

Smer:

Gradbeništvo UNI

Predmet:

Betonske konstrukcije

Šolsko leto: 2018/2019

Predavanja: 4 h tedensko → 60 ur

Vaje: 4 h tedensko → 60 ur

VAJE

Vsebina:

1. OBTEŽBA-OBREMENITEV

Projektne vrednosti vplivov na konstrukcije

2. MATERIALI

Konstitutivni zakoni materialov – laboratorijska vaja

3. ENOOSNI UPOGIB

Projektiranje osno-upogibno obremenjenih armiranobetonskih elementov

4. STRIG, TORZIJA IN PREBOJ

Projektiranje strižno obremenjenih armiranobetonskih elementov

5. KROVNI SLOJ BETONA

Krovni sloj betona

6. NEARMIRANI BETON

Nearmirane in šibko armirane betonske konstrukcije

7. RAZPOKE, POMIKI

Mejno stanje uporabnosti – mejno stanje razpok in mejno stanj pomikov

8. RAZPORE, VEZI

Dimenzioniranje in detajliranje AB elementov na podlagi nosilnih mehanizmov s tlačnimi razporami in nateznimi vezmi

9. PREDNAPETI BETON

Prednapeti nosilec

10. ARMATURNI NAČRT

Konstruiranje armature

1. vaja: PROJEKTNE VREDNOSTI VPLIVOV NA KONSTRUKCIJE

Projektiranje armiranobetonskih konstrukcij (AB konstrukcij) izvajamo po metodi mejnih stanj (MMS) skladno s standardom Evrokod 2– SIST EN 1992-1-1 (EC 2).

Pri dimenzioniranju AB 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 leta 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 standardu Evrokod 1 – SIST EN 1991-1 (EC 1)

Z izrazom obtežba (action) označujemo po EC 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

BK: 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, ...),
- neugodne 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 neugodne 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 EC 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, ...,
- neugodno.

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 EC 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 EC 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
Neugoden (istosmiseln vpliv)	1,35 * ($\gamma_{G,sup}$)	1,50

* 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

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

pri čemer je γ_M delni varnostni faktor za materiale, X_k pa karakteristična trdnost materiala določena s standardnimi testi na podlagi statističnih podatkov (fraktila).

Preglednica 3 Delni varnostni faktorji za materiale za v mejnem stanju nosilnosti kot jih podaja standard SIST EN 1992-1-1 oziroma EC 2.

Projektna stanja	γ_C za beton	γ_S za mehko armaturo	γ_S za prednapeto armaturo
Stalna in začasna	1,5	1,15	1,15
Nezgodna	1,2	1,0	1,0

Pri kontroli v mejnem stanju uporabnosti moramo, za delne varnostne faktorje za materiale, upoštevati vrednosti, ki so podane v posebnih členih tega evrokoda.

Opomba: Vrednosti varnostnih faktorjev γ_C in γ_S v mejnem stanju uporabnosti za uporabo v posamezni državi lahko najdemo v ustreznem nacionalnem dodatku. Priporočene vrednosti za projektna stanja, ki niso obravnavana v posebnih členih tega evrokoda, je 1,0.

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 $M_{prip}(N_{max})$, poiščemo največji upogibni moment M_{max} v kritičnem prerezu in njemu pripadajočo osno silo $N_{prip}(M_{max})$ ali pa poiščemo najmanjši upogibni moment M_{min} v kritičnem prerezu in njemu pripadajočo osno silo $N_{prip}(M_{min})$.

