

**Vysoké učení technické v Brně
Fakulta stavební**

Studentská vědecká a odborná činnost
Akademický rok 2011/2012

Komplexné posúdenie prvku nosného v jednom smere

Jméno a příjmení studenta, ročník, obor:

Bc. Peter Pavlačka,
Bc. Zuzana Kubalová,
Bc. Lucia Majtánová,
Bc. Marek Struhár,
Bc. Veronika Pavlíková,
1. ročník, NKS

Vedoucí práce:

Ing. Viktor Borzovič, PhD.

Katedra / Ústav:

Katedra betonových
konstrukcí a mostov

Obsah

Abstrakt	3
Abstract	3
1 Úvod	4
2 Vstupné údaje.....	4
3 Zaťaženia	5
4 Výpočet vnútorných síl	5
5 Návrh výstuže.....	7
6 Priehyb železobetónového prvku s vplyvom trhlín a dotvarovania	8
6.1 Výpočet veličín ideálneho prierezu	9
6.2 Súčiniteľ dotvarovania $\varphi(\infty, t_0)$	9
6.3 Ohybová tuhosť v priereze bez trhliny	9
6.4 Ohybová tuhosť v priereze s trhlinou	10
6.4.1 Priemerná ohybová tuhosť v priereze s trhlinou.....	10
6.5 Prebeh celkového pootočenia a priehybu	10
6.6 Posúdenie priehybu	10
6.7 Medzné stavy použiteľnosti.....	11
7 Výstupy.....	11
8 Záver	11
Literatura	12
Prílohy	

Abstrakt

Našou úlohou bolo vytvoriť program na posúdenie priehybu a šírky trhlin pre päť najčastejších statické schémy. A to votknutie - votknutie, votknutie - kĺb, prostý nosník, konzola a rámový výsek. Program obsahuje databázu bežných priečok s ich objemovými tiažami, ktoré pôsobia na prvok ako osamelé bremeno. Užívateľ má možnosť si zvoliť líniový typ zaťaženia a tri rôzne bodové zaťaženia. Súčasťou programu je výpočet vnútorných síl na daných statických schémach, návrh výstuže. Program je vytvorený v exceli, takže je dostupný pre každého inžiniera.

Abstract

Our task was to create a program for examining deflection and the width of cracks for five most common static schemes, i.e. fixed – fixed, fixed – pinned, simple beam, a cantilever, and section of a frame. The program includes a database of the most common partition walls with their weight, which affect the element as a concentrated load. The program's user can choose continuous load and three different concentrated loads. Other features of the program are forces calculation according to the static scheme and reinforcement calculation. The program runs in Microsoft Excel, thus being accessible to any engineer.

1 Úvod

Našou úlohou bolo vytvoriť program na posúdenie priehybu a šírky trhlín pre päť najčastejších statických schém. Súčasťou je možnosť výberu rôzneho zaťaženia ako bodové zaťaženie od priečok alebo líniové od stálego a úžitkového zaťaženia. Ďalej je to výpočet vnútorných síl, pootočení a priehybu. Program dáva užívateľovi na výber navrhnutie výstuže prípadne jej vlastné zadefinovanie.

2 Vstupné údaje

V úvode užívateľ zadáva vlastné vstupné údaje prípadne si vyberá z databázy programu. Program dáva možnosť:

- výber prvku a statickej schémy
Na začiatku si užívateľ zvolí typ prvku – doska, prievlak. Program ponúka päť statických schém a to :kĺb – kĺb, votknutie – votknutie, votknutie – kĺb, konzola a rámový výsek. Užívateľ zadá základné rozmery prvku (rozpätie, výška a šírka).
- výber materiálov
Pri výbere triedy betónu a ocele sú materiálom automaticky pridelené ďalšie charakteristiky vid'. príloha 2. Súčinitele vstupujúce do výpočtov sú : súčiniteľ spoľahlivosti materiálu γ_s a γ_c , objemová tiaž ocele γ_{steel} a betónu γ_{con} a súčiniteľ zohľadňujúci dlhodobé účinky na pevnosť betónu v tlaku α_{cc} .
- výber zaťaženia – bodové a líniové
Program dáva na výber pri doske, zadania troch osamelých bremien, ktoré sa môžu určiť ako sila od priečky - výberom priečky z databázy program priradí plošnú tiaž a užívateľ zadá výšku priečky a vzdialenosti od ľavej podpory, alebo ak nebude využitá možnosť výberu preddefinovaných priečok, je tu možnosť zadefinovania vlastnej sily v kN prípadne bodové zaťaženie vôbec neuvažovať. Ďalším výberom sa určí úžitkové zaťaženie – bytový dom, administratíva alebo vlastný výber a ostatné stále zaťaženie. Pri prievlaku sa zadávajú vlastné hodnoty síl a úžitkového zaťaženia.
- Výber prierezu výstuže
Je tu možnosť zadania vlastnej výstuže v daných rezoch (horná – ľavá výstuž, horná – pravá výstuž, dolná výstuž), alebo výberom – navrhnuť automaticky, kedy bude výstuž priradená na základe výpočtu.
- Stupeň prostredia trieda konštrukcie
Po ich zvolení program priradí minimálnu kryciu vrstvu a limitnú šírku trhlín.
- Súčiniteľ dotvarovania
Treba zadať vek betónu vzhľadom k predpokladanej dĺžke životnosti konštrukcie v dňoch a vek betónu pri začiatku pôsobenia zaťaženia v dňoch. Výberom vnútorného alebo vonkajšieho prostredia je priradená relatívna vlhkosť prostredia v %.

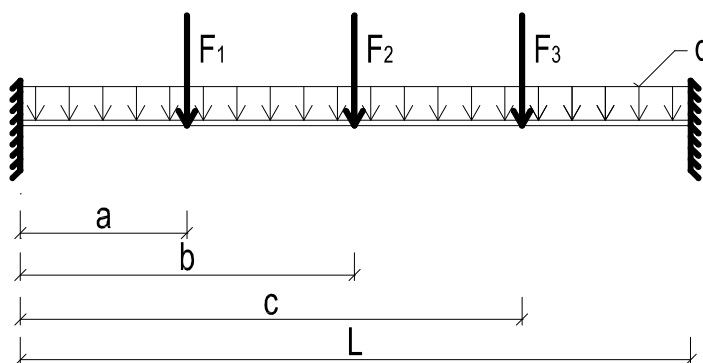
3 Zaťaženia

Program počíta tri kombinácie zaťaženia a to návrhovú, ktorá vstupuje do návrhu a výpočtu výstuže, charakteristickú a kvázi – stálu kombináciu, z ktorých sa počítajú napätia v materiáloch a vzdialenosti a šírky trhlín. Do výpočtov vstupujú parciálne súčinitele $\gamma_{Gsup}=1,35(1)$ pre stále zaťaženia, $\gamma_Q = 1,5(1)$ pre premenné zaťaženia a kombinačný súčiniteľ $\psi_2 = 0,3$. Pri výpočte charakteristickej a kvázi - stálej kombinácii sa uvažuje s parciálnymi súčiniteľmi $\gamma_{Gsup}=1$, $\gamma_Q = 1$, pričom pri kvázi – stálej kombinácii sa premenné zaťaženie prenásobuje kombinačným súčiniteľom. Pri návrhovej kombinácii $\gamma_{Gsup}=1,35$ a $\gamma_Q = 1,5$. Pri rámovom výseku užívateľ na začiatku musí zadať vnútorné sily (moment a priečnu silu) v ľavej podpere.

