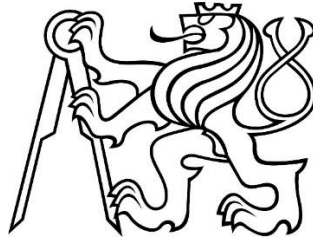


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh nadjezdu v km 164,500 dálnice D1

Design of overpass in km 164,500 of the motorway D1

Autor: Bc. Lenka Benešová

Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

Vedoucí diplomové práce: Ing. Roman Šafář, Ph.D.

Praha 2017



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Tháškova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Benešová Jméno: Lenka Osobní číslo: 396397

Zadávající katedra: 11133 Katedra betonových a zděných konstrukcí

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Návrh nadjezdu v km 164,500 dálnice D1

Název diplomové práce anglicky: Design of overpass in km 164,500 of the motorway D1

Pokyny pro vypracování:

Vypracujte statický výpočet, technickou zprávu, výkresovou dokumentaci.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Projektové podklady
- [2] Šafář, R.: Betonové mosty 2 - přednášky, ČVUT v Praze 2014

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Roman Šafář, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 7.10.2016

Termín odevzdání diplomové práce: 8.1.2017

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

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

7.10.2016
Datum převzetí zadání

Benešová
Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předkládanou diplomovou práci vypracovala samostatně, pouze s využitím konzultací a podkladů uvedených v seznamu literatury.

V Praze dne 8. 1. 2017

.....
Bc. Lenka Benešová

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala především Ing. Romanu Šafářovi, PhD. za odborné vedení při zpracování této práce, cenné rady, připomínky, poskytnutou literaturu a také ochotu při konzultacích.

Velký dík si zaslouží také má rodina a přátelé za jejich neutuchající podporu v průběhu celého studia.

Abstrakt

Tématem diplomové práce je návrh nadjezdu přes dálnici D1 v km 164,500. Byly vypracovány 4 varianty mostu. Pro podrobný návrh byla vybrána varianta vzpěradlového mostu ze tří prefabrikovaných dílců z UHPFRC. V návrhu byl zohledněn vliv fází výstavby. Konstrukce byla posouzena v podélném a příčném směru na mezní stav únosnosti a mezní stavy použitelnosti.

Klíčová slova

UHPFRC, předpjatý beton, nadjezd, rámový most, prefabrikovaný beton

Abstract

The theme of this diploma thesis is design of overpass in km 164,500 of the motorway D1. Four variant of the bridge have been developed. Frame bridge with inclined supports of three parts made of UHPFRC was selected for detailed design. The effect of phases of construction was reflected in design. The structure was checked in longitudinal and transverse direction for ultimate limit state and serviceability limit states.

Keywords

UHPFRC, prestressed concrete, overpass, frame bridge, precast concrete

Obsah

| | | |
|-----|--|----|
| 0 | Úvod | 7 |
| 1 | Návrh variant | 8 |
| 1.1 | Popis lokality a stávajícího mostu | 8 |
| 1.2 | Nový most | 10 |
| 1.3 | Varianta 1 | 12 |
| 1.4 | Varianta 2 | 13 |
| 1.5 | Varianta 3 | 14 |
| 1.6 | Varianta 4 | 15 |
| 1.7 | Vybraná varianta | 16 |
| 2 | Materiály | 17 |
| 2.1 | Beton nosné konstrukce – UHPFRC | 17 |
| 2.2 | Beton spodní stavby | 19 |
| 2.3 | Předpínací výztuž | 19 |
| 2.4 | Betonářská výztuž | 20 |
| 3 | Návrh mostu | 21 |
| 3.1 | Model | 21 |
| 3.2 | Zatížení | 21 |
| 3.3 | Postup výstavby | 23 |
| 3.4 | Průběhy vnitřních sil | 24 |
| 3.5 | Návrh předpětí | 24 |
| 4 | Posouzení konstrukce | 26 |
| 4.1 | Výsledné působení konstrukce | 26 |
| 4.2 | Mezní stav použitelnosti | 26 |
| 4.3 | Mezní stav únosnosti | 27 |
| 5 | Závěr | 28 |
| | Seznam použité literatury | 29 |
| | Seznam příloh | 30 |
| | Seznam obrázků | 31 |
| | Seznam tabulek | 31 |

0 Úvod

V rámci rozvoje dálniční sítě v České republice dochází nejen k výstavbě nových dálničních úseků, ale také k rekonstrukci těch stávajících. V posledních letech je pravděpodobně tou nejsledovanější modernizace naší nejstarší a nejvytíženější dálnice, spojnice Prahy a Brna, dálnice D1. V rámci modernizace bylo nutné z důvodu rozšíření dálnice provést mnoho rekonstrukcí stávajících mostů a v některých případech bylo třeba stávající mosty zdemolovat a to buď bez náhrady či s nahrazením novým mostem. V rámci této diplomové práce je řešen návrh mostu, jehož předchůdce musel být z důvodu změny šířkového uspořádání dálnice zdemolován a nahrazen mostem novým. V první části práce bude navrženo několik možných variant řešení nadjezdu dálnice, respektujících místní podmínky a šířkové uspořádání. Pro každou variantu mostu bude zpracován podélný a příčný řez. Vybraná varianta bude podrobněji řešena v dalších částech práce, bude proveden návrh konstrukce a její posouzení na mezní stavy použitelnosti (MSP) a mezní stav únosnosti (MSÚ).

1 Návrh variant

1.1 Popis lokality a stávajícího mostu

Lokalita

Navrhovaný most překonává dálnici D1 v km 164,483 417 v úseku 22 mezi exitem 162 Velká Bíteš a exitem 168 Devět křížů. V místě nadjezdu veden dálnice v mírném, cca 2 m hlubokém zářezu, okolní terén je mírně zvlněný s lesním porostem.



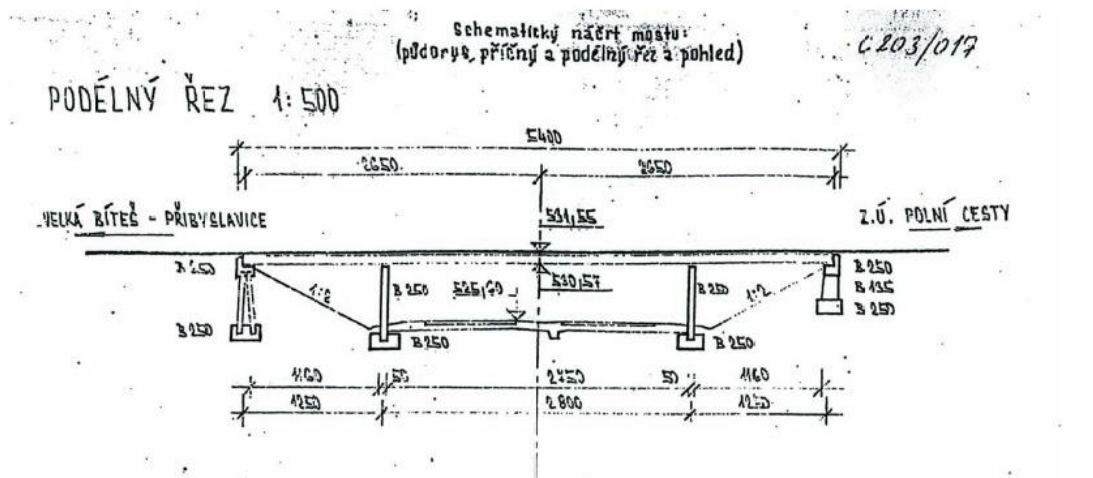
Obr. 1 - Umístění mostu

Stávající most [1]

