

# **BO009**

## **KOVOVÉ MOSTY 1**

---

PODKLADY DO CVIČENÍ

AUTOR: Ing. MARTIN HORÁČEK, Ph.D.  
Akademický rok 2019/20, LS

**Obsah**

1	Technické normy .....	- 3 -
2	Dispozice železničního mostu .....	- 3 -
2.1	Půdorysné uspořádání .....	- 3 -
2.2	Volný mostní průřez (VMP) .....	- 4 -
2.3	Návrh rozměrů hlavních nosných částí .....	- 4 -
3	Zatížení .....	- 7 -
3.1	Stálá zatížení .....	- 7 -
3.2	Zatížení železniční dopravou .....	- 7 -
4	Ortotropní mostovka .....	- 11 -
4.1	Stanovení spolupůsobících šířek .....	- 11 -
5	Podélné výztuhy mostovky .....	- 12 -
5.1	Statické působení .....	- 12 -
5.2	Výpočet zatížení podélné výztuhy .....	- 13 -
5.3	Výpočet vnitřních sil na podélné výztuze .....	- 14 -
6	Příčnický .....	- 15 -
6.1	Statické působení .....	- 15 -
6.2	Výpočet zatížení příčnicku .....	- 15 -
6.3	Výpočet vnitřních sil na příčnicku .....	- 15 -
7	Hlavní nosníky .....	- 16 -
7.1	Zatížení .....	- 16 -
7.2	Výpočet vnitřních sil .....	- 17 -
7.3	Vnitřní síly na jeden hlavní nosník .....	- 17 -
7.4	Efektivní průřez mostu .....	- 18 -
8	Mezní stavy použitelnosti .....	- 20 -
	Použitá literatura .....	- 21 -

## 1 Technické normy

### Normy pro navrhování konstrukcí a zatížení konstrukcí:

ČSN EN 1990	Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí + <b>Příloha A2</b> Použití pro mosty
ČSN EN 1991-1-1	Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
ČSN EN 1991-1-4	Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
ČSN EN 1991-2	<b>Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou</b>
ČSN EN 1993-1-1	Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
ČSN EN 1993-1-5	Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-5: Boulení stěn
ČSN EN 1993-1-8	Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků
ČSN EN 1993-1-9	Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-9: Únava
ČSN EN 1993-2	<b>Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 2: Ocelové mosty</b>

### Technické podklady:

S 30135/2015-O13 Metodický pokyn pro určování zatížitelnosti železničních mostních objektů (dokument SŽDC, platnost od 1. září 2015)

## 2 Dispozice železničního mostu

### 2.1 Půdorysné uspořádání

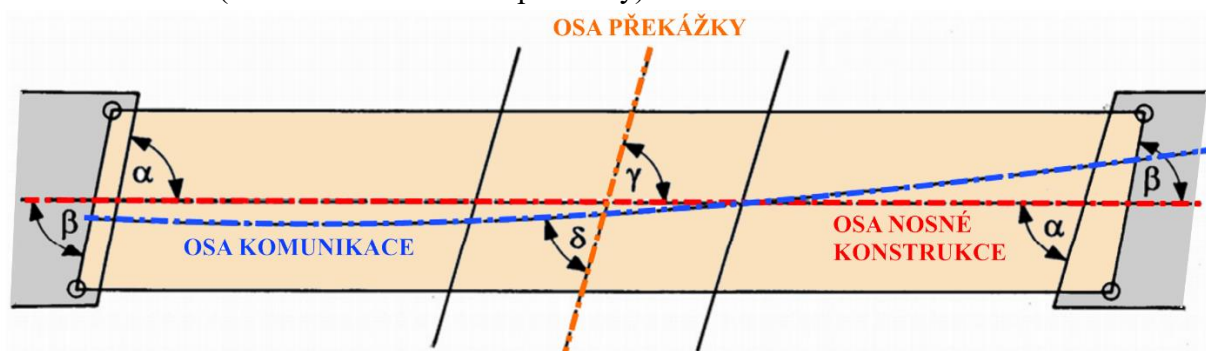
$\alpha$  podpěrový úhel (líc podpěry – osa nosné konstrukce) – určuje šikmost mostu

$\alpha = 90^\circ$  (kolmý most);  $\alpha \leq 90^\circ$  (šikmý most)

$\beta$  úložný úhel (osa ložisek – osa nosné konstrukce) – určuje šikmost nosné konstrukce

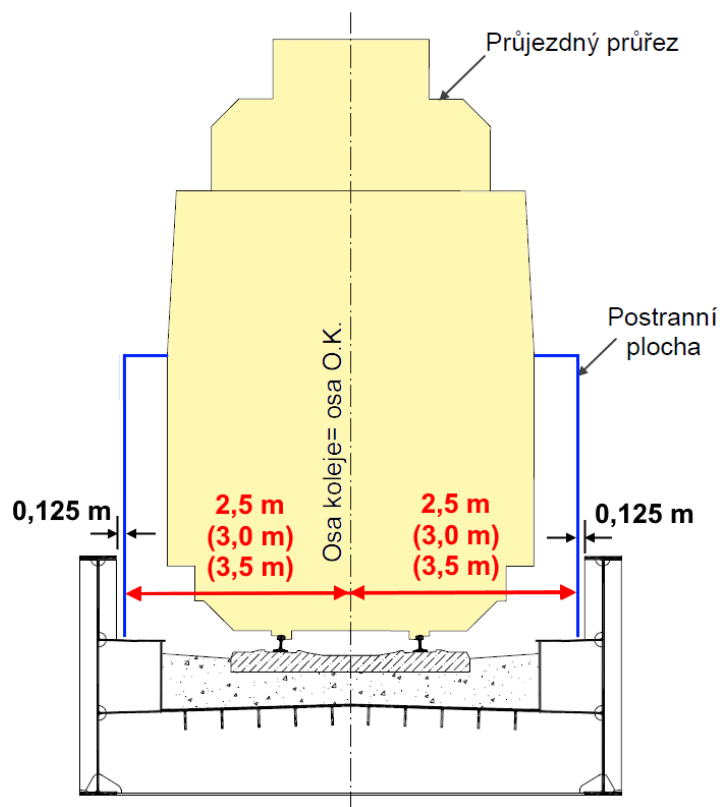
$\gamma$  úhel přemostění (osa nosné konstrukce – osa překážky)

$\delta$  úhel křížení (osa komunikace – osa překážky)



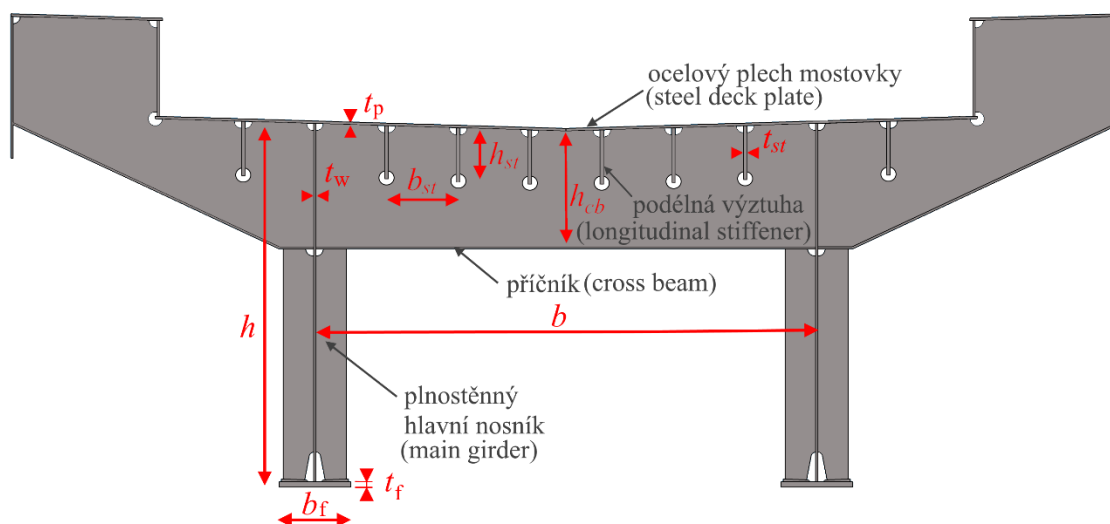
## 2.2 Volný mostní průřez (VMP)

Situování VMP	Návrhová traťová rychlost $v$ [km/h]		
	$v \leq 120$		$120 < v \leq 160$
	šířá trať	stanice	
Na trvalém mostním objektu i na dlouhodobém zatímním mostním objektu	2,5 m	3,0 m	3,5 m
Na krátkodobém zatímním mostním objektu	2,5 m	3,0 m	-
Pod mostním objektem	3,0 m		3,5 m

