

# STN EN 1991-2 ZAŤAŽENIE KONŠTRUKCIÍ

## ČASŤ 2: ZAŤAŽENIA MOSTOV DOPRAVOU (ŽELEZNIČNÉ MOSTY)

Prednášajúci: Ing. Richard Hlinka, PhD.

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci OP Vzdelávanie pre projekt „Podpora kvality vzdelávania a výskumu pre oblasť dopravy ako motora ekonomiky“ (ITMS: 26110230076), ktorý je spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho sociálneho fondu.



**Moderné vzdelávanie pre vedomostnú spoločnosť/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ**

# Zat'azenia od železničnej prevádzky

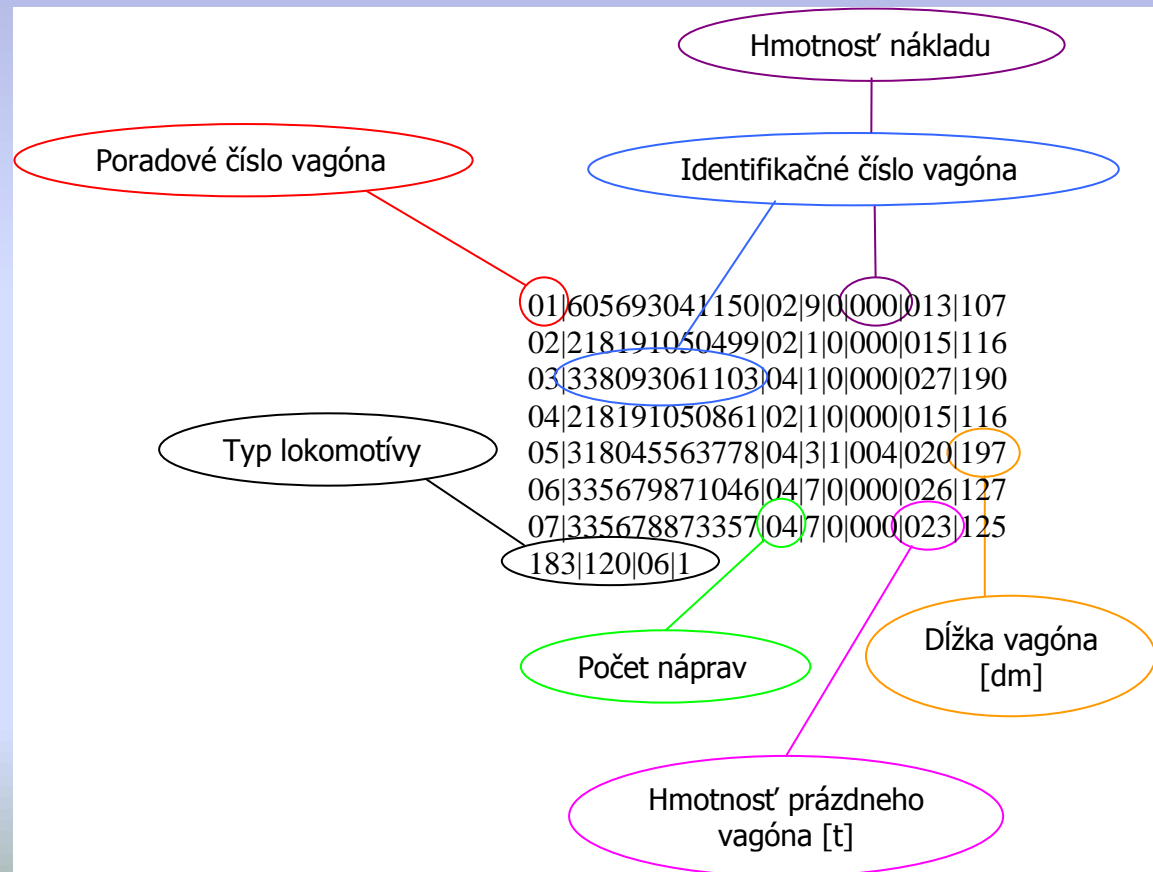
- zvislé zat'azenia (lokomotívy, vagóny, súpravy, ...)
- zvislé zat'azenia zemných telies
- dynamické účinky
- odstredivé sily
- bočné nárazy
- brzdné a rozjazdové sily
- aerodynamické zat'azenia od prechádzajúcich vlakov
- zat'azenia od trakčného vedenia
- zat'azenia od iných zariadení na moste
- mimoriadne zat'azenia vplyvom vykoľajenia vlaku
- opakované zat'azenia - únavové modely zat'azenia

# Zvislé zat'azhenia

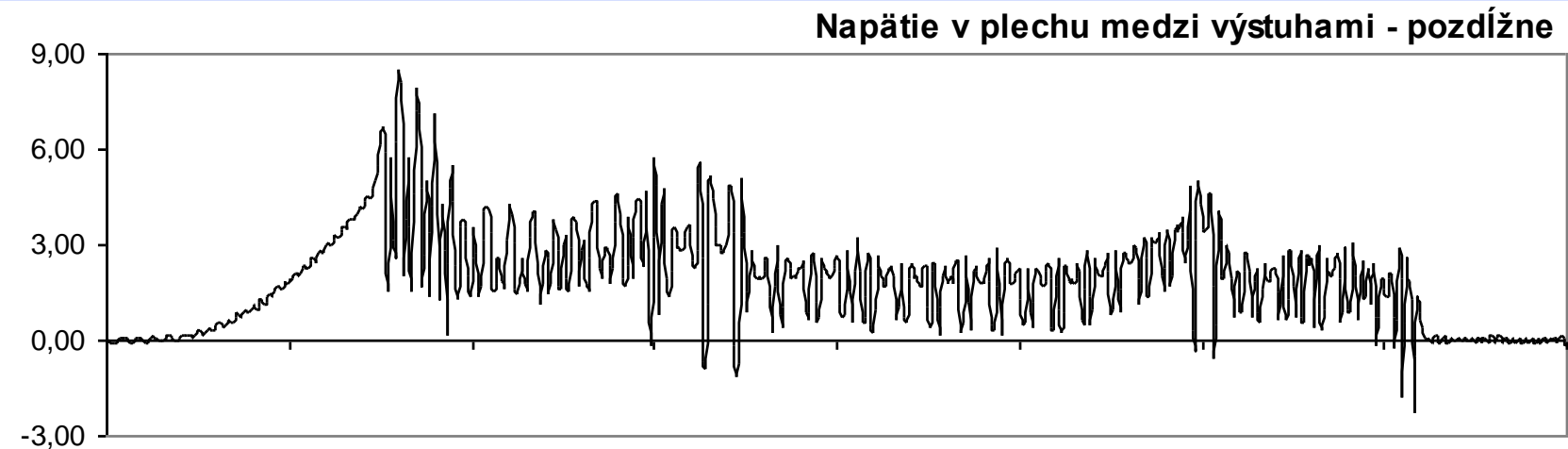
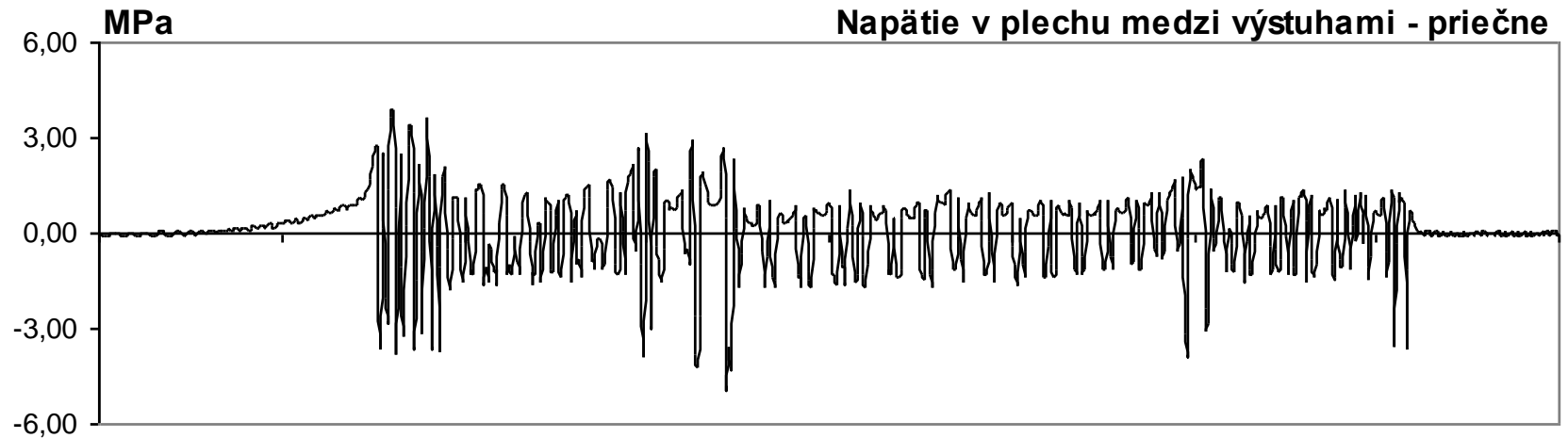


# Zvislé zaťaženia

- osobné vlaky - cestovný poriadok
- nákladné vlaky - systém IRIS-N



# Zvislé zaťaženia



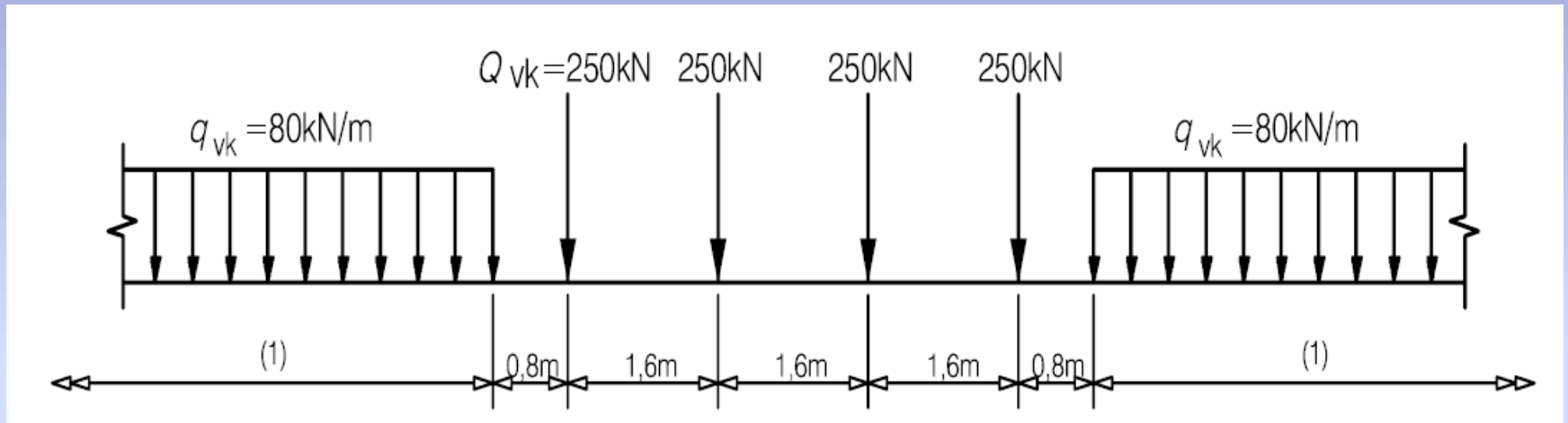
# Zvislé zat'azenia

## Zat'azovacie modely:

- zat'azovací model 71
- zat'azovací model SW/0
- zat'azovací model SW/2
- zat'azovací model HSLM
- zat'azovací model „prázdne vozne“
- zat'azovacie modely prevádzkových vlakov

# Zat'azovací model 71

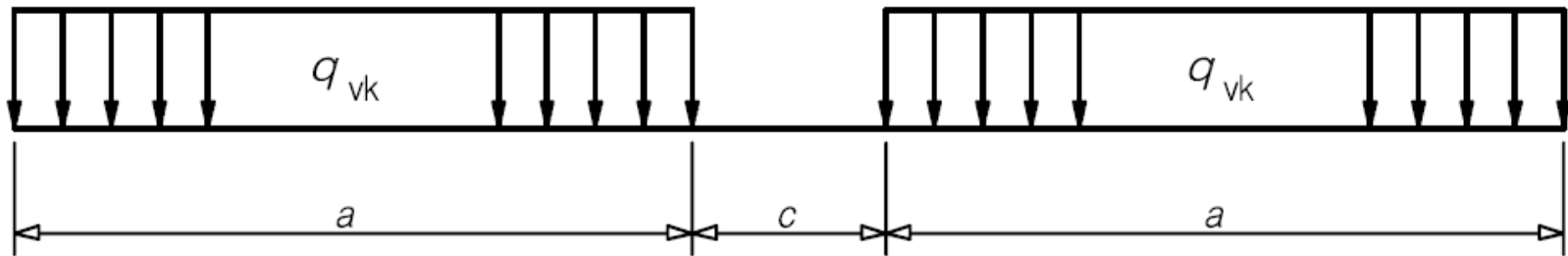
- reprezentuje zaťaženie na mostoch od bežnej dopravy



- 4 x 250 kN - charakteristické hodnoty nápravových síl
- 80 kN/m - charakteristická hodnota spojitého zaťaženia  
- neobmedzená platnosť

# Zat'azovacie modely SW/0 a SW/2

- SW/0 reprezentuje zat'azenie na spojitych mostoch od bežnej dopravy
- SW/2 reprezentuje zat'azenie na mostoch od t'azkej dopravy



