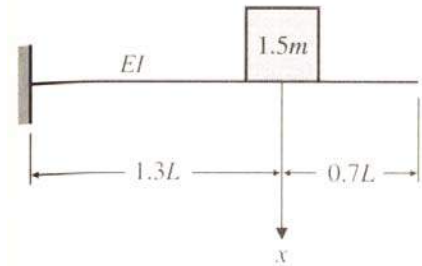


**KOLOKVIJ 1 : Zadaci za vježbu**

**A) JEDNAŽBA GIBANJA I VLASTITA FREKVENCIJA**

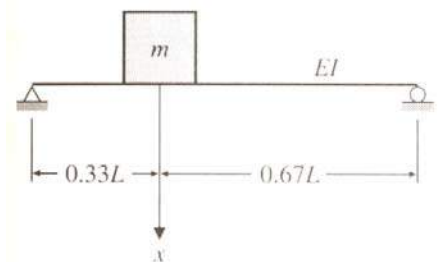
A1 Konzolna greda zanemarive mase i krutosti na savijanje  $EI$  podržava teret mase  $1,5m$ . Napišite jednažbu gibanja po D'Alambertovom principu i izračunajte vlastitu kružnu frekvenciju.

**Rješenje:** 
$$\ddot{x} + \frac{EI}{1,095mL^3} x = 0$$



A2 Prosta greda opterećena je teretom mase  $m$ . Napišite jednažbu gibanja po D'Alambertovom principu i izračunajte vlastitu kružnu frekvenciju. Pretpostavite krutost na savijanje  $EI$  i zanemarite masu grede.

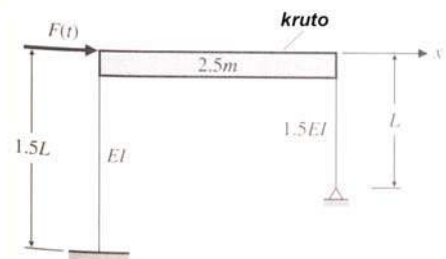
**Rješenje:** 
$$\ddot{x} + \frac{EI}{0,0163mL^3} x = 0$$



A3 Za zadani okvir odredite jednažbu gibanja po D'Alambertovom principu i izračunajte vlastitu kružnu frekvenciju. Pretpostavite da je greda kruta, ukupne mase od  $2,5m$ ,  $E=206,84GPa$ ,  $I=6,25 \cdot 10^{-5}m^4$ ,  $L=3,7m$ ,  $m=10kg$ .

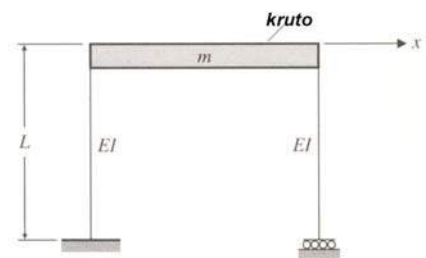
$$\omega = 286,77 \text{ rad/s}$$

**Rješenje:** 
$$\ddot{x} + 82236,55x = \frac{F(t)}{m}$$



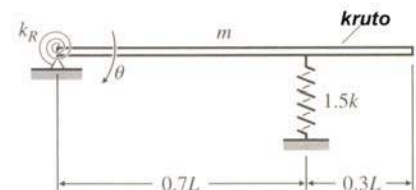
A4 Za zadani okvir odredite jednažbu gibanja po D'Alambertovom principu i izračunajte vlastitu kružnu frekvenciju. Pretpostavite da je greda kruta, ukupne mase  $m$ . Krutost na savijanje vertikalnih elemenata je  $EI$ .

**Rješenje:** 
$$\ddot{x} + \frac{24EI}{mL^3} x = 0$$

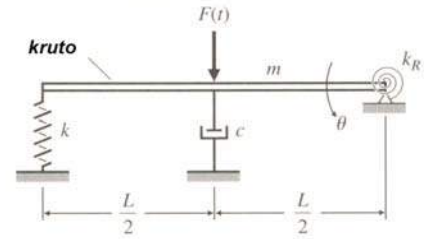


A5 Kruta greda mase  $m$  djelomično je upeta rotacijskom oprugom  $k_R$  na zglobovom ležaju te pridržana translacijskom oprugom krutosti  $1,5k$ . Odredite jednažbu gibanja D'Alambertovim principom te izračunajte vlastitu kružnu frekvenciju. Pretpostavite male rotacije.

**Rješenje:** 
$$\ddot{\theta} + \frac{2,205kL^2 + 3k_R}{mL^2} \theta = 0$$

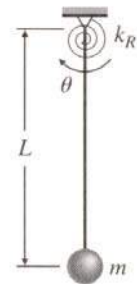


- A6 Pomoću D'Alamberovog principa odredite jednažbu gibanja zadanog sustava i izračunajte vlastitu kružnu frekvenciju. Greda je kruta ukupne mase  $m$ . Pretpostavite male rotacije.



