

## 1. ZADATAK: ANALIZA RAVNINSKOG STANJA NAPREZANJA

Za element M tijela napregnutog u ravninskom stanju naprezanja prema zadanoj slici u 1. zadatku VJEŽBENICE, odrediti **grafički** pomoću Mohrove kružnice naprezanja sve normalne i posmične komponente naprezanja u  $(x, y)$  –  $(\bar{x}, \bar{y})$  – i  $(1, 2)$  – koordinatnim sustavima.

Pomoću Hookeova zakona izračunati iznose svih komponenti deformacije u točki M u  $(x, y)$  –  $(\bar{x}, \bar{y})$  – i  $(1, 2)$  – koordinatnim sustavima i nacrtati Mohrovu kružnicu deformacija.

Skicirati napregnuti element s ucrtanim komponentama naprezanja u zadanim koordinatnim sustavima.

Sve vrijednosti naprezanja i deformacija treba provjeriti putem izračunavanja na PC uporabom programa CVRSTOCA, modul NAPR\_DEF.EXE. Za grafičko rješenje može se koristiti i program MDSolids<sup>®</sup>.

Preporučeno mjerilo: 1 cm = 20 MPa za Mohrovu kružnicu naprezanja,

1 cm =  $50 \cdot 10^{-3}$  za Mohrovu kružnicu deformacija.

Red. broj	PREZIME I IME	Oznaka slike	$E$ GPa	$\nu$	Zadane vrijednosti uz sliku zadatka			
1.		<b>B</b>	200	0,30	$\sigma_y = -90$ MPa	$\tau_{xy} = -70$ MPa	$\bar{\sigma}_x = 150$ MPa	$\bar{\tau}_{xy} = 50$ MPa
2.		<b>B</b>	210	0,32	$\sigma_y = 70$ MPa	$\tau_{xy} = -60$ MPa	$\bar{\sigma}_x = -50$ MPa	$\bar{\tau}_{xy} = -120$ MPa
3.		<b>H</b>	207	0,30	$\sigma_x = 100$ MPa	$\tau_{xy} = -60$ MPa	$\sigma_1 = 120$ MPa	$\varphi = -30^\circ$
4.		<b>H</b>	210	0,32	$\sigma_x = 40$ MPa	$\tau_{xy} = 100$ MPa	$\sigma_1 = 170$ MPa	$\varphi = 20^\circ$
5.		<b>C</b>	206	0,30	$\sigma_x = -140$ MPa	$\tau_{xy} = -60$ MPa	$\bar{\sigma}_x = -60$ MPa	$\bar{\tau}_{xy} = -100$ MPa
6.		<b>C</b>	207	0,32	$\sigma_x = 120$ MPa	$\tau_{xy} = 50$ MPa	$\bar{\sigma}_x = -80$ MPa	$\bar{\tau}_{xy} = 70$ MPa
7.		<b>I</b>	200	0,30	$\sigma_x = 80$ MPa	$\tau_{xy} = 70$ MPa	$\sigma_2 = -90$ MPa	$\varphi = 10^\circ$
8.		<b>I</b>	206	0,32	$\sigma_x = 40$ MPa	$\tau_{xy} = -100$ MPa	$\sigma_2 = -130$ MPa	$\varphi = -15^\circ$
9.		<b>D</b>	200	0,30	$\sigma_y = -80$ MPa	$\tau_{xy} = 50$ MPa	$\bar{\sigma}_y = -40$ MPa	$\bar{\tau}_{xy} = 90$ MPa
10.		<b>D</b>	206	0,32	$\sigma_y = 120$ MPa	$\tau_{xy} = -70$ MPa	$\bar{\sigma}_y = 60$ MPa	$\bar{\tau}_{xy} = -90$ MPa
11.		<b>J</b>	207	0,31	$\bar{\sigma}_x = 30$ MPa	$\bar{\tau}_{xy} = 70$ MPa	$\sigma_1 = 150$ MPa	$\varphi_0 = -75^\circ$
12.		<b>J</b>	210	0,33	$\bar{\sigma}_x = -40$ MPa	$\bar{\tau}_{xy} = 60$ MPa	$\sigma_1 = 120$ MPa	$\varphi_0 = 30^\circ$
13.		<b>E</b>	207	0,30	$\sigma_x = -130$ MPa	$\tau_{xy} = 50$ MPa	$\bar{\sigma}_y = 60$ MPa	$\bar{\tau}_{xy} = 70$ MPa
14.		<b>E</b>	206	0,32	$\sigma_x = 100$ MPa	$\tau_{xy} = -60$ MPa	$\bar{\sigma}_y = 20$ MPa	$\bar{\tau}_{xy} = -100$ MPa
15.		<b>K</b>	207	0,31	$\bar{\sigma}_x = -20$ MPa	$\bar{\tau}_{xy} = -100$ MPa	$\sigma_2 = -160$ MPa	$\varphi_0' = -15^\circ$
16.		<b>K</b>	210	0,33	$\bar{\sigma}_x = 50$ MPa	$\bar{\tau}_{xy} = -60$ MPa	$\sigma_2 = -120$ MPa	$\varphi_0' = 25^\circ$
17.		<b>L</b>	200	0,30	$\bar{\sigma}_y = 20$ MPa	$\bar{\tau}_{xy} = -100$ MPa	$\sigma_1 = 140$ MPa	$\varphi_0 = 15^\circ$
18.		<b>L</b>	206	0,32	$\bar{\sigma}_y = -100$ MPa	$\bar{\tau}_{xy} = -50$ MPa	$\sigma_1 = 80$ MPa	$\varphi_0 = -30^\circ$
19.		<b>F</b>	210	0,32	$\sigma_y = -100$ MPa	$\tau_{xy} = 50$ MPa	$\sigma_1 = 80$ MPa	$\varphi = -15^\circ$
20.		<b>F</b>	206	0,31	$\sigma_y = -40$ MPa	$\tau_{xy} = -100$ MPa	$\sigma_1 = 140$ MPa	$\varphi = -15^\circ$
21.		<b>M</b>	200	0,30	$\bar{\sigma}_y = 40$ MPa	$\bar{\tau}_{xy} = -60$ MPa	$\sigma_2 = 10$ MPa	$\varphi_0' = -55^\circ$
22.		<b>M</b>	206	0,32	$\bar{\sigma}_y = -50$ MPa	$\bar{\tau}_{xy} = 50$ MPa	$\sigma_2 = -160$ MPa	$\varphi_0' = 30^\circ$
23.		<b>G</b>	206	0,32	$\sigma_y = 110$ MPa	$\tau_{xy} = -60$ MPa	$\sigma_2 = -40$ MPa	$\varphi = -15^\circ$
24.		<b>G</b>	207	0,31	$\sigma_y = 100$ MPa	$\tau_{xy} = 50$ MPa	$\sigma_2 = -60$ MPa	$\varphi = -25^\circ$
25.		<b>A</b>	206	0,32	$\sigma_x = 130$ MPa	$\tau_{xy} = -90$ MPa	$\sigma_y = -90$ MPa	$\varphi = -30^\circ$

