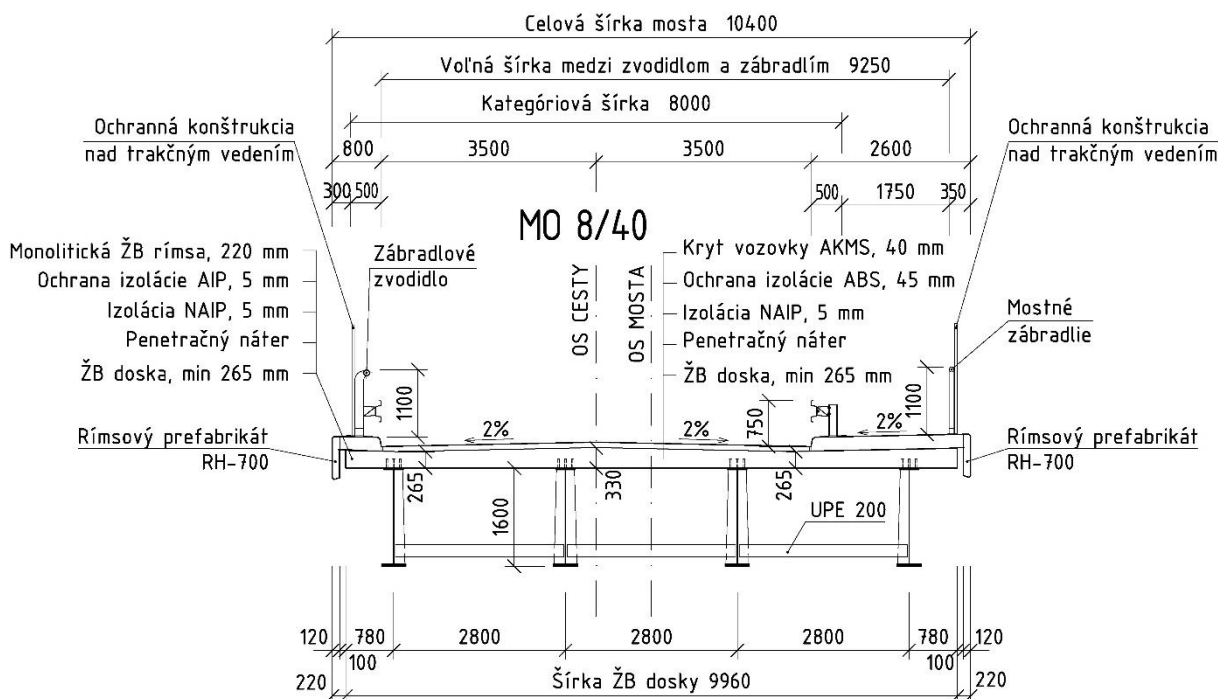


GLOBÁLNA ANALÝZA SPRIAHNUTÉHO OCEĽOBETÓNOVÉHO CESTNÉHO MOSTA POMOCOU PRIESTOROVÉHO MODELU

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 ocel'obetónového mosta uprostred rozpätia

Výpočtový model

Pre lepšie vystihnutie priestorového pôsobenia nosnej konštrukcie mosta je potrebné vytvoriť priestorový výpočtový model vo vhodnom softvérovom prostredí. Na tento účel je dnes k dispozícii viacero špecializovaných výpočtových softvérov, obvykle založených na využití metódy konečných prvkov. Miera vystihnutia skutočného správania sa spriahnutej oceľobetónovej nosnej konštrukcie výpočtovým modelom závisí predovšetkým od spôsobu modelovania jednotlivých častí konštrukcie s využitím prútových, plošných alebo objemových konečných prvkov, prípadne ich vhodnej kombinácie. Z tohto hľadiska sa pre potreby bežného návrhu javí ako optimálny výpočtový model aproximujúci ŽB dosku plošným doskovým prvkom, do ktorého sú ako rebrá vložené oceľové nosníky reprezentované prútovými prvkami.

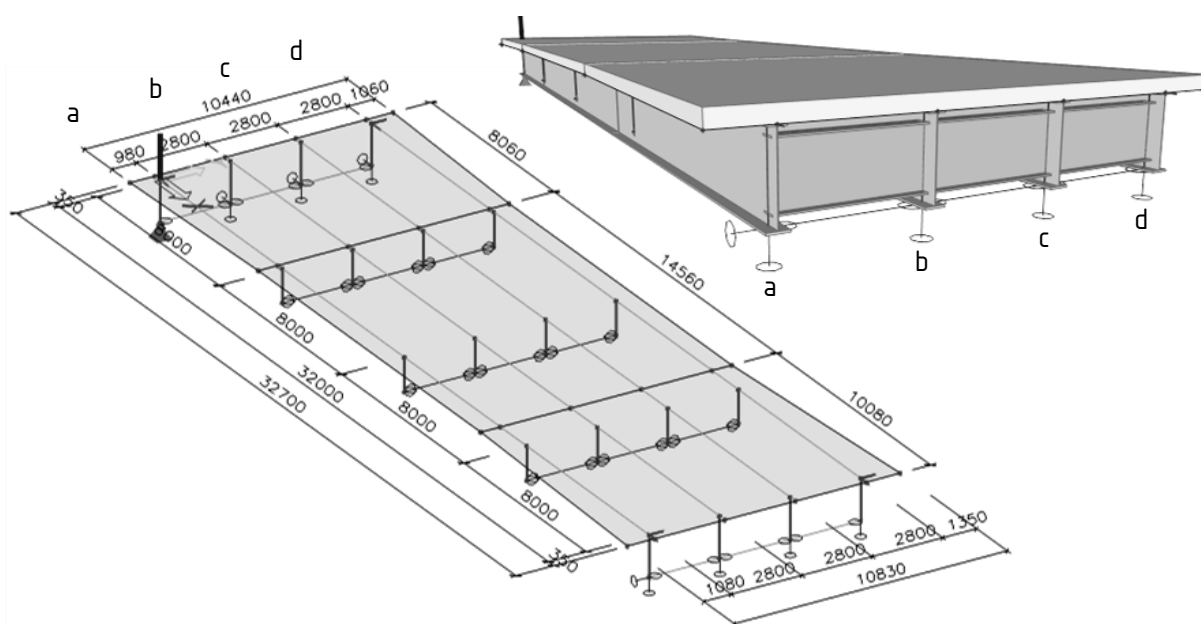
Podpora edukačných aktivít pre výchovu mladých odborníkov v oblasti mostného staviteľstva v cezhraničnom regióne (ITMS kód projektu 304010U647)

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

Ostatné konštrukčné prvky (pričné nadpodperové a medzipodperové stužidlá) sú modelované taktiež prútovými prvkami.

