

VZOROVÝ PŘÍKLAD NÁVRHU MOSTU

Z PREFABRIKOVANÝCH NOSNÍKŮ

ZADÁNÍ

Navrhněte most z prefabrikovaných předepnutých nosníků IST. Délka nosné konstrukce mostu je 30m, kategorie komunikace na mostě je S 11,5/90. Na mostě jsou oboustranně osazena svodidla, šířka chodníku je 2 x 1,25m. Vozovka na mostě je navržena v následující skladbě :

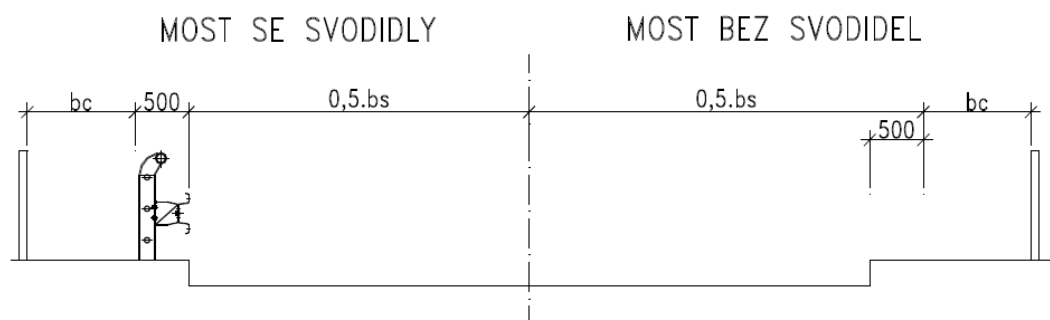
Obrusná vrstva	AKMS I	40 mm
Ochrana izolace	LAS IV	40 mm
Izolace	NAIP	5 mm
Celkem		85 mm

PROSTOROVÉ USPOŘÁDÁNÍ MOSTU

1) Šířkové uspořádání na mostě

Šířkové uspořádání na mostě je ovlivněno uspořádáním komunikace na předpolích mostu. Pokud jsou na mostě osazena svodidla, je vzdálenost b_s (viz Obr.1) mezi nimi stejná jako šířka zpevněné části komunikace na předpolích mostní konstrukce, tj. jejich hrana lícuje s hranou zpevněné krajnice na komunikaci. Hrana obrubníku lícuje s hranou svodidla a jeho tvar odpovídá použitému systému svodidel. Pokud jsou na mostě chodníky, uvažuje se pro osazení svodidla prostor šířky 0,5m (viz. Obr.1). Podél obrubníku s osazenými svodidly se pak zřizuje odvodňovací žlábek litého asfaltu.

Nejsou-li na mostě svodidla, uvažuje se šířka komunikace b_s (tj. šířka její zpevněné části) s přesahem 0,5m do chodníku (viz. Obr.1). Tato hodnota přesahu se pro určení průchozího prostoru b_c odečte od skutečné šířky chodníku (viz. Obr.1).



Obr.1 - Schéma šířkového upořádání na mostě pro variantu se svodidly a bez nich

Šířka komunikace na mostě se určí dle kategorie komunikace mimo mostní objekt, příp. s přihlédnutím k výhledovému stavu komunikace. Šířka průchozího prostoru na mostě se řídí intenzitou pěšího, příp. cyklistického, provozu. Základní šířka chodníku je 0,5m + šířka jednoho „chodeckého“ (0,75m), resp. „cyklistického“ (1m), pruhu. Šířka servisních chodníků je min.0,5 m. Výška zábradlí je pro pěší provoz min. 1100 mm, pro provoz cyklistický potom min. 1300 mm. Uspořádání na mostě se řídí ČSN 73 6201.

2) Uspořádání prefabrikovaných nosníků v příčném řezu

Uspořádání prefabrikovaných nosníků v příčném řezu se řídí příslušným typovým podkladem (viz. <http://concrete.fsv.cvut.cz/~safar/bem/pomucky> sekce Prefabrikace).