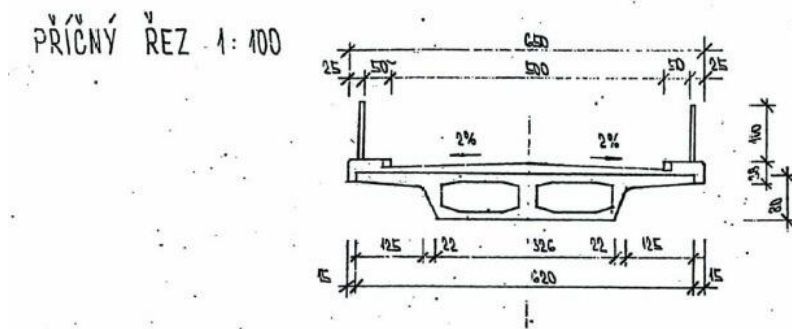
Stávající most z roku 1972 o 3 polích je tvořen vylehčenou betonovou deskou uloženou na pryžová ložiska. Šířka mostu včetně říms je 6,5 m, rozpětí hlavního pole je 28,0 m a rozpětí krajních polí je 12,5 m. Most je kolmý s 2% střešovitým příčným sklonem. Založení mostu je plošné.

Spodní stavbu mostu tvoří krajní opěry a dva pilíře. Opěra 1 je prefabrikovaná a skládá se z úložného prahu, sloupových podpor a základu. Opěra 4 je masivní monolitická, obě opěry jsou plošně založené. Pilíře jsou stěnové prefabrikované, osazené do kapes základu a zabetonované. Opěry i pilíře jsou z betonu B 250, kromě dříku opěry 4, který je z betonu B 135.

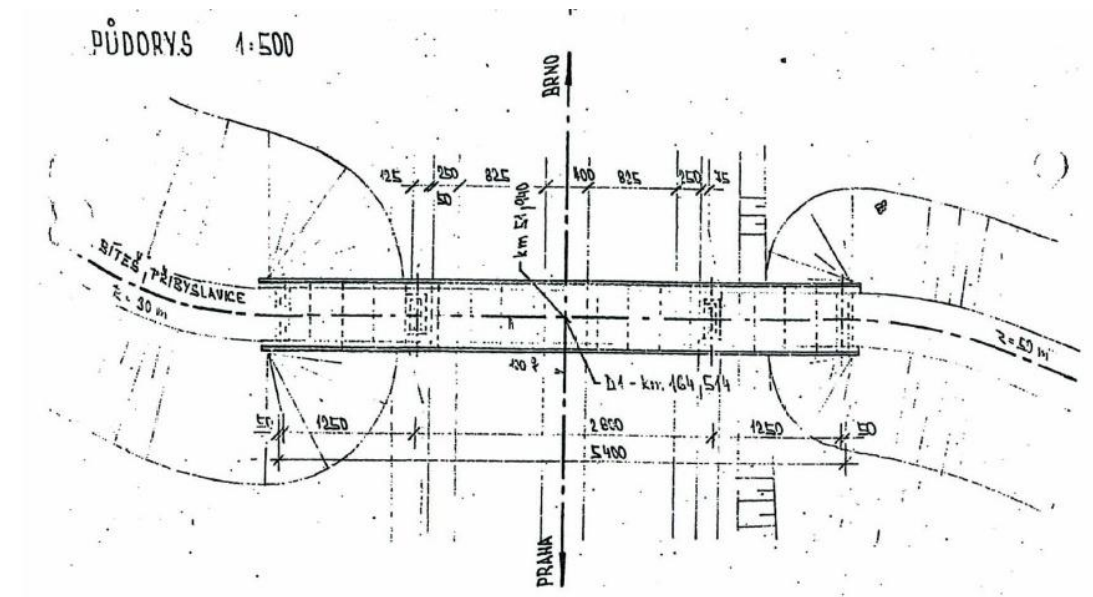
Nosná konstrukce je tvořena betonovými lamelami o délce 3,0 m, výšce 0,8 m a šířce 6,2 m. Průřez mostu je deskový, vylehčený otvory a s vyloženými konzolami.



Obr. 2 - Stávající most - podélný řez



Obr. 3 - Stávající most - příčný řez



Obr. 4 - Stávající most - půdorys

1.2 Nový most

Navrhovaný most a jeho uspořádání vychází z polohy a trasy navržené v dokumentaci PDPS vytvořené firmou VIAPONT s.r.o.

Identifikační údaje mostu

| | |
|---------------------------|---|
| Název stavby: | D1 Modernizace – úsek 22, Exit 162 Velká Bíteš – Exit 168 Devět křížů |
| Objekt č.: | SO 22-203 |
| Název objektu: | Nadjezd ev. č. D1 - 203 |
| Místo stavby: | Velká Bíteš |
| Katastrální území: | Velká Bíteš, Košíkov |
| Kraj: | Vysočina |
| Investor: | Ředitelství silnic a dálnic České republiky Na Pankráci 546/56 145 05 Praha 4 |
| Převáděná komunikace: | lesní cesta kategorie P4/25 |
| Přemostřovaná překážka: | dálnice D1 |
| Staničení na D1: | km 164,483 417 |
| Staničení na lesní cestě: | km 0,174 214 |

Uspořádání mostu

Jedná se o kolmý most, průběh trasy na mostě je směrově v přímé, výškově ve vrcholovém oblouku. Celková šířka mostu je 6,60 m, na mostě nejsou umístěny chodníky. Volná šířka na mostě je 5,0 m.

Šířkové uspořádání:

| | |
|---------------------|-----------------------|
| jízdní pruh | 2 x 2,00 + 2 x 0,25 m |
| odvodňovací proužek | 0,50 m |
| římsa | 0,80 m |
| celková šířka | 6,60 m |

Převáděnou komunikací je lesní cesta kategorie P4/25, na mostě je trasa vedena v přímé, výškově je ve vrcholovém oblouku 500 m a podélném sklonu 1 %. Příčný sklon je jednostranný 2,5 %.

Překračovaná překážkou je dálnice D1, která je v místě křížení s mostem v přímé a výškově je v konstantním stoupání 1 %. Dálnice je kategorie D28/120, příčný sklon je střešovité 2,5 %.

Geologické podmínky [1]

Geotechnický průzkum byl proveden firmou Geotec-CS v červnu 2010. V prostoru mostu byly provedeny dvě vrtané sondy JV1 hloubky 12 m a JV2 hloubky 5 m. V blízkosti mostu se nachází také archivní sonda V 751. Skladba podloží je zobrazena v podélných řezech jednotlivých variant.

Geotechnické charakteristiky zemin

Kvartérní pokryv je tvořen navážkami a deluviálními sedimenty. Shora byly nejdříve zastíženy soudržné zeminy, charakteru jílu F6/CI, tuhé až pevné, v jejich podloží jsou zeminy charakteru písků až písčitých hlín F3/MS -S4/MS, středně ulehlé. Předkvartérní podklad tvoří metamorfované horniny - fylity a rulami, které jsou při povrchu zcela zvětralé R6, na zeminy charakteru jílu písčitých až písků hlinitých F4/CS - S4/SM, s úlomky hornin. Hluběji jsou fylity a ruly silně zvětralé R5, dále do hloubky jsou pak ruly v navětralém až mírně zvětralém stavu R-R3, v polohách až zdravé R2.

