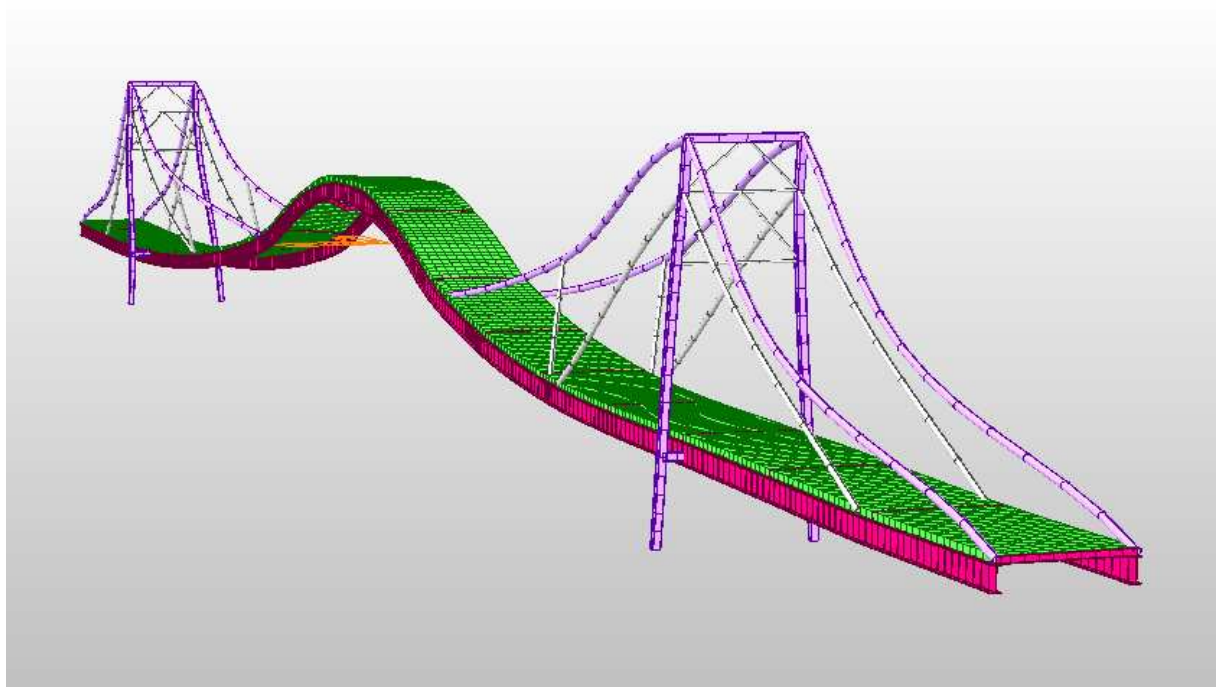


## Dynamická analýza ocelové lávky



# Požadavky normy ČSN 1990 zm. A1 pro dynamické posouzení mostních konstrukcí

Pokud je některá vlastní frekvence svislého kmitání nosné konstrukce lávky v oblasti frekvencí 1,0 Hz až 5,0 Hz a/nebo vlastní frekvence vodorovného kmitání hlavní nosné konstrukce lávky v oblasti frekvencí 0,5 Hz až 2,5 Hz, je nutné provést podrobnou analýzu dynamického chování lávky.

Kritéria pohody chodců se mají stanovit prostřednictvím nejvýše přijatelných hodnot zrychlení kmitání libovolné části hlavní nosné konstrukce.

- |      |     |   |
|------|-----|---|
| i)   | 0,7 | pro svislá kmitání;                                       |
| ii)  | 0,2 | pro vodorovná kmitání od běžné dopravy;                   |
| iii) | 0,4 | pro vodorovné vibrace od výjimečného zatížení davem lidí. |

## A2.4.3.1 Návrhové situace a souvisící předpoklady provozu na lávce

1. zatížení skupinou 8 až 15 chodců
2. souvislý proud chodců na lávce (podstatně více než 15 osob);

**Dynamický model zatížení pro svisle kmitání:**

Výpočtový model pro dynamické účinky

Pro analýzu dynamických účinků byl vytvořen výpočetní model ve finální fázi a byla provedena modální analýza.

