



INTERREG V-A
SLOVENSKÁ REPUBLIKA
ČESKÁ REPUBLIKA



EURÓPSKA ÚNIA
EURÓPSKY FOND
REGIONÁLNEHO ROZVOJA

SPOLOČNE BEZ HRANÍC

Globálna analýza mostov

Lávky pre chodcov a cyklistov



NÁZOV PROJEKTU:

**Podpora edukačných aktivít pre výchovu mladých odborníkov
v oblasti mostného staviteľstva v cezhraničnom regióne**

**VŠB TECHNICKÁ
UNIVERZITA
OSTRAVA**

EDUMOS

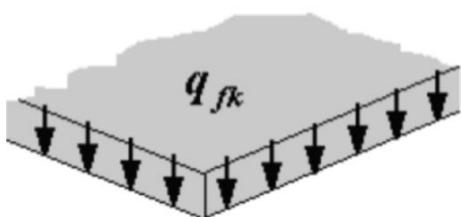
Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Globálna analýza

Zaťaženie dopravou

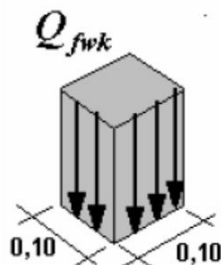
Rovnomerné zaťaženie

$$q_{fk} = 5,00 \text{ kNm}^{-2}$$

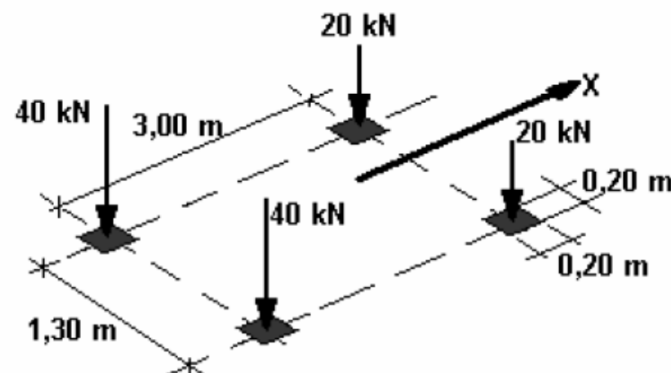


Sústredené bremeno

$$Q_{fwk} = 10,0 \text{ kN}$$



Služobné vozidlo



Vodorovné sily

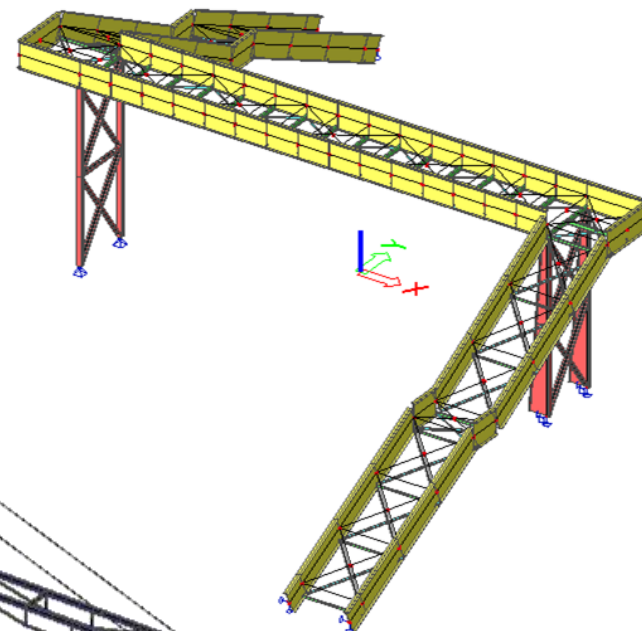
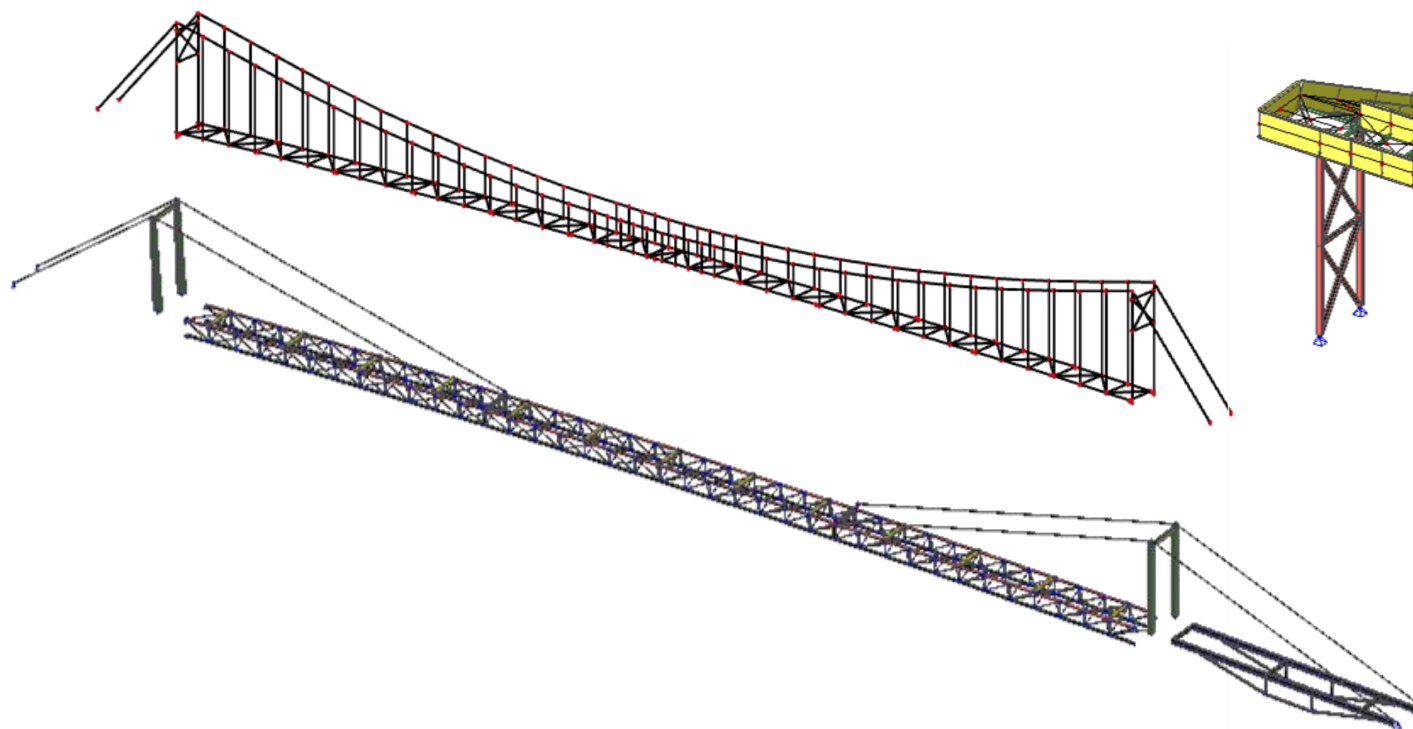
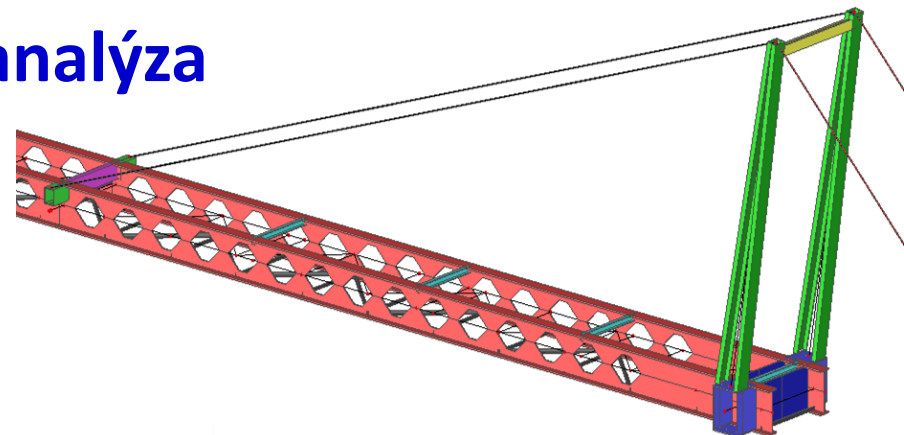
uvažuje sa ako maximum z:

- 10 % celkového zaťaženia modelom rovnomerného spojitého zaťaženia
- 60 % celkovej hmotnosti služobného vozidla

