Osnove potresnega inženirstva, enačbe za 1. kolokvij

$E_{beton} = 33 * 10^6 \frac{kN}{m^2}$ $\quad$ $E_{jeklo} = 21 * 10^7 \frac{kN}{m^2}$

$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ $\quad$ $\omega = \frac{2\pi}{T}$ $\quad$ $\nu = \frac{1}{T}$

1. Enačba gibanja

$f_I(t) + f_D(t) + f_E(t) = f(t)$

$f_I(t) = m\ddot{u}(t); f_D(t) = c\dot{u}_r(t);\ f_E(t) = ku_r(t)$

$\boldsymbol{m\ddot{u}(t) + c\dot{u}_r(t) + ku_r(t) = f(t)}$

Lastno nihanje: $f(t) = 0$

$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}_r(t) + ku_r(t) = 0$

Nedušeno nihanje: $c = 0$

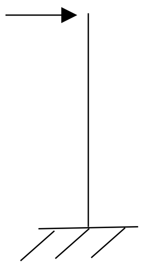
$m\ddot{u}(t) + ku_r(t) = 0$

Statični primer: $\ddot{u} = 0; \dot{u} = 0$

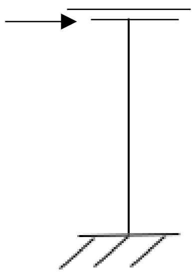
$F = ku_r$

Togost

Konzola

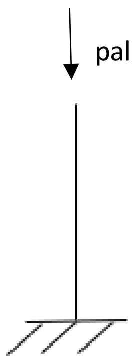


$k = \frac{3EI}{h^3}$

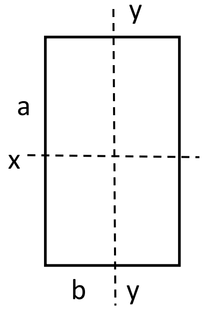


$k = \frac{12EI}{h^3}$

palica



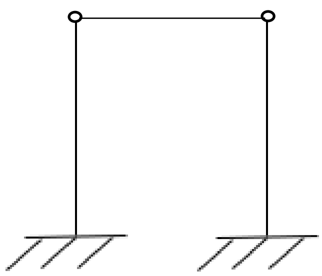
$k = \frac{EA}{h}$



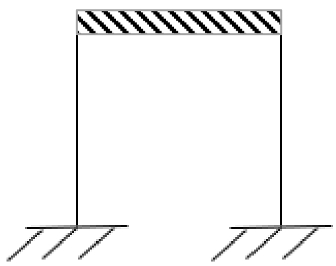
$I_x = \frac{ab^3}{12}$ $\quad$ $k_x = \frac{3EI_y}{h}$

$I_y = \frac{a^3b}{12}$ $\quad$ $k_y = \frac{3EI_x}{h}$

$k_z = \frac{EA}{h}$



$k = \frac{3EI}{h^3} * 2$



$k = \frac{12EI}{h^3} * 2$

Vzporedna vezava:

$k = \sum_{i=1}^{n} k_i$ $\frac{1}{d} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{d_i}$

Zaporedna vezava:

$\frac{1}{k} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{k_i}$ $d = \sum_{i=1}^{n} d_i$

2. Numerično reševanje enačbe gibanja

$$\dot{u}_k = \dot{u}_z + \frac{\Delta t}{2}(\ddot{u}_z + \ddot{u}_k)$$
$$u_k = u_z + \dot{u}_z \Delta t + \frac{\Delta t^2}{\omega}(\ddot{u}_z + \ddot{u}_k)$$
$$u_k = \frac{\bar{F}_k}{\bar{K}_k};\ \ \bar{F}_k - nadomestna\ sila, \bar{K}_k - nadomestna\ togost$$
$$\dot{u}_k = \frac{2}{\Delta t}(u_k - u_z) - \dot{u}_z$$
$$\ddot{u}_k = \frac{4}{\Delta t^2}(u_k - u_z) - \frac{4}{\Delta t}\dot{u}_z - \ddot{u}_z$$