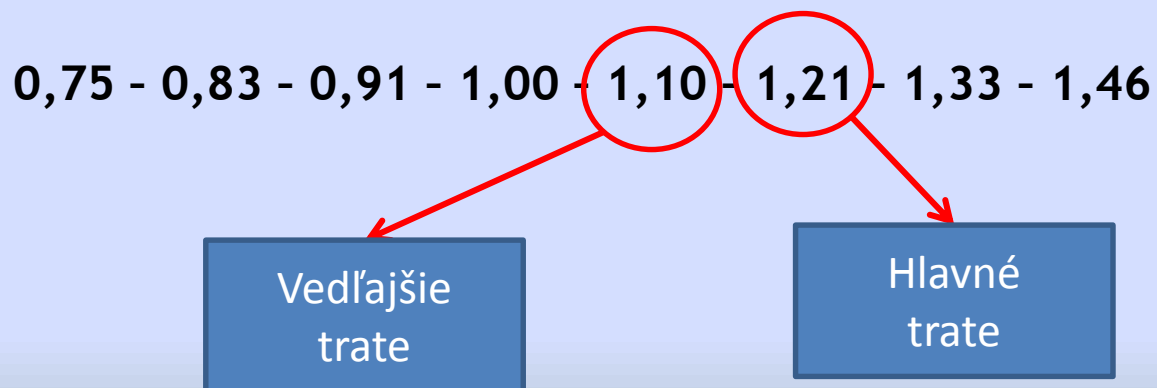
Load model	$q_{vk}$ [kN/m]	$a$ [m]	$c$ [m]
SW/0	133	15,0	5,3
SW/2	150	25,0	7,0



# Klasifikované zvislé zaťaženie

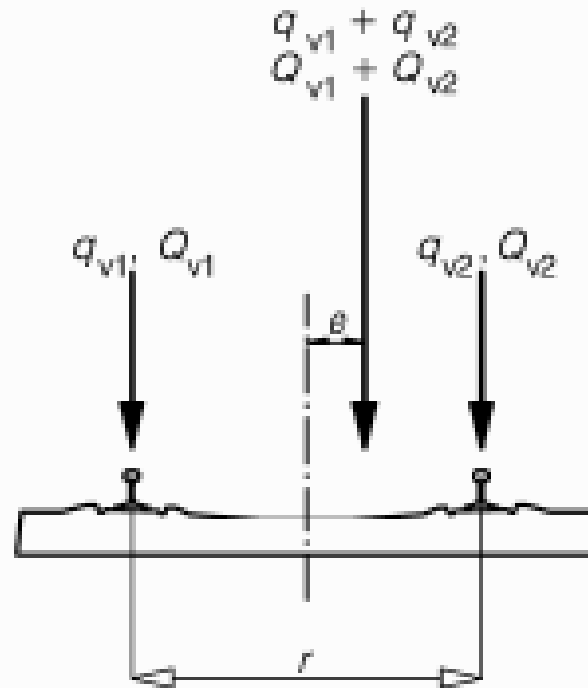
súčiniteľom  $\alpha$  sa násobia:

- charakteristické hodnoty zvislých zaťažení pre LM71
- ekvivalentné zvislé zaťaženia na zemné telesá
- odstredivé sily
- bočné nárazy
- brzdné a rozjazdové sily
- kombinovaná odozva konštrukcie a trate na premenné zaťaženie
- zaťaženia od vykoľajenia vlaku
- zaťažovací model SW/0



# Excentricita zvislých zat'azení

- platí pre modely LM71 a SW/0
- vplyv nerovnomerne rozloženého nákladu



$$q_{v1} \cdot q_{v2} \cdot Q_{v1} \cdot Q_{v2} = (1)$$

$$q_{v1} + q_{v2} \cdot Q_{v1} + Q_{v2} = (2)$$

$$\frac{q_{v2}}{q_{v1}} \cdot \frac{Q_{v2}}{Q_{v1}} \leq 1,25$$

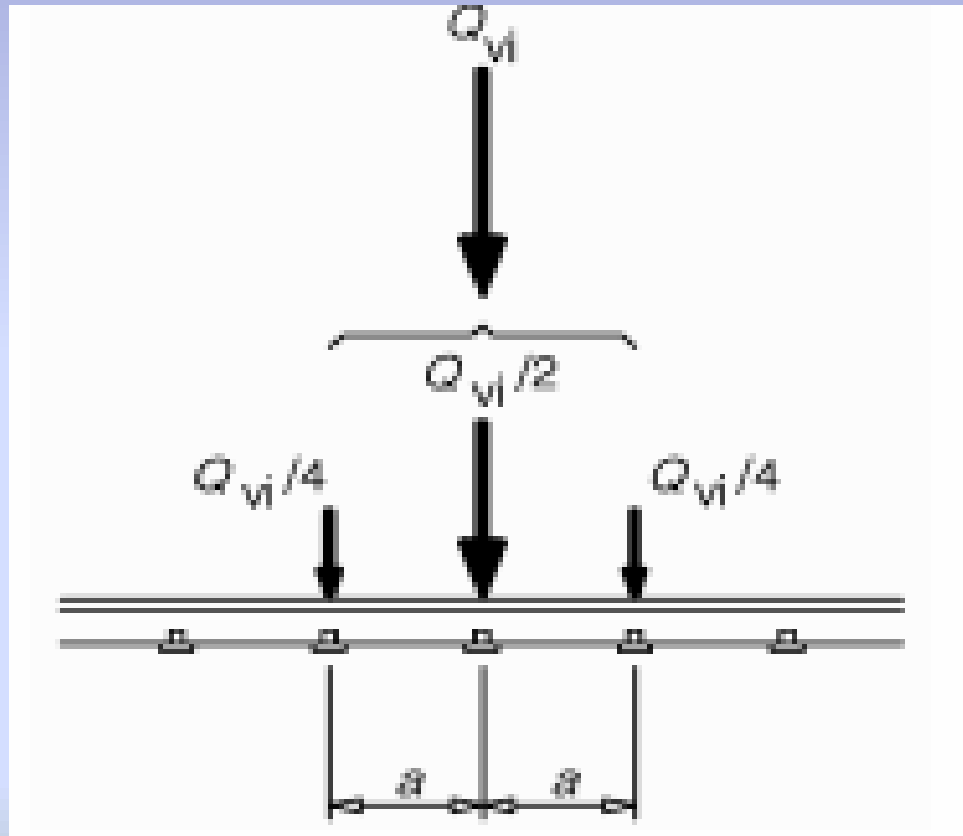
$$e \leq \frac{r}{18}$$

$$r = (3)$$

- (1) spojité a sústredené zaťaženia kolajníc (čo je primerané)
- (2) LM 71 (a SW/0 tam, kde sa požaduje)
- (3) priečny rozstup kolesových síl,  $r = 1500$  mm

