozteč 150 mm a nad trámy je dvojnásobná. V podélném směru rozteče horní výztuže velmi kolísají.

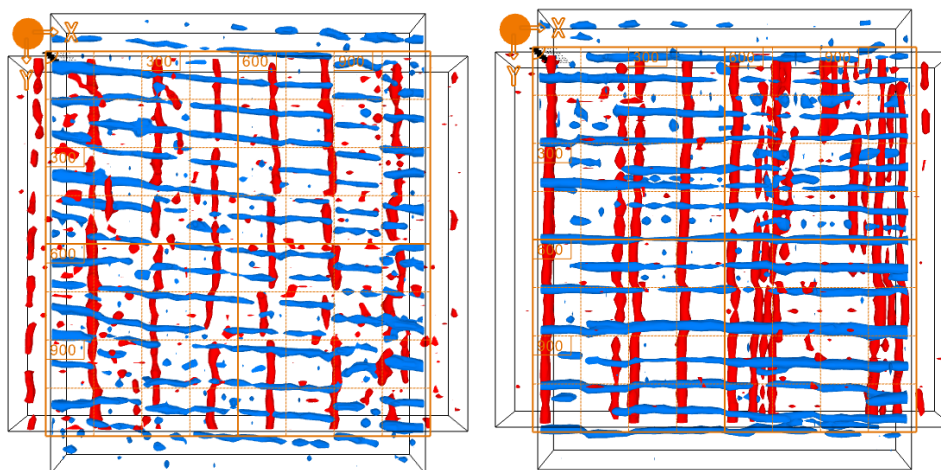
Na schématech z diagnostiky je podélná výztuž ve směru osy mostu vyznačena červeně a příčná modře.



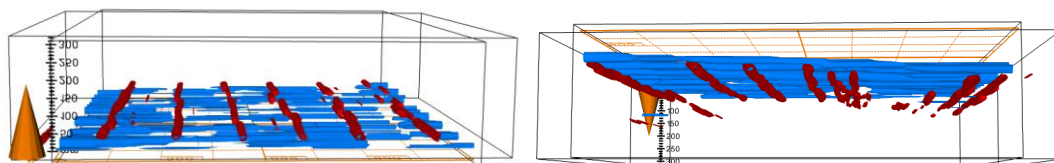
Obrázek 94 Svislý podélný řez mostovkou – diagnostika



Obrázek 95 Svislý příčný řez mostovkou – diagnostika



Obrázek 96 Rozložení spodní vrstvy výztuže vlevo a horní vrstvy vpravo – diagnostika



Obrázek 97 Svislý řez spodní vrstvou výztuže vlevo a horní vrstvou vpravo – diagnostika

5.2.2.1 Stanovení ohybové únosnosti střed desky– dle ČSN 73 6222

Výpočet je proveden v tabulkovém editoru excel

Betonářská výztuž – návrh

| | | | | | |
|---------------|-----|----|-------|----|----|
| $\emptyset =$ | 14 | mm | $c =$ | 20 | mm |
| $s =$ | 100 | mm | | | |

Beton

| | | |
|--------------|------|-----|
| $h =$ | 0,2 | m |
| $b =$ | 1,0 | m |
| $f_{ck} =$ | 44,2 | Mpa |
| $\gamma_c =$ | 1,5 | - |
| $f_{cd} =$ | 29,5 | Mpa |

Betonářská výztuž

| | | |
|--------------|------|-----------------|
| $k_s =$ | 10 | |
| $A_s =$ | 1539 | mm ² |
| $f_{yk} =$ | 207 | Mpa |
| $\gamma_s =$ | 1,15 | - |
| $f_{yd} =$ | 180 | Mpa |

| | | |
|---------|-------|----|
| $F_s =$ | 277,1 | kN |
| $x =$ | 0,012 | m |
| $d =$ | 0,173 | m |
| $\xi =$ | 0,068 | < |
| $z =$ | 0,168 | m |

$$\xi_{bal,1} = 0,45 \quad \text{OK}$$

$$M_{Rd} = 46,6 \quad \text{kNm}$$

Tabulka 21 Stanovení M_{Rd} desky – střed

5.2.2.2 Stanovení ohybové únosnosti líc desky – dle ČSN 73 6222

Výpočet je proveden v tabulkovém editoru excel

Betonářská výztuž – návrh

| | | | | | |
|---------------|----|----|-------|----|----|
| $\emptyset =$ | 14 | mm | $c =$ | 30 | mm |
| $s =$ | 75 | mm | | | |

Beton

| | | |
|--------------|------|-----|
| $h =$ | 0,2 | m |
| $b =$ | 1,0 | m |
| $f_{ck} =$ | 44,2 | Mpa |
| $\gamma_c =$ | 1,5 | - |
| $f_{cd} =$ | 29,5 | Mpa |

Betonářská výztuž

| | | |
|--------------|------|-----------------|
| $k_s =$ | 14 | |
| $A_s =$ | 2155 | mm ² |
| $f_{yk} =$ | 207 | Mpa |
| $\gamma_s =$ | 1,15 | - |
| $f_{yd} =$ | 180 | Mpa |

| | | |
|---------|-------|----|
| $F_s =$ | 387,9 | kN |
| $x =$ | 0,016 | m |
| $d =$ | 0,163 | m |
| $\xi =$ | 0,101 | < |
| $z =$ | 0,156 | m |

$$\xi_{bal,1} = 0,45 \quad \text{OK}$$

$$M_{Rd} = 60,7 \quad \text{kNm}$$

Tabulka 22 Stanovení M_{Rd} desky – líc

5.2.2.3 Stanovení smykové únosnosti – dle ČSN EN 1992-1-1

Výpočet je proveden v tabulkovém editoru excel

| Rozměry průřezu | | | Smyková výztuž – materiál | | Beton | |
|-----------------|-----|---|---------------------------|---------|-----------------|----------|
| h = | 0,2 | m | $f_{yk} =$ | 207 MPa | $f_{ck} =$ | 44,2 MPa |
| $b_w =$ | 1,0 | m | $\gamma_s =$ | 1,15 - | $\gamma_c =$ | 1,5 - |
| | | | $f_{ywd} =$ | 180 MPa | $\alpha_{cc} =$ | 0,85 - |
| | | | | | $f_{cd} =$ | 25,0 MPa |

| Ohybová výztuž | | Smyková výztuž | | Sklon tlačných diagonál | |
|----------------|---------|----------------|-------------------|-------------------------|--------|
| c = | 0,03 m | $A_{sw,1} =$ | 0 mm ² | $\cotg\Phi =$ | 1,25 - |
| $\emptyset =$ | 14 mm | $\emptyset =$ | 0 mm | | |
| n = | 14 ks | s = | 0 mm | | |
| d = | 0,163 m | střížnost | 0 - | | |
| z = | 0,156 m | | | | |

Únosnost ve smyku bez smykové výztuže

| | | | | |
|----------------------------|--------------|-----------|--------------------------------|-----------------|
| | $C_{Rd,c} =$ | 0,12 | | |
| Součinitel tl. prvku | k = | 2,00 - | | |
| Součinitel tl. prvku | $k_1 =$ | 0,15 - | $V_{Rd,c1} =$ | 151,8 kN |
| Stupěň vyztužení ohyb. v. | $\rho_1 =$ | 0,01322 - | $V_{Rd,c,min} =$ | 107,3 kN |
| Redukční součinitel betonu | $v_{min} =$ | 0,66 - | | |
| | | | $V_{Rd,c} =$ | 107,3 kN |

Únosnost tlačných diagonál

| | | | | |
|------------------------------|-----------------|----------|----------------------------------|-----------------|
| Součinitel smyk pevnosti | $v_1 =$ | 0,49 - | | |
| Prům. napětí od předpětí | $\sigma_{cp} =$ | 0,00 MPa | | |
| Součinitel napětí v tl. pásu | $\alpha_{cw} =$ | 1,00 - | $V_{Rd,max} =$ | 943,9 kN |

Tabulka 23 Stanovení V_{Rd} desky

5.2.2.4 Posudek na protlačení desky – dle ČSN EN 1992-1-1

Výpočet je proveden v tabulkovém editoru excel

Posudek je proveden za předpokladu maximální síly na kolo 80 kN a přímého kontaktu kola s deskou mostovky. Hodnota vychází ze stanovené maximální zatížitelnosti desky na nápravu.

| | | | | | |
|-----------------------------|--------------|-------|-----|-----------------------|----------|
| Maximální síla na kolo | $V_{Ed} =$ | 80 | kN | Beton | |
| Strana kola | $a =$ | 0,400 | m | $f_{ck} =$ | 44,2 MPa |
| Délka kontrolovaného obvodu | $u_0 =$ | 1,600 | m | $\gamma_c =$ | 1,5 - |
| Účinná výška výška | $d_x =$ | 0,159 | m | $\alpha_{cc} =$ | 0,85 - |
| ve směru x a y | $d_y =$ | 0,173 | m | $f_{cd} =$ | 25,0 MPa |
| Průměrná účinná výška desky | $d =$ | 0,166 | m | | |
| Délka kontrolovaného obvodu | $u_1 =$ | 3,774 | m | Ohybová výztuž | |
| | $\beta =$ | 1,500 | | $\emptyset =$ | 14 mm |
| Účinky zatížení v | $V_{Ed,0} =$ | 0,452 | MPa | $s_x =$ | 200 mm |
| kontrolovaných obvodech | $V_{Ed,1} =$ | 0,192 | MPa | $s_y =$ | 100 mm |

Únosnost tlačené diagonály

Součinitel smyk pevnosti $v =$ 0,494

$$V_{Rd,max} = 6,186 \text{ MPa} > V_{Ed} = 0,452 \text{ MPa}$$

OK

Únosnost ve smyku bez smykové výztuže

$C_{Rd,c} =$ 0,120

Součinitel tl. prvku $k =$ 2,000 -

Součinitel tl. prvku $k_1 =$ 0,100 -

Výztuž ve směru x $A_{s,x} =$ 770 mm²

Výztuž ve směru y $A_{s,y} =$ 1539 mm²

Stupěň vyztužení ohyb. v. $\rho_1 =$ 0,005 -

Maximální síla na kolo $V_{min} =$ 0,658 MPa

$V_{Rd,c} > V_{Ed,1}$ Vyhovuje

$$V_{Rd,c} = 0,693 \text{ MPa} > V_{min} = 0,658 \text{ MPa}$$

OK

Tabulka 24 Posouzení protlačení desky

Únosnost desky v protlačení nebude oproti únosnosti ve smyku rozhodující pro zatížitelnost.

5.2.3 Výpočet zatížitelnosti desky

Obecné rovnice pro výpočet zatížitelnosti rozhodují-li ohybové momenty. Pro posouvající síly je výpočet proveden obdobně.