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

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

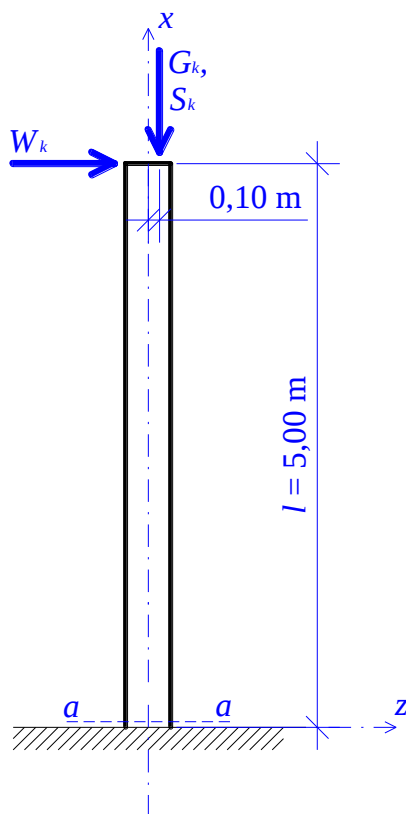
pri čemer $A_{E,d}$ predstavlja vrednost vpliva zaradi potresnih sil oziroma deformacij.

Preglednica 4 Kombinacijski faktorji ψ za obtežbe za različne osnovne 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

$$\gamma_G = 1,35,$$

$$\gamma_Q = 1,50,$$

$$\psi_0 = 0,6.$$

Oсна 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

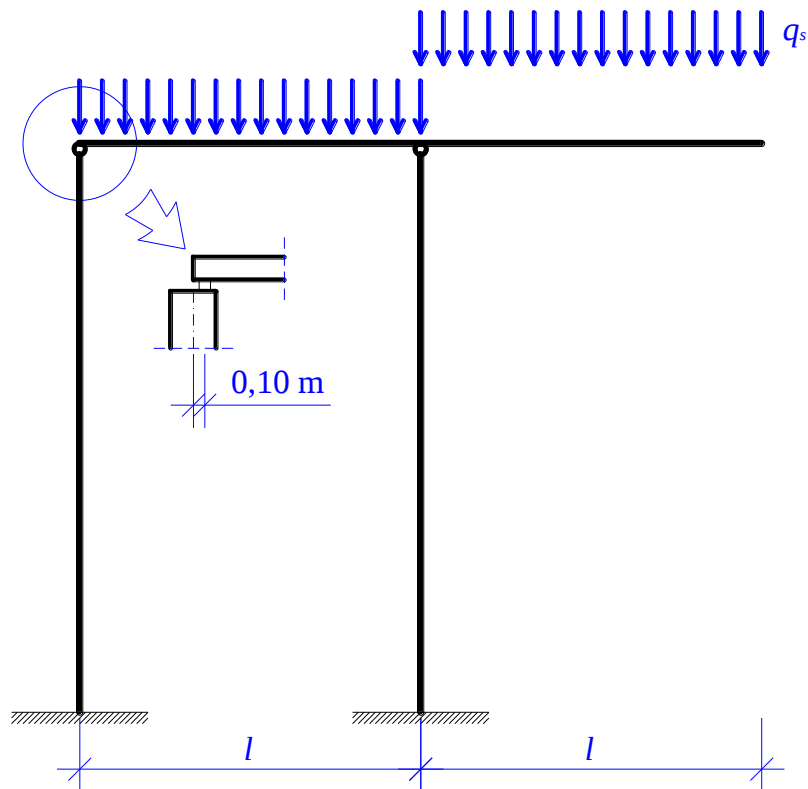
$$E_d = E(\gamma_{G,inf} \cdot G_k + \gamma_Q \cdot W_k + \gamma_{Q,inf} \cdot \psi_0 \cdot S_k) \quad (1.13)$$