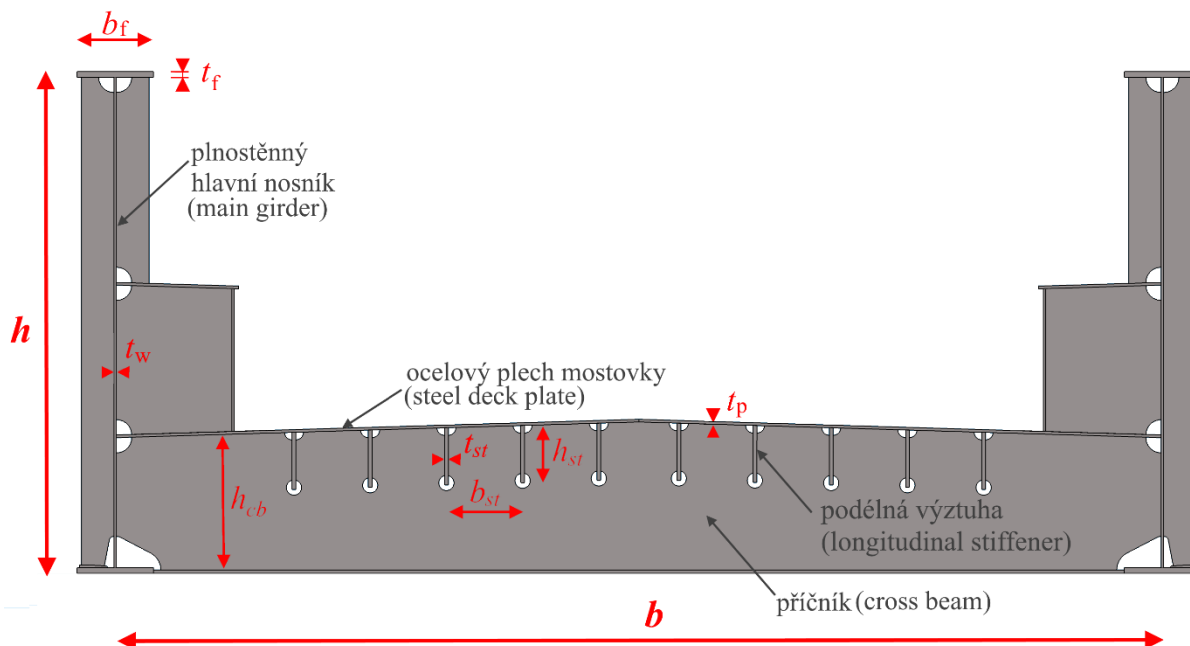


## 2.3 Návrh rozměrů hlavních nosných částí

### 2.3.1 Železniční most s horní mostovkou



### 2.3.2 Železniční most s dolní mostovkou



### 2.3.3 Stanovení předběžných rozměrů

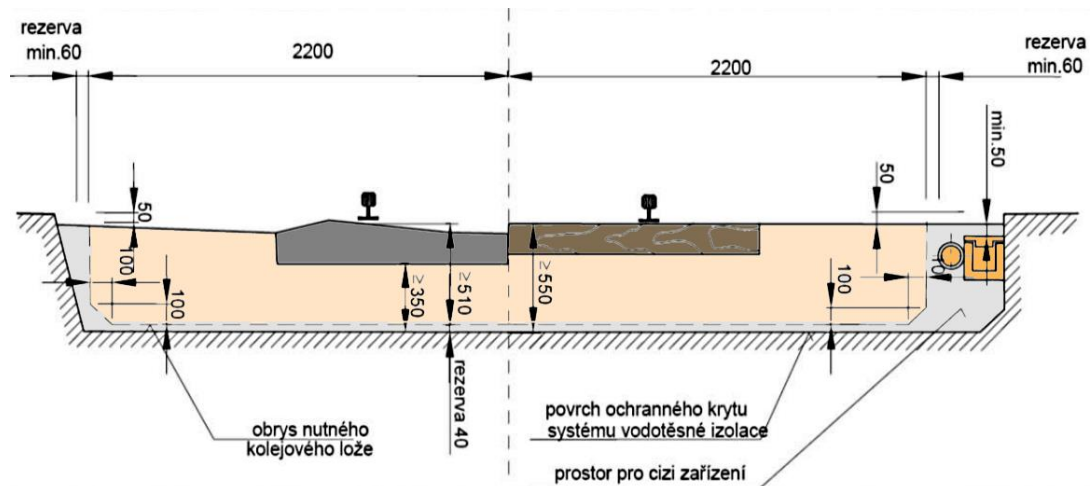
Předběžné stanovení rozměrů		Horní mostovka	Dolní mostovka
<b>Hlavní nosníky</b>			
- rozpětí hlavních nosníků	$L$	dle zadání projektu	
- osová vzdálenost hlavních nosníků	$B$	~ 2800 mm	~ 5750 mm (VMP 2,5) ~ 6750 mm (VMP 3,0) ~ 7750 mm (VMP 3,5)
- výška	$h$	$(1/12 \div 1/9) L$	$(1/12 \div 1/10) L$
- šířka pásnice	$b_f$	~ $h/5$ (300 ÷ 500 mm)	
- tloušťka pásnice	$t_f$	$(1/12 \div 1/8) b_f$ ~ (30 ÷ 40 mm)	
- tloušťka stojiny	$t_w$	~ $h/150$	
<b>Ocelový plech mostovky</b>	$t_p$	$t_p \geq 14$ mm (14 nebo 16 mm)	
<b>Podélné výztuhy</b>		$b_{st} / t_p \leq 25$	
- osová vzdálenost podélných výztuh	$b_{st}$	~ 400 mm (1. krajní výztuha 400 ÷ 600 mm)	
- výška podélné výztuhy	$h_{st}$	$(1/10 \div 1/8) L_{pod}$ (200 ÷ 250 mm)	
- tloušťka plechu podélné výztuhy	$t_{st}$	$h_{st} / t_{st} \leq 10$ (min 10 mm)	
<b>Příčníky</b>			
- osová vzdálenost příčníků = délka podélné výztuhy	$l_{pod}$	2000 ÷ 2500 mm (max 2700 mm)	
- rozpětí příčníku	$l_{cb}$	je rovno osově vzdálenosti hl. nosníků $b$	
- výška příčníku	$h_{cb}$	$(1/8 \div 1/5) l_{cb}$ ~ (600 ÷ 800 mm) $h_{cb} \geq 2 \cdot h_{st}$	
- tloušťka stojiny příčníku	$t_{cb,w}$	12 ÷ 16 mm (min 10 mm)	
- šířka pásnice příčníku	$b_{cb,f}$	200 ÷ 300 mm	
- tloušťka pásnice příčníku	$t_{cb,f}$	20 ÷ 30 mm (min 10 mm)	

**Pozn.:** Volit sudý počet podélných výztuh, poněvadž v ose mostovky je podélný tupý svar plechu mostovky, v jehož místě nelze umístit podélnou výztuhu.

### 2.3.4 Průběžné kolejové lože na mostech

#### Parametry obrysu nutného kolejového lože ve žlabu:

- šířka kolejového lože je v přímé koleji **2200 mm** na obě strany od osy koleje
- výška měřená od spojnice úložných ploch pražce je **510 mm** (pro všechny typy pražců)
- průřez kolejového lože je v dolních rozích na výšku i šířku **100 mm** zkosen.
- mezi obrysem kolejového lože a povrchem izolace stěny žlabu nebo povrchem cizího zařízení musí být rezerva nejméně **60 mm**
- rezerva mezi obrysem kolejového lože a povrchem izolace dna žlabu minimálně **40 mm**
- kolejové lože musí být **50 mm** pod horní hranou římsy
- kolejové lože je k římsce vodorovné nebo stoupá max. **12%**

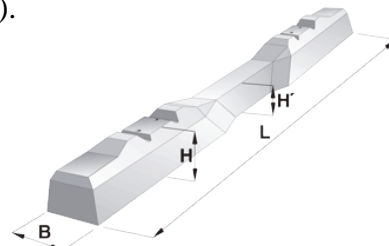


### 2.3.5 Pražce

U nově zřizovaných železničních svršků se používají pražce betonové z předem předpjatého betonu (např. betonový pražec B 91S/1 nebo B 91S/2).

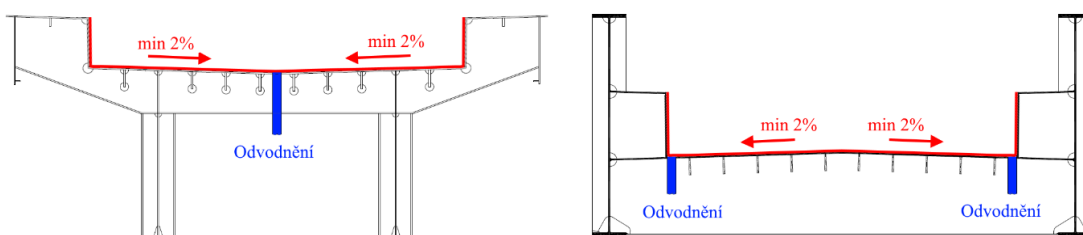
#### Parametry pražců B91S/1 nebo B 91S/2:

- délka  $L = 2600$  mm
- šířka  $B = 300$  mm
- výška v místě úložné plochy  $H = 220$  mm
- výška uprostřed pražce  $H' = 180$  mm
- tloušťka kolejového lože pod ložnou (spodní) plochou **betonového pražce je min 350 mm**



### 2.3.6 Odvodnění žlabu kolejového lože

Příčný sklon odvodnění mostovky je **minimálně 2%**.



**Podélný sklon** odvodnění mostovky je:

- **0%** u osové vzdálenosti odvodňovačů v podélném směru  $\leq 3$  m
- **1%** pro délku mostu do 20 m
- **2%** v ostatních případech

### 3 Zatížení

#### 3.1 Stálá zatížení

##### 3.1.1 Vlastní tíha ortotropní mostovky

Vlastní tíha ortotropní mostovky se skládá z vlastní tíhy ocelového plechu mostovky, vlastní tíhy podélné výztuhy a vlastní tíhy příčnicku.