Podzemní voda

Hladina spodní vody byla zastížena v úrovni základové spáry pilíře a bude negativně ovlivňovat práce založení stěny podpory. Spodní voda je silně agresivní na betonové konstrukce - XA3. Přítoky spodní vody do stavební jámy by měly být odčerpávané běžnými čerpadly. V případě dlouhodobějších přítoků bude nutné v rohu stavební jámy zřídit čerpací jámky.

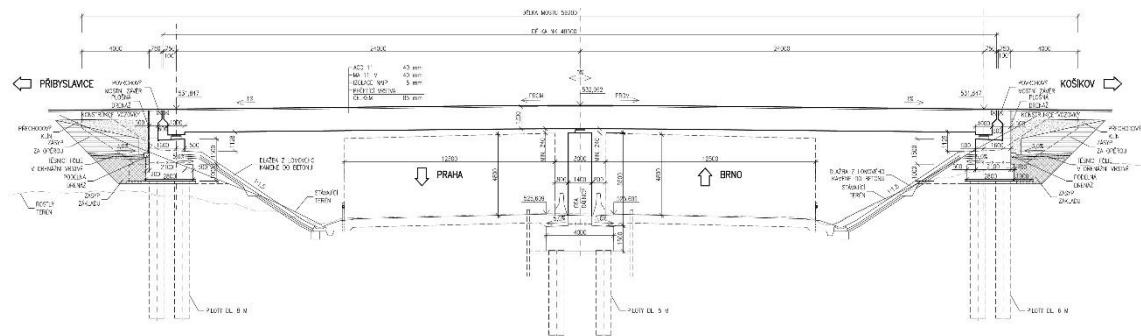
Agresivita prostředí

Kapalné prostředí vykazuje dle ČSN EN 206-1 zvýšený obsah SO_4 - silně agresivní prostředí XA3. Složení a vlastnosti betonu pro chemicky silně agresivní prostředí - XA3, tabulka F.1 ČSN EN206-1. Doporučení pro založení mostu - doporučení geologického průzkumu je založit most hlubinně na velkopřůměrových pilotách opřených do hornin R4 - R3 se zavrtání min. 1,5 m (zvětralé a navětralé ruly). Při vrtání pilot bude nutné pažit vrty v celé jejich délce. [1]

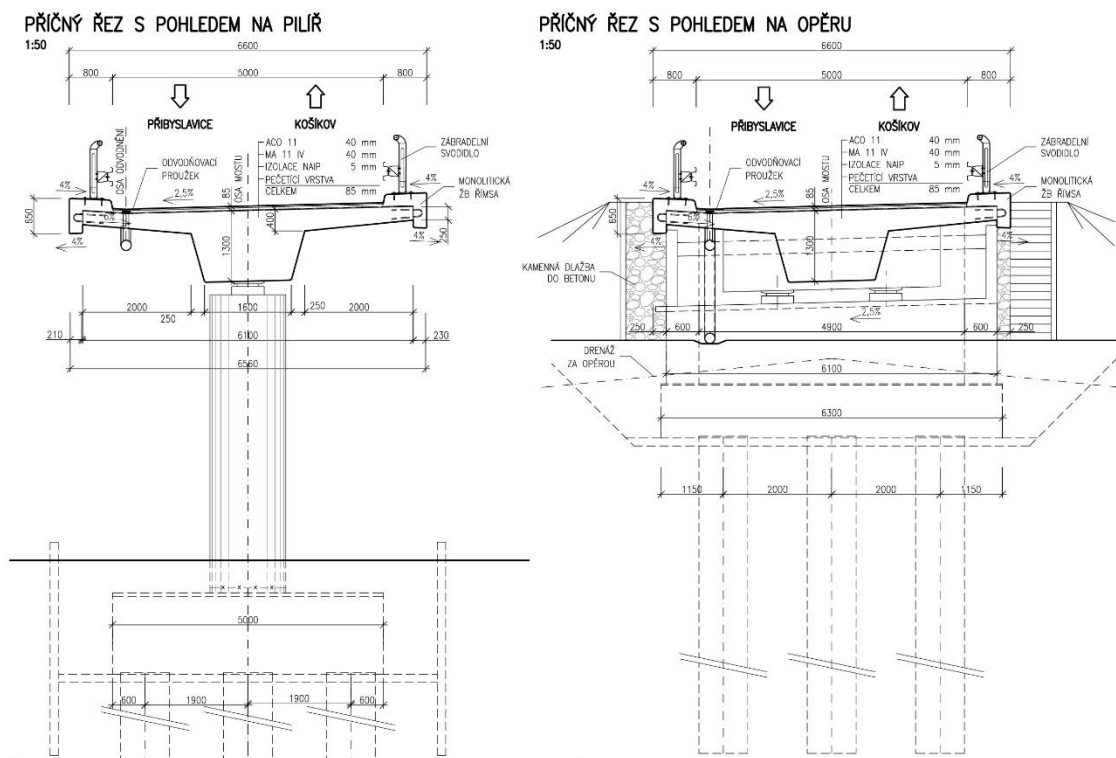
1.3 Varianta 1

Ve variantě 1 je most navržen jako dvoupolový s rozpětím polí 2 x 24,0 m. Průřez je trémový o konstantní výšce 1,3 m, s vyložení konzol 2,0 m. Most je dodatečně předepnutý soudržnou předpínací výztuží. Krajní opěry jsou monolitické s rovnoběžnými křídly o délce 4,0 m, založené hlubinně na pilotách. Střední pilíř je kruhového průřezu o průměru 1,4 m, založený hlubinně na pilotách. Volná výška pod mostem je 5,04 m. Výstavba mostu se předpokládá z monolitického betonu na skruži.

Pro variantu byl vypracován výkres B1.1 – Varianta 1 – přehledný výkres.