Vo všetkých prípadoch je program ošetrený podmienkami, že zadané bodové zaťaženie sa musí nachádzať na doske v rámci zadanej vzdialenosti L.

4 Výpočet vnútorných síl

Ako príklad je uvedený postup výpočtu vnútorných síl na statickej schéme votknutie - votknutie. Možnosť zaťaženia dosky je vidieť na obrázku 1.



Obr.1: Zaťaženie na statickej schéme votknutie - votknutie

Nakoľko ide o staticky neurčitú sústavu pri výpočte sme použili statické tabuľky pre výpočet primárnych momentov, kde sme pre každé zaťaženie zvlášť počítali primárne momenty ktoré sme následne sčítali. Na výpočet primárnych momentov sme použili vzťahy:

$$M_A = M_{A1} + M_{A2} + M_{A3} + M_{A4} \quad (1)$$

$$M_B = M_{B1} + M_{B2} + M_{B3} + M_{B4} \quad (2)$$

Kde čiastkové primárne momenty v ľavej podpere sa vypočítajú podľa vzťahov:

$$M_{A1} = -\left(\frac{F_1 \cdot a \cdot a_1^2}{L^2}\right) \quad (3)$$

$$M_{A2} = -\left(\frac{F_2 \cdot b \cdot b_1^2}{L^2}\right) \quad (4)$$

$$M_{A3} = -\left(\frac{F_3 \cdot c \cdot c_1^2}{L^2}\right) \quad (5)$$

$$M_{A4} = -\left(\frac{1}{12} \cdot q \cdot L^2\right) \quad (6)$$

Čiastkové primárne momenty v pravej podpere sa vypočítajú podľa vzťahov

$$M_{B1} = -\left(\frac{F_1 \cdot a^2 \cdot a_1}{L^2}\right) \quad (7)$$

$$M_{B2} = -\left(\frac{F_2 \cdot b^2 \cdot b}{L^2}\right) \quad (8)$$

$$M_{B3} = -\left(\frac{F_3 \cdot c^2 \cdot c}{L^2}\right) \quad (9)$$

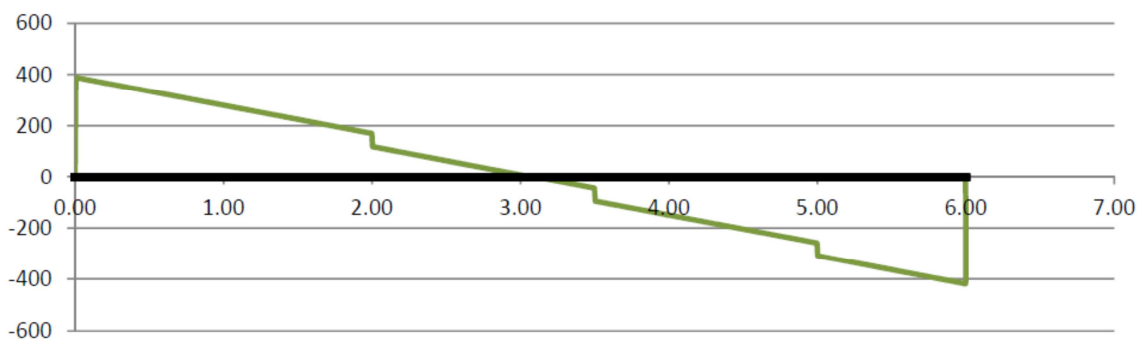
$$M_{B4} = -\left(\frac{1}{12} \cdot q \cdot L^2\right) \quad (10)$$

Reakcie sme počítali zo sústavy dvoch rovníc o dvoch neznámych pre celú statickú schému a aj jednotlivo. Bolo to dôležité pre priebeh ohybových momentov.

Výpočet priečných síl sa robí cez podmienkové rovnice a priebeh je znázornený na obrázku 2.

V(x):

$$\begin{aligned} R_A + q \cdot x & \text{ if } x \leq a \\ R_A + q \cdot x + F_1 & \text{ if } a < x < b \\ R_A + q \cdot x + F_1 + F_2 & \text{ if } b < x < c \\ R_A + q \cdot x + F_1 + F_2 + F_3 & \text{ if } x = L \end{aligned} \quad (11)$$



Obr.2: Priebeh priečných síl

Pri výpočte ohybových momentov sme použili Heavisideovu funkciu.

$$H1(x) := \begin{cases} 0 & \text{if } x < a \\ 1 & \text{if } x \geq a \end{cases} \quad (12)$$

$$H2(x) := \begin{cases} 0 & \text{if } x < b \\ 1 & \text{if } x \geq b \end{cases} \quad (13)$$

$$H3(x) := \begin{cases} 0 & \text{if } x < c \\ 1 & \text{if } x \geq c \end{cases} \quad (14)$$

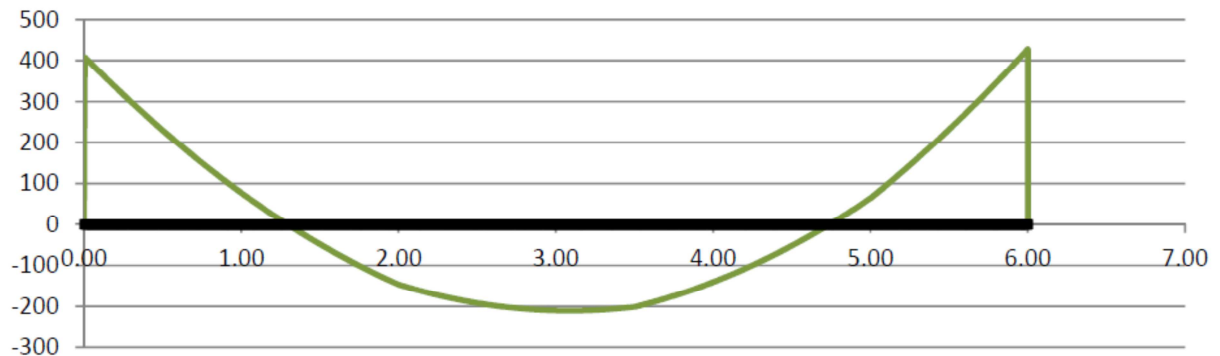
Momenty sme zráтали podľa nasledovných vzťahov. Priebeh ohybových momentov je na obrázku 3.