Tento typ výpočtového modelu využijeme aj v našom prípade. Spojenie dosky s rebrami je modelované ako tuhé, čím je zabezpečené plné spolupôsobenie oboch prvkov. Spolupôsobiacia šírka dosky je pre vyhodnocovanie vnútorných síl uvažovaná z vnútornej strany ako polovičná hodnota vzdialeností nosníkov, resp. z vonkajšej strany krajných oceľových nosníkov ako šírka konzolových častí. Geometrická schéma výpočtového modelu nosnej konštrukcie mostu ako aj jeho vizualizácia sú znázornené na obr. 2. Postup montáže bez dočasného podoprenia oceľových nosníkov v poli počas betónovania dosky zohľadníme použitím dvoch parciálnych výpočtových modelov:

- model I - 1. fáza: - nízka (nulová) tuhosť čerstvého betónu je zohľadnená pomocou nízkeho modulu pružnosti priradeného materiálu ŽB dosky ($E_{cm} = 1 \text{ kPa}$);
- model II - 2. fáza: - tuhosť vytvrdnutého betónu je zohľadnená použitím štandardného modulu pružnosti priradeného materiálu ŽB dosky ($E_{cm} = 34\,000 \text{ MPa}$).



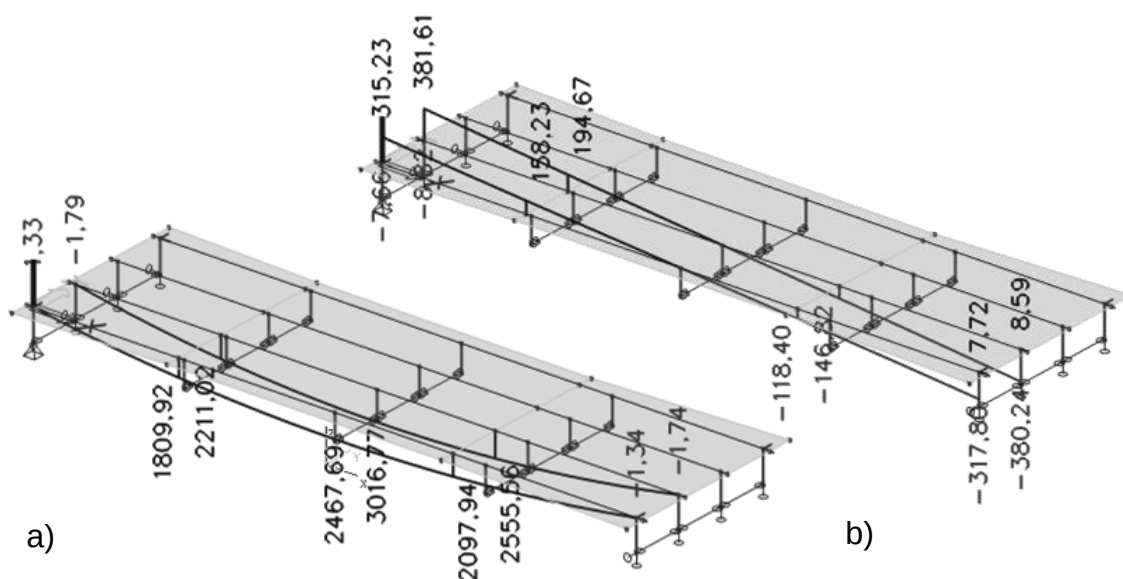
Obrázok 2: Geometrická schéma a vizualizácia výpočtového modelu pre globálnu analýzu spriahnutej ocelobetónovej konštrukcie

1. časť stálych zaťažení (g_1)

Vnútorne sily od 1. časti stálych zaťažení stanovíme pomocou výpočtového modelu I. Stále zaťaženia pôsobiace počas 1. fázy montáže sú generované výpočtovým programom na základe objemových hmotností jednotlivých materiálov:

- objemová hmotnosť betónu s výstužou: $2\,500\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
- objemová hmotnosť oceľových častí (+2% na zvary, skrutky, výstuhy): $8\,000\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