Nadomestna sila:

$$F = f_k + \left(\frac{u}{\Delta t^2}u_z + \frac{k}{\Delta t}\dot{u}_z + \ddot{u}_z\right)m + \left(\frac{2}{\Delta t}u_z + \dot{u}_z\right)c$$

Nadomestna togost:

$$K = \frac{4}{\Delta t^2}m + \frac{2}{\Delta t}c + k$$

3. Lastno nedušeno nihanje:

$$u(t) = \frac{\dot{u}_z}{\omega}\sin(\omega t) + u_0\cos(\omega t)$$

4. Lastno dušeno nihanje:

$$c = 2\xi m\omega$$
$$u = e^{-\xi\omega t}\left(\frac{u_0 + \xi\omega u_0}{\omega_D}\sin(\omega_D t) + u_0\cos(\omega_D t)\right)$$

Krožna frekvenca dušenega nihanja - ω_D:

$$\omega_D = \omega\sqrt{1-\xi^2}\ ;\ \xi = \frac{c}{c_{CR}} = 0{,}05;\ če\ ni\ drugače\ določeno$$

Nihajni čas dušenega nihanja:

$$\frac{T_D}{T} = \frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}} \ \rightarrow T \approx T_D$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \qquad \omega = \frac{2\pi}{T} \qquad \nu = \frac{1}{T}$$

Logaritemski dekrement

$$\delta = ln\frac{(u(t))}{(u(t+t_D))} = 2\pi\xi \qquad \xi = \frac{\delta}{2\pi}$$

5. Konstantna obtežba; c=0

$$DF = \frac{u(t)}{u_{st}} = (1 - \cos\omega t)$$

$$DF_{max} = \frac{max\left|u(t)\right|}{u_{st}} = 2\ (za\ konstantno\ obtežbo)$$

$F_{Eq} = DF_{max} f_0$ (ekvivalentna statična obtežba, ki povzroči maksimalen pomik)

6. Konstantna obtežba + dušenje:

$$u(t) = \frac{f_0}{k}(1 - e^{-\xi\omega t}\cos\omega t + \xi\sin\omega t)$$

$$u_{max} = \frac{f_0}{k}\left(1 + e^{-\xi\pi}\right)$$

$$DF_{max} = 1 + e^{-\xi\pi}$$

7. Naraščajoča obtežba

$$f(t) = \begin{cases} f = \dfrac{t}{t_1} f_0, & \dfrac{t}{t_1} < 1 \\ f = f_0, & \dfrac{t}{t_1} \geq 1 \end{cases}$$

$$DF_{max} = \begin{cases} 1 + \dfrac{1}{\omega t}\sqrt{2(1 - \cos\omega t_1}, & t_1 > 0 \\ 2, & t_1 = 0 \end{cases}$$

8. Udarna obtežba

$$u(t) = \frac{f_0}{k}(1 - \cos\omega t) \qquad konstantna\ obtežba\ (pri\ udarni\ pravokotni)$$

$$u(t) = \frac{u_0}{\omega}\sin\omega t + u_0\cos\omega t \qquad lastno\ nihanje$$

$$DF_{max} = \begin{cases} 2\sin\pi\dfrac{t_1}{T}, & t_1 < \dfrac{T}{2} \\ 2, & t_1 \geq \dfrac{T}{2} \end{cases}$$

$$DF_{max} = \frac{2\pi}{Tf_0}\int_0^{t_1} f(t)dt = \frac{2\pi}{Tf_0} * ploščina\ obtežbe\ na\ grafu\ \ F(t)$$

9. Harmonična obtežba

$f(t) = f_0 \sin \Omega t$

$$T_\Omega = \frac{2\pi}{\Omega}; \ \ \Omega \dots krožna\ frekvenca\ stroja$$

$$u(t) = \frac{f_0}{k} \frac{1}{1 - r^2} (\sin \Omega t - r \sin \omega t)$$

$$DF(t) = \frac{1}{\left| 1 - r^2 \right|} \ (\sin \Omega t - r \sin \omega t) \rightarrow DF(t) = \left| \frac{1}{1 - r^2} \right| \qquad majhno\ dušenje$$

$$r = \frac{\Omega}{\omega} \qquad r = 1 \rightarrow resonanca \qquad DF_{max} = \frac{1}{2\xi}$$

