

NÁVRH SPOJITÉ MOSTNÍ KONSTRUKCE

Jan Škarda, *

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

ABSTRAKT

Článek představuje návrh a posouzení mostní konstrukce na přeložce silnice III/11812 přes budoucí prodloužení dálnice D4 směrem na Písek. Na základě směrového a výškového vedení komunikace, jsou vypracovány 4 varianty řešení. Výslednou variantu tvoří spojitý deskotrámový nosník o třech polích s rozpětími 20 + 34,5 + 20 m. Nosná konstrukce je podepřena stojkami spojenými s nosnou konstrukcí vrubovými klouby. Na opěrách je potom konstrukce uložena na hrncová ložiska.

KLÍČOVÁ SLOVA

Silniční most • Předpjatý beton • Půdorysně zakřivená konstrukce

ABSTRACT

The article represents a design and analysis of a bridge structure on the crossing of relocated road III/11812 over the future extension of the motorway D4 towards Písek. Based on the geometrical road design of the relocated road, 4 variants of solution are proposed. The result version is designed as a slab-girder continuous 3-span beam bridge with spans of 20 + 34,5 + 20 m. The load-carrying structure is supported by intermediate piers connected to the deck by concrete hinges and by end abutments with pot bearings.

KEYWORDS

Road bridge • Prestressed concrete • Horizontally curved structure

1. ÚVOD

V tomto článku jsou shrnuty výsledky diplomové práce¹, která se zabývá návrhem spojitě mostní konstrukce o 3 polích. Byly navrženy celkem 4 varianty řešení, přičemž pro vybrání výsledné varianty byly 2 z nich posouzeny na mezní stav použitelnosti a u jedné z nich byl proveden návrh předpětí. Na základě výsledků byla vybrána finální varianta, která byla dále analyzována.

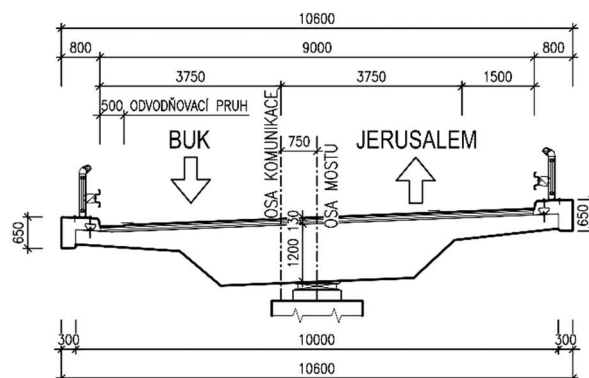
Dále tento článek stručně popisuje navržené varianty. Výsledná varianta řešení je popsána podrobněji.

2. VARIANTA A

V této variantě je nosná konstrukce navržena jako deskotrámový nosník o konstantní tloušťce 1,20 m. Konstrukce má celkem 4 pole o rozpětích 20 + 18 + 16,5 + 20 m. Celková délka konstrukce mezi osami uložení na opěrách je tedy 74,5 m. Horní povrch konstrukce je, vzhledem k půdorysnému oblouku převáděné komunikace, v dostředném sklonu 4%.

Podepření konstrukce je realizováno pomocí jednoho pilíře s hrncovým ložiskem vždy v ose mostu. Na opěrách je konstrukce uložena na dvojici hrncových ložisek, která jsou pod koncovým příčником.

Tato varianta nebyla dále posuzována protože jeden z jejich pilířů byl v dělicím pásu mezi jednotlivými jízdni směry přemostované dálnice.