$$M1(x) = -\left(\frac{F_1 \cdot a \cdot a_1^2}{L^2}\right) - R_{A1} \cdot x + (-F_1) \cdot (x - a) \cdot H1(x) \quad (15)$$

$$M2(x) = -\left(\frac{F_2 \cdot b \cdot b_1^2}{L^2}\right) - R_{A2} \cdot x + (-F_2) \cdot (x - b) \cdot H2(x) \quad (16)$$

$$M3(x) = -\left(\frac{F_3 \cdot c \cdot c_1^2}{L^2}\right) - R_{A3} \cdot x + (-F_3) \cdot (x - c) \cdot H3(x) \quad (17)$$

$$M4(x) = -\left(\frac{1}{12} \cdot q \cdot L^2\right) + \frac{q \cdot L}{2} \cdot x - q \cdot x \cdot \frac{x}{2} \quad (18)$$



Obr.3: Priebeh ohybových momentov

Vnútročné sily na ostatných neurčitých statických schémach sa počítali podobným spôsobom. Pri staticky určitých sa počítajú z reakcií v podperách. Užívateľ si môže zvoliť od akej kombinácie chce dané priebehy vnútročných síl vykresliť.

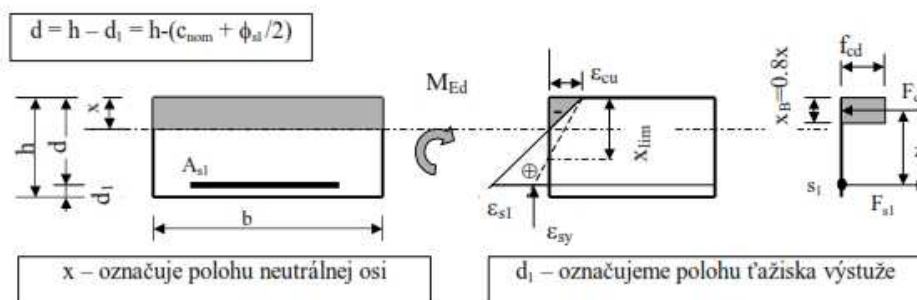
5 Návrh výstuže

Program dáva užívateľovi na výber z niekoľkých možností. Buď si zvolí vlastnú navrhnutú výstuž alebo si nechá navrhnuť výstuž programom prípadne skombinuje tieto dve možnosti. Pri viacerých radoch výstuže si volí celkovú plochu a vzdialenosť ťažiska výstuže. V tomto prípade sa nepočíta druhý medzný stav. V prípade vlastného návrhu program overí, či je postačujúca na vypočítaný ohybový moment. Program navrhuje výstuž s najväčšou využiteľnosťou.

Postup výpočtu :

- Hrúbka krycej vrstvy výstuže
- Vzdialenosť medzi výstužnými prútmi
- Návrh výstuže

Vo výpočtoch program uvažuje s označením ako je uvedené na obrázku 5.



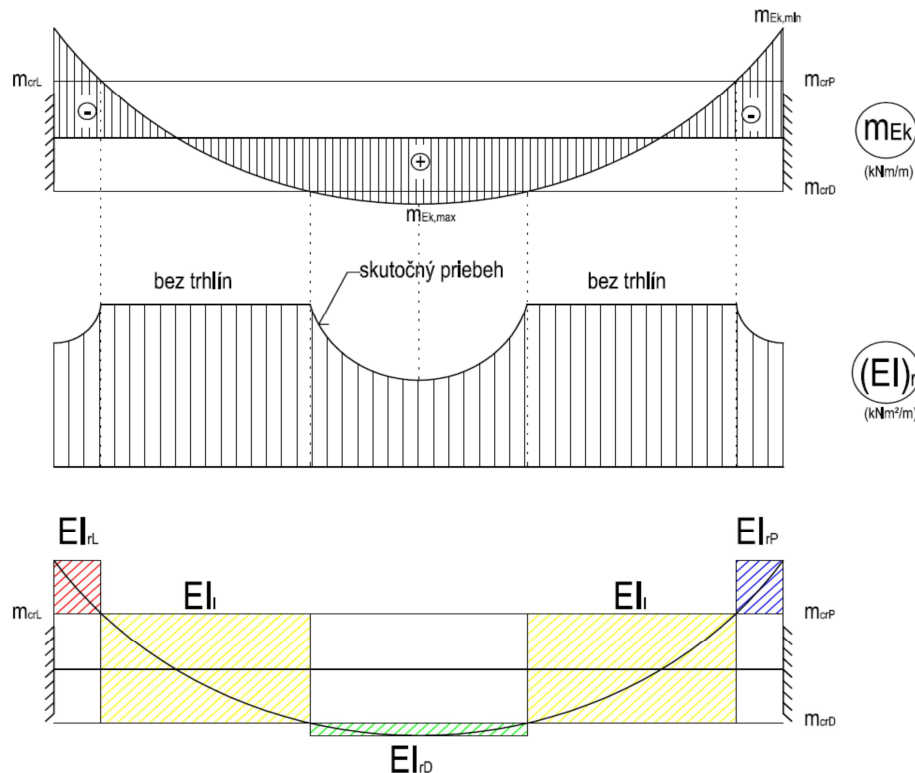
Obr.5 Obdĺžnikový prierez namáhaný ohybom

Program dáva možnosť zadania aj šmykovej výstuže. Podobne ako pri pozdĺžnej výstuži má možnosť užívateľ zadať vlastné hodnoty (priemer strmeňa, strižnosť a vzdialenosť strmeňa) a to pri krajných podperách a v poli alebo nechá program navrhnú šmykovú výstuž automaticky prípadne kombinovať možnosti.

6 Priehyb železobetónového prvku s vplyvom trhlín a dotvarovania

Pri výpočte sme zohľadnili vplyv trhlín a dotvarovania. Trhliny znižujú teoretickú ohybovú tuhosť na priemernú tuhosť $(EI)_r$. Vplyvom dotvarovania narastá priehyb v čase t , ktorý vyjadruje súčiniteľ dotvarovania $\varphi(\infty, t_0)$.

Do výpočtov vstupujú veličiny a označenia znázornené na obrázku 6.



Obr.6 Výpočtová schéma na určenie priemernej ohybovej tuhosti

Trhliny nevzniknú, ak momenty od charakteristického zaťaženia $m_{EK,max}$ a $m_{EK,min}$, keď nedosiahnu hodnotu momentu na medzi vzniku trhlin m_{cr} . V opačnom prípade trhliny vzniknú a významne ovplyvnia priebeh priemernej tuhosti $(EI)_r$ po prvku. V miestach okolo nulových momentov od charakteristického zaťaženia budú úseky prvku bez trhlin. V týchto úsekoch je ohybová tuhosť dosky najväčšia $(EI)_i$. V ostatných častiach bude priemerná ohybová tuhosť s trhlínami $(EI)_r$ premenná a znižuje sa k najmenším hodnotám v miestach extrémov ohybových momentov m_{EK} .

Posúdenie je podľa požiadaviek medzných stavov použiteľnosti. Do výpočtu vstupujú charakteristické hodnoty zaťaženia.