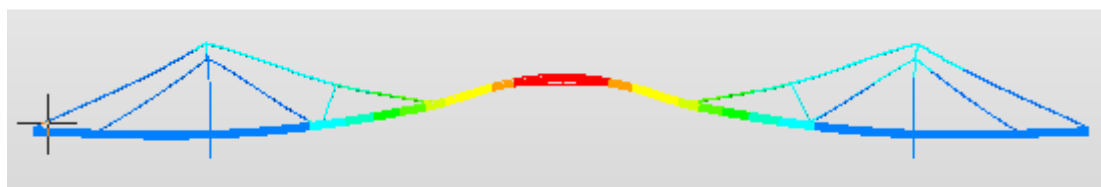
# Modální Analýza Konstrukce

Modální analýzou byly obdrženy vlastní tvary a frekvence konstrukce. Podlaha i zábradlí bylo modelováno pouze jako zatížení, proto bylo převedeno na hmotu.

## Vyhodnocení svislého a torzního kmitání

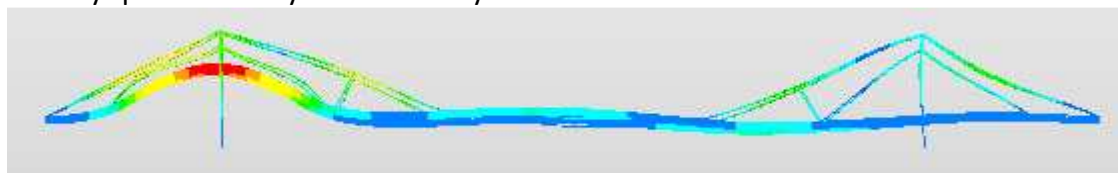
### 1. Ohybový tvar

Bude uvažován **Mode 1**, kde začne kmitat 31 % hmoty ve směru Z. První ohybová **frekvence** je  $f_{v1} = 2.02 \text{ Hz}$ , proto musí být provedena dynamická analýza.



### 2. Ohybový tvar

je uvažován **Mode 8**, kdy **ohybová frekvence** je  $f_{v2} = 3.73 \text{ Hz}$ , kmitá 17,4% hmoty a proto musí být provedena dynamická analýza.



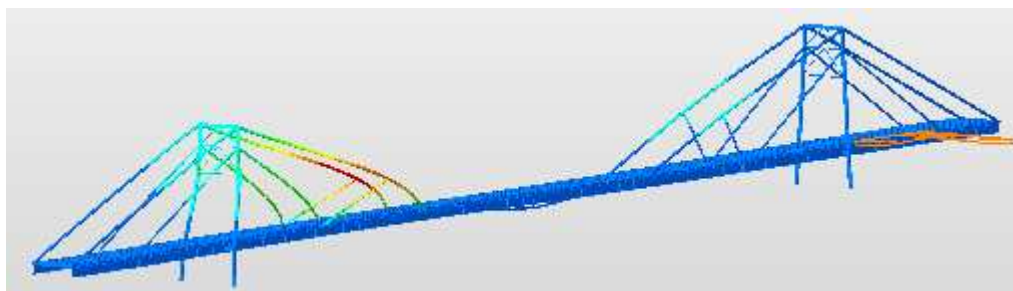
### 3. Ohybový tvar

je uvažován **Mode 9**, kdy **ohybová frekvence** je  $f_{v3} = 3.79 \text{ Hz}$ , kmitá 20% hmoty a proto musí být provedena dynamická analýza.



## 1. Torzní tvar

je uvažován Mode 3, kdy **frekvence je  $f_{T1} = 2.98$  Hz**, kmitá pouze 4% hmoty.



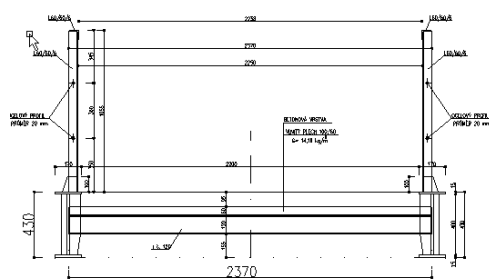
## 1. Vodorovný tvar

je uvažován **Mode 2**, kdy ohybová **frekvence je  $f_{H1} = 2.33$  Hz**, kmitá 70% hmoty.