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

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

priladajoči 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

$$\gamma_G = 1,00,$$

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

$$\psi_0 = 0,6.$$

Upogibni moment v prerezu $a-a$ je

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

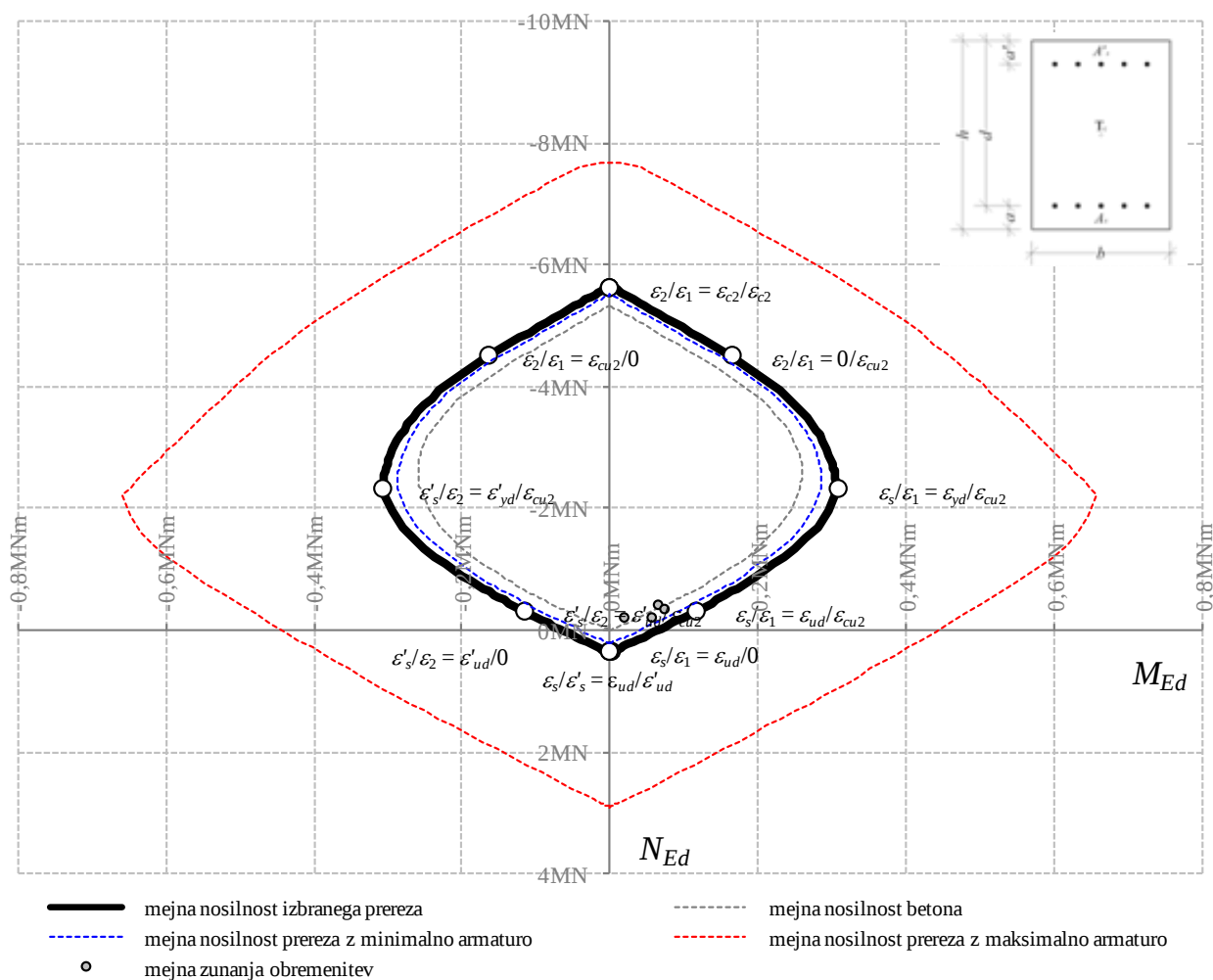
priladajoča osna sila v prerezu $a-a$ je