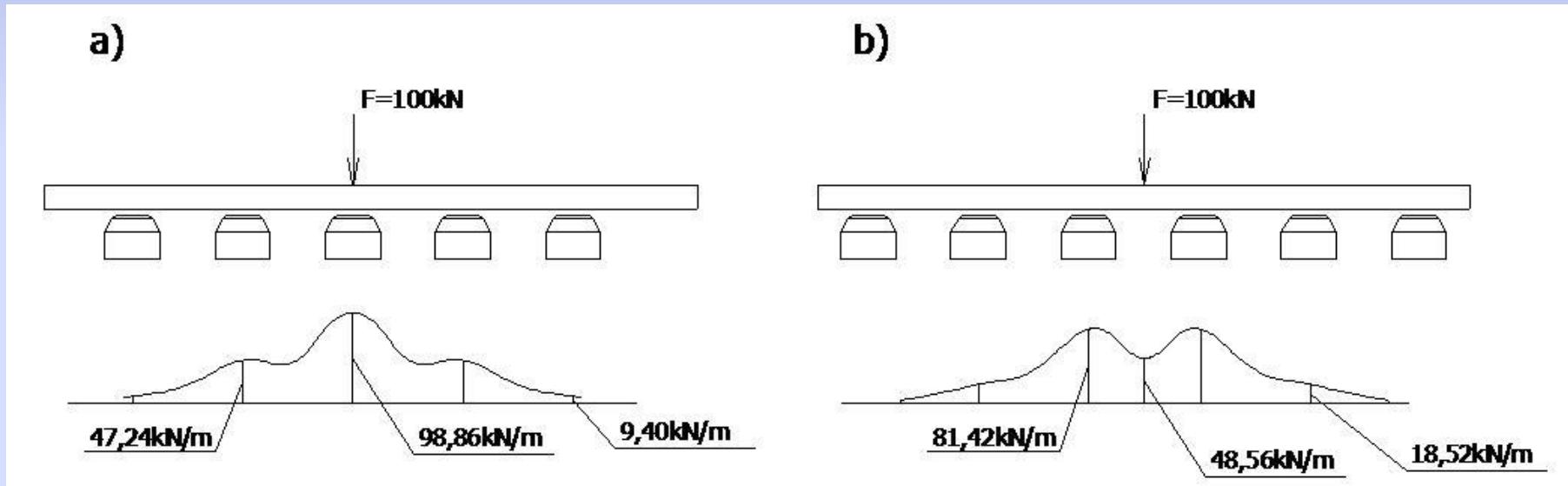
# Pozdĺžny roznos zaťaženia

- kolesová sila na koľajnici



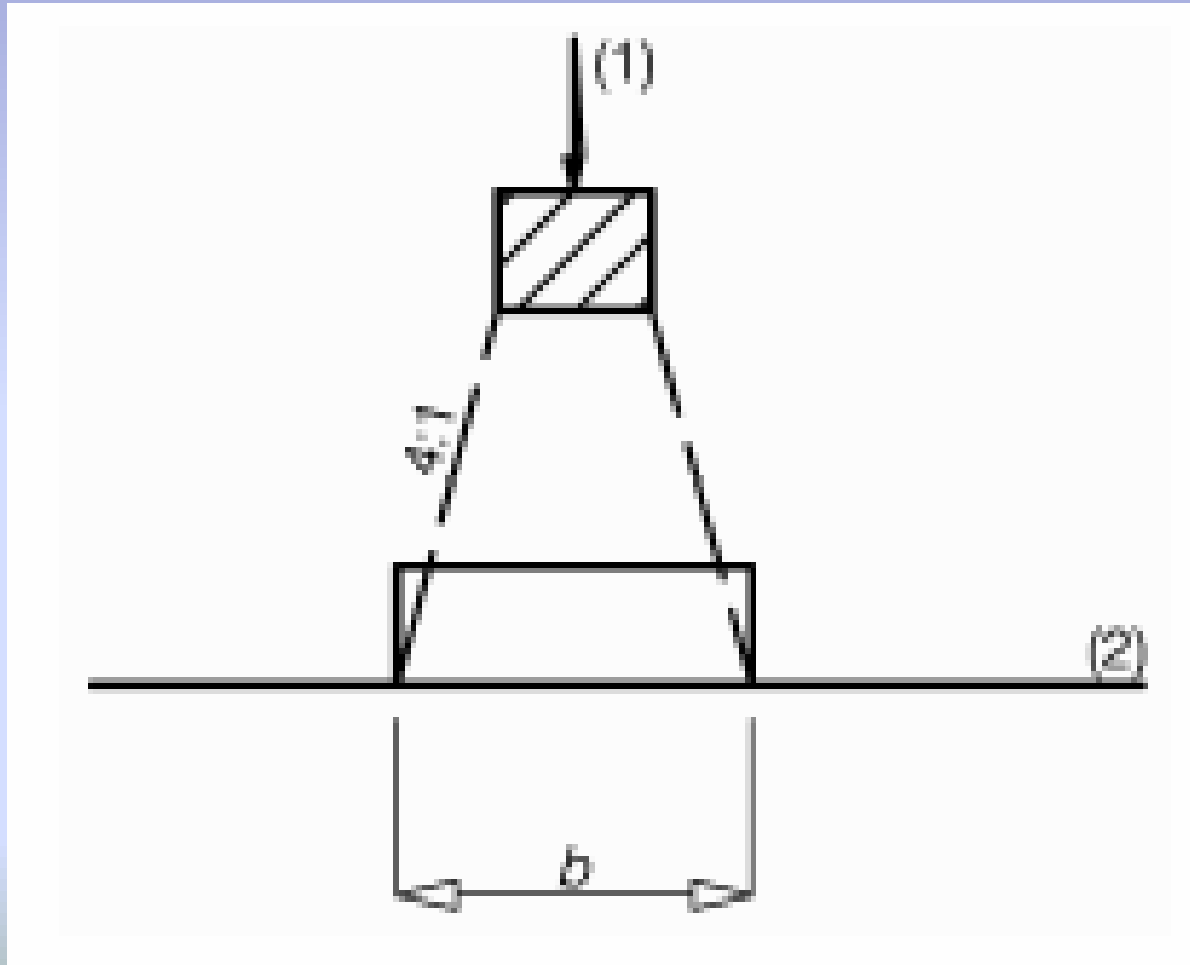
# Pozdĺžny roznos zaťaženia

- kolesová sila na koľajnici



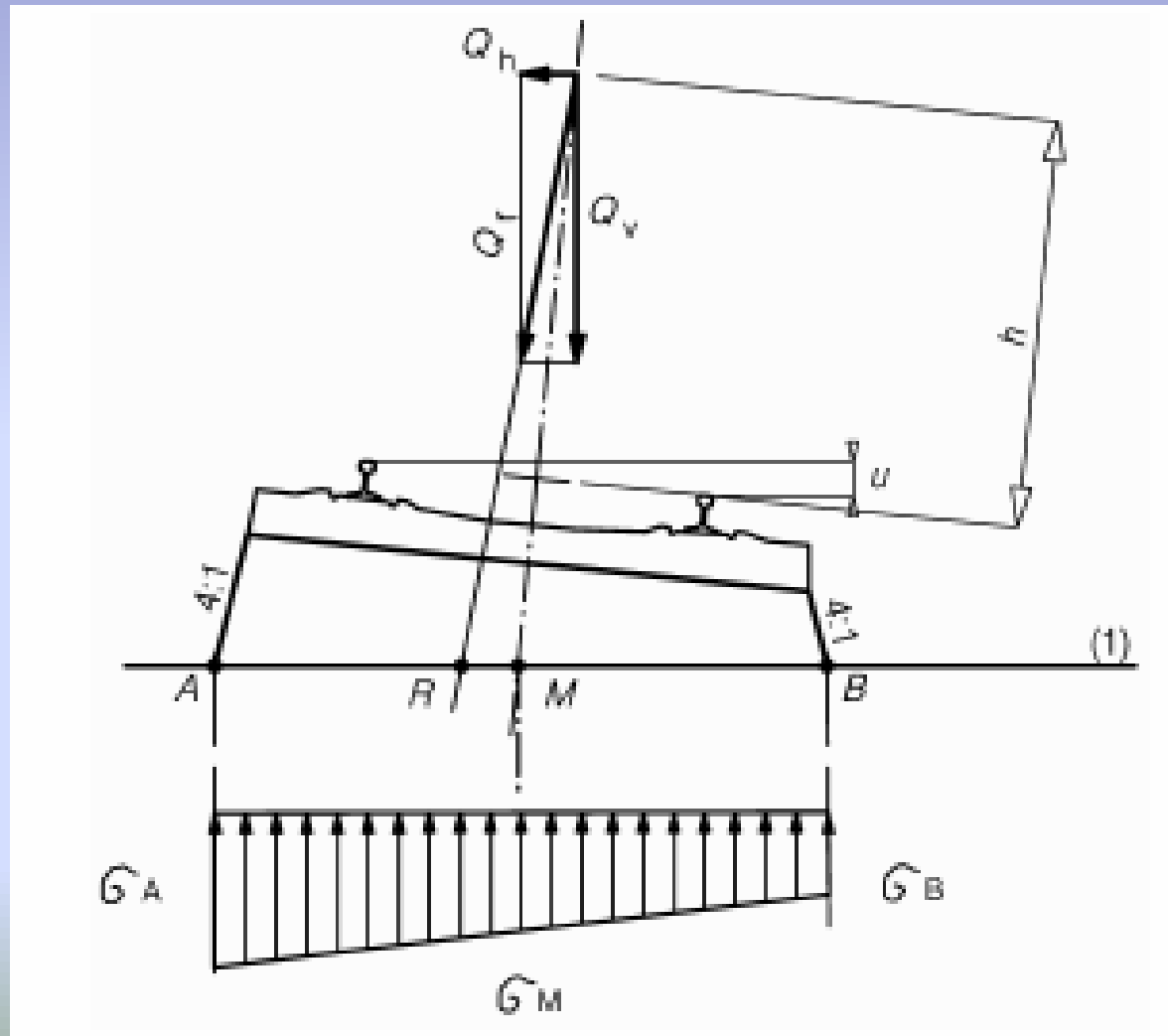
# Pozdĺžny roznos zaťaženia

- podvalmi a koľajovým lôžkom



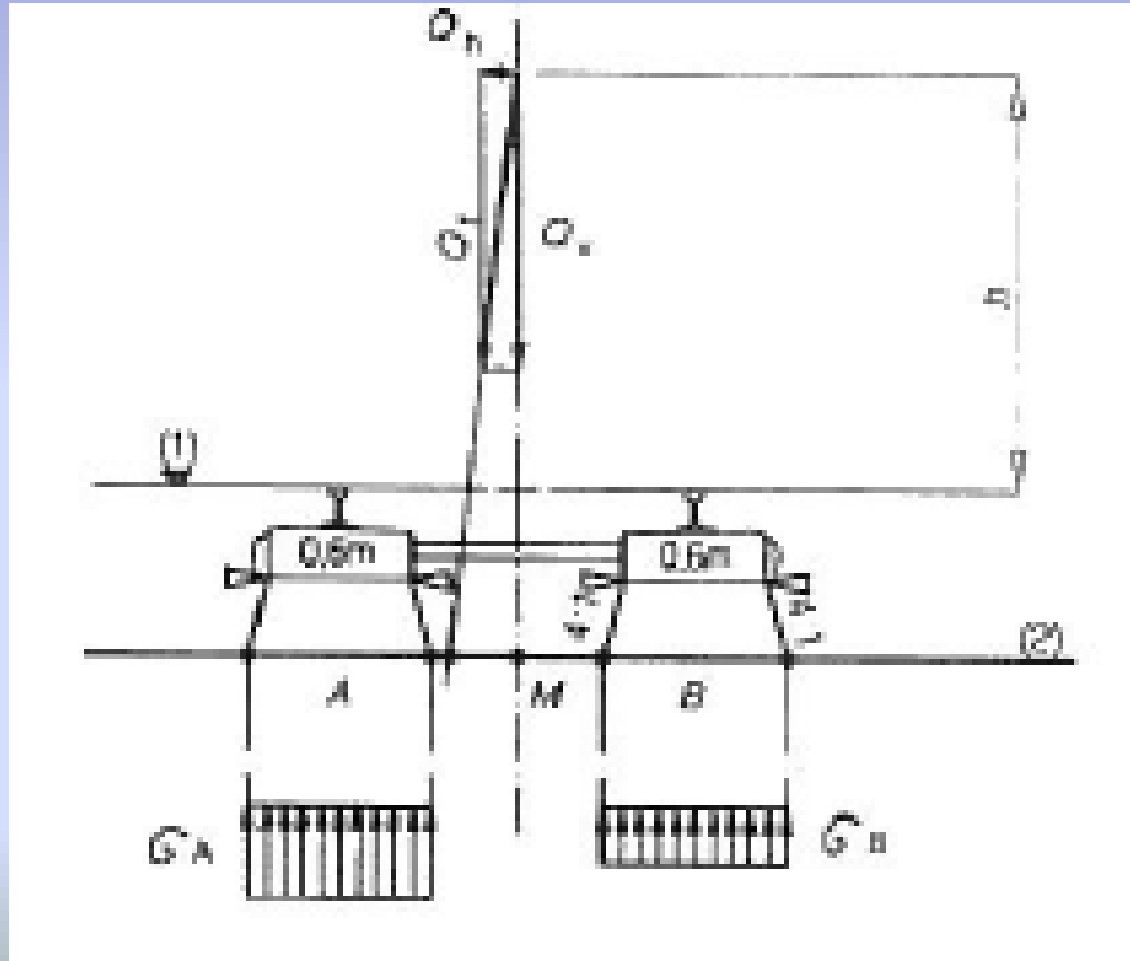
# Priečny roznos zaťaženia

- podvalmi a koľajovým lôžkom



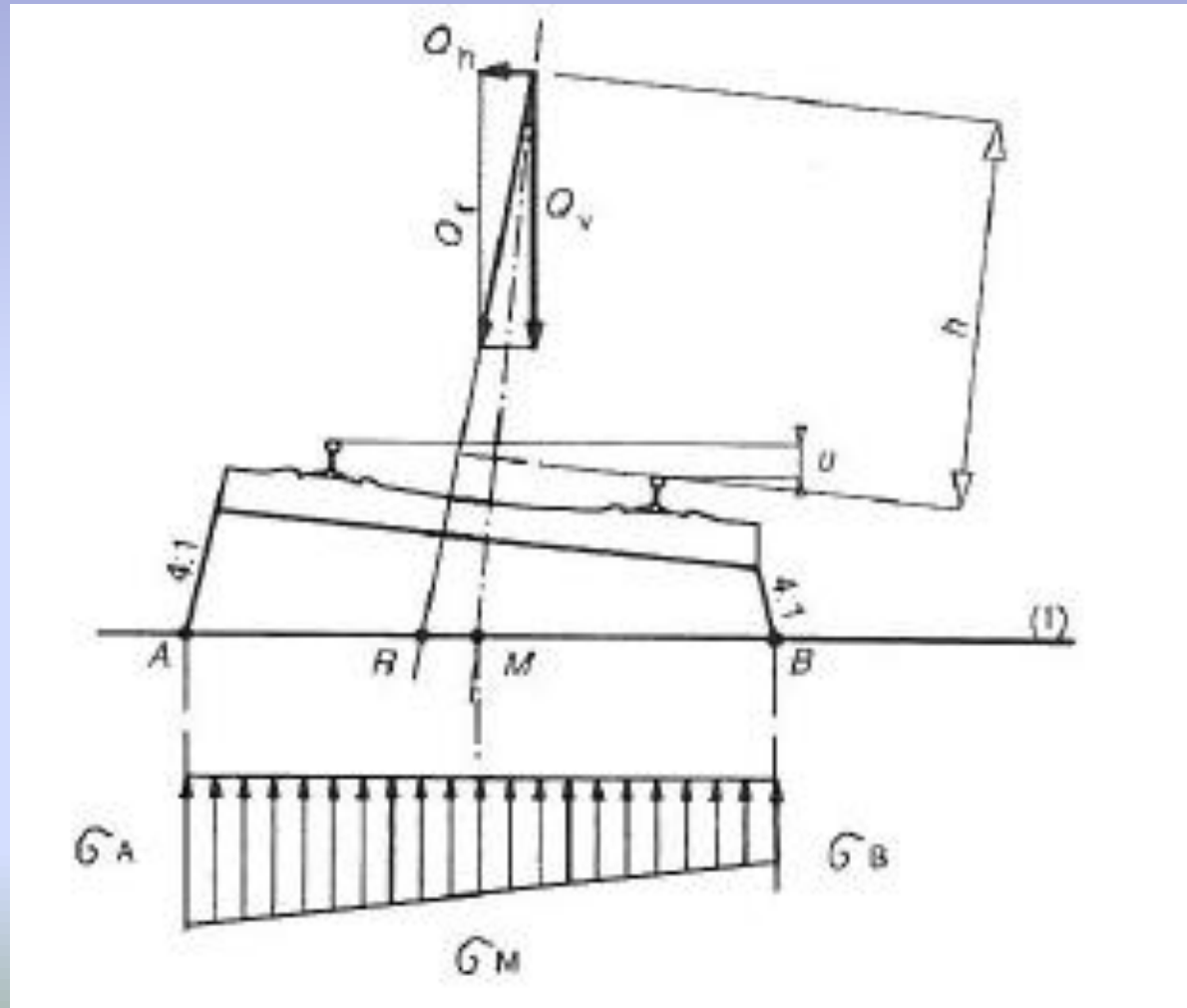
# Priečny roznos zaťaženia

- podvalmi a koľajovým lôžkom



# Priečny roznos zaťaženia

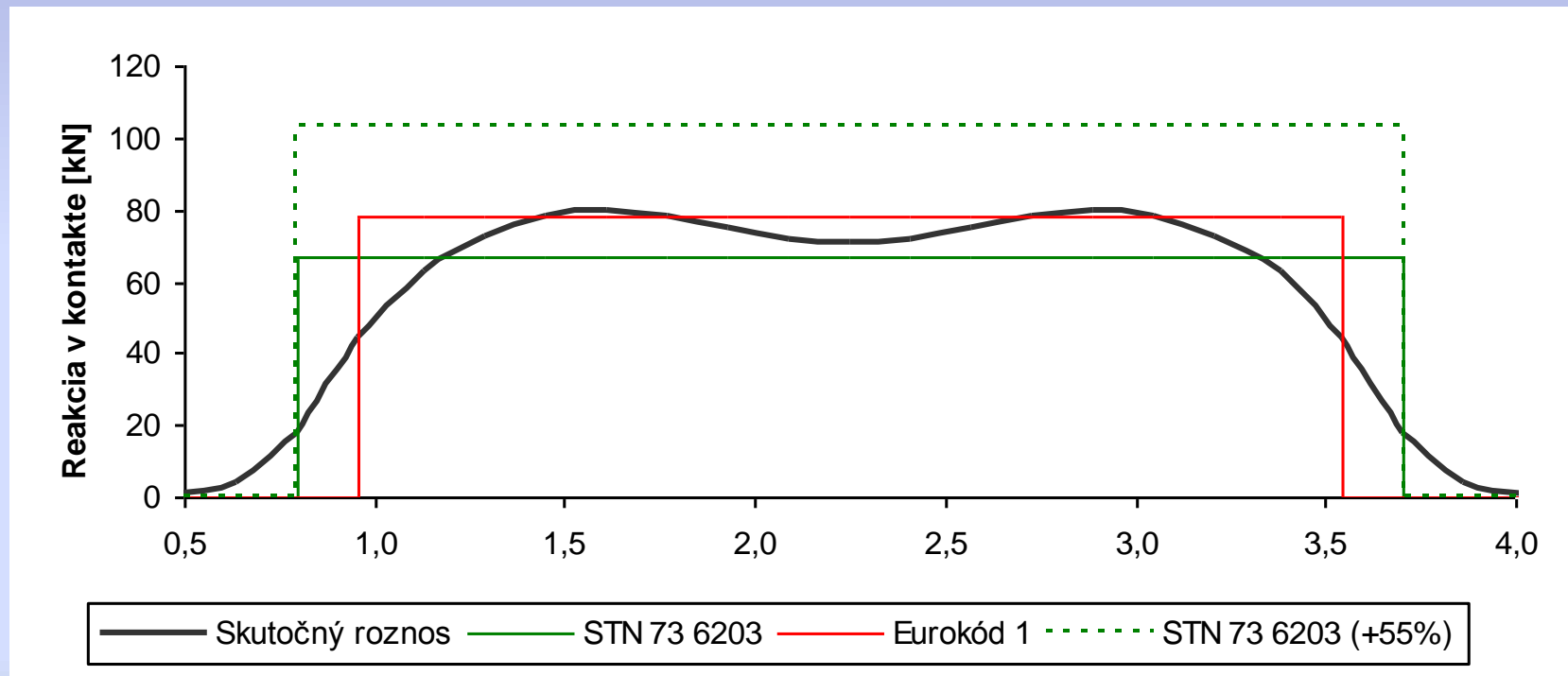
- podvalmi a koľajovým lôžkom





# Priečny roznos zat'azenia

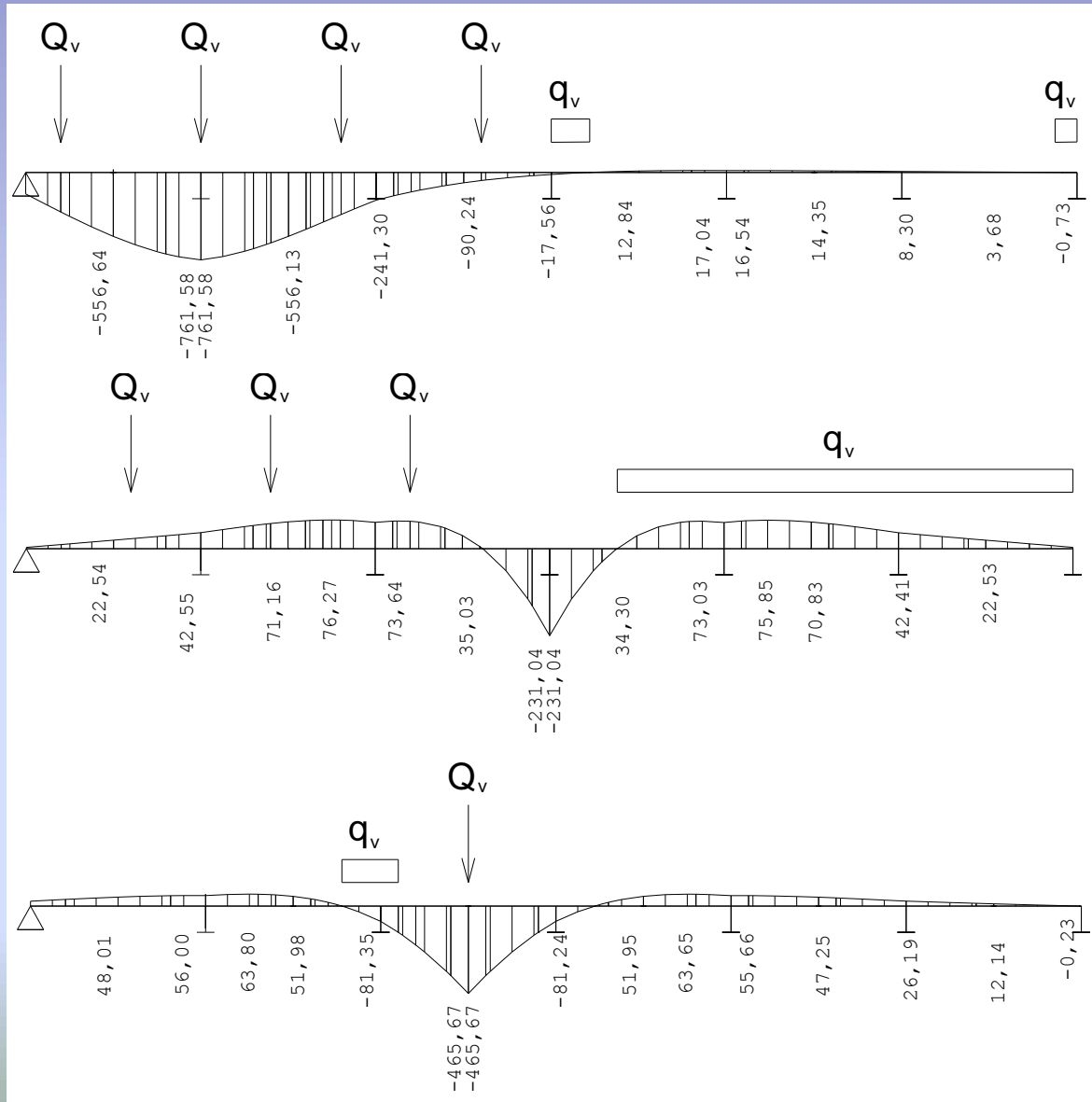
- podvalmi a koľajovým lôžkom



# Zat'azovací model „prázdné vozne“

- pre niektoré špecifické overenia (stabilita celej konštrukcie)
- 10,0 kN/m

# Aplikácia zvislého zaťaženia



# Zat'azenie neverejných chodníkov

- plošné zat'azenie

$$q_{fk} = 5,0kNm^{-2}$$

- osamelá sila (na ploche 200x200 mm)

$$Q_k = 2,0kN$$

- vodorovné sily na parapety a zábradlia
  - kategórie B a C1 podľa STN EN 1991-1-1

