

NÁVRH ESTAKÁDY Z UHPFRC PREFABRIKOVANÝCH SEGMENTŮ

Lukáš Kaprálek, *

Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební,
České vysoké učení technické v Praze, Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6, Česká republika.
lukas.kapralek@fsv.cvut.cz

ABSTRAKT

Tento článek představuje diplomovou práci, která se zabývá návrhem estakády z UHPFRC segmentů. Estakáda se nachází na dálnici D35 v úseku Opatovice – Časy.

Konstrukce je řešena jako spojitý nosník o 18 – ti polích o rozpětí 30 + 16 x 51 + 30 m. Hlavní nosné prvky konstrukce jsou dva komorové nosníky z prefabrikovaných segmentů, které jsou propojeny pomocí příčníků. Na příčníky jsou uloženy prefabrikované mostovkové desky vyztužené podélníky. Konstrukce je předpjatá v podélném i v příčném směru. V podélném směru jsou použity volné kabely vedené uvnitř komorových nosníků. V příčném směru je předepnuta horní deska pomocí kabelů v plochých kanálcích, které mohou být navrženy se soudržností i bez soudržnosti s betonem. Rovněž jsou předepnuty příčníky a mostovkové desky s podélníky – předpětí zde slouží i pro spojení jednotlivých dílů nosné konstrukce dohromady.

KLÍČOVÁ SLOVA

Dálniční most • UHPFRC • Estakáda • Prefabrikované prvky • Segmenty

ABSTRACT

This article presents a diploma thesis which is focused on desing of a highway viaduct made of UHPFRC precast segments. The viaduct is placed on highway D35, section Opatovice – Časy.

Superstructure of the bridge is made as a continuous beam with eighteen spans of the length 30 + 16 x 51 + 30 m. The main load-bearing elements of the bridge are two box girders composed of precast segments, which are connected with crossbeams. Crossbeams are then supporting precast deck slabs strengthened by longitudinal stiffeners. The bridge is prestressed in the longitudinal as well as in the transverse direction. In the longitudinal direction, external tendons are used, placed inside the box girders. In the transverse direction, the upper slab deck is prestressed by tendons in flat ducts, which can be made as bonded as well as unbonded. Also cross-beams and deck slabs with longitudinal stiffeners are prestressed – the prestressing is used here also for connection of individual elements together.

KEYWORDS

Highway bridge • UHPFRC • Viaduct • Precast elements • Segments

1. ÚVOD

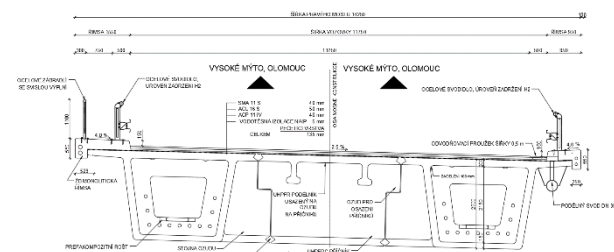
Předmětem diplomové práce byl návrh estakády z UHPFRC prefabrikovaných segmentů. Práce přímo navazuje na práci bakalářskou, kde byla řešena stejná konstrukce s odlišným způsobem výstavby. Zatímco v bakalářské práci se předpokládala montáž „vpřed“, v diplomové práci byla zvolena realizace letmou montáží pomocí lehkých atypických jeřábů, umístěných vždy na koncích vahadla.

Obsahem práce je statický výpočet ve stádiu výstavby i pro definitivní konstrukci, technická zpráva a výkresová dokumentace.

2. POPIS KONSTRUKCE

Konstrukce je vytvořena z prefabrikovaných prvků vyrobených z UHPFRC o $f_{ck} = 161$ MPa. Díky vysoké pevnosti použitého materiálu v tlaku a velmi dobré pevnosti v tahu je možné navrhnout štíhlé prvky konstrukce a tím snížit jejich hmotnost.

V příčném směru je konstrukce tvořena dvěma segmentovými nosníky komorového průřezu, které jsou propojeny prefabrikovanými příčníky tvaru I. Na příčníky jsou uloženy mostovkové desky vyztužené podélníky.

