

Smer:

# Vodarstvo in okoljsko inženirstvo UN

Predmet:

## Osnove lesenih in jeklenih konstrukcij

Šolsko leto: 2016/2017

Predavanja: 2 h tedensko → 30 ur

Vaje: 2 h tedensko → 30 ur

### VAJE

Vsebina vaj iz Osnov lesenih konstrukcij:

#### 1.OBTEŽBA-OBREMENITEV

Projektne vrednosti vplivov na konstrukcije

#### 2.OSNO OBTEŽENI ELEMENTI

Projektiranje lesenih elementov, katerih prečni prerezi so obremenjeni z osno silo

#### 3.PREČNO OBTEŽENI ELEMENTI

Projektiranje lesenih elementov, katerih prečni prerezi so obremenjeni z upogibnim momentom in prečno silo

Izvajalec vaj iz Osnov lesenih konstrukcij: doc. dr. Drago Saje

# 1. vaja: PROJEKTNE VREDNOSTI VPLIVOV NA KONSTRUKCIJE

Projektiranje lesenih konstrukcij izvajamo skladno s standardom Evrokod 5 – SIST EN 1995-1-1.

Pri dimenzioniranju lesenih konstrukcij moramo zagotoviti

- mejno stanje nosilnosti,
- mejno stanje uporabnosti.

Mejna stanja nosilnosti so stanja porušitev različnih vrst, ki lahko ogrozijo človeška življenja

- izguba ravnotežja konstrukcije ali dela konstrukcije kot togega telesa,
- porušitev ali prekomerna deformacija prereзов ali konstrukcij,
- utrujanje.

Mejna stanja uporabnosti so stanja, pri katerih konstrukcija ne izpolnjuje pogojev uporabnosti

- preveliki pomiki (onemogočena normalna uporaba),
- prevelike razpoke (zmanjšana trajnost),
- neugodne vibracije (neugodno počutje, škode na objektu).

V sklopu mejnega stanja nosilnosti moramo določiti mejno obremenitev prereza in preveriti, ali le-ta prekorači mejno nosilnost prereza.

Kaj pomeni mejna obremenitev prereza?

Mejna obremenitev prereza so notranje sile (upogibni moment  $M$ , osna sila  $N$ , prečna sila  $V$ , torzijski moment  $T$ ), ki jih dobimo tako, da konstrukcijo modeliramo z linearno elastičnim materialnim modelom (upoštevamo Hookov zakon) in jo obtežimo s faktorirano verjetno zunanjo obtežbo (lastna teža, sneg, veter, ...) ali pa s stanji, ki preprečujejo deformiranje konstrukcije zaradi spremembe temperature, krčenja betona, pomika podpor itd.

## Klasifikacija obtežb po Evrokodu 1 – SIST EN 1991-1

Z izrazom obtežba (action) označujemo, po Evrokodu 1, vse sile in vplive okolja na gradbeno konstrukcijo. Obtežbo definiramo kot vpliv okolja, ki povzroča spremembo notranjih napetosti v konstrukciji. Ti vplivi so lahko

- neposredni ali direktni (direct action): točkovne ali koncentrirane, ploskovne, prostorske sile,
- posredni ali indirektni (indirect action): vsiljene ali preprečene deformacije (temperaturni vplivi, krčenje, lezenje, ...).

Vsako obtežbo lahko razdelimo glede na njen

- časovni učinek oziroma kako se obtežba po velikosti spreminja časovno,
- prostorski učinek oziroma kako se lega obtežbe spreminja po konstrukciji.

Glede na časovno spreminjanje obtežbe ločimo:

- stalne ali mrtve obtežbe  $G$  (lastna teža, pritrjena oprema, ...),
- spremenljive obtežbe  $Q$  (koristna obtežba, veter, ...),
- nezgodne obtežbe  $A$  (eksplozije, udarci, ...).

Glede na prostorsko razporeditev pa ločimo

- fiksne oziroma nespremenljive obtežbe (lastna teža, ...),
- proste obtežbe (premične obtežbe, sneg, veter, ...), za katere iščemo najbolj neugodno postavitve oziroma vpliv na konstrukcijo.

Nadaljnji pomemben pojem je karakteristična vrednost obtežbe  $F_k$

- karakteristična vrednost lastne teže  $G_k$  se izračuna na podlagi nazivnih mas in gostot, pri čemer pravilnik v primerih, ko so možna večja odstopanja za stalno obtežbo, definira zgornjo mejo ali supremum  $G_{k,sup}$  in spodnjo mejo ali infimum  $G_{k,inf}$ ,
- karakteristično vrednost spremenljive obtežbe  $Q_k$  določimo tako, da le-ta z določeno verjetnostjo v življenjski dobi konstrukcije ne bo presežena oziroma z določeno verjetnostjo v dobi konstrukcije niti ne bo dosežena,
- karakteristična vrednost nezgodne obtežbe  $A_k$  je pogosto kar predpisana vrednost.

Pomemben pojem je tudi reprezentativna vrednost spremenljive obtežbe. Ločimo

- karakteristično vrednost spremenljive obtežbe ali glavno reprezentativno vrednost obtežbe  $Q_k$ ,

s pomočjo faktorjev  $\psi_i$ , ki jih podaja Evrokod 1, pa so določene še

- kombinacijska vrednost spremenljive obtežbe  $\psi_0 \cdot Q_k$ ,
- pogosta vrednost spremenljive obtežbe  $\psi_1 \cdot Q_k$ ,
- navidezno stalna vrednost spremenljive obtežbe  $\psi_2 \cdot Q_k$ .