# Dynamické účinky



# Dynamické účinky

Faktory  
ovplyvňujúce  
dynamické  
správanie sa  
konštrukcie

rýchlosť prevádzky

rozpätie konštrukcie – dĺžka vplyv. čiary

hmotnosť konštrukcie

vlastné frekvencie kmitania

geometria náprav a ich tiaž

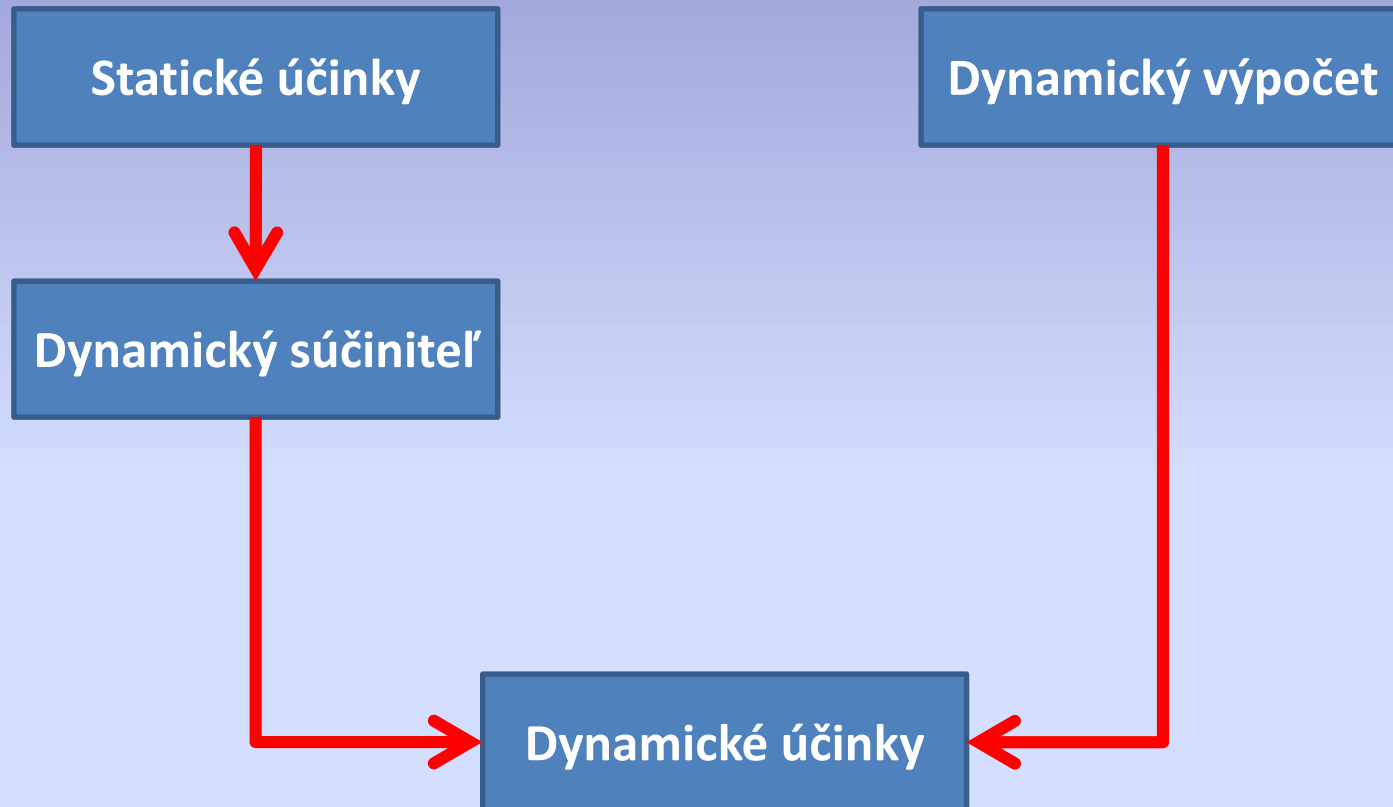
útlm konštrukcie

zvislé nerovnosti trate

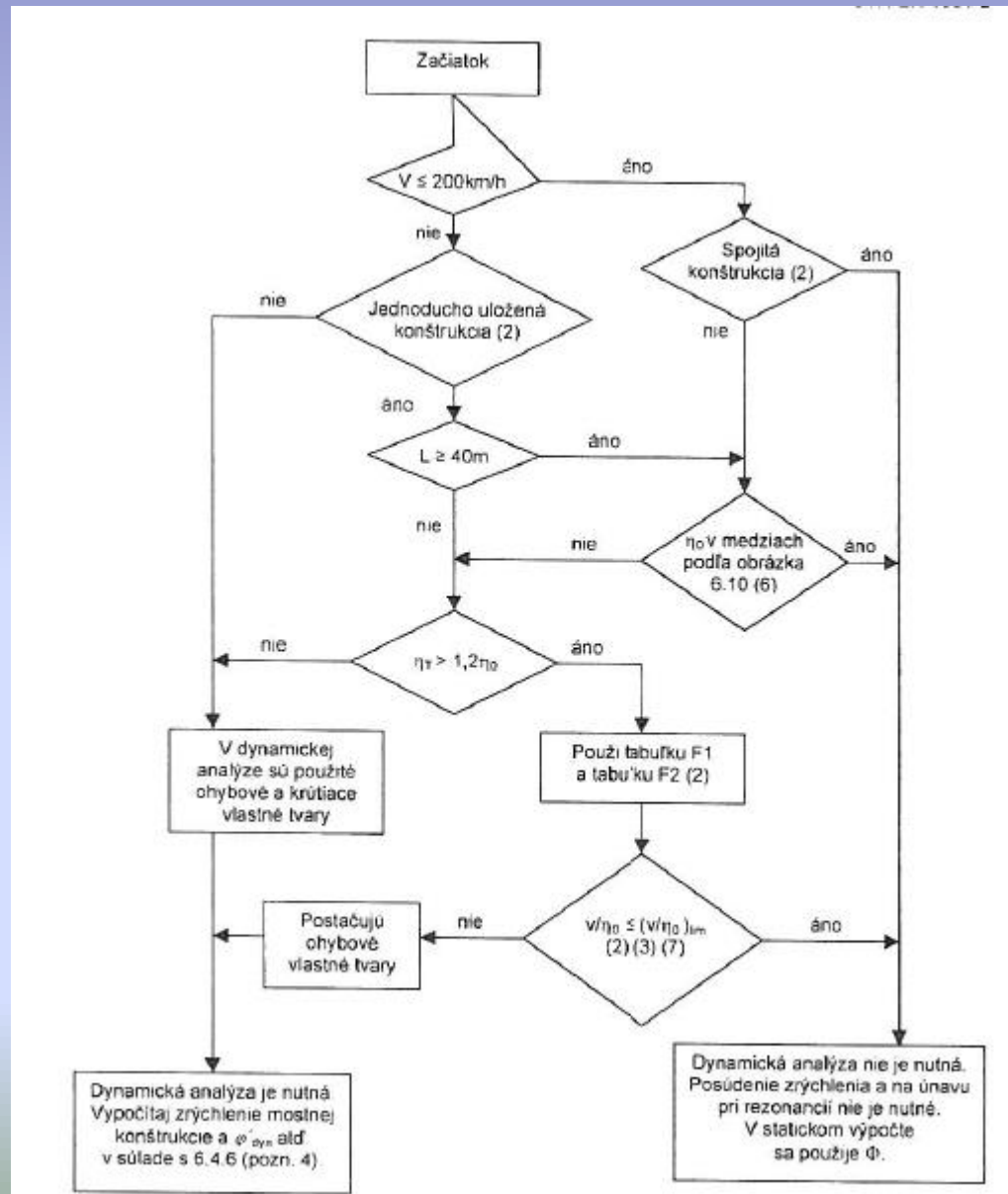
parametre vozidla – hmotnosť,  
nedokonalosti,...

vlastnosti trate a mostovky

# Dynamické účinky



# Dynamické účinky





# Dynamický súčiniteľ

- dobre udržiavaná trať

$$\phi_2 = \frac{1,44}{\sqrt{L_\phi} - 0,2} + 0,82$$

$$1,00 \leq \phi_2 \leq 1,67$$

- bežne udržiavaná trať

$$\phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\phi} - 0,2} + 0,73$$

$$1,15 \leq \phi_3 \leq 2,00$$

# Dynamický súčiniteľ

Zväčšuje statické účinky od zaťažovacích modelov:

- LM71
- SW/0 a SW/2

Nepoužíva sa pre:

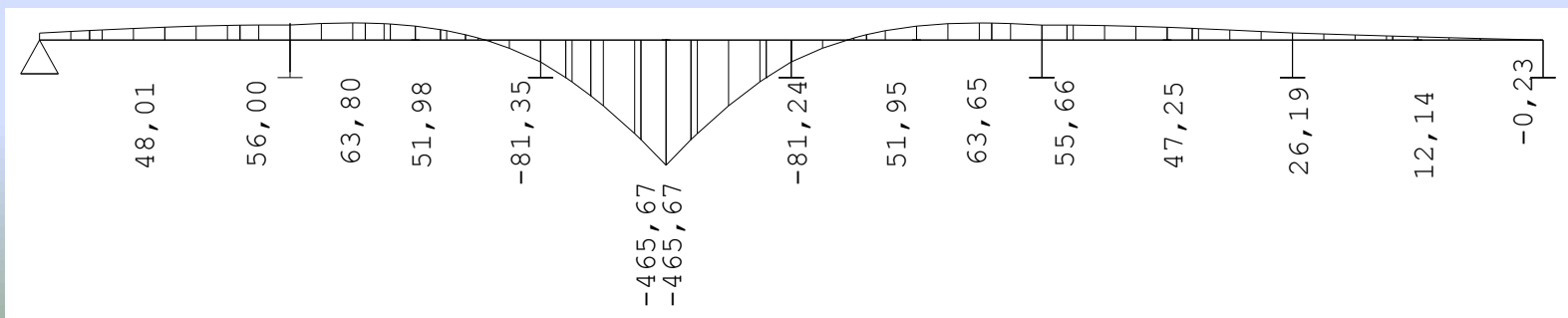
- zaťaženie skutočnými vlakmi v prevádzke
- zaťaženie únavovými vlakmi
- zaťažovací model HSLM
- zaťažovací model „prázdne vozne“