$c \neq 0$

$$DF_{max} = \frac{1}{\sqrt{(1 - r^2)^2 + (2\xi r)^2}}$$

10. Spektri odziva

$u = u(t, T, \xi, \ddot{u}_r)$

$S_d = \max(u(t))$

$F_b = k * S_d = m * S_{pa}$

$S_{pa} = \omega^2 S_d$

EC8:

$\eta \sqrt{\frac{10}{5+\xi}}$; *vrednost* ξ *v* %; $\xi = 0{,}05 = 5\% \rightarrow \eta = 1$

$$S_d = \frac{m}{k} S_{pa} = \frac{S_{pa}}{\omega^2} = (T > T_D; EC8) = \frac{T^2}{4\pi^2} * \frac{a_g S \eta T_C T_D}{T^2} = \frac{a_g S \eta T_C T_D}{4\pi^2}$$

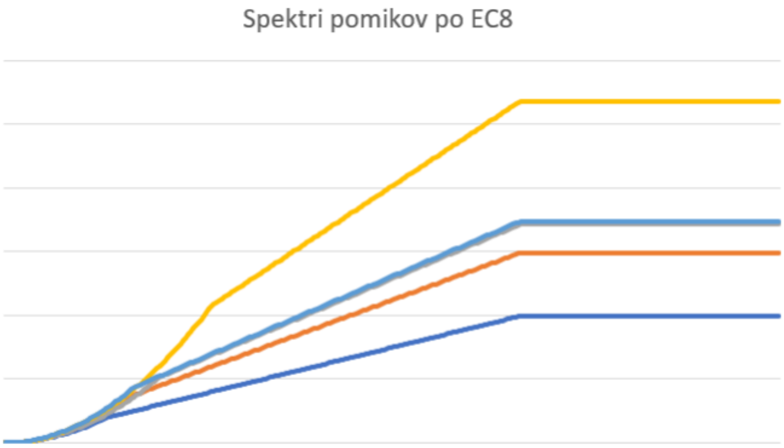
$$0 \le T \le T_B: \; S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2{,}5 - 1)\right]$$

$$T_B \le T \le T_C: \; S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2{,}5$$

$$T_C \le T \le T_D: \; S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2{,}5 \left[\frac{T_C}{T}\right]$$

$$T_D \le T \le 4\text{s}: \; S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2{,}5 \left[\frac{T_C T_D}{T^2}\right]$$

Ground type	S	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,0	0,05	0,25	1,2
B	1,35	0,05	0,25	1,2
C	1,5	0,10	0,25	1,2
D	1,8	0,10	0,30	1,2
E	1,6	0,05	0,25	1,2



Osnove potresnega inženirstva, 2. kolokvij

$$E_{beton} = 33 * 10^6 \frac{kN}{m^2} \qquad E_{jeklo} = 21 * 10^7 \frac{kN}{m^2}$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \qquad \omega = \frac{2\pi}{T} \qquad \nu = \frac{1}{T}$$

»Peš« račun:

Člene podajnostnih matrik za konzolne vertikalne elemente (1. in 2. naloga) izračunamo z naslednjo enačbo:

$$d_{ji} = \frac{z_j}{GA_s} + \frac{{z_j}^2}{6EI}\left(3z_i - z_j\right); \quad z_j \leq z_i$$

kjer sta z_i in z_j koti i-te in j-te etaže, G strižni modul, E elastični modul, A_s strižni prerez in *I* vztrajnostni moment prereza.