## Projektna stanja

Ločimo tri projektna stanja:

- trajno, ki odgovarja fazi normalne uporabe konstrukcije,
- prehodno, ki odgovarja fazam gradnje, popravil, ...,
- nezgodno.

Pri trajnem in prehodnem projektnem stanju vse spremenljive vrednosti ne dosežejo karakteristične vrednosti istočasno, zato je smiselno, da glavno spremenljivo obtežbo upoštevamo v karakteristični vrednosti, ostale spremenljive obtežbe pa upoštevamo v njihovih kombinacijskih vrednostih.

V nezgodnem projektnem stanju je malo verjetno, da bi spremenljive obtežbe nastopale v polni vrednosti med delovanjem nezgodne obtežbe. Tako spremenljive obtežbe upoštevamo na ta način, da glavno spremenljivo obtežbo upoštevamo v njeni pogosti vrednosti, ostale pa v obliki navidezno stalne vrednosti.

Koeficienti  $\psi_0$ ,  $\psi_1$ ,  $\psi_2$  so podani v Evrokodu 1. Priporočene vrednosti faktorjev  $\psi$  za stavbe so podane v preglednici 1.

*Preglednica 1 Delni varnostni faktor za obtežbe za različne osnovne obtežne primere.*

| Vpliv                                                                                      | $\psi_0$ | $\psi_1$ | $\psi_2$ |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|
| Koristna obtežba v stavbah (glej EN 1991-1-1)                                              |          |          |          |
| Kategorija A: bivalni prostori                                                             | 0,7      | 0,5      | 0,3      |
| Kategorija B: pisarne                                                                      | 0,7      | 0,5      | 0,3      |
| Kategorija C: stavbe, kjer se zbirajo ljudje                                               | 0,7      | 0,7      | 0,6      |
| Kategorija D: trgovine                                                                     | 0,7      | 0,7      | 0,6      |
| Kategorija E: skladišča                                                                    | 1,0      | 0,9      | 0,8      |
| Kategorija F: prometne površine – vozilo s težo $\leq 30$ kN                               | 0,7      | 0,7      | 0,6      |
| Kategorija G: prometne površine – $30 \text{ kN} < \text{teža vozila} \leq 160 \text{ kN}$ | 0,7      | 0,5      | 0,3      |
| Kategorija H: strehe                                                                       | 0        | 0        | 0        |
| Obtežba snega na stavbah (glej EN 1991-1-3)*                                               |          |          |          |
| Finska, Islandija, Norveška, Švedska                                                       | 0,7      | 0,5      | 0,2      |
| Druge članice CEN, za kraje z nadmorsko višino nad 1.000 m                                 | 0,7      | 0,5      | 0,2      |
| Druge članice CEN, za kraje z nadmorsko višino pod 1.000 m                                 | 0,5      | 0,2      | 0        |
| Obtežba vetra na stavbah (glej EN 1991-1-4)                                                | 0,6      | 0,2      | 0        |
| Spremembe temperature (ne pri požaru) v stavbah (glej EN 1991-1-5)                         | 0,6      | 0,5      | 0        |
| OPOMBA: Vrednosti faktorjev $\psi$ so lahko določene v nacionalnem dodatku.                |          |          |          |
| *) Za države, ki niso omenjene v nadaljevanju, glej ustrezne krajevne pogoje.              |          |          |          |

Projektna vrednost vpliva obtežb je definirana z izrazom

$$F_d = \gamma_f \cdot F_k, \quad (1.1)$$

pri čemer je  $\gamma_f$  delni varnostni faktor za obtežbe, podan v Evrokodu 1. Z delnim varnostnim faktorjem  $\gamma_f$  upoštevamo določeno odstopanje obtežbe, nezanesljivo modeliranje obtežbe, ...  $\gamma_f$  je za različne osnovne obtežne primere podan v preglednici 2.

*Preglednica 2 Delni varnostni faktor za obtežbe za različne osnovne obtežne primere.*

| Vpliv                                                                                                                  | Stalna obtežba G            | Spremenljiva obtežba Q    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Ugoden                                                                                                                 | 1,0 * ( $\gamma_{G,inf}$ )  | 0,0 ( $\gamma_{Q,inf}$ )  |
| Neugoden (istosmiseln vpliv)                                                                                           | 1,35 * ( $\gamma_{G,sup}$ ) | 1,50 ( $\gamma_{Q,sup}$ ) |
| * Za račun globalnega ravnotežja konstrukcij lahko izjemoma uporabimo $\gamma_{G,inf}=0,90$ in $\gamma_{G,sup}=1,10$ . |                             |                           |

Podobno je definirana tudi projektna trdnost materiala

$$X_d = k \cdot \frac{X_k}{\gamma_M}, \quad (1.2)$$

pri čemer je  $\gamma_M$  delni varnostni faktor za materiale (Les:  $\gamma_M = 1,3$ ),  $X_k$  karakteristična trdnost materialaoločena s standardnimi testi na podlagi statističnih podatkov (fraktila) in  $k$  korekcijski faktor (Les:  $k = k_{\text{mod}}$  ... modifikacijski faktor, ki zajame vpliv trajanja obtežbe in vsebnosti vlage na trdnost)

Projektna vrednost učinka vpliva  $E_d$  predstavlja odziv konstrukcije, to so notranje sile, napetosti, deformacije in pomiki

$$E_d = E(F_d, a_d, X_d) \quad (1.3)$$

in je funkcija projektne vrednosti vpliva oziroma obtežbe  $F_d$ , projektne vrednosti geometrijskega podatka  $a_d$  in projektne vrednosti lastnosti materiala  $X_d$ .