6.1 Výpočet veličín ideálneho prierezu po úsekoch

Pre ideálny prierez sa počítajú nasledovné veličiny, vplyv dotvarovania betónu sa neuvažuje.

- Plocha ideálneho prierezu
- Statický moment ideálnej plochy k hornému a spodnému okraju
- Ťažisko ideálneho prierezu
- Ideálny moment zotrvačnosti k ťažisku ideálneho prierezu
- Ideálny prierezový modul - k hornému a spodnému okraju
- Moment na medzi vzniku trhlín

Do výpočtu vystupuje pracovný súčiniteľ α_e , ktorý sme v tomto prípade dostali zo vzťahu

$$\alpha_e = E_s/E_{cm} \quad (19),$$

ktorý zohľadňuje pomer modulov pružnosti výstuže a betónu bez vplyvu dotvarovania.

6.2 Súčiniteľ dotvarovania $\varphi(\infty, t_0)$

V programe je použitý výpočet podľa podrobnejšej analýzy súčiniteľa dotvarovania betónu. Dotvarovanie použijeme pri výpočte efektívneho modulu pružnosti, ktorý vstupuje do výpočtu ohybovej tuhosti bez trhliny. Efektívny modul pružnosti dostaneme potom zo vzťahu

$$E_{ceff} = \frac{E_{cm}}{(1 + \varphi(\infty, t_0))} \quad (20).$$

6.3 Ohybová tuhosť v priereze bez trhliny

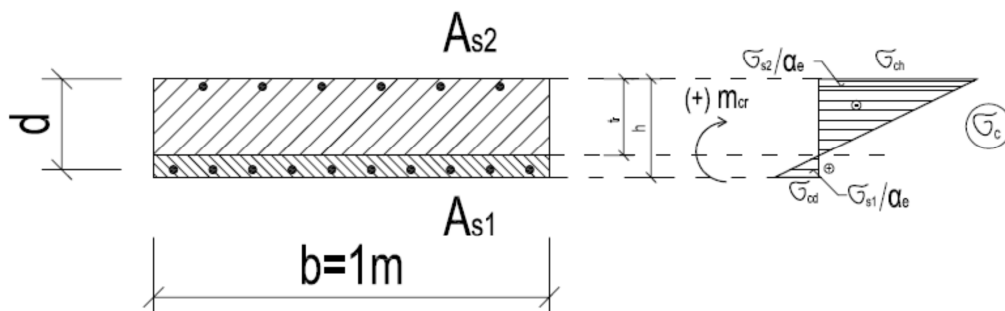
Pre výpočet ideálneho prierezu za stavu I – prierez bez trhliny, vstupuje do výpočtu pracovný súčiniteľ α_{eff} , ktorý sme v tomto prípade dostali zo vzťahu

$$\alpha_{eff} = E_s/E_{ceff} \quad (21).$$

Ohybová tuhosť v priereze bez trhliny sa počítala podľa vzťahu

$$(EI)I = E_{ceff} \cdot I_{II} \quad (22).$$

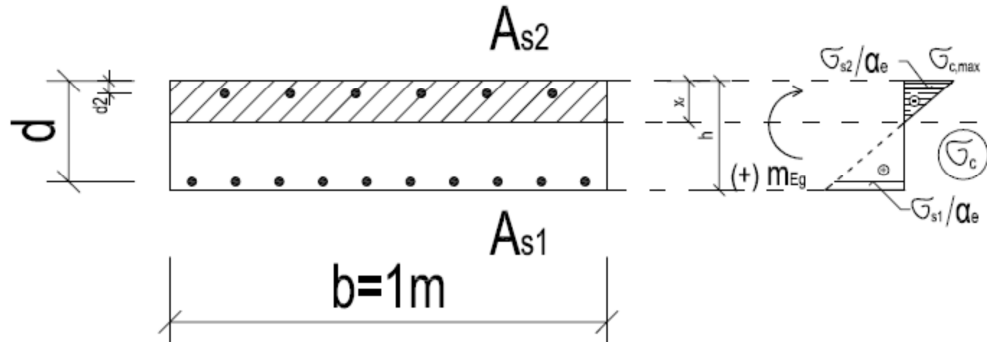
Výpočtová schéma je na obrázku 7.



Obr.7 Predpoklady výpočtu prierezových veličín za stavu I v priereze bez trhliny

6.4 Ohybová tuhosť v priereze s trhlinou

Tam, kde vznikne trhlina, je počítaná ohybová tuhosť s trhlinou $(EJ)_{II}$. Výpočtová schéma je na obrázku 8. Pre výpočet ideálneho prierezu za stavu II – prierez s trhlinou, sme použili veličiny ako pri výpočte prierezu bez trhliny.



Obr.8 Predpoklady výpočtu prierezových veličín za stavu II v priereze s trhlinou

6.4.1 Priemerná ohybová tuhosť v priereze dosky s trhlinou

Priemerná ohybová tuhosť

$$(EI)_r = \frac{1}{\frac{\zeta}{(EI)_{II}} + \frac{1-\zeta}{(EI)_I}} \quad (23)$$

vyjadruje vplyv spolupôsobenia ťahaného betónu medzi trhlinami na ohybovú tuhosť železobetónovej dosky a je použitá pri výpočte priehybu. Distribučný súčiniteľ ζ uvažujeme podľa vzťahu

$$\zeta = 1 - \beta(m_{cr}/m_{Eg}) \quad (24),$$

program je ošetrený obmedzeniami $\zeta > 0$ a $(m_{cr}/m_{Eg}) \leq 1$.

6.5 Pribeh celkového pootočenia a priehybu

Princíp výpočtu pootočení a priehybu na akom pracuje program je uvedený v prílohe č. 1.

6.6 Posúdenie priehybu

Maximálny priehyb w_{cal} je počítaný s uvážením dotvarovania betónu a ohybovej tuhosti s trhlinou $(EI)_{II}$ a je počítaný z kvázi – stálej kombinácie. Limitný priehyb je definovaný ako

$$w_{lim} = \frac{L}{250} \quad (25),$$

pre konzolu

$$w_{lim} = 2 \cdot \frac{L}{250} \quad (26).$$

Podmienka je splnená ak $w_{cal} < w_{lim}$. Užívateľ má možnosť výberu priehybu aj s uvážením zmršťovania.

6.7 Medzné stavy používateľnosti

Program posudzuje:

- Kontrolu napätí v betóne a výstuži
- Kontrolu vzniku a šírky trhlín

7 Výstupy

Príklad výstupu z programu je v prílohe 2.