Kvůli zabránění kolapsu konstrukce účinkem větru, tzv. *flutter*, je nutné, aby konstrukce nesplňovala alespoň jedno kritérium podle [2], kap. E.4.2:

a) Konstrukce, nebo její podstatná část, musí mít protáhlý průřez s poměrem  $b/d$  menším než 0.25:



$$b / d = 0.43 / 2.37 = 0.18 < 0.25 \dots \text{SPLNĚNO}$$

b) Střed kroucení musí být ve vzdálenosti nejméně  $d/4$  ve směru větru od náběžné hrany mostovky, kde  $d$  je šířka mostovky ve směru větru:

Střed kroucení je ve vzdálenosti  $d / 2 > d / 4 \dots \text{SPLNĚNO}$

c)  $f_{T1} / f_{V1} < 2.0$

$$f_{T1} / f_{V1} = 1.47 < 2.0 \dots \text{SPLNĚNO}$$

## Harmonická Analýza Konstrukce

Modální analýza byla provedena pro prvních 15 vlastních tvarů. Z dosažených výsledků je zřejmé, že musí být provedena harmonická analýza pro první dva svislé ohybové vlastní tvary a pro první torzní vlastní tvar.

Velikost pulsující síly v nejnepříznivějším bodě konstrukce je uvažována podle vztahu v článku [1], NA.2.44.4:

$$F = F_0 \cdot k(f_v) \cdot \sqrt{1 + \gamma \cdot (N - 1)} \cdot \sin(2\pi \cdot f_v \cdot t).$$

Síla  $F_0$  je určena podle [1], Table NA.8:

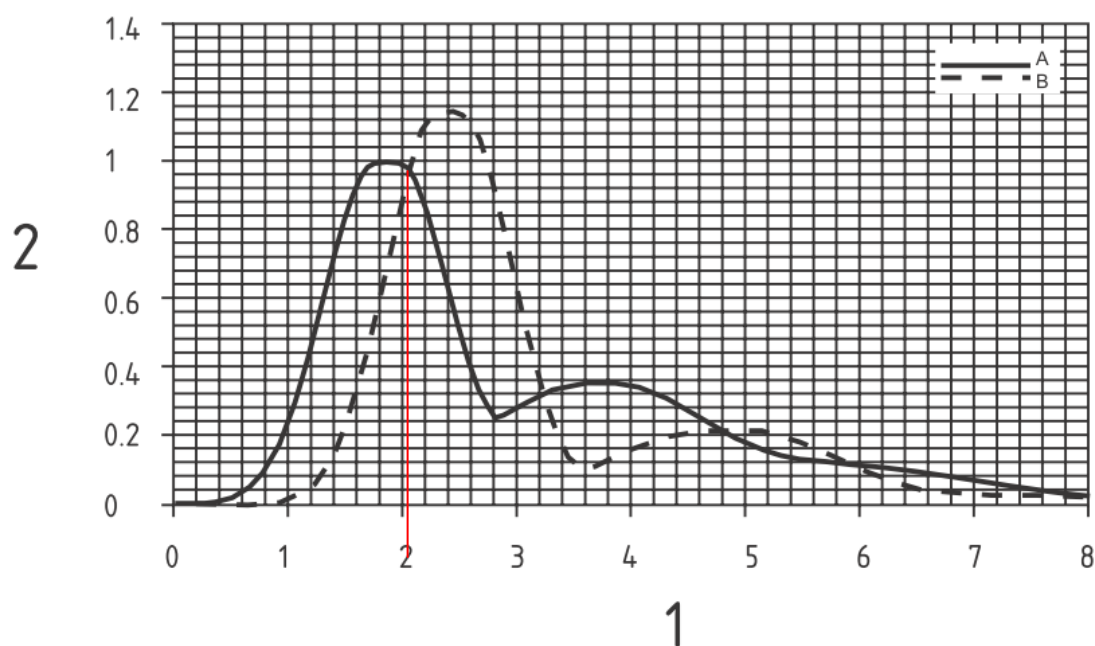
	Walking	Jogging
$F_0 = [\text{N}]$	280	910
$v_t = [\text{m/s}]$	1.7	3

Pozn.