# Náhradná dĺžka $L_{\phi}$

Stanovenie náhradnej dĺžky:

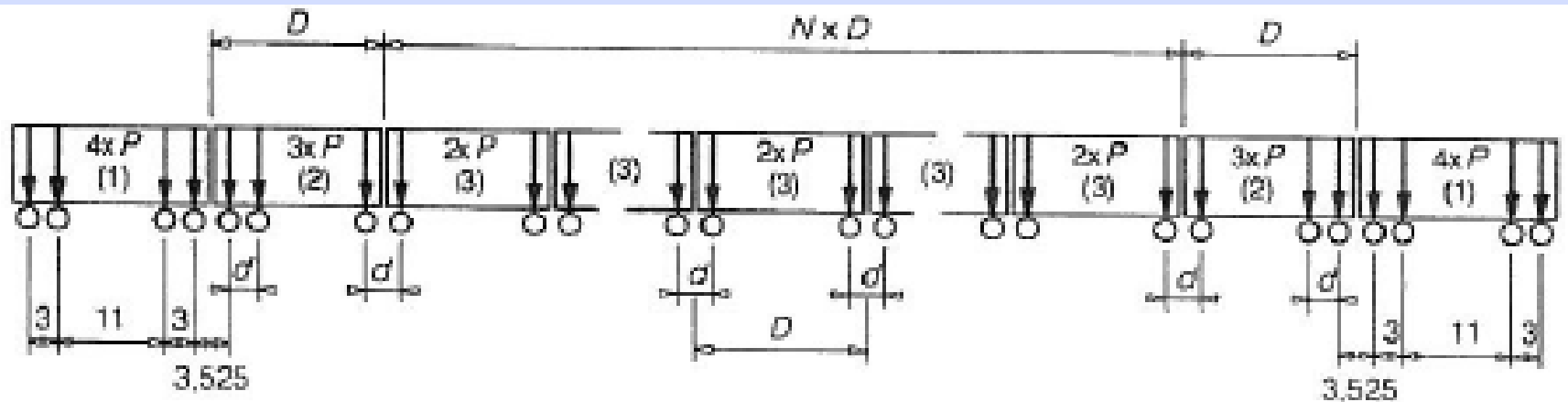
- tabuľky v STN EN 1991-2
- podľa dĺžky vplyvovej čiary

Prípado	Konštrukčný prvok	Náhradná dĺžka $L_{\phi}$
<b>Oceľová dosková mostovka: uzavretá s kofajovým lôžkom (ortotropná mostovková doska) (pre lokálne a priečne napätia)</b>		
1.1	Doska s priečnymi nosníkmi a spojitými pozdĺžnymi výstuhami: Plech mostovky (pre obidva smery)	Trojnásobná vzdialenosť priečnikov
1.2	Spojité pozdĺžne výstupy (vrátane malých konzol do 0,50 m) <sup>a</sup>	Trojnásobná vzdialenosť priečnikov
1.3	Priečniky	Dvojnásobná dĺžka priečnikov
1.4	Koncové priečniky	3,6 m <sup>b</sup>
2.1	Doska iba s priečnikmi: Plech mostovky (pre obidva smery)	Dvojnásobná vzdialenosť priečnikov + 3 m
2.2	Priečniky	Dvojnásobná vzdialenosť priečnikov + 3 m
2.3	Koncové priečniky	3,6 m <sup>b</sup>



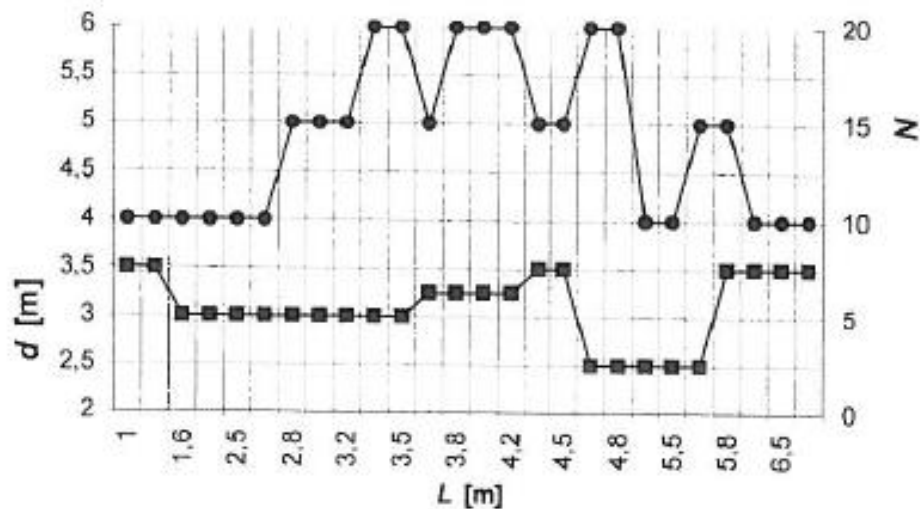
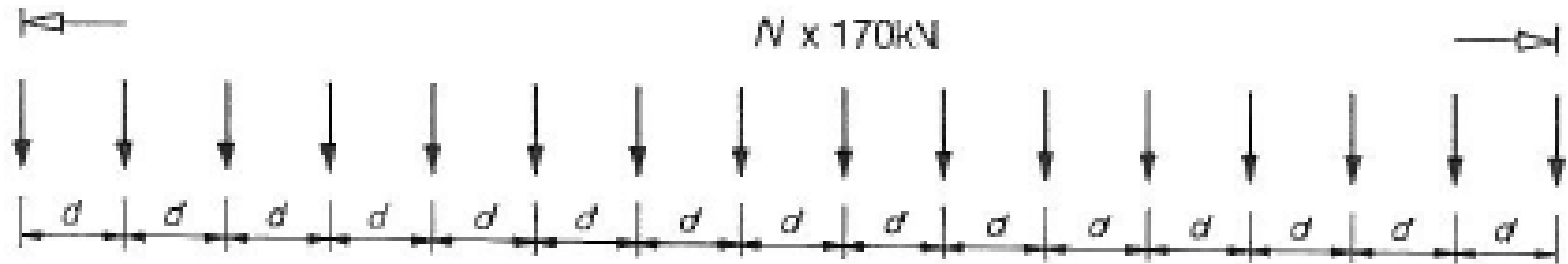
# Zat'azovací model HSLM

- pri rýchlostiach nad 200 km/h
- pri dynamických analýzach mostnej konštrukcie
- HSLM A - 10 typov A1 - A10
  - počet medziáhlých vozňov (11-18)
  - dĺžka vozňov (18-27 m)
  - vzdialenosť medzi nápravami (2,0-3,5 m)
  - tiaž nápravy (170-210 kN)



# Zat'azovací model HSLM

- HSLM B
  - N sústredených síl
  - tiaž nápravy = 170 kN
  - rovnomerné rozostupy náprav  $d$



# Vodorovné zat'azhenia

Priečny smer:

- odstredivé sily
- bočné nárazy

Pozdĺžny smer:

- brzdné sily
- rozjazdové sily

# Odstredivé sily

Príčina vzniku:

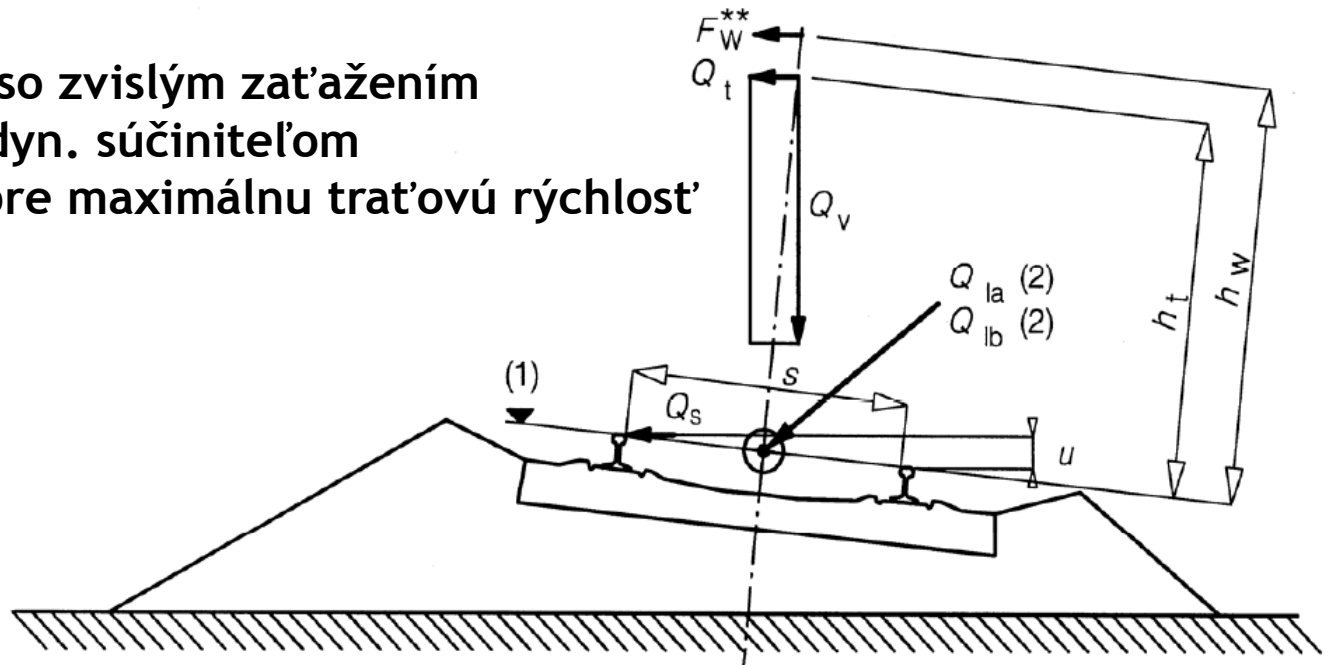
- koľaj v smerovom oblúku

Poloha a smer zat'azenia:

- 1,8 m nad temenom koľajnice
- vo vodorovnom smere
- smerom von z oblúka

Poznámky:

- kombinujú sa so zvislým zat'azением
- nenásobia sa dyn. súčiniteľom
- stanovujú sa pre maximálnu traťovú rýchlosť



# Odstredivé sily

$$Q_{tk} = \frac{v^2}{g \cdot r} (f \cdot Q_{vk}) = \frac{V^2}{127 \cdot r} (f \cdot Q_{vk})$$

$$q_{tk} = \frac{v^2}{g \cdot r} (f \cdot q_{vk}) = \frac{V^2}{127 \cdot r} (f \cdot q_{vk})$$

$Q_{tk}, q_{tk}$  charakteristické hodnoty zvislého zaťaženia

$f$  redukčný súčiniteľ

$v$  maximálna rýchlosť v m/s

$V$  maximálna rýchlosť v km/h

$g$  gravitačné zrýchlenie

$r$  polomer oblúka

$$f = \left[ 1 - \frac{V - 120}{1000} \left( \frac{814}{V} + 1,75 \right) \left( 1 - \sqrt{\frac{2,88}{L_f}} \right) \right]$$



# Bočné nárazy

Príčina vzniku:

- nedokonalosť kolesa
- nepriamosť koľajnice

Poloha a smer zaťaženia:

- vodorovná sila v osi koľaje
- pôsobisko v temene koľajnice
- v priamej aj v oblúku