8 Záver

Program umožňuje rýchle overenie priehybu a šírky trhlín danej železobetónovej konštrukcie, prípadne môže slúžiť na overenie navrhutej výstuže alebo napätí v materiáloch. Užívateľovi dáva na výber zadávania vlastných hodnôt či už zaťaženie alebo výstuže prípadne zadefinovanie vlastného súčiniteľa spoľahlivosti materiálu, alebo si užívateľ vyberie z preddefinovaných výberov. Program ďalej počíta súčiniteľ dotvarovania betónu, čím umožňuje počítanie s presnou hodnotou alebo si užívateľ zadá vlastnú hodnotu. Taktiež je tu možnosť počítania priehybu aj s vplyvom zmrašťovania alebo bez neho, čím sa naskytne možnosť porovnania aký vplyv má zmrašťovanie na priehyb dosky a prievlaku. Zároveň zahŕňa návrh pozdĺžnej a šmykovej výstuže, prípadne zadanie vlastných hodnôt. Program je vytvorený v Microsoft Excel a tak je ľahko širiteľný a dostupný pre každého.

Všetky postupy a návrhy sú podľa STN EN 1992-1-1 Navrhovanie betónových konštrukcií.

Literatúra

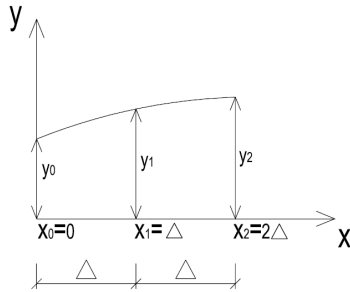
- [1] BILČÍK, J. – FILLO, Ľ. – BENKO, V. – HALVONÍK, J.: *Betónové konštrukcie. Navrhovanie podľa STN EN 1992-1-1*. Bratislava, Vydavateľstvo STU, 2008
- [2] HARVAN, I.: *Železobetónové nosné sústavy. Navrhovanie podľa európskych noriem*. Bratislava, Nakladateľstvo STU 2009
- [3] HARVAN, I.: *Predpäťý betón. Navrhovanie podľa spoločných európskych noriem*. Bratislava, Nakladateľstvo STU 2010
- [4] DICKÝ, J. – MISTRÍKOVÁ, Z. – SUMEC, J.: *Pružnosť a plasticita v stavebníctve I*. Bratislava, Nakladateľstvo STU 2007
- [5] FILLO, Ľ. – BILČÍK, J. – HALVONÍK, J.: *2 navrhovanie nosných konštrukcií stavieb. Betónové konštrukcie*. Bratislava, Vydavateľstvo STU, 2009
- [6] STN EN 1992-1-1 *Navrhovanie betónových konštrukcií*

Príloha č.1 Princíp výpočtu pootočení a priehybu

INTEGRAČNÉ MATRICE

LAGRANGEOVA NÁHRADNÁ FUNKCIA

1. Funkcia prechádza 3 bodmi (parabola 2°)



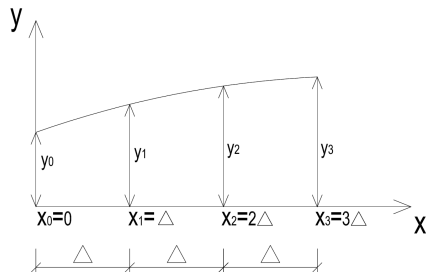
$$y = \frac{(x-x_1)(x-x_2)}{(x_0-x_1)(x_0-x_2)} \cdot y_0 + \frac{(x-x_0)(x-x_2)}{(x_1-x_0)(x_1-x_2)} \cdot y_1 + \frac{(x-x_0)(x-x_1)}{(x_2-x_0)(x_2-x_1)} \cdot y_2$$

$$y = \frac{(x-\Delta)(x-2\Delta)}{(-\Delta)(-2\Delta)} \cdot y_0 + \frac{x(x-2\Delta)}{\Delta(-\Delta)} \cdot y_1 + \frac{x(x-\Delta)}{2\Delta \cdot \Delta} \cdot y_2$$

$$y = \frac{x^2 - 3\Delta \cdot x + 2\Delta^2}{2 \cdot \Delta^2} \cdot y_0 + \frac{x^2 - 2\Delta \cdot x}{(-\Delta)^2} \cdot y_1 + \frac{x^2 - \Delta \cdot x}{2 \cdot \Delta^2} \cdot y_2$$

$$y = \frac{x^2 - 3\Delta \cdot x + 2\Delta^2}{2 \cdot \Delta^2} \cdot y_0 - \frac{x^2 - 2\Delta \cdot x}{\Delta^2} \cdot y_1 + \frac{x^2 - \Delta \cdot x}{2 \cdot \Delta^2} \cdot y_2$$

2. Funkcia prechádza 4 bodmi (parabola 3°)

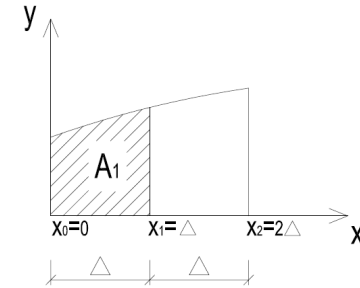


$$y = \frac{(x-x_1)(x-x_2)(x-x_3)}{(x_0-x_1)(x_0-x_2)(x_0-x_3)} \cdot y_0 + \frac{(x-x_0)(x-x_2)(x-x_3)}{(x_1-x_0)(x_1-x_2)(x_1-x_3)} \cdot y_1 + \frac{(x-x_0)(x-x_1)(x-x_3)}{(x_2-x_0)(x_2-x_1)(x_2-x_3)} \cdot y_2 + \frac{(x-x_0)(x-x_1)(x-x_2)}{(x_3-x_0)(x_3-x_1)(x_3-x_2)} \cdot y_3$$

$$y = \frac{(x-\Delta)(x-2\Delta)(x-3\Delta)}{(-\Delta)(-2\Delta)(-3\Delta)} \cdot y_0 + \frac{x(x-2\Delta)(x-3\Delta)}{\Delta(-\Delta)(-2\Delta)} \cdot y_1 + \frac{x(x-\Delta)(x-3\Delta)}{2\Delta \cdot \Delta(-\Delta)} \cdot y_2 + \frac{x(x-\Delta)(x-2\Delta)}{3\Delta \cdot 2\Delta \cdot \Delta} \cdot y_3$$

$$y = \frac{-x^3 - 6\Delta \cdot x^2 + 11\Delta^2 \cdot x - 6\Delta^3}{6 \cdot \Delta^3} \cdot y_0 + \frac{x^3 - 5\Delta \cdot x^2 + 6\Delta^2 \cdot x}{2 \cdot \Delta^3} \cdot y_1 - \frac{x^3 - 4\Delta \cdot x^2 + 3\Delta^2 \cdot x}{2 \cdot \Delta^3} \cdot y_2 + \frac{x^3 - 3\Delta \cdot x^2 + 2\Delta^2 \cdot x}{6 \cdot \Delta^3} \cdot y_3$$

3. Integračné matričky pre A₁ a A_n



Poznámka1: Náhradnú funkciu z bodu 1 zintegrujeme v intervale $\langle x_0, x_1 \rangle$.