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

Preglednica 5 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

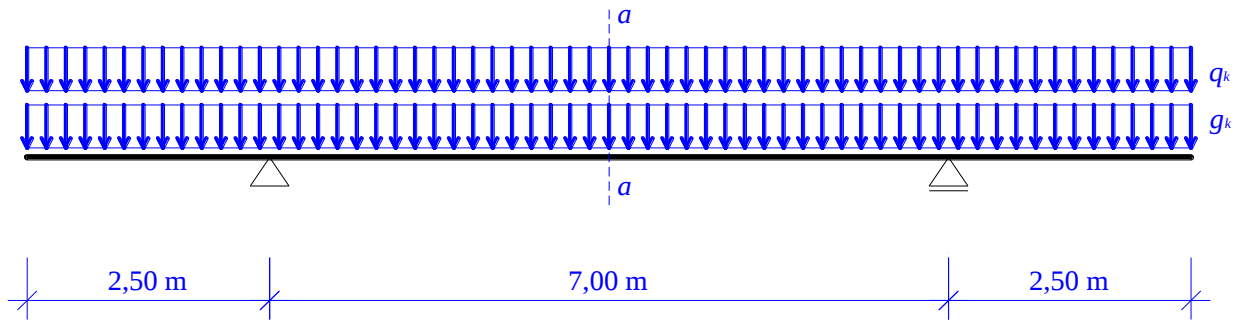
Sedaj moramo za vsak obtežni primer dokazati računsko odpornost. Izračunamo interakcijski diagram prereza.



Slika 3 Interakcijski diagram – poudarjena krivulja opisuje projektno mejno nosilnost prereza.

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.



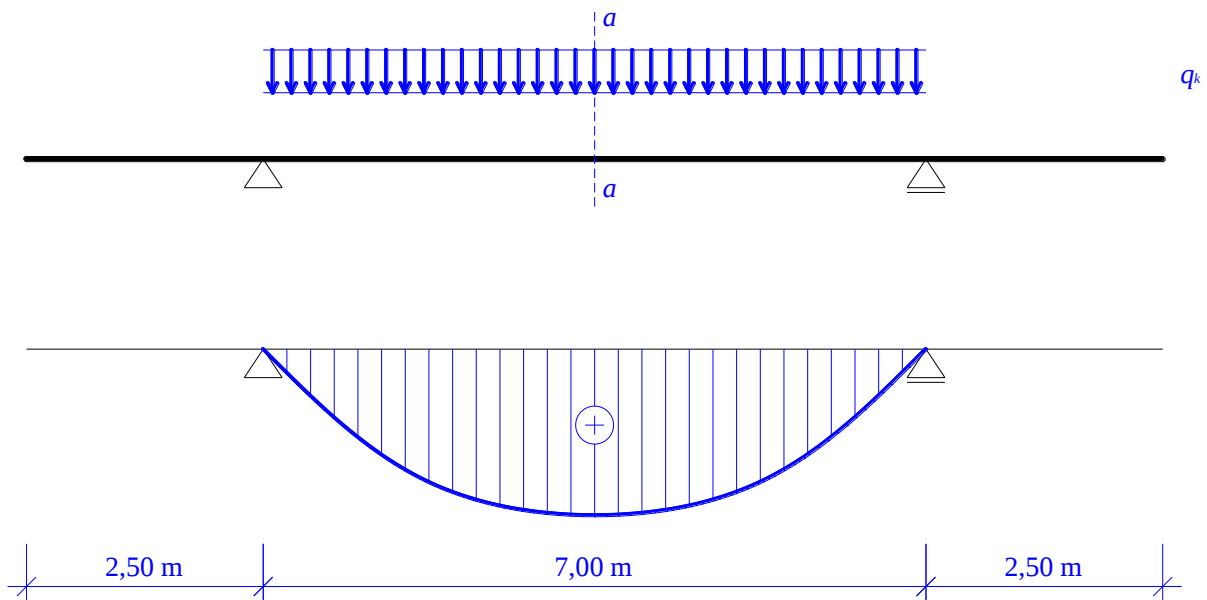
Slika 4 Geometrijske karakteristike obravnavanega nosilca in obtežba nanj.