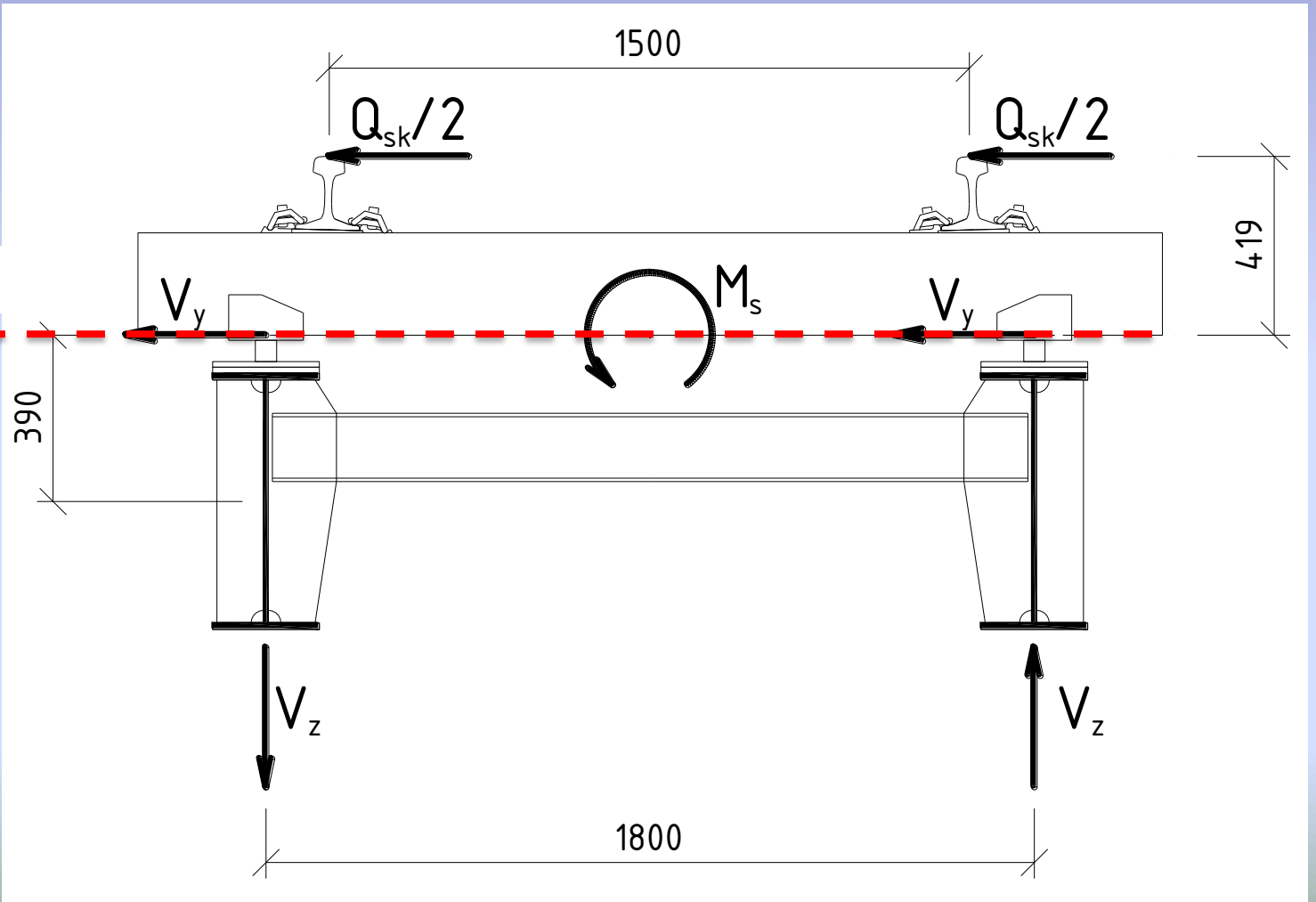
$$Q_{sk} = 100kN$$

Poznámky:

- nenásobí sa dyn. súčiniteľom
- násobí sa  $\alpha$  , ale len pre  $\alpha \geq 1,0$
- v priamej aj v oblúku
- vždy sa kombinujú so zvislým zaťažením dopravou

# Bočné nárazy

Vzt'ážná rovina



# Brzdné a rozjazdové sily

Príčina vzniku:

- brzdenie resp. rozjazd vlaku

Poloha a smer zaťaženia:

- rovnomerne rozdelené po účinnej zaťažovacej dĺžke
- pôsobisko v temene koľajnice

Brzdné sily:

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

$$\text{SW/2} \quad Q_{lbk} = 35 [kN / m] \cdot L_{a,b} [m] \leq 6000 [kN]$$

Rozjazdové sily:

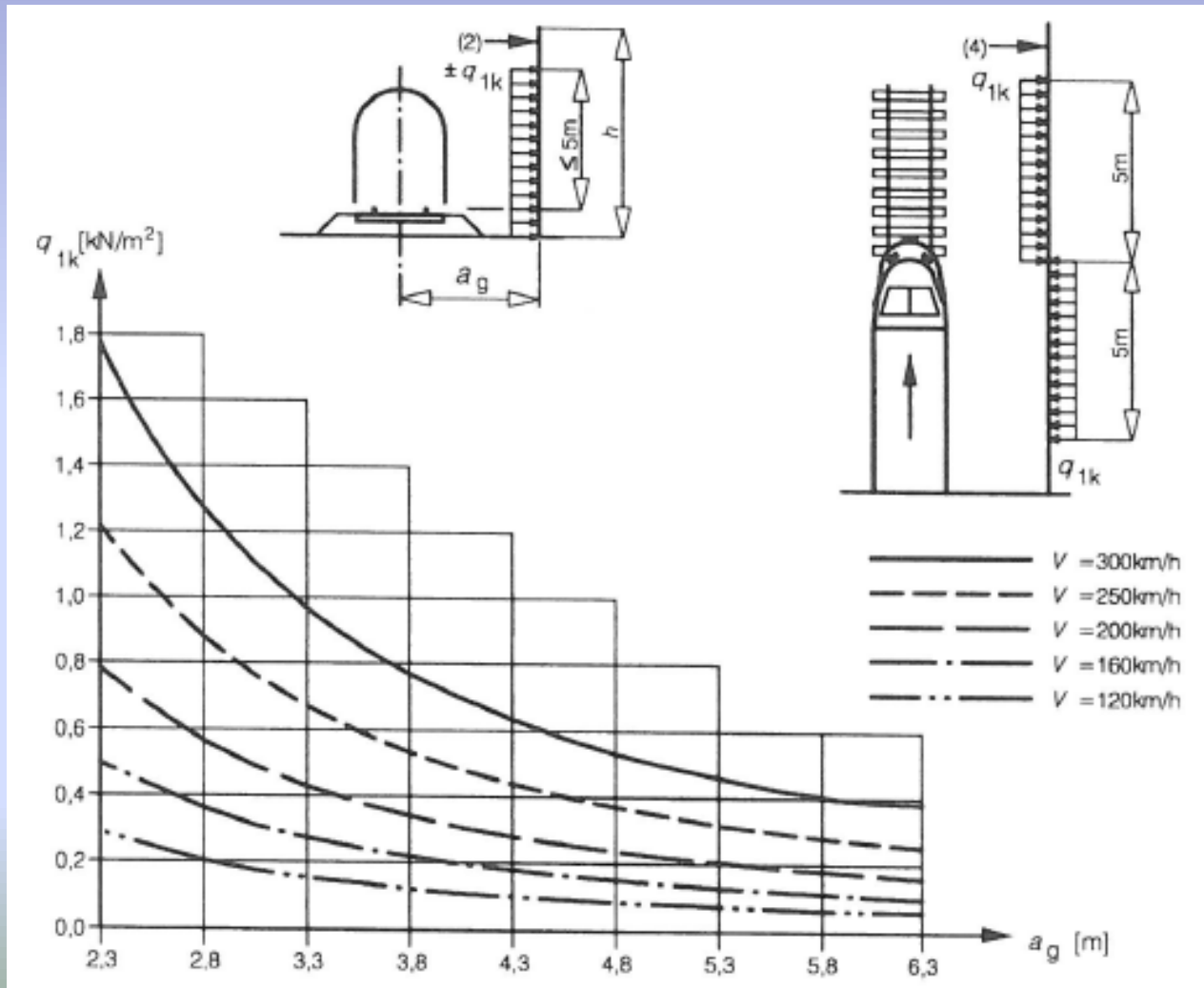
$$\text{LM71, SW/0, SW/2 a HSLM} \quad Q_{lak} = 33 [kN / m] \cdot L_{a,b} [m] \leq 1000 [kN]$$

# Aerodynamické zaťaženia od vlakov

- používajú sa pri návrhu konštrukcií priľahlých ku železničnej trati
- striedané namáhanie tlakom a saním od premiestňujúcej sa vzdušnej vlny
- veľkosť závisí od:
  - druhej mocniny rýchlosti vlaku
  - aerodynamického tvaru vlaku
  - tvaru konštrukcie
  - vzdialenosti konštrukcie od trate

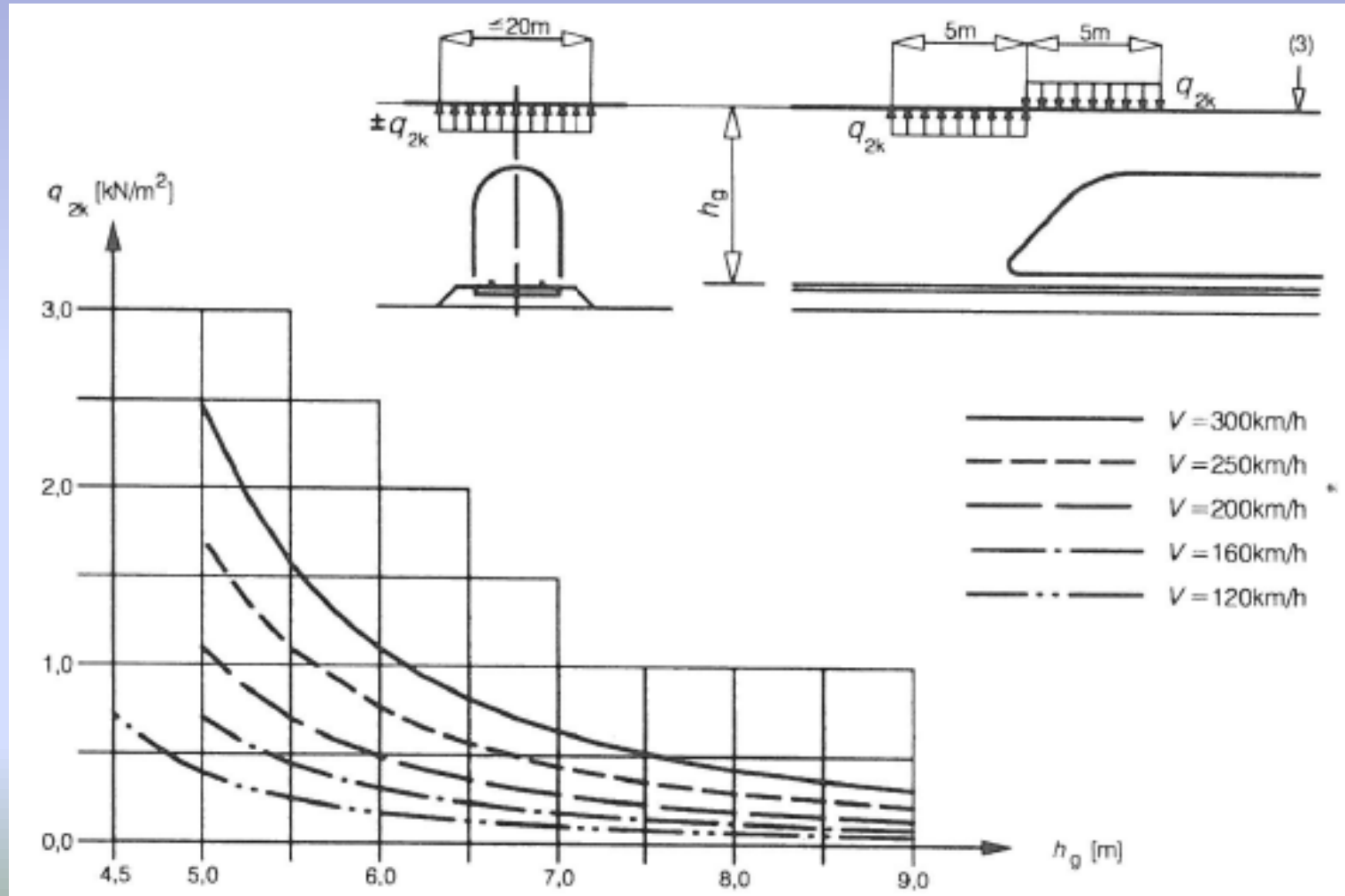
# Aerodynamické zaťaženia od vlakov

- povrchy rovnobežné s traťou (protihluková stena)



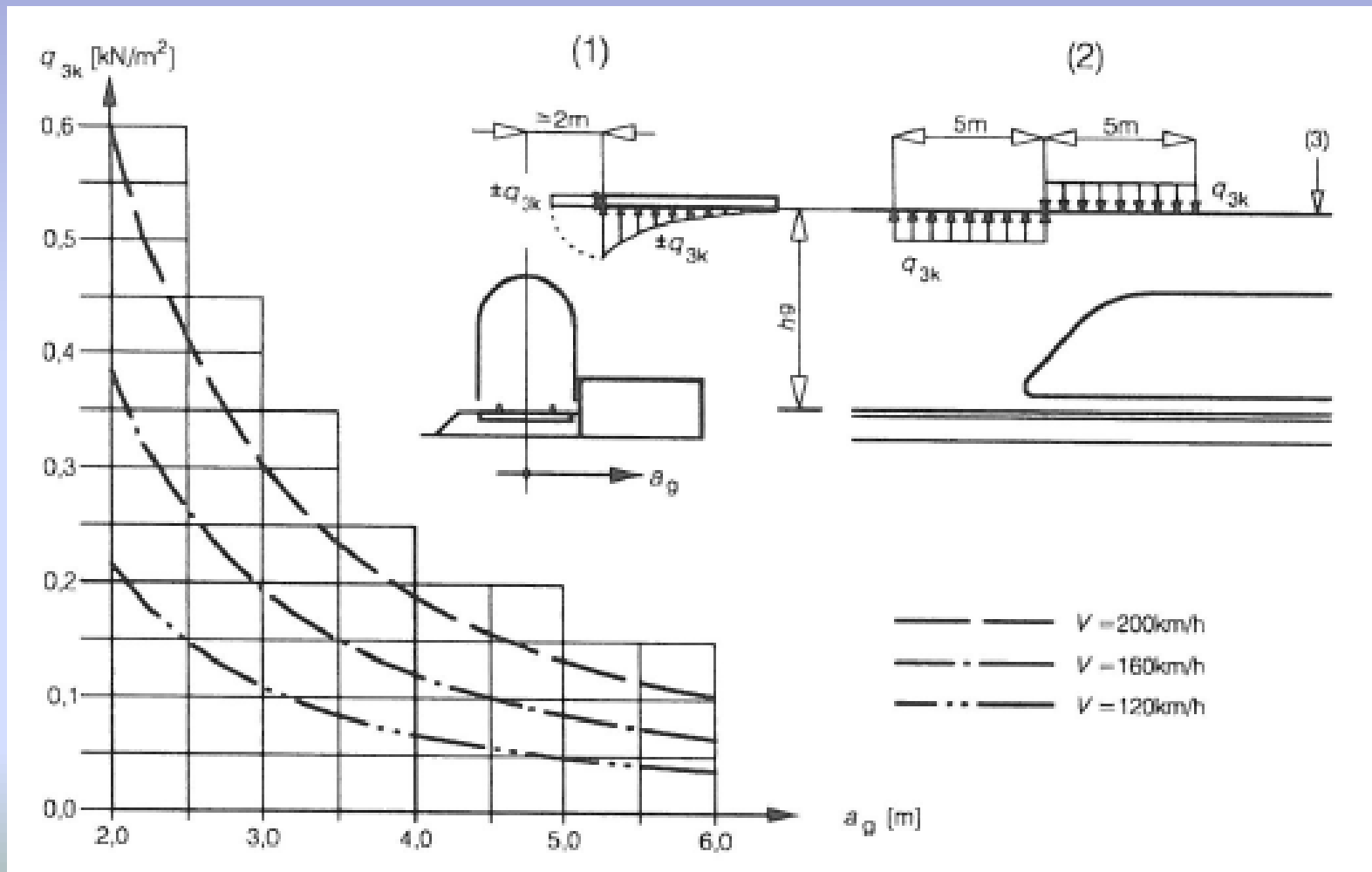
# Aerodynamické zaťaženia od vlakov

- povrchy nad traťou (ochranné konštrukcie nad traťou)