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

$$M_{Ed,a} = \gamma_{Q,1} \cdot \Psi_{0,1} \cdot M_{Qk,1} \quad (6.10a)$$

$$M_{Ed,b} = \gamma_{Q,1} \cdot M_{Qk,1} \quad (6.10b)$$

$$M_{V_{k,c,a}} = \frac{M_{Rd}}{\gamma_{Q,1} \cdot \Psi_{0,1}} \quad (6.10a)$$

$$M_{V_{k,c,b}} = \frac{M_{Rd}}{\gamma_{Q,1}} \quad (6.10b)$$

Normální zatížitelnost

$$M_{v_{k,c,n}} = \delta \cdot M_{v_{k,c,n}} \cdot v_n$$

$$V_a = 100 \cdot v_n$$

$$V_{nw} = \frac{4}{3} \cdot V_a$$

Výhradní zatížitelnost

$$M_{v_{k,c,r}} = \delta \cdot M_{v_{k,c,r}} \cdot V_{rw}$$

$$V_r = V_{rw}$$

Výhradní zatížitelnost

$$M_{v_{k,c,e}} = \delta \cdot M_{v_{k,c,e}} \cdot V_{ew}$$

$$V_e = V_{ew}$$

Použité značky a symboly

$\gamma_{Q,1}$ součinitel uvažovaného proměnného zatížení dopravou pro stanovení zatížitelnosti mostu

$M_{Qk,1}$ charakteristická hodnota ohybového momentu od proměnného zatížení dopravou včetně vlivu dynamických účinků

$\Psi_{0,1}$ součinitel kombinace pro stanovení zatížitelnosti

δ dynamický součinitel

V_n zatížitelnost normální

V_r zatížitelnost výhradní

V_e zatížitelnost výjimečná

V_{aj} zatížitelnost na jednu nápravu

Pro výpočet zatížitelnosti lze uvažovat redukci záporných momentů klíci podpory a při posouzení únosnosti tlakové diagonály lze posouvající síly redukovat shodně. Pro posudek smykové výztuže pak lze uvažovat posouvající sílu ve vzdálenosti výšky tlačené oblasti „d“ od podpory. Únosnost průřezů byla pro zatížitelnost snížena o 5 % kvůli úbytku výztuže koroze.

| | | 3NV | 6NV | 9NV | R _d | δ * M _Q |
|-------|------------------|------|-------|-------|----------------|--------------------|
| 6.10a | M _{max} | 3,8 | 0,011 | 0,007 | 44 | 44 |
| | M _{min} | 7,7 | 0,008 | 0,005 | 58 | 57 |
| | V | 17,3 | 0,031 | 0,021 | 102 | 101 |
| 6.10b | M _{max} | 3,8 | 0,011 | 0,007 | 44 | 33 |
| | M _{min} | 7,7 | 0,008 | 0,005 | 58 | 43 |
| | V | 17,3 | 0,031 | 0,021 | 102 | 75 |

Tabulka 25 Výpočet zatížitelnosti desky [kN, kNm]

| | | V _n | V _r | V _e |
|-------|------------------|----------------|----------------|----------------|
| 6.10a | M _{max} | 109 | 318 | 595 |
| | M _{min} | 71 | 569 | 1084 |
| | V | 55 | 260 | 456 |
| 6.10b | M _{max} | 81 | 239 | 446 |
| | M _{min} | 53 | 427 | 813 |
| | V | 42 | 195 | 342 |
| | | 42 | 195 | 342 |

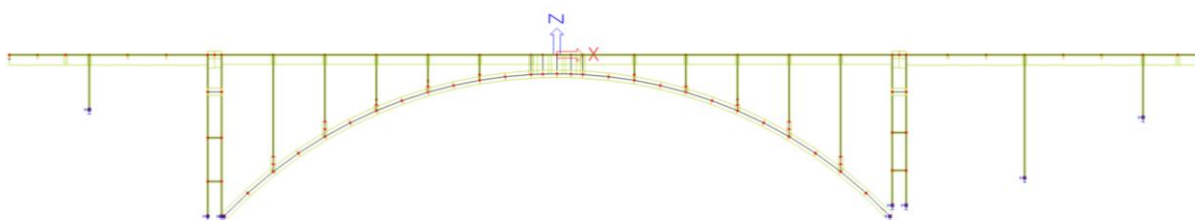
Tabulka 26 Shrnutí zatížitelnosti desky [t]

5.3 ZATÍŽITELNOST OBLOUKOVÝCH PASŮ

5.3.1 Vnitřní síly

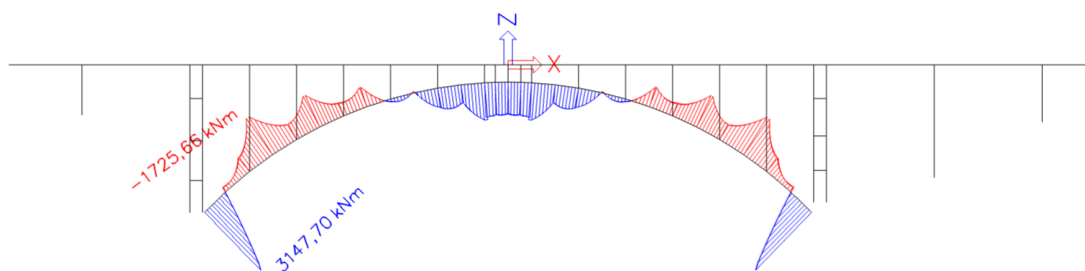
Vnitřní síly jsou spočteny v programu SCIA Engineer na 3D deskostěnovém modelu. Bylo vytvořeno celkem 388 zatěžovacích stavů, které byly zařazeny do výběrových skupin zatížení, do tříd a kombinací.

Uvedeny jsou charakteristické hodnoty účinků zatížení.

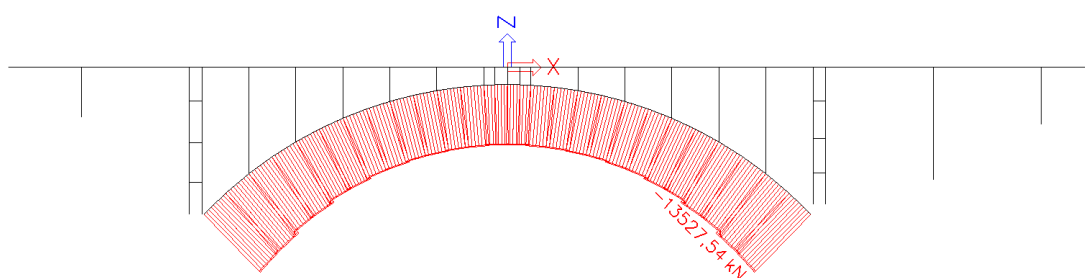


Obrázek 98 Výpočetní model – deskostěnový

5.3.1.1 Vlastní tíha konstrukce

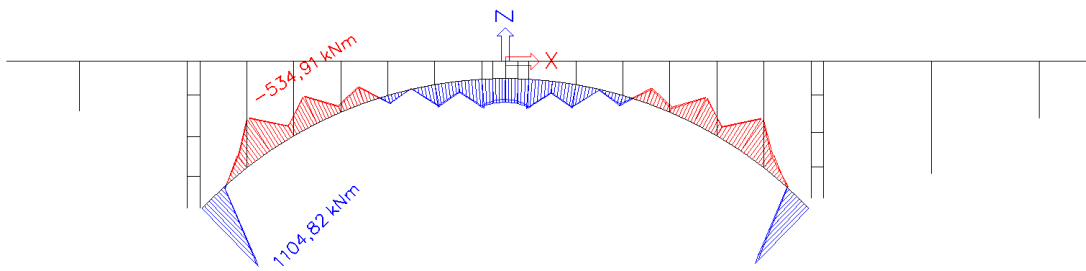


Obrázek 99 My – vlastní tíha

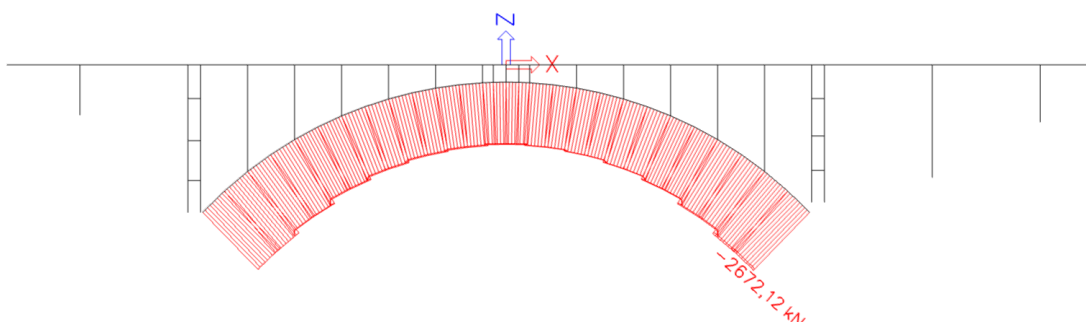


Obrázek 100 N – vlastní tíha

5.3.1.2 Ostatní stálé zatížení

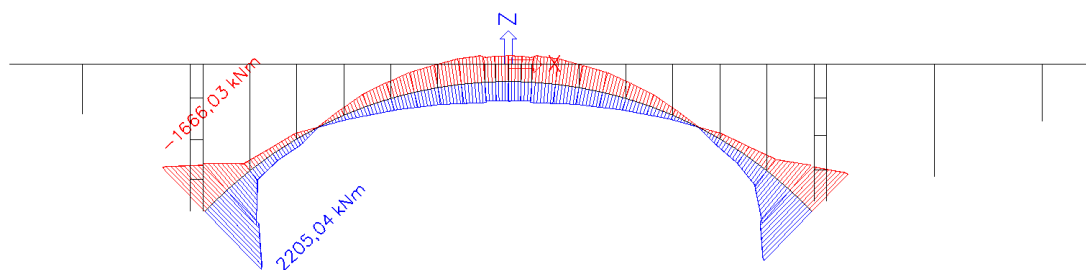


Obrázek 101 My – ostatní stálé

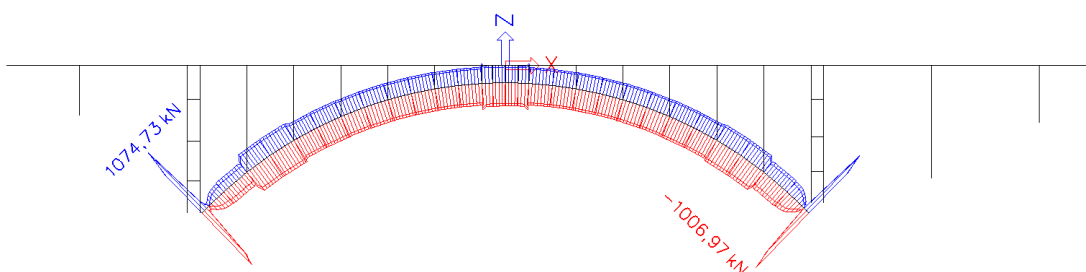


Obrázek 102 N – ostatní stálé

5.3.1.3 Zatížení teplotou

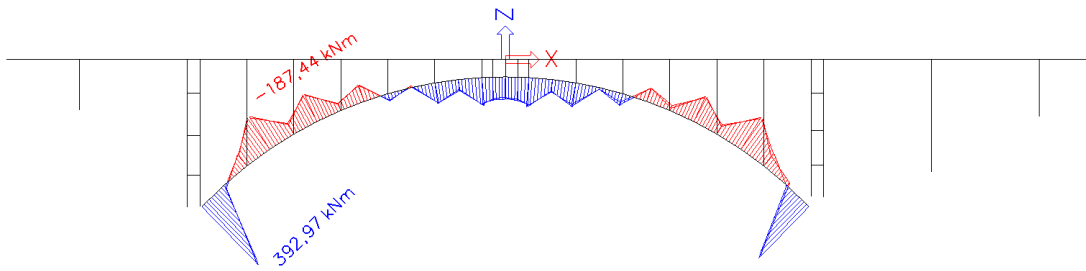


Obrázek 103 My obálka – zatížení teplotou

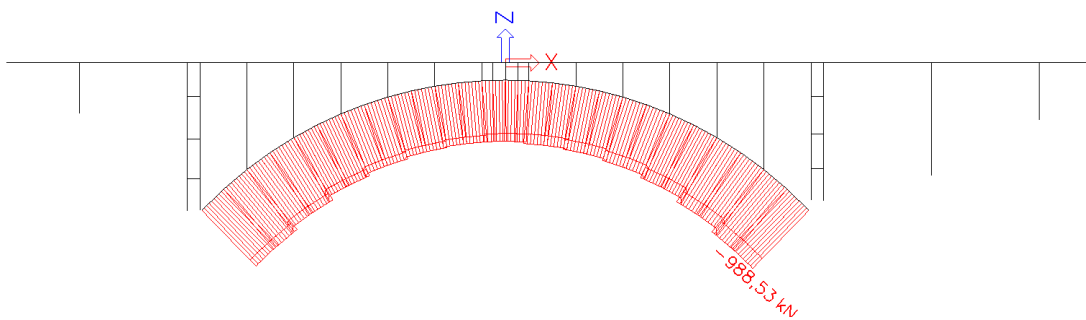


Obrázek 104 N obálka – zatížení teplotou

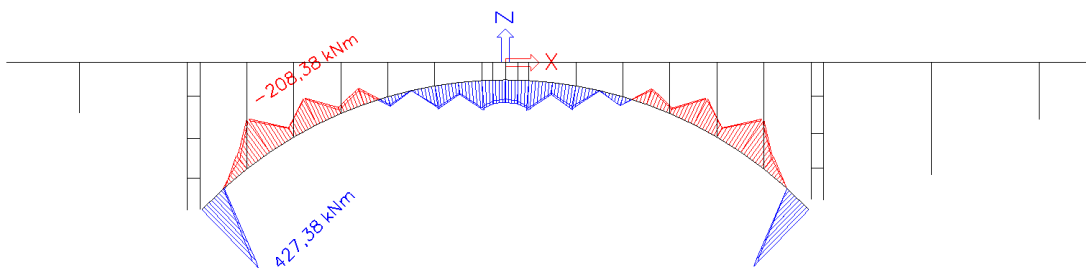
5.3.1.4 Zatížení dopravou dle ČSN 1230:1937