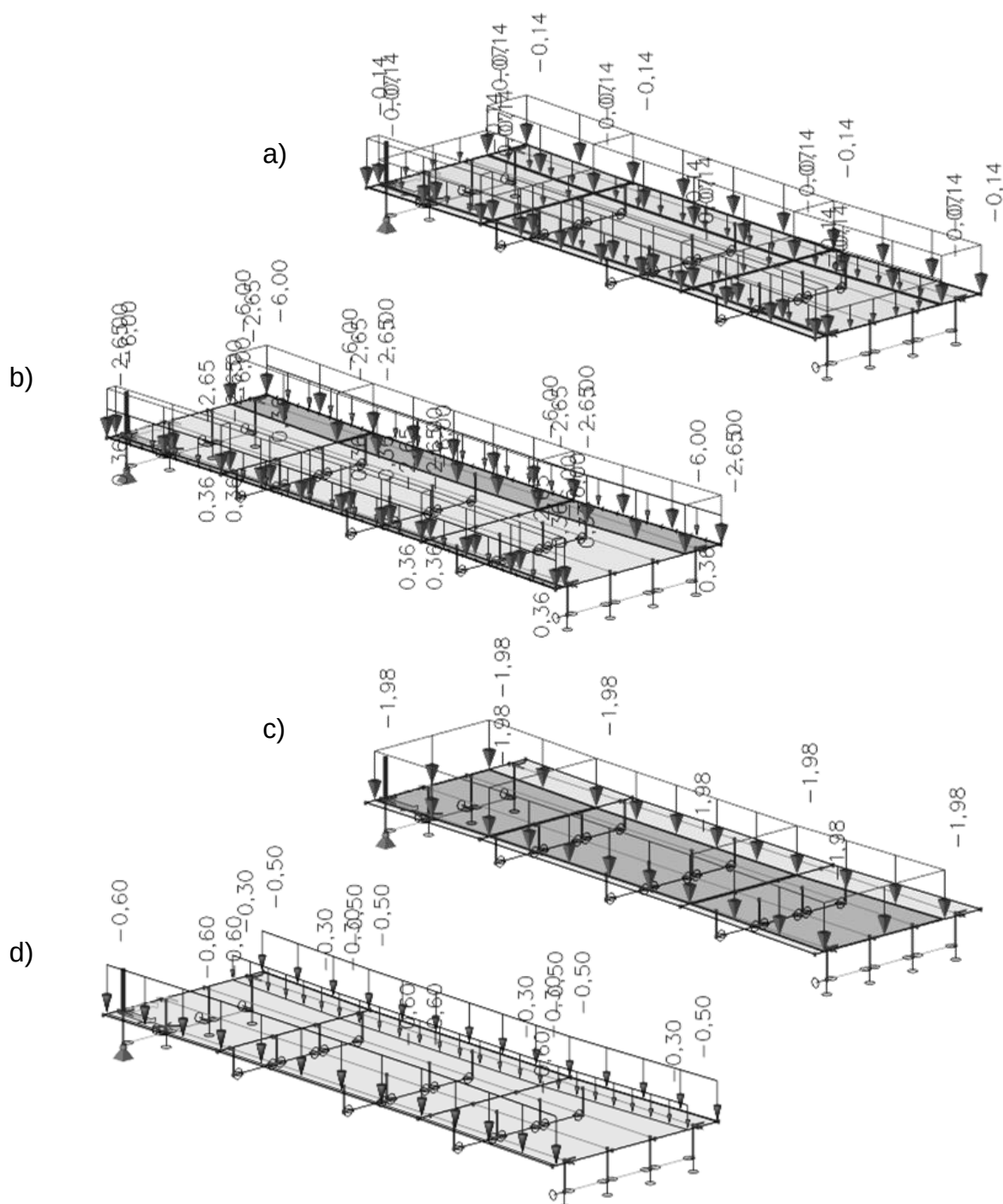
Priebehy vnútorných síl sú znázornené na obrázku 3.



Obrázok 3: Vnútorne sily na nosníkoch „a“ a „b“ od 1. časti stálych zaťažení:
a) ohybové momenty $M_{y,k}$ (kNm), b) priečne sily $V_{z,k}$ (kN)

2. časť stálych zaťažení (g_2)

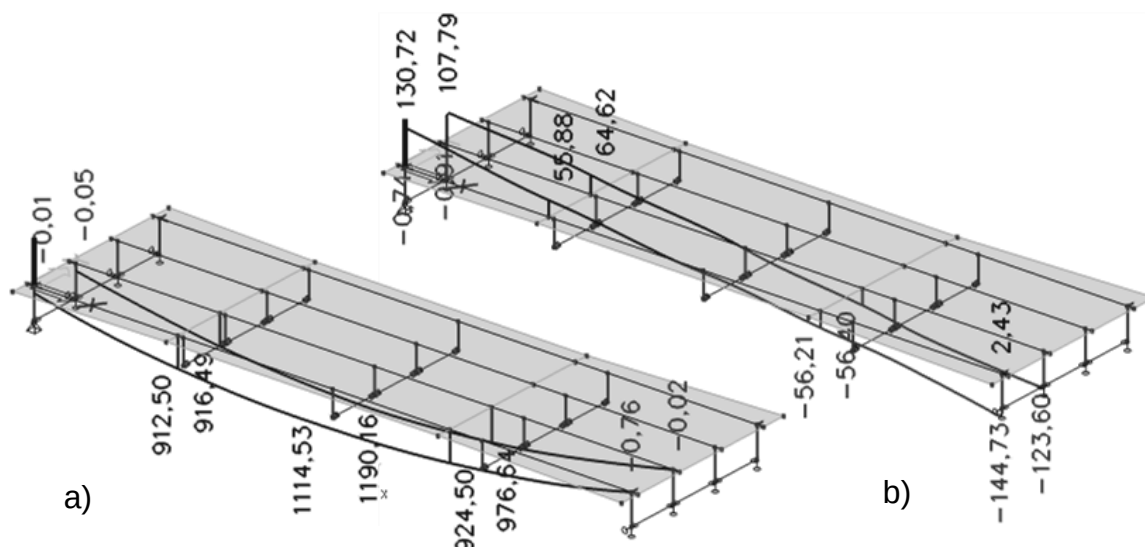
Vnútorne sily od druhej časti stálych zaťažení stanovíme pomocou výpočtového modelu II. Zaťaženia (pozri zjednodušenú globálnu analýzu) sú v modeli uvažované ako plošné, resp. líniové zaťaženia pôsobiace na ŽB dosku (obr. 4). Priebehy vnútorných síl sú znázornené na obr. 5.



Obrázok 4: Umiestnenie 2. časti stálych zaťažení vo výpočtovom modeli
a) tiaž izolácie, b) tiaž ríms, c) tiaž vozovky, d) tiaž zábradlí a zvodidiel

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 5: Vnútorne sily na nosníkoch „a“ a „b“ od 2. častí stálych zaťažení:
a) ohybové momenty $M_{y,k}$ (kNm), b) priečne sily $V_{z,k}$ (kN)

Premenné zaťaženia dopravou (Zaťažovací model 1)

Rozdelenie dopravného priestoru na zaťažovacie pruhy ako aj celková konfigurácia ZM1 je opísaná pri zjednodušenej analýze nosnej konštrukcie mosta. Nahradenie dvojnápravových vozidiel v oboch zaťažovacích pruhoch za jednonápravové vozidlá s rovnakou celkovou tiažou vykonáme priamo v modeli. Nápravové sily týchto jednonápravových vozidiel resp. rovnomerné spojité zaťaženia v jednotlivých pruhoch ako aj príslušné kategorizačné súčinitele sú uvažované nasledovne:

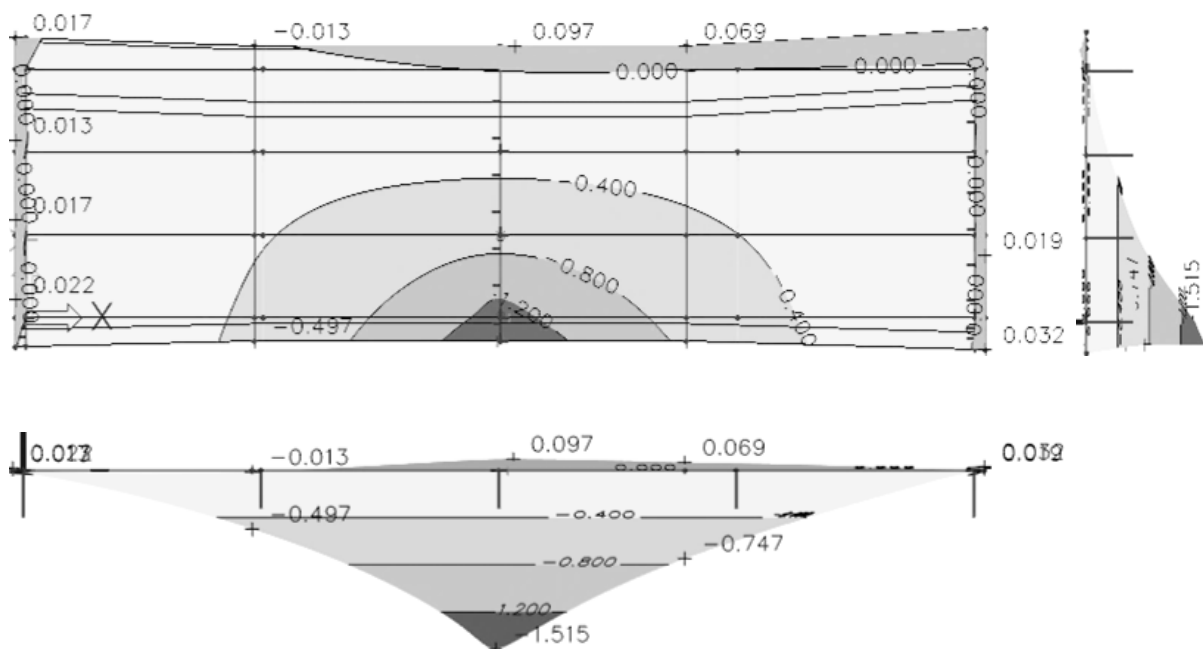
$$\begin{aligned}
 Q_{1k} &= 600 \text{ kN} & \alpha_{Q1} &= 0,9 & \Rightarrow & \alpha_{Q1} \cdot Q_{1k} = 540 \text{ kN} \\
 q_{1k} &= 9,0 \text{ kN/m}^2 & \alpha_{q1} &= 0,9 & \Rightarrow & \alpha_{q1} \cdot q_{1k} = 8,10 \text{ kN/m}^2 \\
 Q_{2k} &= 400 \text{ kN} & \alpha_{Q2} &= 0,9 & \Rightarrow & \alpha_{Q2} \cdot Q_{2k} = 360 \text{ kN} \\
 q_{2k} &= 2,5 \text{ kN/m}^2 & \alpha_{q2} &= 1,0 & \Rightarrow & \alpha_{q2} \cdot q_{2k} = 2,5 \text{ kN/m}^2 \\
 q_{rk} &= 2,5 \text{ kN/m}^2 & \alpha_{qr} &= 1,0 & \Rightarrow & \alpha_{qr} \cdot q_{rk} = 2,5 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Kolesové sily ako aj rovnomerné spojité zaťaženia v jednotlivých zaťažovacích pruhoch sú uvažované vždy v najúčinnejšej polohe vzhľadom na vyšetrovanú vnútornú silu podľa príslušnej vplyvovej plochy, získanej pomocou priestorového výpočtového modelu. Vplyvové plochy predstavujú v podstate kombináciu vplyvovej čiary roznosu zaťaženia v priečnom smere a vplyvovej čiary príslušnej vnútornej sily vo vyšetrovanom priereze v pozdĺžnom smere (pozri zjednodušenú globálnu analýzu). Tvary vplyvových plôch ohybových momentov uprostred rozpätia ako aj priečných síl nad podporou pre oba vyšetrované spriahnuté nosníky „a“ a „b“, získané pomocou výpočtového modelu sú znázornené na obr. 6 až obr. 9. Zodpovedajúce uvažované

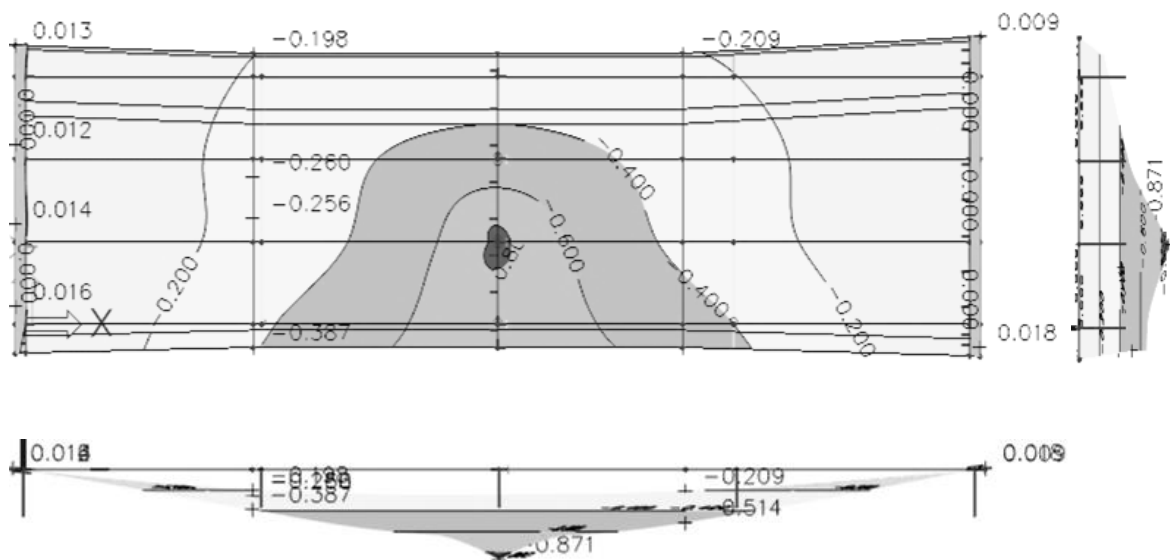
Podpora edukačných aktivít pre výchovu mladých odborníkov v oblasti mostného staviteľstva v cezhraničnom regióne (ITMS kód projektu 304010U647)