##### 3.1.2 Ostatní stálá zatížení

Ostatní stálá zatížení tvoří:

- tíha hydroizolace (objemová tíha  $22 \text{ kN/m}^3$ )
- tíha šterkového lože (objemová tíha  $20 \text{ kN/m}^3$ )
- tíha kolejového roštu  $6 \text{ kN/m}$  (2x kolejnice UIC 60 + předepjaté betonové pražce s upevněním)

#### 3.2 Zatížení železniční dopravou

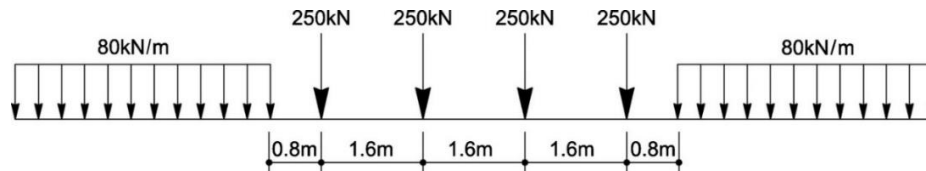
Zatížení železniční dopravou, včetně příslušných dynamických součinitelů, má být uvažováno jako proměnné zatížení.

##### 3.2.1 Svislá zatížení od železniční dopravy- modely zatížení

Zatížení železniční dopravou jsou definována prostřednictvím modelů zatížení. Norma uvádí 5 modelů železničního zatížení:

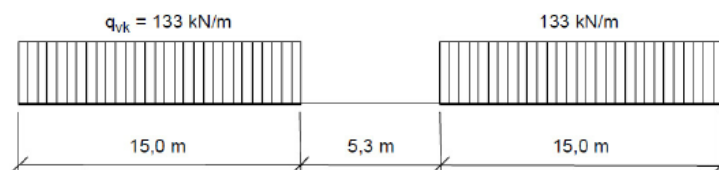
- **Model zatížení 71 (LM71)**

Reprezentuje statický účinek svislého zatížení od běžné železniční dopravy na hlavních železničních tratích. Uspořádání zatížení a charakteristické hodnoty se uvažují dle obrázku:



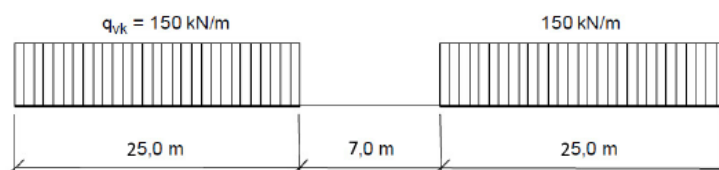
- **Model zatížení SW/0**

Reprezentuje statický účinek svislého zatížení od běžné železniční dopravy na hlavních železničních tratích u spojitých mostů.



- **Model zatížení SW/2**

Reprezentuje statický účinek svislého zatížení těžkou železniční dopravou.



- **Model zatížení HSLM**

Reprezentuje zatížení od osobních vlaků o rychlostech překračující 200 km/h.

- **Model zatížení „nezatížený vlak“**

Pro některá specifická ověření (např. ověření na překlopení mostu při působení účinků větru na mostní konstrukci a projíždějící vlak) se používá zvláštní model zatížení nazývaný „nezatížený vlak“. Jedná se o svislé spojitě rovnoměrné zatížení s charakteristickou hodnotou 10 kN/m.

### 3.2.1.1 Výpočet zatížení mostovky od LM71 (přesnější způsob)

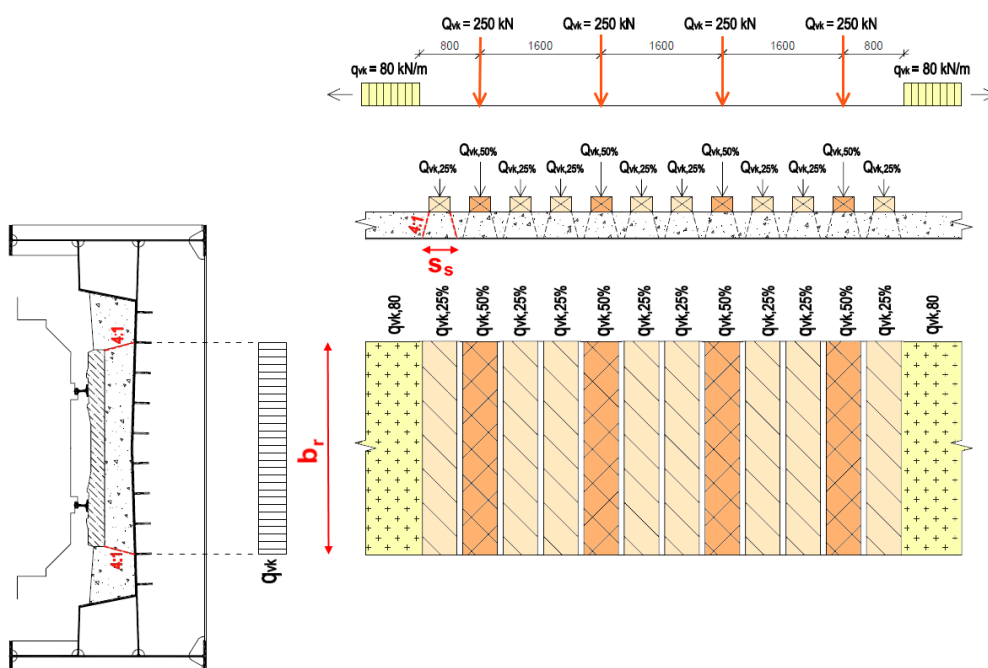
Přesnější stanovení zatížení mostovky vychází z rozdělení osamělých břemen  $Q_{vk}$  v poměru 50% na pražec umístěný pod břemenem + 2 x 25% na sousední pražce. Roznos zatížení z jednotlivých pražců na ocelový plech mostovky probíhá kolejovým ložem pod sklonem 4:1, v podélném směru o roznášecí délce  $s_s$ , v příčném směru o roznášecí šířce  $b_r$ .

#### Výpočet spojitého plošného zatížení mostovky:

- pro oblasti pražců umístěných pod břemenem:  $q_{vk,50\%} = \frac{0,5 \cdot Q_{vk}}{b_r \cdot s_s}$

- pro oblasti sousedních pražců:  $q_{vk,25\%} = \frac{0,25 \cdot Q_{vk}}{b_r \cdot s_s}$

- pro krajní oblasti zatížené spojitým liniovým zatížením:  $q_{vk,80} = \frac{80}{b_r}$



### 3.2.1.2 Výpočet zatížení mostovky od LM71 (zjednodušený způsob)

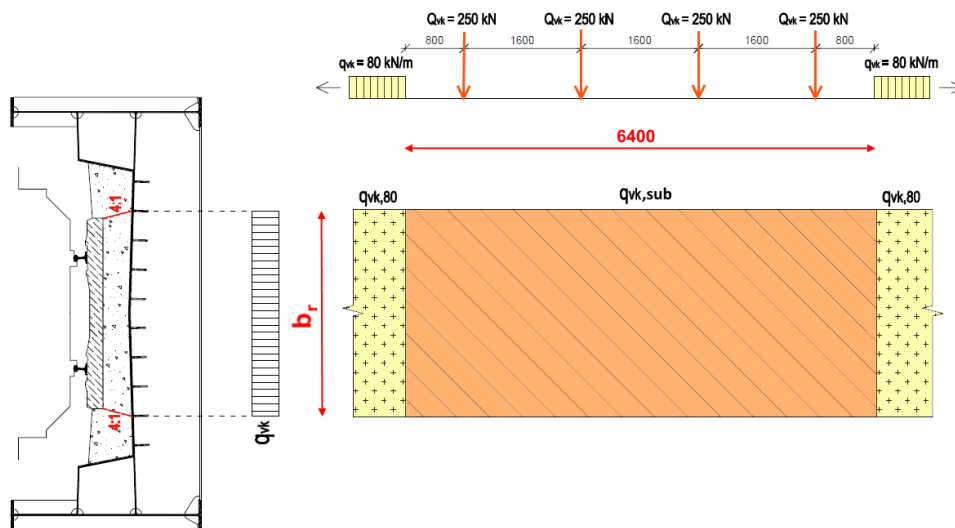
**V rámci řešení zadaného projektu ve cvičení bude použit zjednodušený výpočet** zatížení mostovky od zatěžovacího modelu LM71, ve kterém čtveřice osamělých břemen  $Q_{vk} = 250$  kN je přepočítána na náhradní plošné spojitě zatížení ocelového plechu mostovky  $q_{vk,sub}$  o roznášecí délce 6 400 mm a roznášecí šířce  $b_r$ .

#### Výpočet spojitého plošného zatížení mostovky:

- Náhradní plošné zatížení pro oblast pod osamělými břemeny:  $q_{vk,sub} = \frac{4 \cdot Q_{vk}}{b_r \cdot 6,4}$

- pro krajní oblasti zatížené spojitým liniovým zatížením:  $q_{vk,80} = \frac{80}{b_r}$





### 3.2.2 Vodorovná zatížení od železniční dopravy

#### 3.2.2.1 Odstředivé síly

Pokud je kolej po celé délce mostu nebo části mostu v oblouku, musí se vzít v úvahu odstředivé síly a převýšení koleje. Uvažují se jako síly působící vodorovně ven z oblouku ve výšce 1,80 m nad pojezďeným povrchem.

$$Q_{ik} = \frac{v^2}{g \cdot r} \cdot (f \cdot Q_{vk}), \text{ respektive } q_{ik} = \frac{v^2}{g \cdot r} \cdot (f \cdot q_{vk})$$

kde  $f$  je redukční součinitel (viz odstavec 6.5.1 normy ČSN EN 1991-2),

$v$  je maximální rychlost vlaku [m/s],

$r$  je poloměr zakřivení oblouku [m],

$g$  je gravitační zrychlení [9,81 m/s<sup>2</sup>].

