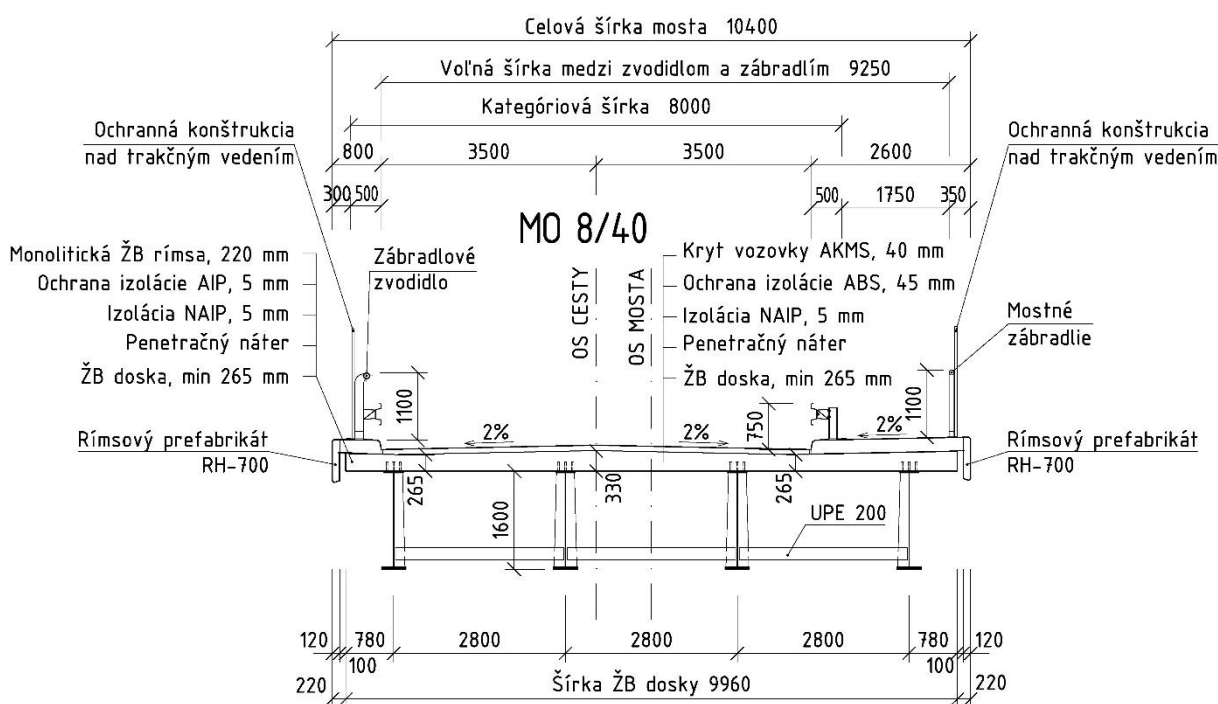


## GLOBÁLNA ANALÝZA SPRIAHNUTÉHO OCEĽOBETÓNOVÉHO CESTNÉHO MOSTA POMOCOU ROVINNÝCH VÝPOČTOVÝCH MODELOV

Úlohou je stanoviť vnútorné sily pripadajúce na jednotlivé spriahnuté oceľobetónové nosníky jednoducho uloženého spriahnutého oceľobetónového cestného mosta s teoretickým rozpätím 32 m a s priečnym rezom uprostred rozpätia podľa obr. 1.



Obrázok 1: Priečny rez spriahnutého oceľobetónového mosta uprostred rozpätia

### Zaťaženie s ohľadom na postup výstavby

Pri výpočte zaťažení pôsobiacich na spriahnutú oceľobetónovú nosnú konštrukciu je potrebné zohľadniť postup výstavby mostného objektu, ktorý sa predpokladá bez dočasného medzilahlého podopretia oceľových nosníkov. V statickom výpočte budeme teda uvažovať s nasledovnými zaťažzeniami:

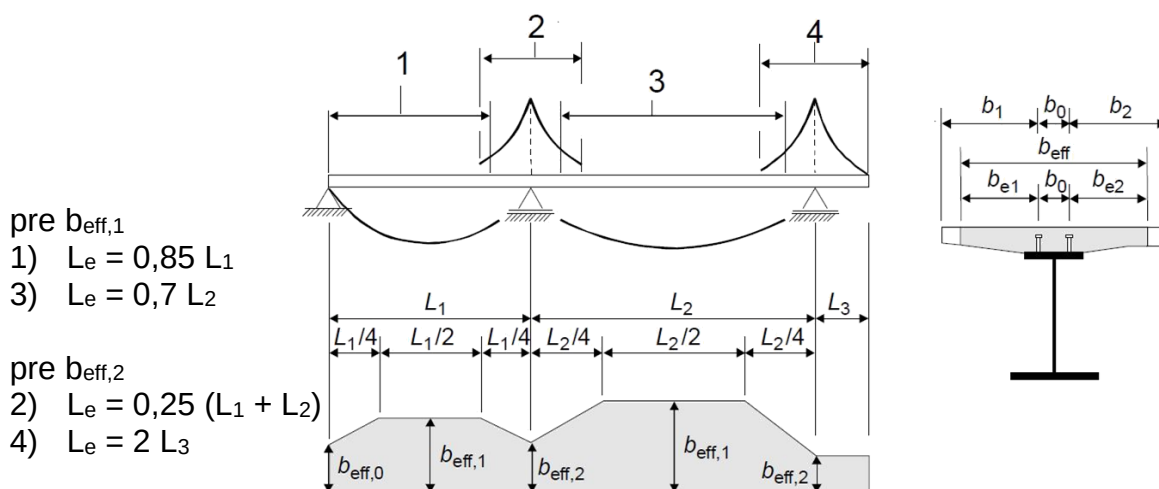
- $g_1$ : 1. časť stálych zaťažení, ktorú preberajú len oceľové nosníky (pred zatvrdnutím betónu);
- $g_2$ : 2. časť stálych zaťažení, ktoré prenáša spriahnutá oceľobetónová konštrukcia po zatvrdnutí betónu;
- $p$ : premenné zaťaženia, ktoré prenáša spriahnutá oceľobetónová konštrukcia (zaťaženie cestnou dopravou, brzdné a rozjazdové sily, vietor, teplota).

Podpora edukačných aktivít pre výchovu mladých odborníkov v oblasti mostného staviteľstva v cezhraničnom regióne (ITMS kód projektu 304010U647)

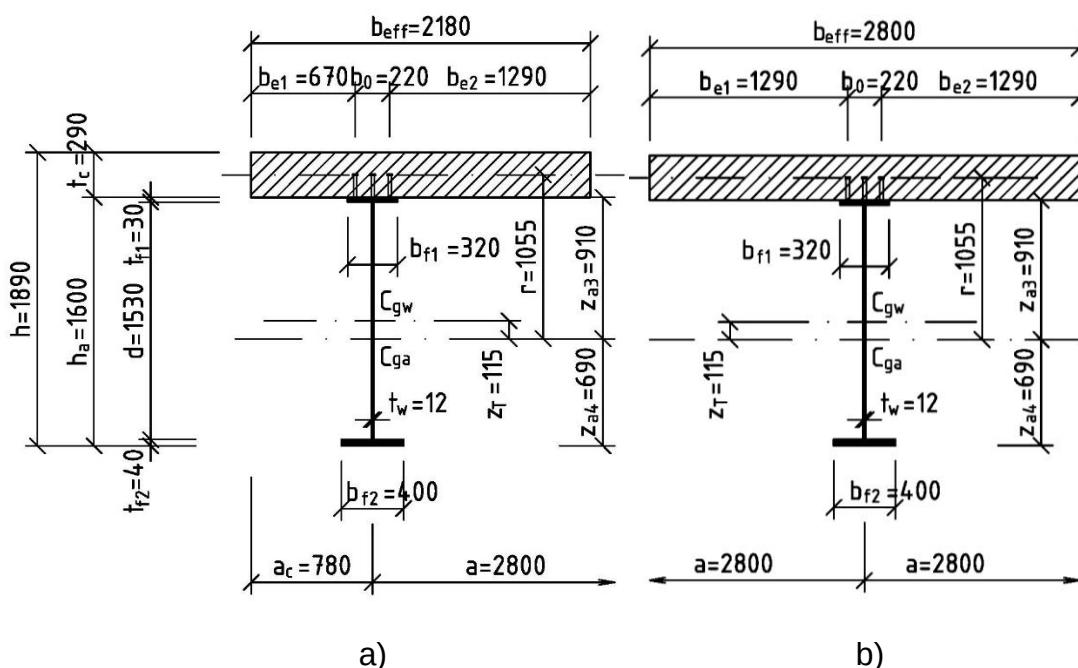
Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

## Výpočtový model

Pri zjednodušenej globálnej analýze sa nosná konštrukcia mosta rozdelí na jednotlivé spriahnuté oceľobetónové nosníky tvorené oceľovým nosníkom a spolupôsobiacou časťou železobetónovej dosky. Koncepcia spolupôsobiacej šírky ŽB dosky bola zavedená za účelom zjednodušenia výpočtu napäťovej odozvy spriahnutého prierezu so zohľadnením ochabnutia normálových napätí v doske vplyvom šmyku. Hodnota spolupôsobiacej šírky dosky sa všeobecne mení po dĺžke nosníka. Pre všeobecný prípad spojitého spriahnutého nosníka sa má priebeh spolupôsobiacej šírky ŽB dosky uvažovať podľa obrázku 2.