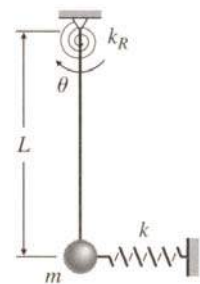
**Rješenje:** 
$$\ddot{\theta} + \frac{3c}{8m} \dot{\theta} + 3 \frac{kL^2 + k_R}{mL^2} \theta = \frac{3F(t)}{2mL}$$

- A7 Kruta greda bez mase, duljine  $L$  na svom kraju je opterećena koncentriranom masom  $m$ . Na mjestu zglobnog ležaja, rotacija grede je djelomično spriječena rotacijskom oprugom krutosti  $k_R$ . D'Alambetovim principom odredite jednažbu gibanja i izračunajte vlastitu kružnu frekvenciju. Pretpostavite male oscilacije.



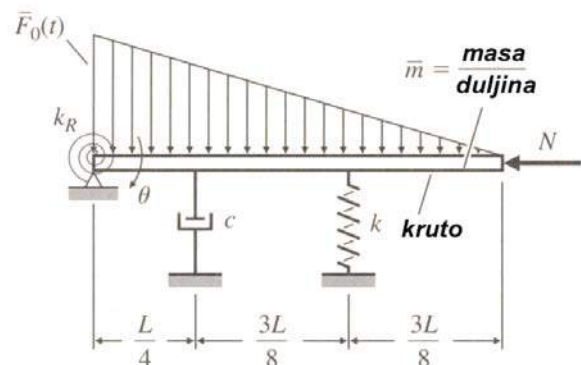
**Rješenje:** 
$$\ddot{\theta} + \frac{mgL + k_R}{mL^2} \theta = 0$$

- A8 Kruta greda bez mase, duljine  $L$  na svom kraju je opterećena koncentriranom masom  $m$  koja je horizontalno pridržana translacijskom oprugom krutosti  $k$ . Na mjestu zglobnog ležaja, rotacija grede je djelomično spriječena rotacijskom oprugom krutosti  $k_R$ . Energetskom metodom odredite jednažbu gibanja i izračunajte vlastitu kružnu frekvenciju. Pretpostavite male oscilacije.



**Rješenje:** 
$$\ddot{\theta} + \frac{mgL + kL^2 + k_R}{mL^2} \theta = 0$$

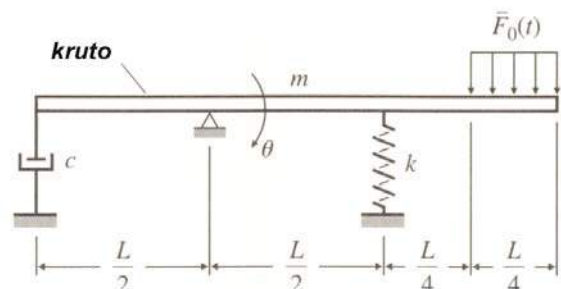
- A9 Principom virtualnih pomaka odredite jednažbu gibanja krute grede na slici te izračunajte vlastitu kružnu frekvenciju. Greda je opterećena jednoliko raspoređenim vremenski promjenjivim trokutastim opterećenjem i konstantnom horizontalnom silom. Pretpostavite male kutove rotacije.



**Rješenje:**

$$\frac{\bar{m}L^3}{3} \ddot{\theta} + \frac{cL^2}{16} \dot{\theta} + \left( \frac{25kL^2}{64} + k_R - NL \right) \theta = \frac{\bar{F}_0(t)L^2}{6}$$

- A10 Kruta greda mase  $m$  izložena je djelovanju vremenski promjenjivog linijski raspoređenog opterećenja maksimalne amplitude  $F_0(t)$ . Principom virtualnih pomaka odredite jednažbu gibanja i izračunajte vlastitu kružnu frekvenciju. Pretpostavite male kutove rotacije.



**Rješenje:** 
$$\frac{7m}{12} \ddot{\theta} + c \dot{\theta} + k \theta = \frac{7\bar{F}_0(t)}{8}$$

## B) NEPRIGUŠENE SLOBODNE VIBRACIJE

B1 Koncentrirana je masa od  $10\text{kg}$  pridržana linijskom oprugom. Sustav je pobuđen početnom brzinom bez početnog pomaka. Nastalo je gibanje s periodom od  $0,2\text{s}$  te amplitudom vibracija od  $60\text{mm}$ . Odredite:

- krutost opruge
- početnu brzinu.

**Rješenje:** a)  $k = 9869,6\text{ N/m}$   
b)  $x'_0 = 1885,0\text{ mm/s}$

B2 Jednostavni sustav s jednim stupnjem slobode sastoji se od mase i linijske opruge i oscilira s maksimalnim ubrzanjem od  $1,5\text{m/s}^2$  te vlastitom frekvencijom od  $100\text{Hz}$ . Odredite:

- amplitudu pomaka
- maksimalnu brzinu mase.