Obrázek 1: Příčný řez variantou A

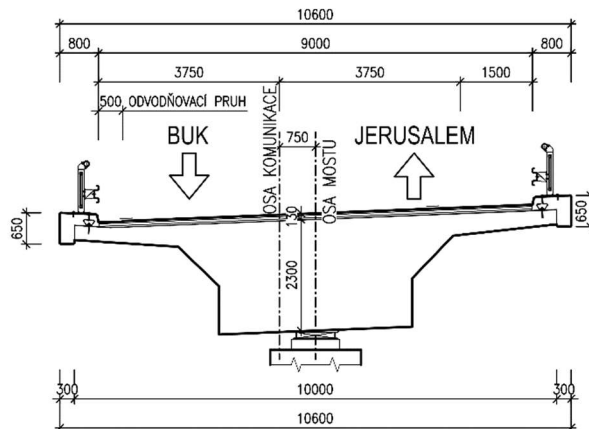
3. VARIANTA B

Variantu B tvoří rovněž deskotrámový nosník, tentokrát o třech polích. Jsou zde navrženy náběhy v místech podpěr, kde výška průřezu dosahuje 2,30 m a uprostřed rozpětí je tloušťka desky 1,30 m, náběh má tedy výšku 1,00 m.

V podélném směru jsou navržena rozpětí 20 + 34,5 + 20 m, celková délka mezi osami uložení na opěrách je tedy rovněž 74,5 m jako u varianty A. Na opěrách je konstrukce uložena na dvojici hrncových ložisek, na každém pilíři je vždy jedno hrncové ložisko.

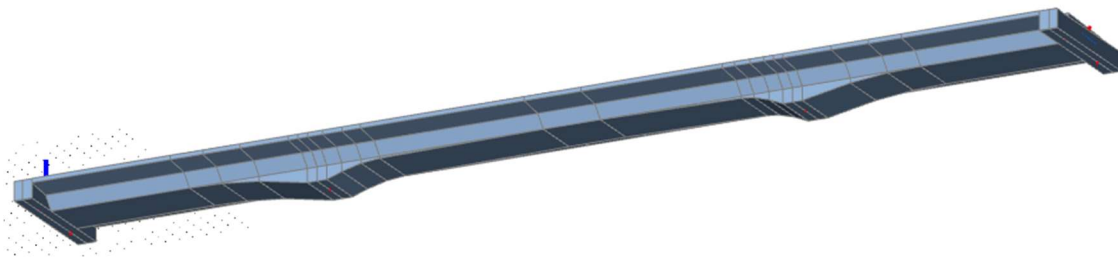
¹ ŠKARDA (2018)

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



Obrázek 2: Příčný řez variantou B

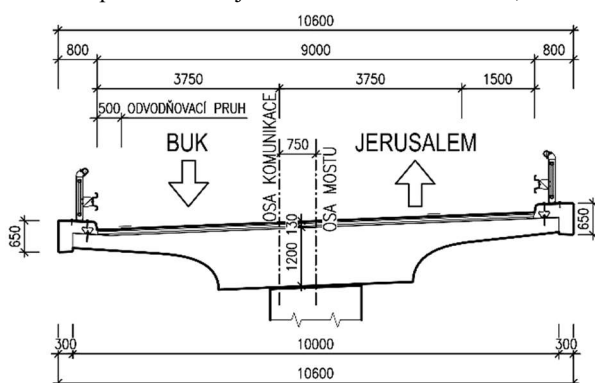
Byl zde proveden návrh předpětí, kde bylo tzv. vynásecími silami vyrovnáno alespoň 90% stálých zatížení. Po návrhu předpětí bylo provedeno posouzení z hlediska mezních stavů použitelnosti a byla vykreslena výsledná napětí uprostřed prvního pole, nad první podporou a uprostřed druhého pole. Na základě těchto napětí byla vybrána výsledná varianta.



Obrázek 3: Vizualizace výpočetního modelu – varianta B

4. VARIANTA C

Rovněž v této variantě je navržen deskotrámový nosník, s mírně odlišným tvarem příčného řezu a sice; se zaoblením dolních částí konzol. Tento tvar působí jemnějším dojmem. Tloušťka příčného řezu je konstantní a má hodnotu 1,20 m.