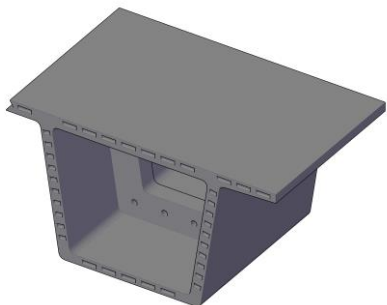


Obrázek 1 Příčný řez mostem

Hlavní segmentové komorové nosníky mají šířku 4,8 m a výšku 2,5 m. Délka jednotlivých segmentů v podélném směru mostu je u běžných segmentů 3,0 m, u nadpodporových segmentů 2,6 m. V každém komorovém segmentu je uprostřed ztužidlo, které je využito pro kotvení definitivních předpínacích kabelů i pro kotvení dočasných předpínacích tyčí, použitých při

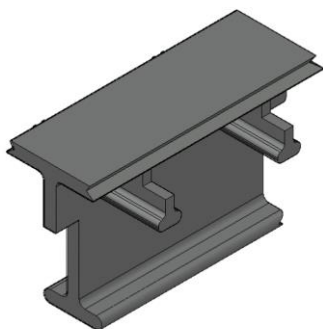
* Školitel: doc. Ing. Roman Šafář, Ph.D.

montáži. Ztužidla mají základní tloušťku 0,3 m; tato tloušťka je lokálně zvětšena v místě kotvení kabelů z důvodu umístění kotev a zachycení kotevních sil.



Obrázek 2 3D model typického segmentu

Příčnický tvar I jsou umístěny nad podporami mezi každým 3., resp. 4. segmentem. Na příčnicích jsou ozuby pro usazení podélníků, které nesou mostovkovou desku.



Obrázek 3 3D model příčnicku

Poslední částí jsou podélníky s mostovkovými deskami. Ty jsou uloženy na příčnicích a vyplňují prostor mezi segmentovými nosníky a příčnickými. Podélníky jsou tvořeny (například) dvěma nosníky tvaru obráceného T pod deskou.



Obrázek 4 3D model desky s podélníky, pohled zdola

Spáry mezi segmenty jsou řešeny jako kontaktní, s malými smykovými ozuby. Čela segmentů jsou navíc při montáži natřena epoxidovým tmelem. Ostatní spáry jsou provázány betonářskou výztuží, zalaty UHPFRC a díly jsou dohromady sepnuty předpínací výztuží.

Celková délka nosné konstrukce je 879,0 metrů, šířka mostu je 2x 14,25 m a stavební výška 2,635 m.

3. ZPŮSOB VÝSTAVBY

Uvažovaný způsob realizace (v DP) nosné konstrukce je letmá montáž. V první fázi je osazen nadpilřový segment, příčník a navazující segment na každé straně. Stabilitu vahadla zajišťují provizorní podpěry umístěné v 1/3 délky běžného segmentu. V této fázi jsou k sobě segmenty sepnuty pomocí předpínacích tyčí. V navazující fázi jsou na vahadlo umístěny lehké atypické jeřáby a lehký atypický dopravní prostředek. Segmenty jsou dále zvedány na dopravní prostředky pomocí autojeřábů a po vahadle dopravovány pod lehké jeřáby. Připnutí segmentů je vždy v první fázi realizováno předpínacími tyčemi, po vytvrdnutí epoxidového tmelu jsou napnuty volné předpínací kabely.

Po smontování kompletního vahadla se konstrukce propojí s krajním polem resp. s navazujícím vahadlem pomocí monolitické dobetonávky. V následující fázi se napnou kladé kabely, které zaručí spojení vahadel.

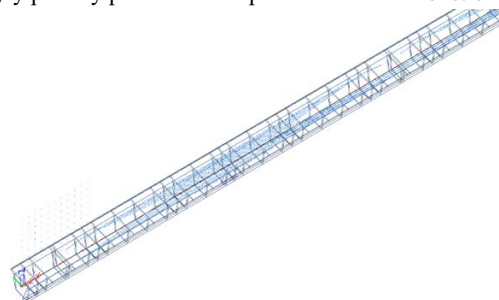
4. VÝPOČETNÍ MODEL Y

Konstrukce byla pro výpočet modelována jako spojitý nosník o 4 polích, což přineslo značné zjednodušení výpočtů, ale zároveň bylo dostatečně vystiženo působení dané konstrukce.