**Rješenje:** a)  $X = 3,8 \cdot 10^{-6}\text{ m}$   
b)  $x'_{\max} = 0,0024\text{ m/s}$

B3 Koncentrirana je masa  $m$  pridržana linijskom oprugom krutosti  $k$ . Izmjeren je vlastiti period sustava od  $0,35\text{s}$ . Kada se masi pridoda teret težine  $10\text{N}$ , period se sustava poveća za  $10\%$ . Odredite:

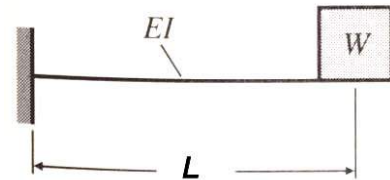
- težinu početne mase  $m$
- početnu krutost sustava  $k$ .

**Rješenje:** a)  $G = 47,72\text{ N}$   
c)  $k = 1567,0\text{ N/m}$

B4 Konzoli na slici dan je početni pomak na slobodnom kraju od  $5\text{cm}$  s početnom brzinom od  $10\text{cm/s}$  u istom smjeru. Odredite:

- vlastitu frekvenciju slobodnih vibracija sustava
- maksimalni pomak, brzinu i ubrzanje mase
- fazni kut.

Pretpostavite da je  $E=206,8\text{ GPa}$ ,  $I=0,001\text{m}^4$ ,  $L= 3,0\text{m}$ ,  $W=3,4\text{kN}$ .



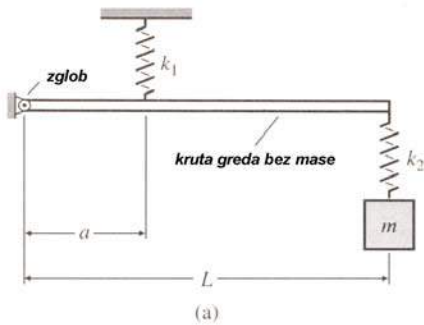
**Rješenje:** a)  $f = 41,0\text{ Hz}$   
b)  $x_{\max} = 5,0\text{cm}$ ;  $x'_{\max} = 1287,4\text{ cm/s}$ ;  $x''_{\max} = 331479,8\text{ cm/s}^2$   
c)  $\varphi = 1,563\text{ rad}$

B5 Teretu težine  $200\text{N}$  obješenom o linijsku oprugu dana je početna brzina od  $5\text{m/s}$  bez početnog pomaka. Izmjeren je vlastiti period vibracija od  $0,3\text{s}$ . Odredite:

- krutost opruge
- amplitudu pomaka vibracija
- brzinu i ubrzanje mase u trenutku  $t=0,5\text{s}$ .

**Rješenje:** a)  $k = 8942,90\text{ N/m}$   
b)  $X = 0,239\text{ m}$   
c)  $x'(t=0,5) = -2,511\text{ m/s}$ ;  $x''(t=0,5) = 90,654\text{ m/s}^2$

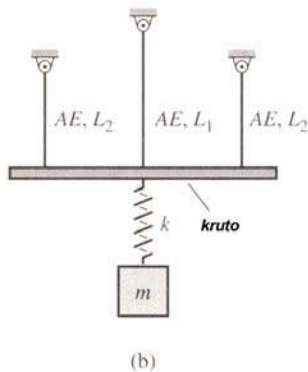
- B6 Za sustave na slici odredite:  
 a) zamjenjujuću krutost opruge  
 b) jednadžbu gibanja  
 c) vlastitu kružnu frekvenciju vibracija.



**Rješenje:**  $k_e = \frac{a^2 k_1 k_2}{a^2 k_1 + L^2 k_2}$

$$\ddot{x} + \frac{a^2 k_1 k_2}{m(a^2 k_1 + L^2 k_2)} x = 0$$

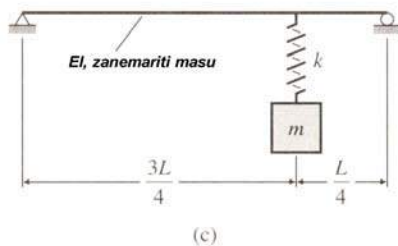
$$\omega = \sqrt{\frac{a^2 k_1 k_2}{m(a^2 k_1 + L^2 k_2)}} \text{ (rad/s)}$$