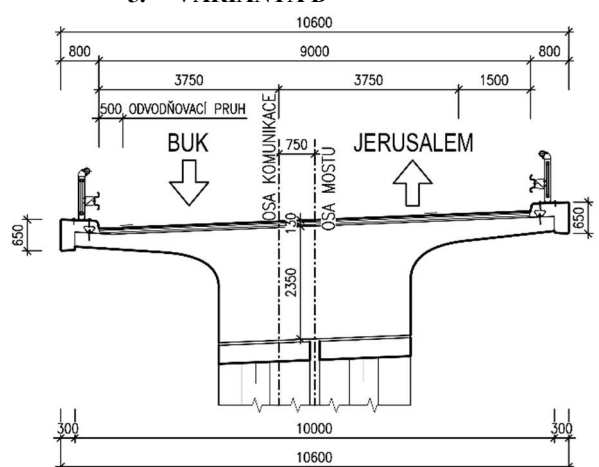
Obrázek 4: Příčný řez variantou C

V podélném směru jsou navržena 3 pole o rozpětích 20 + 34,5 + 20 m (jako u předešlých variant). Jak je patrné z

příčného řezu výše, konstrukce je na podpěrách uložena pomocí vrubových kloubů, čímž je eliminována nutnost údržby ložisek.

Rovněž jako u předchozí varianty byl proveden návrh předpětí, posouzení MSP a vykreslení průběhů napětí.

5. VARIANTA D



Obrázek 5: Příčný řez variantou D

V této variantě byl navržen vzpěradlový rám, jehož tloušťka příčného řezu uprostřed rozpětí je 1,20 m a nad stojkami potom 2,35 m.

Konstrukce je podporována šikmými stojkami, které jsou spojeny s opěrami pomocí šikmých vzpěr kopírujících terén u opěr. Rozpětí konstrukce potom jsou 15,645 m + 44 m + 16,325 m. Celková délka mezi opěrami je tedy 75,97 m. V důsledku tohoto řešení dojde ke snížení vodorovných sil působících na základy podpěr. Přičemž v podrobném návrhu by toto řešení bylo konstruováno tak, aby úhel stojek dával vodorovnou sílu rovnající se navržené síle od předpětí. Tím by vznikla dvojice sil a konstrukce by od stálého zatížení působila pouze svisle – jedna řada pilot by byla tažená a druhá tlačená. Jednalo by se tedy o samokotvenou konstrukci.



Obrázek 6: Vyzualizace výpočetního modelu – varianta D

6. SHRNUTÍ VARIANT

Výše byly představeny navržené varianty řešení.

Varianta A byla z dalšího posuzování vyloučena záhy, vzhledem ke stojce ve střední dělicím pásu budoucí dálnice.

Varianta B se na základě spočítaných a vykreslených průběhů napětí jeví jako poměrně dobře fungující konstrukce. Nicméně vzhledem k vyšší pracnosti při provádění a kvůli spodní hraně nosné konstrukce, která by byla blízko průjezdnému profilu dálnice – nebyla tato verze rovněž dále řešena.

Pro tento návrh se z uvedených variant jeví jako nejvhodnější varianta C. Ze stanovených průběhů napětí je možno říci, že se jedná o dobře působící konstrukci.

Varianta D byla zpracována pouze po předběžný návrh předpětí.

Dále byla tedy zpracovávána varianta C.

7. VÝPOČET A POSOUZENÍ VARIANTY C

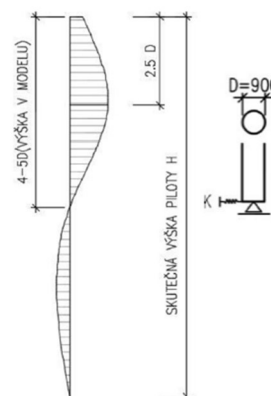
Pro výpočet této varianty byl využit výpočetní program Scia Engineer 18.0. V tomto programu byly vytvořeny modely pro posouzení podélného směru, příčného směru a koncového příčnicku. Ve výpočtu bylo uvažováno se zatíženími stálými, proměnnými – model zatížení LM1 a LM3 a teplotním zatížením.

7.1. Model pro řešení podélného směru

Model vystihující působení konstrukce v podélném směru je vytvořen jako 3D prutový model a to především proto, aby bylo zohledněno kroucení konstrukce a radiální účinky od předpětí. Výškový oblouk nebyl modelován. Rozdíl vnitřních

sil mezi konstrukcí modelovanou s výškovým obloukem a bez výškového oblouku byl cca 1%.