#### 3.2.2.2 Boční ráz

Boční ráz se musí uvažovat jako osamělá síla o velikosti  $Q_{sk} = 100$  kN, působící vodorovně v úrovni temene kolejnice kolmo na osu koleje. Musí se uvažovat, že působí jak na přímou kolej, tak na kolej v oblouku.

#### 3.2.2.3 Zatížení od rozjezdu a brzdění

Rozjezdové a brzdné síly se musí uvažovat jako rovnoměrně rozložené spojité zatížení působící v úrovni temene kolejnic v podélném směru koleje na příčinnující délce  $L_{a,b}$  (na délce vlaku).

$$\text{Rozjezdová síla: } Q_{lak} = 33 [kN/m] \cdot L_{a,b} [m] \leq 1000 [kN] \text{ pro LM71, SW/0, SW/2, HSLM}$$

$$\text{Brzdná síla: } Q_{lbk} = 20 [kN/m] \cdot L_{a,b} [m] \leq 6000 [kN] \text{ pro LM71, SW/0, HSLM}$$

$$Q_{lbk} = 35 [kN/m] \cdot L_{a,b} [m] \text{ pro SW/2}$$

Pozn.: Pro model zatížení „Nezatížený vlak“ se zatížení od rozjezdu a brzdění neuvažují.

### 3.2.3 Výpočtové hodnoty zatížení od železniční dopravy

#### Klasifikační součinitel $\alpha$

Charakteristické hodnoty zatížení v „Modelu zatížení 71“ se násobí součinitelem  $\alpha$  na tratích, které jsou určeny pro těžší nebo lehčí dopravu, než je běžná železniční doprava. Takto přenásobené hodnoty zatížení se nazývají tzv. „*klasifikovaná svislá zatížení*“.

Hodnoty součinitele  $\alpha$  mohou být: 0,75 – 0,83 – 0,91 – 1,00 – 1,10 – 1,21 – 1,33 – 1,46.

**Dynamický součinitel  $\Phi$** 

Dynamickým součinitelem  $\Phi$  se zvětšují statické účinky od zatěžovacích modelů 71, SW/0 a SW/2. Tento součinitel zohledňuje přírůstek účinků zatížení v důsledku kmitání konstrukce.

Hodnoty dynamického součinitele:

-  $\Phi_2$  pro pečlivě udržovanou kolej:  $\Phi_2 = \frac{1,44}{\sqrt{L_\Phi} - 0,2} + 0,82$ , v rozmezí  $1,00 \leq \Phi_2 \leq 1,67$

-  $\Phi_3$  pro standardně udržovanou kolej:  $\Phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\Phi} - 0,2} + 0,73$ , v rozmezí  $1,00 \leq \Phi_3 \leq 2,00$

$L_\Phi$  je náhradní délka [m] (viz ČSN EN 1991-2 Tabulka 6.2, níže uvedena pouze část tabulky)

Případ	Nosný prvek	Náhradní délka $L_\Phi$
<b>Ocelová deska mostovky: uzavřená mostovka s kolejovým ložem (ortotropní deska mostovky) (pro lokální a příčné namáhání)</b>		
1.1	mostovka s příčnými a podélnými výztuhami: plech mostovky (pro oba směry)	trojnásobek vzdálenosti příčníků
1.2	spojité podélné výztuhy (včetně krátkých konzol do 0,50 m) <sup>a)</sup>	trojnásobek vzdálenosti příčníků
1.3	příčnický	dvojnásobek délky příčníků
1.4	koncové příčnický	3,6 m <sup>b)</sup>
2.1	mostovka pouze s příčnický plech mostovky (pro oba směry)	dvojnásobek vzdálenosti příčníků + 3 m
2.2	příčnický	dvojnásobek vzdálenosti příčníků + 3 m
2.3	koncové příčnický	3,6 m <sup>b)</sup>

**3.2.4 Sestavy zatížení železniční dopravou**

Současné působení svislých a vodorovných sil se uvažuje sestavami zatížení. Každá z těchto sestav zatížení, které se navzájem vylučují, se má uvažovat jako jednotlivé proměnné charakteristické zatížení pro kombinaci s ostatními nedopravními zatíženími.

SESTAVA ZATÍŽENÍ	Svislé síly (model zatížení)			Vodorovné síly		
	LM71 nebo SW/0	Nezatížený vlak	SW/2	Rozjezd / brzdění	Odstředivá síla	Boční ráz
gr11	1	-	-	1 <sup>(1)</sup>	0,5 <sup>(1)</sup>	0,5 <sup>(1)</sup>
gr12	1	-	-	0,5 <sup>(1)</sup>	1 <sup>(1)</sup>	1 <sup>(1)</sup>
gr13	1 <sup>(2)</sup>	-	-	1	0,5 <sup>(1)</sup>	0,5 <sup>(1)</sup>
gr14	1 <sup>(2)</sup>	-	-	0,5 <sup>(1)</sup>	1	1
gr15	-	1	-	-	1 <sup>(1)</sup>	1 <sup>(1)</sup>
gr16	-	-	1	1 <sup>(1)</sup>	0,5 <sup>(1)</sup>	0,5 <sup>(1)</sup>
gr17	-	-	1	0,5 <sup>(1)</sup>	1 <sup>(1)</sup>	1 <sup>(1)</sup>
Násobeno součiniteli	$\alpha \cdot \Phi$	-	$\Phi$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha \geq 1,0$

<sup>(1)</sup> V případě příznivých účinků vodorovných sil se uvažují tyto vodorovné síly rovny nule.

<sup>(2)</sup> V případě příznivých účinků svislých sil může být součinitel snížen na hodnotu 0,5.

## 4 Ortotropní mostovka

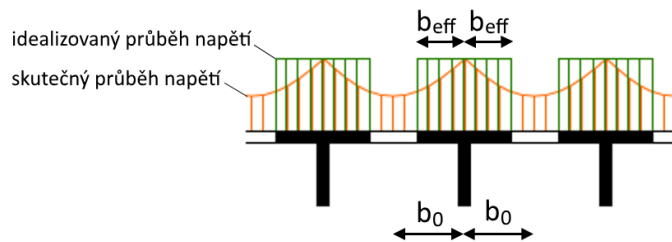
Ortotropní = ortogonální + anizotropní

Mostkový plech je vyztužen:

- podélnými výztuhami
- příčnými výztuhami = příčníky (tvoří zároveň podporu podélným výztuhám)

### 4.1 Stanovení spolupůsobících šířek

Vlivem smykového ochabnutí dochází k nerovnoměrnému průběhu normálových napětí v mostkovém plechu, přičemž dochází ke koncentraci normálového napětí v místě výztuh, v poli mezi výztuhami napětí klesá. Metodou spolupůsobících šířek se zavádí konstantní průběh napětí na účinných částech průřezu (na účinných šířkách mostkového plechu).



Spolupůsobící šířka mostkového plechu se spočítá jako:  $b_{eff} = \beta \cdot b_0$

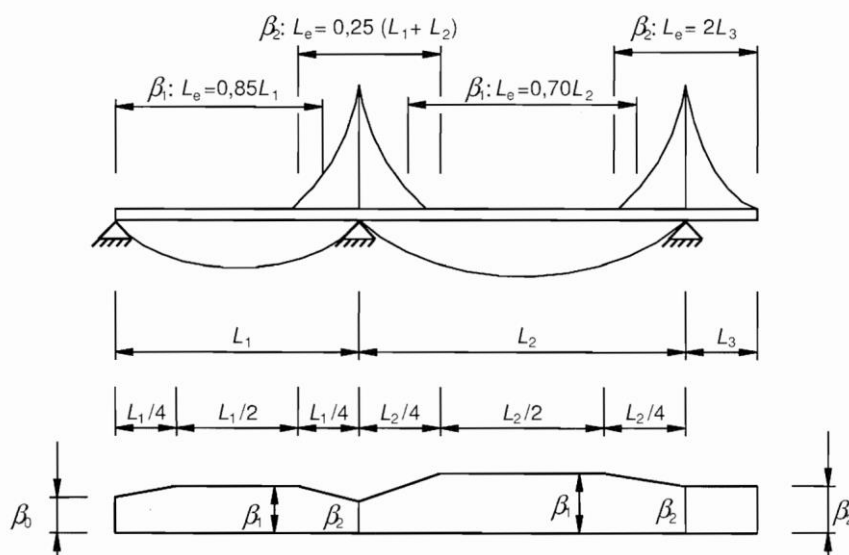
Součinitel účinné šířky  $\beta$

Tabulka 3.1 – Součinitel účinné<sup>s</sup> šířky  $\beta$

$\kappa$	Místo posouzení	Hodnota $\beta$
$\kappa \leq 0,02$		$\beta = 1,0$
$0,02 < \kappa \leq 0,70$	kladné ohybové momenty	$\beta = \beta_1 = \frac{1}{1 + 6,4\kappa^2}$
	záporné ohybové momenty	$\beta = \beta_2 = \frac{1}{1 + 6,0 \left( \kappa - \frac{1}{2500\kappa} \right) + 1,6\kappa^2}$
$\kappa > 0,70$	kladné ohybové momenty	$\beta = \beta_1 = \frac{1}{5,9\kappa}$
	záporné ohybové momenty	$\beta = \beta_2 = \frac{1}{8,6\kappa}$
jakékoliv $\kappa$	koncová podpora	$\beta_0 = (0,55 + 0,025 / \kappa) \beta_1$ , ale $\beta_0 < \beta_1$
jakékoliv $\kappa$	konzola	$\beta = \beta_2$ v podpoře a na konci
$\kappa = \alpha_0 b_0 / L_e$ kde $\alpha_0 = \sqrt{1 + \frac{A_{st}}{b_0 t}}$ přitom $A_{st}$ je plocha všech podélných výztuh v šířce $b_0$ a další označení odpovídají obrázkům 3.1 a 3.2.		