**Rješenje:**  $k_e = \frac{AEk(2L_1 + L_2)}{L_1 L_2 k + AE(2L_1 + L_2)}$

$$\ddot{x} + \frac{AEk(2L_1 + L_2)}{m(L_1 L_2 k + AE(2L_1 + L_2))} x = 0$$

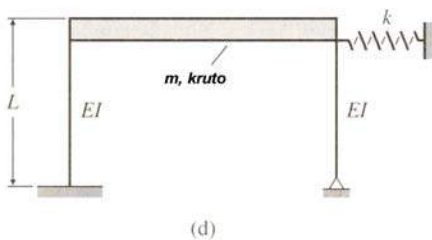
$$\omega = \sqrt{\frac{AEk(2L_1 + L_2)}{m(L_1 L_2 k + AE(2L_1 + L_2))}} \text{ (rad/s)}$$



**Rješenje:**  $k_e = \frac{256EI k}{3L^3 k + 256EI}$

$$\ddot{x} + \frac{256EI k}{m(3L^3 k + 256EI)} x = 0$$

$$\omega = \sqrt{\frac{256EI k}{m(3L^3 k + 256EI)}} \text{ (rad/s)}$$



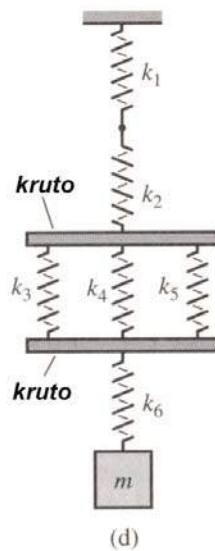
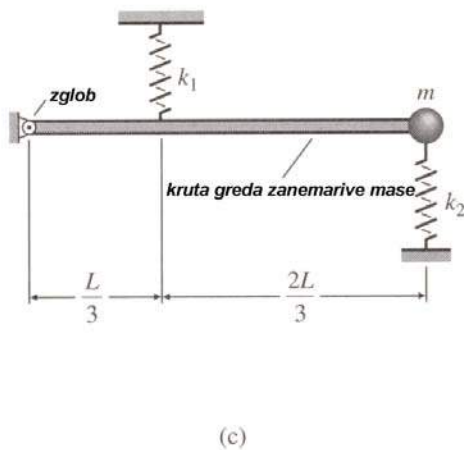
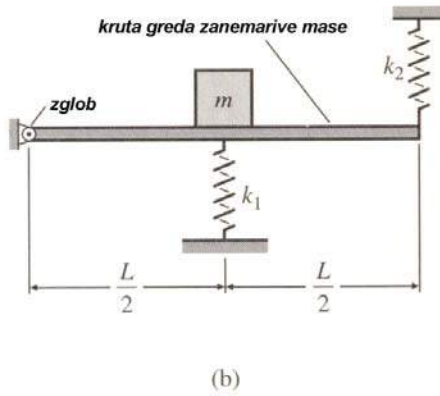
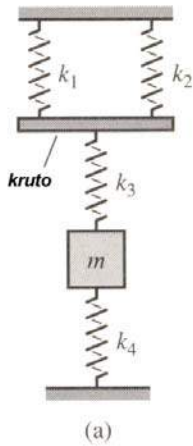
**Rješenje:**  $k_e = \frac{15EI + k}{L^3}$

$$\ddot{x} + \frac{15EI + k}{mL^3} x = 0$$

$$\omega = \sqrt{\frac{15EI + k}{mL^3}} \text{ (rad/s)}$$

- B7 Za sustave na slici odredite:  
 a) zamjenjujuću krutost opruge  
 b) jednadžbu gibanja  
 c) vlastitu kružnu frekvenciju vibracija.

**Rješenja:**



$$a) \quad k_e = \frac{(k_1 + k_2)k_3 + (k_1 + k_2 + k_3)k_4}{k_1 + k_2 + k_3}$$

$$\ddot{x} + \frac{(k_1 + k_2)k_3 + (k_1 + k_2 + k_3)k_4}{m(k_1 + k_2 + k_3)} x = 0$$

$$\omega = \sqrt{\frac{(k_1 + k_2)k_3 + (k_1 + k_2 + k_3)k_4}{m(k_1 + k_2 + k_3)}} \text{ (rad/s)}$$

$$b) \quad k_e = k_1 + 4k_2$$

$$\ddot{x} + \frac{k_1 + 4k_2}{m} x = 0$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k_1 + 4k_2}{m}} \text{ (rad/s)}$$

$$c) \quad k_e = \frac{k_1 + 9k_2}{9}$$

$$\ddot{x} + \frac{k_1 + 9k_2}{9m} x = 0$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k_1 + 9k_2}{9m}} \text{ (rad/s)}$$

$$d) \quad k_e = \frac{k_1 k_2 k_6 (k_3 + k_4 + k_5)}{(k_3 + k_4 + k_5)(k_1 k_6 + k_2 k_6 + k_1 k_2) + k_1 k_2 k_6}$$

$$\ddot{x} + \frac{k_1 k_2 k_6 (k_3 + k_4 + k_5)}{[(k_3 + k_4 + k_5)(k_1 k_6 + k_2 k_6 + k_1 k_2) + k_1 k_2 k_6] m} x = 0$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k_1 k_2 k_6 (k_3 + k_4 + k_5)}{[(k_3 + k_4 + k_5)(k_1 k_6 + k_2 k_6 + k_1 k_2) + k_1 k_2 k_6] m}} \text{ (rad/s)}$$

**C) PRIGUŠENE SLOBODNE VIBRACIJE**

- C1 Viskozno prigušeni sustav s jednim stunjem slobode usljed vlastite težine od **220N** ima statički progib od **1,9cm**. Odredite vrijednost kritičnog prigušenja zadanog sustava.