Globálna analýza

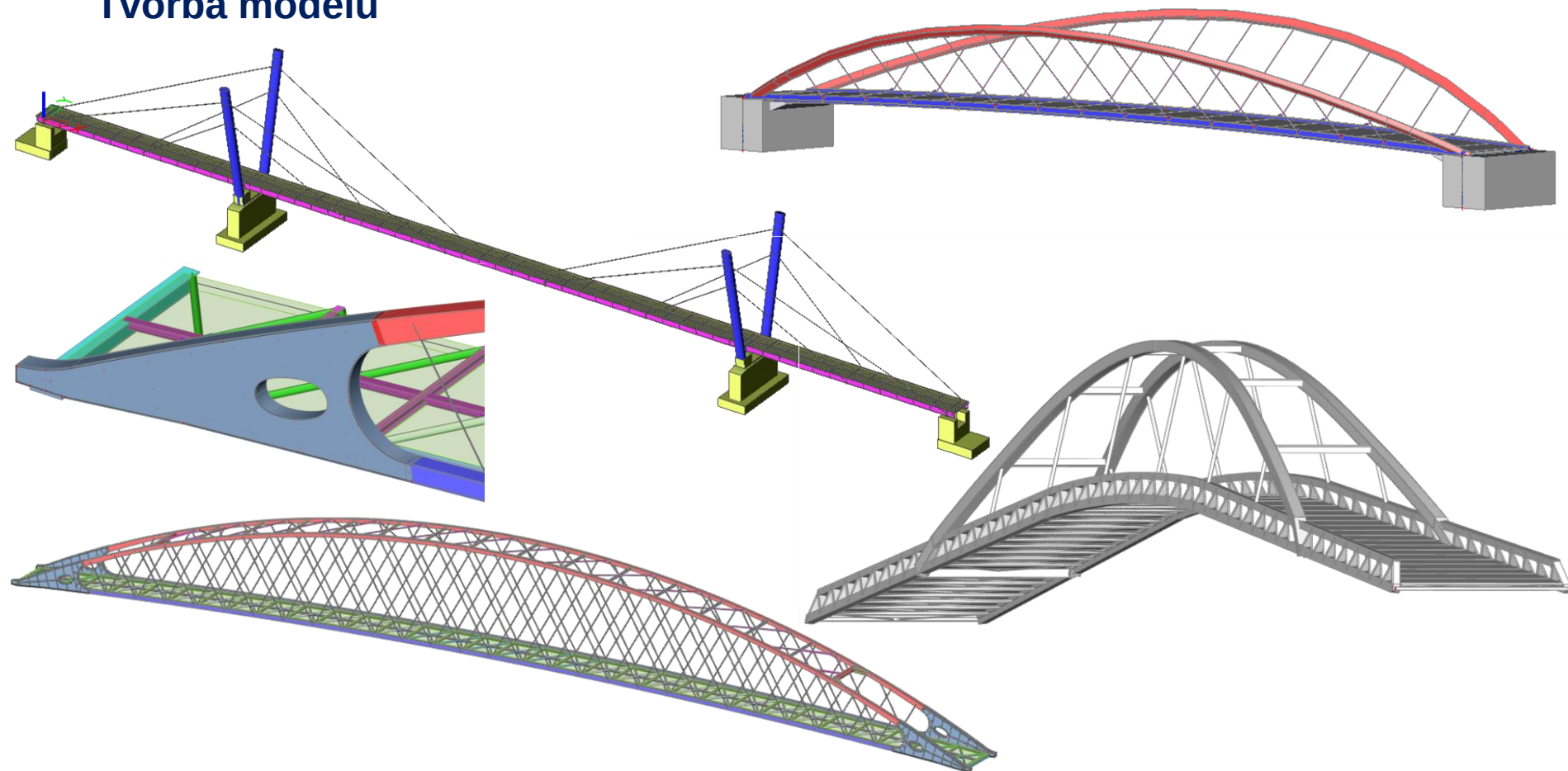
Tvorba modelu

- Zásady detto - ako mosty
- Statická analýza – ako mosty



Globálna analýza

Tvorba modelu

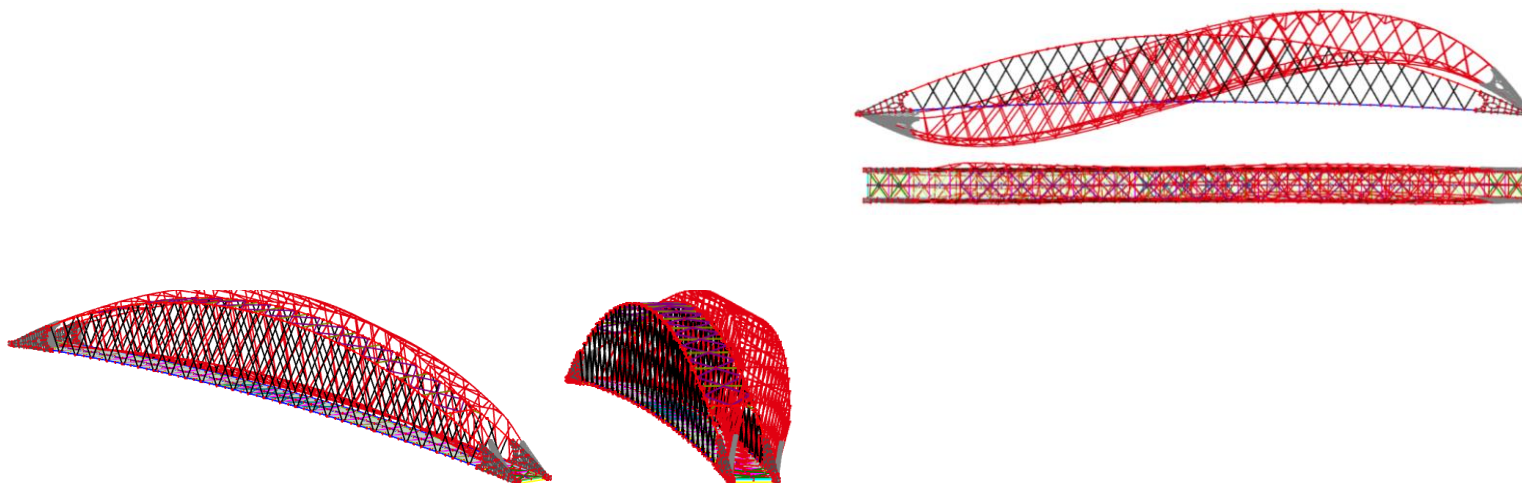


Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Dynamika lávok pre chodcov/cyklistov

Vlastné kmitanie

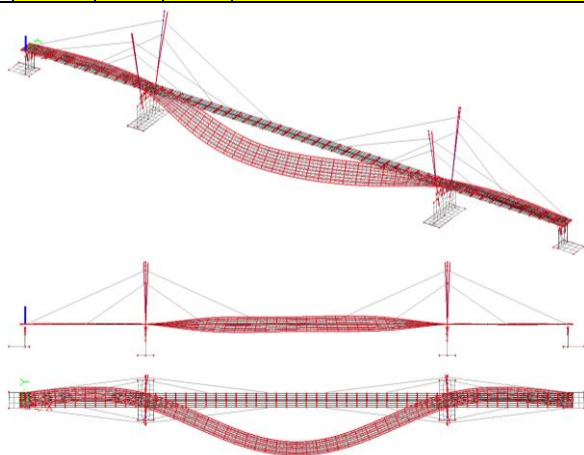
- Kritéria pohodlia (NA k STN EN 1991-2) – kritický rozsah pre vlastné frekvencie ktorejkoľvek časti lávky 1 až 5 Hz pre zvislé kmitanie; 0,5 až 2,5 Hz pre vodorovné (pričné) a torzné kmitanie.
- V prípade lávok pre chodcov sa požaduje venovať pozornosť aj kmitaniu štíhlych prútov nosnej konštrukcie v dôsledku odtrhávania vírov pri pôsobení vetra.