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

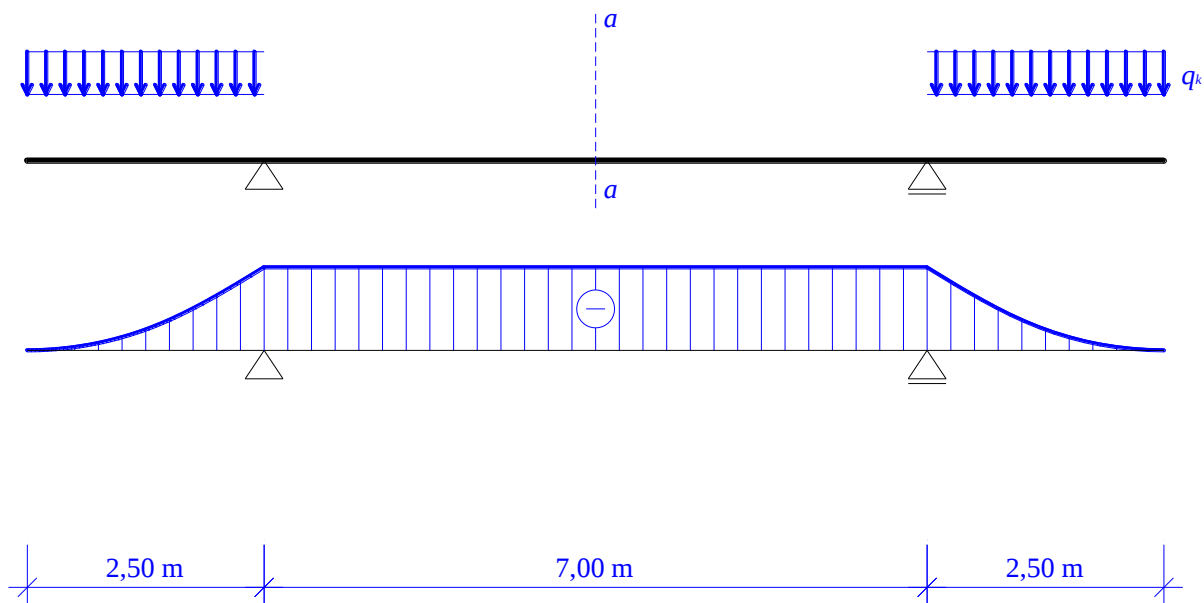
Spremenljiva $q_k = 25 \text{ kN/m}$

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).

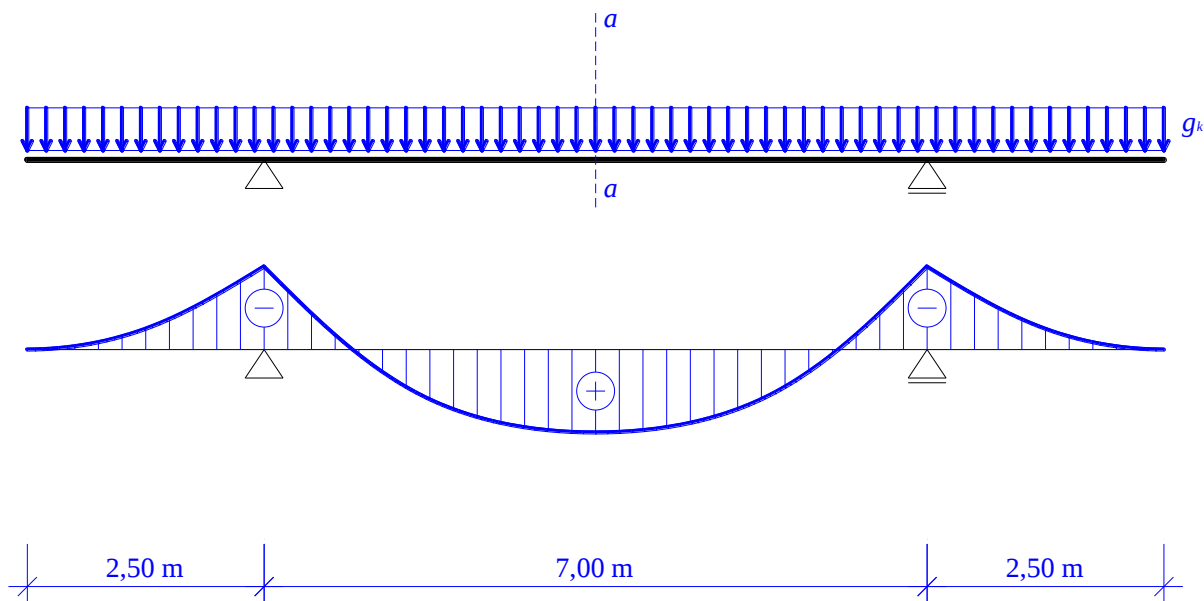


Slika 5 Spremenljiva obtežba v srednjem polju.