Obr. 5 - Varianta 1 - podélný řez

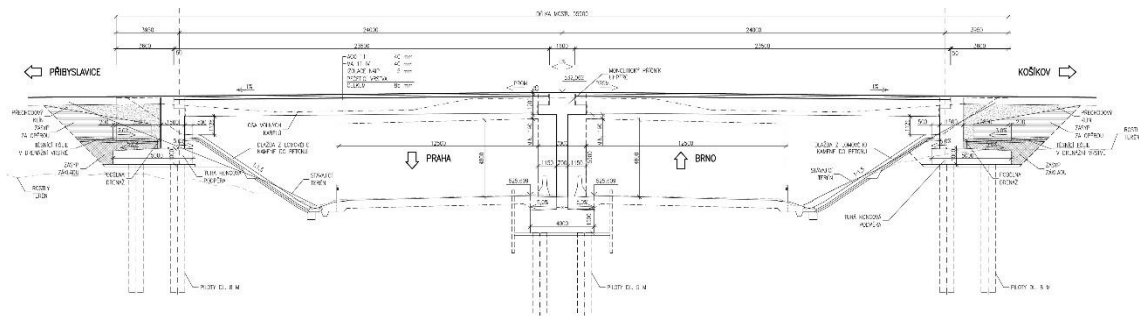


Obr. 6 - Varianta 1 - příčné řezy s pohledem na pilíř a opěru

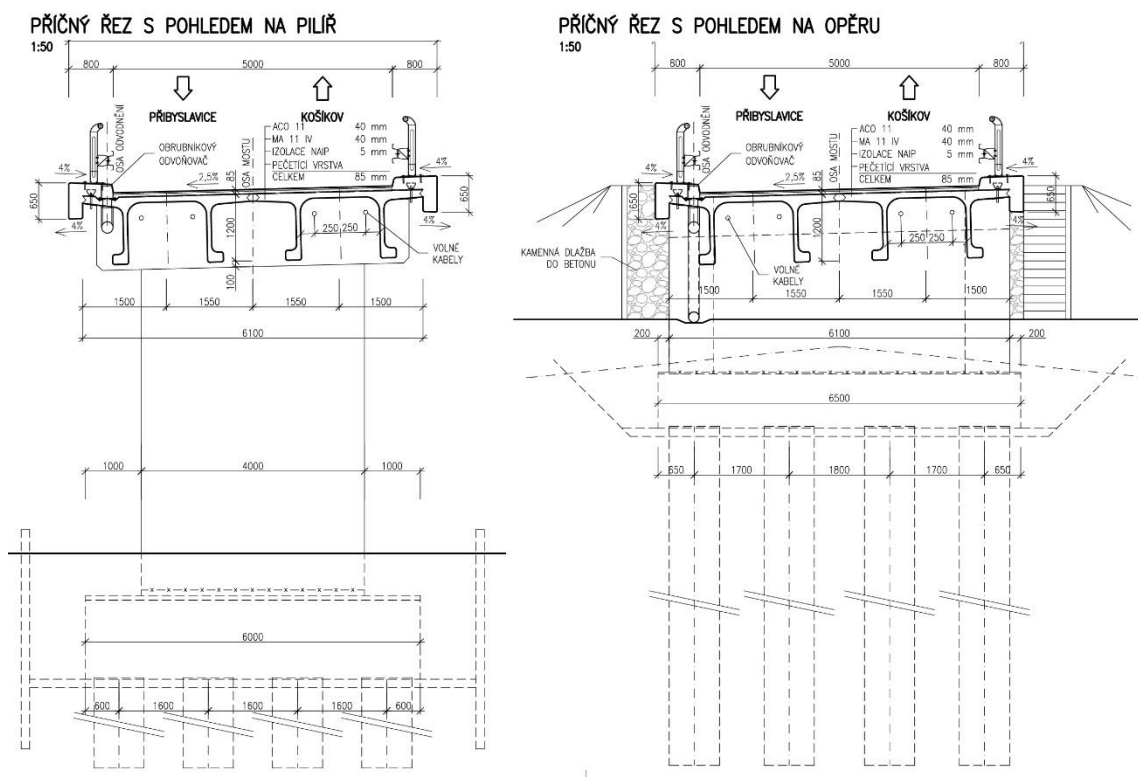
1.4 Varianta 2

Ve variantě 2 je most navržen stejně jako v první variantě jako dvoupolový most s rozpětím polí 2 x 24,0 m. Od první varianty se liší jak příčným řezem, tak i způsobem výstavby. Průřez se skládá ze dvou trámů o tvaru řeckého písmene π o výšce 1,2 m. Trámy jsou prefabrikované, vyrobené z UHPFRC, díky tomuto materiálu může mít průřez velmi subtilní rozměry. Most je dodatečně předpjatý volnými vnějšími kabely. Krajiní opěry jsou tuhé krabicové, střední pilíř je stěnový o tloušťce 700 mm. Opěry i pilíř jsou založeny hlubinně na velkopřůměrových pilotách. Volná výška pod mostem je 4,99 m.

Pro variantu byl vypracován výkres B1.2 – Varianta 2 – přehledný výkres.



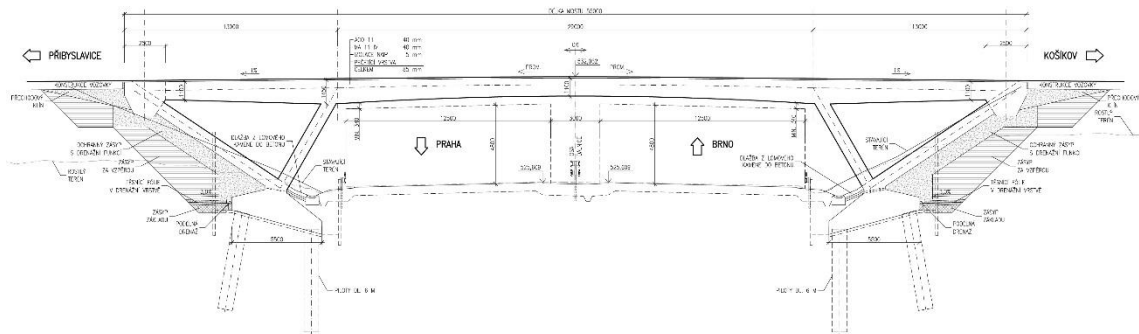
Obr. 7 - Varianta 2 - Podélný řez



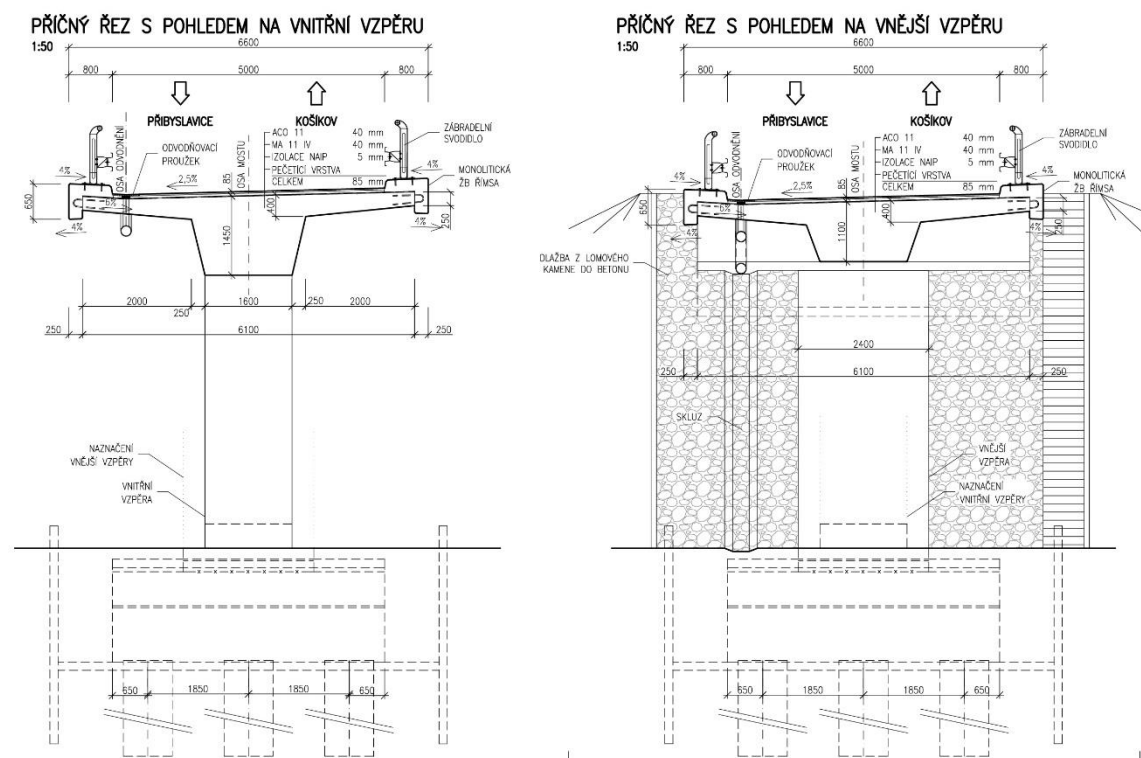
Obr. 8 - Varianta 2 - Příčný řez

1.5 Varianta 3

Ve variantě 3 je navržen vzpěradlový most o třech polích s rozpětím hlavního pole 29 m a krajních polí 13 m. Příčný řez má tvar trámu proměnné výšky 1,1 – 1,45 m s vyloženými konzolami délky 2 m. Most je betonový, monolitický, dodatečně předpjatý soudržnou výztuží. Vzpěry jsou stěnové, vnější mají šířku 2,4 m a tloušťku 0,8 m, vnitřní mají šířku 1,6 m a tloušťku 0,8 m. Most je založen hlubinně na velkopřůměrových pilotách. Výstavba mostu se předpokládá na pevné skruži. Volná výška pod mostem je 5,14 m. Pro variantu byl vypracován výkres B1.3 – Varianta 3 – přehledný výkres.