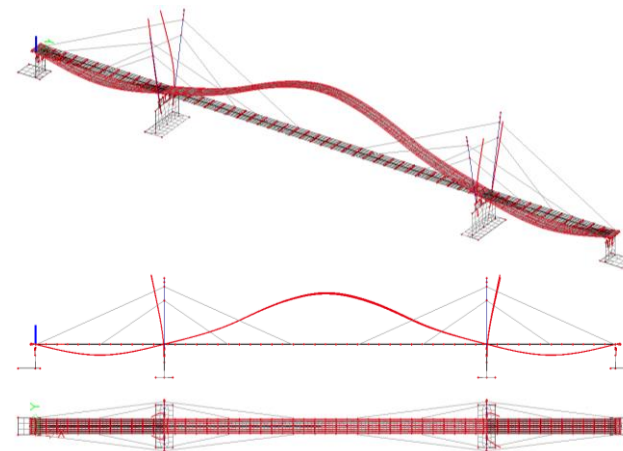
Dynamika lávok pre chodcov/cyklistov

Vlastné kmitanie

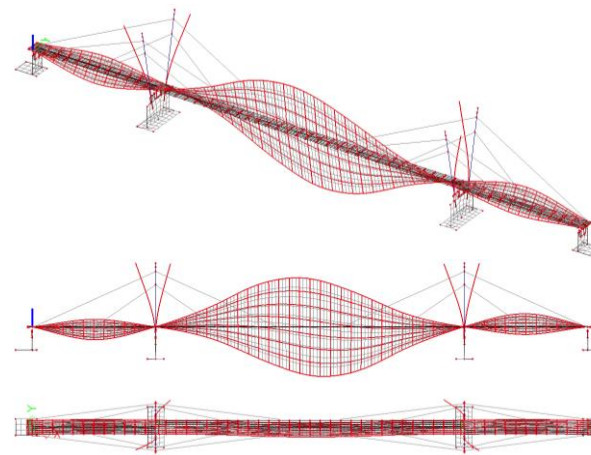
č	f [Hz]	ω [1/sec]	T [sec]	Poznámka	Označenie
1	1.25	7.88	0.80	Veľmi mierne zvislé kmitanie mostovky podobné f_{v1}	
2	1.37	8.59	0.73	Prvý tvar výrazného zvislého kmitania mostovky	f_{v1}
3	1.43	8.97	0.70	Čiastočné zvislé kmitanie mostovky podobné f_{v1}	
4	1.97	12.35	0.51	Prvý tvar výrazného vodorovné kmitania mostovky	f_{H1}
5	2.03	12.77	0.49	Druhý tvar výrazného zvislého kmitania mostovky	f_{v2}
6	2.06	12.92	0.49	Prvý tvar torzného kmitania mostovky	f_{T1}
7	2.14	13.46	0.47	Veľmi mierne torzné kmitanie podobné tvaru f_{T1}	
8	2.61	16.43	0.38	Výrazné zvislé kmitanie mostovky podobné ako f_{v2} spojené s výrazným pozdĺžnym posunom lávky	f_{v2+x}
9	2.74	17.21	0.37	Druhý tvar torzného kmitania mostovky	f_{T2}
10	3.06	19.23	0.33	Tretí tvar výrazného zvislého kmitania mostovky	f_{v3}



Prvý tvar výrazného vodorovné kmitania mostovky - $f_{H1} = 1,97$ Hz



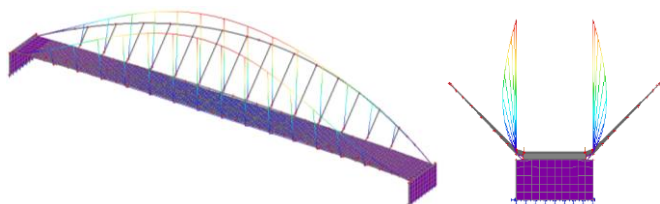
Prvý tvar výrazného zvislého kmitania mostovky - $f_{v1} = 1,37$ Hz



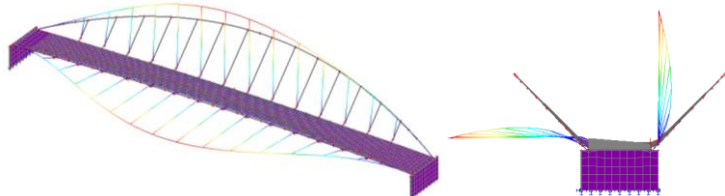
Prvý tvar torzného kmitania mostovky - $f_{T1} = 2,06$ Hz

Dynamika lávok pre chodcov/cyklistov

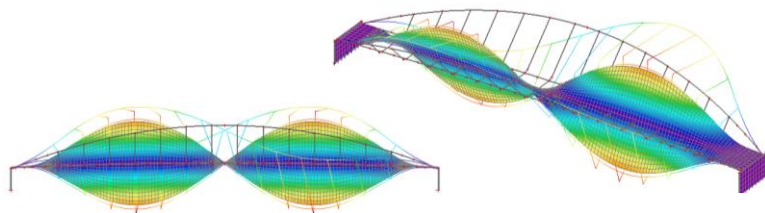
Vlastné kmitanie



f_1 - kmitanie oblúkov – $f_1 = 0,73$ Hz

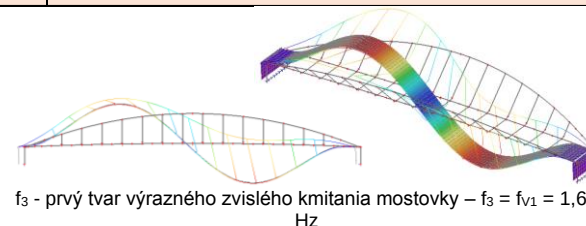


f_2 - kmitanie oblúkov – $f_2 = 0,74$ Hz

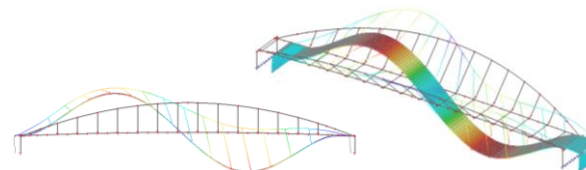


f_{11} - prvý tvar výrazného torzného kmitania mostovky – $f_{11} = f_{T1} = 4,37$ Hz