Slika 6 Spremenljiva obtežba v srednjem polju.

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



Slika 7 Stalna obtežba.

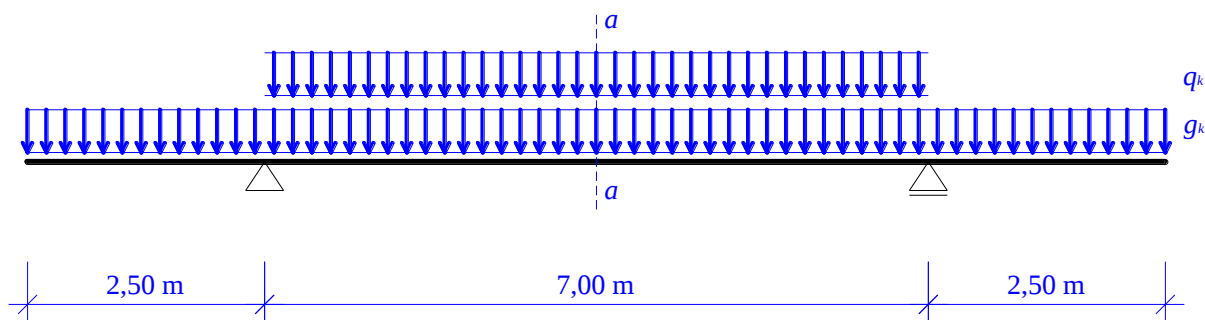
Ker v geometrijskem modelu upoštevamo linearno teorijo elastičnosti, velja pri računu notranjih sil zakon superpozicije, tako da lahko s faktorji varnosti množimo kar statične količine.

1. obtežni primer: $M_{Ed,max}$

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

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 8 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

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

pripadajoča osna sila v prerezu $a-a$ je

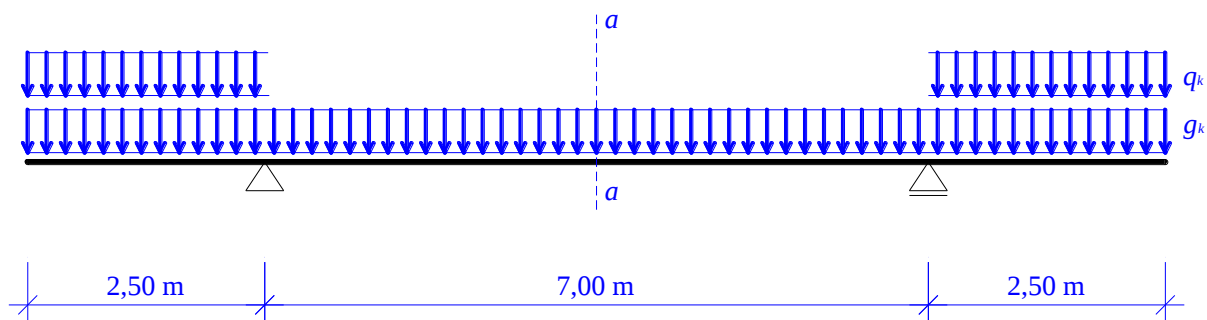
$$N_{Ed} = 0 \text{ kN} \quad (1.23)$$

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 9 Razpored obtežbe po konstrukciji, ki v prerezu $a-a$ povzroča najmanjši upogibni moment.

