

Smer:

Vodarstvo in okoljsko inženirstvo UN

Predmet:

Osnove lesenih in jeklenih konstrukcij

Šolsko leto: 2017/2018

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

OLJK: 1. vaja

- 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 ψ_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 ψ_0 , ψ_1 , ψ_2 so podani v Evrokodu 1. Priporočene vrednosti faktorjev ψ za stavbe so podane v preglednici 1.

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

Vpliv	ψ_0	ψ_1	ψ_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 ≤ 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 ψ 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 γ_f delni varnostni faktor za obtežbe, podan v Evrokodu 1. Z delnim varnostnim faktorjem γ_f upoštevamo določeno odstopanje obtežbe, nezanesljivo modeliranje obtežbe, ... γ_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 γ_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_{max} v kritičnem prerezu in njej pripadajoči upogibni moment $M_{\text{prip}}(N_{\text{max}})$, poiščemo največji upogibni moment M_{max} v kritičnem prerezu in njemu pripadajočo osno silo $N_{\text{prip}}(M_{\text{max}})$ ali pa poiščemo najmanjši upogibni moment M_{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:

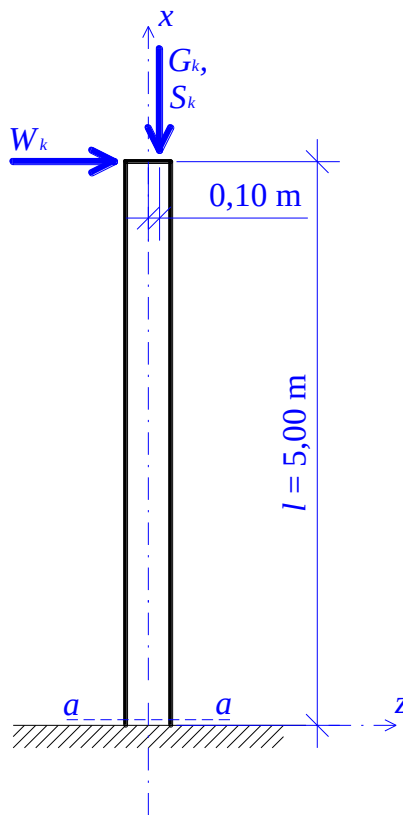
- karakteristična $\sum_j G_{k,j} + (P) + Q_{k1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} \cdot Q_{ki} ,$
- pogosta $\sum_j G_{k,j} + (P) + \psi_{1,1} \cdot Q_{k1} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{ki} ,$
- navidezno stalna $\sum_j G_{k,j} + (P) + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{ki} .$

Preglednica 3 Kombinacijski faktorji ψ za obtežbe za različne obtežne primere v stavbah.

Vpliv	ψ_0	ψ_1	ψ_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

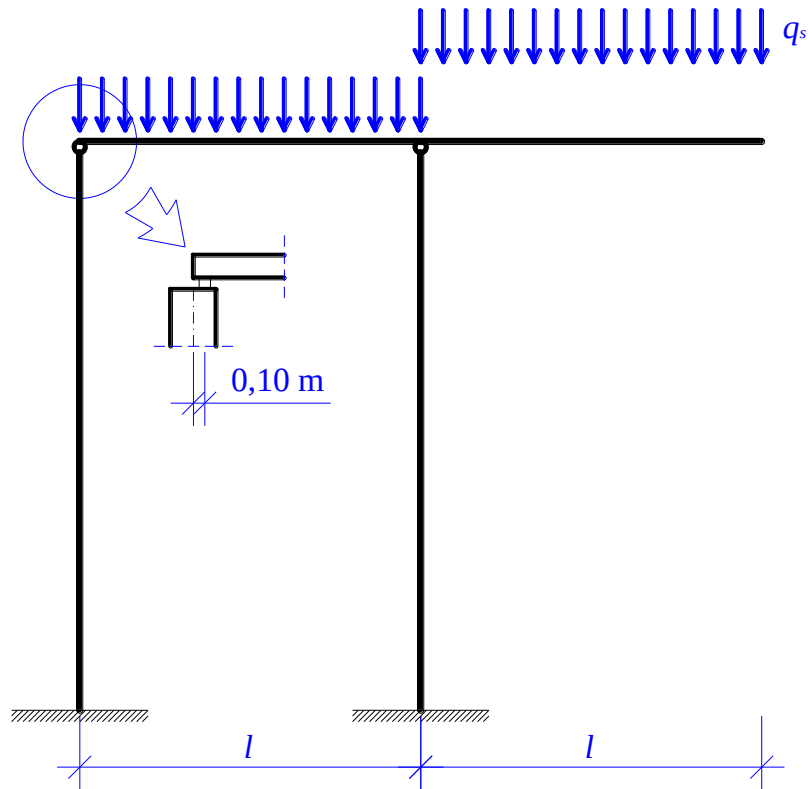
$$E_d = E(\gamma_{G,inf} \cdot G_k + \gamma_Q \cdot W_k + \gamma_{Q,inf} \cdot \psi_0 \cdot S_k) \quad (1.13)$$