N	f [Hz]	ω [1/s]	T [s]	Popis kmitania	Označenie
1	0,73	4,59	1,37	iba kmitanie oblúkov	
2	0,74	4,65	1,35	iba kmitanie oblúkov	
3	1,67	10,48	0,6	výrazné zvislé kmitanie mostovky (1. tvar)	f_{V1}
4	1,82	11,41	0,55	výrazné zvislé kmitanie mostovky (2 tvar), spojené s pozdĺž. posun	f_{V2}
5	2,05	12,91	0,49	iba kmitanie oblúkov	
6	2,06	12,93	0,49	iba kmitanie oblúkov	
7	2,62	16,44	0,38	výrazné zvislé kmitanie mostovky (3. tvar)	f_{V3}
8	3,85	24,21	0,26	výrazné zvislé kmitanie mostovky (4. tvar)	f_{V4}
9	4,04	25,41	0,25	iba kmitanie oblúkov	
10	4,05	25,46	0,25	iba kmitanie oblúkov	
11	4,37	27,44	0,23	výrazné torzné kmitanie mostovky (1. tvar)	f_{T1}
12	5,19	32,6	0,19	výrazné torzné kmitania mostovky spojené s vodorovným kmitan	f_{T2+H1}



f_3 - prvý tvar výrazného zvislého kmitania mostovky – $f_3 = f_{V1} = 1,67$ Hz



f_4 - druhý tvar výrazného zvislého kmitania mostovky – $f_4 = f_{V2} = 1,82$ Hz

Dynamika lávok pre chodcov/cyklistov

Dynamický výpočet – dynamické budenie

Nové moderné lávky

- Ľahké konštrukcie, často lanové systémy, alebo kombinované systémy s lanovými prvkami
- Rytmické pohyby (nielen chôdza, ale najmä beh, skákanie, i cielené pohyby pre rozkmitanie konštrukcie)
- Prvé frekvencie sú často blízke dominantným frekvenciám dynamického zaťaženia chodcami
- Rezonančná odozva je charakterizovaná vysokou hladinou vibrácií
- Avšak, vo väčšine tieto vibrácie nespôsobujú problémy konštrukcii
- Môžu však (vibrácie) spôsobovať nepríjemné pocity (zrýchlenia)

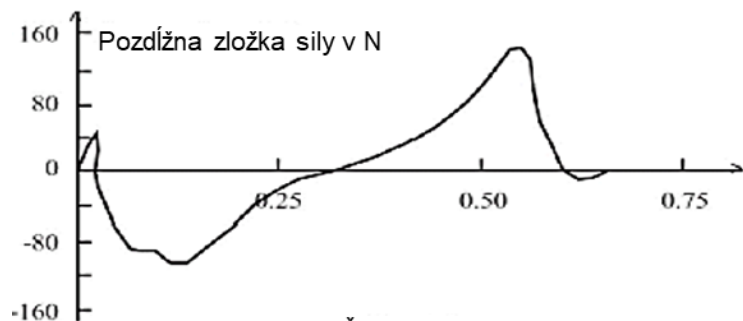
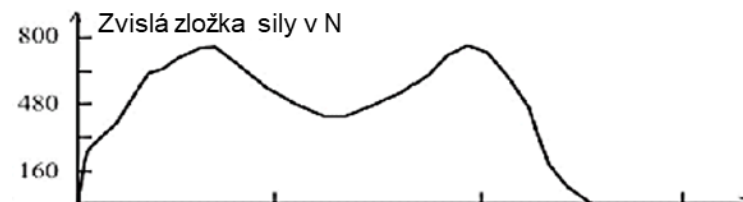
Dynamika lávok pre chodcov/cyklistov

Dynamický výpočet – dynamické budenie

Dynamické zaťaženie chodcami

Typické frekvencie chodcov

- Chôdza 1,6 - 2,4 Hz (1. harmonická)
3,2 – 4,8 Hz (2. harmonická)
- Priečne pohyby 0,8 -1,2 Hz (1. harmonická)
1,6 – 2,4 Hz (2. harmonická)
- Beh 2,0 - 3,5 Hz
- Skákanie 1,8 - 3,4 Hz
- Podskakovanie 1,5 -3,0 Hz



Čas v sekundách

Dynamika lávok pre chodcov/cyklistov

Dynamický výpočet – dynamické budenie

Zdroje dynamického budenia:

- chodci – bežia, skáču, kráčajú,
...
- vietor,
- vandali,
- ...