Pro nosníky IST platí, že jejich vzdálenost v příčném řezu se uvažuje hodnotou $950 \div 1270$ mm. V předchozích úpravách byly možné i vzdálenosti menší, ale z důvodu kontroly a možnosti oprav prostoru mezi nosníky byla minimální vzdálenost mezi vnitřními líci prefabrikovaných nosníků stanovena na 300 mm. Rozměry prefabrikovaných nosníků jsou uvedeny v příslušném typovém podkladu v závislosti na rozpětí konstrukce. Výška nosníků se volí v závislosti na jejich rozpětí, a to vždy pro rozpětí stejné jako v příkladu zadané nebo nejbližší vyšší. Rozpětí nosníku se tak sice zmenší, nicméně je toto zkrácení ve prospěch bezpečnosti (sníží se poměr rozpětí ku výšce). Pro návrh ložisek jsou potom uvažovány podporové reakce nosníků většího rozpětí (popř. reakce redukované v poměru původního rozpětí prefabrikovaného nosníku ku rozpětí zmenšenému). U nosníku IST se (pro účely příkladu BEM1) provede dobetonování koncového ztužidla a uložení konstrukce na menší počet ložisek než je počet nosníku (viz. dále).

Nosníky T93 je možné použít pouze pro rozpětí menší nebo rovná 24m. Pro volbu výšky nosníku a určení maximálních a minimálních reakcí platí stejná pravidla jako pro nosníky IST. Koncový příčník se (pro účely příkladu BEM1) pro nosníky T93 neprovede a každý nosník se uloží na samostatné ložisko. Tento způsob uložení je v současné době v praxi preferován.

PROSTOROVÉ USPOŘÁDÁNÍ MOSTU

Zadané délce nosné konstrukce odpovídá podle typového podkladu rozpětí nosné konstrukce 29,5 m. Výška nosníku je 1,4 m, osová vzdálenost nosníků je pro skladbu III rovna 1270 mm. Přesné rozměry a průřezové charakteristiky nosníku jsou uvedeny v příslušném typovém podkladu. Tloušťka spřažené betonové desky mostovky je 0,2 m. Ve vzorovém příčném řezu (viz. Str.6) není dodržena doporučená vzdálenost krajních nosníku od okraje spřažené desky mostovky, proto by bylo třeba určit maximální reakci v krajním nosníku a porovnat ji s hodnotou uvedenou v typovém podkladu. Ve zpracovávaných příkladech **bude dodržen** typový podklad !!!

NÁVRH LOŽISEK

Na mostě jsou použita elastomerová ložiska firmy SOK Třebestovice (viz. <http://concrete.fsv.cvut.cz/~safar/bem/pomucky> sekce Vybavení mostu). Návrh ložisek se provede na maximální svislou sílu, která se určí pro navržený počet ložisek, a maximální posun který musí zajistit. Navržená ložiska je třeba ještě posoudit na minimální reakce, a to z hlediska nutnosti kotvení.

Na mostě jsou pod příčníkem navržena 4 ložiska na každé opěře. Vzhledem k tomu, že ložiska se navrhují podle teorie mezních stavů, musíme reakce na jednotlivé nosníky upravit součiniteli zatížení. Určení maximální reakce na jeden nosník je při použití hodnot z typového podkladu uspořádáno v následující tabulce :

Zatížení	Charakteristická hodnota	Součinitel zatížení dle ČSN 73 6203	Návrhová hodnota
Vlastní tíha nosníku	154,4 kN	1,1	169,9 kN
Vlastní tíha desky + příčník	156,5 kN	1,1	172,2 kN
Ostatní stálé	75,8 kN	1,5	113,7 kN
Pohyblivé x α_i	434,7 kN	1,4	608,6 kN
Celkem	821,4 kN	-	1064,4 kN

Na jedno ložisko potom připadá přibližně :

$$R_{Max} \approx 11 \cdot 1064,4 \cdot 0,25 = \underline{\underline{2927,1 \text{ kN}}}$$
$$R_{Min} \approx 11 \cdot (169,9 + 172,2 + 113,7) \cdot 0,25 = \underline{\underline{1253,5 \text{ kN}}}$$

Tomu odpovídají ložiska o rozměrech 400x500mm s maximální únosností 3000 kN. Minimální reakce se určí z minimálního namáhání ložiska pro zajištění neposuvnosti, které je rovné 3,0 MPa na celé ploše ložiska. Minimální reakce je tedy :

$$R_{Min,d} = 0,4 \cdot 0,5 \cdot 3000 = \underline{\underline{600 \text{ kN}}}$$

Ložisko tak s ohledem na minimální namáhání z hlediska nutnosti kotvení vyhoví.