*Rješenje:*  $C_c = 1019,2 \text{ Ns/m}$

- C2 Slabo prigušeni konstrukcijski sustav težine **22,2N**, krutosti  **$k=3502,6\text{N/m}$**  i viskoznog prigušenja  **$c=35,0\text{Ns/m}$**  dobije početni pomak od **5,1cm**. Odredite amplitudu vibracija nakon 10 i nakon 20 oscilacija.

*Rješenje:*  $X(n=10) = 1,726 \cdot 10^{-5} \text{ cm}; X(n=20) = 5,689 \cdot 10^{-11} \text{ cm}$

- C3 Odredite omjer uzastopnih amplituda vibracija viskozno prigušenog sustava kojem je logaritamski dekrement prigušenja  **$\delta=0,3$** .

*Rješenje:*  $1,35$

- C4 Sustav koji vibrira spojen je s uređajem za viskozno prigušenje s mogućnošću skaliranja. Za zadani nivo prigušenja, omjer je uzastopnih amplituda vibracija 1:5. Odredite novonastali omjer uzastopnih amplituda ako se veličina prigušenja udvostruči.

*Rješenje:*  $1 : 36$

- C5 Viskozno prigušeni konstrukcijski sustav prigušenja  **$c=14,0\text{Ns/m}$** , čine masa težine **178,0N** i opruga krutosti  **$k=17513,0\text{N/m}$** . Sustav slobodno vibrira usljed početnog pomaka od **10cm**. Odredite amplitude vibracija nakon 10, 15 i 20 ciklusa.

*Rješenje:*  $X(n=10) = 4,59\text{cm}; X(n=15) = 3,11\text{cm}; X(n=20) = 2,11\text{cm}$

- C6 Viskozno prigušeni konstrukcijski sustav s težinom od **444,8N** usljed vlastite težine poprimi statički progib od **1,3cm**. Nakon toga je masi dan početni pomak od **0,6cm** što je dovelo do vibriranja sustava. Nakon 3 ciklusa, izmjerena je amplituda slobodnih vibracija od **0,25cm**. Odredite:

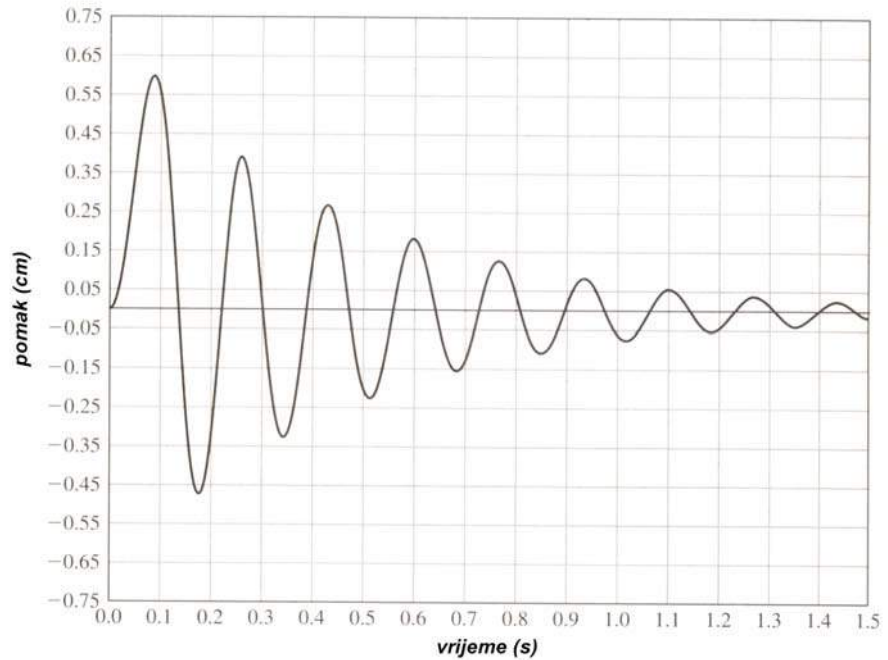
- logaritamski dekrement prigušenja  $\delta$
- bezdimezionalni koeficijent prigušenja  $\zeta$
- koeficijent viskoznog prigušenja  $c$
- frekvenciju prigušenih vibracija.