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

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

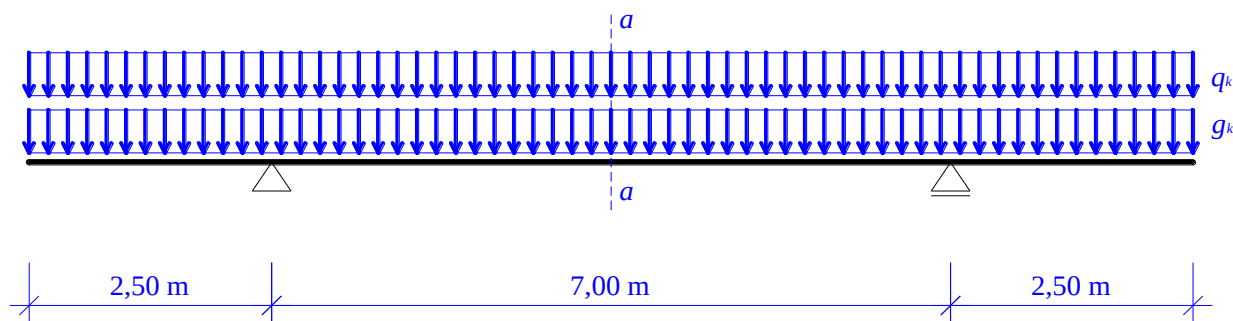
Preglednica 4 Računska obremenitev v prerezu a-a obravnavanega stebra.

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.



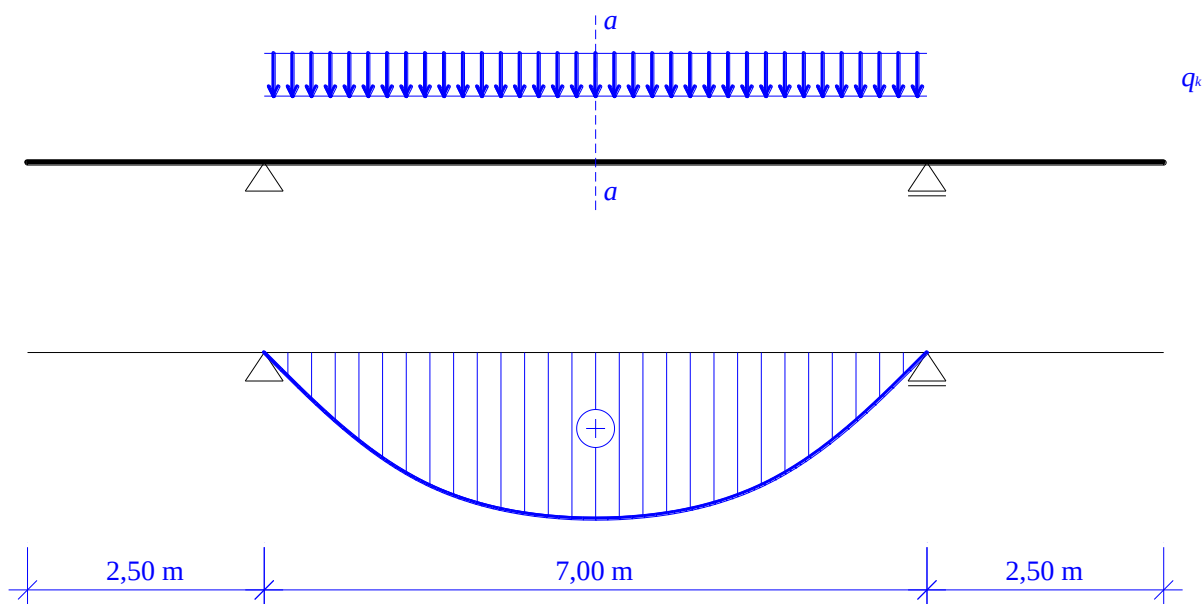
Slika 3 Geometrijske karakteristike obravnavanega nosilca in obtežba nanj.