## 2. ZADATAK: STATIČKI ODREĐENE ŠTAPNE KONSTRUKCIJE

Za statički određenu štapnu konstrukciju zadanoj na slici u 2. zadatku VJEŽBENICE, treba odrediti:

a) iznos dopuštenog opterećenja konstrukcije ( $F_{\text{dop}} = ?$ ) na temelju odabranog dopuštenog napreznja materijala štapova i pretpostavljenih ploština poprečnog presjeka štapova,

b) za vrijednost opterećenja  $F \approx 0,95 F_{\text{dop}}$  (zaokružiti na manji cijeli broj u kN, korak do 5 kN) odrediti potrebne ploštine poprečnih presjeka štapova u zadatku,

c) za vrijednost opterećenja  $F$  iz točke b) zadatka i s plošinama poprečnih presjeka (zaokruženih na veći cijeli broj u  $\text{cm}^2$ , korak  $0,5 \text{ cm}^2$ ) provjeriti čvrstoću štapova i odrediti pomake karakterističnih točaka konstrukcije. Skicirati deformiranu konstrukciju pod opterećenjem, odnosno plan pomaka za čvor A (u zadacima uz sliku E i F).

U zadacima s više materijala štapova, materijal 1 je konstrukcijski čelik, materijal 2 je mjed, a materijal 3 je aluminijska legura. Iz priložene tablice potrebno je odabrati modul elastičnosti ( $E$ ) i naprezanje tečenja ( $R_e$ ) materijala štapova.