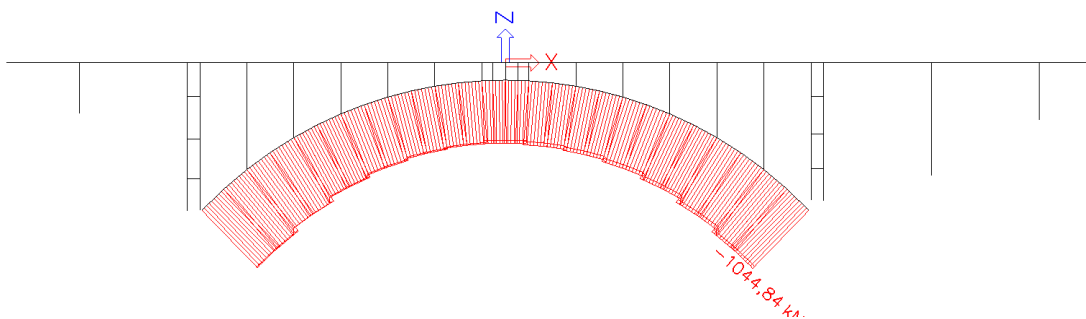
Obrázek 105 My – rovnoměrné zatížení chodníků



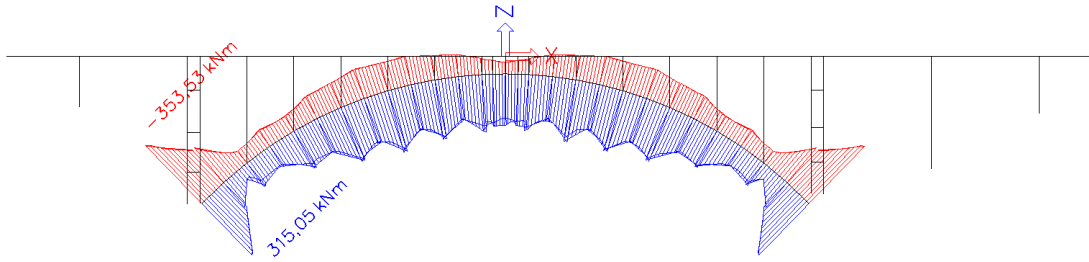
Obrázek 106 N – rovnoměrné zatížení chodníků



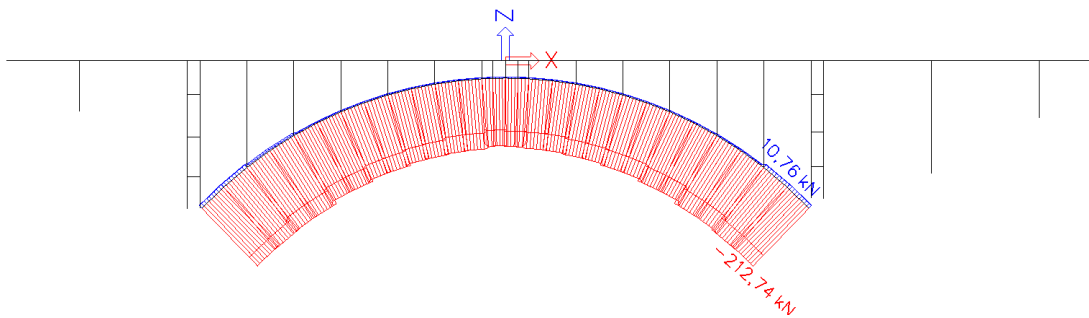
Obrázek 107 My – rovnoměrné zatížení vozovky



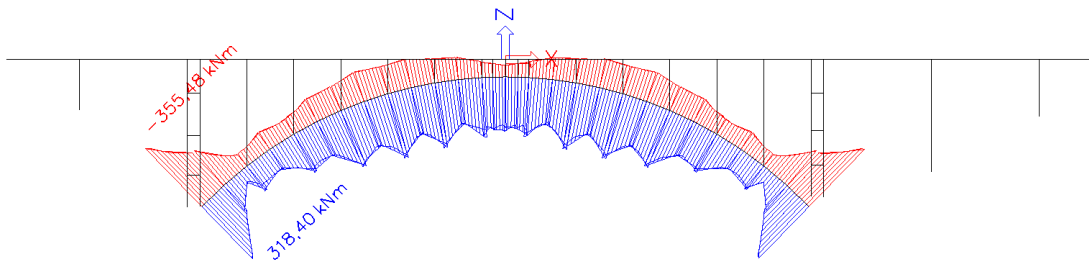
Obrázek 108 N – rovnoměrné zatížení vozovky



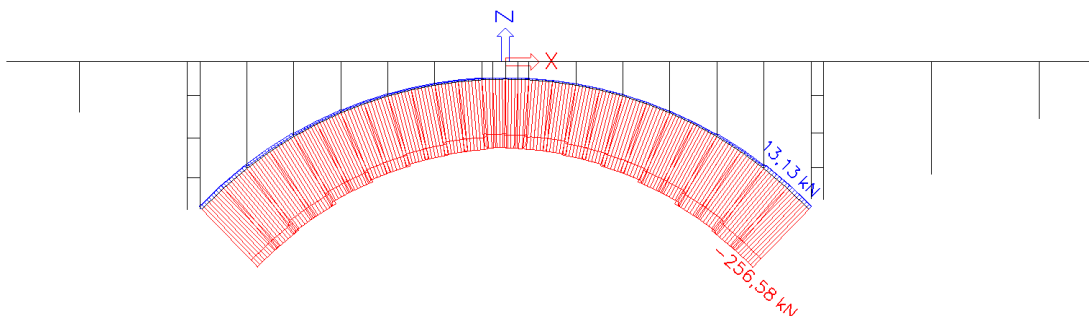
Obrázek 109 My obálka – jeden nákladní automobil v každém jízdním pruhu



Obrázek 110 N obálka – jeden nákladní automobil v každém jízdním pruhu

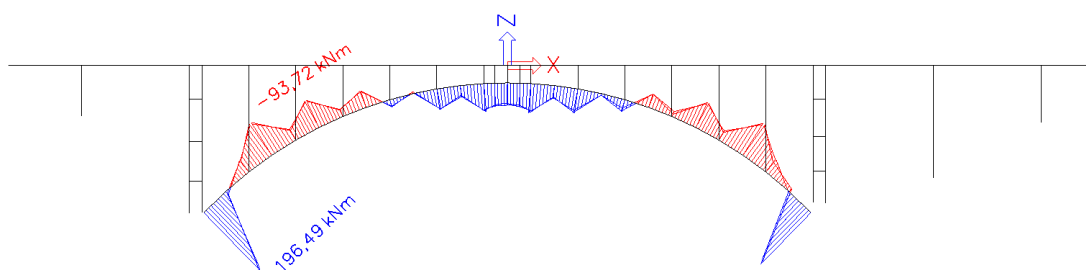


Obrázek 111 My obálka – strojní válec

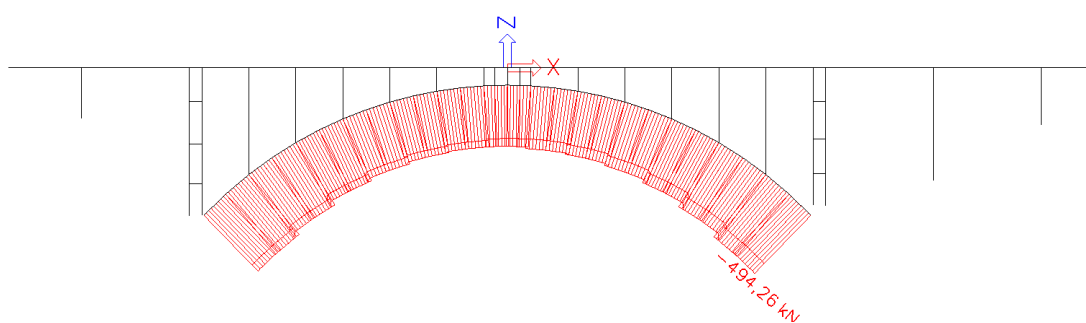


Obrázek 112 N obálka – strojní válec

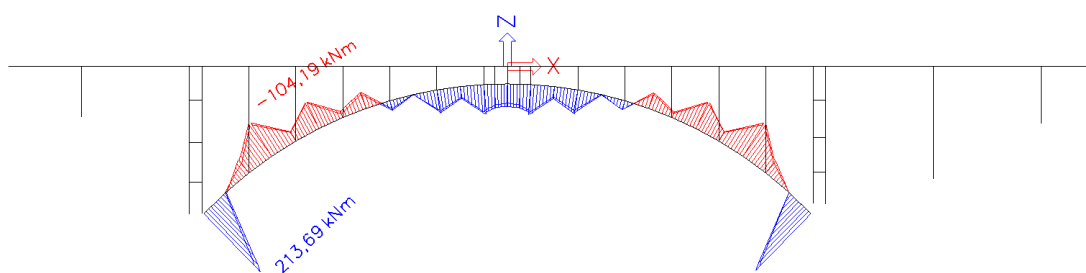
5.3.1.5 Normální zatížitelnost



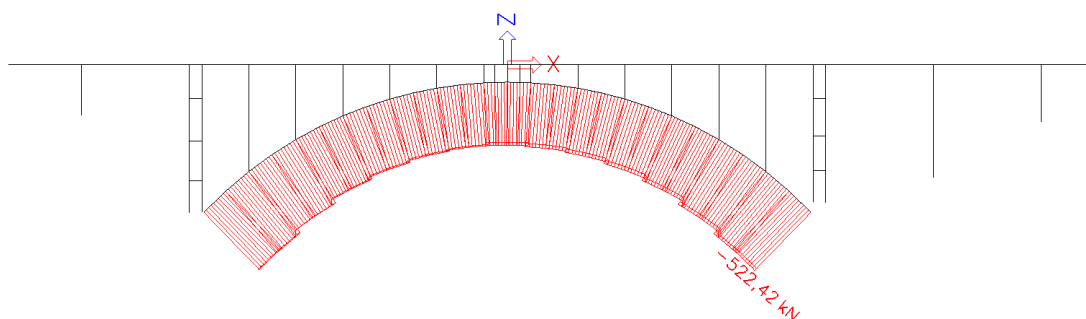
Obrázek 113 My – rovnoměrné zatížení chodníků



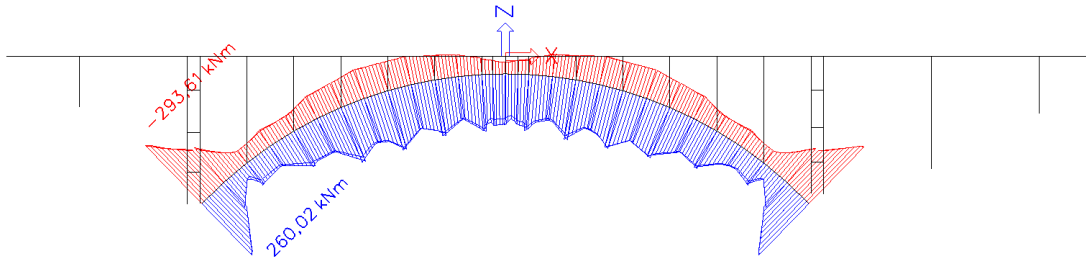
Obrázek 114 N – rovnoměrné zatížení chodníků



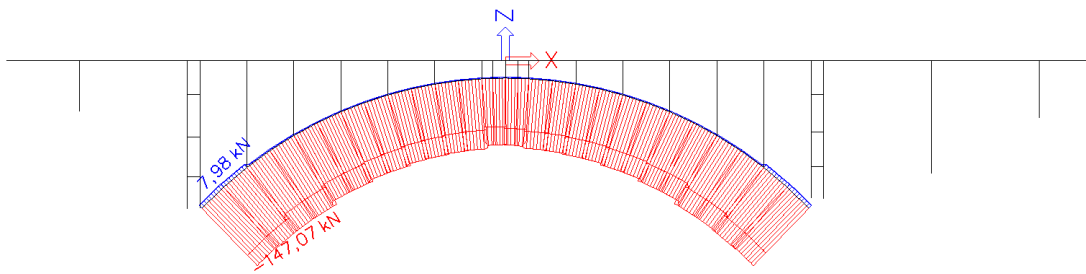
Obrázek 115 My – rovnoměrné zatížení vozovky