Obrázok 2: Všeobecný priebeh spolupôsobiacej šírky po dĺžke spriahnutého nosníka



Obrázok 3: Spolupôsobiace šírky ŽB dosky pre a) krajný nosník, b) vnútorný nosník

Podpora edukačných aktivít pre výchovu mladých odborníkov v oblasti mostného staviteľstva v cezhraničnom regióne (ITMS kód projektu 304010U647)

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

Pri pružnostnej globálnej analýze sa spolupôsobiaci šírka železobetónovej dosky môže uvažovať po celej dĺžke poľa konštantnou hodnotou  $b_{eff,1}$ , zodpovedajúcou spolupôsobiaci šírke stanovenej pre stred príslušného poľa. V prípade jednoducho uloženého nosníka je ekvivalentné rozpätie rovné priamo teoretickému rozpätiu mosta  $L_e = L$ .

Spolupôsobiaci šírka ŽB dosky uprostred rozpätia pre krajné nosníky (obr. 3a):

$$b_{eff} = b_0 + \sum b_{ei}$$

Odhadnutá vzdialenosť krajných prvkov spriahnutia:  $b_0 = 220 \text{ mm}$

$$b_{e,i} = L_e / 8 = 32\,000 / 8 = 4\,000 \text{ mm} > b_1 = 670 \text{ mm} \Rightarrow b_{e,1} = 670 \text{ mm}$$

$$> b_2 = 1290 \text{ mm} \Rightarrow b_{e,2} = 1290 \text{ mm}$$

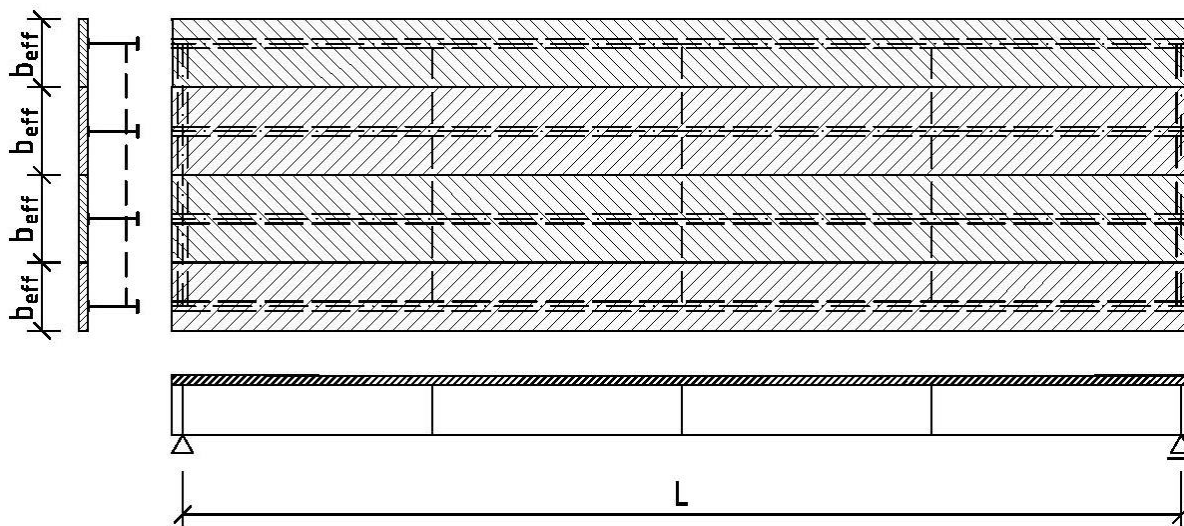
$$b_{eff} = 670 + 220 + 1290 = 2180 \text{ mm (bez ohľadu na vzdialenosť krajných trňov).}$$

Spolupôsobiaci šírka ŽB dosky uprostred rozpätia pre vnútorné nosníky (obr. 3b):

$$b_{e,i} = L_e / 8 = 32\,000 / 8 = 4\,000 \text{ mm} > b_1 = b_2 = 1290 \text{ mm} \Rightarrow b_{e,1} = b_{e,2} = 1290 \text{ mm}$$

$$b_{eff} = 1290 + 220 + 1290 = 2800 \text{ mm (bez ohľadu na vzdialenosť krajných trňov).}$$

Rozdelenie nosnej konštrukcie mosta na jednotlivé spriahnuté oceľobetónové nosníky pre potreby zjednodušenej globálnej analýzy je znázornené na obr. 4.



Obrázok 4: Rozdelenie nosnej konštrukcie mosta na jednotlivé spriahnuté nosníky

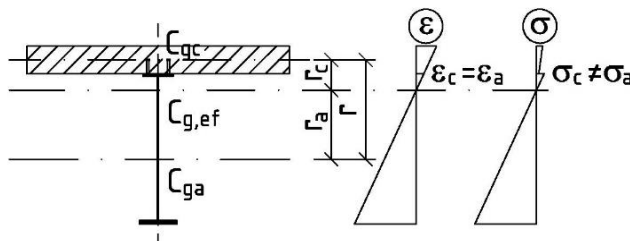
### Prierezové charakteristiky spriahnutého prierezu

Výpočet prierezových charakteristík prierezu zloženého z dvoch rôznych materiálov s rozdielnou tuhosťou je založený na tzv. homogenizácii prierezu, pri ktorej sa celý prierez prevedie na ekvivalentný, alebo tzv. efektívny prierez z jedného materiálu – obvykle toho tuhšieho, v tomto prípade ocele. Za predpokladu dokonale tuhého

Podpora edukačných aktivít pre výchovu mladých odborníkov v oblasti mostného staviteľstva v cezhraničnom regióne (ITMS kód projektu 304010U647)

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

spriahnutia zabraňujúceho preklzu medzi betónovou doskou a oceľovým nosníkom zostáva v platnosti Bernoulli-Navierova hypotéza o zachovaní rovinnosti prierezu pri namáhaní ohybom, čomu zodpovedá spojitý priebeh pomernej deformácie po výške prierezu (obr. 5).



Obrázok 5: Priebeh pomerných pretvorení a normálových napätí po výške spriahnutého prierezu

Keďže sa nachádzame v oblasti pružnej deformácie, na základe platnosti Hookovho zákona dochádza na rozhraní medzi betónovou doskou a oceľovým nosníkom k skokovitej zmene priebehu normálového napätia. Pomer medzi napätím v horných vláknoch oceľového nosníka a napätím v dolných vláknoch betónovej dosky je priamo-úmerný pomeru modulov pružnosti oboch materiálov

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_c} = \frac{E_a}{E_c},$$

Pre okamžitý (krátkodobý) účinok zaťaženia (t.j. bez vplyvu reologických procesov v betóne) je pomer modulov označený ako  $n_0$  a je definovaný vzťahom

$$n_0 = \frac{E_a}{E_{cm}},$$

kde  $E_a$  je modul pružnosti ocele a  $E_{cm}$  je sečnicový modul pružnosti betónu. Vychádza sa z úvahy, že betónová časť prispieva k celkovej ohybovej tuhosti spriahnutého prierezu  $EI_{ef}$   $n_0$ -krát menej ako oceľová časť. Preto sa pri výpočte prierezových charakteristík efektívneho prierezu príspevok betónovej časti redukuje pomerom modulov  $n_0$ :

- Prierezová plocha efektívneho prierezu:

$$A_{ef} = A_a + A_c / n_0$$

- Poloha ťažiska efektívneho prierezu:

$$r_c = \frac{A_a \cdot r}{A_{ef}}, \quad r_a = \frac{A_c / n_0 \cdot r}{A_{ef}}, \quad r = r_c + r_a$$

- Kvadratický moment plochy efektívneho prierezu:

$$I_{y,ef} = I_{ya} + I_{yc} / n_0 + A_a \cdot r_a^2 + A_c / n_0 \cdot r_c^2 = I_{ya} + I_{yc} / n_0 + A_{ef} \cdot r_a \cdot r_c$$