*Rješenje:* a)  $\delta = 0,292$ ; b)  $\zeta = 4,6\%$ ; c)  $c = 114,6\text{Ns/m}$ ; d)  $f_D = 4,37\text{Hz}$

- C7 Konstrukcija s viskoznim prigušenjem slobodno vibrira usljed početne brzine. Nastale prigušene oscilacije prikazane su na slici. Odredite:

- vlastiti period vibracija
- logaritamski dekrement prigušenja
- bezdimezionalni koeficijent prigušenja  $\zeta$ .

*Rješenje:* a)  $T_D = 0,17\text{s}$ ; b)  $\delta = 0,414$ ; c)  $\zeta = 6,6\%$



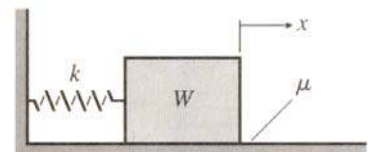
- C8 Teret težine  $W=20N$  ovješten je o oprugu krutosti  $k=130N/m$  te mu je zadan početni pomak od  $6,4cm$  nakon čega nastavlja slobodno oscilirati. Nakon 150 ciklusa oscilacija, amplituda vibracija iznosi  $3,2cm$ . Odredite koeficijent histerezisnog prigušenja i ekvivalentni koeficijent viskozno prigušenja.

*Rješenje:*  $\eta = 0,0015$ ;  $c_e = 0,024Ns/m$

- C9 Konstrukcija s histerezisnim prigušenjem ima period vibracija od  $0,5s$ . Praćenjem slobodnih vibracija zabilježena je amplituda desetog ciklusa veličine 90% od amplitude prvog ciklusa. Odredite koeficijent histerezisnog prigušenja.

*Rješenje:*  $\eta = 0,0033$

- C10 Konstrukcijski sustav na slici ima masu težine  $W=6,7kN$ , krutost  $k=613,0kN/m$  i koeficijent trenja između mase i podloge  $\mu=0,15$ . Masa je pomaknuta iz svog stanja statičke ravnoteže početnim pomakom od  $19,1cm$  te otpuštena. Odredite:



- a) amplitudu pomaka vibracija nakon 5 ciklusa  
 b) broj ciklusa do mirovanja mase.

*Rješenje:* a)  $X(n=5) = 15,8cm$ ; b)  $n=29,1$

**D) ODZIV NA HARMONILJSKU UZBUĐU**

D1 Na neprigušeni sustav s jednim stupnjem slobode djeluje harmonijska sila amplitude  $F_0=80N$  i frekvencije  $8 \text{ okretaja/s}$ . Masa je  $6kg$  a krutost opruge  $3N/m$ . Odredite amplitudu pomaka trajnog dijela odziva  $X_f$ .

*Rješenje:*  $X_f = 5,3mm$

D2 Amplituda pomaka trajnog dijela odziva neprigušenog sustava iznosi  $1,27cm$ . Ako je krutost opruge  $3502,6N/m$  a harmonijska uzbuđna sila oblika  $222,4\sin 3t [N]$ , izračunajte težinu mase.

*Rješenje:*  $W = 15,12kN$

D3 Sustav s jednim stupnjem slobode sastoji se od opruge krutosti  $4378,25N/m$  i koncentrirane mase težine  $89,0N$  i izložen je djelovanju harmonijske sile amplitude  $F_0=133,4N$  i frekvencije  $120Hz$ . Odredite:

- amplitudu trajnog dijela pomaka
- potrebnu težinu mase kojom bi se amplituda vibracija smanjila za 50%.

*Rješenje:* a)  $X_f = 2,59 \cdot 10^{-5}m$ ; b)  $G = 177,87N$

D4 Neprigušeni sustav s masom od  $10kg$  i oprugom krutosti  $k=4,0kN/m$ , izložen je djelovanju harmonijske sile amplitude  $F_0=0,5kN$ . Tijekom odziva, izmjerena je amplituda pomaka trajnog dijela od  $11cm$ . Odredite frekvenciju uzbuđne sile.

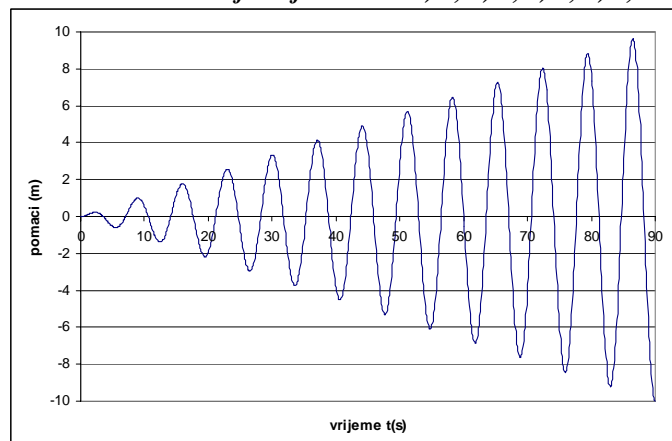
*Rješenje:*  $\Omega = 64,4 \text{ rad/s}$

D5 Neprigušeni sustav s masom od  $10kg$  i oprugom krutosti  $k=8,0N/mm$ , izložen je djelovanju harmonijske sile amplitude  $F_0=200N$  i kružne frekvencije od  $35rad/s$ . Za početne uvjete  $x(0)=21mm$  i  $x'(0)=175mm/s$ , izračunajte ukupni pomak, brzinu i ubrzanje mase za a)  $t=2s$ , b)  $t=4s$  i c)  $t=6s$ .