Obrázek 116 N – rovnoměrné zatížení vozovky

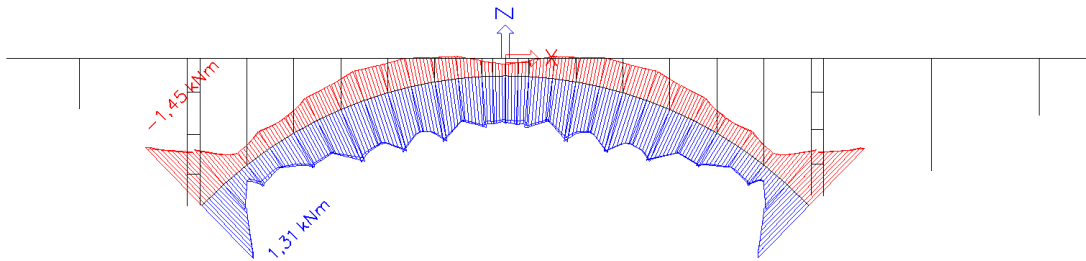


Obrázek 117 My obálka – třínápravové vozidlo

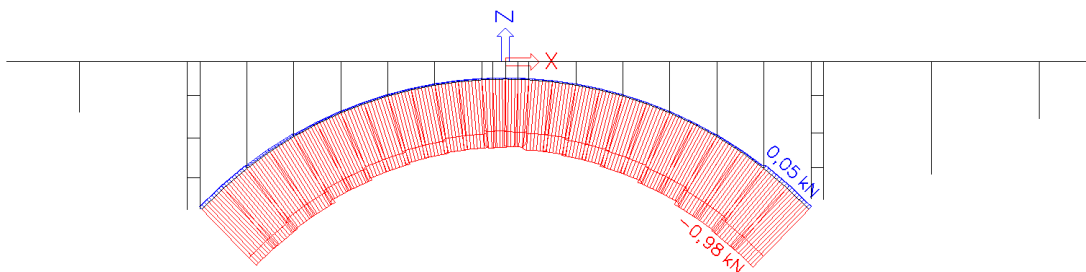


Obrázek 118 N obálka – třínápravové vozidlo

5.3.1.6 Výhradní zatížitelnost

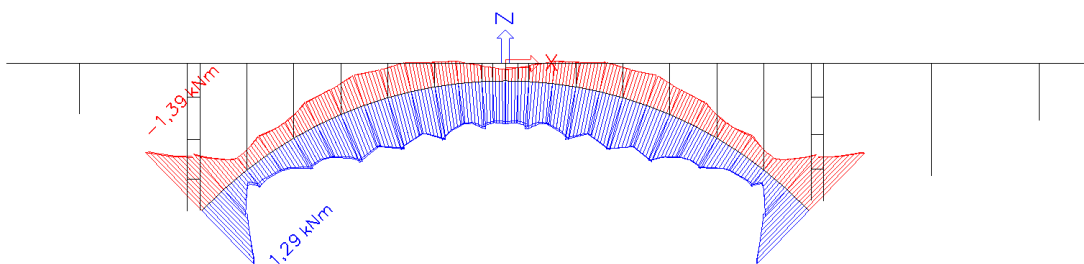


Obrázek 119 My obálka – šestinápravové vozidlo

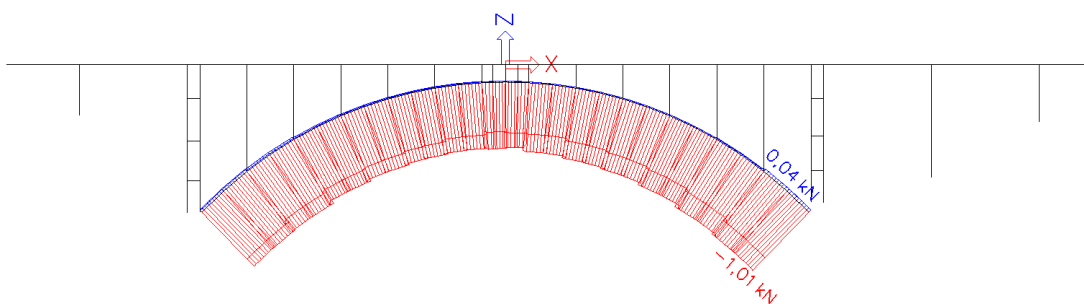


Obrázek 120 N obálka – šestinápravové vozidlo

5.3.1.7 Výjimečná zatížitelnost

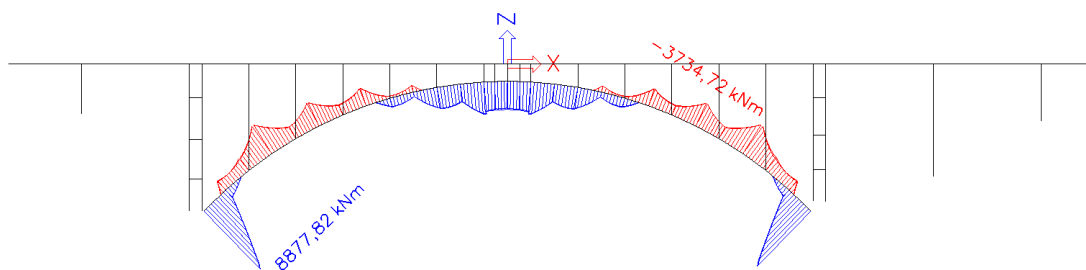


Obrázek 121 M_y obálka – devítinápravové vozidlo

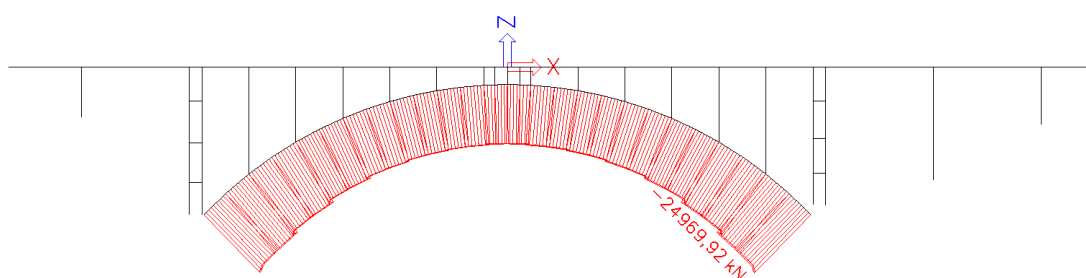


Obrázek 122 N obálka – devítinápravové vozidlo

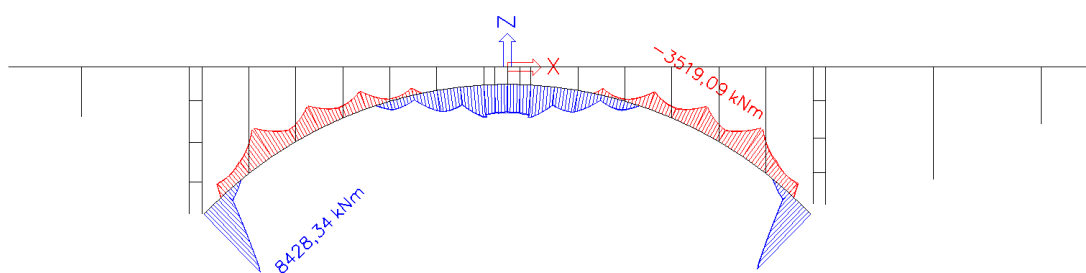
5.3.1.8 Kombinace zatížení dle ČSN 1230:1937



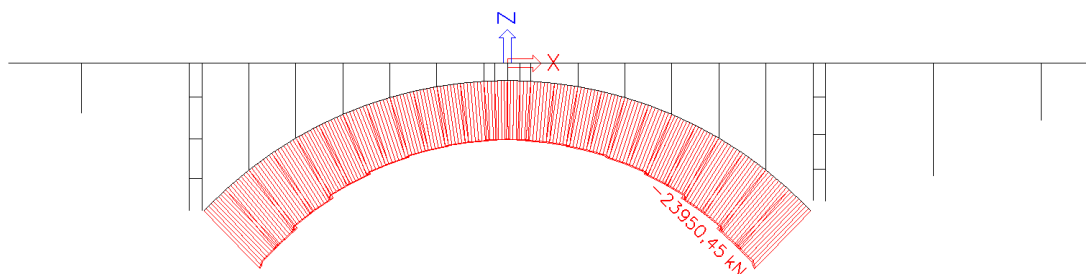
Obrázek 123 My obálka – 6.10a jeden nákladní automobil v každém jízdním pruhu



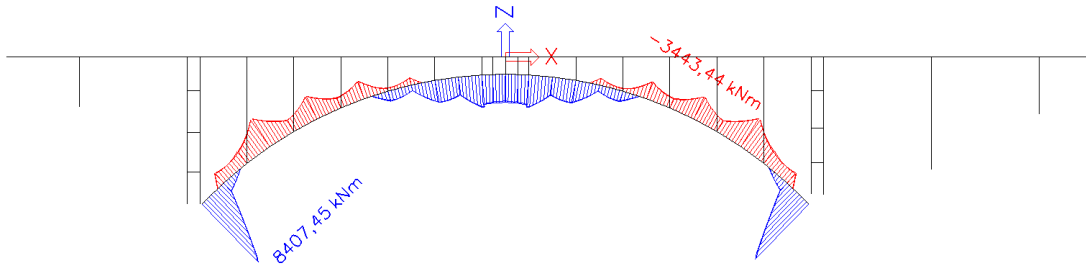
Obrázek 124 N obálka – 6.10a jeden nákladní automobil v každém jízdním pruhu



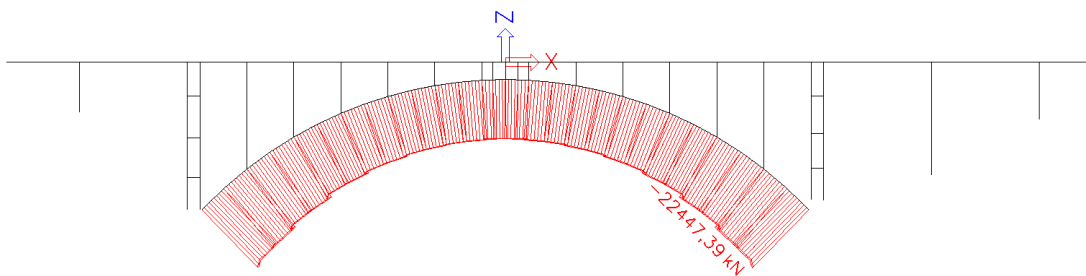
Obrázek 125 My obálka – 6.10a strojní válec



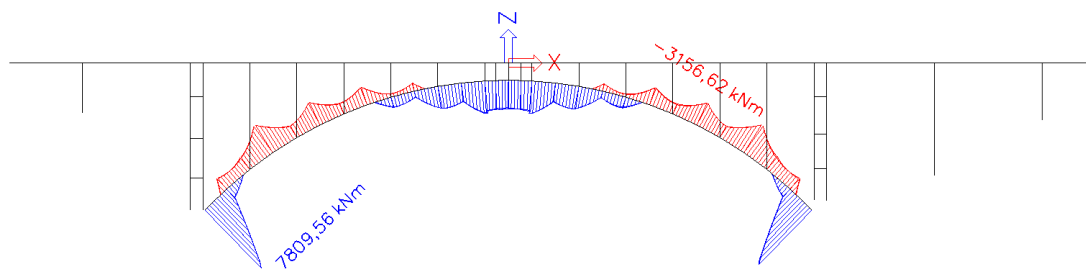
Obrázek 126 N obálka – 6.10a strojní válec



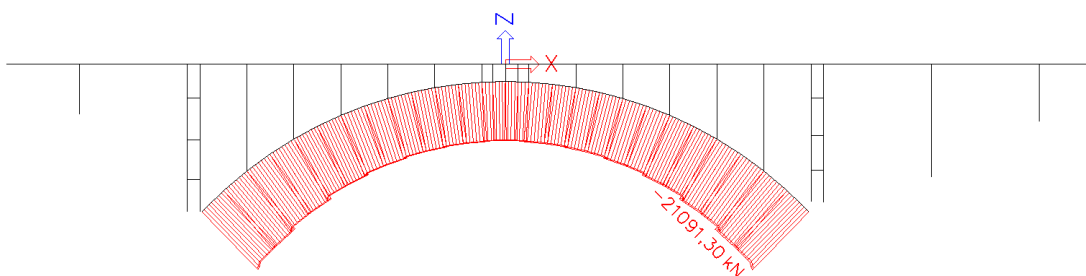
Obrázek 127 My obálka – 6.10b jeden nákladní automobil v každém jízdním pruhu



Obrázek 128 N obálka – 6.10b jeden nákladní automobil v každém jízdním pruhu



Obrázek 129 My obálka – 6.10b strojní válec



Obrázek 130 N obálka – 6.10b strojní válec

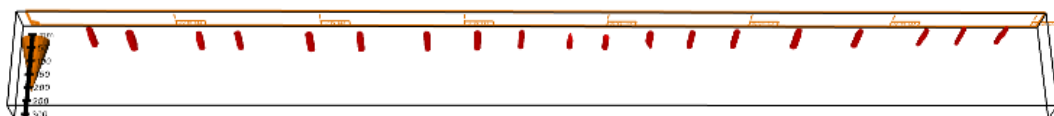
5.3.2 Stanovení vyztužení a únosnosti průřezu

Z průřezu lze určit pouze vyztužení při horním povrchu ve vrcholu oblouku.