### Efektívne prierezové charakteristiky prierezu krajného nosníka

$$n_0 = E_a / E_{cm} = 210 / 34 = 6,176$$

$$A_c = 2,18 \cdot 0,29 = 0,63220 \text{ m}^2, \quad I_{yc} = \frac{1}{12} \cdot 2,18 \cdot 0,29^3 = 0,00443 \text{ m}^4$$

$$A_a = 0,320 \cdot 0,030 + 0,012 \cdot 1,53 + 0,400 \cdot 0,040 = 0,04396 \text{ m}^2$$

$$z_{a4} = \frac{0,4 \cdot 0,04 \cdot 0,02 + 0,012 \cdot 1,53 \cdot 0,805 + 0,32 \cdot 0,03 \cdot 1,585}{0,04396} = 0,690 \text{ m}$$

$$z_{a3} = 1,600 - 0,690 = -0,910 \text{ m}$$

$$I_{ya} = \frac{1}{12} \cdot (0,4 \cdot 0,04^3 + 0,012 \cdot 1,53^3 + 0,32 \cdot 0,03^3) + 0,4 \cdot 0,04 \cdot 0,670^2 +$$

$$+ 0,012 \cdot 1,53 \cdot 0,115^2 + 0,32 \cdot 0,03 \cdot 0,895^2 = 0,01870 \text{ m}^4$$

$$A_{ef} = 0,04396 + 0,63220 / 6,176 = 0,14632 \text{ m}^2$$

$$r_c = \frac{0,04396 \cdot 1,055}{0,14632} = 0,317 \text{ m}, \quad r_a = \frac{0,6322 / 6,176 \cdot 1,055}{0,14632} = 0,738 \text{ m}$$

$$I_{y,ef} = 0,01870 + 0,00443 / 6,176 + 0,14632 \cdot 0,317 \cdot 0,738 = 0,05367 \text{ m}^4$$

### Efektívne prierezové charakteristiky prierezu vnútorného nosníka

$$n_0 = 6,176$$

$$A_c = 2,80 \cdot 0,29 = 0,81200 \text{ m}^2, \quad I_{yc} = \frac{1}{12} \cdot 2,80 \cdot 0,29^3 = 0,00569 \text{ m}^4$$

$$A_a = 0,04396 \text{ m}^2, \quad I_{ya} = 0,01870 \text{ m}^4$$

$$A_{ef} = 0,04396 + 0,81200 / 6,176 = 0,17543 \text{ m}^2$$

$$r_c = \frac{0,04396 \cdot 1,055}{0,17543} = 0,264 \text{ m}, \quad r_a = \frac{0,81200 / 6,176 \cdot 1,055}{0,17543} = 0,791 \text{ m}$$

$$I_{y,ef} = 0,01870 + 0,00569 / 6,176 + 0,17543 \cdot 0,264 \cdot 0,791 = 0,05631 \text{ m}^4$$

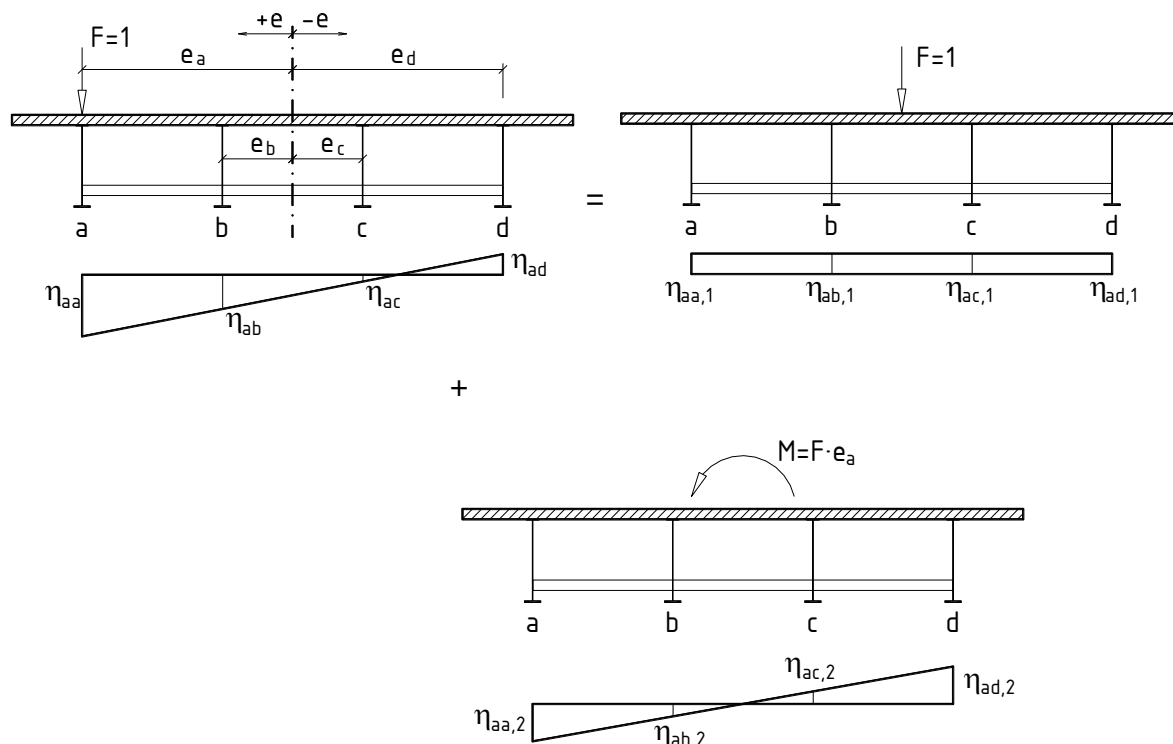
### **Priečny roznos zaťaženia**

Na zohľadnenie priestorového spolupôsobenia jednotlivých spriahnutých nosníkov v priečnom smere slúži tzv. **vplyvová čiara priečneho roznosu**. Na jej zostrojenie sa pri zjednodušenej analýze najčastejšie používa tzv. metóda náhradného dokonale tuhého priečneho stužidla. Táto metóda má určité obmedzenia, avšak pre ručný výpočet je výhodná, pretože je jednoduchá a najmä v prípade úzkych jednopoložných mostov vedie aj k dostatočne presným výsledkom. Princíp výpočtu je vysvetlený na obr. 6.

Podpora edukačných aktivít pre výchovu mladých odborníkov v oblasti mostného staviteľstva v cezhraničnom regióne (ITMS kód projektu 304010U647)

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





Obrázok 6: Princíp výpočtu priečného roznosu metódou dokonale tuhého priečného stužidla  
Jednotlivé súradnice vplyvovej čiary priečného roznosu sú všeobecne dané výrazom

$$\eta_{ki} = \eta_{ki,1} + \eta_{ki,2} = \frac{l_{y,i}}{\sum_{j=a}^n l_{y,j}} + \frac{e_k \cdot l_{y,i} \cdot e_i}{\sum_{j=a}^n l_{y,j} e_j^2}, \quad \text{pre } i = a \text{ až } n, \text{ pričom } \sum_{i=a}^n \eta_{ki} = 1,0$$

- kde  $k$  je index označujúci nosník, pre ktorý je vplyvová čiara vyčísl'ovaná,  
 $\eta_{ki,1}$  sú súradnice pre nosník "k" v miestach pod jednotlivými nosníkmi "i" od jednotkovej sily  $F = 1$  pôsobiacej v ťažiskovej osi priečného rezu,  
 $\eta_{ki,2}$  sú súradnice pre nosník "k" v miestach pod jednotlivými nosníkmi "i" od momentu  $M = F \cdot e_k$ ,  
 $l_{y,i}$  je efektívny kvadratický moment plochy  $i$ -teho spriah. prierezu  $l_{y,i} = l_{y,ef,i}$ ,  
 $e_i$  sú vodorovné súradnice jednotlivých nosníkov vzťahnuté k ťažiskovej osi.

Ak sú efektívne tuhosti jednotlivých spriahnutých nosníkov rovnaké, tj.  $l_{y,i} = \text{konšt.}$ , zjednoduší sa uvedený vzťah na tvar

$$\eta_{ki} = \frac{1}{n} + \frac{e_k}{\sum_{j=a}^n e_j^2} e_i.$$

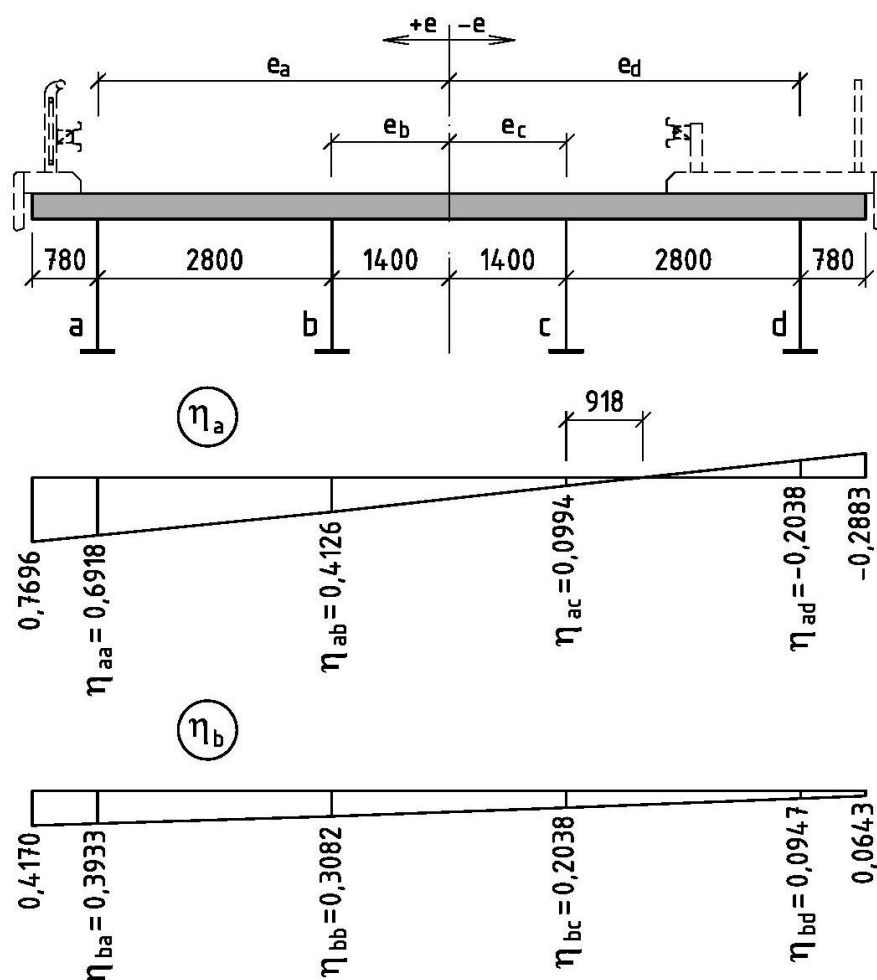
V prípade nami navrhovaného mosta využijeme pri zostrojení vplyvovej čiary priečného roznosu symetriu spriahnutej ocelobetónovej konštrukcie (obr. 7). Efektívne kvadratické momenty spriahnutých prierezov jednotlivých nosníkov, resp. ich horizontálne súradnice vzťahnuté k osi priečného rezu sú:

$$I_{y,a} = I_{y,d} = 0,05367 \, m^4 \quad e_a = -e_d = 4,2 \, m$$

$$I_{y,b} = I_{y,c} = 0,05631 \, m^4 \quad e_b = -e_c = 1,4 \, m$$

$$\sum_{j=a}^n I_{y,j} = 2 \cdot (I_{y,a} + I_{y,b}) = 2 \cdot (0,05367 + 0,05631) = 0,21997 \, m^4$$

$$\sum_{j=a}^n I_{y,j} \cdot e_j^2 = 2 \cdot (I_{y,a} \cdot e_a^2 + I_{y,b} \cdot e_b^2) = 2 \cdot (0,05367 \cdot 4,2^2 + 0,05631 \cdot 1,4^2) = 2,11421 \, m^6$$



Obrázok 7: Vplyvové čiary priečného roznosu zaťaženia pre nosníky „a“ a „b“

Súradnice vplyvovej čiary priečného roznosu zaťaženia na krajný nosník „a“ sú nasledovné:

Podpora edukačných aktivít pre výchovu mladých odborníkov v oblasti mostného staviteľstva v cezhraničnom regióne (ITMS kód projektu 304010U647)

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

$$\eta_{ai} = \frac{l_{y,i}}{\sum_{j=a}^d l_{y,j}} + \frac{e_a \cdot l_{y,i} \cdot e_i}{\sum_{j=a}^d l_{y,j} \cdot e_j^2} = \frac{l_{y,i}}{0,21997} + \frac{4,2 \cdot l_{y,i} \cdot e_i}{2,11421} \quad \text{pre } i = a, b, c, d$$

$$\left. \begin{aligned} \eta_{aa} &= \frac{0,05367}{0,21997} + \frac{4,2 \cdot 0,05367 \cdot 4,2}{2,11421} = 0,24399 + 0,44779 = 0,6918 \\ \eta_{ab} &= \frac{0,05631}{0,21997} + \frac{4,2 \cdot 0,05631 \cdot 1,4}{2,11421} = 0,25601 + 0,15662 = 0,4126 \\ \eta_{ac} &= \frac{0,05631}{0,21997} + \frac{4,2 \cdot 0,05631 \cdot (-1,4)}{2,11421} = 0,25601 - 0,15662 = 0,0994 \\ \eta_{ad} &= \frac{0,05367}{0,21997} + \frac{4,2 \cdot 0,05367 \cdot (-4,2)}{2,11421} = 0,24399 - 0,44779 = -0,2038 \end{aligned} \right\} \sum_{i=a}^d \eta_{ai} = 1,0$$

Podobne súradnice vplyvovej čiary priečného roznosu zaťaženia na vnútorný nosník „b“ sú:

$$\eta_{bi} = \frac{l_{y,i}}{\sum_{j=a}^d l_{y,j}} + \frac{e_b \cdot l_{y,i} \cdot e_i}{\sum_{j=a}^d l_{y,j} \cdot e_j^2} = \frac{l_{y,i}}{0,21997} + \frac{1,4 \cdot l_{y,i} \cdot e_i}{2,11421} \quad \text{pre } i = a, b, c, d$$

$$\left. \begin{aligned} \eta_{ba} &= \frac{0,05367}{0,21997} + \frac{1,4 \cdot 0,05367 \cdot 4,2}{2,11421} = 0,24399 + 0,14926 = 0,3933 \\ \eta_{bb} &= \frac{0,05631}{0,21997} + \frac{1,4 \cdot 0,05631 \cdot 1,4}{2,11421} = 0,25601 + 0,05221 = 0,3082 \\ \eta_{bc} &= \frac{0,05631}{0,21997} + \frac{1,4 \cdot 0,05631 \cdot (-1,4)}{2,11421} = 0,25601 - 0,05221 = 0,2038 \\ \eta_{bd} &= \frac{0,05367}{0,21997} + \frac{1,4 \cdot 0,05367 \cdot (-4,2)}{2,11421} = 0,24399 - 0,14926 = 0,0947 \end{aligned} \right\} \sum_{i=a}^d \eta_{bi} = 1,0$$

Vplyvová čiara priečného roznosu pre nosník „c“ je zrkadlovým obrazom vplyvovej čiary pre nosník „b“ podľa zvislej osi nosnej konštrukcie. Podobne vplyvová čiara priečného roznosu pre nosník „d“ je zrkadlovým obrazom vplyvovej čiary pre nosník „a“.

Vzhľadom na umiestnenie chodníkovej rímsy na pravej strane priečného rezu (nad nosníkom „d“) je zrejmé, že pre posúdenie budú rozhodujúce nosníky „a“ a „b“ na ľavej strane pod zvodidlovou rímou, ktorá umožňuje nepriaznivejšie postavenie zaťaženia cestnou dopravou bližšie k okraju dosky, tj. do časti vplyvovej čiary s maximálnymi hodnotami súradníc. V ďalšej časti statického výpočtu sa preto zameriame práve na tieto dva spriahnuté nosníky.



## 1. časť stálych zaťažení ( $g_1$ )

Prvú časť stálych zaťažení prenášajú len samotné oceľové nosníky. Tiaž ŽB dosky sa na jednotlivé nosníky prenesie úmerne príslušným zaťažovacím šírkam dosky. Tiaž debnenia ako aj ďalšie zaťaženia pôsobiace počas betónovania dosky neuvažujeme, nakoľko tieto po vytvrdnutí betónu a oddebnení dosky už ďalej nepôsobí. Výpočet zaťaženia pôsobiaceho na oceľové nosníky „a“ a „b“ je uvedený v tab. 1 a 2.

Tabuľka 1: Zaťaženie na krajný nosník „a“

| Zaťaženie na 1m' nosníka                                                        | $g_{1k}$ [kN·m <sup>-1</sup> ] | $\gamma_G$ | $g_{1d}$ [kN·m <sup>-1</sup> ] |
|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------|--------------------------------|
| - tiaž ŽB dosky $t_c \cdot b_c \cdot \gamma = 0,29 \cdot 2,18 \cdot 25 =$       | 15,81                          | 1,35       | 21,34                          |
| - tiaž nosníka $A_a \cdot \gamma = 0,04396 \cdot 82,5^* =$                      | 3,63                           | 1,25       | 4,54                           |
|                                                                                 | 19,44                          | 1,331      | 25,88                          |
| *objemová tiaž ocele zväčšená o 5% (vplyv zvarov, priečných výstuh a stužidiel) |                                |            |                                |

Tabuľka 2: Zaťaženie na vnútorný nosník „b“

| Zaťaženie na 1m' nosníka                                                  | $g_{1k}$ [kN·m <sup>-1</sup> ] | $\gamma_G$ | $g_{1d}$ [kN·m <sup>-1</sup> ] |
|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------|--------------------------------|
| - tiaž ŽB dosky $t_c \cdot b_c \cdot \gamma = 0,29 \cdot 2,80 \cdot 25 =$ | 20,30                          | 1,35       | 27,41                          |
| - tiaž nosníka $A_a \cdot \gamma = 0,04396 \cdot 82,5 =$                  | 3,63                           | 1,25       | 4,54                           |
|                                                                           | 23,93                          | 1,335      | 31,95                          |

Charakteristické hodnoty vnútorných síl v rozhodujúcich rezoch nosníka „a“:

Moment uprostred rozpätia:  $M_{g1k} = 1/8 \cdot g_{1k} \cdot L^2 = 1/8 \cdot 19,44 \cdot 32^2 = 2488,3 \text{ kNm}$

Šmyková sila nad podporou:  $V_{g1k} = 1/2 \cdot g_{1k} \cdot L = 1/2 \cdot 19,44 \cdot 32 = 311,0 \text{ kN}$

Charakteristické hodnoty vnútorných síl v rozhodujúcich rezoch nosníka „b“:

Moment uprostred rozpätia:  $M_{g1k} = 1/8 \cdot g_{1k} \cdot L^2 = 1/8 \cdot 23,93 \cdot 32^2 = 3063,0 \text{ kNm}$

Šmyková sila nad podporou:  $V_{g1k} = 1/2 \cdot g_{1k} \cdot L = 1/2 \cdot 23,93 \cdot 32 = 382,9 \text{ kN}$

## 2. časť stálych zaťažení ( $g_2$ )

Druhú časť stálych zaťažení prenáša už celá spriahnutá ocelobetónová konštrukcia, preto pri výpočte zaťaženia na jednotlivé nosníky využijeme vplyvové čiary priečného roznosu zaťaženia. V tab. 3 je uvedený výpočet zaťaženia pôsobiaceho na povrch ŽB dosky.