Vzdálenost nulových ohybových momentů:

- prostý nosník:  $L_e = L$
- spojitý nosník:  $L_e$  viz obrázek níž



## 5 Podélné výztuhy mostovky

### 5.1 Statické působení

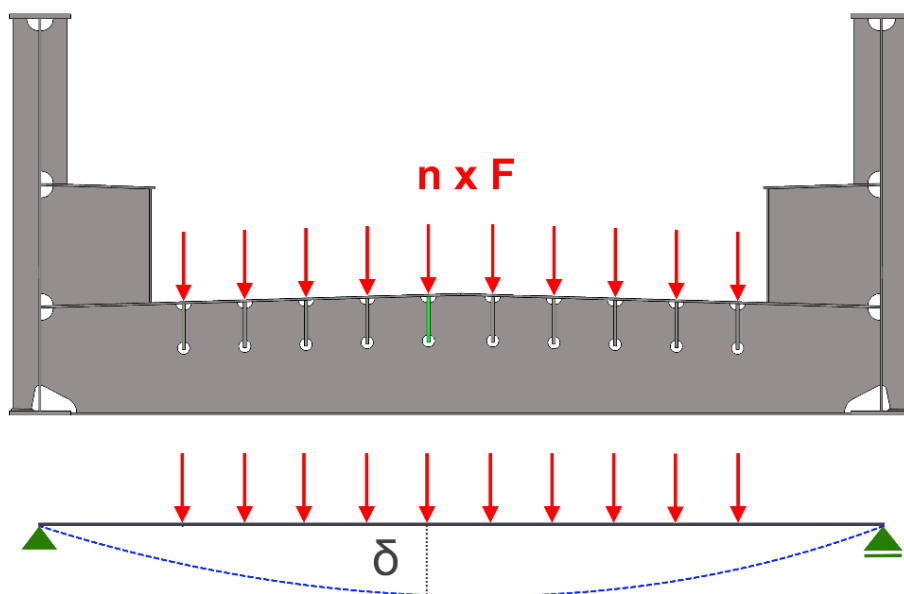
Podélné výztuhy působí jako spojitý nosník uložený na příčných výztuhách (příčnicích) jako na poddajných podporách. V ose mostu je podélná výztuha spojitým nosníkem na pružných podporách, v blízkosti stěny hlavního nosníku je podélná výztuha spojitým nosníkem na nepoddajných podporách.

Podélné výztuhy se navrhují stejného průřezu, tudíž budou dimenzovány na extrémní hodnoty ohybového momentu:

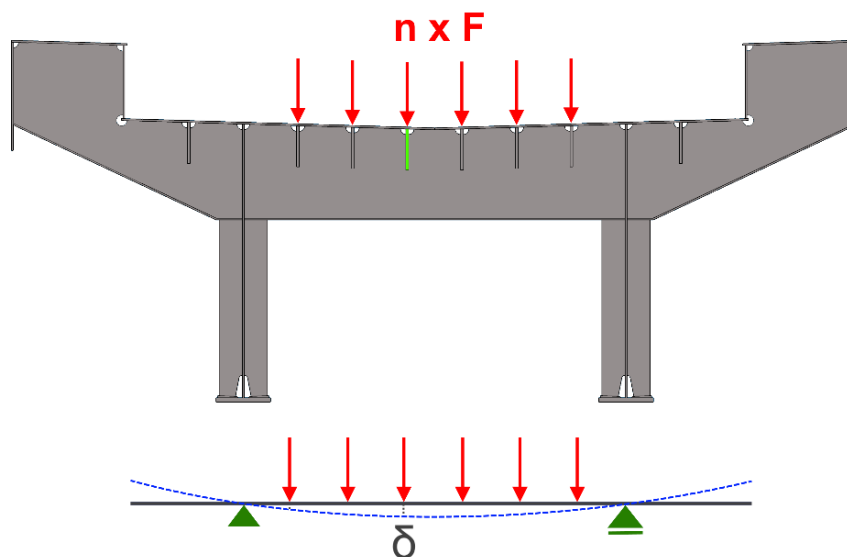
- uprostřed rozpětí podélné výztuhy - vnitřní výztuha
- krajní výztuha
- nad podporou krajní výztuhy

#### 5.1.1 Stanovení pérové konstanty poddajných podpor podélníků

Pérová konstanta bude stanovena pro nejvíce poddajnou podporu podélné výztuhy (podélná výztuha nejbližší polovině rozpětí příčnicku).



Jednotkové zatížení příčnicku dolní mostovky



Jednotkové zatížení příčniku horní mostovky

Pérová tuhost nejvíce poddajné podpory se vypočte jako:  $k = \frac{F}{\delta}$

kde  $F$  je jednotková síla působící na 1 podélnou výztuhu,  
 $\delta$  je deformace příčniku v místě vyšetřované podélné výztuhy.

## 5.2 Výpočet zatížení podélné výztuhy

### 5.2.1 Stálá zatížení

#### Vlastní tíha mostovky

Vlastní tíha ocelového plechu mostovky  $g_1 = \dots\dots\dots$  kN/m

Vlastní tíha podélné výztuhy  $g_2 = \dots\dots\dots$  kN/m

#### Ostatní stálé zatížení

Tíha hydroizolace tl.10 mm  $g_3 = \dots\dots\dots$  kN/m

Tíha štěrkového lože tl.550 mm  $g_4 = \dots\dots\dots$  kN/m

Tíha kolejového roštu 6 kN/m  $g_5 = \dots\dots\dots$  kN/m

Celkové spojitě zatížení mostovky  $g_k = \sum g_i = \dots\dots\dots$  kN/m

$g_d = \gamma_G \times g_k = \dots\dots\dots$  kN/m

### 5.2.2 Proměnná zatížení

#### Zatížení železniční dopravou – LM71

Na délce 6,4 m zatížení od  $4 \times (Q_{vk} = 250 \text{ kN})$   $q_{1,k} = \dots\dots\dots$  kN/m

$q_{1,d} = q_{1,k} \times \gamma_Q \times \alpha \times \Phi_3 = \dots\dots\dots$  kN/m

Zbytek zatížení od  $q_{vk} = 80 \text{ kN/m}$   $q_{2,k} = \dots\dots\dots$  kN/m

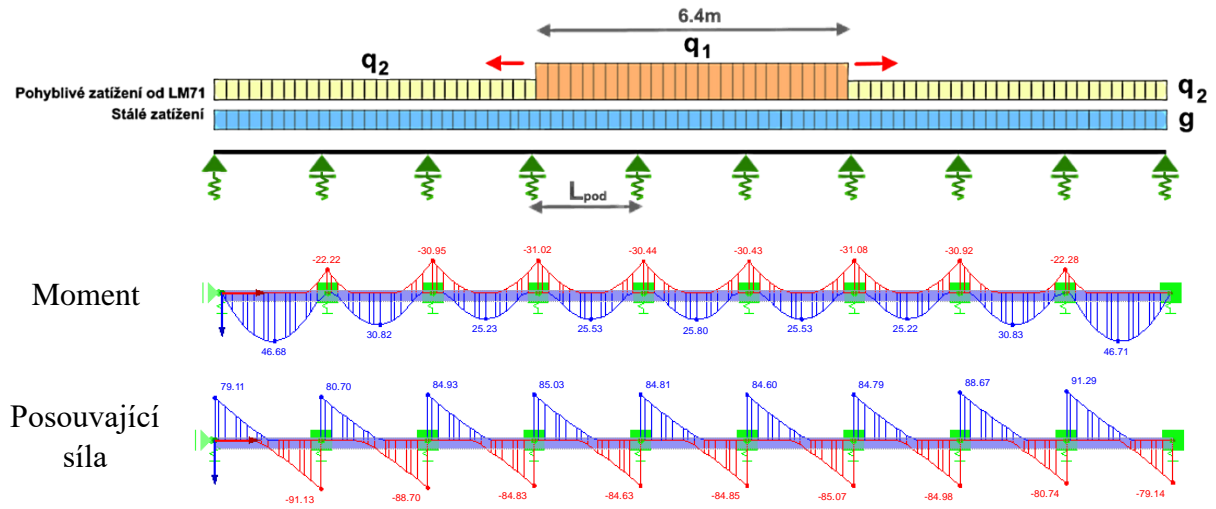
$q_{2,d} = q_{2,k} \times \gamma_Q \times \alpha \times \Phi_3 = \dots\dots\dots$  kN/m