Člene podajnostne matrike za okvir (3. naloga) sem izračunal z enačbami:

$$d_{11} = \frac{{h_1}^2}{12}\left(\frac{1}{4s_1} + \frac{1}{4p_1 + 0{,}33s_1}\right)$$

$$d_{12} = d_{11} + \frac{h_1 h_2}{48p_1 + 4s_1}$$

$$d_{22} = d_{11} + \frac{{h_2}^2}{12}\left(\frac{1}{s_2} + \frac{1}{4p_1} + \frac{1}{4p_2}\right) + \frac{h_1 h_2}{24p_1 + 2s_1}$$

$$d_{ji} = d_{jj} + \frac{h_j h_{j+1}}{48p_j}; \qquad j < i \quad in \quad i \geq 3$$

$$d_{jj} = d_{j-1,j-1} + \frac{{h_j}^2}{12}\left(\frac{1}{s_j} + \frac{1}{4p_{j-1}} + \frac{1}{4p_j}\right) + \frac{h_{j-1}h_j}{24p_{j-1}}; \; j \geq 3$$

kjer sta h_i in h_j etažni višini i-te in j-te etaže, s_i in p_i pa prispevka stebrov in prečk v i-ti etaži k togosti okvira. Prispevka s_i in p_i se določita z naslednjima enačbama:

$$s_i = \sum_k \frac{EI_{i,k}}{h_i}$$

$$p_i = \sum_k \frac{EI_{i,k}}{l_{i,k}}$$

Kjer je E elastični modul, $I_{i,k}$ vztrajnostni moment *k*-tega elementa (stebra ali prečke) v *i*-ti etaži, h_i višina *i*-te etaže in $l_{i,k}$ dolžina *k*-te prečke v *i*-ti etaži.

Ko izračunamo podajnostno matriko za posamezen element konstrukcije (eno steno, en konzolni steber ali en okvir), dobimo podajnostno matriko tako, da matriko (oz. vse vrednosti v matriki) za posamezni element delimo s številom elementov.

Pri drugi nalogi smo dimenzionirali nosilec. Glede na pogoje (največji dovoljen pomik je 1% višine stebra) smo določili (iz grafa normiranega spektra pomikov - $SF = \frac{a_{g,ciljni}}{a_g}$; $a_{g,ciljni} = 0.4 * g$) največji nihajni čas, ki bi bil primeren za konstrukcijo. Prek togosti ($k = \frac{4\pi^2 m}{T^2}$) smo tako določili minimalen vztrajnostni moment prereza ($I = \frac{kh^3}{3E}$). Iz tabele s podatki za različne HEB jeklene profile smo izbrali prvi prerez, ki ima vztrajnostni moment prereza večji od potrebnega. Nato pa smo račun z zapisanimi enačbami izvedli »nazaj« ($k = \frac{3EI}{h^3}$; $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$) in iz grafa normiranih pospeškov glede na izračunani nihajni čas razbral največji pomik. S tem pomikom in ostalimi podatki iz tabele podatkov za HEB jeklene profile smo izvedli še kontrolo napetosti zaradi lastne teže stebra.

5. vaja (!!!)

Poznamo: višini etaž (h1, h2), raster v x- in y-smeri, dimenzije elementov (debelina in dolžina sten, dimenzije prečk, notranjih in zunanjih stebrov), maks pospešek tal, elastični in strižni modul betona, lastno težo in spremenljivo obtežbo.

1.Račun geometrijskih karakteristik:

$$I_s = \frac{{L_s}^3 d_s}{12} * 0{,}5 \; (razpokanost\ prerezov, vzt.moment\ stene)$$

$$A_s = \frac{L_s d_s}{1{,}2} * 0{,}5 \; (strižni\ prerez; samo\ za\ stene; razpokanost)$$

$$I = \frac{b^4}{12} * 0{,}5 = \frac{h^4}{12} * 0{,}5 \; (za\ kvadraten\ prečni\ prerez; razpokanost)$$

2.Račun mase

Izračunamo površino tlorisa At (pazi: dimenzije so ponavadi do sredine stebrov; prišteti je trebaše polovici čisto zunanjih stebrov)