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

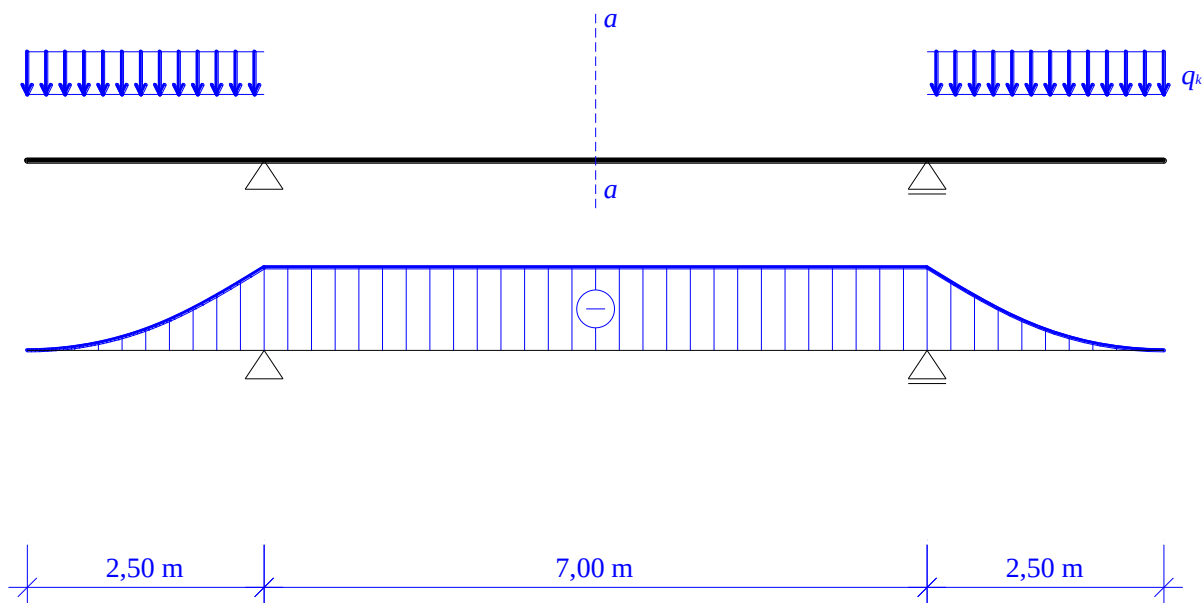
Spremenljiva $q_k = 25 \text{ kN/m}$

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).