Geometrie konstrukce byla naimportována z programu AutoCAD 2015. Kvůli tomu, že nosná konstrukce je se štíhlými stojkami, tvořícími podpěry, spojena pomocí vrubových kloubů, je konstrukce modelována včetně spodní stavby a založení.

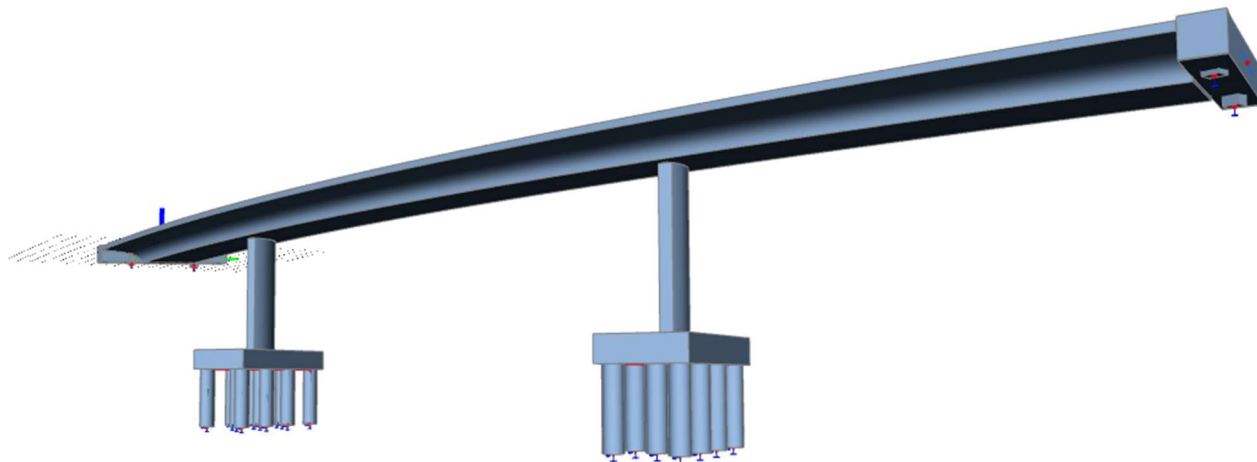


Obrázek 7: Průběh momentu na pilotě

Model založení, tedy pilot, byl zjednodušen na základě výše uvedeného obrázku. Délka pilot byla zadána jako 4D, tedy 3,6 m. Vodorovná tuhost podepření byla poté stanovena na základě následujícího vzorce, převzatého z odborné literatury.

$$K = E_{def} * 4D^2 \quad (1)$$

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



Obrázek 8: *Statický model varianty C*

Model na obrázku výše byl zatížen dle ČSN EN 1991-2.

$$|\sigma_c| \leq 0,45 f_{ck}(t) \quad (3)$$

$$|\sigma_c| \leq 0,8 f_{yk} \quad (4)$$

$$|\sigma_c| \leq 0,75 f_{pk} \quad (5)$$

7.2. Návrh předpětí

Po analýze vnitřních sil od zadaných zatížení byl proveden přesný návrh předpětí. Předběžný návrh byl realizován již při posuzování variant, kde byl účinek předpětí reprezentován ekvivalentními účinky. Nyní byl učiněn přesný návrh předpětí.

Z předběžného návrhu byly použity předpínací kabely a jejich geometrie byla upravena tak, aby vyrovnání stálých zatížení bylo v rozmezí od 95% do 100%.

Výsledná geometrie kabelů byla nakreslena v programu AutoCAD 2015 ve 3D a převedena na zdrojovou geometrii do textového souboru, odkud byla načtena do programu Scia Engineer 18.0.

Celkem bylo navrženo 12 kabelů, z nichž 4 ve středu nosníku byly projektovány jako 22ti lanné a zbylých 8 kabelů potom s 19ti lany.

Krátkodobé ztráty předpětí byly stanoveny programem Scia Engineer automaticky. Dlouhodobé byly potom odhadnuty na 10%. V programu Scia Engineer bylo tedy zadáno takové počáteční napětí, po jehož snížení o krátkodobé ztráty, dostaneme hodnotu napětí nižší, právě o 10%.