Kombinacije vplivov oziroma kombinacije obtežb podaja standard SIST EN 1990. Za vsak kritični obtežni primer je treba določiti projektne vrednosti učinkov vplivov  $E_d$  s kombiniranjem vrednosti vplivov, za katere se ocenjuje, da se bodo pojavili istočasno. Vedno iščemo za določeno vrednost vpliva merodajni obtežni primer. Poiščemo največjo osno silo  $N_{\text{max}}$  v kritičnem prerezu in njej pripadajoči upogibni moment  $M_{\text{prip}}(N_{\text{max}})$ , poiščemo največji upogibni moment  $M_{\text{max}}$  v kritičnem prerezu in njemu pripadajočo osno silo  $N_{\text{prip}}(M_{\text{max}})$  ali pa poiščemo najmanjši upogibni moment  $M_{\text{min}}$  v kritičnem prerezu in njemu pripadajočo osno silo  $N_{\text{prip}}(M_{\text{min}})$ .

V **mejnem stanju nosilnosti** ločimo dve kombinaciji vplivov:

- osnovna kombinacija vplivov – kombinacija vplivov za stalna in začasna projektna stanja, kjer je obremenitev podana kot funkcija obtežb, pri čemer lastna teža nastopa v obliki računske vrednosti  $\gamma_{G,j} \cdot G_{k,j}$ , prištejemo ji prevladujočo spremenljivo obtežbo  $\gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}$ , ostale spremenljive obtežbe  $\gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$  pa množimo s kombinacijskimi faktorji  $\psi_{0,i}$ , saj vse spremenljive obtežbe ne nastopajo naenkrat in v polni vrednosti

$$E_d = E \left( \sum_j \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right), \quad (1.4)$$

- nezgodna kombinacija vplivov – kombinacija vplivov za nezgodna projektna stanja, kjer je obremenitev podana kot funkcija obtežb, pri čemer lastni teži  $G_{k,j}$  prištejemo obtežbo zaradi nezgode  $A_d$ , pogosto  $\psi_{1,1} \cdot Q_{k,1}$  in navidezno stalno  $\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$  spremenljivo obtežbo

$$E_d = E \left( \sum_j G_{k,j} + A_d + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right). \quad (1.5)$$

Poseben nezgodni primer je potres

$$E_d = E \left( \sum_j G_{k,j} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} + A_{E,d} \right), \quad (1.6)$$

pri čemer  $A_{E,d}$  predstavlja vrednost vpliva zaradi potresnih sil oziroma deformacij.

V **mejnem stanju uporabnosti** ločimo tri kombinacije vplivov:

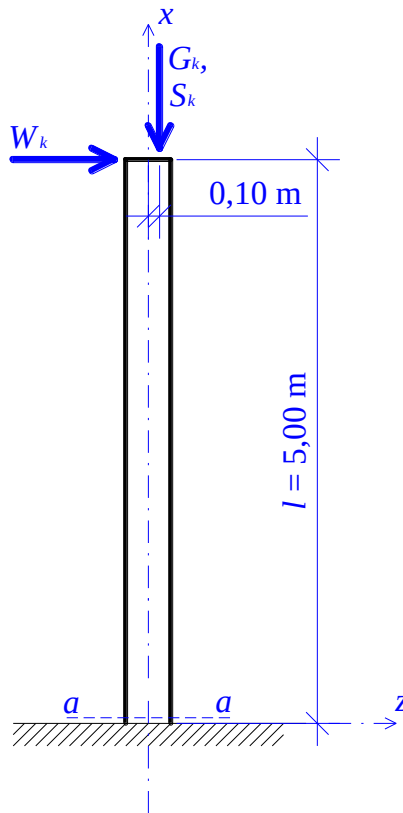
- karakteristična  $\sum_j G_{k,j} + (P) + Q_{k1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} \cdot Q_{ki} ,$
- pogosta  $\sum_j G_{k,j} + (P) + \psi_{1,1} \cdot Q_{k1} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{ki} ,$
- navidezno stalna  $\sum_j G_{k,j} + (P) + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{ki} .$

*Preglednica 3 Kombinacijski faktorji  $\psi$  za obtežbe za različne obtežne primere v stavbah.*

| Vpliv                                         | $\psi_0$ | $\psi_1$ | $\psi_2$ |
|-----------------------------------------------|----------|----------|----------|
| Obtežbe v objektih:                           |          |          |          |
| - stanovanja, pisarne                         | 0,7      | 0,5      | 0,3      |
| - stavbe, kjer se zbirajo ljudje, trgovine    | 0,7      | 0,7      | 0,6      |
| - skladišča                                   | 1,0      | 0,9      | 0,8      |
| Obtežba snega na stavbah                      | 0,6      | 0,2      | 0        |
| Obtežba vetra na stavbah                      | 0,6      | 0,5      | 0        |
| Temperaturni vplivi (ne pri požaru) v stavbah | 0,6      | 0,5      | 0        |

# 1. primer: Določitev projektne obremenitve prereza

Določite mejno projektno vrednost osno upogibne obremenitve prereza a-a za steber na sliki 1.