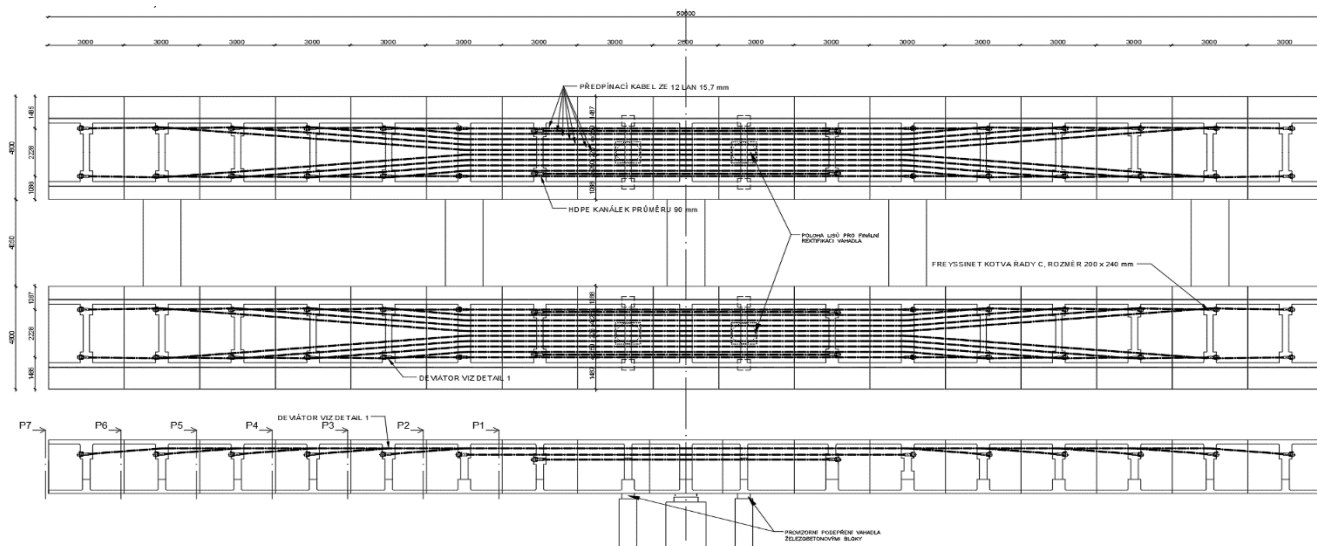
4.1. 2D TDA model

Pro výpočet vnitřních sil ve stavebních fázích konstrukce byl zhotoven 2D TDA model v programu SCIA eng. 19.1. V tomto modelu byla uvažována vlastní tíha nosné konstrukce, ostatní stálé zatížení, tíha jeřábů i dopravních prostředků a staveništní zatížení. V modelu bylo dále uvažováno podélné předpětí - konzolové a kladné kabely.

Z každé fáze výstavby konstrukce byly vnitřní síly vypsány do tabulkového procesoru, kde bylo posouzeno zamezení vzniku tahových napětí ve spárách mezi segmenty. Vnitřní síly v době uvedení do provozu a na konci životnosti byly použity pro závěrečné posouzení nosné konstrukce.



Obrázek 5 2D TDA model



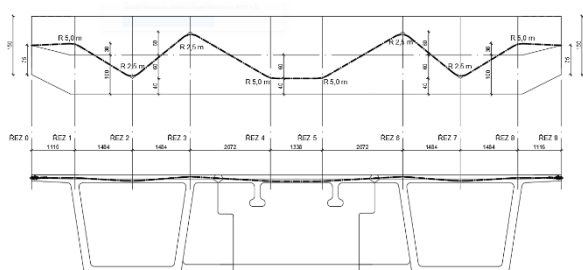
Obrázek 11 Vedení konzolových kabelů pro předpětí vahadla

5.3. Kladné kabely

Po spojení vahadel konstrukce jsou napnuty kladné kabely. Opět jsou zde použity kabely o 12 – ti lanech. Vedení kabelů je přímé a jsou kotveny postupně po segmentech, toto rozmištění respektuje průběh ohybových momentů.

5.4. Příčné předpětí

V diplomové práci byl rovněž proveden návrh příčného předpětí v horní desce. Použity jsou zde kabely tvořené třemi lany Y1860 S7 – 13,0 mm s plochými kanálky. Posouzeno bylo provedení s kabely se souřzností i bez souřznosti. Kabely jsou v podélném směru po 0,5 m.



Obrázek 12 Předpětí v příčném směru

6. POSOUZENÍ KONSTRUKCE

6.1. Posouzení MSP

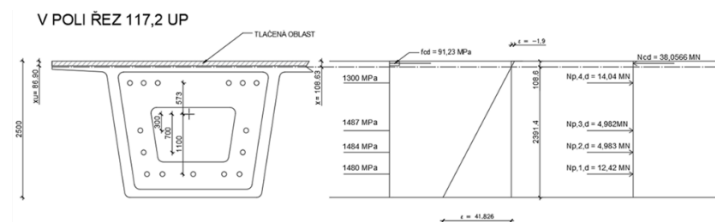
Jedná se o segmentovou konstrukci, hlavní omezující podmínka z hlediska MSP je tedy omezení tahových napětí hodnotou 0 MPa ve spárách segmentů při působení charakteristické kombinace. Konstrukce vyhověla ve všech posuzovaných časech a stavebních stádiích.