Dále je třeba posoudit maximální dilatační posun ložisek. Vzhledem ke skutečnosti, že nosníky jsou vybetonovány a předem předepnuty s dostatečným předstihem (předpokládáme 4 měsíce před stavbou mostní konstrukce), není třeba uvažovat pružné zkrácení nosníku v důsledku předpínání a zkrácení vlivem smršťování a dotvarování betonu můžeme výrazně redukovat. Hlavním faktorem návrhu je potom vliv teploty.

Podle ČSN 73 6206 se pro betonové konstrukce s výškou $d \geq 0,70$ m uvažuje rovnoměrné oteplení o $\Delta t_1 = + 15^\circ\text{C}$ a rovnoměrné ochlazení o $\Delta t_2 = - 25^\circ\text{C}$ od základní teploty $t_0 = +10^\circ\text{C}$. Osazení konstrukce na ložiska se předpokládá při základní teplotě t_0 .

Vzhledem k tomu, že jsou navržena elastomerová ložiska, mohou být osazena všechna jako všesměrná, resp. na každé opěře se osadí jedno ložisko vedené v podélném směru – rovnoběžně s podélnou osou mostu. Tomuto upořádání se říká plovoucí uložení a je umožněno právě použitím elastomerových ložisek. Elastomerová ložiska jsou totiž do konstrukce pevně vetknuta (zajištěno minimální reakcí na ložiska) a posuny nosné konstrukce „přenášejí“ pomocí vlastní smykové deformace s danou maximální hodnotou. Rozdělení posunů na jednotlivé opěry, resp. ložiska na nich osazená, je díky tomu rovnoměrné a na obou opěrách je posun nosné konstrukce stejný.

Základní rovnoměrné změny teplot jsou :

$$\Delta t_1 = - 25^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_2 = + 15^\circ\text{C}$$

Pohyby ložisek na obou opěrách od rovnoměrných změn teploty jsou pak :

$$\Delta l_{t1} = 0,000012 \cdot 29,5 \cdot 0,5 \cdot -25 = \underline{\underline{- 4,4 \text{ mm}}}$$

$$\Delta l_{t2} = 0,000012 \cdot 29,5 \cdot 0,5 \cdot 15 = \underline{\underline{+ 2,7 \text{ mm}}}$$

Vlivem smršťování betonu dojde k redukci zkrácení o zkrácení za dobu uplynulou mezi vybetonováním nosníku a jeho osazením na ložiska, tj. o hodnotu smršťování, která proběhne za 4 měsíce mezi vybetonováním a předepnutím nosníků a jejich osazením do konstrukce (66,23%). Konečná hodnota přetvoření od smršťování betonu je při uložení na vzduchu rovna 0,3 promile (viz. ČSN 73 6207). Výsledné zkrácení konstrukce způsobení smrštěním betonu je tedy :

$$\Delta l_s = -(1,0 - 0,6623) \cdot 0,0003 \cdot 29,5 \cdot 0,5 = \underline{\underline{- 1,5 \text{ mm}}}$$

Pro výpočet zkrácení konstrukce způsobené vlivem dotvarování betonu je třeba zjistit a odhadnout několik hodnot. Hodnota konstanty pro výpočet dotvarování při uložení konstrukce na vzduchu je $p_0 = 4$. Pro výpočet je třeba odhadnout velikost normálového napětí v betonu σ a stanovit velikost modulu pružnosti betonu E_b . Napětí odhadneme hodnotou 6,5 MPa (odhad je proveden na základě zkušenosti, přesný výpočet by se provedl při návrhu předpětí). Modul pružnosti betonu E_b stanovíme podle ČSN 73 6207, a to hodnotou 36 000 MPa (pro použitý beton). Zkrácení vlivem dotvarování je tedy :

$$\Delta l_d = p \cdot \frac{\sigma \cdot l}{E_b} = -(1,0 - 0,6623) \cdot 4 \cdot \frac{6,5}{36000} \cdot 29,5 \cdot 0,5 = \underline{\underline{- 3,6 \text{ mm}}}$$

Výsledné posuny v ložiscích (včetně 30% rezervy v posunech) :

$$\Delta l_{min} = - (4,4 + 1,5 + 3,6) \cdot 1,3 = \underline{\underline{- 12,4 \text{ mm}}}$$

$$\Delta l_{max} = 2,7 \cdot 1,3 = \underline{\underline{+ 3,5 \text{ mm}}}$$

Navrhujeme tedy ložiska 400x500mm s výškou 39 mm. Odpovídající posun v ložiscích je $\pm 18,9$ mm.