V podélném směru je 19 ks vyztuže o průměru 20 mm a v příčném směru vyztuž průměru 14 mm v rozteči 250–300 mm.

Počty a průměry ohybové vyztuže byly odhadnuty na základě staveb podobného typu ze stejného období a zjednodušeně byl průřez posouzen pomocí interakčního diagramu.

Na schématech z diagnostiky je podélná vyztuž ve směru osy mostu vyznačena červeně a příčná modře.



Obrázek 131 Podélná vyztuž ve vrcholu oblouku – diagnostika



Obrázek 132 Příčná vyztuž ve vrcholu oblouku – diagnostika

5.3.2.1 Návrh ohybové výztuže

Za předpokladu dostatečné stability oblouku byl návrh proveden pomocí zjednodušeného bodového interakčního diagramu pro jeden rozhodující obloukový pas o průřezu konstantního rozměru 3,7 m x 1,0 m. Body na okraji ID byly ověřeny v programu Idea StatiCa a maximální využití průřezu je do 75 %.

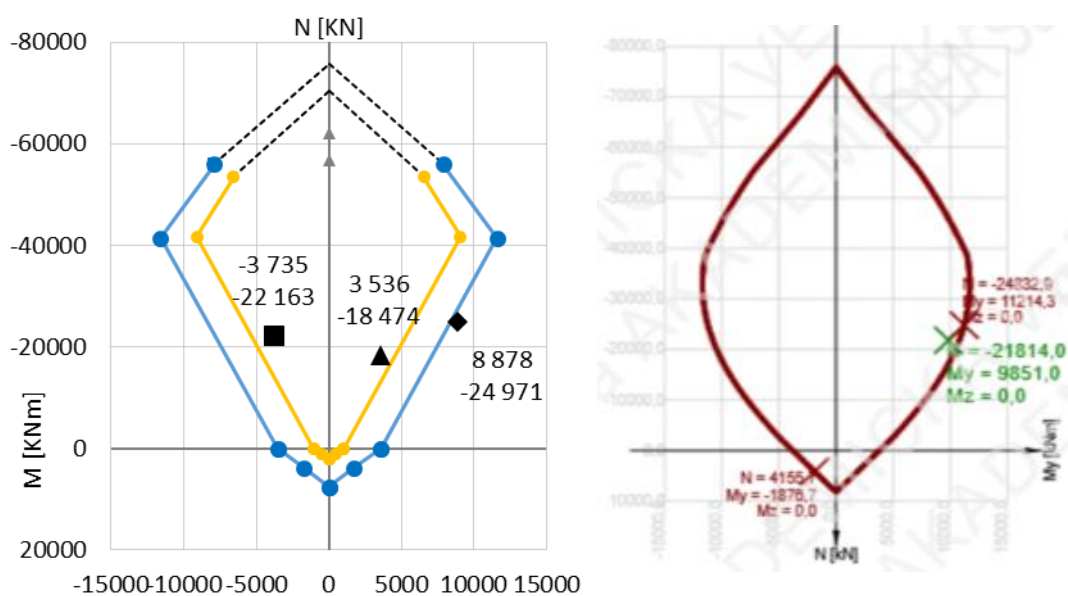
Předpoklad symetricky vyztuženého průřezu.

Řez v patě oblouku 1C u obou povrchů 30 ks profilů 30 mm – $A_s = 21206 \text{ mm}^2$

Řezy oblouku 2C a 3C u obou povrchů 19 ks profilů 20 mm – $A_s = 5969 \text{ mm}^2$

| Řez | M_y | N |
|-----|-------|--------|
| 1C | 8878 | -24971 |
| 2C | -3735 | -22163 |
| 3C | 3536 | -18474 |

Tabulka 27 Rozhodující kombinace vnitřních sil [kNm, kN]



Obrázek 133 ID – vlevo modrý pro řez 1C a žlutý pro řezy 2C a 3C, vpravo 1C – Idea StatiCa

5.3.3 Výpočet zatížitelnosti oblouku

Obecné rovnice pro výpočet zatížitelnosti rozhodují-li ohybové momenty. Pro posouvající síly je výpočet proveden obdobně.

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

$$M_{Ed,a} = \Sigma \gamma_{G,j} \cdot M_{Gk,j} + \gamma_{Q,1} \cdot \Psi_{0,1} \cdot M_{Qk,1} + \Sigma \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot M_{Qk,i} \quad (6.10a)$$

$$M_{Ed,b} = \Sigma \xi_j \cdot \gamma_{G,j} \cdot M_{Gk,j} + \gamma_{Q,1} \cdot M_{Qk,1} + \Sigma \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot M_{Qk,i} \quad (6.10b)$$

$$M_{V_{k,c,a}} = \frac{M_{Rd} - \Sigma \gamma_{G,j} \cdot M_{Gk,j} - \Sigma \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot M_{Qk,i}}{\gamma_{Q,1} \cdot \Psi_{0,1}} \quad (6.10a)$$

$$M_{V_{k,c,b}} = \frac{M_{Rd} - \Sigma \xi_j \cdot \gamma_{G,j} \cdot M_{Gk,j} - \Sigma \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot M_{Qk,i}}{\gamma_{Q,1}} \quad (6.10b)$$

Normální zatížitelnost

$$M_{v_{k,c,n}} = \delta \cdot M_{v_{k,c,n}} \cdot v_n$$

$$V_a = 100 \cdot v_n$$

$$V_{nw} = \frac{4}{3} \cdot V_a$$

Výhradní zatížitelnost

$$M_{v_{k,c,r}} = \delta \cdot M_{v_{k,c,r}} \cdot V_{rw}$$

$$V_r = V_{rw}$$

Výhradní zatížitelnost

$$M_{v_{k,c,e}} = \delta \cdot M_{v_{k,c,e}} \cdot V_{ew}$$

$$V_e = V_{ew}$$

Použité značky a symboly

$\gamma_{G,j}$ součinitel j-tého stálého zatížení

$\gamma_{Q,1}$ součinitel uvažovaného proměnného zatížení dopravou pro stanovení zatížitelnosti mostu

$\gamma_{Q,i}$ součinitel i-tého proměnného zatížení

$M_{Gk,j}$ charakteristická hodnota ohybového momentu od j-tého stálého zatížení

$M_{Qk,1}$ charakteristická hodnota ohybového momentu od proměnného zatížení dopravou včetně vlivu dynamických účinků

$M_{Qk,i}$ charakteristická hodnota ohybového momentu od i-tého vedlejšího proměnného zatížení

$\Psi_{0,1}$ součinitel kombinace pro stanovení zatížitelnosti

$\Psi_{0,i}$ součinitel kombinace pro i-té vedlejší proměnné zatížení

ξ redukční součinitel pro stálá zatížení

δ dynamický součinitel

V_n zatížitelnost normální

V_r zatížitelnost výhradní

V_e zatížitelnost výjimečná

V_{aj} zatížitelnost na jednu nápravu

Pro výpočet zatížitelnosti byl použit zjednodušený bodový interakční diagram a iterace pomocí koeficientu „k“ pro zatížení dopravou. Iterace byla ukončena při dosažení maximální zatížitelnosti rozhodujících prvků mostu v poli 3. Poloha bodů mimo zjednodušený bodový interakční diagram byla ověřena v programu Idea StatiCa a všechny body v něm leží s maximálním využitím průřezu do 75 %.

| Zatížení | 1C | | 2C | | 3C | |
|------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|------------------|
| | N | M _{max} | N | M _{min} | N | M _{max} |
| VI. Tíha | -13 300 | 3 148 | -11 993 | -1 723 | -10 002 | 1 440 |
| Ost. stálé | -2 631 | 1 105 | -2 487 | -535 | -2 076 | 402 |
| Teplota | -1 007 | 2 186 | -333 | -239 | -291 | 554 |
| Chodníky | -423 | 189 | -400 | -90 | -333 | 69 |
| Plošné | -522 | 214 | -493 | -104 | -413 | 79 |
| δ * Vn | -145 | 260 | -147 | -69 | -128 | 206 |
| δ * Vr | -0,98 | 1,31 | -0,97 | -0,37 | -0,85 | 0,91 |
| δ * Ve | -1,01 | 1,29 | -0,99 | -0,36 | -0,86 | 0,82 |

Tabulka 28 Vnitřní síly pro výpočet zatížitelnosti obloukových pasů [kN, kNm]

| 6.10a | Zatížitelnost | koef. k | δ | N _{Ed} | M _{Ed} | V _i |
|-------|---------------|---------|------|-----------------|-----------------|----------------|
| 1C | Normální | 3,15 | 1,30 | -25 606 | 9 864 | 42 |
| | Výhradní | 1 110 | 1,40 | -24 384 | 9 961 | 111 |
| | Výjimečná | 1 600 | 1,05 | -24 131 | 9 903 | 160 |
| 2C | Normální | 3,15 | 1,30 | -22 905 | -4 074 | 42 |
| | Výhradní | 1 110 | 1,40 | -21 779 | -3 936 | 111 |
| | Výjimečná | 1 600 | 1,05 | -21 532 | -3 876 | 160 |
| 3C | Normální | 3,15 | 1,30 | -19 144 | 4 235 | 42 |
| | Výhradní | 1 110 | 1,40 | -18 241 | 4 486 | 111 |
| | Výjimečná | 1 600 | 1,05 | -18 030 | 4 380 | 160 |