Chodec (normálne sa pohybujúci) vyvolá periodicky premenné sily:

- vo zvislom smere s frekvenciou 1,0 až 3,0 Hz
- vo vodorovnom smere s frekvenciou 0,5 až 1,5 Hz

Požaduje sa preto analyzovať návrhové situácie, ktoré by mali zohľadňovať

- prítomnosť skupiny asi 8 až 15 normálne kráčajúcich osôb .

Okrem toho sa má v návrhových situáciách zohľadniť :

- prítomnosť prúdu chodcov (oveľa viac ako 15 osôb)
- príležitostné slávnosti alebo choreografické udalosti
- prípadne vandalizmus

Dynamika lávok pre chodcov/cyklistov

Dynamický výpočet – zaťaženie pohybom ľudí

Chôdza

$$F_p(t) = G + \sum_{i=1}^n G \alpha_i \sin(2\pi i f_p t - \varphi_i)$$

(Bachmann)

(G je tíťaž osoby (80 kg ... 800 N))

$$\alpha_1 = 0,43 f_p - 0,38$$

$$\alpha_2 = 0,43 f_p - 0,125 \geq 0,10$$

$$\alpha_3 = 0,10$$

$$\varphi_1 = 0, \varphi_2 = \varphi_3 = \pi/2$$

Skákanie

$$F_p(t) = \begin{cases} K_p G (2t/t_c) & t \leq t_c / 2 \\ K_p G \left(1 - \frac{2(t - t_c / 2)}{t_c} \right) & t_c / 2 < t \leq t_c \\ 0 & t_c < t \leq T_p \end{cases}$$

$$K_p = 2/(f_p t_c)$$

t_c = trvanie kontaktu v s

Beh

$$F_p(t) = \begin{cases} K_p G \sin(\pi t/t_c) & t \leq t_c \\ 0 & t_c < t \leq T_p \end{cases}$$

$$K_p = \pi/(2f_p t_c)$$

$$T_p = 1/f_p$$

Dynamika lávok pre chodcov/cyklistov

Dynamický výpočet – zaťaženie pohybom ľudí

Súčasnú normu nepopisujú zaťažovacie modely pre overenie pohodlia chodcov na lávke pre peších.

Prístup z literatúry

Napr.

MÁCA, J., ŠTĚPÁNEK, J.: Pedestrian Load Models of Footbridges. DYN - WIND'2017
ŠTIMAC GRANDIĆ, I.: Serviceability Verification of Pedestrian Bridges Under Pedestrian Loading. TEHNIČKI VJESNIK 22, 2(2015), 527-537

„1 chodec“

$$F_{p,v}(t) = 180 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_v \cdot t); \quad [N]$$

$$F_{p,h}(t) = 70 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_h \cdot t); \quad [N]$$

Dynamika lávok pre chodcov/cyklistov

Dynamický výpočet – zaťaženie pohybom ľudí

Z literatúry

8-15 chodcov

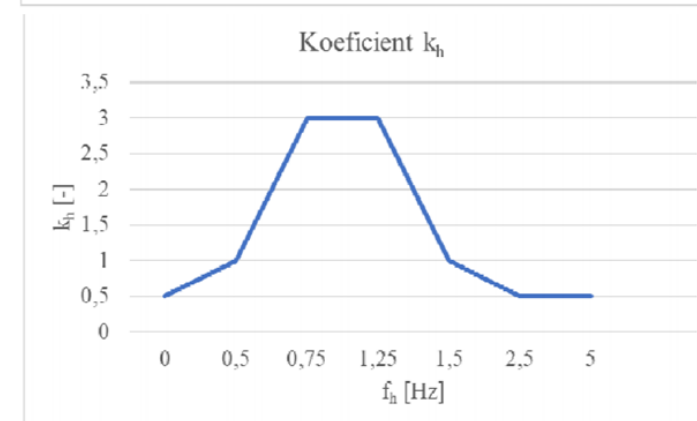
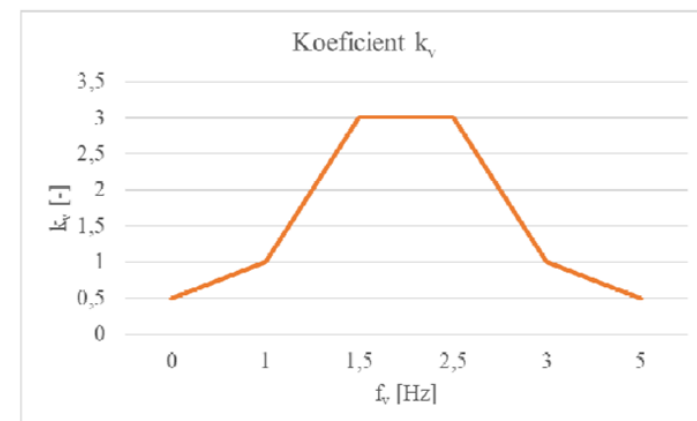
$$F_{g,v}(t) = 180 \cdot k_v \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_v \cdot t); \quad [N]$$

$$F_{g,h}(t) = 70 \cdot k_h \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_h \cdot t); \quad [N]$$