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

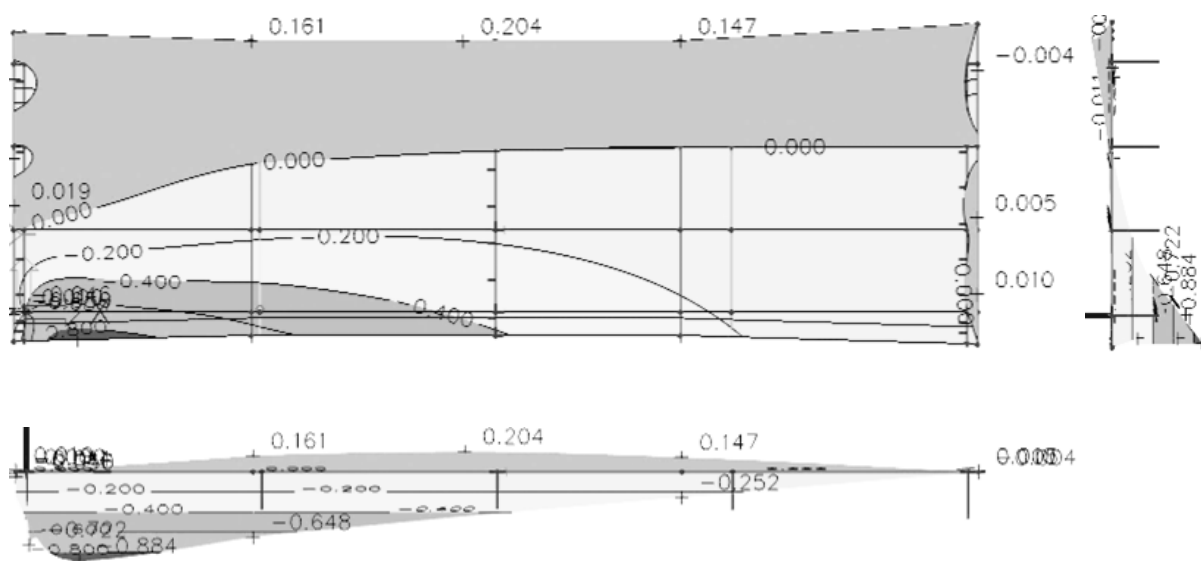
polohy zaťažovacieho modelu 1 na nosnej konštrukcii sú znázornené na obrázku 10. V prípade priečnej sily na nosníku „b“ bol zaťažovací pruh č. 1 posunutý podľa tvaru vplyvovej plochy smerom k osi mosta tak, aby kolosová sila bola presne nad týmto nosníkom. Priebehy vnútorných síl od týchto zaťažení sú znázornené na obr. 11.



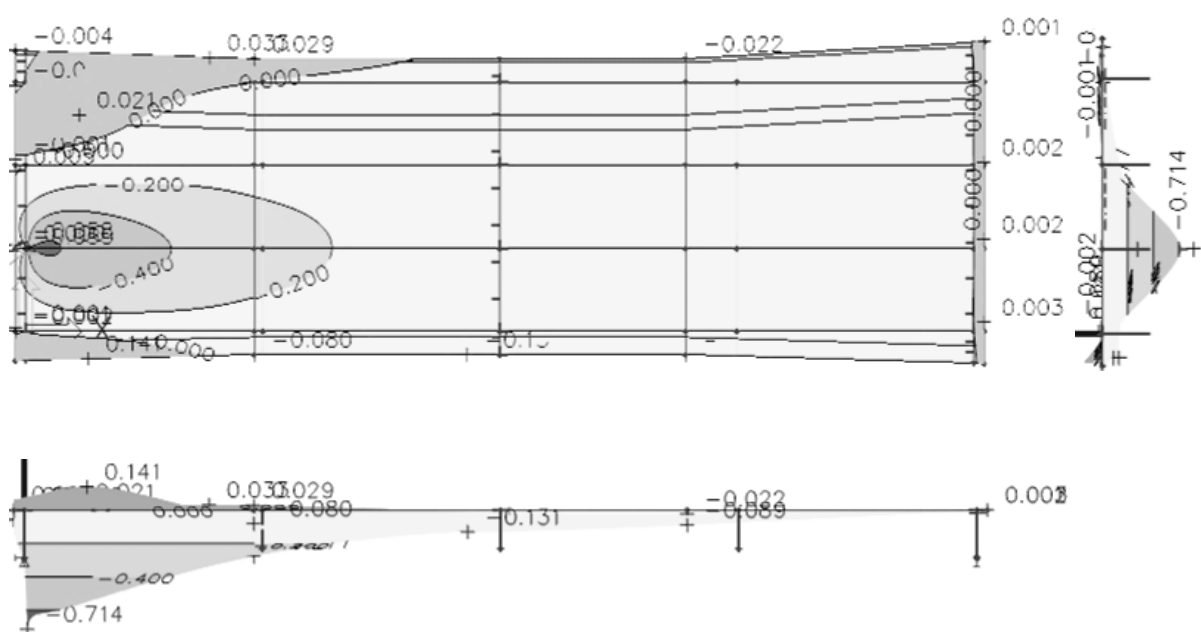
Obrázok 6: Vplyvová plocha ohybového momentu M_y na krajnom nosníku „a“ uprostred



Obrázok 7: Vplyvová plocha ohybového momentu M_y na vnútornom nosníku „b“ uprostred