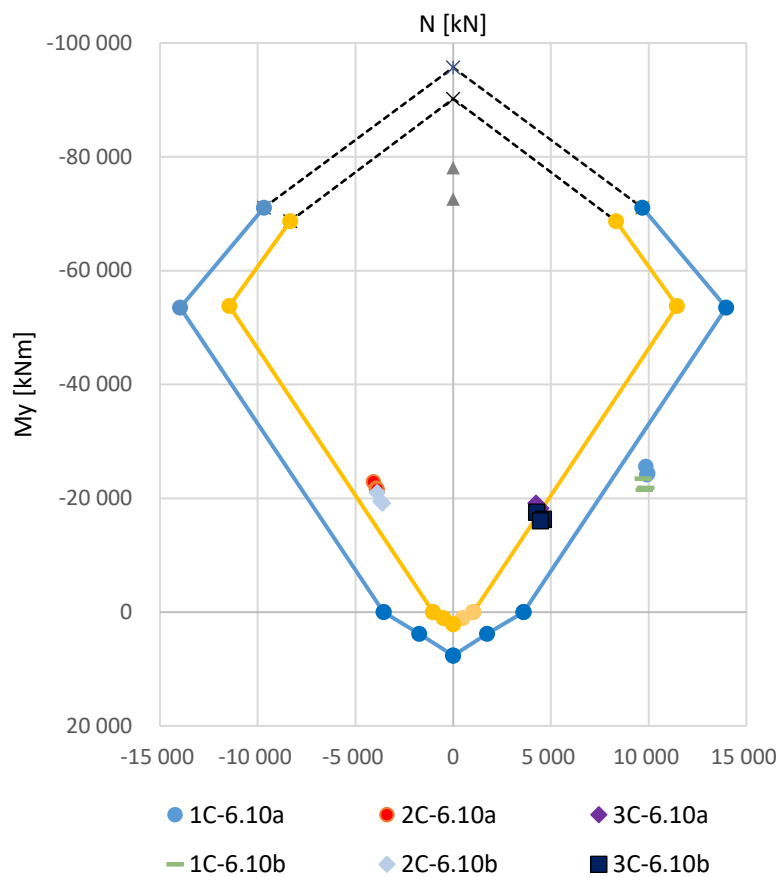
Tabulka 29 Zatížitelnost pro jednotlivé řezy – kombinace 6.10a [kN, kNm, t]

| 6.10b | Zatížitelnost | koef. k | δ | N _{Ed} | M _{Ed} | V _i |
|-------|---------------|---------|------|-----------------|-----------------|----------------|
| 1C | Normální | 3,15 | 1,30 | -23 445 | 9 721 | 42 |
| | Výhradní | 1 110 | 1,40 | -21 814 | 9 851 | 111 |
| | Výjimečná | 1 600 | 1,05 | -21 478 | 9 773 | 160 |
| 2C | Normální | 3,15 | 1,30 | -20 992 | -3 887 | 42 |
| | Výhradní | 1 110 | 1,40 | -19 491 | -3 703 | 111 |
| | Výjimečná | 1 600 | 1,05 | -19 161 | -3 623 | 160 |
| 3C | Normální | 3,15 | 1,30 | -17 557 | 4 279 | 42 |
| | Výhradní | 1 110 | 1,40 | -16 353 | 4 614 | 111 |
| | Výjimečná | 1 600 | 1,05 | -16 072 | 4 472 | 160 |

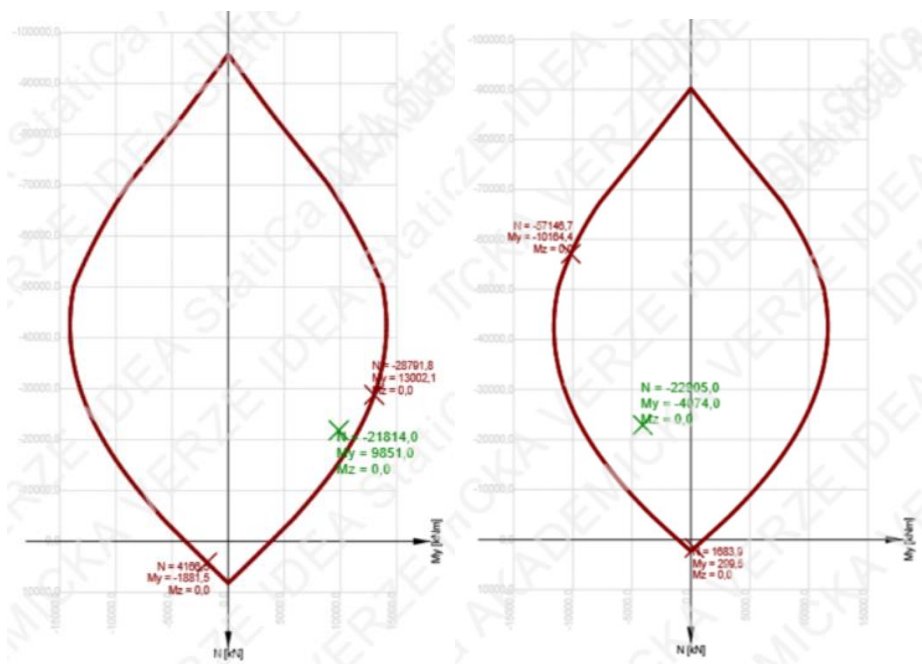
Tabulka 30 Zatížitelnost pro jednotlivé řezy – kombinace 6.10b [kN, kNm, t]

| Vn | Vr | Ve |
|----|-----|-----|
| 42 | 111 | 160 |

Tabulka 31 Rozhodující zatížitelnost [t]



Obrázek 134 ID – modrý pro řez 1C a žlutý pro řezy 2C a 3C



Obrázek 135 ID – vlevo pro řez 1C a vpravo pro řezy 2C a 3C – Idea StatiCa

5.4 ZATÍŽITELNOST ŠTÍHLÝCH STOJEK

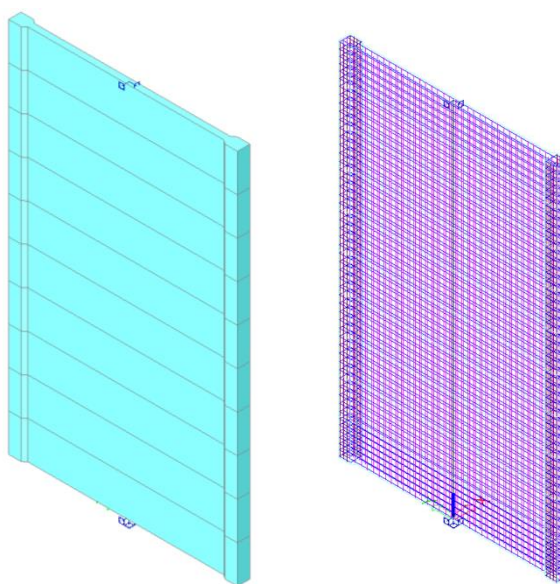
Zatížitelnost je ověřena u nejdelsí a nejštíhlejší stojky. Je proveden stabilitní a geometricky i materiálově nelineární výpočet.

5.4.1 Model pro stabilitní výpočet a nelineární analýzu

Model je sestaven jako prostorový prutový. Spodní podpora (základový pas) je modelována jako tuhá neposuvná. Napojení stojky k nosné konstrukci je modelováno jako tuhá svisle posuvná podpora. Prut je k těmto podporám kloubově připojen v hlavě a v patě. Klouby představují vrubové klouby a umožňují pootočení pouze ve směru menší ohybové tuhosti (ve směru osy mostu).

Pro nelineární analýzu je nadefinováno vyztužení průřezu a jsou použity příslušné pracovní diagramy betonu a oceli.

Na základě diagnostiky je vzhledem k malým odchylkám po výšce konstrukce uvažován prut jako přímý. Pro výpočet je použita maximální počáteční imperfekce 40 mm.



Obrázek 136 Prutový model stojky

5.4.2 Zatížení

Vnitřní síly v hlavě stojky jsou spočteny v programu SCIA Engineer na 3D deskostěnovém modelu a po úpravě aplikovány na prostorový prutový model.

Účinky zatížení jsou stanoveny na základě již vypočtené zatížitelnosti v předchozích kapitolách. Vzhledem k excentricitě účinků výhradní zatížitelnosti je uvažována její dvojnásobná hodnota.

Kombinace jsou sestaveny dle ČSN EN 1990.

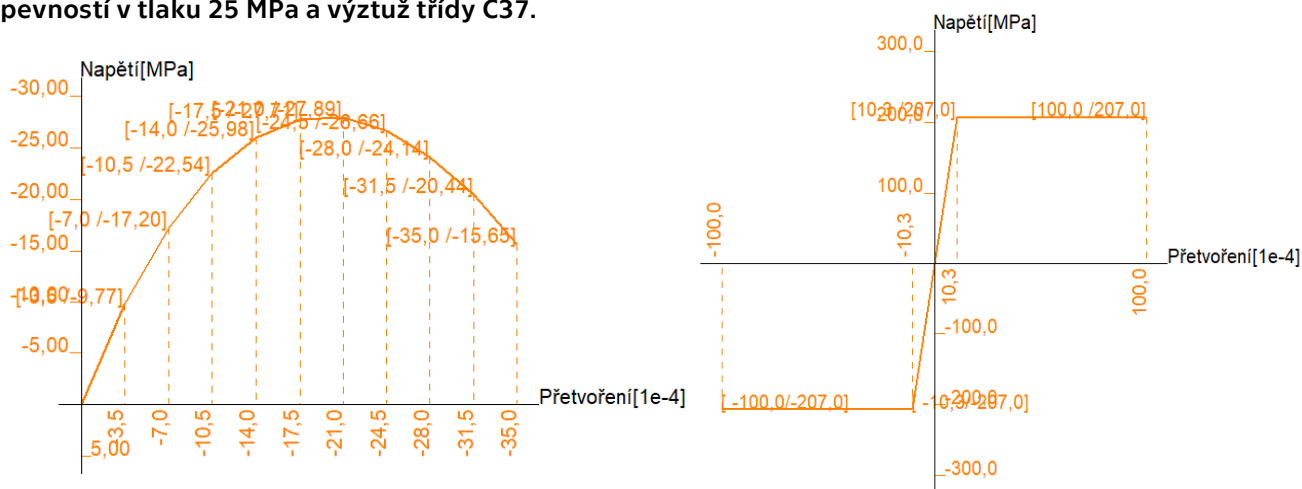
Uvedeny jsou charakteristické hodnoty zatížení se zahrnutím dynamických účinků.

| Zatížení | N |
|----------------|----------|
| VI. Tíha | -2 493,5 |
| Ost. stálé | -1 358,0 |
| Teplota | -33,9 |
| $\delta * V_n$ | -1 284,5 |
| $\delta * V_r$ | -1 066,6 |
| $\delta * V_e$ | -842,9 |

Tabulka 32 Zatížení v hlavě stojky [kN]

5.4.3 Materiály a vyztužení průřezu

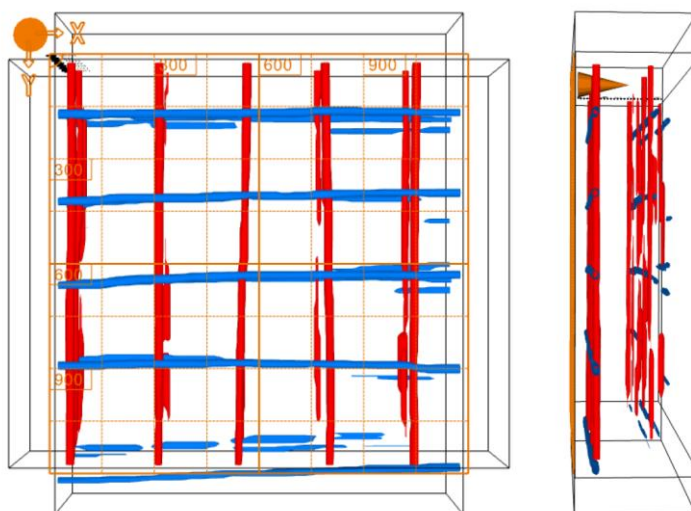
Pro výpočet je dle průřezu použit nelineární pracovní diagram betonu s charakteristickou pevností v tlaku 25 MPa a výztuž třídy C37.



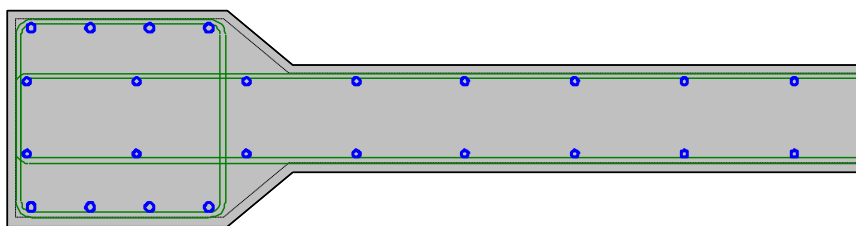
Obrázek 137 Pracovní diagram betonu a betonářské oceli – Scia Engineer

Výztuž je stanovena na základě průřezu. Vodorovná výztuž je průměru 12 mm s roztečí 250 mm. Svisle v krajním rozšíření stěn jsou 4 pruty průměru 20 mm symetricky na obou stranách průřezu. Svislá výztuž stěny je pak profilu 16 mm s roztečí 250 mm.

Na schématech z diagnostiky je svislá výztuž vyznačena červeně a vodorovná modře.