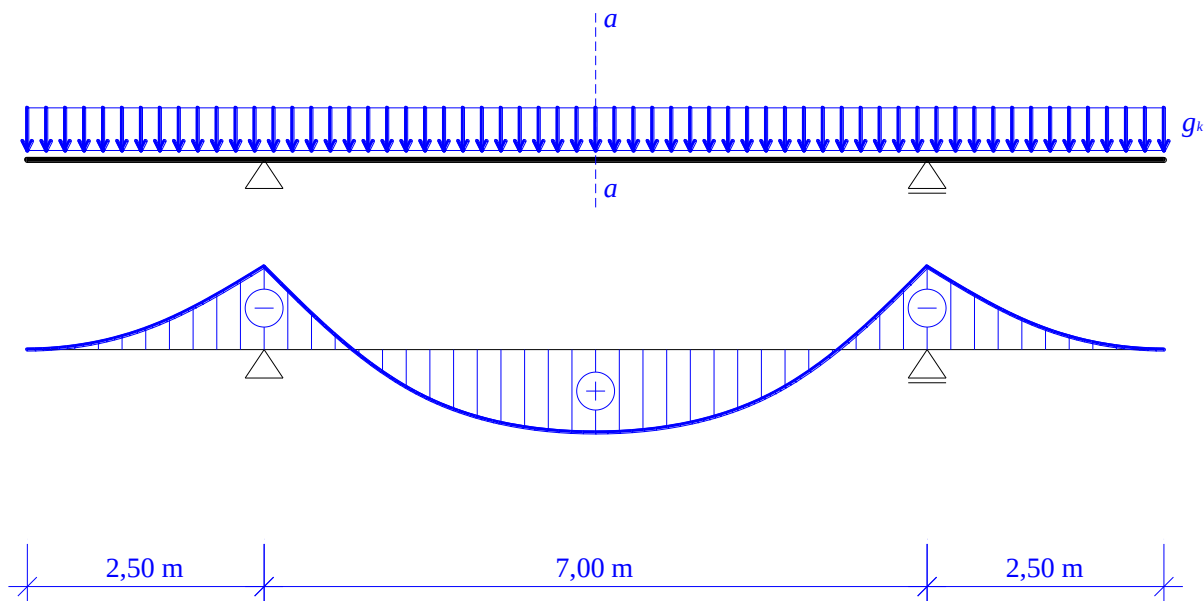


Slika 4 Spremenljiva obtežba v srednjem polju.



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.

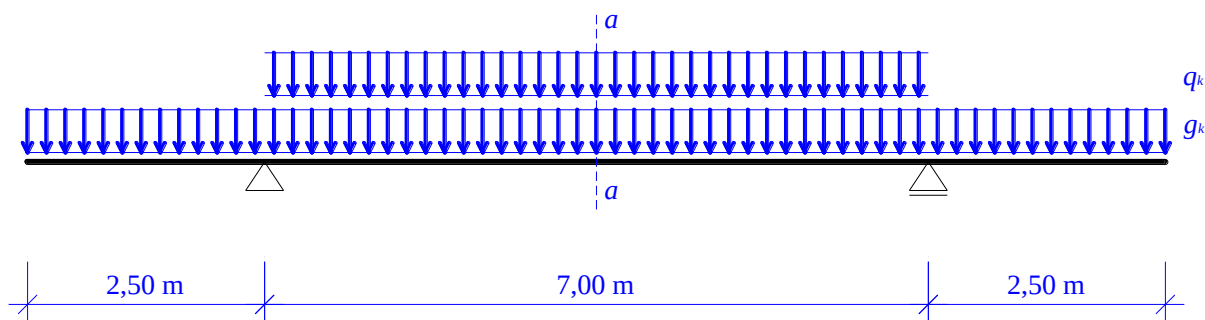
Ker v geometrijskem modelu upoštevamo linearno teorijo elastičnosti, velja pri računu notranjih sil zakon superpozicije, tako da lahko s faktorji varnosti množimo kar statične količine.