Uvažuje se betonáž a předpětí nosné konstrukce vcelku.

7.3. Posouzení konstrukce na MSP a MSÚ

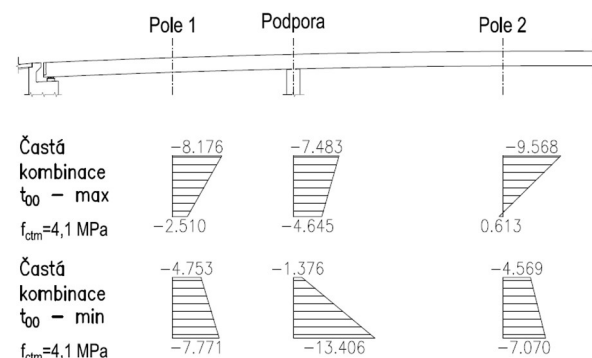
Posouzení konstrukce z hlediska mezních stavů použitelnosti (MSP) bylo provedeno v čase t_0 a t_{00} , kde jsou stanoveny podmínky omezení napětí pro charakteristickou (2) a kvazistálou (3) kombinaci, dále pro betonářskou (4) a předpínací výztuž (5).

$$|\sigma_c| \leq 0,6 f_{ck}(t) \quad (2)$$

Následně byla konstrukce posouzena z hlediska mezních stavů únosnosti (MSÚ). Nejprve na podélný ohyb, kde bylo posuzováno pole 1 a 2 a místo nad pilířem. Bylo uvažováno nejdříve s ideálním případem porušení průřezu. Tzn. že k porušení dojde zároveň v betonu i v předpínací výztuži. Z tohoto bylo odvozeno, ve kterém materiálu bude dosaženo mezního namáhání dříve a následně bylo iterováno, dokud nedošlo k rovnováze mezi N_{Ed} a N_{Rd} , následně byl dopočten moment M_{Rd} a posouzena únosnost průřezu.

Byl posouzen smyk a kroucení. Konstrukce na kroucení vyhověla bez nutnosti návrhu výztuže, ten byl nutný až u interakce smyku a kroucení. Výsledná příčná výztuž okolo a v průřezu pokrývala účinky příčného ohybu, svislého smyku, kroucení i podélného smyku.

Konstrukce na MSÚ a MSP vyhověla.

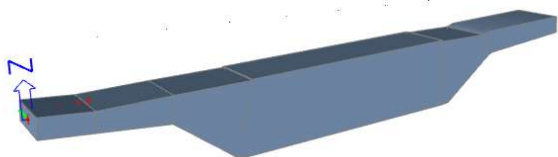


Obrázek 9: *Průběhy napětí - omezení trhlin*

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

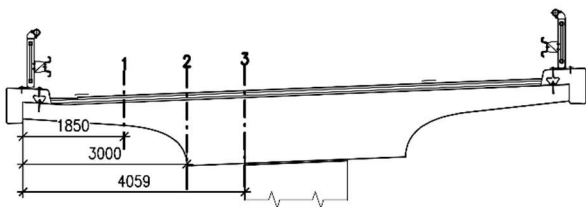
7.4. Příčný směr

Jako model pro řešení příčného směru byla vytvořena stěna v rovině XZ. Model byl uvažován s šířkou 1 m. Podepření bylo modelováno jako vetknutí po celé délce vrubového kloubu, což odpovídá působení vrubového kloubu v příčném směru.



Obrázek 10: Model příčného směru

Zatížení pro vyvození maximálního účinku bylo uvažováno vždy od kraje nosníku pro vyšetřovaný řez. Posuzované řezy byly celkem tři, jak je patrné z obrázku níže.