Ložiska se v konstrukci osadí tak, že kratší hrana ložiska je rovnoběžná podélnou osou mostní konstrukce, resp. v našem případě s osou komunikace. Tato poloha ložiska zaručí při stejných stlačeních krajních vláken ložiska jeho větší natočení (podél kratší hrany).

NÁVRH DILATAČNÍCH ZÁVĚRŮ

Vzhledem k tomu, že mostních závěry se navrhují obdobným způsobem jako ložiska (co do postupu návrhu a použitých vztahů), jen s uvažováním celkové délky nosné konstrukce místo rozpětí NK a uvažováním jiného času osazení do konstrukce (mostní závěry se osazují jako poslední část konstrukce před provedením vozovky), uvedeme návrh dilatačního zařízení pouze ve zkratce.

Zkrácení konstrukce od teploty se vypočte stejně jako v případě ložisek, délka dilatačního celku se však uvažuje jako celková délka nosníku.

$$\Delta l_{t,max} = 2,7 \cdot 30/29,5 = \underline{\underline{2,7 \text{ mm}}}$$

$$\Delta l_{t,min} = -4,4 \cdot 30/29,5 = \underline{\underline{-4,5 \text{ mm}}}$$

Vliv smršťování a dotvarování betonu prefabrikovaného nosníku se uvažuje redukováný o hodnoty dotvarování a smršťování proběhlé za dobu 5-ti měsíců, tj. času mezi vybetonováním a předepnutím prefabrikátů a osazením mostních závěrů do konstrukce.

$$\Delta l_s = -(1,0 - 0,6896) \cdot 0,0003 \cdot 30,0 \cdot 0,5 = \underline{\underline{-1,4 \text{ mm}}}$$

$$\Delta l_d = p \cdot \frac{\sigma \cdot l}{E_b} = -(1,0 - 0,6896) \cdot 4 \cdot \frac{6,5}{36000} \cdot 30,0 \cdot 0,5 = \underline{\underline{-3,3 \text{ mm}}}$$

Dále je třeba připočítat posuny od zkrácení v důsledku pootočení čel nosníků nad podporou způsobených průhybem konstrukce. Hodnota pootočení čela konstrukce se určí z odhadnutého průhybu nosné konstrukce od nahodilého zatížení ve středu rozpětí (1/600 rozpětí) za předpokladu, že průhybová čára je parabolou druhého stupně.

Průhyb konstrukce ve středu rozpětí :

$$w = l / 600 = 29,5 / 600 = \underline{\underline{0,0492 \text{ m}}}$$

Rovnice paraboly :

$$y = ax^2 + bx + c$$

Pokud počátek souřadnic zvolíme ve vrcholu paraboly, dostáváme po dosazení :

$$y = 0,000226 x^2$$

Pootočení čel nosníků stanovíme jako směrnici tečny průhybové čáry v místě podepření :

$$y' = 0,000452 x = 0,000452 \cdot 29,5 / 2 = \underline{\underline{0,00667}}$$

Výsledný posun v místě dilatačního závěru dostaneme vynásobením tangenty pootočení čel nosníků výškou konstrukce v místě uložení (viz. Str.5), tedy :

$$\Delta l_n = 0,00667 \cdot (0,085 + 0,2 + 1,4 + 0,2) = \underline{\underline{-12,6 \text{ mm}}}$$

Celkové posuny (včetně 30% rezervy) dostaneme součtem posunů dílčích :

$$\Delta l_{min} = -(4,5 + 1,4 + 3,3 + 12,6) \cdot 1,3 = \underline{\underline{-28,3 \text{ mm}}}$$

$$\Delta l_{max} = 2,7 \cdot 1,3 = \underline{\underline{+3,5 \text{ mm}}}$$

Na výsledné posuny navrhujeme dilatační zařízení mostní konstrukce, např. kobercový mostní závěr M60 od firmy Reisner-Wolff (viz. [http://concrete.fsv.cvut.cz/~safar/bem/pomucky sekce Vybavení mostu](http://concrete.fsv.cvut.cz/~safar/bem/pomucky/sekce/Vybaveni%20mostu)).

DETAIL ULOŽENÍ NOSNÉ KONSTRUKCE

(Řez v místě nálitky ložiska)