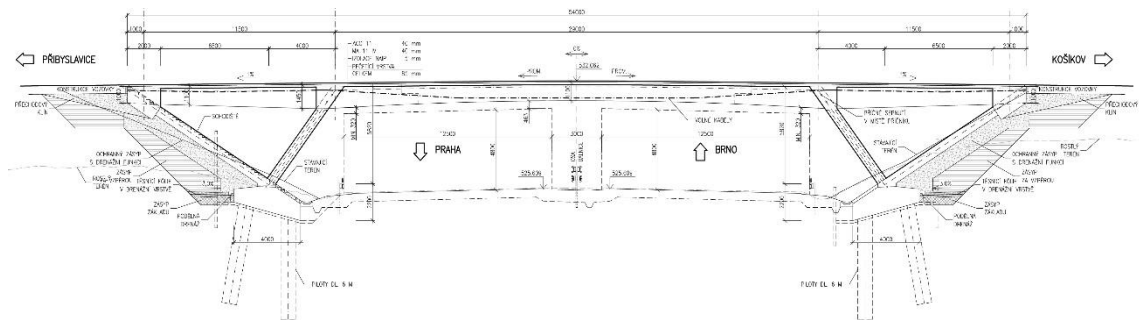
Obr. 9 - Varianta 3 - Podélný řez



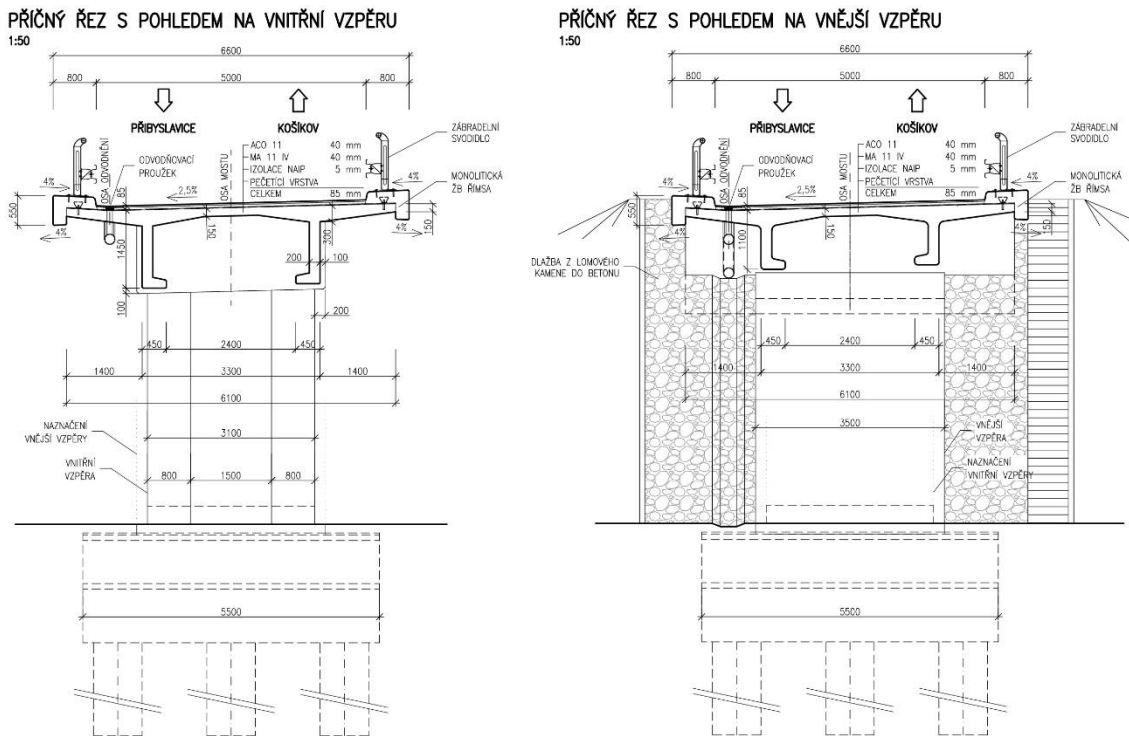
Obr. 10 - Varianta 3 - Příčný řez

1.6 Varianta 4

Ve variantě 4 je stejně jako ve variantě 3 navržen vzpěradlový most o třech polích. Rozpětí hlavního pole je 29 m, rozpětí krajních polí je 11,5 m. Most má průřez tvaru komory bez spodní desky a je navržen z UHPFRC. Předpokládá se výstavba z prefabrikovaných dílců s dodatečným předepnutím volnými kabely. Vzpěry jsou monolitické, vnější vzpěry mají šířku 3,5 m a tloušťku 0,6 m, vnitřní vzpěry mají šířku 3,1 m a tloušťku 0,6 m. Most je založen hlubinně na velkopřůměrových pilotách. Volná výška pod mostem je 5,12 m.



Obr. 11 - Varianta 4 - Podélný řez



Obr. 12 - Varianta 4 - Příčný řez

1.7 Vybraná varianta

Obecně

Pro podrobný návrh byla vybrána varianta 4, vzpěradlový most z UHPFRC, z důvodu subtilní konstrukce, která nezasahuje to středního dělicího pásu dálnice. Proměnná výška průřezu koresponduje s vedením nivelety a nadjezd tak dobře zapadá do celkového pohledu. Výkresová dokumentace je, stejně jako u variant 1- 3, v příloze B.

Pro vítěznou variantu byl vypracován půdorys, podélný řez, vzorový příčný řez a příčné řezy.

V podrobném návrhu bude vytvořen model mostu a navrženo předpětí mostu. Následně bude most posouzen na mezní stavy použitelnosti a únosnosti.

Vybavení mostu

Na nosnou konstrukci z UHPFRC budou zhotoveny římsy z monolitického betonu. Na římsy budou osazena zábradelní svodidla, která navazují na silniční svodidla před mostem.

Řešení odvodnění

Odvodnění je řešeno odvodňovacím proužkem a odvodňovači. Voda z mostu je odváděna příčnými svody u koncových příčniců a dále po svahu do dálničních příkopů. Zbylá voda z mostu je odváděna skluzy za mostem do vývařiště u paty násypu a dále do dálniční kanalizace.

Terénní úpravy

Za mostem na obou koncích je vytvořeno zpevnění z dlažby z lomového kamene do betonu. Zpevnění pod mostem je z lomového kamene do betonu. Přístup pod most je zajištěn služebním schodištěm na obou koncích mostu.

2 Materiály

2.1 Beton nosné konstrukce – UHPFRC

Obecné charakteristiky [2]

UHPFRC z anglického ultra high performance fiber-reinforced concrete, v češtině označovaný jako ultra-vysokohodnotný beton vyztužený vlákny, se používá pro označení jemnozrnného kompozitního materiálu s cementovým pojivem a charakteristickou pevností v tlaku v rozmezí 150 – 250 MPa. Pevnost materiálu v dostředném tahu je vyšší než 7 MPa. V materiálu jsou obsažená ocelová vlákna, která zajišťují vyšší duktilitu materiálu a umožňují navrhovat prvky bez klasické betonářské výztuže. Dalším specifikem je velmi kompaktní struktura s velmi malým obsahem pórů.