Obrázek 11: Posuzované řezy na ohyb

7.5. Návrh výztuže proti vytržení kabelů

Vzhledem k půdorysnému oblouku řešené konstrukce je nutno počítat i s radiálními účinky od předpětí, na které je nutno navrhnout betonářskou výztuž, aby nešlo k vytržení kabelů z konstrukce. Poloměr zakřivení nosné konstrukce je 190,75 m. Měrná síla byla stanovena podle následujícího vzorce:

$$p_h = \frac{P_{Ed}}{R} \quad (6)$$

7.6. Návrh vrubového kloubu

Pro návrh vrubového kloubu byla stanovena maximální reakce, kterou musí přenést. Vrubový kloub byl posouzen na soustředěný tlak dle vzorce:

$$F_{Rdu} = A_{c0} * f_{cd} * \sqrt{\frac{A_{ct}}{A_{c0}}} > R_{Ed} \quad (7)$$

$$F_{Rdu} < F_{Rdu,max} = 3 * f_{cd} * A_{c0} \quad (8)$$

V neposlední řadě byly navrženy vodorovné tímínky sloužící k přenosu vodorovné síly a poté byla navržena šikmá výztuž vrubového kloubu.

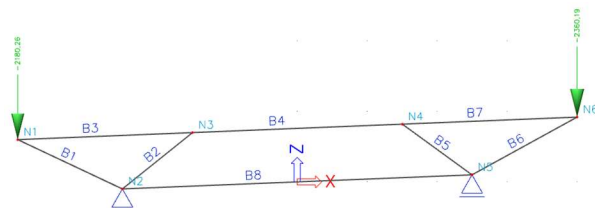
7.7. Koncový příčník

Pro řešení koncového příčníku bylo využito metody S&T neboli příhradové analogie, kde je v prvku utvořena soustava vzpěr a táhel a ta je následně dimenzována.

Byly navrženy celkem 3 modely pro postižení různých případů namáhání.

Z vnitřích sil zjištěných z modelů byla následně navržena potřebná výztuž příčníku pro přenos reakcí a kroucení.

Dále je uveden jeden z modelů.



Obrázek 12: Model příčníku

8. ZÁVĚR

V tomto článku byl shrnut postup návrhu mostní konstrukce v rámci diplomové práce. Byly vypracovány 4 varianty řešení, z nichž některé byly posouzeny po mezní stav použitelnosti, aby bylo lépe patrné, jak která konstrukce funguje. Na základě toho byla vybrána výsledná varianta, která byla dále posuzována a navrhována na mezní stavy použitelnosti a únosnosti.

Byl analyzován podélný a příčný směr mostu, koncový příčník, vrubový kloub a kotevní oblast.

Konstrukce na všechny mezní stavy, tedy SLS a ULS vyhověla.

Literatura

- ŠKARDA, Jan, 2018. *Návrh spojitě mostní konstrukce*. Brno. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební.
- NAVRÁTIL, Jaroslav, 2008. *Předpjaté betonové konstrukce*. 2. vyd. Brno: Cerm. ISBN 978-80-7204-561-7.
- STRÁSKÝ, Jiří a NEČAS, Radim, 2006. *Betonové mosty I – modul M01 – Základní principy navrhování*. Brno.
- KLUSÁČEK, Ladislav, 2006. *Betonové mosty I – modul M02 – nosné konstrukce mostu*. Brno.
- PANÁČEK, Josef, 2006. *Betonové mosty I – modul M03 – spodní stavba a příslušenství mostních objektů*. Brno
- NEČAS, Radim, KOLÁČEK, Jan a PANÁČEK, Josef, 2014. *Betonové mosty I – Zásady navrhování*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. ISBN 978-80-214-4979-4.
- ČSN EN 1992-1-1. *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační ústav, 2005.

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

ČSN EN 1991-2. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí. Část 2: Zatížení mostů dopravou.* Praha: Český normalizační institut, 2005.

ČSN EN 1992-2. *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí. Část 2: Betonové mosty – navrhování a konstrukční zásady.* Praha: Český normalizační institut, 2007.

ČSN EN 1990. *Zásady navrhování konstrukcí.* Praha: Český normalizační institut, 2004.

ČSN 73 6201. *Projektování mostních objektů.* Praha: Český normalizační institut, 2008.

ČSN 73 6214. *Navrhování betonových mostních konstrukcí.* Praha: Český normalizační institut, 2014.