Slika 1 Geometrijske karakteristike obravnavanega stebra in obtežba nanj.

|                 |                                      |
|-----------------|--------------------------------------|
| Stalna obtežba: | $G_k = 200 \text{ kN}$               |
| Sneg            | $S_k = 100 \text{ kN}; \psi_0 = 0,6$ |
| Veter           | $W_k = 5,0 \text{ kN}; \psi_0 = 0,6$ |

Lastno težo stebra zanemarimo. Druge spremenljive obtežbe na steber ni.

## 1. obtežni primer: $N_{Ed,min}$

Prevladujoča spremenljiva obtežba je sneg

$$E_d = E(\gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot S_k + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot W_k) \quad (1.7)$$

Delna varnostna faktorja in kombinacijski faktor so

$$\gamma_G = 1,35,$$

$$\gamma_Q = 1,50,$$

$$\psi_0 = 0,6.$$

Osnova sila v prerezu  $a-a$  je

$$N_{Ed} = - \quad (1.8)$$

pripadajoči upogibni moment v prerezu  $a-a$  je

$$M_{Ed} = - \quad (1.9)$$

V tem obtežnem primeru prečne sile ne bomo računali.

## 2. obtežni primer: $M_{Ed,min}$

Prevladujoča spremenljiva obtežba je veter

$$E_d = E(\gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot W_k + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot S_k) \quad (1.10)$$

Delna varnostna faktorja in kombinacijski faktor so

$$\gamma_G = 1,35,$$

$$\gamma_Q = 1,50,$$

$$\psi_0 = 0,6.$$

Upogibni moment v prerezu  $a-a$  je

$$M_{Ed} = - \quad (1.11)$$

pripadajoča osna sila v prerezu  $a-a$  je

$$N_{Ed} = - \quad (1.12)$$

V tem obtežnem primeru prečne sile ne bomo računali.

## 3. obtežni primer: $N_{Ed,max}$

Dodatno preverimo še primer, če stalna obtežba in sneg delujeta ugodno. Izračunamo  $N_{Ed,max}$  in pripadajoči  $M_{Ed}$ . Veter upoštevamo kot bistveno spremenljivo obtežbo, ker povzroča v prerezu  $a-a$  največji upogibni moment

$$E_d = E(\gamma_{G,inf} \cdot G_k + \gamma_Q \cdot W_k + \gamma_{Q,inf} \cdot \psi_0 \cdot S_k) \quad (1.13)$$

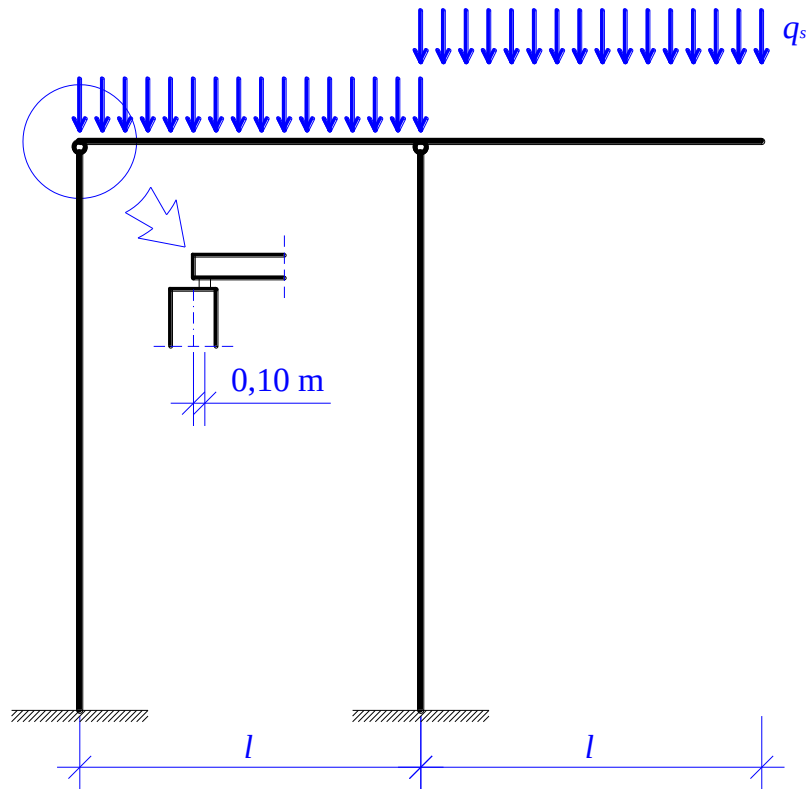
Delna varnostna faktorja in kombinacijski faktor so

$$\gamma_G = 1,00,$$

$$\gamma_Q = 1,50,$$

$$\psi_0 = 0,6.$$





Slika 2 Statični model konstrukcije, v kateri se nahaja obravnavani steber.