*Rješenje:* a)  $x(t=2) = -63,71mm$ ;  $x'(t=2) = 770,51mm/s$ ;  $x''(t=2) = 27123,46mm/s^2$   
 b)  $x(t=4) = -23,56mm$ ;  $x'(t=4) = 2128,90mm/s$ ;  $x''(t=4) = 38409,59mm/s^2$   
 c)  $x(t=6) = 1,22mm$ ;  $x'(t=6) = 3248,73mm/s$ ;  $x''(t=6) = 8361,91mm/s^2$

D6 Sustav s jednim stupnjem slobode s masom od  $10kg$  i oprugom krutosti  $k=8N/m$  u rezonanciji je s uzbuđnom harmonijskom silom amplitude  $F_0=2,0N$ . Izračunajte pomake trajnog dijela odziva nakon a)  $2 \frac{1}{2}$  ciklusa, b)  $5 \frac{1}{2}$  ciklusa, c)  $8 \frac{1}{2}$  ciklusa i d)  $8 \frac{1}{4}$  ciklusa.

*Rješenje:* a) 0; b) 0; c) 0; d)  $6,46m$





- D7 Nепригуšeni je sustav uzbuđen blizu rezonancije što je rezultiralo njegovim pulziranjem. Vlastita je kružna frekvencija sustava **1800 okretaja/min** dok je frekvencija uzbudne sile **1785 okretaja/min**. Odredite period pulziranja i broj oscilacija jednog pulsa.

**Rješenje:** 7,95s; 236,6 oscilacija

- D8 Omjer amplituda pomaka trajnog dijela odziva za  $r=0,5$  i  $r=1$  iznosi **1:4** zadanog viskozno prigušenog sustava. Odredite bezdimenzionalni koeficijent prigušenja sustava  $\zeta$ .

**Rješenje:**  $\zeta = 9,4\%$

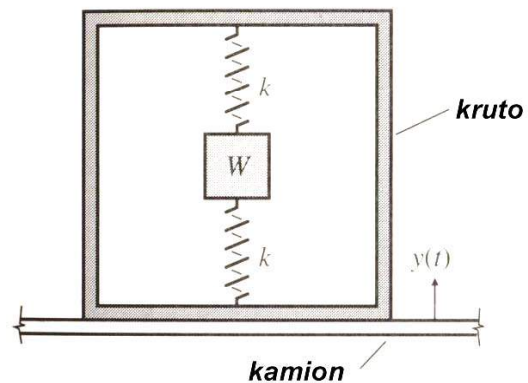
- D9 Sustav s jednim stupnjem slobode sastoji se od mase težine **444,8N**, opruge krutosti  $k=2627,0N/m$  i viskoznog prigušivača s koeficijentom prigušenja  $c=8,8Ns/m$ . Ako se sustav uzbuđi harmonijskom silom amplitude  $F_0=111,2N$ , odredite amplitudu pomaka trajnog dijela odziva pri rezonanciji.

**Rješenje:**  $X_f = 1,615m$

- D10 Viskozno prigušeni sustav uzbuđen je harmonijskom silom  $F(t)=F_0\sin\Omega t$ . Amplituda pomaka trajnog dijela odziva pri rezonanciji iznosi **1,9cm** dok je pri 75% rezonantne frekvencije izmjerena amplituda pomaka od **1,6cm**. Odredite veličinu bezdimenzionalnog koeficijenta prigušenja  $\zeta(\%)$  sustava.

**Rješenje:**  $\zeta = 23,8\%$

- D11 Specijalni teret težine **222,4N** pričvršćen je u zatvorenoj kutiji s dvije opruge podjednakih krutosti  $k=43782,5N/m$  (vidi sliku). Kutija se nalazi na kamionu koji tijekom vožnje izaziva vertikalne harmonijske vibracije amplitude  $y(t)=3,8\sin 4t$  [cm]. Odredite maksimalni pomak, brzinu i ubrzanje tereta u kutiji.