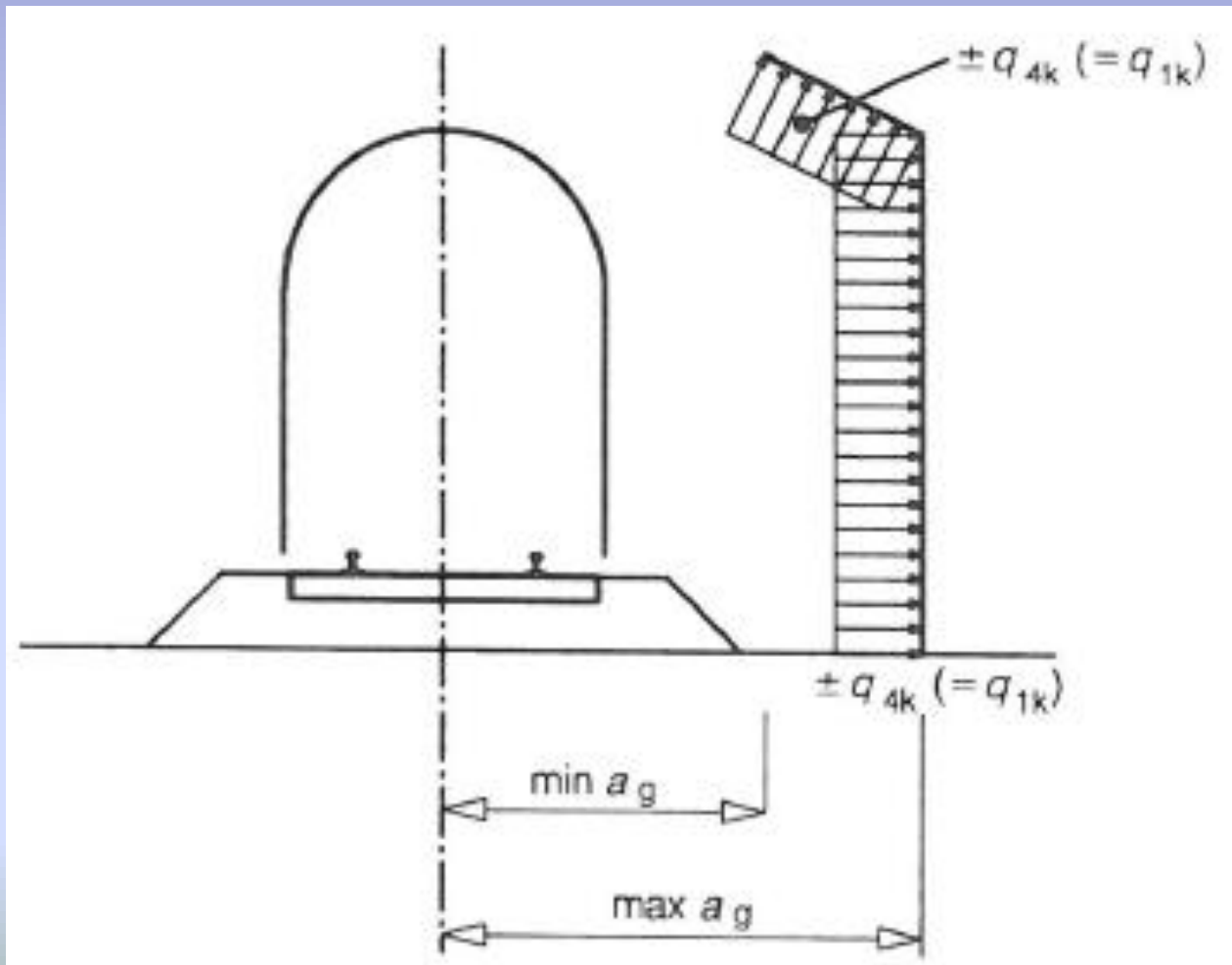
# Aerodynamické zaťaženia od vlakov

- povrchy priľahlé trati (prestrešenia nástupíšť')



# Aerodynamické zaťaženia od vlakov

- zalomené konštrukcie (lomené protihlukové steny)





# Mimoriadne zaťaženia od vlakov

Pri návrhu nosnej konštrukcie sa dbá na to, aby pri vykoľajení vlaku došlo k čo najmenšiemu poškodeniu mosta.

Vykoľajenie vlaku na moste sa uvažuje ako mimoriadna návrhová situácia.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + A_d + (\psi_{1,1} \text{ resp. } \psi_{1,2}) Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Uvažujú sa dve návrhové situácie:

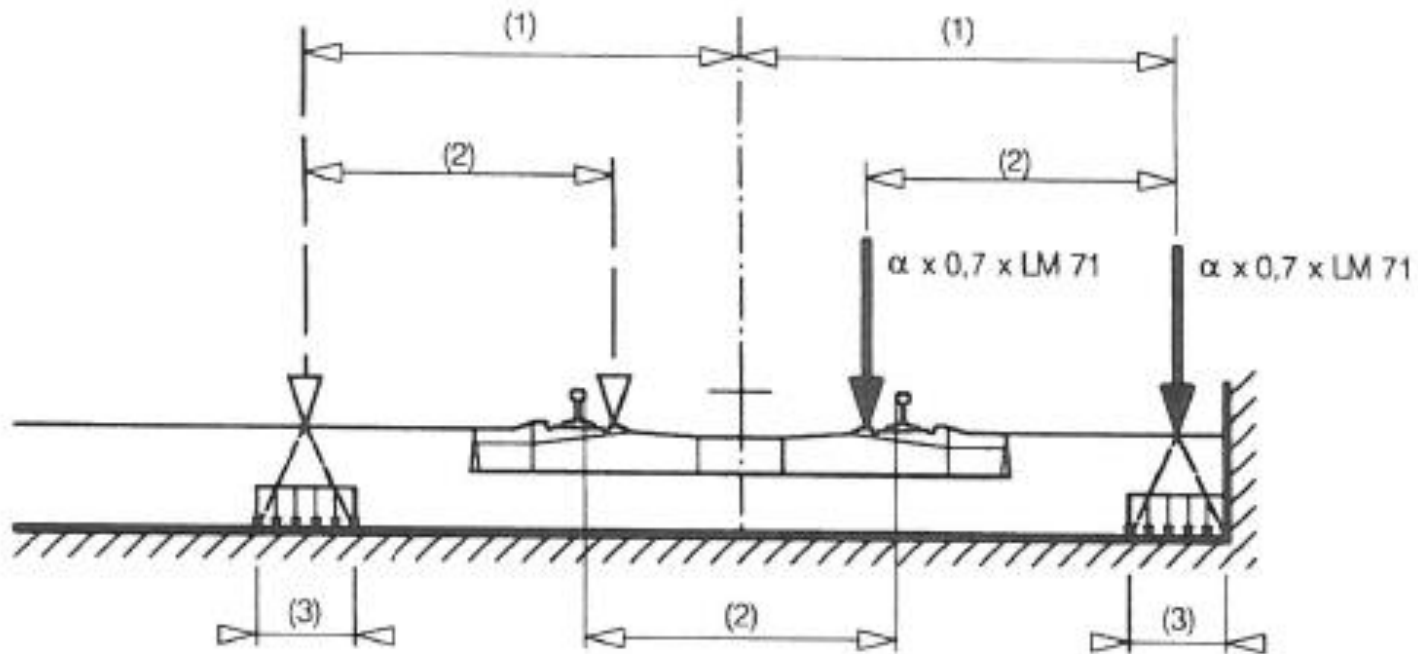
- vykoľajenie vlaku, keď vozne boli zachytené druhou koľajou alebo iným zariadením. Vlak ostal v oblasti koľaje.
- vlak sa pri vykoľajení dostal až na okraj nosnej konštrukcie.

# Mimoriadne zaťaženia od vlakov



# Návrhová situácia I:

- potreba zabrániť zrúteniu podstatnej časti konštrukcie
- prípustné je lokálne poškodenie konštrukcie

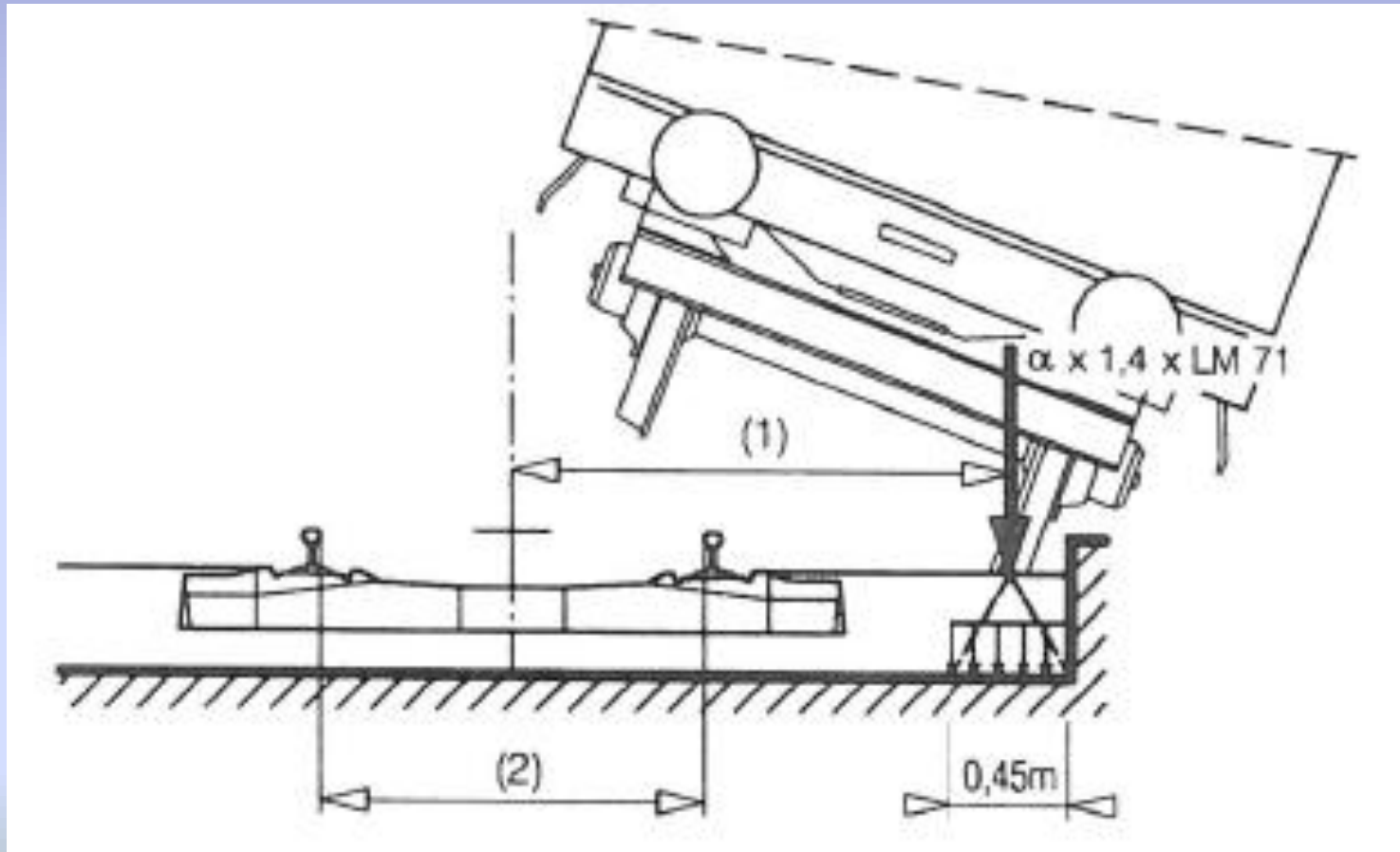


## Legenda

- (1) max. 1,5s alebo menej, ak je oproti stene
- (2) rozchod koľaje s
- (3) pri koľajových lôžkach sa uvažuje s roznosom osamelých sil na štvorec so stranou 450 mm na hornom povrchu mostnej konštrukcie