U běžných betonů se vodní součinitel (poměr obsahu vody ku obsahu cementu) pohybuje v rozmezí 0,4 – 0,6, u UHPFRC je tento poměr výrazně nižší, většinou se pohybuje v rozmezí 0,16 – 0,2. Aby byla i s malým obsahem vody zajištěna zpracovatelnost čerstvého betonu, přidává se do směsi superplastifikátor a případně také příměs v podobě mikrosilik a to v množství cca 20 % hmotnosti cementu. Díky velmi malé velikosti křemičitých částic, které jsou až 5 – 10 krát menší než cementová zrna, vyplňují vzduchové mezery a zlepšují nejen zpracovatelnost, ale také celkovou strukturu betonu. Kamenivo v UHPFRC je oproti klasickému betonu menší, v řádu milimetrů. Je třeba používat velmi kvalitní kamenivo, aby nebylo nejslabší částí směsi. Výsledná směs je velmi kompaktní a má velmi dobré mechanické vlastnosti a vysokou trvanlivost.

Díky popsanému složení je materiál nejen velmi pevný, ale zároveň také velmi křehký. Tento nedostatek je eliminován přidáním ocelových vláken (drátků) v množství 2 – 3 % objemu, případně až 10 % v případě zvětšení pevnosti v prostém tahu. Velikost drátků sleduje velikost kameniva, délka vláken se pohybuje od 12 mm do 20 mm a průměrem 0,1 až 0,3 mm. Některé UHPFRC obsahují více velikostí drátků, mikrovlákná zlepšují zakotvení větších drátků a zamezují rozšíření prvních mikrotrhlin. Delší vlákna zajišťují větší pevnost v tahu a smyku.

Výpočtové charakteristiky

Charakteristická pevnost betonu v tlaku ve stáří 28 dní $f_{ck} = 161$ MPa

Průměrná pevnost betonu v tlaku ve stáří 28 dní $f_{cm} = 191$ MPa

Charakteristická pevnost betonu v dostředném tahu ve stáří 28 dní $f_{ctk,0,05} = 4,3$ MPa

Průměrná pevnost betonu v dostředném tahu ve stáří 28 dní $f_{ctm} = 6,1$ MPa

Reziduální pevnost betonu v dostředném tahu ve stáří 28 dní $f_{ctfk} = 9,2$ MPa

Návrhové mezní přetvoření betonu v tlaku $\varepsilon_{c2u} = 3$ ‰

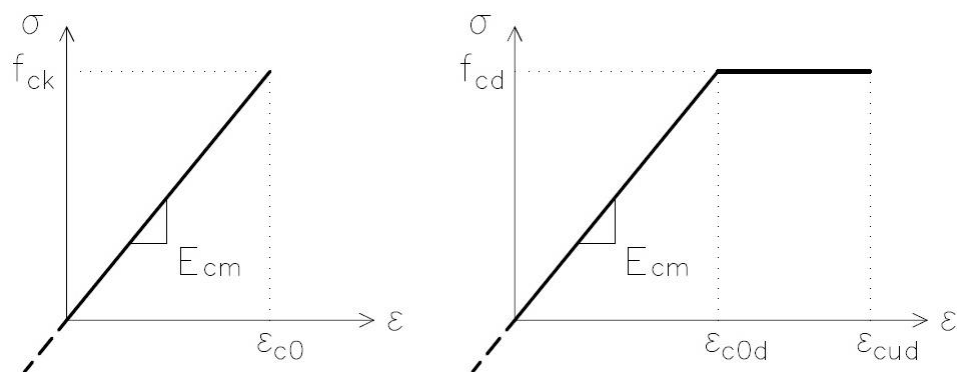
Návrhové přetvoření betonu na mezi pevnosti v tlaku $\varepsilon_{c2} = 2,1$ ‰

Sečnový modul pružnosti betonu $E_{cm} = 50$ GPa

Poissonův součinitel $\nu = 0,2$

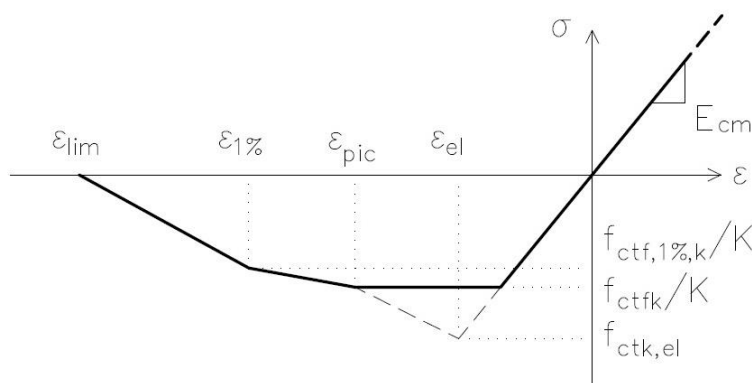
Pracovní diagramy [5]

Pracovní diagram pro UHPFRC v tlaku, kde vlevo je uvažované chování při mezních stavech použitelnosti a vpravo při mezním stavu únosnosti.

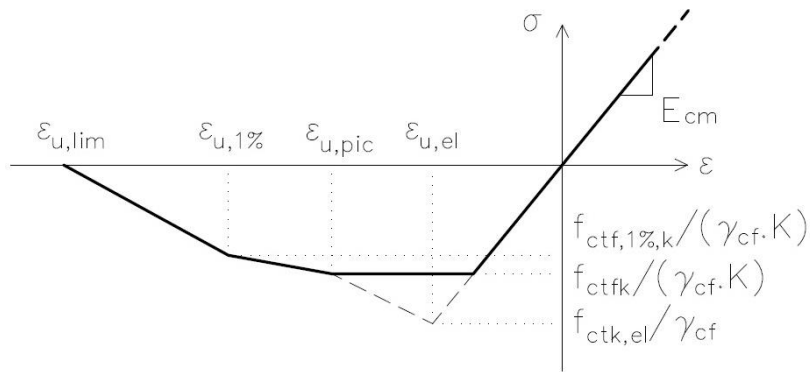


Obr. 13 - Pracovní diagram UHPFRC v tlaku

V tahu se uvažovaný UHPFRC uvažuje jako materiál se změkčením. Pracovní diagramy v tahu jsou zobrazeny na obrázcích.



Obr. 14 - Pracovní diagram UHPFRC v tahu při MSP



Obr. 15 - Pracovní diagram UHPFRC v tahu při MSÚ

Materiálové součinitele se uvažují takto:

$$\gamma_c = 1,5$$

$$\gamma_{fc} = 1,3$$

Součinitel K zohledňující druh analýzy se uvažuje takto:

$$K = 1,3 \text{ pro globální analýzu}$$

$$K = 1,75 \text{ pro lokální analýzu}$$

2.2 Beton spodní stavby

Uvažovaný beton: **C35/45**

Charakteristická pevnost betonu v tlaku ve stáří 28 dní $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$

Průměrná pevnost betonu v tlaku ve stáří 28 dní $f_{cm} = 43 \text{ MPa}$

Charakteristická pevnost betonu v dostředném tahu ve stáří 28 dní $f_{ctk,0,05} = 2,2 \text{ MPa}$

Průměrná pevnost betonu v dostředném tahu ve stáří 28 dní $f_{ctm} = 3,2 \text{ MPa}$

Sečnový modul pružnosti betonu $E_{cm} = 34 \text{ GPa}$

Poissonův součinitel $\nu = 0,2$

2.3 Předpínací výztuž

Předpětí prefabrikátů

Prefabrikáty jsou předepnuty vnitřní předpínací výztuží bez soudržnosti (tzv. monostrandy). Jako předpínací výztuž jsou použita sedmidrátová lana Y1770S7-15,7 o jmenovitém průměru 15,7 mm a jmenovité průřezové ploše 150 mm².