Kod određivanja dopuštenog napreznja materijala uzeti faktor sigurnosti  $S = 1,5 \div 2,5$ .

Sve vrijednosti sila, napreznja i deformacija štapova, te pomake točaka konstrukcije, provjeriti izračunavanjem na PC uporabom programa CVRSTOCA, podprograma STAP\_ODR.EXE.

Red. broj	PREZIME I IME	Oznaka slike	Zadane vrijednosti uz sliku zadatka
1.		<b>A</b>	$l_1=75 \text{ cm}, l_2=120 \text{ cm}, l_3=40 \text{ cm}, c=70 \text{ cm}, k_1=2, k_2=-3,6, k_3=1,4, k_4=2$
2.		<b>B</b>	$l_1=115 \text{ cm}, l_2=150 \text{ cm}, a=50 \text{ cm}, b=130 \text{ cm}$
3.		<b>C</b>	$h=125 \text{ cm}, \alpha=80^\circ, \beta=60^\circ, a=50 \text{ cm}, b=130 \text{ cm}, c=10 \text{ cm}$
4.		<b>D</b>	$h=145 \text{ cm}, \alpha=75^\circ, \beta=85^\circ, a=60 \text{ cm}, b=150 \text{ cm}, c=25 \text{ cm}$
5.		<b>F</b>	$l_1=115 \text{ cm}, l_2=130 \text{ cm}, \alpha=30^\circ, \beta=20^\circ, \gamma=45^\circ$
6.		<b>E</b>	$Q=17 \text{ kN}, l_1=125 \text{ cm}, l_3=95 \text{ cm}, a=100 \text{ cm}, b=80 \text{ cm}, c=50 \text{ cm}, \alpha=25^\circ$
7.		<b>A</b>	$l_1=45 \text{ cm}, l_2=90 \text{ cm}, l_3=60 \text{ cm}, c=50 \text{ cm}, k_1=-2, k_2=3, k_3=-1,5, k_4=0,8$
8.		<b>F</b>	$l_1=125 \text{ cm}, l_2=110 \text{ cm}, \alpha=60^\circ, \beta=15^\circ, \gamma=35^\circ$
9.		<b>C</b>	$h=115 \text{ cm}, \alpha=-60^\circ, \beta=85^\circ, a=50 \text{ cm}, b=120 \text{ cm}, c=10 \text{ cm}$
10.		<b>F</b>	$l_1=145 \text{ cm}, l_2=180 \text{ cm}, \alpha=40^\circ, \beta=50^\circ, \gamma=15^\circ$
11.		<b>B</b>	$l_1=85 \text{ cm}, l_2=110 \text{ cm}, a=55 \text{ cm}, b=115 \text{ cm}$
12.		<b>F</b>	$l_1=115 \text{ cm}, l_2=150 \text{ cm}, \alpha=-30^\circ, \beta=-40^\circ, \gamma=15^\circ$
13.		<b>E</b>	$Q=13 \text{ kN}, l_1=105 \text{ cm}, l_3=95 \text{ cm}, a=90 \text{ cm}, b=45 \text{ cm}, c=30 \text{ cm}, \alpha=25^\circ$
14.		<b>D</b>	$h=145 \text{ cm}, \alpha=-135^\circ, \beta=45^\circ, a=130 \text{ cm}, b=50 \text{ cm}, c=0 \text{ cm}$
15.		<b>F</b>	$l_1=125 \text{ cm}, l_2=150 \text{ cm}, \alpha=80^\circ, \beta=60^\circ, \gamma=-45^\circ$
16.		<b>E</b>	$Q=10 \text{ kN}, l_1=110 \text{ cm}, l_3=80 \text{ cm}, a=100 \text{ cm}, b=60 \text{ cm}, c=50 \text{ cm}, \alpha=15^\circ$
17.		<b>D</b>	$h=115 \text{ cm}, \alpha=60^\circ, \beta=75^\circ, a=90 \text{ cm}, b=60 \text{ cm}, c=20 \text{ cm}$
18.		<b>A</b>	$l_1=55 \text{ cm}, l_2=90 \text{ cm}, l_3=70 \text{ cm}, c=30 \text{ cm}, k_1=2,5, k_2=3, k_3=-1,8, k_4=2$
19.		<b>F</b>	$l_1=125 \text{ cm}, l_2=140 \text{ cm}, \alpha=45^\circ, \beta=15^\circ, \gamma=75^\circ$
20.		<b>B</b>	$l_1=130 \text{ cm}, l_2=160 \text{ cm}, a=50 \text{ cm}, b=120 \text{ cm}$
21.		<b>F</b>	$l_1=115 \text{ cm}, l_2=120 \text{ cm}, \alpha=-30^\circ, \beta=-40^\circ, \gamma=-90^\circ$
22.		<b>E</b>	$Q=16 \text{ kN}, l_1=115 \text{ cm}, l_3=90 \text{ cm}, a=95 \text{ cm}, b=70 \text{ cm}, c=50 \text{ cm}, \alpha=35^\circ$
23.		<b>A</b>	$l_1=65 \text{ cm}, l_2=95 \text{ cm}, l_3=50 \text{ cm}, c=60 \text{ cm}, k_1=-3, k_2=2,5, k_3=1,6, k_4=2,2$
24.		<b>F</b>	$l_1=135 \text{ cm}, l_2=180 \text{ cm}, \alpha=20^\circ, \beta=60^\circ, \gamma=-35^\circ$
25.		<b>C</b>	$h=135 \text{ cm}, \alpha=75^\circ, \beta=65^\circ, a=70 \text{ cm}, b=150 \text{ cm}, c=120 \text{ cm}$
26.		<b>D</b>	$h=125 \text{ cm}, \alpha=125^\circ, \beta=115^\circ, a=110 \text{ cm}, b=70 \text{ cm}, c=15 \text{ cm}$
27.		<b>F</b>	$l_1=140 \text{ cm}, l_2=110 \text{ cm}, \alpha=30^\circ, \beta=50^\circ, \gamma=75^\circ$