Walking = jdoucí chodci

Jogging = běžící chodci

Součinitel  $k(f_v)$  lze odečíst z následujícího nomogramu dle [1], Figure NA.8:



### Key

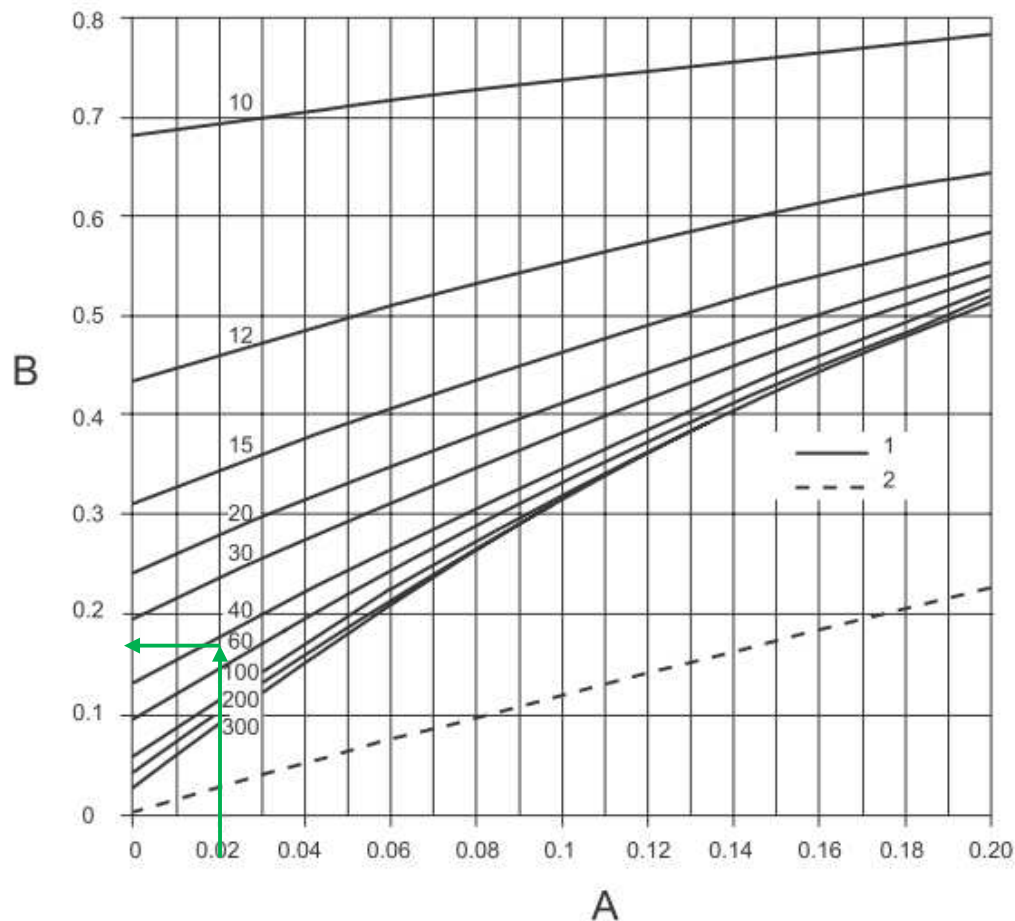
A = Walking

B = Jogging/running

1 = Mode frequency  $f_v$  (Hz)

2 = Combined population and harmonic factor  $k(fv)$

Faktor zohledňující nesynchronizační působení chodců ve skupinách nebo davech  $\gamma$  podle [1], Figure NA.9:



**Key**

1 = Pedestrian groups

2 = Crowd loading

$A$  = Structural damping – logarithmic decrement,  $\delta$

$B$  = Reduction factor on effective number of pedestrians,  $\gamma$

**NOTE** All curves represent the variation of the reduction factor with structural damping for the value of effective span,  $S_{eff}$  (m), given

Doporučené hodnoty pro počet chodců ve skupině podle [1], *Table NA.7:*

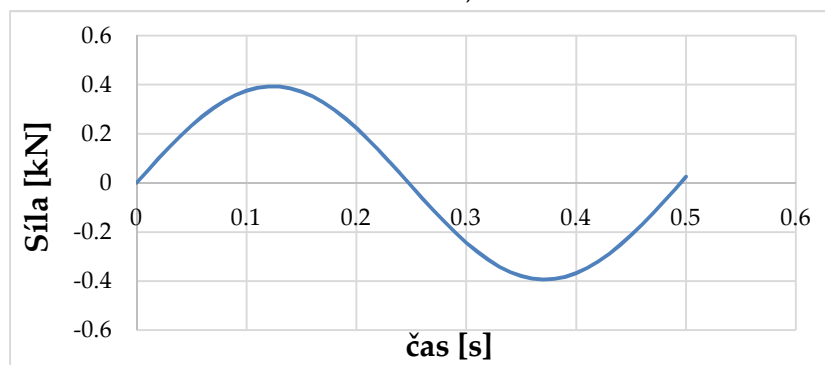
Table NA.7 **Recommended crowd densities for design**