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

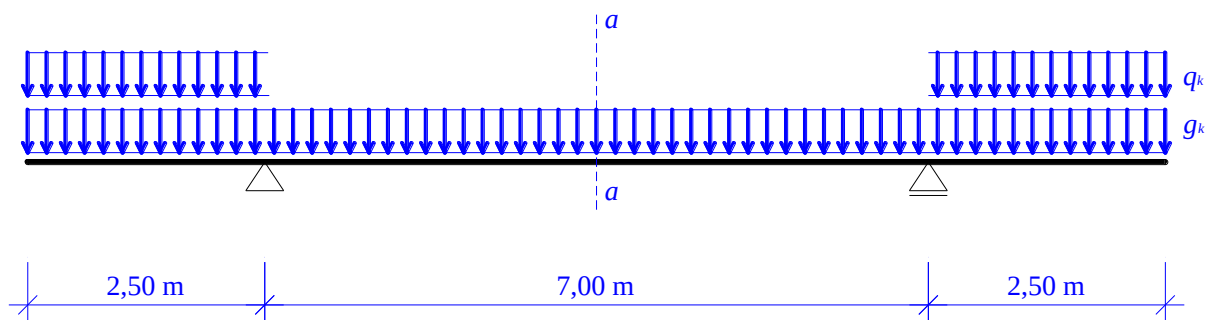
$$N_{Ed} = 0 \text{ kN} \quad (1.23)$$

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

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

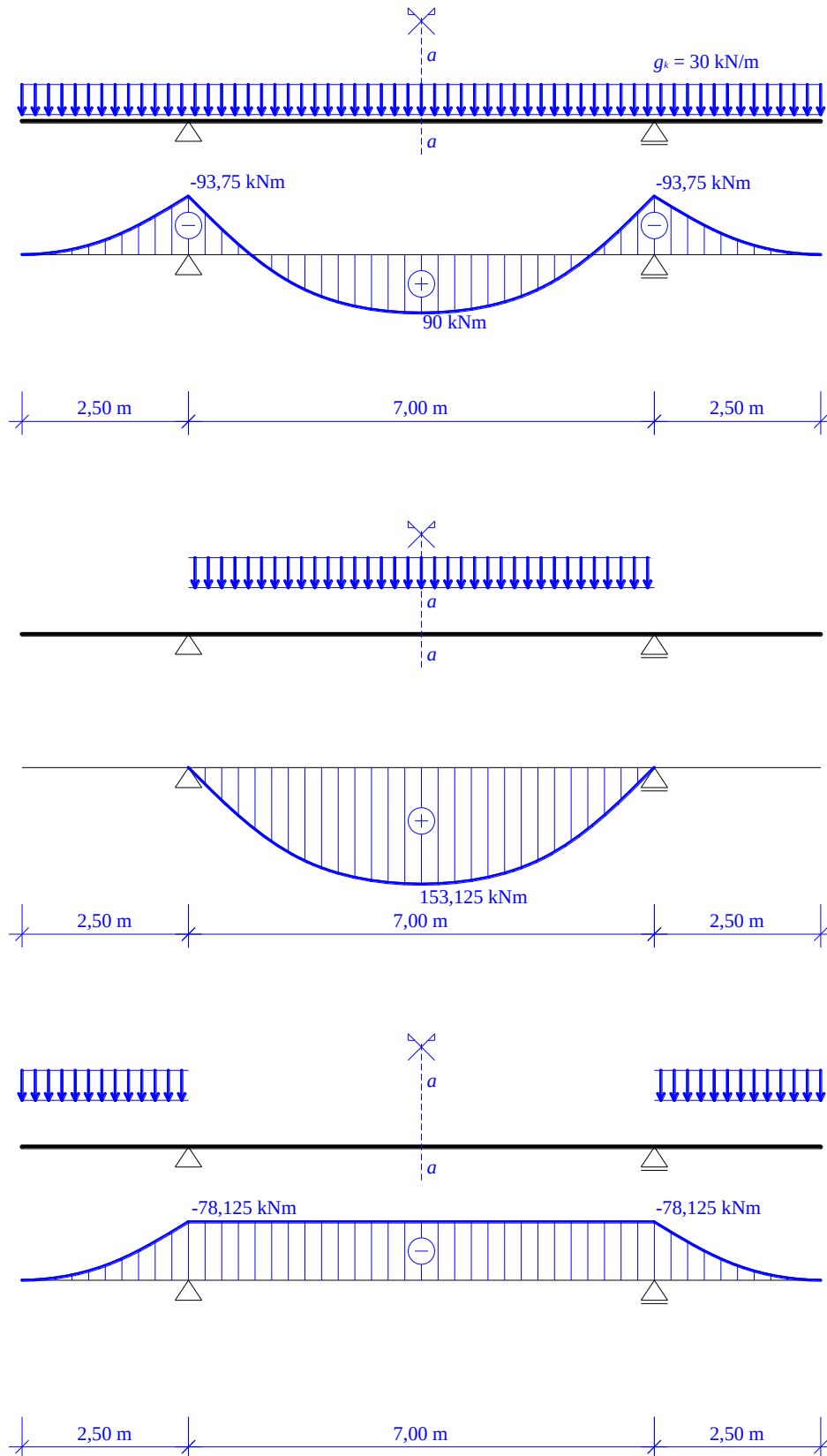
$$q_d = \gamma_Q \cdot q_k = \quad (1.26)$$

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)

Diagram of a beam element of length $l_1 = 2,50 \text{ m}$, divided into 10 segments of length $\Delta x = 0,50 \text{ m}$. The beam is supported by a pin support at the center. The total length is $l_1 = 2,50 \text{ m}$, and the distance from the support to the right end is $l_1 / 2 = 3,50 \text{ m}$.

Merilo upogibnih momentov je $1 \text{ cm} = 100 \text{ kNm}$.

[illegible]

Slika 11 *Ovojnici upogibnih momentov.*