Charakteristická pevnost v tahu $f_{pk} = 1770 \text{ MPa}$

Smluvní mez kluzu $f_{p0,1k} = 1557,6 \text{ MPa}$

Modul pružnosti $E_p = 195 \text{ GPa}$

Volné kabely

Jednotlivé prefabrikované dílce jsou dohromady sepnuty vnější předpínací výztuží bez soudržnosti. Jako předpínací výztuž jsou použité kabely z lan Y1770S7-15,7.

2.4 Betonářská výztuž

Betonářská výztuž je použita pouze v konstrukci spodní stavby. Uvažuje se betonářská výztuž B500B

Charakteristická mez kluzu $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$

Modul pružnosti $E_s = 200 \text{ GPa}$

3 Návrh mostu

3.1 Model

Model mostu je vytvořen v programu Scia Engineer 16.1, v 3D obecném prostoru. Model je rozdělen na řezy po 2 m s výjimkou oblasti napojení vnitřní vzpěry na nosnou konstrukci, kde jsou řezy ve vzdálenosti 0,5 m. Model je vytvořen jako 3D prutový s ortotropní mostovkou, tedy mostovkou s různými vlastnostmi ve dvou na sebe kolmých směrech. V podélném směru je tuhost mostovky téměř nulová a působí celý T průřez prutu, v příčném směru působí mostovka svou skutečnou tuhostí. Díky ortotropní mostovce je možné na most nanášet zatížení v jeho skutečném působišti a díky deskám je následně rozneseno na jeden ze dvou trámů, zároveň je možné jednodušeji vyhodnocovat výsledky.

Návrh předpětí je proveden pro jeden trám. Díky symetrii mostu je ve výpočtu uvažováno pouze s polovinou více zatíženého trámu (tj. ve staničení 0,0 až 27,0 m).

3.2 Zatížení

Zatížení jsou podrobně popsána v příloze A1 – Statický výpočet, zde je pouze přehled působících zatížení

Stálá zatížení

Zatížení vlastní tíhou konstrukce

Zatížení vlastní tíhou konstrukce se uvažuje hodnotou 2800 kg/m^3 pro mostovku z UHPFRC a hodnotou 2500 kg/m^3 pro beton vzpěr a spodní stavby.

Ostatní stálé zatížení

Jako ostatní stálé zatížení se uvažuje zatížení od betonových říms, vrstev vozovky a zábradelního svodidla.

Zatížení od poklesu podpor

Uvažuje se posun podpor 5 mm ve svislém směru a 5 mm ve vodorovném směru. Ve vodorovném směru se uvažuje posun podpor směrem k sobě a od sebe.

Zatížení od předpětí

Na konstrukci působí dva druhy zatížení od předpětí. V montážním stavu se uvažuje předpětí nesoudržnými lany. V provozním stavu se uvažuje zmíněné montážní předpětí a předpětí volnými kabely.

Proměnná zatížení*Zatížení od dopravy*

Pohyblivé zatížení od dopravy je na konstrukci nanášeno dle příčinkových čar a to tak, aby způsobovalo maximální účinky na konstrukci. Průběhy příčinkových čar byly zjištěny na 2D modelu v programu Scia Engineer. Průběhy příčinkových čar pro jednotlivé řezy jsou zobrazeny v příloze A2 Průběhy příčinkových čar.

Uvažuje se zatížení modely zatížení LM1, LM2, LM3 a FLM3.

Zatížení od teploty

Uvažují se celkem 3 typy zatížení teplotou: rovnoměrné oteplení a ochlazení konstrukce, lineární změna teploty po výšce prvku konstrukce (u mostovky lineární změna teploty i po šířce konstrukce) a rozdílová změna teploty – ohřátí či ochlazení některých prvků konstrukce.

Zatížení větrem

Zatížení větrem se uvažuje ve směru x, y a z dle ČSN EN 1991-1-4.

Staveništní zatížení

Staveništní zatížení se uvažuje na prefabrikovaných prvcích v montážním stádiu a uvažují se při návrhu montážního předpětí.

Kombinace

Pro získané průběhy vnitřních sil budou vytvořeny tyto kombinace dle ČSN EN 1990:

Charakteristická kombinace

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + "P" + "Q_{k,1}" + \sum_{i \geq 1} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Častá kombinace

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + "P" + \Psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Kvazistálá kombinace

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Kombinace zatížení pro trvalé a dočasné návrhové situace

Výraz 6.10

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Výraz 6.10a

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Výraz 6.10b

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

3.3 Postup výstavby

Postup výstavby je rozdělen do několika fází, které jsou znázorněny na samostatném výkrese B2.5 – Fáze výstavby.

1. fáze

V první fázi bude odstraněn stávající most za vyloučeného provozu na dálnici.

2. fáze

V druhé fázi budou nejprve zhotoveny piloty a následně budou vybetonovány základy pro vzpěry. Zároveň začne výroba prefabrikátů, do bednění budou osazeny kanálky nesoudržné předpínací výztuže, které budou následně zality betonovou směsí. Ve stáří 7 dnů budou prefabrikáty předepnuty a tím dojde k jejich odbednění.

3. fáze

Ve třetí fázi dojde k vybetonování vnějších a vnitřních vzpěr. Vnější vzpěru ve směru na Košíkov lze betonovat na upraveném stávajícím terénu, bednění ostatních vzpěr bude nutné provizorně podepřít.

4. fáze

Ve čtvrté fázi budou krajní prefabrikované dílce osazeny na již hotové vzpěry. Počítá se s provizorním podepřením vzpěr až do plného zmonolitnění celé konstrukce.

5. fáze

V páté fázi dojde k monolitickému propojení krajních prefabrikovaných dílců a vnitřních a vnějších vzpěr. V místě napojení vnitřních vzpěr na mostovku se předpokládá příčné sepnutí stojin mostovky.

6. fáze

V šesté fázi dojde k osazení středního prefabrikovaného dílce a tím dojde k přitížení krajních prefabrikovaných dílců osamělou silou.

7. fáze

V sedmé fázi bude konstrukce sepnuta vnějšími předpínacími kabely. V této fázi je již možné odstranit provizorní podepření vnitřních vzpěr.

8. fáze

V osmé fázi budou vybetonovány římsy a následně dojde k položení jednotlivých vrstev vozovky a osazení zábradelních svodidel. Po provedení terénních úprav a dokončovacích prací bude most uveden do provozu.

3.4 Průběhy vnitřních sil

Průběhy vnitřních sil od jednotlivých zatížení i jejich kombinací jsou zobrazeny v příloze A1 – Statický výpočet. Hodnoty vnitřních sil v jednotlivých řezech jsou shrnuty v tabulkách v příloze A1.

3.5 Návrh předpětí

Návrh předpětí zohledňuje nejen na vliv jednotlivých zatížení, ale také změny statického působení v jednotlivých fázích výstavby, vliv dotvarování konstrukce a ztráty předpětí, které jsou ve fázi návrhu pouze odhadnuty.