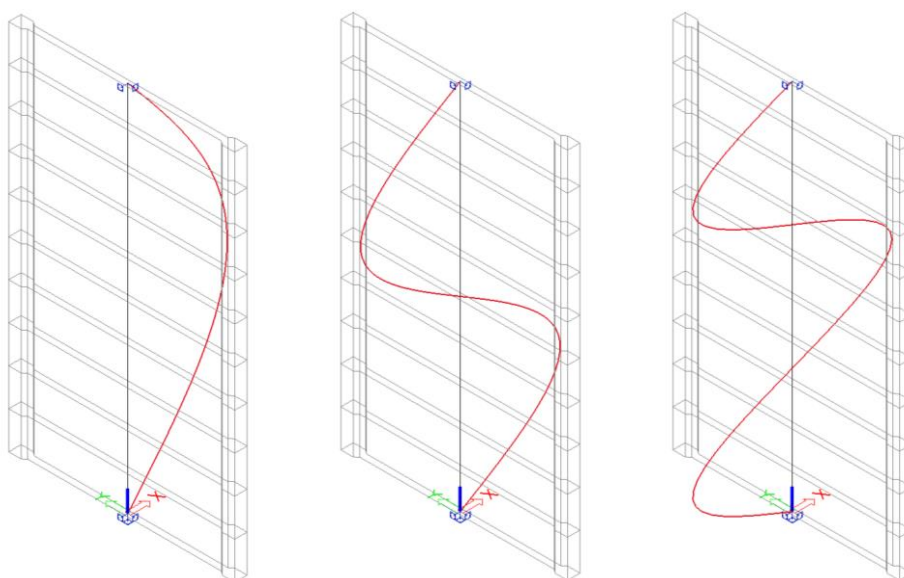
Obrázek 138 Poloha výztuže – diagnostika



Obrázek 139 Schéma vyztužení průřezu – Scia Engineer

5.4.4 Stabilitní výpočet

Bylo provedeno posouzení bezpečnosti konstrukce na základě tvarů vybočení a součinitelů kritického zatížení.



Obrázek 140 Tvary vybočení konstrukce

| N | f |
|---|-------|
| 1 | 4,00 |
| 2 | 15,95 |
| 3 | 35,71 |

Tabulka 33 Součinitele kritického zatížení pro jednotlivé tvary vybočení

Bezpečnost konstrukce bude podle ČSN EN 1992 zajištěna pokud:

$$1,27 \cdot 1,35 < 4,0$$

$$1,7 < 4,0 \quad \text{podmínka splněna – konstrukce je bezpečná}$$

5.4.5 Vnitřní síly z nelineární analýzy



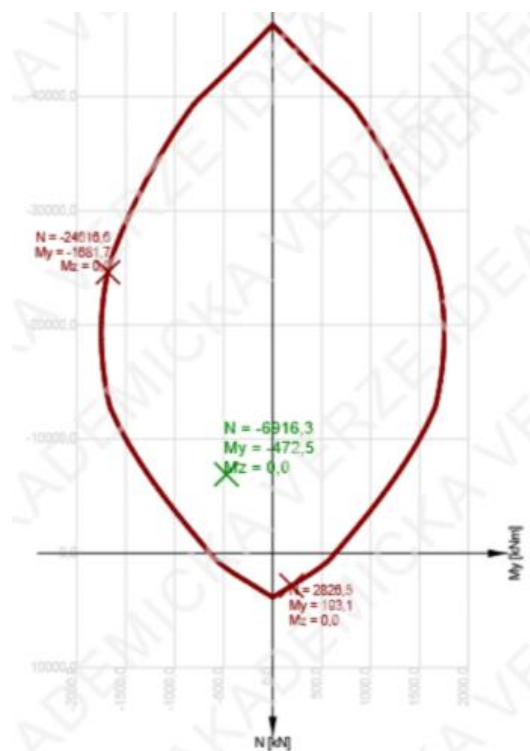
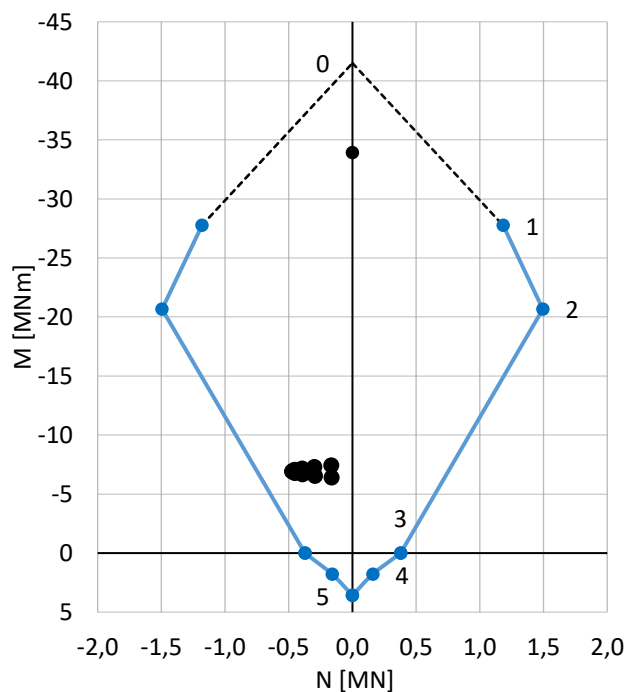
| Dílec | N [kN] | My [kNm] |
|-------|----------|----------|
| B1 | -7425,06 | -166,57 |
| B2 | -7297,91 | -299,59 |
| B3 | -7170,74 | -396,06 |
| B4 | -7043,54 | -454,02 |
| B5 | -6916,30 | -472,49 |
| B6 | -6916,30 | -472,49 |
| B7 | -6789,01 | -451,41 |
| B8 | -6661,69 | -391,64 |
| B9 | -6534,33 | -294,81 |
| B10 | -6406,97 | -163,29 |

Obrázek 141 Obálka nelineárních kombinací
[kN, kNm]

Tabulka 34 Vnitřní síly z rozhodující kombinace

5.4.6 Posouzení únosnosti průřezu

Pro ověření únosnosti byl použit zjednodušený bodový interakční diagram. Poloha bodů pro bodový interakční diagram byla ověřena v programu Idea StatiCa.



Obrázek 142 ID stojky – vlevo bodový, vpravo Idea StatiCa

Posuzovaná kyvná stojka vyhovuje určené zatžitelnosti nosné konstrukce.

6 ZÁVĚR

Zatížitelnost byla stanovena podrobným a kombinovaným statickým výpočtem. Na základě posudků a určení zatížitelnosti rozhodujících průřezů nosné konstrukce provedených v kapitole 5 jsou stanovena maximální zatížení pro jednotlivá zatěžovací schémata daných typů zatížitelnosti.

| | Vn | Vr | Ve |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Trámy v přilehlých polích | 26 | 47 | 94 |
| Trámy nad oblouky | 41 | 110 | 159 |
| Deska | 42 | 195 | 342 |
| Oblouky | 42 | 111 | 160 |
| Stojky | 26 | 47 | 94 |
| Rozhodující zatížitelnost | 26 | 47 | 94 |

Tabulka 35 Shrnutí zatížitelnosti z kapitoly 5 [t]

Dle těchto hodnot jsou s přihlédnutím k ČSN 73 6222 stanoveny jednotlivé typy zatížitelnosti. Zatížitelnosti budou platit za předpokladu zamezení dalšího chátrání mostu.

Normální zatížitelnost

$$V_n = 26 \text{ t}$$

Výhradní zatížitelnost

$$V_r = 47 \text{ t}$$

Výjimečná zatížitelnost

$$V_e = 94 \text{ t}$$

Zatížitelnost na jednu nápravu

$$V_{aj} = \max(3/4 \cdot 16; 3/8 \cdot 26; 1/6 \cdot 47; 1/9 \cdot 94) = \max(12,00; 9,75; 7,83; 10,44) = 12 \text{ t}$$

$$V_{aj} = 12 \text{ t}$$

ZDROJE

- 1) Viz literatura kapitola 1.1.
- 2) Národní památkový ústav. [pamatkovykatalog.cz](https://www.pamatkovykatalog.cz) [online]. [cit. 2023-12-25]. Dostupné z: <https://www.pamatkovykatalog.cz/dolni-most-26159362>
- 3) Silniční a dálniční síť ČR. *Geoportal.rsd.cz* [online]. [cit. 2023-12-25]. Dostupné z: https://geoportal.rsd.cz/apps/silnicni_a_dalnicni_sit_cr_verejna/
- 4) LIDL, Václav. *pelhrimovsky.denik.cz* [online]. [cit. 2.1.2024]. Dostupné z: <https://pelhrimovsky.denik.cz/galerie/dvojmost-pe12.html?photo=13&back=2994688014-1209-27>

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| Obrázek 1 Poloha mostu. Geoportal ŘSD | 10 |
| Obrázek 2 Pohled na pravý most od Brněnské opěry | 10 |
| Obrázek 3 Historické foto. Foto Václav Lidl | 11 |
| Obrázek 4 Schéma mostu z mostního listu | 12 |
| Obrázek 5 Pohled na most zprava – založení pod hladinou vody – diagnostika | 13 |
| Obrázek 6 Podhled na roštovou mostovku a uložení na P4 a P5 – diagnostika | 14 |
| Obrázek 7 Pohled na kyvné stojky oblouku a obloukové pasy – diagnostika | 15 |
| Obrázek 8 Schéma umístění vrubových kloubů a uložení vloženého pole | 15 |
| Obrázek 9 Vlevo vrubový kloub v hlavě kyvné stojky a vpravo uložení krajního pole na ozub – diagnostika | 16 |
| Obrázek 10 Jednosměrné ocelolitinové válečkové ložisko – diagnostika | 16 |
| Obrázek 11 Povrchový prstový mostní závěr – diagnostika | 17 |
| Obrázek 12 Pohled na ŽB zábradlí – diagnostika | 17 |
| Obrázek 13 Schéma – podélný řez [m] | 24 |
| Obrázek 14 Schéma – příčný řez pravým mostem v poli 3 [mm] | 24 |
| Obrázek 15 Schéma – řez kyvnou stojkou P5 [mm] | 25 |
| Obrázek 16 Pohled na operu O6 – HPM | 25 |
| Obrázek 17 Pohled na kyvnou stojku P5 – diagnostika | 26 |
| Obrázek 18 Podhled trám a deska mostovky – diagnostika | 26 |
| Obrázek 19 Podhled oblouky – diagnostika | 27 |
| Obrázek 20 Pohled na kyvné stěnové stojky – diagnostika | 27 |
| Obrázek 21 Pohled na ŽB zábradlí – diagnostika | 28 |
| Obrázek 22 3D deskostěnový model – pohled | 29 |
| Obrázek 23 Deska se žebry – podhled | 30 |
| Obrázek 24 Prutový model stojky – pohled | 30 |
| Obrázek 25 Schéma zatížení pro stanovení normální zatížitelnosti ČSN 73 6222 | 35 |
| Obrázek 26 Schéma vozidel pro stanovení normální zatížitelnosti V_n ČSN 73 6222 | 36 |
| Obrázek 27 Schéma šestnápravového vozidla pro stanovení výhradní zatížitelnosti V_r | 37 |
| Obrázek 28 Schéma zvláštní soupravy pro stanovení výjimečné zatížitelnosti V_e ČSN 73 6222 | 38 |
| Obrázek 29 Dynamické součinitele v závislosti na vlastní frekvenci f [Hz] ČSN 73 6222 | 39 |
| Obrázek 30 Mapa maximálních teplot vzduchu ve stínu ČSN EN 1991-1-5 | 40 |
| Obrázek 31 Mapa minimálních teplot vzduchu ve stínu ČSN EN 1991-1-5 | 40 |
| Obrázek 32 Vztah mezi min./max. teplotou vzduchu ve stínu (T_{min}/T_{max}) a min./max. rovnoměrnou složkou teploty mostu ($T_{e,min}/T_{e,max}$) ČSN EN 1991-1-5 | 41 |
| Obrázek 33 Kritické řezy na konstrukci [m] | 43 |
| Obrázek 34 Definice l_0 pro výpočet spolupůsobící šířky | 44 |