Masa zaradi stalne obtežbe: $m_g = A_t * g/9{,}81$

Masa zaradi spremenljive obtežbe: $m_q = A_t * q/9{,}81$

Masa v 1. etaži: $m_1 = m_g + 0{,}15 * m_q$

Masa v 2. etaži: $m_2 = m_g + 0{,}30 * m_q$

Masa skupaj: $m = m_1 + m_2$

Masna matrika:

m	m1	0
	0	m2

3.Podajnostno matriko stene (oz. vseh vertikalnih konzolnih elementov) izračunamo po enačbi:

Člene podajnostnih matrik za konzolne vertikalne elemente (nalogi 1 in 2) izračunaj z naslednjo enačbo:

$$d_{ji} = \frac{z_j}{GA_s} + \frac{z_j^2}{6EI}(3z_i - z_j); \; z_j \leq z_i$$

kjer sta z_i in z_j koti *i*-te in *j*-te etaže (<u>z_j mora biti obvezno manjša ali enaka z_i</u>), G strižni modul, E elastični modul, A_s strižni prerez in I vztrajnostni moment.

Podajnostno matriko okvirjev izračunamo po enačbi:

Člene podajnostnih matrik za okvire (naloga 3) izračunaj z naslednjimi enačbami:

$$d_{11} = \frac{h_1^2}{12}\left(\frac{1}{s_1} + \frac{1}{4p_1 + 0{,}33s_1}\right)$$

$$d_{12} = d_{11} + \frac{h_1 h_2}{48p_1 + 4s_1}$$

$$d_{22} = d_{11} + \frac{h_2^2}{12}\left(\frac{1}{s_2} + \frac{1}{4p_1} + \frac{1}{4p_2}\right) + \frac{h_1 h_2}{24p_1 + 2s_1}$$

$$d_{ji} = d_{jj} + \frac{h_j h_{j+1}}{48p_j};\ j < i \text{ in } i \geq 3$$

$$d_{jj} = d_{j-1,j-1} + \frac{h_j^2}{12}\left(\frac{1}{s_j} + \frac{1}{4p_{j-1}} + \frac{1}{4p_j}\right) + \frac{h_{j-1}h_j}{24p_{j-1}};\ j \geq 3$$

kjer sta h_i in h_j etažni višini i-te in j-te etaže, s_i in p_i pa prispevka stebrov in prečk v i-ti etaži k togosti okvira. Prispevka s_i in p_i se določita z naslednjima enačbama:

$$s_i = \sum_k \frac{EI_{i,k}}{h_i}$$

$$p_i = \sum_k \frac{EI_{i,k}}{l_{i,k}}$$

Pri tem je E elastični modul, $I_{i,k}$ vztrajnostni moment k-tega elementa (stebra ali prečke) v i-ti etaži, h_i višina i-te etaže in $l_{i,k}$ dolžina k-te prečke v i-ti etaži.

Zatem izračunamo togostne matrike vseh makroelementov (stene, okvirjev) z inverzom matrike:

»Peš« inverz matrike 2x2:

a) Izračunamo determinanto matrike ($\det D = d_{11}d_{22} - d_{12}d_{21}$)
b) Poračunamo posamezne člene:

$$k_{11} = \frac{d_{22}}{\det D};\quad k_{12} = -\frac{d_{21}}{\det D}\ ;\ k_{22} = \frac{d_{11}}{\det D};\ \ pazi\ na\ minus\ pri\ računu\ k_{12};\quad k_{12} = k_{21}$$

Togostno matriko celotne konstrukcije dobimo tako, da seštejemo ustrezno število togostnih matrik posameznih makroelementov (nikakor ne smemo seštevati podajnostnih matrik), podajnostno pa z inverzom togostne matrike za celo konstrukcijo.

4.Račun nihajnega časa

Predpostavimo trikoten potek sil, predpostavimo silo v drugi (oz. najvišji) etaži, npr.

$F_2 = 1000kN$; potem z razmerjem višin etaž dobimo še silo v nižjih etažah ($F_1 = F_2 \frac{h_1}{(h_1+h_2)}$).