Statične količine množimo s faktorji varnosti

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

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

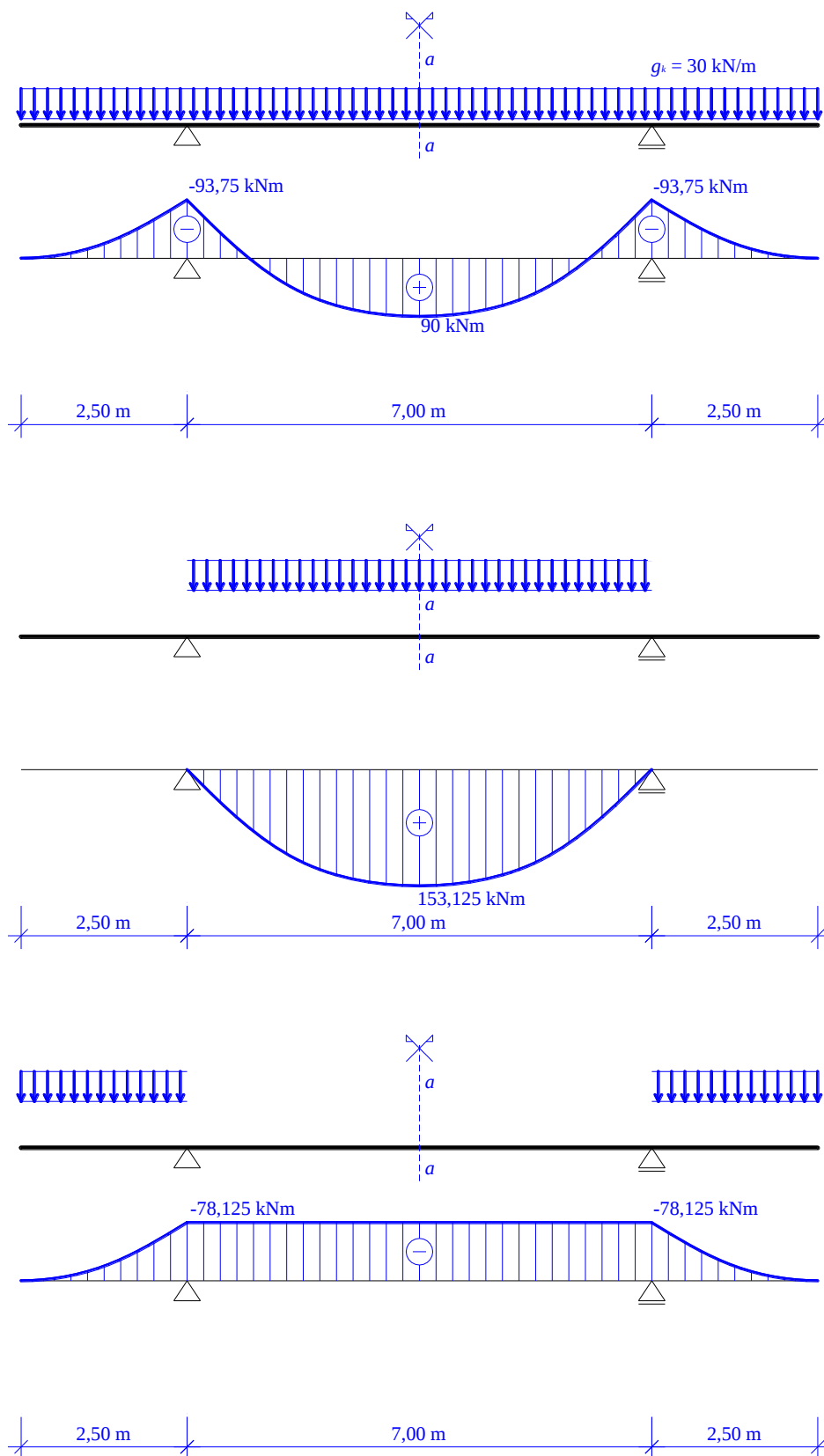
Upogibni moment v prerezu $a-a$ je

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

pripadajoča osna sila v prerezu $a-a$ je

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

BK: 1. vaja



Slika 10 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)

=

priladajoča 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)

=

priladajoča 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 12 Ovojnici upogibnih momentov.