V příčném směru bylo tahové napětí omezeno hodnotou 5,33 MPa. Posouzení bylo provedeno přímo

v programu SCIA eng. a to vykreslením izoploch napětí. Konstrukce vyhověla.

6.2. Posouzení MSÚ

Posouzení MSÚ bylo provedeno pro maximální kladný a záporný moment v době uvedení do provozu i na konci životnosti. Vzhledem k použití volných kabelů bylo napětí v kabelech v tažené oblasti průřezu zvětšeno o 100 MPa.



Obrázek 13 Posouzení MSÚ podélný směr

V příčném směru byla posouzena horní deska (mostovka). Posouzení bylo provedeno ve 3 různých variantách a to:

- pro soudržnou předpínací výztuž – bez uvážení tahové pevnosti betonu
- pro nesoudržnou předpínací výztuž – bez uvážení tahové pevnosti betonu
- pro nesoudržnou předpínací výztuž – s uvážením tahové pevnosti betonu

Výsledky jsou uvedeny v následující tabulce:

Řez	Vypočtené momenty únosnosti						Návrhové momenty působící v řezu - včetně stat. neurč. účinků předpětí		Posouzení	
	Varianta 1		Varianta 2		Varianta 3		UP	K2	UP	K2
	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]				
Nad podporou	134	134	119	116	195	192	64	60	VYHOVÍ	VYHOVÍ
V poli	134	134	123	119	191	188	62	64	VYHOVÍ	VYHOVÍ

7. ZÁVĚR

V článku je představena nová, zatím nepoužitá segmentová konstrukce. V rámci diplomové práce byly posouzeny hlavní nosné části a ověřena možnost fungování navrhované konstrukce. Díky použitému systému prefabrikovaných segmentů, příčníků a podélníků je konstrukce variabilní, použitelná pro různé šířky, délky a způsoby výstavby mostů. Materiál UHPFRC, který je pro jednotlivé prvky použit, je velice odolný a spolu s použitím kvalitní předpínací výztuže typu monostrand je předpokládána dlouhá životnost konstrukce.

Konstrukce vyhověla ve všech posuzovaných stavech použitelnosti i únosnosti a to v podélném i v příčném směru.

Dalšímu zkoumání této konstrukce se budu věnovat ve své dizertační práci.

Literatura

1. KAPRÁLEK, Jan, 2020. *Návrh estakády z UHPFRC prefabrikovaných segmentů*. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta Stavební
2. ŠAFÁŘ, Roman. *Betonové mosty 2 - cvičení: návrh předpjatého mostu podle Eurokódů*. V Praze: České vysoké učení technické, 2015. ISBN 9788001056905.
3. ŠAFÁŘ, Roman. *Betonové mosty 2: přednášky*. V Praze: České vysoké učení technické, 2014. ISBN 9788001055434.
4. TOULEMONDE, François a Jacques RESPLENDINO. *Designing and Building with UHPFRC*. 2nd ed. Great Britain: John Wiley, 2013. ISBN 978-1-84821-271-8.
5. AFGC-SETRA. *Bétons Fibrés à Ultra-hautes Performances – Recommandation*. 2013
6. ČSN EN 1992-1-1 ed 2, Eurokód 2. *Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2011.
7. ČSN EN 1992-2, Eurokód 2. *Navrhování betonových konstrukcí – Část 2: Betonové mosty – Navrhování a konstrukční zásady*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
8. ČSN 73 6214. *Navrhování betonových mostních konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 2014.
9. Standard NF P18-710 *National addition to Eurocode 2 - Design of concrete structures: specific rules for ultra-high performance fibre-reinforced concrete (UHPFRC)*, Francie, duben 2016,
10. Standard NF P18-470 *Concrete - Ultra-high performance fibre-reinforced concrete - Specifications, performance, production and conformity*, Francie, červenec 2016.
11. Doc. Ing. Roman Šafář. Ph.D., Ing. Lukáš Kaprálek, *Variabilní sestava betonových prefabrikovaných prvků pro mostní konstrukce – Užité vzor*, Úřad průmyslového vlastnictví
12. Doc. Ing. Roman Šafář. Ph.D., Ing. Lukáš Kaprálek, *Prefabrikovaný systém z UHPFRC pro mostní konstrukce – Patent* Úřad průmyslového vlastnictví