Izračunamo pomike pri dani obtežbi: $\{s\} = [D]\{F\}$; nato poračunamo m* in k* za račun nihajnega časa konstrukcije:

$$m^* = m_1 * {s_1}^2 + m_2 * {s_2}^2$$

$$k^* = s_1 F_1 + s_2 F_2$$

Imamo vse podatke za izračun nihajnega časa konstrukcije:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m^*}{k^*}}$$

Ocena »čez palec« (hitra kontrola) je $T = (0{,}1\ do\ 0{,}2) * \text{š}t.\,eta\text{ž}$

Zavedati se je potrebno, da izbira sile (velikost) ne vpliva na rezultat nihajnega časa (pri večji sili se tudi pomik *s* sorazmerno poveča, razmerje med *m** in *k** ostane enako).

Izračunamo tudi faktor obnašanja q:

Preglednica 5.1: Osnovne vrednosti faktorja obnašanja (q_o) za sisteme, ki so pravilni po višini

Vrsta konstrukcije	DCM	DCH
Okvirni sistem, mešani sistem, sistem povezanih sten (sten z odprtinami)	$\boxed{3,0\alpha_u/\alpha_1}$	$4,5\alpha_u/\alpha_1$
Sistem nepovezanih (konzolnih) sten	3,0	$4,0\alpha_u/\alpha_1$
Torzijsko podajen sistem	2,0	3,0
Sistem obrnjenega nihala	1,5	2,0

Pri nas bomo uporabljali $q_0 = 3,0\ {}^{\alpha_0}/_{\alpha_1}$; ${}^{\alpha_0}/_{\alpha_1}$ vzamemo iz spodnjih podatkov (ponavadi 1,2):

Če faktor α_u/α_1 ni izpeljan z eksplicitnim računom, se lahko za stavbe, ki so v tlorisu pravilne, uporabijo naslednje približne vrednosti za α_u/α_1:

a) okviri ali mešani sistemi, ekvivalenten okvirnemu:

– enoetažne stavbe: α_u/α_1=1,1,

– večetažni okviri z enim poljem: α_u/α_1=1,2,

– večetažni okviri z več polji ali večetažni mešani sistemi, ekvivalentni okvirnemu: α_u/α_1=1,3;

b) stenasti sistemi in mešani sistemi, ekvivalenten stenastemu:

– stenasti sistemi s samo dvema nepovezanima stenama v vsaki vodoravni smeri: α_u/α_1=1,0,

– drugi sistemi z nepovezanimi stenami: α_u/α_1=1,1,

– mešani sistemi, ekvivalenten stenastemu ali sistemi povezanih sten (sten z odprtinami): α_u/α_1=1,2.

Izračunati moramo še α_0, k_w *in končni q*

$$\alpha_0 = \frac{\sum h_w i}{\sum l_{wi}};\quad \sum h_w i \quad je\ vsota\ višin\ vseh\ sten\ (npr.\,2\ steni, 2\ etaži\ \rightarrow\ \ (h_1 + h_2) * 2;$$

$$\sum l_{wi} \quad je\ vsota\ dolžin\ vseh\ sten, v\ našem\ primeru\ 2 * L_s;$$

Zgornja enačba velja, če razmerja ${}^{h_w}/_{L_w}$ posameznih sten *i* niso pomembno različna.

$$k_w = \begin{cases} 1{,}00 \text{ za okvire in okvirom enakovredne mešane sisteme} \\ (1+\alpha_0)/3 \leq 1, \quad \text{toda ne več kot } 0{,}5 \\ \text{za stenaste, stenam enakovredne mešane in torzijsko fleksibilne sisteme} \end{cases}$$

Če pride k_w nekoliko več kot 1 (npr. 1,2), vzamemo kar $k_w = 1$

Potem izračunamo še q po formuli:

$$\boldsymbol{q = q_0 k_w}$$

Za izračun sil na konstrukcijo moramo izračunati še S_d:

$$T_B \leq T \leq T_C: \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q}$$

$$T_C \leq T \leq T_D: \quad S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C}{T}\right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases}$$

$$T_D \leq T: \quad S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C T_D}{T^2}\right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases}$$