Integrujeme osobitne každý výraz pri príslušnej poradnici y_i.

$$y_0 = \frac{1}{2 \cdot \Delta^2} \cdot \int_0^\Delta (x^2 - 3\Delta \cdot x + 2\Delta^2) dx = \frac{1}{2 \cdot \Delta^2} \cdot \left(\frac{x^3}{3} - 3\Delta \cdot \frac{x^2}{2} + 2\Delta \cdot x \right) \Big|_0^\Delta$$

$$y_0 = \frac{1}{2 \cdot \Delta^2} \cdot \left(\frac{\Delta^3}{3} - 3 \cdot \frac{\Delta^3}{2} + 2\Delta^3 \right) = \frac{\Delta}{2} \cdot \left(\frac{1}{3} - \frac{3}{2} + 2 \right) = \frac{\Delta}{2} \cdot \frac{2-9+12}{6} = \frac{\Delta}{2} \cdot \frac{5}{6} = \frac{\Delta}{12} \cdot 5$$

$$y_1 = \frac{1}{\Delta^2} \cdot \int_0^\Delta (x^2 - 2\Delta \cdot x) dx = \frac{1}{\Delta^2} \cdot \left(\frac{x^3}{3} - 2\Delta \cdot \frac{x^2}{2} \right) \Big|_0^\Delta$$

$$y_1 = \frac{1}{\Delta^2} \cdot \left(\frac{\Delta^3}{3} - 2 \cdot \frac{\Delta^3}{2} \right) = \frac{\Delta}{\Delta^2} \cdot \left(\frac{1}{3} - 1 \right) = \frac{\Delta}{\Delta} \cdot \frac{1-3}{3} = \frac{-\Delta}{3} \cdot 2 = \frac{-\Delta}{12} \cdot 8$$

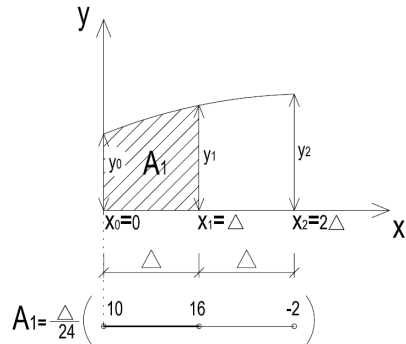
$$y_2 = \frac{1}{2 \cdot \Delta^2} \cdot \int_0^\Delta (x^2 - \Delta \cdot x) dx = \frac{1}{2 \cdot \Delta^2} \cdot \left(\frac{x^3}{3} - \Delta \cdot \frac{x^2}{2} \right) \Big|_0^\Delta$$

$$y_2 = \frac{1}{2 \cdot \Delta^2} \cdot \left(\frac{\Delta^3}{3} - \frac{\Delta^3}{2} \right) = \frac{\Delta}{12} \cdot (2-3) = \frac{-\Delta}{12}$$

$$A_1 = \frac{\Delta}{12} \cdot 5 \cdot y_0 + \frac{\Delta}{12} \cdot 8 \cdot y_1 - \frac{\Delta}{12} \cdot y_2$$

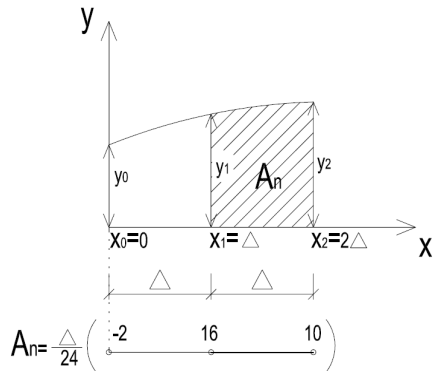
Poznámka2: Vzhľadom na ďalšie matričky (zo 4 bodov) dopredu upravíme vzťah pre plochu A_1

$$A_1 = \frac{\Delta}{24} \cdot (10y_0 + 16y_1 - 2y_2)$$

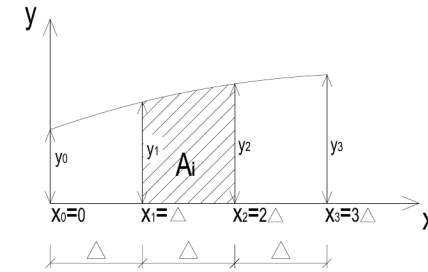


Poznámka3: Podobne odvodíme matričku pre poslednú plochu A_n . Rovnaký integrál ako v predošlom príklade vyčíslime v intervale $\langle x_1, x_2 \rangle$.

$$A_n = \frac{\Delta}{24} \cdot (-2y_0 + 16y_1 + 10y_2)$$

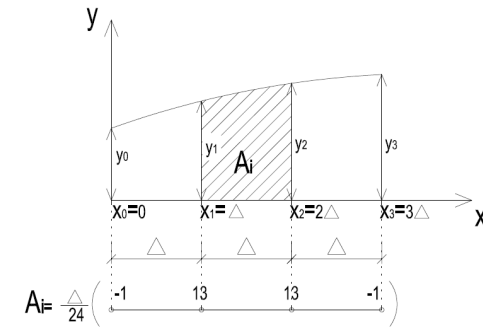


4. Integračná matrička pre A, pre medziľahlé plôšky (pomocou 4 bodov)



Poznámka4: Náhradnú funkciu z bodu 2 zintegrujeme v intervale $\langle x_1, x_2 \rangle$. Integrujeme osobitne každý výraz pri príslušnej poradnici y_i .

$$A_i = \frac{\Delta}{24} \cdot (-y_0 + 13y_1 + 13y_2 - y_3)$$



Záver: Matrička pre A_1 sa použije na začiatku a od bodu nespojitosti, matrička A_n pred bodom nespojitosti a na konci. Matrička A_i sa použije medzi A_1 a A_n .

Príloha č. 2 Výstup z programu

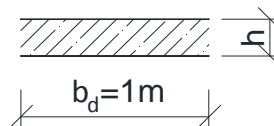
VSTUPNÉ HODNOTY

STATICKÁ SCHÉMA

votknutie-votknutie



Výška prierezu $h = 0.2$ m
 Šírka prierezu $b_d = 1.0$ m
 Dĺžka prvku $L = 6$ m



MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

Betón	C30/37	charakteristická pevnosť betónu v tlaku	$f_{ck} =$	30.0	MPa
		kocková pevnosť betónu	$f_{ck,cube} =$	37.0	MPa
		stredná hodnota pevnosti betónu v tlaku	$f_{cm} =$	38.0	MPa
		stredná hodnota pevnosti betónu v ťahu	$f_{ctm} =$	2.9	MPa
		stredná hodnota modulu pružnosti	$E_{cm} =$	32.8	GPa
		súčiniteľ spoľahlivosti materiálu	$\gamma_c =$	1.5	
		súčiniteľ zohľad. dlhodobé účinky na pev. v tlaku	$\alpha_{cc} =$	1.00	
		návrhová pevnosť betónu v tlaku	$f_{cd} =$	20.0	MPa
objemová tiaž železobetónu	$\gamma_{con} =$	25	kN/m ³		