## 2\_1. ZADATAK: STATIČKI NEODREĐENE ŠTAPNE KONSTRUKCIJE OPTEREĆENE SILOM

Za statički neodređenu štapnu konstrukciju zadanoj na slici u 3. zadatku VJEŽBENICE, treba odrediti:

- a) iznos dopuštenog opterećenja konstrukcije ( $F_{\text{dop}} = ?$ ) na temelju odabranog dopuštenog naprezanja materijala štapova i zadanih ploština poprečnog presjeka štapova,
- b) s iznosom opterećenja  $F \approx 0,95 F_{\text{dop}}$  (zaokružiti na manji cijeli broj u kN, korak cca 5 kN) provjeriti čvrstoću štapova i odrediti pomake karakterističnih točaka konstrukcije. U zadacima uzeti da su svi štapovi od istog materijala ( $E_1=E_2=E_3=E$ ,  $\sigma_{1\text{dop}}=\sigma_{2\text{dop}}=\sigma_{3\text{dop}}=\sigma_{\text{dop}}$ ); materijal 1 je konstrukcijski čelik, materijal 2 je mjed, a materijal 3 je aluminijska legura. Iz priložene tablice potrebno je odabrati modul elastičnosti ( $E$ ) i dopušteno naprezanje ( $\sigma_{\text{dop}}$ ) materijala štapova.

Sve izračunate vrijednosti sila, naprezanja i deformacija štapova, te pomake točaka konstrukcije, provjeriti izračunavanjem na PC uporabom programa CVRSTOCA, modula STAPSILA.EXE.