Oсна sila v prerezu  $a-a$  je

$$N_{Ed} = - \quad (1.14)$$

pripadajoči upogibni moment v prerezu  $a-a$  je

$$M_{Ed} = - \quad (1.15)$$

#### 4. obtežni primer: $M_{Ed,max}$

$$E_d = E(\gamma_{G,inf} \cdot G_k + \gamma_{Q,inf} \cdot S_k + \gamma_{Q,inf} \cdot \psi_0 \cdot W_k) \quad (1.16)$$

Delna varnostna faktorja in kombinacijski faktor so

$$\gamma_G = 1,00,$$

$$\gamma_{Q,inf} = 0,$$

$$\psi_0 = 0,6.$$

Upogibni moment v prerezu  $a-a$  je

$$M_{Ed} = - \quad (1.17)$$

pripadajoča osna sila v prerezu  $a-a$  je

$$N_{Ed} = - \quad (1.18)$$

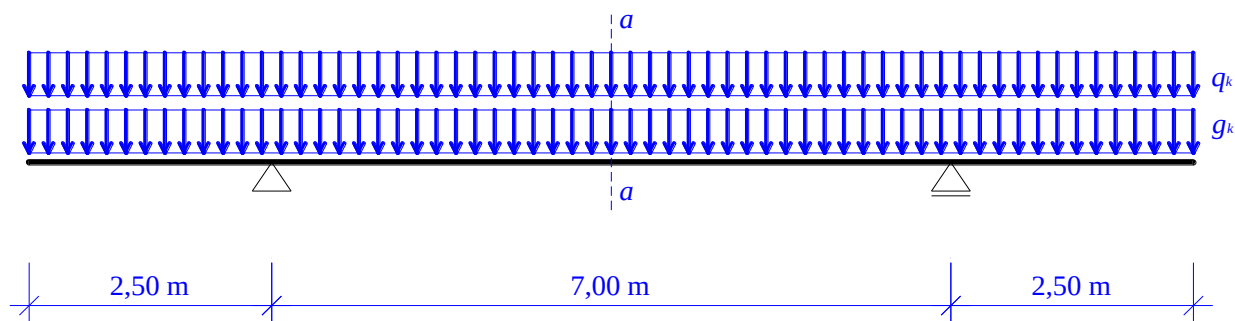
Preglednica 4 Računska obremenitev v prerezu a-a obravnavanega stebra.

| Obtežni primeri |                                     | $N_{Ed}$ [kN] | $M_{Ed}$ [kNm] |
|-----------------|-------------------------------------|---------------|----------------|
| OP 1            | $N_{Ed,min}$ , pripadajoči $M_{Ed}$ | -420          | -64,5          |
| OP 2            | $M_{Ed,min}$ , pripadajoči $N_{Ed}$ | -360          | -73,5          |
| OP 3            | $N_{Ed,max}$ , pripadajoči $M_{Ed}$ | -200          | -57,5          |
| OP 4            | $M_{Ed,max}$ , pripadajoči $N_{Ed}$ | -200          | -20            |

Sedaj moramo za vsak obtežni primer dokazati računsko odpornost.

## 2. primer: Določitev projektne obremenitve prereza

Določite mejno projektno vrednost osno upogibne obremenitve prereza  $a-a$  za konstrukcijo na sliki 3, in sicer največji in najmanjši upogibni moment.



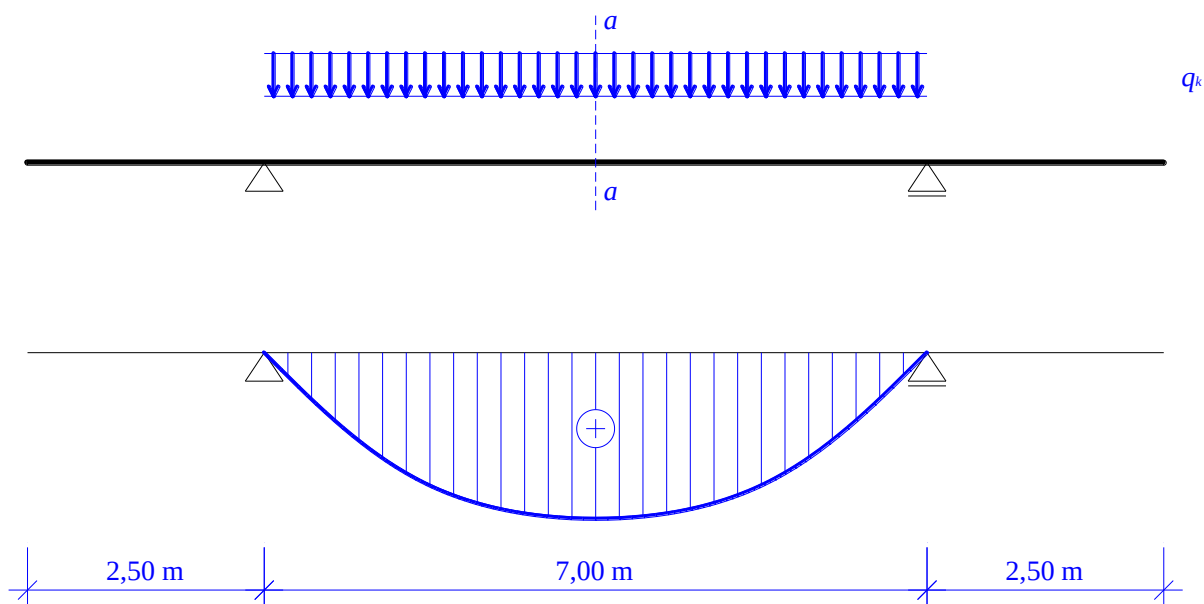
Slika 3 Geometrijske karakteristike obravnavanega nosilca in obtežba nanj.