### 5.2.3 Vodorovná zatížení od železniční dopravy

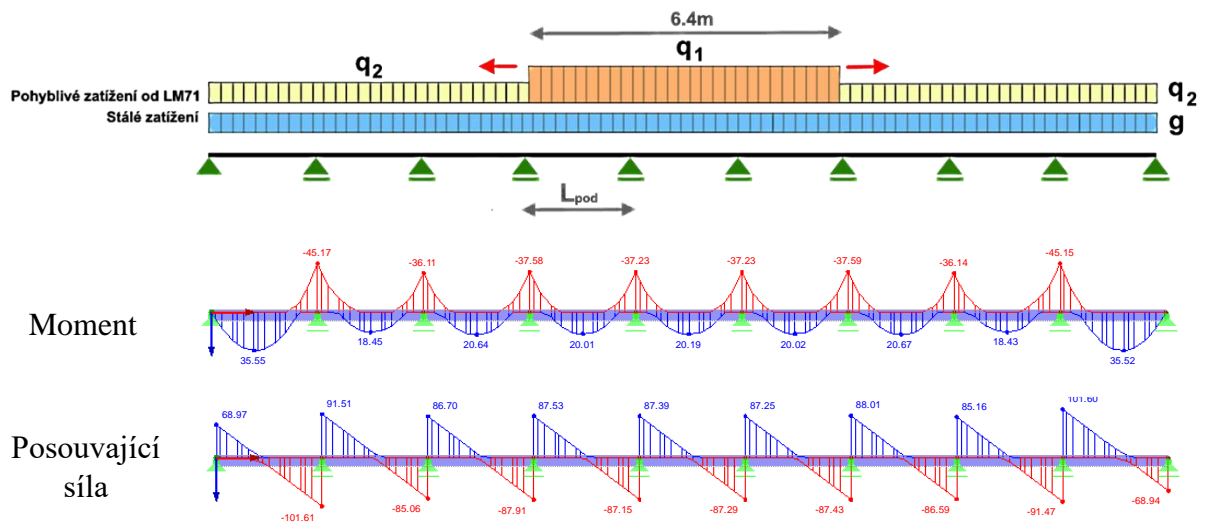
**V rámci řešení zadaného projektu ve cvičení nebudou vodorovné účinky od železniční dopravy uvažovány.**

### 5.3 Výpočet vnitřních sil na podélné výztuze

#### 5.3.1 Vnitřní podélná výztuha blízko středu mostovky



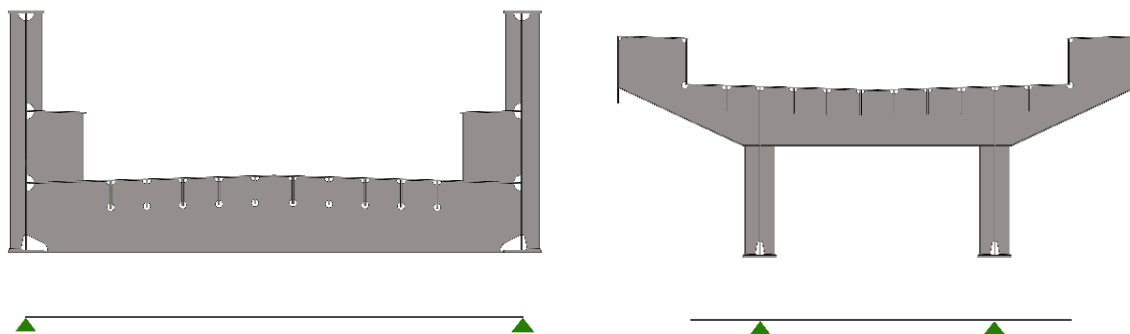
#### 5.3.2 Krajní podélná výztuha blízko hlavnímu nosníku



## 6 Příčnický

### 6.1 Statické působení

Příčnický (příčné výztuhy) působí jako prosté nosníky uložené na hlavních nosnících.



### 6.2 Výpočet zatížení příčnický

#### 6.2.1 Stálá zatížení

Vlastní tíha příčnický

$$g_1 = \dots\dots\dots \text{kN/m}$$

Vlastní tíha ocelového plechu mostovky

$$g_2 = \dots\dots\dots \text{kN/m}$$

Vlastní tíha podélných výztuh

$$g_3 = \dots\dots\dots \text{kN/m}$$

Tíha hydroizolace tl.10 mm

$$g_4 = \dots\dots\dots \text{kN/m}$$

Tíha štěrkového lože tl.550 mm

$$g_5 = \dots\dots\dots \text{kN/m}$$

Tíha kolejového roštu 6 kN/m

$$g_6 = \dots\dots\dots \text{kN/m}$$

Návrhové hodnoty

$$g_d = \gamma_G \times g_k = \dots\dots\dots \text{kN/m}$$

#### 6.2.2 Proměnná zatížení

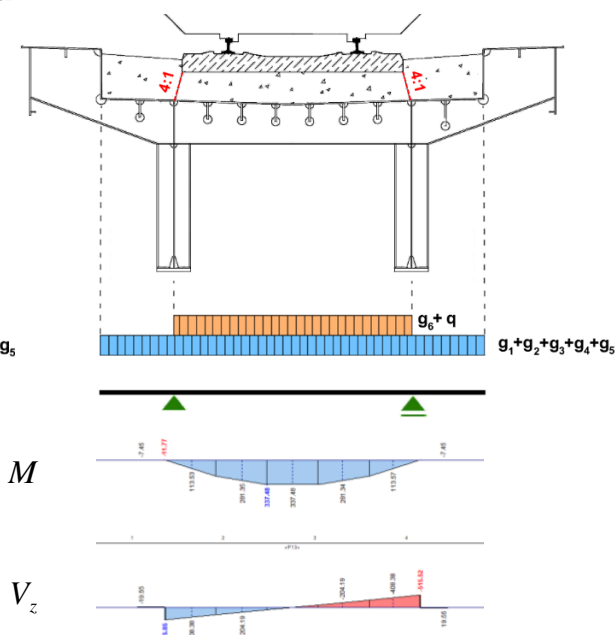
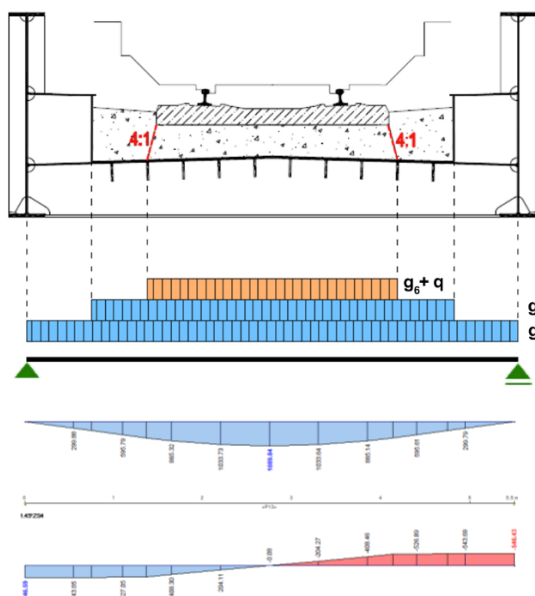
Zatížení železniční dopravou – LM71

Na délce 6,4 m zatížení od  $4 \times (Q_{vk} = 250 \text{ kN})$

$$q = \dots\dots\dots \text{kN/m}$$

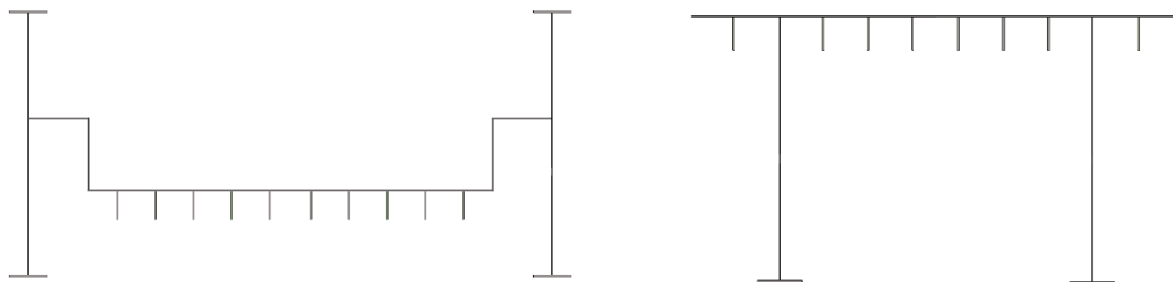
$$q_d = q \times \gamma_Q \times \alpha \times \Phi_3 = \dots\dots\dots \text{kN/m}$$

### 6.3 Výpočet vnitřních sil na příčnický



## 7 Hlavní nosníky

Hlavní nosníky s mostovkou tvoří jeden celek. Mostovka se tudíž spolupodílí na přenosu ohybových momentů.



### 7.1 Zatížení

Zatížení na celý most je stanoveno jako spojité liniové zatížení po délce odpovídající rozpětí mostu.