Navržená předpínací výztuž v krajním prefabrikátu

V krajním prefabrikátu je navrženo předpětí z monostrandů. Poloha jednotlivých lan (skupin lan) v podélném a příčném směru je zobrazena na výkrese B2.6 – Předpínací výztuž prefabrikátů.

Navržená předpínací výztuž ve středním prefabrikátu

Ve středním prefabrikátu je navrženo předpětí z monostrandů. Poloha jednotlivých lan (skupin lan) v podélném a příčném směru je zobrazena na výkrese B2.6 – Předpínací výztuž prefabrikátů.

Navržená volná předpínací výztuž

Volná předpínací výztuž je navržena ze 4 kabelů po 19 lanech. Poloha předpínací výztuže v podélném a příčném směru je zobrazena na výkrese B2.7 – Předpínací výztuž z volných kabelů.

Navržená příčná předpínací výztuž mostovky

Mostovka je v příčném směru předepnuta monostrandy ze 3 lan po 0,4 m. Umístění předpínací výztuže je zobrazeno na výkrese B2.8 – Příčná předpínací výztuž mostovky.

4 Posouzení mostu

4.1 Výsledné působení konstrukce

Pro navržené předpětí bylo vypočteno skutečné působení na konstrukci a ztráty předpětí pro čas vnesení předpětí, uvedení do provozu a konec životnosti metodou TDA v programu Scia Engineer. V další části práce je konstrukce posouzena na mezní stavy únosnosti a použitelnosti. Celý výpočet včetně posouzení je podrobně rozepsán v příloze A1 Statický výpočet.

4.2 Mezní stav použitelnosti

Mezní stav omezení napětí

Při charakteristické kombinaci by neměla hodnota tlakového napětí na konstrukci přesáhnout hodnotu $0,6f_{ck}$, aby se zamezilo vzniku podélných trhlin.

$$0,6f_{ck} = 0,6 \cdot 161 = 96,6 \text{ MPa (tlak)}$$

Při kvazi-stálé kombinaci by neměla hodnota tlakového napětí na konstrukci přesáhnout hodnotu $0,45f_{ck}$, aby se zamezilo nelineárnímu dotvarování konstrukce.

$$0,45f_{ck} = 0,45 \cdot 161 = 72,45 \text{ MPa (tlak)}$$

Konstrukce v žádném místě v podélném či příčném směru nepřesáhne stanovené hodnoty a vyhoví na mezní stav omezení napětí.

Mezní stav omezení trhlin

Při kvazi-stálé kombinaci je napětí omezeno na dekompresi, při časté kombinaci jsou povolena tahová napětí do velikosti $f_{ctf,k}/K$

$$\frac{f_{ctf,k}}{K} = \frac{9,2}{1,25} = 7,36 \text{ MPa (tah)}$$

Při charakteristické kombinaci jsou povolena tahová napětí do velikosti

$$f_{ctf,k} = 9,2 \text{ MPa (tah)}.$$

Ve stavebním stádiu po předepnutí konstrukce se při kvazi-stálé kombinaci povolují tahy do velikosti $f_{ctk,0,05} = 4,3 \text{ MPa}$, u kterých se uvažuje, že po nanesení ostatního stálého zatížení vymizí.

Konstrukce v žádném místě v podélném či příčném směru nepřesáhne stanovené hodnoty a vyhoví na mezní stav omezení trhlin.

4.3 Mezní stav únosnosti

Konstrukce se posuzuje ve dvou řezech v podélném a ve dvou řezech v příčném směru. V podélném směru v řezu 8 a 16, v příčném směru v řezu 3 a 5. Výsledné momenty únosnosti a momenty od kombinací jsou shrnuty v tabulce.

| Podélný směr | | |
|--------------|---------------|-------------|
| Řez | M_{Rd} | M_{Ed} |
| 8 | -12 427,0 kNm | -3780,4 kNm |
| 16 | 3506,0 kNm | 2826,9 kNm |
| Příčný směr | | |
| Řez | M_{Rd} | M_{Ed} |
| 3 | -229,7 kNm | -205,5 kNm |
| 5 | 94,3 kNm | 81,7 kNm |

Tab. 1 – Mezní momenty na konstrukci

5 Závěr

Ze 4 navržených variant byla vybrána varianta č. 4, vzpěradlový most s prefabrikovanou nosnou konstrukcí z UHPFRC. Byl vytvořen model mostu a vypočteny účinky zatížení na konstrukci. Dle získaného průběhu vnitřních sil bylo navrženo montážní předpětí lany bez soudržnosti a předpětí volnými kabely. Pro navržené předpětí bylo stanoveno působení na konstrukci a ztráty předpětí v posuzovaných časech. Na závěr byla konstrukce posouzena na mezní stavy únosnosti a použitelnosti. Konstrukce pro všechny mezní stavy vyhověla.

Seznam použité literatury

- [1] Projektová dokumentace pro provádění stavby (PDPS) – VIAPONT s.r.o.
- [2] EDITED BY FRANÇOIS TOUTLEMONDE a Jacques RESPLENDINO. *Designing and building with UHPFRC: state of the art and development*. London: ISTE, 2011. ISBN 9781848212718.
- [3] ŠAFÁŘ, Roman. *Betonové mosty 2: přednášky*. 1. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2014, 260 s. ISBN 978-80-01-05543-4.
- [4] ŠAFÁŘ, Roman, Jindřich ČECH a Jana BÁRTOVÁ. *Betonové mosty 2: cvičení*. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04433-9.
- [5] Ultra high performance fibre-reinforced – Recommendations – příručka vydaná organizací AFGC v červnu 2013

Seznam příloh

Příloha A1 – Statický výpočet

Příloha A2 – Příčinkové čáry

Příloha B – Výkresová dokumentace

B1.1 – Varianta 1 – přehledný výkres

B1.2 – Varianta 2 – přehledný výkres

B1.3 – Varianta 3 – přehledný výkres

B2.1 – Půdorys

B2.2 – Podélný řez

B2.3 – Vzorový příčný řez

B2.4 – Příčné řezy

B2.5 – Fáze výstavby

B2.6 – Předpínací výztuž prefabrikátů

B2.7 – Předpínací výztuž z volných kabelů

B2.8 – Příčná předpínací výztuž mostovky

Seznam obrázků

| | |
|---|----|
| Obr. 1 - Umístění mostu | 8 |
| Obr. 2 - Stávající most - podélný řez | 9 |
| Obr. 3 - Stávající most - příčný řez | 9 |
| Obr. 4 - Stávající most - půdorys | 9 |
| Obr. 5 - Varianta 1 - podélný řez | 12 |
| Obr. 6 - Varianta 1 - příčné řezy s pohledem na pilíř a opěru | 12 |
| Obr. 7 - Varianta 2 - Podélný řez | 13 |
| Obr. 8 - Varianta 2 - Příčný řez | 13 |
| Obr. 9 - Varianta 3 - Podélný řez | 14 |
| Obr. 10 - Varianta 3 - Příčný řez | 14 |
| Obr. 11 - Varianta 4 - Podélný řez | 15 |
| Obr. 12 - Varianta 4 - Příčný řez | 15 |
| Obr. 13 - Pracovní diagram UHPFRC v tlaku | 18 |
| Obr. 14 - Pracovní diagram UHPFRC v tahu při MSP | 18 |
| Obr. 15 - Pracovní diagram UHPFRC v tahu při MSÚ | 19 |

Seznam tabulek

| | |
|--|----|
| Tab. 1 – Mezní momenty na konstrukci | 27 |
|--|----|