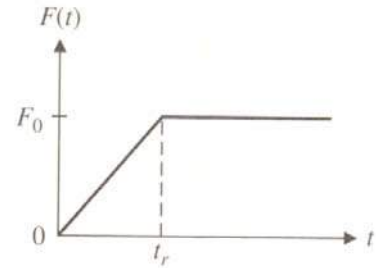


**Rješenje:**  $X_{max} = 3,816cm$ ;  $X'_{max} = 15,264cm/s$ ;  $X''_{max} = -61,056cm/s^2$

**E) ODZIV NA OPĆU DINAMIČKU UZBUĐU**

E1 Odredite jednadžbe pomaka neprigušenog sustava pod djelovanjem promjenjivog opterećenja sa slike pomoću Duhamelovog integrala.

$$F(t) = \begin{cases} F_0 \frac{t}{t_r}, & 0 \leq t \leq t_r \\ F_0, & t_r < t \end{cases}$$

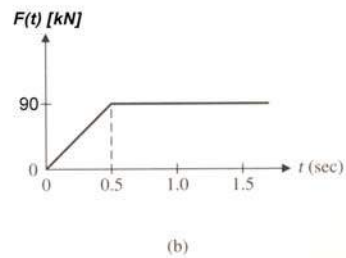
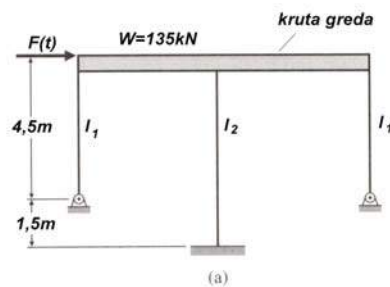


**Rješenje:**

$$x(t) = \frac{F_0}{kt_r} \left( t - \frac{\sin \omega t}{\omega} \right), \quad 0 \leq t \leq t_r$$

$$x(t) = \frac{F_0}{k} \left\{ 1 + \frac{1}{\omega t_r} [\sin \omega(t - t_r) - \sin \omega t] \right\}, \quad t_r < t$$

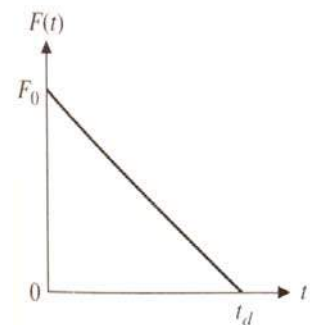
E2 Primjenom jednadžbi pomaka iz prethodnog zadatka (E1), odredite horizontalni pomak okvira u trenutku  $t=0,7s$ . Nosivi se okvir sastoji od krute grede težine  $W=135 \text{ kN}$  i fleksibilnih stupova ( $E=206844 \text{ MPa}$ ,  $I_1=3446 \text{ cm}^4$ ,  $I_2=7076 \text{ cm}^4$ ); utjecaj prigušenja zanemarite.



**Rješenje:**  $x(0,7s) = 0,078m$

E3 Odredite jednadžbe pomaka neprigušenog sustava pod djelovanjem promjenjivog trokutastog pulsa sa slike pomoću Duhamelovog integrala.

$$F(t) = \begin{cases} F_0 \left( 1 - \frac{t}{t_d} \right), & 0 \leq t \leq t_d \\ 0, & t_d < t \end{cases}$$

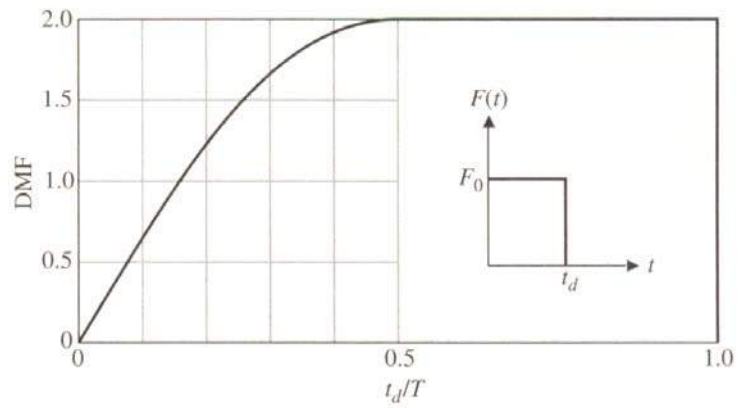


**Rješenje:**

$$x(t) = \frac{F_0}{k} \left( 1 - \cos \omega t - \frac{t}{t_d} + \frac{\sin \omega t}{\omega t_d} \right), \quad 0 \leq t \leq t_d$$

$$x(t) = \frac{F_0}{k\omega t_d} [\sin \omega t - \sin \omega(t - t_d) - \omega t_d \cos \omega t], \quad t_d < t$$

- E4 Odredite maksimalni horizontalni pomak okvira iz zadatka (E2) izloženog djelovanju pravokutnog pulsnog opterećenja pomoću njegovog spektra odziva prikazanog na slici. Pretpostavite da je  $F_0=67kN$  a  $t_d=0,45s$ .



**Rješenje:**  $x_{max} = 0,087 m$