#### 7.1.1 Stálá zatížení

##### Vlastní tíha hlavních nosníků (2 nosníky)

Vlastní tíha pásnic (4 pásnice) = ..... kN/m

Vlastní tíha stojin (2 stojiny) = ..... kN/m

Vlastní tíha podélných výztuh = ..... kN/m

Vlastní tíha příčných výztuh = ..... kN/m

##### Vlastní tíha mostovky

Vlastní tíha ocelového plechu mostovky = ..... kN/m

Vlastní tíha podélných výztuh (počet výztuh n) = ..... kN/m

Vlastní tíha příčnicků = ..... kN/m

##### Ostatní stálé zatížení

Tíha hydroizolace tl.10 mm = ..... kN/m

Tíha štěrkového lože tl.550 mm = ..... kN/m

Tíha kolejového roštu 6 kN/m = ..... kN/m

Celkové spojité zatížení mostovky  $\Sigma = g_k = \dots\dots\dots$  kN/m

$g_d = \gamma_G \times g_k = \dots\dots\dots$  kN/m

#### 7.1.2 Proměnná zatížení

##### Zatížení železniční dopravou – LM71

Na délce 6,4 m zatížení od  $4 \times (Q_{vk} = 250 \text{ kN})$   $Q_{vd} = \dots\dots\dots$  kN

$Q_{vd} = Q_{vk} \times \gamma_Q \times \alpha \times \Phi_3 = \dots\dots\dots$  kN

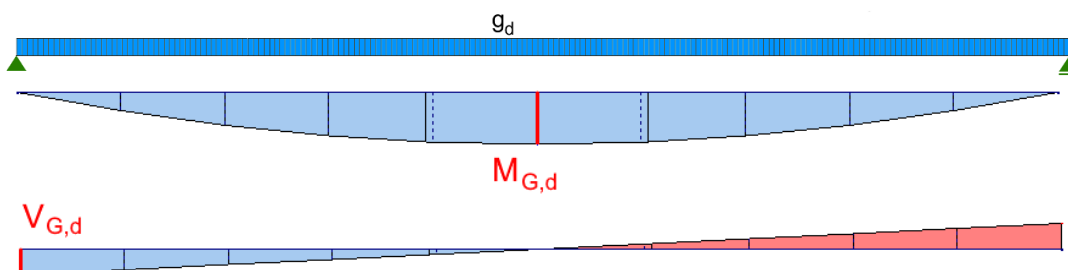
Zbytek zatížení od  $q_{vk} = 80 \text{ kN/m}$   $q_{vd} = \dots\dots\dots$  kN/m

$q_{vd} = q_{vk} \times \gamma_Q \times \alpha \times \Phi_3 = \dots\dots\dots$  kN/m



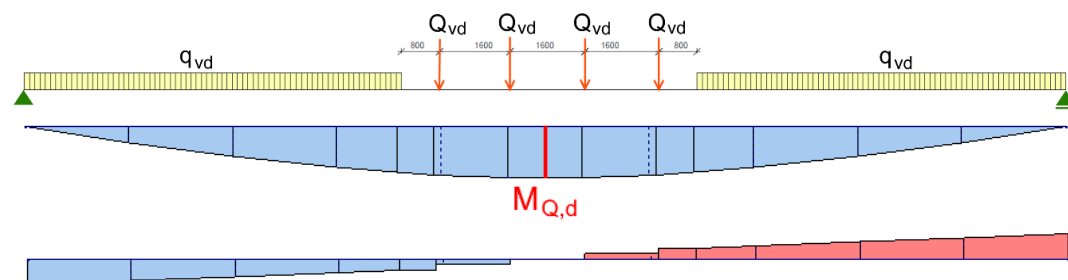
## 7.2 Výpočet vnitřních sil

### 7.2.1 Vnitřní síly od stálých zatížení

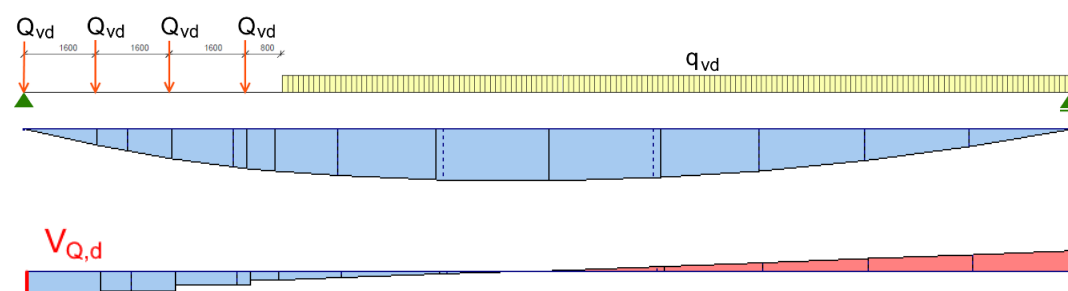


### 7.2.2 Vnitřní síly od proměnných zatížení – LM71

LM71 v poloze vyvolující maximální ohybový moment



LM71 v poloze vyvolující maximální posouvající sílu



## 7.3 Vnitřní síly na jeden hlavní nosník

Maximální ohybový moment od stálých zatížení:  $M_{g,Ed} = \frac{1}{2} \cdot M_{G,d}$

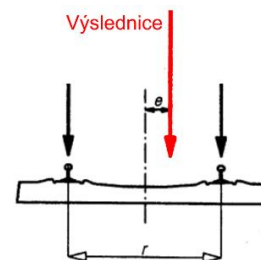
Maximální posouvající síla od stálých zatížení:  $V_{g,Ed} = \frac{1}{2} \cdot V_{G,d}$

Zatížení od kolejové dopravy (LM71, SW/0) se mají uvažovat s excentricitou svislého zatížení:

$$e \leq \frac{r}{18} = \frac{1500}{18} = 83 \text{ mm}$$

Maximální ohybový moment od LM71:  $M_{q,Ed} = \left( \frac{1}{2} + \frac{e}{b} \right) \cdot M_{Q,d}$

Maximální posouvající síla od stálých zatížení:  $V_{q,Ed} = \left( \frac{1}{2} + \frac{e}{b} \right) \cdot V_{Q,d}$



**Výsledné vnitřní síly působící na více zatížený hlavní nosník:**

Maximální ohybový moment:  $M_{Ed} = M_{g,Ed} + M_{q,Ed}$

Maximální posouvající síla:  $V_{Ed} = V_{g,Ed} + V_{q,Ed}$

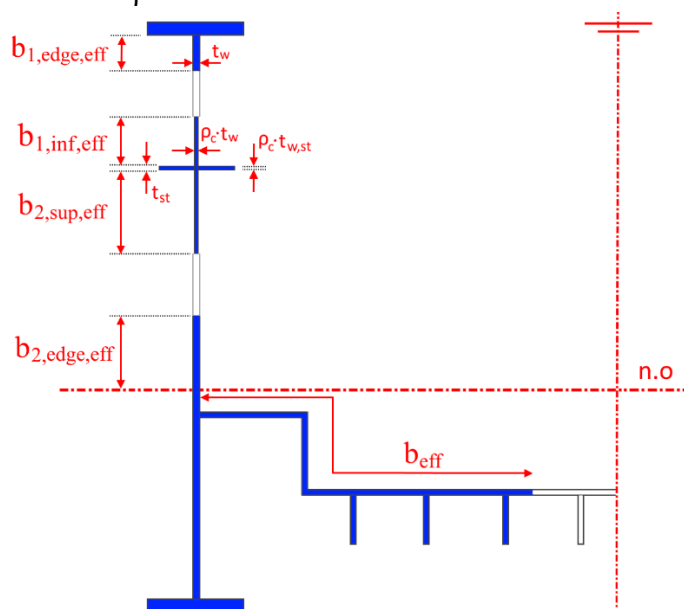
## 7.4 Efektivní průřez mostu

### 7.4.1 Průřez mostu s dolní mostovkou

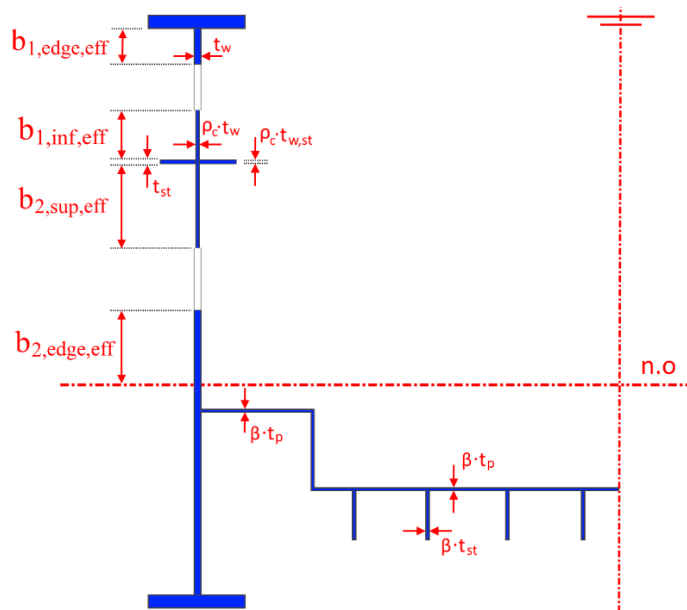
Efektivní průřez hlavního nosníku je definován plným průřezem tažené a tlačené pásnice, plným průřezem tažené části stojiny a účinnými šířkami tlačené části stojiny vyztužené podélnou výztuhou, které jsou stanovené na základě vlivu boulení stojiny od normálového tlakového napětí. U účinného průřezu podélné výztuhy s přiléhajícími účinnými částmi stojiny jsou tloušťky stěn redukovány součinitelem celkového boulení  $\rho_c$ .

Při definování účinného průřezu taženého plechu mostovky vyztuženého podélnými výztuhami od účinků smykového ochabnutí je možno zvolit dva přístupy:

- do účinného průřezu mostovky je zahrnut plech mostovky s příslušnými podélnými výztuhami pouze na šířce  $b_{\text{eff}}$  od hlavního nosníku
- do účinného průřezu mostovky je zahrnut celý plech mostovky se všemi podélnými výztuhami, tloušťka stěn mostovky a podélných výztuh je redukována součinitelem smykového ochabnutí  $\beta$ .