Tabuľka 3: Zaťaženie na povrchu ŽB dosky

| Plošné zaťaženia                                                                                                                                                                                                             | $g_{2k}$ [kN·m <sup>-2</sup> ] | $\gamma_G$ | $g_{2d}$ [kN·m <sup>-2</sup> ] |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------|--------------------------------|
| - izolácia hr. 5 mm (na celú šírku dosky)<br>$0,005 \cdot 14,0 =$                                                                                                                                                            | 0,07                           | 1,35       | 0,09                           |
| - ochrana izolácie hr. 5 mm (pás šírky 0,58 m na ľavom, resp. 2,38 m na pravom okraji)<br>$0,005 \cdot 14,0 =$                                                                                                               | 0,07                           | 1,35       | 0,09                           |
| - ŽB rímky hrúbky 220 mm (pás šírky 0,58 m na ľavom, resp. 2,38 m na pravom okraji)<br>$0,22 \cdot 25 =$                                                                                                                     | 5,50                           | 1,35       | 7,43                           |
| - AB vozovka hr. 85 mm (pás medzi rímsami)<br>$0,085 \cdot 24 =$                                                                                                                                                             | 2,04                           | 1,35       | 2,75                           |
| Líniové zaťaženia                                                                                                                                                                                                            | $g_{2k}$ [kN·m <sup>-1</sup> ] | $\gamma_G$ | $g_{2d}$ [kN·m <sup>-1</sup> ] |
| - previsnuté časti ŽB ríms (pozdĺž oboch okrajov dosky, na excentricite 0,137 m)<br>$(0,22 \cdot 0,1 + 0,7 \cdot 0,12) \cdot 25 =$                                                                                           | 2,65                           | 1,35       | 3,57                           |
| - zábradlie (vrátane ochrannej konštrukcie) (pozdĺž pravého okraja dosky) - odhad                                                                                                                                            | 0,50                           | 1,35*      | 0,68                           |
| - zvodidlo (pozdĺž pravého okraja vozovky) - odhad                                                                                                                                                                           | 0,30                           | 1,35*      | 0,41                           |
| - zábradlové zvodidlo (vrátane ochr. konštr.) (pozdĺž ľavého okraja dosky) - odhad                                                                                                                                           | 0,60                           | 1,35*      | 0,81                           |
| * Pre zaťaženie tiahou oceľových súčastí vyrobených v odborných výrobníach sa podľa STN EN 1990/A1/NA [4] uvažuje hodnota $\gamma_G = 1,25$ . Vzhľadom na odhadnutú hodnotu zaťaženia uvažujeme bezpečne $\gamma_G = 1,35$ . |                                |            |                                |

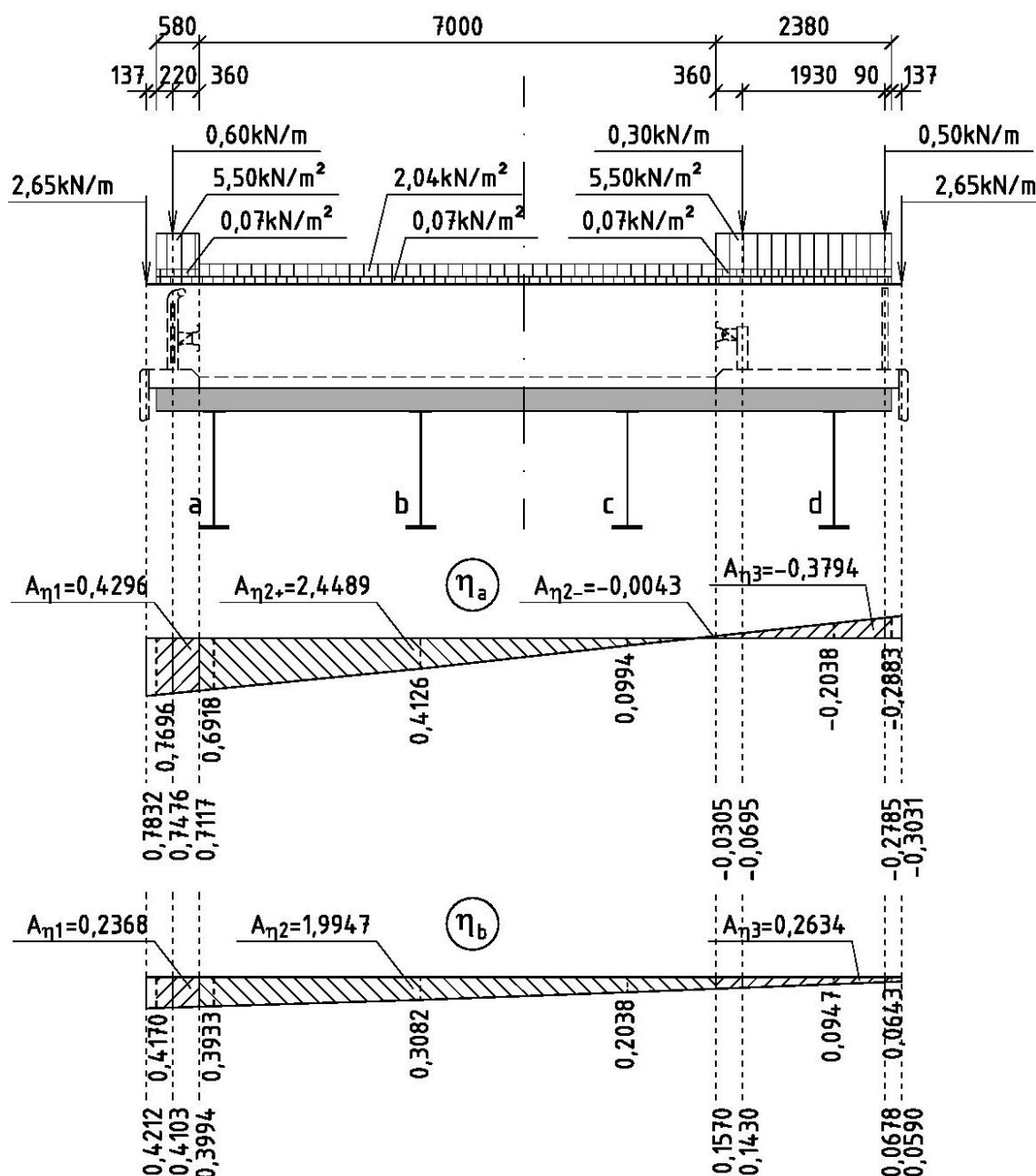
Zaťaženie na jednotlivé nosníky určíme pomocou vplyvových čiar priečného roznosu (obr. 8).

Zaťaženie na 1 m' nosníka „a“:

$$g_{2k} = 0,07 \cdot (0,4296 + 2,4489 - 0,0043 - 0,3794) + 0,07 \cdot (0,4296 - 0,3794) + \\ + 5,50 \cdot (0,4296 - 0,3794) + 2,04 \cdot (2,4489 - 0,0043) + 2,65 \cdot (0,7832 - 0,3031) + \\ + 0,5 \cdot (-0,2785) + 0,3 \cdot (-0,0695) + 0,6 \cdot 0,7476 = 7,00 \text{ kN/m}$$

Zaťaženie na 1 m' nosníka „b“:

$$g_{2k} = 0,07 \cdot (0,2368 + 1,9947 + 0,2634) + 0,07 \cdot (0,2368 + 0,2634) + \\ + 5,50 \cdot (0,2368 + 0,2634) + 2,04 \cdot 1,9947 + 2,65 \cdot (0,4212 + 0,0590) + \\ + 0,5 \cdot 0,0678 + 0,3 \cdot 0,1430 + 0,6 \cdot 0,4103 = 8,63 \text{ kN/m}$$



Obrázok 8: Vyhodnotenie vplyvových čiar priečného roznosu zaťaženia  $g_2$  na nosníky „a“ a „b“ v priereze uprostred rozpätia

Podpora edukačných aktivít pre výchovu mladých odborníkov v oblasti mostného staviteľstva v cezhraničnom regióne (ITMS kód projektu 304010U647)

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

Charakteristické hodnoty vnútorných síl v rozhodujúcich rezoch nosníka „a“:

Moment uprostred rozpätia:  $M_{g2,k} = 1/8 \cdot g_{2,k} \cdot L^2 = 1/8 \cdot 7,00 \cdot 32^2 = 896,3 \text{ kNm}$

Šmyková sila nad podporou:  $V_{g2,k} = 1/2 \cdot g_{2,k} \cdot L = 1/2 \cdot 7,00 \cdot 32 = 112,0 \text{ kN}$

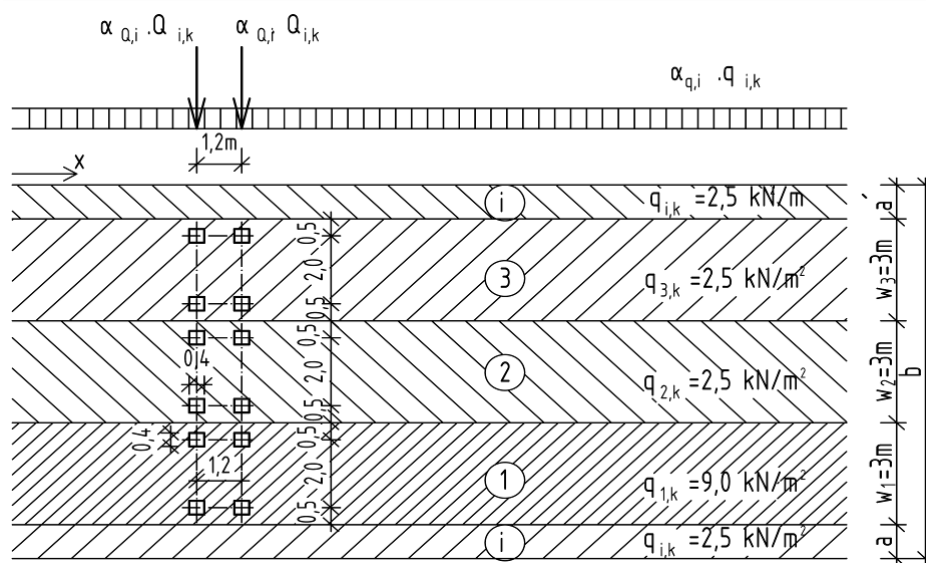
Charakteristické hodnoty vnútorných síl v rozhodujúcich rezoch nosníka „b“:

Moment uprostred rozpätia:  $M_{g2,k} = 1/8 \cdot g_{2,k} \cdot L^2 = 1/8 \cdot 8,63 \cdot 32^2 = 1104,1 \text{ kNm}$

Šmyková sila nad podporou:  $V_{g2,k} = 1/2 \cdot g_{2,k} \cdot L = 1/2 \cdot 8,63 \cdot 32 = 138,0 \text{ kN}$

**Premenné zaťaženie dopravou (Zaťažovací model 1)**

V zmysle STN EN 1991-2 sú zvislé účinky zaťaženia cestnou dopravou reprezentované pomocou štyroch zaťažovacích modelov. Z cvičných dôvodov pri návrhu nosnej konštrukcie zohľadníme len **zaťažovací model 1 (ZM1)**, pozostávajúci zo sústredeného zaťaženia od dvojnápravových vozidiel (TS alebo tzv. tandemový systém) s tiažou nápravy  $\alpha_Q \cdot Q_k$  a rovnomerného spojitého zaťaženia (UDL systém) s intenzitou  $\alpha_q \cdot q_k$ . ZM1 vyjadruje väčšinu účinkov normálnej prevádzky nákladných aj osobných vozidiel vrátane dynamických účinkov. (obr. 9).



Obrázok 9: Schéma zaťažovacieho modelu 1

Pre aplikáciu ZM1 je potrebné rozdeliť šírku vozovky  $w$  ohraničenú zvodidlami (alebo v prípade absencie zvodidiel obrubníkmi) na čo najväčší možný počet  $n_1$  zaťažovacích pruhov, ktorých šírka je definovaná v tab. 4. Poloha a číslovanie zaťažovacích pruhov na vozovke sa volí tak, aby účinky zaťažovacieho modelu boli čo najnepriaznivejšie. Pruh, v ktorom dané zaťaženie vyvoláva najnepriaznivejší účinok, je číslovaný ako

Podpora edukačných aktivít pre výchovu mladých odborníkov v oblasti mostného staviteľstva v cezhraničnom regióne (ITMS kód projektu 304010U647)

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

pruh číslo 1, pruh, v ktorom dané zaťaženie vyvoláva druhý najnepriaznivejší účinok, je číslovaný ako pruh číslo 2 atď. Na  $i$ -tom zaťažovacom pruhu sa použijú hodnoty zaťaženia  $\alpha_{Qi} \cdot Q_{ik}$  a  $\alpha_{qi} \cdot q_{ik}$  a na zvyšných plochách zaťažovacieho priestoru sa použije hodnota zaťaženia  $\alpha_{qr} \cdot q_{rk}$  (tab. 5 a tab. 6).

Tabuľka 4: Počet a šírka zaťažovacích pruhov

| Šírka vozovky<br>$w$                                                                                                         | Počet zaťažovacích pruhov | Šírka zaťažovacích pruhov $w_i$ | Šírka zvyšnej plochy           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| $w < 5,4 \text{ m}$                                                                                                          | $n_1 = 1$                 | 3,0 m                           | $w - 3,0 \text{ m}$            |
| $5,4 \text{ m} \leq w < 6,0 \text{ m}$                                                                                       | $n_1 = 2$                 | $w / 2$                         | 0                              |
| $6,0 \text{ m} \leq w$                                                                                                       | $n_1 = \text{Int}(w / 3)$ | 3,0 m                           | $w - n_1 \times 3,0 \text{ m}$ |
| PRÍKLAD: Pre vozovku so šírkou 11m $n_1 = \text{Int}(w / 3) = 3$ a šírka zvyšnej plochy je $11 - 3 \times 3 = 2,0\text{m}$ . |                           |                                 |                                |

Tabuľka 5: Základné hodnoty zaťaženia Zaťažovacieho modelu 1

| Poloha                                      | Tandemový systém                     | UDL systém                                         |
|---------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------|
|                                             | Nápravové zaťaženie<br>$Q_{ik}$ (kN) | $q_{ik}$ (alebo $q_{rk}$ )<br>(kN/m <sup>2</sup> ) |
| Zaťažovací pruh 1                           | 300                                  | 9,0                                                |
| Zaťažovací pruh 2                           | 200                                  | 2,5                                                |
| Zaťažovací pruh 3                           | 100                                  | 2,5                                                |
| Iné zaťažovacie pruhy                       | 0                                    | 2,5                                                |
| Zvyšná plocha zaťaž. priestoru ( $q_{rk}$ ) | 0                                    | 2,5                                                |

Tabuľka 6: Hodnoty kategorizačných súčiniteľov

| Kategória pozemnej komunikácie | $\alpha_{Q1}$ | $\alpha_{Q2}$ | $\alpha_{Q3}$ | $\alpha_{q1}$ | $\alpha_{qi}, i \geq 2$ | $\alpha_{qr}$ |
|--------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------------------|---------------|
| Diaľnice a rýchlostné cesty    | 0,90          | 0,90          | 0,90          | 0,90          | 1,00                    | 1,00          |
| Cesty I., II. a III. triedy    | 0,90          | 0,90          | 0,90          | 0,90          | 1,00                    | 1,00          |
| Miestne a účelové komunikácie  | 0,90          | 0,60          | 0,60          | 0,60          | 1,00                    | 1,00          |