Stalna obtežba:  $g_k = 30 \text{ kN/m}$

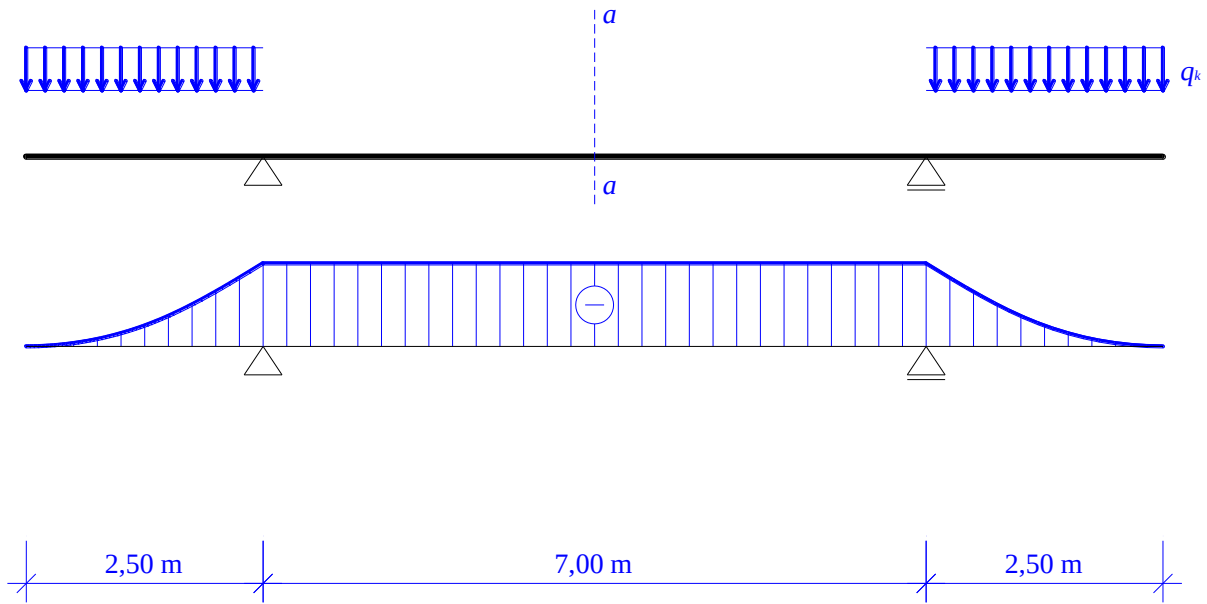
Spremenljiva  $q_k = 25 \text{ kN/m}$

Analiziramo ugoden in neugoden vpliv stalne obtežbe glede na spremenljivo. Koristna spremenljiva obtežba ima lahko na konstrukciji različne lege. Možni sta dve karakteristični legi spremenljive obtežbe:

- v srednjem polju, povzroča v prerezu  $a-a$  največji upogibni moment  $M_{Ed,max}^{a-a}$  (slika 4),
- v krajnih poljih, povzroča v prerezu  $a-a$  najmanjši upogibni moment  $M_{Ed,min}^{a-a}$  (slika 5).

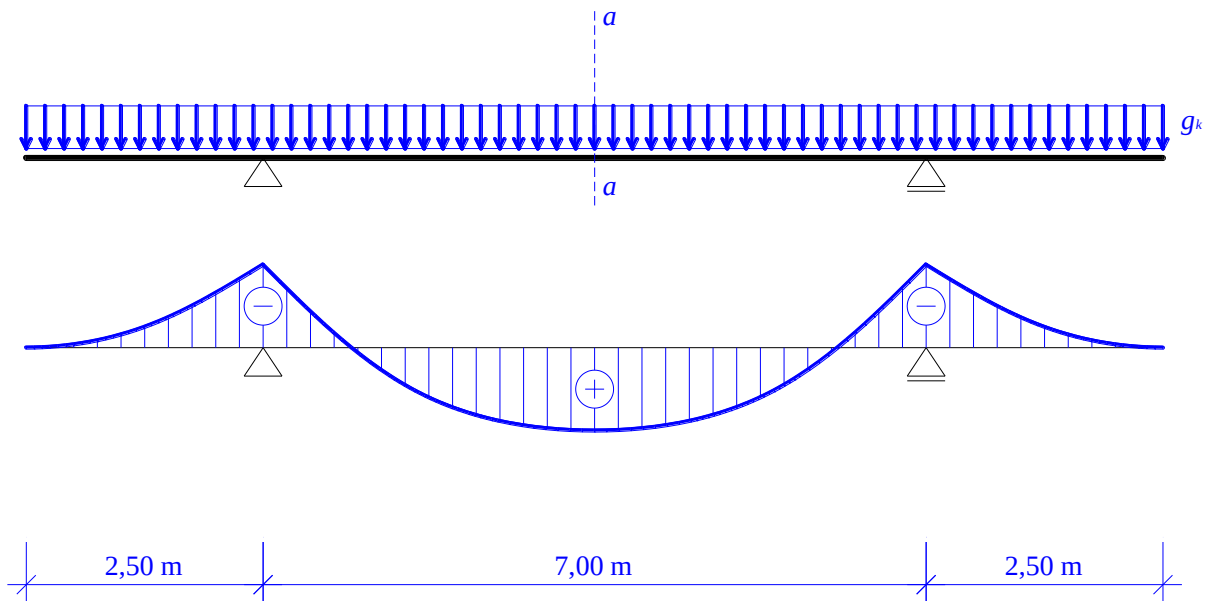


Slika 4 Spremenljiva obtežba v srednjem polju.