Bridge class	Bridge usage	Group size (walking)	Group size (jogging)	Crowd density $\rho$ (persons/m <sup>2</sup> ) (walking)
A	Rural locations seldom used and in sparsely populated areas.	N = 2	N = 0	0
B	Suburban location likely to experience slight variations in pedestrian loading intensity on an occasional basis.	N = 4	N = 1	0.4
C	Urban routes subject to significant variation in daily usage (e.g. structures serving access to offices or schools).	N = 8	N = 2	0.8
D	Primary access to major public assembly facilities such as sports stadia or major public transportation facilities.	N = 16	N = 4	1.5

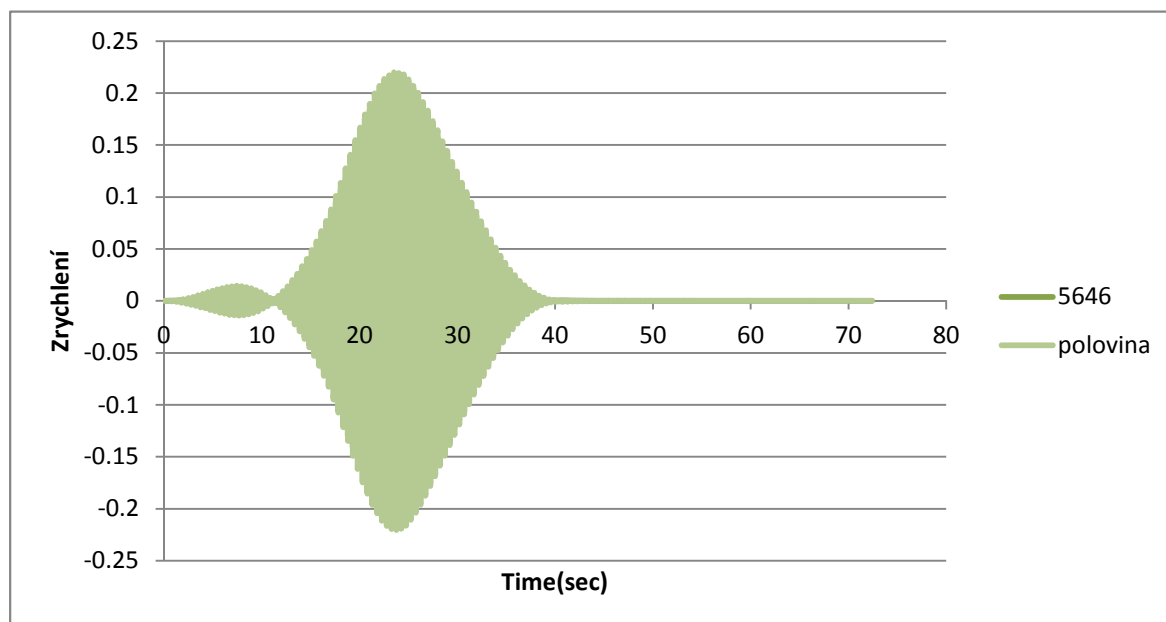
## Zatížení jdoucími chodci

Frekvence	$f_v =$	2,02	Hz
Souč. gamma	$\gamma =$	0,17	
Rozpětí	$S =$	47,83	m
Třída	<b>C</b>		
	$N =$	8	
	$k(f_v) =$	0,95	
	$F_0 =$	0,28	kN

Čas  $T = 0,49505$  s



Rychlost	$v_t =$	1.7	$\text{ms}^{-1}$
Délka kroku		0.842	m
Čas kroku		0.495	s



$a_{\max} = 0.22 \text{ ms}^{-2} \leq a_{\text{limit}} = 0.7 \text{ ms}^{-2}$ , posudek **VYHOVUJE**.