Výstuž	B500B	charakteristická medza klzu	$f_{yk} =$	500.0	MPa
		charakteristická maximálna pevnosť v ťahu	$f_{tk} =$	540.0	MPa
		návrhová medza klzu	$f_{yd} =$	434.8	MPa
		súčiniteľ spoľahlivosti materiálu	$\gamma_s =$	1.15	
		návrhová medza klzu	$f_{cd} =$	434.8	MPa
		objemová tiaž ocele	$\gamma_{steel} =$	78.5	kN/m ³

POŽIADAVKY PROSTREDIA

Zmeny triedy konštrukcie pri zohľadnení okrajových podmienok

Kritérium	Trieda konštrukcie						
	Stupeň prostredia						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1	XD2/XS1	XD3/XS2/XS3
Životnosť 100 rokov	Zväčšenie o 2 triedy						
Pevnostná trieda betónu	$\geq C30/37$ red.1trieda	$\geq C30/37$ red.1trieda	$\geq C35/45$ red.1trieda	$\geq C40/50$ red.1trieda	$\geq C40/50$ red.1trieda	$\geq C40/50$ red.1trieda	$\geq C45/55$ redukcia o 1triedu
Doskové konštrukcie	Zmenšenie o 1 triedu						
Zvláštna kontrola kvality	Zmenšenie o 1 triedu						

Trieda

konštrukcie S4

Stupeň

prostredia XC1

minimálna krycia vrstva s prihľadnutím
 k stupňa prostredia
 limitná šírka trhlín

$c_{min,dur} =$	15	mm
$w_{lim} =$	0.4	mm

ZAŤAŽENIA



Priečky: **POROTHERM Profi 30 (247 x 300 x 249 mm)**

(možný výber jednej až troch priečok, poprípadne bez výberu priečky)

plošná tiaž tehál $\gamma_{1=}$ 2.388 kN/m²
 výška priečky $h_{1=}$ 3 m

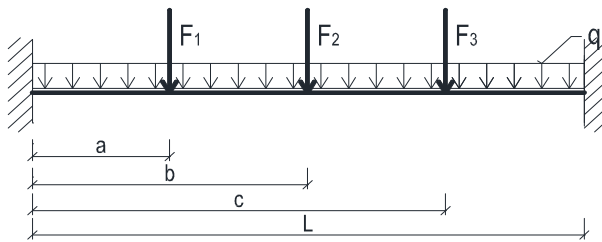
Bez priečky

plošná tiaž tehál $\gamma_{2=}$ 0.000 kN/m²
 výška priečky $h_{2=}$ m

YTONG-presná tvárnica P2-400 P+D+K (375x249x599mm)

plošná tiaž tehál $\gamma_{3=}$ 1.500 kN/m²
 výška priečky $h_{3=}$ 3 m

Osamelé bremeno



F₁

sila od priečky	$F_{1p=}$	-7.163 kN
vlastné definované	$F_{1s=}$	kN
celková sila v bode 1	$F_{1=}$	-7.163 kN
vzdialenosť od ľavej podpory	$a=$	2 m

F₂

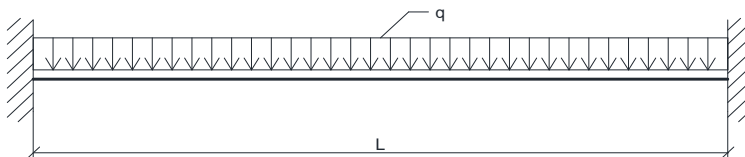
sila od priečky	$F_{2p=}$	0.000 kN
vlastné definované	$F_{2s=}$	-2 kN
celková sila v bode 2	$F_{2=}$	-2.000 kN
vzdialenosť od ľavej podpory	$b=$	4 m

F₃

sila od priečky	$F_{3p=}$	-4.500 kN
vlastné definované	$F_{3s=}$	kN
celková sila v bode 3	$F_{3=}$	-4.500 kN
vzdialenosť od ľavej podpory	$c=$	5 m

Úžitkové zaťaženie

administratíva $q_1=$ -3 kN/m²
 vlastné premenné zaťaženie $q_2=$ -1.5 kN/m²
 suma $q_i=$ -4.5 kN/m²



Vlastná tiaž

$g_1=$ -5 kN/m²

Ostatné stále zaťaženie

$g_2=$ -2 kN/m²

SÚČINITEĽ DOTVAROVANIA

Vek betónu (v dňoch od vybetónovania prvku), kedy vyšetrujeme dotvarovanie
 Vek betónu pri začiatku pôsobenia zaťaženia

$t=$ 18250 dní
 $t_0=$ 28 dní

Prostredie

Vnútorne prostredie $RH=$ 50%

Súčiniteľ dotvarovania

Automaticky vypočítaný $\varphi(t-t_0)=$ 2.346

VÝSTUPY

Návrhová kombinácia:

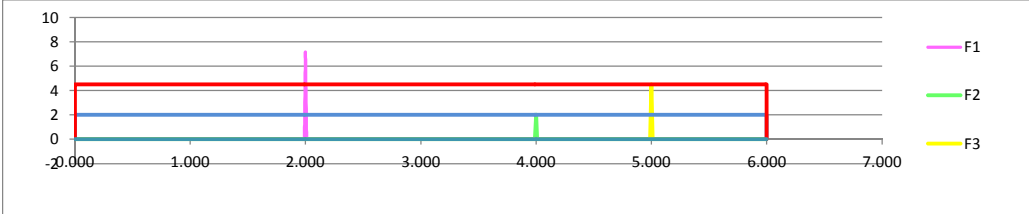
líniové zaťaženie stále:
líniové zaťaženie premenné:
bodové zaťaženie:

g.d= -9.45 kN/m
q.d= -6.75 kN/m
F1.d= -9.6695 kN
F2.d= -2.7 kN
F3.d= -6.075 kN

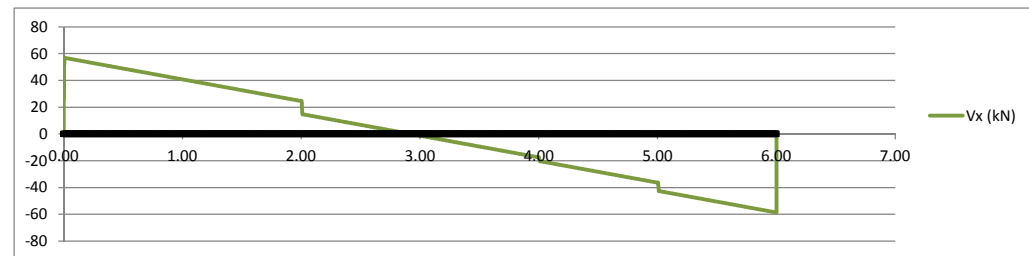
parciálny súčiniteľ

1.35
1.50
1.35
1.35
1.35

Schéma zaťaženia (kN, kN/m)