*Efektivní průřez mostu s redukovanou šířkou dolní mostovky*



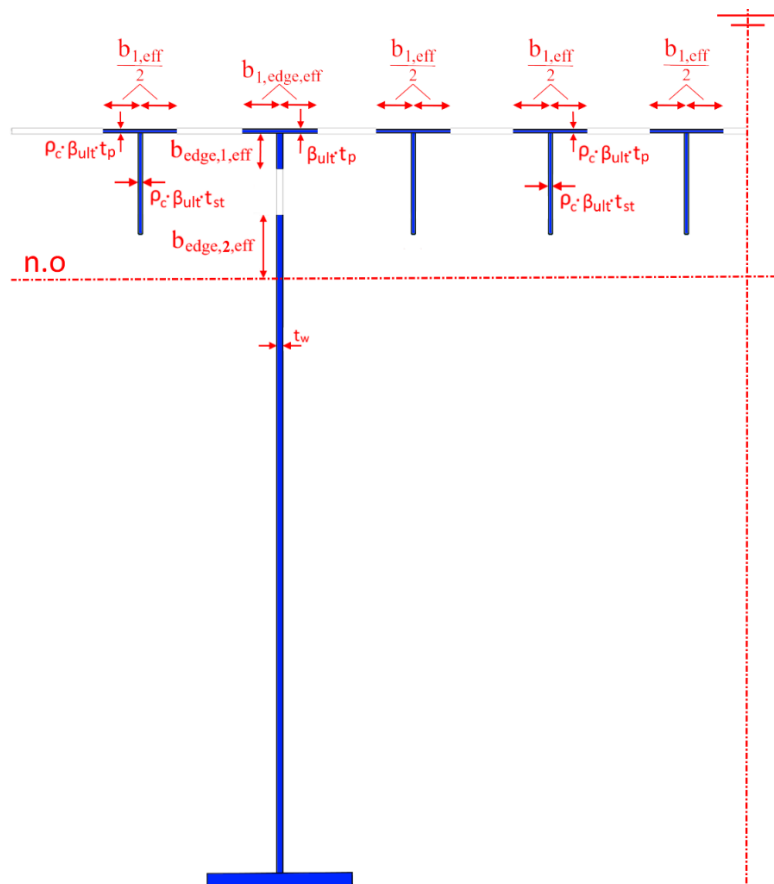
*Alternativní efektivní průřez mostu s redukovanou tloušťkou plechů dolní mostovky*

### 7.4.2 Průřez mostu s horní mostovkou

Efektivní průřez hlavního nosníku je definován plným průřezem tažené pásnice, plným průřezem tažené části stojiny a účinnými šířkami tlačené části stojiny stanovené na základě vlivu boulení stojiny od normálového tlakového napětí.

Účinný průřez tlačného plechu mostovky vyztuženého podélnými výztuhami od účinků smykového ochabnutí a boulení stěn vlivem normálového tlakového napětí je možno definovat:

- do účinného průřezu mostovky je zahrnut plech mostovky s podélnými výztuhami o účinných šířkách stanovených na základě vlivu lokálního boulení od normálového tlakového napětí, jejichž tloušťka se redukuje součinitelem  $\beta_{ult}$  zohledňující účinky smykového ochabnutí vyztuženého plechu mostovky
- tloušťky stěn podélných výztuh včetně přiléhajících účinných šířek plechu mostovky se navíc redukuje součinitelem celkového boulení podélných výztuh  $\rho_c$ .



## 8 Mezní stavy použitelnosti

Z hlediska použitelnosti se mají splnit následující podmínky:

### a) omezení na pružné působení s cílem omezit:

- překročení meze kluzu
- úchytky od požadované geometrie v důsledku trvalých průhybů
- nadměrné deformace

Jmenovitá napětí  $\sigma_{Ed,ser}$  a  $\tau_{Ed,ser}$  od charakteristických kombinací zatížení, vypočtená se zřetelem na účinky smykového ochabnutí v pásnicích a účinků druhého řádu v důsledku průhybů se mají omezit následovně:

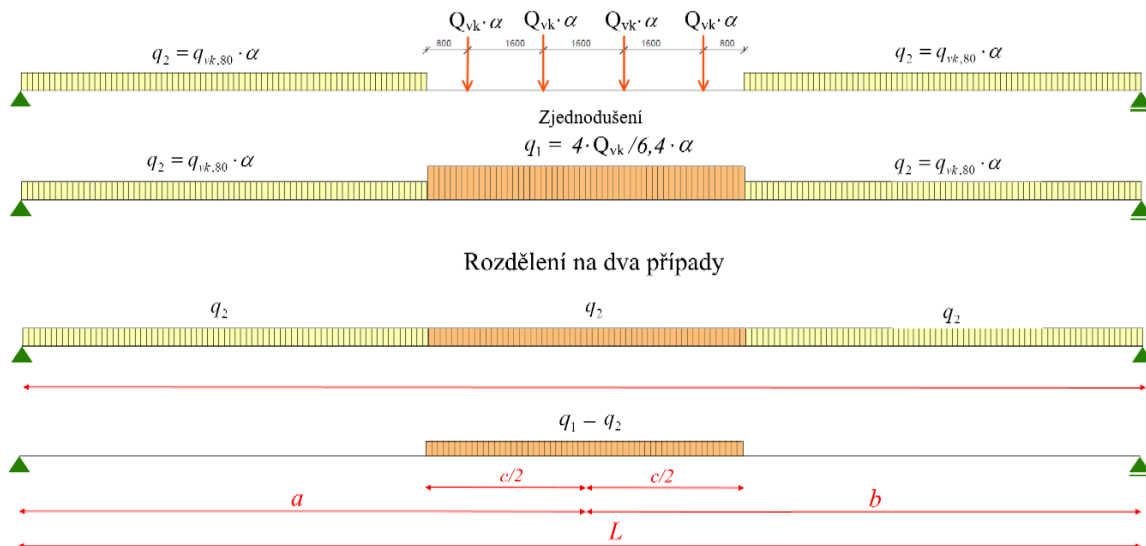
$$\sigma_{Ed,ser} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M,ser}} \quad \tau_{Ed,ser} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M,ser}} \quad \sqrt{\sigma_{Ed,ser}^2 + 3 \cdot \tau_{Ed,ser}^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M,ser}}$$

Doporučená hodnota dílčího součinitele spolehlivosti materiálu  $\gamma_{M,ser}$  národní přílohou pro ČR je 1,00.

### b) omezení průhybů a křivostí s cílem vyloučit:

- nežádoucí dynamické rázy vyvolané dopravou
- nedodržení požadovaného průjezdného profilu
- trhliny v povrchových vrstvách vozovky
- poškození odvodňovacího zařízení

Maximální celkový průhyb od kolejového zatížení, měřený podél libovolné koleje, by neměl přesáhnout hodnotu  $L/600$ . Zatížení od kolejové dopravy se má uvažovat jako klasifikované charakteristické svislé zatížení podle ČSN EN 1991-2 (násobeno součinitelem  $\alpha$ , bez dynamického součinitele  $\Phi$  a součinitele zatížení  $\gamma_Q$ ).



$$w = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_2 \cdot L^4}{E \cdot I} + \frac{(q_1 - q_2) \cdot c}{6 \cdot E \cdot I} \cdot \left[ \frac{a \cdot b}{L} \cdot \left( 2 \cdot a \cdot L - 2 \cdot a^2 - \frac{c^2}{4} \right) + \frac{c^3}{64} \right]$$

$$w \leq w_{lim} = \frac{L}{600}$$

**c) omezení vlastních frekvencí s cílem omezit:**

- vyloučit vibrace vyvolané dopravou nebo větrem, které jsou nepřijatelné pro chodce nebo cestující ve vozidlech na mostě
- omezit únavová poškození způsobená rezonancí
- omezit nadměrný hluk

**d) limity na štíhlost stěn s cílem omezit:**

- nadměrné zvlnění stěn
- dýchání stěn
- zmenšení tuhosti v důsledku boulení plechu, které může způsobit zvětšení průhybu

**e) zlepšení trvanlivosti vhodným konstrukčním řešením pro omezení koroze a nadměrného opotřebení****f) usnadnění údržby a oprav, které zahrnuje:**

- přístupnost konstrukčních prvků pro údržbu a kontrolu, obnovu protikorozi ochrany a asfaltových vozovek
- výměnu ložisek, kotev, lan, mostních závěrů s minimálním přerušením používání konstrukce

**Nadvýšení mostu**

Nadvýšení mostu ve výrobě OK se provádí z důvodu lepšího vzhledu. Provádí se u mostů delších jak 20 m nebo u mostů s průhybem od kolejové dopravy (vypočtený bez uvažování dynamického součinitele) větším jak 20 mm v případě, že se neprovádí přesnější dynamický výpočet.

Nadvýšení se provádí v hodnotě průhybu od stálého zatížení a od 25% kolejového zatížení (dle ČSN 73 6205 čl.6.6(1)).

$$w_c = w_g + 0,25 \cdot w_Q$$

**Použitá literatura**

- [1] BEG, D., KUHLMANN, U., DAVAINÉ, L. a BRAUN, B. *Design of Plated Structures*, ECCS, 2010.
- [2] KVOČÁK, V. a VIČAN, J. *Navrhovanie ocelových mostov podľa európskych noriem*, Technická univerzita v Košiciach, Košice, 2013.
- [3] PLÁŠEK, O.: *Železniční svršek na mostech*. Prezentace pro studijní účely studentů 1. ročníku magisterského studia oboru „Konstrukce a dopravní stavby“ na Fakultě stavební VUT v Brně, s.r.o., Brno.
- [4] ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí.
- [5] ČSN EN 1991-2 Zatížení konstrukcí. Část 2: Zatížení mostů dopravou.
- [6] ČSN EN 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- [7] ČSN EN 1993-1-5 Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-5: Boulení stěn
- [8] ČSN EN 1993-2: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 2: Ocelové mosty
- [9] ČSN 73 620 Projektování mostních objektů