## Zatížení běžícími chodci

### jogging

Frekvence  $f_v = 2.02$  Hz

Souč. gamma  $\gamma = 0.17$

Rozpětí  $S = 47.83$  m

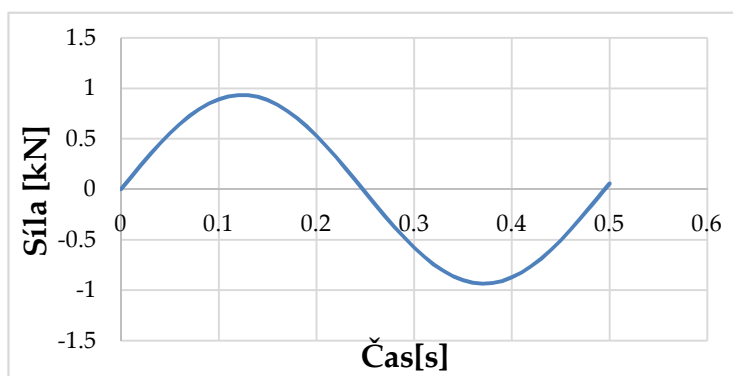
Třída **C**

$N = 2$

$k(f_v) = 0.95$

$F_0 = 0.91$  kN

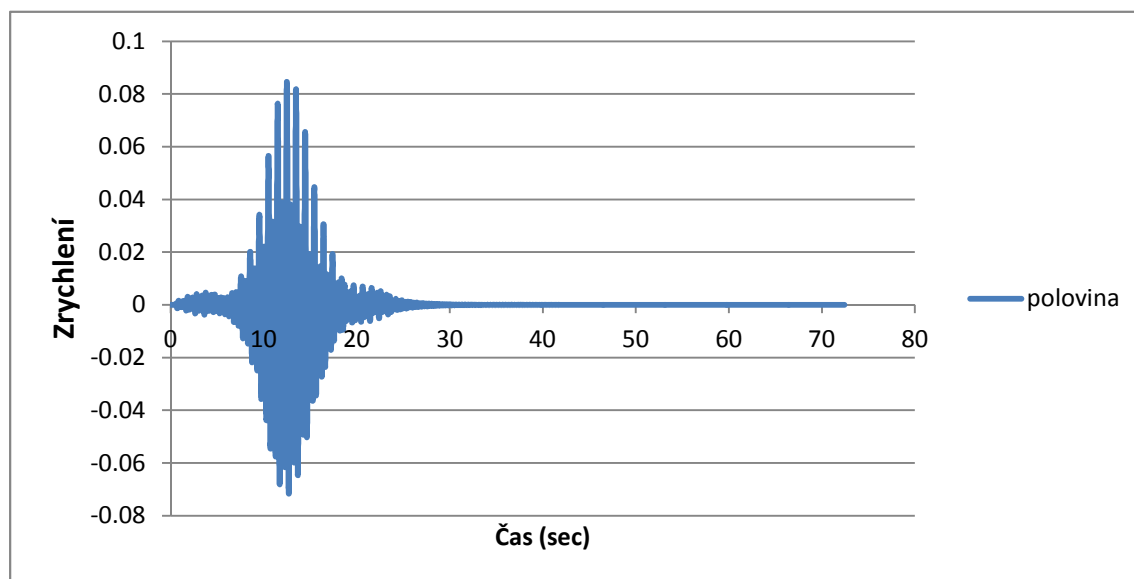
Čas  $T = 0.49505$  s



Rychlost  $v_t = 3$  ms<sup>-1</sup>

Délka kroku 1.485 m

Čas kroku 0.495 s



$a_{\max} = 0.1 \text{ ms}^{-2} \leq a_{\text{limit}} = 0.7 \text{ ms}^{-2}$ , posudek **VYHOVUJE**.

## **Závěr**

Po provedení modální analýzy konstrukce byly zjištěny vlastní frekvence. Na základě jejich rozsahu bylo nezbytné provést podrobný dynamický výpočet formou harmonické analýzy. Harmonická analýza ukázala, že **konstrukce nebude dosahovat vyšších hodnot zrychlení kmitání lávky zatížené jdoucími ani běžícími chodci.**

# Literatura

- [1] NA to BS EN 1991-2:2003. *UK National Annex to Eurocode 1: Actions on structures – Part 2: Traffic loads on bridges*
- [2] ČSN EN 1991-1-4. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*. Praha: Český normalizační institut, 2007. 127 s.
- [3] ČSN EN 1990 ZMĚNA A1. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 2007. 36 s.
- [4] ČSN EN 1990. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 2004. 76 s.
- [5] ČSN EN 1991-2. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou*. Praha: Český normalizační institut.