Slika 5 Spremenljiva obtežba v srednjem polju.

Stalna obtežba deluje neugodno, če je njen vpliv v obravnavanem prerezu istosmiseln kot vpliv obravnavane spremenljive obtežbe.



Slika 6 Stalna obtežba.

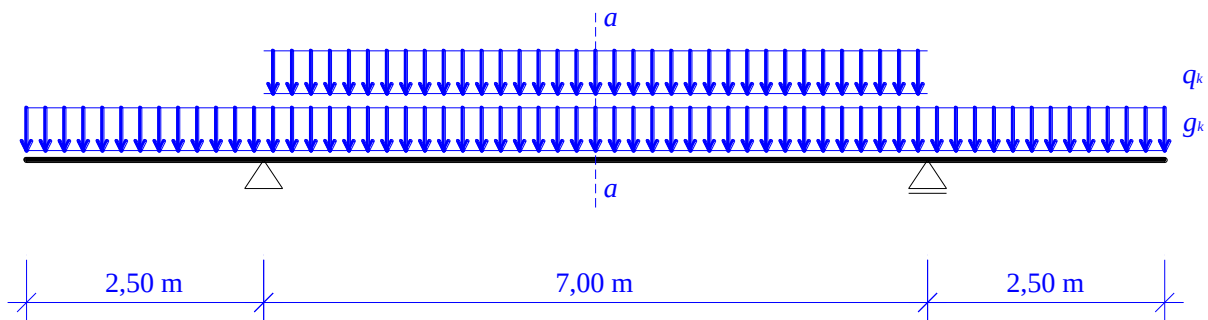
Ker v geometrijskem modelu upoštevamo linearno teorijo elastičnosti, velja pri računu notranjih sil zakon superpozicije, tako da lahko s faktorji varnosti množimo kar statične količine.

### 1. obtežni primer: $M_{Ed,max}$

Za račun največjega upogibnega momenta v prerezu  $a-a$  je razporeditev stalne in spremenljive obtežbe prikazana na sliki 7.

Računske vrednosti vplivov v prerezu  $a-a$  so

$$E_d = E(\gamma_{G, sup} \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_k) \quad (1.19)$$



Slika 7 Razpored obtežbe po konstrukciji, ki v prerezu  $a-a$  povzroča največji upogibni moment.

Statične količine množimo s faktorji varnosti

$$g_d = \gamma_{G, sup} \cdot g_k = \quad (1.20)$$

$$q_d = \gamma_Q \cdot q_k = \quad (1.21)$$

Upogibni moment v prerezu  $a-a$  je

$$M_{Ed} = \frac{(g_d + q_d) \cdot l_2^2}{8} - \frac{g_d \cdot l_1^2}{2} = \quad (1.22)$$

prpadajoča osna sila v prerezu  $a-a$  je

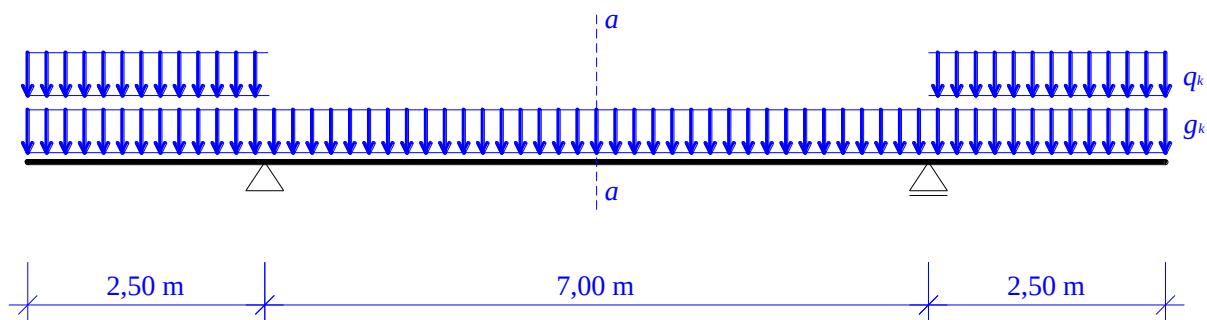
$$N_{Ed} = 0 \text{ kN} \quad (1.23)$$

## 2. obtežni primer: $M_{Ed, min}$

Za račun najmanjšega upogibnega momenta v prerezu  $a-a$  je razporeditev stalne in spremenljive obtežbe prikazana na sliki 8.

Računske vrednosti vplivov v prerezu  $a-a$  so

$$E_d = E(\gamma_{G, inf} \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_k) \quad (1.24)$$



Slika 8 Razpored obtežbe po konstrukciji, ki v prerezu a-a povzroča najmanjši upogibni moment.