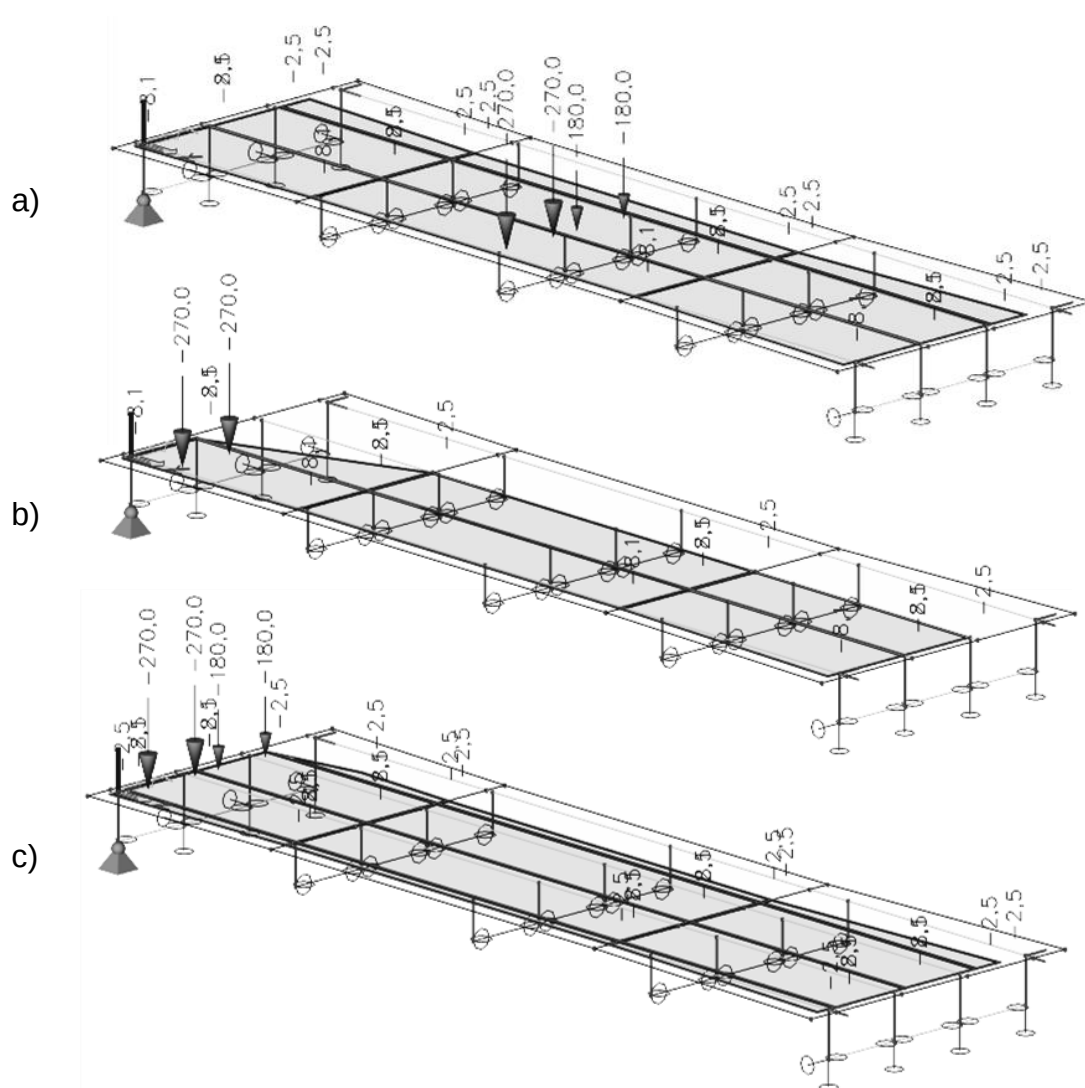
Obrázok 8: Vplyvová plocha priečnej sily V_z na krajnom nosníku „a“ nad podporou



Obrázok 9: Vplyvová plocha priečnej sily V_z na vnútornom nosníku „b“ nad podporou

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

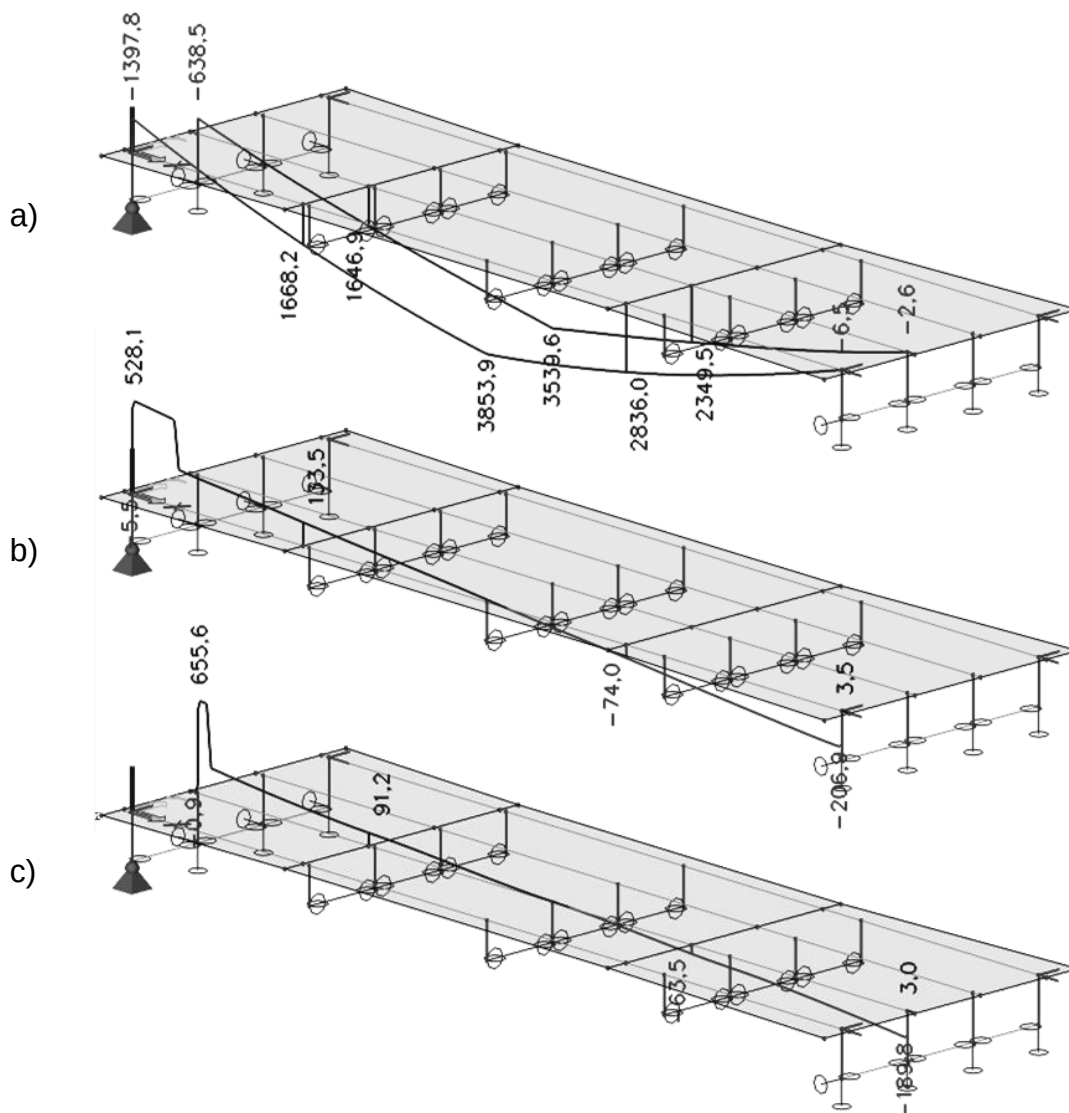
Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja



Obrázok 10: Poloha ZM1 pre a) $\max M_y$ uprostred rozpätia na nosníkoch „a“ aj „b“, b) $\max V_z$ nad podporou na nosníku „a“, c) $\max V_z$ nad podporou na nosníku „b“

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 11: Vnútorne sily od ZM1: a) ohybové momenty $M_{y,k}$ (kNm) na nosníkoch „a“ a „b“, b) priečne sily $V_{z,k}$ (kN) na nosníku „a“, c) priečne sily $V_{z,k}$ (kN) na nosníku „b“

Priebeh ohybových momentov na obr. 11a) je spôsobený nesymetrickým zvislým zaťažením (v priečnom smere), v dôsledku ktorého sa najviac zaťažený krajný spriahnutý nosník „a“ prehýba viac ako ostatné nosníky „b“, „c“ a „d“, resp. vykazuje väčšie pootočené nadpodporového prierezu. Väčšiemu natočeniu nadpodporového prierezu nosníka „a“ však čiastočne bránia susedné menej zaťažené (a teda aj menej sa prehýbajúce) nosníky, ktoré sú s nosníkom „a“ spojené železobetónovou doskou. Tieto zvyšné nosníky vyvodzujú v nadpodporovom priereze nosníka „a“ v úrovni ŽB dosky „vrtnú“ silu pôsobiacu proti smeru jeho pootočeniu, ktorá vyvolá v mieste pevného podopretia vodorovnú pozdĺžnu reakciu. Obe sily pôsobiace na ramene zodpovedajúcom výške spriahnutého nosníka následne vyvolajú v nadpodporovom priereze nosníka „a“ záporný ohybový moment, ktorý znižuje ohybové namáhanie stredného prierezu. Aj takýmto spôsobom sa prejavuje priaznivý vplyv spolupôsobenia

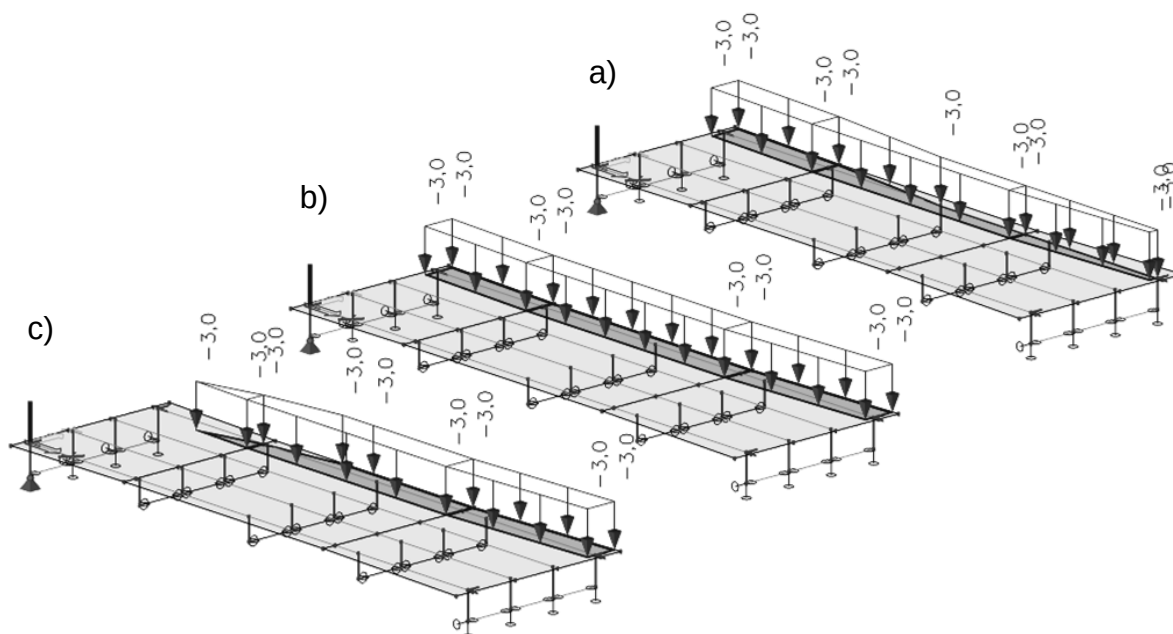
Podpora edukačných aktivít pre výchovu mladých odborníkov v oblasti mostného staviteľstva v cezhraničnom regióne (ITMS kód projektu 304010U647)