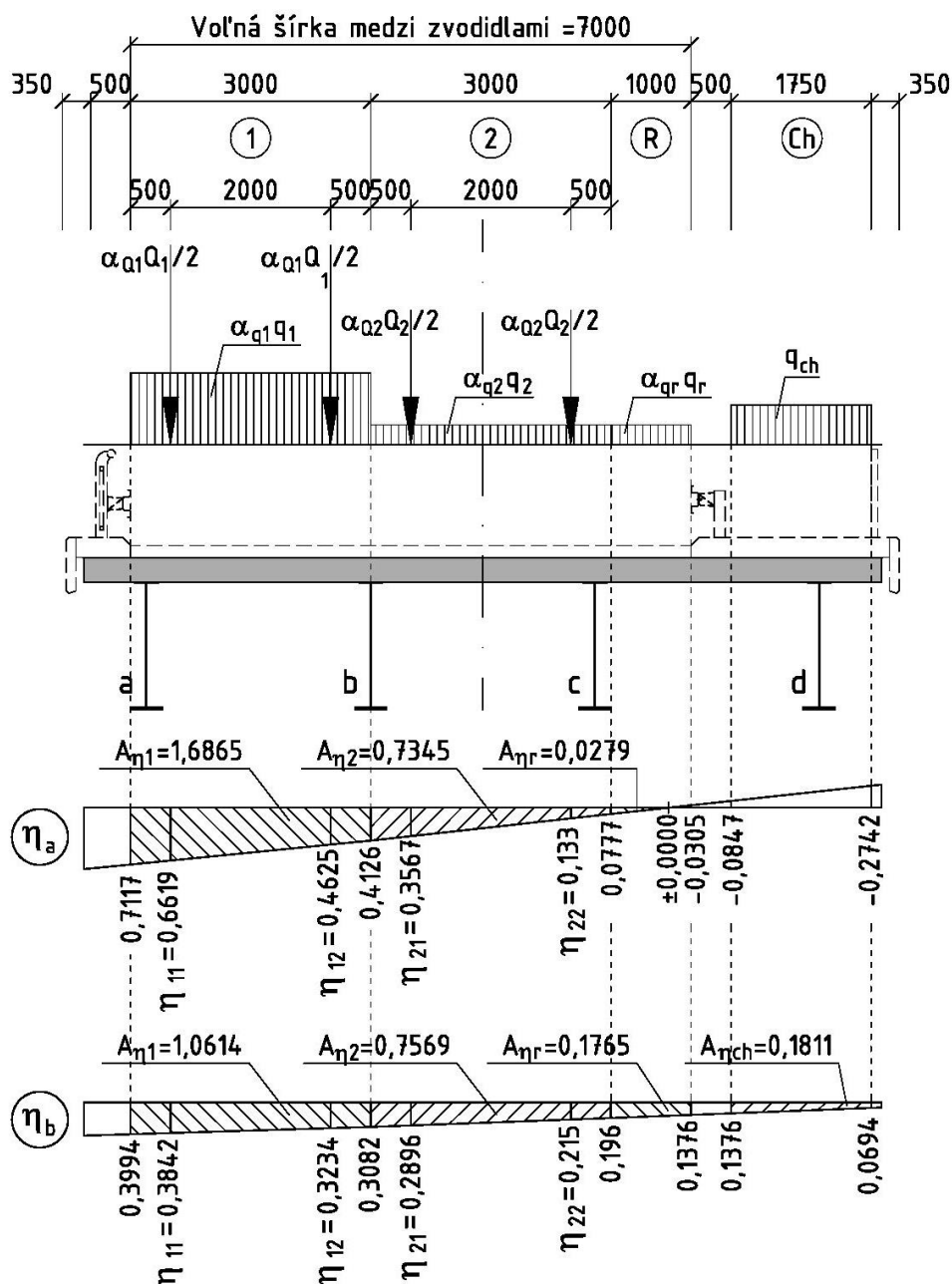
Zvislé účinky zaťaženia cestnou dopravou vytvárajú vo všeobecnosti spolu s horizontálnymi účinkami dopravného zaťaženia (**brzdne a rozjazdové sily**, príp. **odstredivé sily** na mostoch v oblúku) a so **zaťažením chodcami** pohybujúcimi sa po chodníku tzv. skupiny dopravného zaťaženia. Každé z týchto zoskupení, ktoré nie je možné kombinovať medzi sebou navzájom, sa uvažuje ako určujúce charakteristické viaczložkové premenné zaťaženie, ktoré sa kombinuje s ďalšími nedopravnými zaťažzeniami. V zmysle národnej prílohy k STN EN 1991-2/NA sa účinky brzdnych a rozjazdových síl uplatnia predovšetkým pri dimenzovaní ložísk a konštrukcií spodnej

Podpora edukačných aktivít pre výchovu mladých odborníkov v oblasti mostného staviteľstva v cezhraničnom regióne (ITMS kód projektu 304010U647)

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



stavby, zatiaľ čo pri dimenzovaní nosnej konštrukcie je ich príspevok zanedbateľný a v skupine dopravných zaťažení so ZM1 ako dominantným zvislým účinkom ich nie je potrebné uvažovať. Zaťaženie chodcami na chodníku sa má v rámci skupiny dopravných zaťažení so ZM1 zohľadniť formou rovnomerného spojitého zaťaženia o intenzite  $3,0 \text{ kN/m}^2$ .



Obrázok 10: Vyhodnotenie vplyvových čiar priečného roznosu ZM1 na nosníky „a“ a „b“



Pre určenie polohy a očíslovania pruhov využijeme vplyvové čiary priečného roznosu na jednotlivé nosníky. Z ich tvaru je zrejmé, že pre nosník „a“ aj „b“ budú poloha aj číslovanie pruhov rovnaké. Všetky zaťaženia sú uvažované v najnepriaznivejšej polohe vzhľadom na príslušnú vplyvovú čiaru. Odľahčujúce účinky sa neberú do úvahy, pričom však súčasne platí, že dvojnápravové vozidlá sa majú uvažovať len ako kompletne. Usporiadanie ZM1 spolu so zaťažením chodcami na chodníku v priečnom smere je znázornené na obr. 10.

#### Zaťaženie na nosník „a“:

- od tandemového systému:

$$F_{TS} = \alpha_{Q1} Q_1 / 2 \cdot (\eta_{11} + \eta_{12}) + \alpha_{Q2} Q_2 / 2 \cdot (\eta_{21} + \eta_{22}) =$$

$$= 0,9 \cdot 300 / 2 \cdot (0,6619 + 0,4625) + 0,9 \cdot 200 / 2 \cdot (0,3567 + 0,133) = 195,87 \text{ kN}$$

- od UDL systému:

$$p_{UDL} = \alpha_{q1} q_1 \cdot A_{\eta1} + \alpha_{q2} q_2 \cdot A_{\eta2} + \alpha_{qr} q_r \cdot A_{\eta r} =$$

$$= 0,9 \cdot 9,0 \cdot 1,6865 + 1,0 \cdot 2,5 \cdot 0,7345 + 1,0 \cdot 2,5 \cdot 0,0279 = 15,57 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

- od zaťaženia chodcami na chodníku:

$$p_{ch} = q_{ch} \cdot A_{\eta ch} = 3,0 \cdot 0,000 = 0,00 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1} \text{ (odľahčujúci účinok sa neuvažuje)}$$

#### Zaťaženie na nosník „b“:

- od tandemového systému:

$$F_{TS} = \alpha_{Q1} Q_1 / 2 \cdot (\eta_{11} + \eta_{12}) + \alpha_{Q2} Q_2 / 2 \cdot (\eta_{21} + \eta_{22}) =$$

$$= 0,9 \cdot 300 / 2 \cdot (0,3842 + 0,3234) + 0,9 \cdot 200 / 2 \cdot (0,2896 + 0,215) = 140,94 \text{ kN}$$

- od UDL systému:

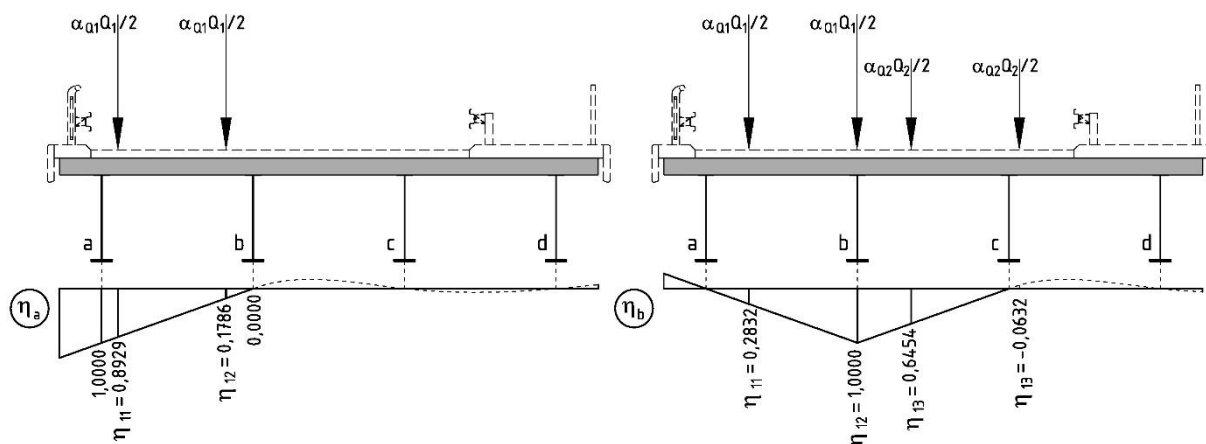
$$p_{UDL} = \alpha_{q1} q_1 \cdot A_{\eta1} + \alpha_{q2} q_2 \cdot A_{\eta2} + \alpha_{qr} q_r \cdot A_{\eta r} =$$

$$= 0,9 \cdot 9,0 \cdot 1,0614 + 1,0 \cdot 2,5 \cdot 0,7569 + 1,0 \cdot 2,5 \cdot 0,1765 = 10,93 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

- od zaťaženia chodcami na chodníku:

$$p_{ch} = q_{ch} \cdot A_{\eta ch} = 3,0 \cdot 0,1811 = 0,54 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

Uvedené vplyvové čiary na obr. 10 a z nich vyjadrené hodnoty zaťaženia na jednotlivé nosníky platia pre prierez uprostred rozpätia. Pričný roznos v nadpoporovej oblasti, kde sú oceľové nosníky podporené ložiskami, lepšie vystihujú vplyvové čiary uvedené na obr. 11.