Statične količine množimo s faktorji varnosti

$$g_d = \gamma_{G,inf} \cdot g_k = \quad (1.25)$$

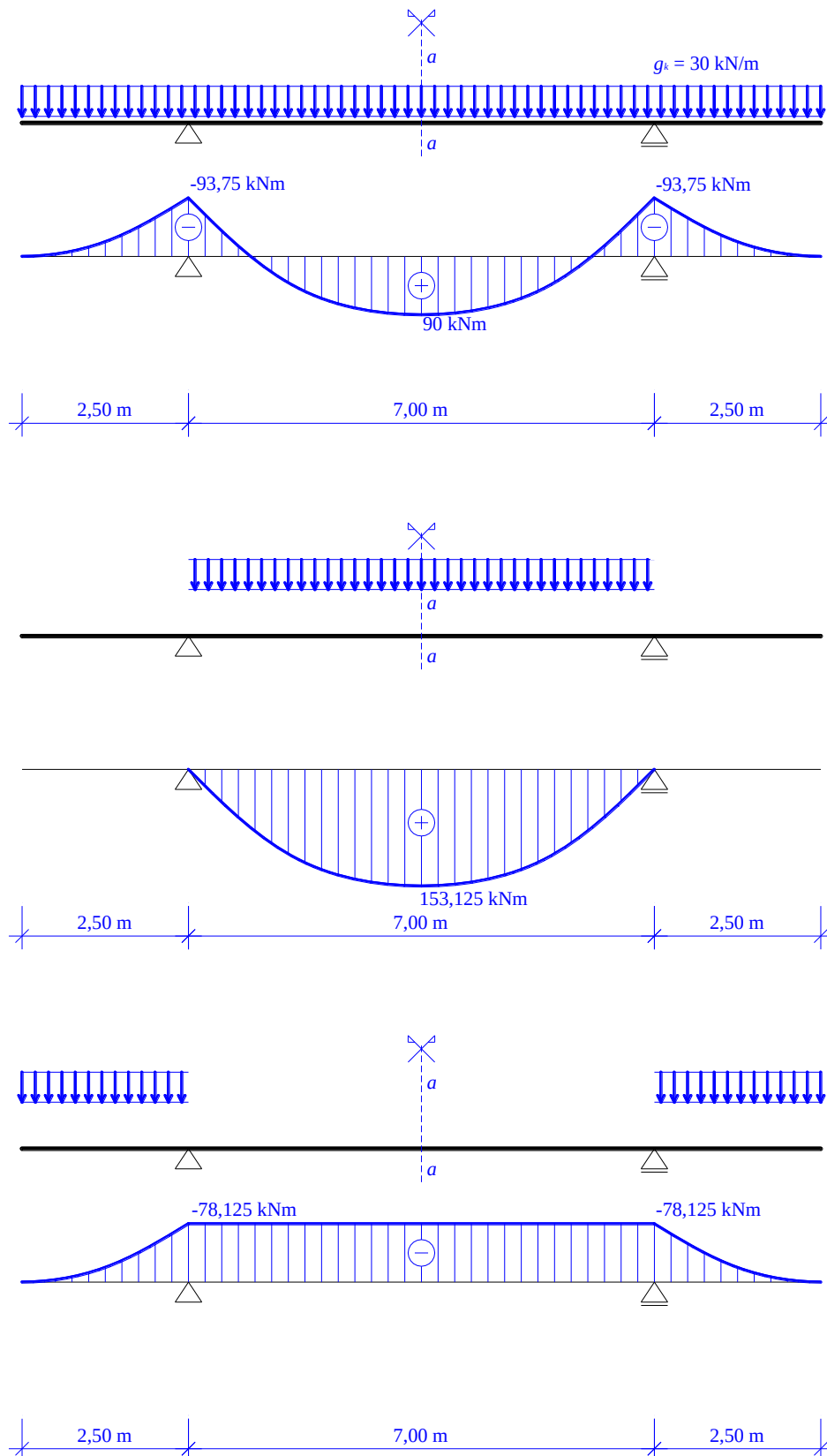
$$q_d = \gamma_Q \cdot q_k = \quad (1.26)$$

Upogibni moment v prerezu a-a je

$$M_{Ed} = \quad (1.27)$$

pripadajoča osna sila v prerezu a-a je

$$N_{Ed} = 0 \text{ kN} \quad (1.28)$$



Slika 9

Diagrami upogibnih momentov.

1. obtežni primer:  $M_{Ed,max}$

Upogibni moment v prerezu  $a-a$  je

$$M_{Ed} = \gamma_{g,sup} \cdot g_k \cdot \left( \frac{l_2^2}{8} - \frac{l_1^2}{2} \right) + \gamma_q \cdot q_k \cdot \frac{l_2^2}{8} =$$

(1.29)

=

pripadajoča osna sila v prerezu  $a-a$  je

$$N_{Ed} = 0 \text{ kN}$$

(1.30)

## 2. obtežni primer: $M_{Ed,min}$

Upogibni moment v prerezu  $a-a$  je

$$M_{Ed} = \gamma_{g,inf} \cdot g_k \cdot \left( \frac{l_2^2}{8} - \frac{l_1^2}{2} \right) - \gamma_q \cdot q_k \cdot \frac{l_1^2}{2} =$$

(1.31)

=

pripadajoča osna sila v prerezu  $a-a$  je

$$N_{Ed} = 0 \text{ kN}$$

(1.32)





Slika 11      *Ovojnici upogibnih momentov.*