| | |
|--|----|
| Obrázek 35 Parametry pro spolupůsobící šířku desky | 44 |
| Obrázek 36 Výpočetní model – deskostěnový | 44 |
| Obrázek 37 My – vlastní tíha..... | 45 |
| Obrázek 38 Vz – vlastní tíha..... | 45 |
| Obrázek 39 My – ostatní stálé | 45 |
| Obrázek 40 Vz – ostatní stálé | 45 |
| Obrázek 41 My obálka – zatížení teplotou | 46 |
| Obrázek 42 Vz obálka – zatížení teplotou | 46 |
| Obrázek 43 My – rovnoměrné zatížení chodníků | 46 |
| Obrázek 44 Vz – rovnoměrné zatížení chodníků | 46 |
| Obrázek 45 My – rovnoměrné zatížení vozovky | 47 |
| Obrázek 46 Vz – rovnoměrné zatížení vozovky | 47 |
| Obrázek 47 My obálka – jeden nákladní automobil v každém jízdním pruhu | 47 |
| Obrázek 48 Vz obálka – jeden nákladní automobil v každém jízdním pruhu | 47 |
| Obrázek 49 My obálka – strojní válec..... | 48 |
| Obrázek 50 Vz obálka – strojní válec..... | 48 |
| Obrázek 51 My – rovnoměrné zatížení chodníků | 48 |
| Obrázek 52 Vz – rovnoměrné zatížení chodníků | 48 |
| Obrázek 53 My – rovnoměrné zatížení vozovky | 49 |
| Obrázek 54 Vz – rovnoměrné zatížení vozovky | 49 |
| Obrázek 55 My obálka – třínápravové vozidlo | 49 |
| Obrázek 56 Vz obálka – třínápravové vozidlo..... | 49 |
| Obrázek 57 My obálka – šestnápravové vozidlo | 50 |
| Obrázek 58 Vz obálka – šestnápravové vozidlo | 50 |
| Obrázek 59 My obálka – devítinápravové vozidlo | 50 |
| Obrázek 60 Vz obálka – devítinápravové vozidlo | 50 |
| Obrázek 61 My obálka – charakteristická kombinace jeden nákladní automobil v každém jízdním pruhu..... | 51 |
| Obrázek 62 Vz obálka – charakteristická kombinace jeden nákladní automobil v každém jízdním pruhu..... | 51 |
| Obrázek 63 My obálka – charakteristická kombinace strojní válec..... | 51 |
| Obrázek 64 Vz obálka – charakteristická kombinace strojní válec | 51 |
| Obrázek 65 My obálka – 6.10a jeden nákladní automobil v každém jízdním pruhu..... | 52 |
| Obrázek 66 Vz obálka – 6.10a jeden nákladní automobil v každém jízdním pruhu..... | 52 |
| Obrázek 67 My obálka – 6.10a strojní válec..... | 52 |
| Obrázek 68 Vz obálka – 6.10a strojní válec | 52 |
| Obrázek 69 My obálka – 6.10b jeden nákladní automobil v každém jízdním pruhu..... | 53 |

| | |
|---|----|
| Obrázek 70 Vz obálka – 6.10b jeden nákladní automobil v každém jízdním pruhu..... | 53 |
| Obrázek 71 My obálka – 6.10b strojní válec | 53 |
| Obrázek 72 Vz obálka – 6.10b strojní válec | 53 |
| Obrázek 73 Rozložení třmínků nad obloukem (vodorovný řez v pohledu) - diagnostika | 54 |
| Obrázek 74 Boční plochy trámů – diagnostika | 54 |
| Obrázek 75 Spodní vrstva výztuže – diagnostika | 54 |
| Obrázek 76 Destruktivní sonda ve středu pole 2 ze spodu trámu - diagnostika..... | 55 |
| Obrázek 77 Destruktivní sonda ve středu pole 2 bok trámu – diagnostika | 55 |
| Obrázek 78 Průřez v poli (1A)..... | 56 |
| Obrázek 79 Průřez nad podporou (2A) | 57 |
| Obrázek 80 Průřez nad podporou (2A)..... | 58 |
| Obrázek 81 Průřez v poli (1B)..... | 60 |
| Obrázek 82 Průřez v poli (1B)..... | 61 |
| Obrázek 83 Průřez nad podporou (2B) | 62 |
| Obrázek 84 Průřez nad podporou (2B) | 63 |
| Obrázek 85 M_{max} obálka – Normální zatížitelnost | 67 |
| Obrázek 86 M_{min} obálka – Normální zatížitelnost..... | 67 |
| Obrázek 87 Vz obálka – Normální zatížitelnost..... | 67 |
| Obrázek 88 M_{max} obálka – Výhradní zatížitelnost..... | 67 |
| Obrázek 89 M_{min} obálka – Výhradní zatížitelnost | 68 |
| Obrázek 90 Vz obálka – Výhradní zatížitelnost | 68 |
| Obrázek 91 M_{max} obálka – Výjimečná zatížitelnost..... | 68 |
| Obrázek 92 M_{min} obálka – Výjimečná zatížitelnost..... | 68 |
| Obrázek 93 Vz obálka – Výjimečná zatížitelnost..... | 68 |
| Obrázek 94 Svislý podélný řez mostovkou – diagnostika | 69 |
| Obrázek 95 Svislý příčný řez mostovkou – diagnostika | 69 |
| Obrázek 96 Rozložení spodní vrstvy výztuže vlevo a horní vrstvy vpravo – diagnostika | 69 |
| Obrázek 97 Svislý řez spodní vrstvou výztuže vlevo a horní vrstvou vpravo – diagnostika | 69 |
| Obrázek 98 Výpočetní model – deskostěnový | 75 |
| Obrázek 99 My – vlastní tíha..... | 75 |
| Obrázek 100 N – vlastní tíha | 75 |
| Obrázek 101 My – ostatní stálé | 76 |
| Obrázek 102 N – ostatní stálé | 76 |
| Obrázek 103 My obálka – zatížení teplotou | 76 |
| Obrázek 104 N obálka – zatížení teplotou | 76 |
| Obrázek 105 My – rovnoměrné zatížení chodníků | 77 |
| Obrázek 106 N – rovnoměrné zatížení chodníků | 77 |

| | |
|---|----|
| Obrázek 107 My – rovnoměrné zatížení vozovky | 77 |
| Obrázek 108 N – rovnoměrné zatížení vozovky | 77 |
| Obrázek 109 My obálka – jeden nákladní automobil v každém jízdním pruhu | 78 |
| Obrázek 110 N obálka – jeden nákladní automobil v každém jízdním pruhu | 78 |
| Obrázek 111 My obálka – strojní válec | 78 |
| Obrázek 112 N obálka – strojní válec | 78 |
| Obrázek 113 My – rovnoměrné zatížení chodníků | 79 |
| Obrázek 114 N – rovnoměrné zatížení chodníků | 79 |
| Obrázek 115 My – rovnoměrné zatížení vozovky | 79 |
| Obrázek 116 N – rovnoměrné zatížení vozovky | 79 |
| Obrázek 117 My obálka – třínápravové vozidlo | 80 |
| Obrázek 118 N obálka – třínápravové vozidlo | 80 |
| Obrázek 119 My obálka – šestinápravové vozidlo | 80 |
| Obrázek 120 N obálka – šestinápravové vozidlo | 80 |
| Obrázek 121 My obálka – devítinápravové vozidlo | 81 |
| Obrázek 122 N obálka – devítinápravové vozidlo | 81 |
| Obrázek 123 My obálka – 6.10a jeden nákladní automobil v každém jízdním pruhu..... | 82 |
| Obrázek 124 N obálka – 6.10a jeden nákladní automobil v každém jízdním pruhu | 82 |
| Obrázek 125 My obálka – 6.10a strojní válec | 82 |
| Obrázek 126 N obálka – 6.10a strojní válec..... | 82 |
| Obrázek 127 My obálka – 6.10b jeden nákladní automobil v každém jízdním pruhu | 83 |
| Obrázek 128 N obálka – 6.10b jeden nákladní automobil v každém jízdním pruhu..... | 83 |
| Obrázek 129 My obálka – 6.10b strojní válec | 83 |
| Obrázek 130 N obálka – 6.10b strojní válec | 83 |
| Obrázek 131 Podélná výztuž ve vrcholu oblouku – diagnostika | 84 |
| Obrázek 132 Příčná výztuž ve vrcholu oblouku – diagnostika | 84 |
| Obrázek 133 ID – vlevo modrý pro řez 1C a žlutý pro řezy 2C a 3C, vpravo 1C - Idea StatiCa..... | 85 |
| Obrázek 134 ID – modrý pro řez 1C a žlutý pro řezy 2C a 3C | 88 |
| Obrázek 135 ID – vlevo pro řez 1C a vpravo pro řezy 2C a 3C - Idea StatiCa..... | 88 |
| Obrázek 136 Prutový model stojky | 89 |
| Obrázek 137 Pracovní diagram betonu a betonářské oceli – Scia Engineer | 90 |
| Obrázek 138 Poloha výztuže – diagnostika | 90 |
| Obrázek 139 Schéma vyztužení průřezu – Scia Engineer | 91 |
| Obrázek 140 Tvary vybočení konstrukce..... | 91 |
| Obrázek 141 Obálka nelineárních kombinací [kN, kNm] | 92 |
| Obrázek 142 ID stojky – vlevo bodový, vpravo Idea StatiCa | 92 |

SEZNAM TABULEK

| | |
|--|----|
| Tabulka 1 Shrnutí zatížitelnosti z kapitoly 5 [t] | 21 |
| Tabulka 2 Rovnoměrné zatížení vozovky a chodníků ČSN 1230:1937 | 33 |
| Tabulka 3 Alternativy zatížení, váhy vozidel a váhy na kola ČSN 1230:1937 | 34 |
| Tabulka 4 Parametry třinápravového vozidla | 36 |
| Tabulka 5 Parametry šestinápravového vozidla..... | 37 |
| Tabulka 6 Parametry devítinápravového vozidla..... | 38 |
| Tabulka 7 Přiřazení dynamických součinitelů | 39 |
| Tabulka 8 Výpočet M_{Rd} v řezu 1A..... | 56 |
| Tabulka 9 Stanovení množství ohybové výztuže v řezu 2A | 57 |
| Tabulka 10 Výpočet M_{Rd} v řezu 2A | 58 |
| Tabulka 11 Výpočet V_{Rd} v řezu 2A | 59 |
| Tabulka 12 Stanovení množství ohybové výztuže v řezu 1B | 60 |
| Tabulka 13 Výpočet M_{Rd} v řezu 1B | 61 |
| Tabulka 14 Stanovení množství ohybové výztuže v řezu 2B | 62 |
| Tabulka 15 Výpočet M_{Rd} v řezu 2B | 63 |
| Tabulka 16 Výpočet V_{Rd} v řezu 3B | 64 |
| Tabulka 17 Výpočet zatížitelnosti trámů v krajních polích [kN, kNm]..... | 66 |
| Tabulka 18 Shrnutí zatížitelnosti trámů v krajních polích [t] | 66 |
| Tabulka 19 Výpočet zatížitelnosti trámů poli nad obloukem [kN, kNm] | 66 |
| Tabulka 20 Shrnutí zatížitelnosti trámů v poli nad obloukem [t]..... | 66 |
| Tabulka 21 Stanovení M_{Rd} desky – střed..... | 70 |
| Tabulka 22 Stanovení M_{Rd} desky – líc | 70 |
| Tabulka 23 Stanovení V_{Rd} desky..... | 71 |
| Tabulka 24 Posouzení protlačení desky | 72 |
| Tabulka 25 Výpočet zatížitelnosti desky [kN, kNm]..... | 74 |
| Tabulka 26 Shrnutí zatížitelnosti desky [t] | 74 |
| Tabulka 27 Rozhodující kombinace vnitřních sil [kNm, kN] | 85 |
| Tabulka 28 Vnitřní síly pro výpočet zatížitelnosti obloukových pasů [kN, kNm]..... | 87 |
| Tabulka 29 Zatížitelnost pro jednotlivé řezy – kombinace 6.10a [kN, kN, t]..... | 87 |
| Tabulka 30 Zatížitelnost pro jednotlivé řezy – kombinace 6.10b [kN, kNm, t]..... | 87 |
| Tabulka 31 Rozhodující zatížitelnost [t]..... | 87 |
| Tabulka 32 Zatížení v hlavě stojky [kN] | 90 |
| Tabulka 33 Součinitele kritického zatížení pro jednotlivé tvary vybočení | 91 |
| Tabulka 34 Vnitřní síly z rozhodující kombinace | 92 |
| Tabulka 35 Shrnutí zatížitelnosti z kapitoly 5 [t]..... | 93 |

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí



Hodnocení existujícího betonového obloukového mostu

Assessment of existing reinforced concrete arch bridge

ČÁST 3

SEZNAM PŘÍLOH

| | | | | |
|----|-------------------------|-------|----|----|
| 1. | Půdorys | 1:200 | 12 | A4 |
| 2. | Podélný řez | 1:200 | 6 | A4 |
| 3. | Příčný řez nad obloukem | 1:50 | 4 | A4 |