„dav – spojité zaťaženie chodcami“

$$q_{p,v}(t) = 12,6 \cdot k_v \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_v \cdot t); \quad [N/m^2]$$

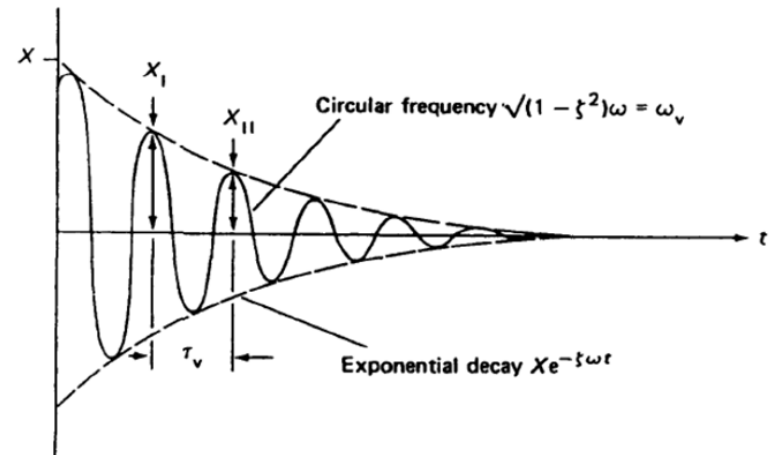
$$q_{p,h}(t) = 3,2 \cdot k_h \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_h \cdot t); \quad [N/m^2]$$



Dynamika lávok pre chodcov/cyklistov

Dynamický výpočet – tlmenie

- Tlmenie značne ovplyvňuje odozvu konštrukcie na budiace zaťaženie.
- Modelovať je potrebné zábradlia, vrstvy vozovky, ...)
- Relatívny útlm ζ
- Log. dekrement tlmenia d



- približne ako sumácia troch zložiek

$$d = d_m + d_s + d_i$$

$$\zeta = \zeta_m + \zeta_s + \zeta_i$$

„m“ - tlmenie materiálové

„s“ - tlmenie konštrukčné („structural“)

„i“ - tlmenie „interakčné“ - ovplyvnené typom ložísk

Dynamika lávok pre chodcov/cyklistov

Dynamický výpočet – tlmenie

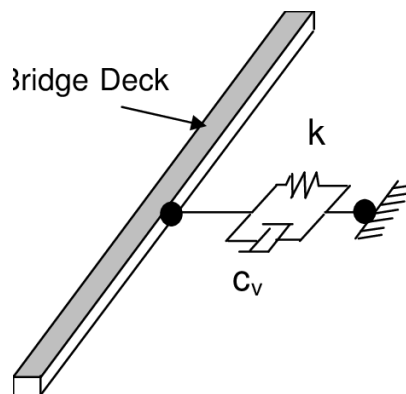
(Klingmüller 1983)

<i>Material damping</i>	δ_m	ζ_m
Steel	0.005	0.0008
Reinforced concrete (uncracked)	0.025	0.0040
Reinforced concrete (cracked)	0.045	0.0072
Prestressed concrete	0.025	0.0040
Masonry	0.050	0.0080
Natural stone	0.050	0.0080
<i>Nonmaterial structural damping</i>	δ_s	ζ_s
Steel bridges, welded	0.015	0.0024
Steel bridges, bolted	0.020	0.0032
Steel bridges, riveted	0.020	0.0032
Composite bridges, steel girders and concrete deck	0.040	0.0064
Reinforced and prestressed concrete bridges	0.020	0.0032
Masonry bridges	?	?
Natural stone bridges	?	?
Ballast	0.020	0.0032
<i>Interaction damping</i>	δ_i	ζ_i
Pendulum and roller bearings	0.005	0.0008
Standard sliding bearings (not base isolation devices)	0.015	0.0024
Monolithic concrete bearings	0.015	0.0016

Dynamika lávok pre chodcov/cyklistov

Prídavné tlmenie

- Pasívny pohlcovač – **tlmič**



- Semi-pasívne tlmenie - špeciálne umiestnené **hmotné teleso** (napr. zavesené) bez zdroja sily, ktorého kmitanie neinterferuje s kmitaním konštrukcie
- Aktívne tlmenie – pomocou **riadenej sily**