Red. broj	PREZIME I IME	Oznaka slike	Materijal	Zadane vrijednosti uz sliku zadatka
1.		G	2	$l_1=120 \text{ cm}, l_2=90 \text{ cm}, l_3=100 \text{ cm}, \alpha=30^\circ, \beta=-45^\circ, A_1=4 \text{ cm}^2, A_2=8 \text{ cm}^2, A_3=12 \text{ cm}^2$
2.		B	2	$l_1=100 \text{ cm}, l_2=120 \text{ cm}, l_3=140 \text{ cm}, a=80 \text{ cm}, b=50 \text{ cm}, c=45 \text{ cm}, A_1=6 \text{ cm}^2, A_2=8 \text{ cm}^2, A_3=5 \text{ cm}^2$
3.		E	1	$l_1=125 \text{ cm}, l_2=140 \text{ cm}, \alpha=60^\circ, \beta=45^\circ, \gamma=90^\circ, \delta=0^\circ, A_1=10 \text{ cm}^2, A_2=5 \text{ cm}^2$
4.		G	1	$l_1=135 \text{ cm}, l_2=90 \text{ cm}, l_3=80 \text{ cm}, \alpha=30^\circ, \beta=0^\circ, A_1=10 \text{ cm}^2, A_2=5 \text{ cm}^2, A_3=15 \text{ cm}^2$
5.		D	2	$l_1=125 \text{ cm}, l_2=140 \text{ cm}, \alpha=45^\circ, \beta=60^\circ, \gamma=90^\circ, a=60 \text{ cm}, b=120 \text{ cm}, c=60 \text{ cm}, A_1=5 \text{ cm}^2, A_2=8 \text{ cm}^2$
6.		C	3	$l_1=100 \text{ cm}, l_2=120 \text{ cm}, \alpha=75^\circ, \beta=60^\circ, \gamma=135^\circ, a=150 \text{ cm}, b=50 \text{ cm}, c=125 \text{ cm}, A_1=12 \text{ cm}^2, A_2=6 \text{ cm}^2$
7.		F	2	$l_1=l_2=120 \text{ cm}, l_3=90 \text{ cm}, \alpha=\beta=30^\circ, \gamma=0^\circ, A_1=A_2=8 \text{ cm}^2, A_3=16 \text{ cm}^2$
8.		H	1	$a=80 \text{ cm}, b=100 \text{ cm}, \alpha=30^\circ, \beta=75^\circ, A_1=15 \text{ cm}^2, A_2=10 \text{ cm}^2$
9.		C	1	$l_1=85 \text{ cm}, l_2=110 \text{ cm}, \alpha=60^\circ, \beta=75^\circ, \gamma=90^\circ, a=150 \text{ cm}, b=70 \text{ cm}, c=110 \text{ cm}, A_1=6 \text{ cm}^2, A_2=3 \text{ cm}^2$
10.		A	3	$l_1=45 \text{ cm}, l_2=90 \text{ cm}, l_3=50 \text{ cm}, c=60 \text{ cm}, k_1=1,5, k_2=-1,4, k_3=1,8, A_1=12 \text{ cm}^2, A_2=13,5 \text{ cm}^2, A_3=15 \text{ cm}^2$
11.		B	1	$l_1=110 \text{ cm}, l_2=120 \text{ cm}, l_3=130 \text{ cm}, a=90 \text{ cm}, b=60 \text{ cm}, c=60 \text{ cm}, A_1=5 \text{ cm}^2, A_2=10 \text{ cm}^2, A_3=2,5 \text{ cm}^2$
12.		F	1	$l_1=l_2=130 \text{ cm}, l_3=100 \text{ cm}, \alpha=\beta=30^\circ, \gamma=0^\circ, A_1=A_2=5 \text{ cm}^2, A_3=10 \text{ cm}^2$
13.		D	1	$l_1=125 \text{ cm}, l_2=120 \text{ cm}, \alpha=60^\circ, \beta=45^\circ, \gamma=75^\circ, a=60 \text{ cm}, b=120 \text{ cm}, c=80 \text{ cm}, A_1=3 \text{ cm}^2, A_2=5 \text{ cm}^2$
14.		E	3	$l_1=130 \text{ cm}, l_2=120 \text{ cm}, \alpha=45^\circ, \beta=60^\circ, \gamma=0^\circ, \delta=90^\circ, A_1=10 \text{ cm}^2, A_2=5 \text{ cm}^2$
15.		C	2	$l_1=120 \text{ cm}, l_2=140 \text{ cm}, \alpha=45^\circ, \beta=60^\circ, \gamma=120^\circ, a=120 \text{ cm}, b=60 \text{ cm}, c=120 \text{ cm}, A_1=10 \text{ cm}^2, A_2=5 \text{ cm}^2$
16.		H	3	$a=100 \text{ cm}, b=120 \text{ cm}, \alpha=30^\circ, \beta=60^\circ, A_1=8 \text{ cm}^2, A_2=5 \text{ cm}^2$
17.		A	1	$l_1=30 \text{ cm}, l_2=80 \text{ cm}, l_3=40 \text{ cm}, c=50 \text{ cm}, k_1=1,2, k_2=-1,5, k_3=1,4, A_1=8 \text{ cm}^2, A_2=12 \text{ cm}^2, A_3=15 \text{ cm}^2$