# Návrhová situácia II:

- most sa nesmie preklopiť alebo zrútiť



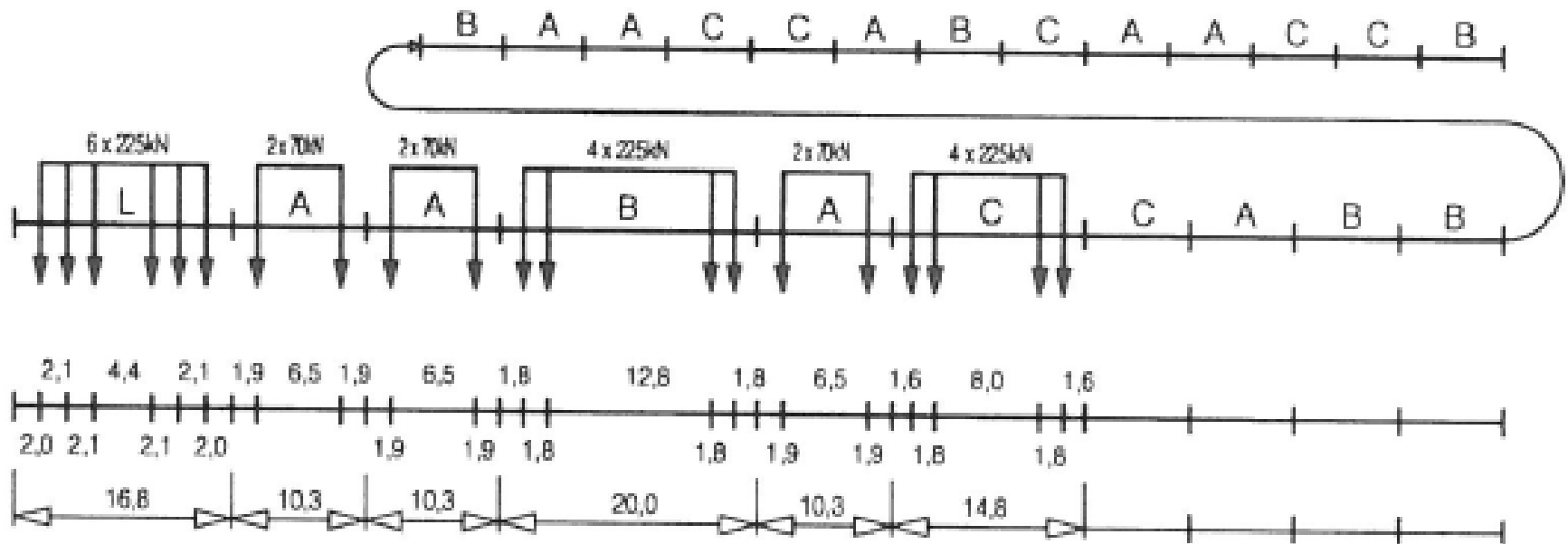
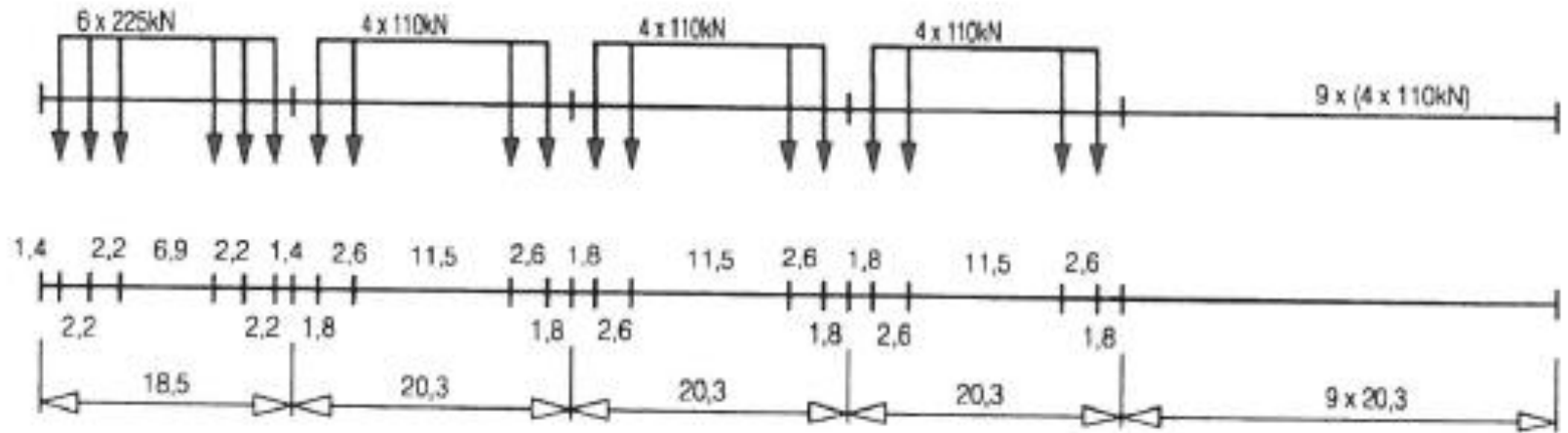
# Skupiny zaťažení - grupy

Počet kofají			Zaťažovacie skupiny			Zvislé zaťaženie			Vodorovné zaťaženie			Poznámka
1	2	≥ 3	Podľa EN 1991-2			6.3.2/6.3.3	6.3.3	6.3.4	6.5.3	6.5.1	6.5.2	
			počet zaťaž. kofají	Zaťaž. skupiny <sup>(8)</sup>	Zaťaž. kofaj	LM 71 <sup>(1)</sup> SW/O <sup>(1), (2)</sup> HSLM <sup>(8), (7)</sup>	SW/2 <sup>(1), (3)</sup>	Prázdne vozne	Rozjazd Brzdenie <sup>(1)</sup>	Odstredivá sila <sup>(1)</sup>	Bočné nárazy <sup>(1)</sup>	
			1	gr11	T <sub>1</sub>	1			1 <sup>(5)</sup>	0,5 <sup>(5)</sup>	0,5 <sup>(5)</sup>	Max. zvislé 1 s max. vodorovným
			1	gr 12	T <sub>1</sub>	1			0,5 <sup>(5)</sup>	1 <sup>(5)</sup>	1 <sup>(5)</sup>	Max. zvislé 2 s max. priečnym
			1	gr 13	T <sub>1</sub>	1 <sup>(4)</sup>			1	0,5 <sup>(5)</sup>	0,5 <sup>(5)</sup>	Max. pozdĺžne
			1	gr 14	T <sub>1</sub>	1 <sup>(4)</sup>			0,5 <sup>(5)</sup>	1	1	Max. priečne
			1	gr 15	T <sub>1</sub>			1		1 <sup>(5)</sup>	1 <sup>(5)</sup>	Stabilita v prieč. smere pre "prázdne vozne"
			1	gr 16	T <sub>1</sub>		1		1 <sup>(5)</sup>	0,5 <sup>(5)</sup>	0,5 <sup>(5)</sup>	SW/2 s max. pozdĺžnym
			1	gr 17	T <sub>1</sub>		1		0,5 <sup>(5)</sup>	1 <sup>(5)</sup>	1 <sup>(5)</sup>	SW/2 s max. priečnym

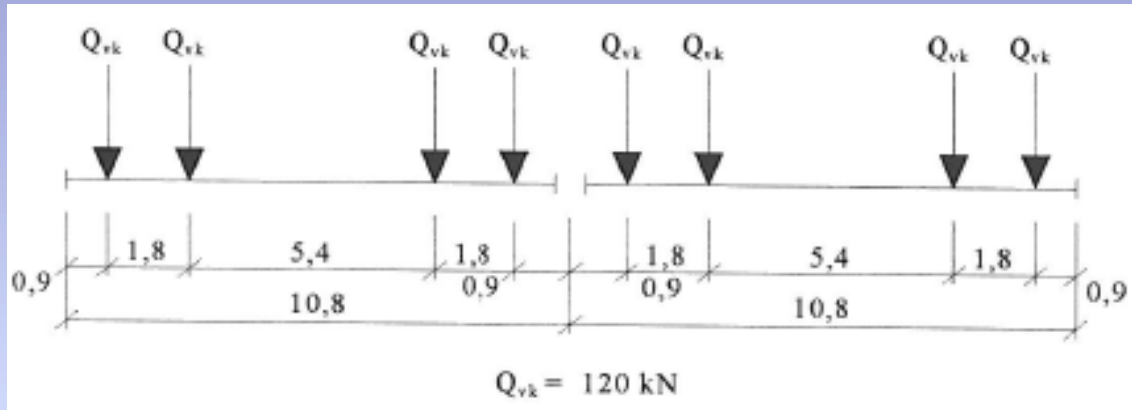
# Skupiny zaťaženia - grupy

Počet kofají			Zaťažovacie skupiny			Zvislé zaťaženie			Vodorovné zaťaženie			Poznámka
			Podľa EN 1991-2			6.3.2/6.3.3	6.3.3	6.3.4	6.5.3	6.5.1	6.5.2	
1	2	≥ 3	počet zať. kofají	Zať. skupiny <sup>(8)</sup>	Zaťažená kofaj	LM 71 <sup>(1)</sup> SW/O <sup>(1), (2)</sup> HSLM <sup>(8), (7)</sup>	SW/2 <sup>(1), (3)</sup>	Prázdne vozne	Rozjazd Brzdenie <sup>(1)</sup>	Odstredivá sila <sup>(1)</sup>	Bočné nárazy <sup>(1)</sup>	
			2	gr 21	T <sub>1</sub> T <sub>2</sub>	1 1			1 <sup>(5)</sup> 1 <sup>(5)</sup>	0,5 <sup>(5)</sup> 0,5 <sup>(5)</sup>	0,5 <sup>(5)</sup> 0,5 <sup>(5)</sup>	Max. zvislé 1 s max. pozdĺžnym
			2	gr 22	T <sub>1</sub> T <sub>2</sub>	1 1			0,5 <sup>(5)</sup> 0,5 <sup>(5)</sup>	1 <sup>(5)</sup> 1 <sup>(5)</sup>	1 <sup>(5)</sup> 1 <sup>(5)</sup>	Max. zvislé 2 s max. priečnym
			2	gr 23	T <sub>1</sub> T <sub>2</sub>	1 <sup>(4)</sup> 1 <sup>(4)</sup>			1 1	0,5 <sup>(5)</sup> 0,5 <sup>(5)</sup>	0,5 <sup>(5)</sup> 0,5 <sup>(5)</sup>	Max. pozdĺžne
			2	gr 24	T <sub>1</sub> T <sub>2</sub>	1 <sup>(4)</sup> 1 <sup>(4)</sup>			0,5 <sup>(5)</sup> 0,5 <sup>(5)</sup>	1 1	1 1	Max. priečne
			2	gr 26	T <sub>1</sub> T <sub>2</sub>	1	1		1 <sup>(5)</sup> 1 <sup>(5)</sup>	0,5 <sup>(5)</sup> 0,5 <sup>(5)</sup>	0,5 <sup>(5)</sup> 0,5 <sup>(5)</sup>	SW/2 s max. pozdĺžnym
			2	gr 27	T <sub>1</sub> T <sub>2</sub>	1	1		0,5 <sup>(5)</sup> 0,5 <sup>(5)</sup>	1 <sup>(5)</sup> 1 <sup>(5)</sup>	1 <sup>(5)</sup> 1 <sup>(5)</sup>	SW/2 s max. priečnym
			≥ 3	gr 31	T <sub>i</sub>	0.75			0.75 <sup>(5)</sup>	0.75 <sup>(5)</sup>	0.75 <sup>(5)</sup>	Pridavný zaťažovací stav

# Vlaky pre posúdenie únavy

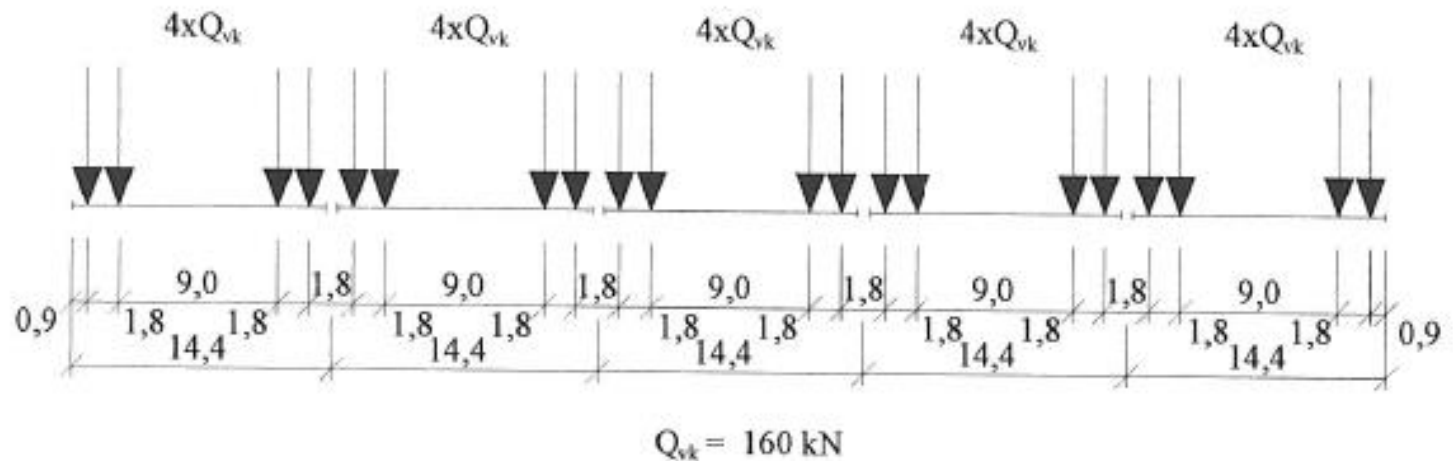


# Zat'azenie mestskou kol'ajovou dopravou



Električka

Metro





# Zat'azenie mestskou kol'ajovou dopravou

- dynamický súčiniteľ:

$$\phi_t = 1 + 0,85(\phi_3 - 1)$$

- odstredivé sily:
  - veľkosť sa stanoví rovnako ako pre železnicu
  - vzdialenosť sily od temena koľajnice:
    - 1,4 m pre električky
    - 1,6 m pre metro
- bočné nárazy:
  - 30 kN pri električkových mostoch
  - 40 kN pri mostoch metra
- brzdné a rozjazdové sily:

15% z charakteristickej hodnoty zvislého zat'azenia

A high-speed train, primarily silver with a red nose, is shown in motion on a track. The background is blurred to convey speed. The train is moving from the left towards the right of the frame.

**Ďakujem za pozornosť**