Obrázok 11: Vplyvové čiary priečného roznosu nad podporou

Tieto vplyvové čiary priečného roznosu využijeme na vyjadrenie účinkov kolosových síl tandemového systému:

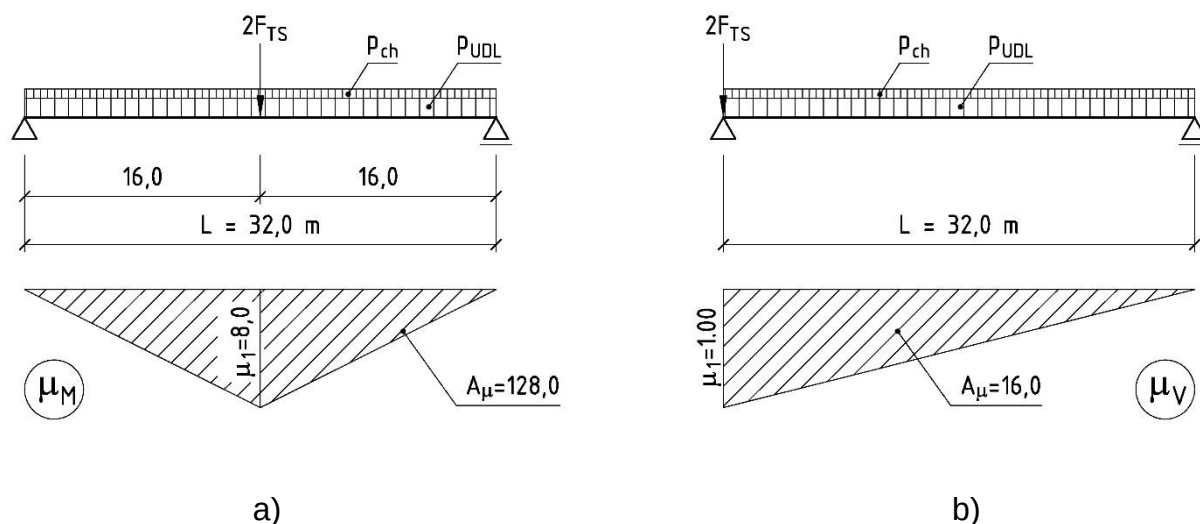
Zaťaženie na nosník „a“:

$$F_{TS} = 0,9 \cdot 300/2 \cdot (0,8929 + 0,1786) = 144,65 \text{ kN}$$

Zaťaženie na nosník „b“:

$$F_{TS} = 0,9 \cdot 300/2 \cdot (0,2832 + 1,0) + 0,9 \cdot 200 \cdot (0,6454 - 0,0632) = 225,65 \text{ kN}$$

Pre výpočet vnútorných síl využijeme zjednodušenie v zmysle čl. 4.3.2(6) v STN EN 1991-2, podľa ktorého je možné pre rozpätia polí väčšie ako 10 m celkové účinky vypočítať alternatívne nahradením každého dvojnápravového vozidla v každom pruhu sústredeným zaťažením od jednonápravového vozidla s výslednou tiažou na nápravu rovnou tiaži dvoch náprav pôvodného vozidla. V našom prípade to znamená, že namiesto dvoch zaťažovacích síl  $F_{TS}$  z priečného roznosu použijeme v pozdĺžnom smere jednu silu o veľkosti  $2F_{TS}$ . Polohu zaťaženia v pozdĺžnom smere stanovíme na základe vplyvových čiar príslušných vnútorných síl tak, aby bol dosiahnutý najnepriaznivejší (maximálny) účinok zaťaženia (obr. 12).



Obrázok 12: Vplyvové čiary a) ohybového momentu  $M_y$  a b) šmykovej sily  $V_z$  na spriahnutých nosníkoch

Charakteristické hodnoty vnútorných síl od dopravných zaťažení na nosníku „a“:

$$M_{ZM1,k} = M_{TS,k} + M_{UDL,k} = 2F_{TS} \cdot \mu_1 + p_{UDL} \cdot A_{\mu} = 2 \cdot 195,87 \cdot 8,0 + 15,57 \cdot 128,0 =$$

$$= 3\,133,92 + 1\,992,96 = 5\,126,88 \text{ kNm}$$

$$M_{ch,k} = p_{ch} \cdot A_{\mu} = 0,00 \text{ kNm}$$

$$V_{ZM1,k} = V_{TS,k} + V_{UDL,k} = 2F_{TS} \cdot \mu_1 + p_{UDL} \cdot A_{\mu} = 2 \cdot 144,65 \cdot 1,0 + 15,57 \cdot 16,0 =$$

$$= 289,3 + 249,12 = 538,40 \text{ kN}$$

$$V_{ch,k} = p_{ch} \cdot A_{\mu} = 0,00 \text{ kN}$$

Charakteristické hodnoty vnútorných síl od dopravných zaťažení na nosníku „b“:

$$M_{ZM1,k} = 2 \cdot 140,94 \cdot 8,0 + 10,93 \cdot 128,0 = 2\,255,04 + 1\,399,04 = 3\,654,08 \text{ kNm}$$

$$M_{ch,k} = 0,54 \cdot 128,0 = 69,12 \text{ kNm}$$

$$V_{ZM1,k} = 2 \cdot 225,65 \cdot 1,0 + 10,93 \cdot 16,0 = 451,30 + 174,88 = 626,18 \text{ kN}$$

$$V_{ch,k} = 0,54 \cdot 16,0 = 8,64 \text{ kN}$$

Zaťažovacie systémy (ZM1 – ZM4, vodorovné sily a zaťaženia chodcami na chodníkoch) sa v zmysle STN EN 1991-2 majú uvažovať ako súčasť tzv. **zaťažovacích skupín**. Každé z týchto zoskupení, ktoré nie je možné kombinovať medzi sebou navzájom, sa považuje za jedno viacložkové charakteristické zaťaženie

Podpora edukačných aktivít pre výchovu mladých odborníkov v oblasti mostného staviteľstva v cezhraničnom regióne (ITMS kód projektu 304010U647)

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

pre kombináciu s inými druhmi nedopravného zaťaženia. V našom prípade vytvára zaťažovací model 1, pozostávajúci z tandemového systému a UDL systému, spolu s redukovanou hodnotou zaťaženia chodcami na chodníkoch zaťažovaciu skupinu označenú ako "sk1a".

Charakteristické hodnoty vnútorných síl od zaťažovacej skupiny „sk1a“ na nosníku „a“:

$$M_{sk1a,k} = M_{TS,k} + M_{UDL,k} + M_{ch,k} = 3\,133,92 + 1\,992,96 + 0,00 = 5\,126,9 \text{ kNm}$$

$$V_{sk1a,k} = V_{TS,k} + V_{UDL,k} + V_{ch,k} = 289,30 + 249,12 + 0,00 = 538,40 \text{ kN}$$

Charakteristické hodnoty vnútorných síl od zaťažovacej skupiny „sk1a“ na nosníku „b“:

$$M_{sk1a,k} = M_{TS,k} + M_{UDL,k} + M_{ch,k} = 2\,255,04 + 1\,399,04 + 69,12 = 3\,723,2 \text{ kNm}$$

$$V_{sk1a,k} = V_{TS,k} + V_{UDL,k} + V_{ch,k} = 451,30 + 174,88 + 8,64 = 634,82 \text{ kN}$$

### Charakteristická kombinácia zaťaženi

Vnútorné sily na krajnom nosníku „a“:

$$M_{Ek} = M_{g1,k} + M_{g2,k} + M_{sk1a,k} = 2488,3 + 896,3 + 5126,9 = 8511,5 \text{ kNm}$$

$$V_{Ek} = V_{g1,k} + V_{g2,k} + V_{sk1a,k} = 311,0 + 112,0 + 538,40 = 961,4 \text{ kN}$$

Vnútorné sily na vnútornom nosníku „b“:

$$M_{Ek} = M_{g1,k} + M_{g2,k} + M_{sk1a,k} = 3\,063,0 + 1104,1 + 3\,723,2 = 7890,3 \text{ kNm}$$

$$V_{Ek} = V_{g1,k} + V_{g2,k} + V_{sk1a,k} = 382,9 + 138,0 + 634,82 = 1155,7 \text{ kN}$$

### Návrhová kombinácia zaťaženi

Vnútorné sily na krajnom nosníku „a“:

$$M_{Ed} = \bar{\gamma}_G \cdot M_{g1,k} + \bar{\gamma}_G \cdot M_{g2,k} + \gamma_Q \cdot M_{sk1a,k} = 1,331 \cdot 2488,3 + 1,35 \cdot 896,3 + 1,35 \cdot 5126,9 = 11443,2 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = \bar{\gamma}_G \cdot V_{g1,k} + \bar{\gamma}_G \cdot V_{g2,k} + \gamma_Q \cdot V_{sk1a,k} = 1,331 \cdot 311,0 + 1,35 \cdot 112,0 + 1,35 \cdot 538,4 = 1292,0 \text{ kN}$$

Vnútorné sily na vnútornom nosníku „b“:

$$M_{Ed} = 1,335 \cdot 3\,063,0 + 1,35 \cdot 1104,1 + 1,35 \cdot 3\,723,2 = 10\,606,0 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 1,335 \cdot 382,9 + 1,35 \cdot 138,0 + 1,35 \cdot 634,82 = 1554,5 \text{ kN}$$