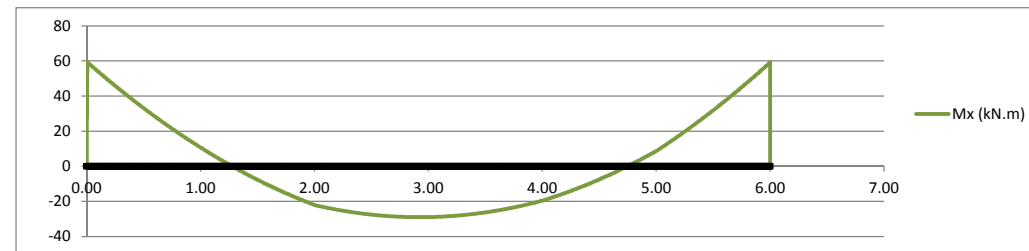


Priebeh priečných síl V_x (kN)



V.max.L= 56.91 kN
V.max.P= -58.63 kN

Priebeh ohybových momentov M_x (kN.m)



M.min.L= 59.24 kN.m
M.min.P= 59.16 kN.m
M.max= -28.99 kN.m

Posúdenie na 1.MS

Návrh pozdĺžnej výstuže

Hodnota krytia a plochy výstuže vo výpočte:

navrhnutí automaticky
navrhnutí automaticky
navrhnutí automaticky

Priemer výstuže

14
navrhnutí automaticky
10

Horná výstuž (vľavo) D_sl.L= 14 mm
Dolná výstuž D_sl.D= 8 mm
Horná výstuž (vpravo) D_sl.P= 10 mm

Počet prútov

6
navrhnutí automaticky
navrhnutí automaticky

Horná výstuž (vľavo) n_L= 6 ks
Dolná výstuž n_D= 8 ks
Horná výstuž (vpravo) n_P= 11 ks

Krytie výstuže

navrhnutí automaticky
navrhnutí automaticky
navrhnutí automaticky

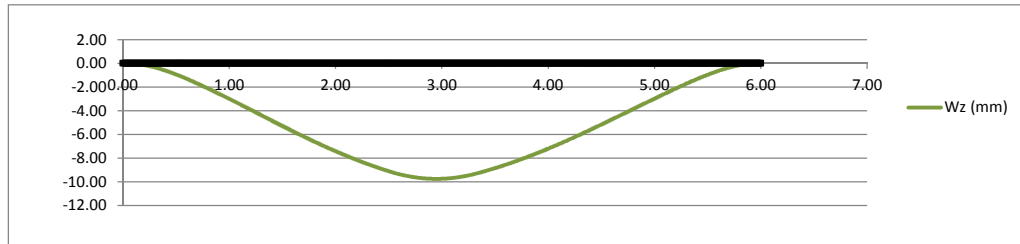
Návrhová výstuž	krytie (mm)	počet prútov	priemer výstuže	plocha výstuže
Horná výstuž nad ľavou podperou:	$c_{noml} = 25$	6	$\phi 14$	9.23628 cm ²
Dolná výstuž v poli:	$c_{nomD} = 25$	8	$\phi 8$	4.02124 cm ²
Horná výstuž nad pravou podperou:	$c_{nomP} = 25$	11	$\phi 10$	8.63938 cm ²

Posúdenie	M_{Rd} (kN.m)	M_{Ed} (kN.m)	Využitie	Posúdenie
Horná výstuž nad ľavou podperou:	63.4	59.2	93.4%	VYHOVUJE
Dolná výstuž v poli:	29.1	29.0	99.5%	VYHOVUJE
Horná výstuž nad pravou podperou:	60.3	59.5	98.7%	VYHOVUJE

Posúdenie na 2.MS

Uvážiť vplyv zmrašťovania

Priebeh deformácie w_z (mm)



POSÚDENIE PRIEHYBU

Maximálny priehyb	9.76 mm	<	Limitný priehyb = (L/250)	24.00 mm	VYHOVUJE	✓
-------------------	---------	---	---------------------------	----------	----------	---

POSÚDENIE NAPÄTÍ V MATERIÁLOCH

Napätie v materiáli pri ľavej podpere

Napätie v betóne	10.17 MPa	<	σ_{cmax}	18.00 MPa	VYHOVUJE	✓
------------------	-----------	---	-----------------	-----------	----------	---

Napätie vo výstuži	307.10 MPa	<	σ_{smax}	400.00 MPa	VYHOVUJE	✓
--------------------	------------	---	-----------------	------------	----------	---

Napätie v materiáli pri pravej podpere

Napätie v betóne	10.26 MPa	<	σ_{cmax}	18.00 MPa	VYHOVUJE	✓
------------------	-----------	---	-----------------	-----------	----------	---

Napätie vo výstuži	324.78 MPa	<	σ_{smax}	400.00 MPa	VYHOVUJE	✓
--------------------	------------	---	-----------------	------------	----------	---

Napätie v materiáli v poli

Napätie v betóne	6.60 MPa	<	σ_{cmax}	18.00 MPa	VYHOVUJE	✓
------------------	----------	---	-----------------	-----------	----------	---

Napätie vo výstuži	326.71 MPa	<	σ_{smax}	400.00 MPa	VYHOVUJE	✓
--------------------	------------	---	-----------------	------------	----------	---

POSÚDENIE ŠÍRKY TRHLÍN

Trhlina pri ľavej podpere

Maximálna šírka trhliny	0.16 mm	<	Limitná šírka trhliny = 0.4 mm	0.40 mm	VYHOVUJE	✓
-------------------------	---------	---	--------------------------------	---------	----------	---

Trhlina pri pravej podpere

Maximálna šírka trhliny	0.16 mm	<	Limitná šírka trhliny = 0.4 mm	0.40 mm	VYHOVUJE	✓
-------------------------	---------	---	--------------------------------	---------	----------	---

Trhlina v poli

Maximálna šírka trhliny	0.21 mm	<	Limitná šírka trhliny = 0.4 mm	0.40 mm	VYHOVUJE	✓
-------------------------	---------	---	--------------------------------	---------	----------	---

POSÚDENIE ŠMYKOVEJ ODOLNOSTI PRVKU BEZ ŠMYKOVEJ VÝSTUŽE

Posúdenie pri ľavej podpere

V_{EdL}		$V_{Rd,c}$		
54.29 kN	<	107.308 kN	VYHOVUJE	✓

Posúdenie pri pravej podpere

V_{EdP}		$V_{Rd,c}$		
55.91 kN	<	105.451 kN	VYHOVUJE	✓

POSÚDENIE ŠMYKOVEJ ODOLNOSTI PRVKU Z HLADISKA PORUŠENIA TLAKOVEJ DIAGONÁLY

Posúdenie pri ľavej podpere

$V_{Ed,L}$		$V_{Rd,max}$		
56.91 kN	<	786.207 kN	VYHOVUJE	✓

Posúdenie pri pravej podpere

$V_{EdP,P}$		$V_{Rd,max}$		
58.73 kN	<	795.567 kN	VYHOVUJE	✓