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

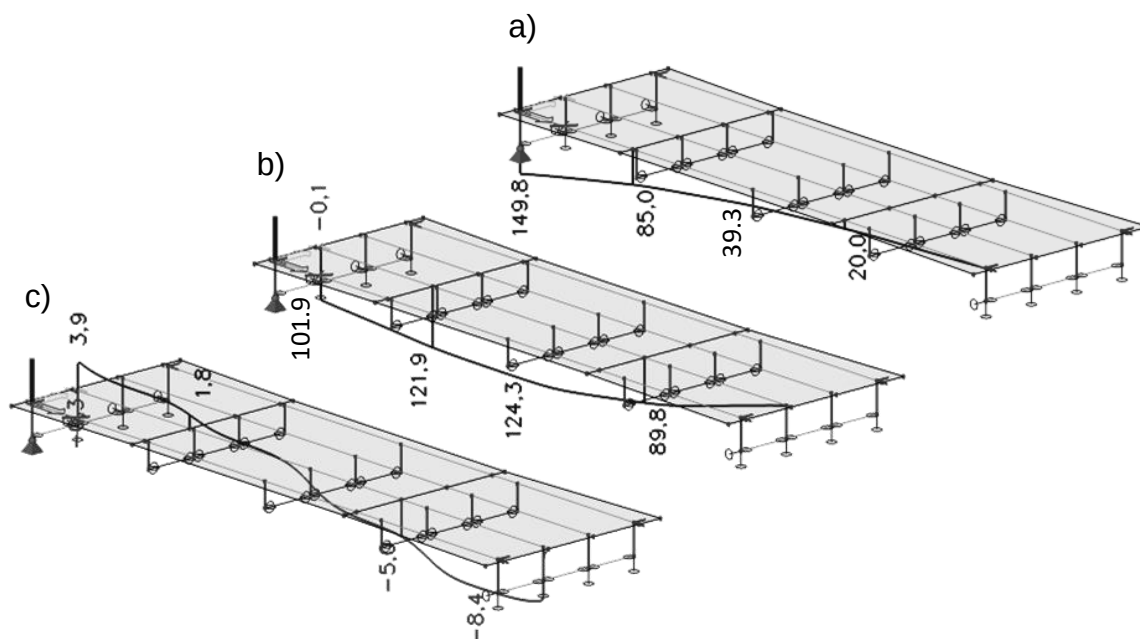
jednotlivých spriahnutých nosníkov. Na druhej strane však záporný moment vnáša do ŽB dosky pozdĺžne ťahové namáhanie, na ktoré je potrebné pamätať pri jej dimenzovaní. Vodorovná pozdĺžna reakcia zase zvyšuje návrhové účinky zaťaženia, ktoré sa uplatnia pri dimenzovaní ložísk.

Zaťaženie chodcami na chodníku

Zaťaženie chodcami je uvažované ako voľné plošné zaťaženie intenzity $3,0 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$, pôsobiace na dosku vo vnútri dopravného priestoru chodníkového pásu šírky $1,75 \text{ m}$ medzi zvodidlom a zábradlím. Poloha zaťaženia v priečnom aj pozdĺžnom smere (obr. 12) je uvažovaná podľa príslušných vplyvových plôch. V prípade priečnej sily na nosníku „a“ sa celý chodník nachádza v odľahčujúcej časti príslušnej vplyvovej plochy, preto sa s týmto zaťažením pri stanovení maximálnej priečnej sily nad podporou na nosníku „a“ neuvažuje. Priebehy vnútorných síl na oboch sledovaných nosníkoch sú znázornené na obr. 13.



Obrázok 12: Poloha zaťaženia chodcami pre: a) $\max M_y$ uprostred rozpätia na nosníku „a“, b) $\max M_y$ uprostred rozpätia na nosníku „b“, c) $\max V_z$ nad podporou na nosníku „b“



Obrázok 13: Vnútorne sily od zaťaženia chodcami: a) ohybové momenty $M_{y,k}$ (kNm) na nosníku „a“, b) ohybové momenty $M_{y,k}$ (kNm) na nosníku „b“, c) priečne sily $V_{z,k}$ (kN) na nosníku „b“

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

$$M_{sk1a,k} = M_{ZM1,k} + M_{ch,k} = 3\,853,9 + 39,3 = 3\,893,2 \text{ kNm}$$

$$V_{sk1a,k} = V_{ZM1,k} + V_{ch,k} = 528,1 + 0,00 = 528,1 \text{ kN}$$

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

$$M_{sk1a,k} = M_{ZM1,k} + M_{ch,k} = 3\,539,6 + 124,3 = 3\,663,9 \text{ kNm}$$

$$V_{sk1a,k} = V_{ZM1,k} + V_{ch,k} = 655,6 + 3,9 = 659,5 \text{ kN}$$

Charakteristická kombinácia zaťažení

Vnútorne sily na krajnom nosníku „a“:

$$M_{Ek} = M_{g1,k} + M_{g2,k} + M_{sk1a,k} = 2\,467,7 + 1\,114,5 + 3\,893,2 = 7\,475,4 \text{ kNm}$$

$$V_{Ek} = V_{g1,k} + V_{g2,k} + V_{sk1a,k} = 315,2 + 130,7 + 528,1 = 974,0 \text{ kN}$$

Vnútorne sily na vnútornom nosníku „b“:

$$M_{Ek} = M_{g1,k} + M_{g2,k} + M_{sk1a,k} = 3\,016,8 + 1\,190,2 + 3\,663,9 = 7\,870,9 \text{ kNm}$$

$$V_{Ek} = V_{g1,k} + V_{g2,k} + V_{sk1a,k} = 381,6 + 107,8 + 659,5 = 1\,148,9 \text{ kN}$$

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

Návrhová kombinácia zaťažení

Vnútorne sily na krajnom nosníku „a“:

$$M_{Ed} = 1,331 \cdot 2\,467,7 + 1,35 \cdot 1\,114,5 + 1,35 \cdot 3\,893,2 = 10\,044,9 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 1,331 \cdot 315,2 + 1,35 \cdot 130,7 + 1,35 \cdot 528,1 = 1\,308,9 \text{ kN}$$

Vnútorne sily na vnútornom nosníku „b“:

$$M_{Ed} = 1,335 \cdot 3\,016,8 + 1,35 \cdot 1\,190,2 + 1,35 \cdot 3\,663,9 = 10\,580,5 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 1,335 \cdot 381,6 + 1,35 \cdot 107,8 + 1,35 \cdot 659,5 = 1\,545,3 \text{ kN}$$