Pri čemer imamo izračunan nihajni čas T, podan a_q (kot vrednost g – gravitacijskega pospeška, g= 9,81), β=0,2, podatke T_B, T_C, T_D in S pa preberemo iz spodnje tabele (odvisno od tipa tal):

Ground type	S	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,0	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0

Izračun sile:

$$\boldsymbol{F_b = S_d(T) * m_t * \lambda}$$

$$m_t \ldots masa\ vseh\ etaž\ skupaj$$

$$\lambda = \begin{cases} 0,85; & če\ je\ število\ etaž\ > 2\ in\ T \geq 2T_C \\ 1; & sicer \end{cases}$$

5. Določitev pomikov in potresnih sil na makroelemente

$$F_i = F_b \frac{z_i m_i}{\sum z_j m_j}; \quad npr. F_1 = F_b \frac{z_1 m_1}{z_1 m_1 + z_2 m_2}; \quad kontrola: \ F_1 + F_2 + \cdots = F_b$$

Etažne prečne sile:

Če imamo 2 etaži: v 2. (najvišji) etaži: $Q = F_2$; V 1. etaži: $Q = F_1 + F_2$

Račun pomikov (računamo s podajnostno matriko za celotno konstrukcijo):

$\{u\} = [D]\{F\}; \quad u_1 = d_{11}F_1 + d_{12}F_2; \quad u_2 = d_{21}F_1 + d_{22}F_2$

Pomiki vseh makroelementov so enaki!

Račun sil za posamezen makroelement: $\{F_s\} = [K_s]\{u\}$ – enačba za steno.

Za ostale makroelemente analogno.

Kontrola: $\sum F_{i1} = F_1$; enako za cel vektor sil.

Račun dejanskih pomikov: dobljene računske pomike pomnožimo s faktorjem obnašanja q

$$u_{dej,1} = u_1\, q\,; \quad u_{dej,2} = u_2\, q$$

6. Obremenitev nosilnih elementov zaradi potresne obtežbe

Momente zmeraj računamo na dnu posamezne etaže.

Pri steni izračunamo prečne sile: Če imamo 2 etaži: v 2. (najvišji) etaži: $Q = F_2$; V 1. etaži: $Q = F_1 + F_2$

Momente pa kot (2 etaži): na vrhu je 0 (stena=konzola), na koti prve etaže (h_1) je $M = F_2 h_2$; na dnu pa je $M = F_2(h_1 + h_2) + F_1 h_1$.

Pri okvirih prečne sile poračunamo analogno, le da se sila porazdeli med vse stebre enako, npr.:

$$Q_2 = \frac{F_2}{4}; \ Q_1 = \frac{F_1 + F_2}{4} \quad (primer\ za\ 2\ etaži, 4\ stebre)$$

Pri momentu pa izračunamo kot: nična točka momenta je na 0,5 (50%) višine v vseh etažah, razen v prvi je na 0,7 (70%) višine (ker je v prvi etaži spodaj steber vpet). Vrednost momenta na dnu etaže izračunamo iz vrednosti prečne sile:

$$M_1 = Q_1 * 0{,}7 * h_1\,; \qquad M_2 = Q_2 * 0{,}5 * h_2$$

7. Kontrola etažnih pomikov (preverimo za vsako etažo posebej)

$$\boldsymbol{\nu * d_r \leq \alpha * h}$$

$\nu = 0{,}5 \ \ (5krat\ manjša\ povratna\ doba \rightarrow 2krat\ šibkejši\ potresi)$

$d_r \ldots dejanski\ pomiki\ posamezne\ etaže;\ d_{r1} = u_{dej,1}; \quad d_{r2} = u_{dej,2}$

$h \ldots etažna\ višina\ (h_1 oz. h_2)$

$$\alpha = \begin{cases} \mathbf{0{,}005}; & \boldsymbol{neduktilni\ nekonstrukcijski\ elementi} \\ 0{,}0075; & duktilni\ nekonstrukcijski\ elementi \\ 0{,}01; & potresni\ odziv\ nekonst. el. je\ neodvisen\ od\ odziva\ konstrukcije \end{cases}$$

$\boldsymbol{\alpha = 0{,}005}$