## 2\_2. ZADATAK: POČETNA NAPREZANJA U STATIČKI NEODREĐENIM KONSTRUKCIJAMA

Za statički neodređenu štapnu konstrukciju zadanu i opterećenu na slici u 4. zadatku VJEŽBENICE, treba provjeriti čvrstoću štapova i odrediti pomake karakterističnih točaka konstrukcije. Prije spajanja je štap ① bio kraći za vrijednost  $\delta_1$  od potrebne duljine  $l_1$ . U zadacima uzeti da su svi štapovi od istog materijala ( $E_1=E_2=E_3=E$ ,  $\sigma_{1dop}=\sigma_{2dop}=\sigma_{3dop}=\sigma_{dop}$ ); materijal 1 je konstrukcijski čelik, materijal 2 je mjed, a materijal 3 je aluminijska legura. Iz priložene tablice potrebno je odabrati modul elastičnosti ( $E$ ) i dopušteno naprezanje ( $\sigma_{dop}$ ) materijala štapova.

Sve izračunate vrijednosti sila, naprezanja i deformacija štapova, te pomake točaka konstrukcije, provjeriti izračunavanjem na PC uporabom programa CVRSTOCA, modula STAP\_POC.EXE.

Red. broj	PREZIME I IME	Oznaka slike	Materijal	Zadane vrijednosti uz sliku zadatka
1.		G	1	$l_1=120\text{ cm}, l_2=90\text{ cm}, l_3=100\text{ cm}, \alpha=30^\circ, \delta_1/l_1=0,001, A_1=6\text{ cm}^2, A_2=8\text{ cm}^2, A_3=4\text{ cm}^2$
2.		B	2	$l=125\text{ cm}, \alpha=30^\circ, \delta_1/l_1=0,0015, A_1=10\text{ cm}^2, A_2=5\text{ cm}^2$
3.		E	1	$l_1=140\text{ cm}, l_2=110\text{ cm}, \alpha=60^\circ, \beta=75^\circ, a=50\text{ cm}, b=75\text{ cm}, A_1=5\text{ cm}^2, A_2=10\text{ cm}^2, \delta_1/l_1=0,0015$
4.		G	2	$l_1=135\text{ cm}, l_2=100\text{ cm}, l_3=80\text{ cm}, \alpha=30^\circ, \delta_1/l_1=0,0015, A_1=10\text{ cm}^2, A_2=7,5\text{ cm}^2, A_3=5\text{ cm}^2$
5.		D	2	$l_1=140\text{ cm}, l_2=70\text{ cm}, \alpha=30^\circ, \beta=0^\circ, a=160\text{ cm}, b=80\text{ cm}, A_1=10\text{ cm}^2, A_2=10\text{ cm}^2, \delta_1/l_1=0,0008$
6.		C	3	$l_1=100\text{ cm}, l_2=130\text{ cm}, \alpha=60^\circ, \beta=75^\circ, a=50\text{ cm}, b=90\text{ cm}, A_1=16\text{ cm}^2, A_2=8\text{ cm}^2, \delta_1/l_1=0,001$
7.		F	2	$l_1=120\text{ cm}, l_2=140\text{ cm}, \alpha=60^\circ, \beta=75^\circ, a=50\text{ cm}, b=75\text{ cm}, A_1=16\text{ cm}^2, A_2=10\text{ cm}^2, \delta_1/l_1=0,0015$
8.		H	1	$a=90\text{ cm}, b=75\text{ cm}, \alpha=30^\circ, \beta=45^\circ, \delta=0,3\text{ cm}, A_1=10\text{ cm}^2, A_2=5\text{ cm}^2$
9.		C	1	$l_1=120\text{ cm}, l_2=140\text{ cm}, \alpha=45^\circ, \beta=60^\circ, a=60\text{ cm}, b=80\text{ cm}, A_1=15\text{ cm}^2, A_2=5\text{ cm}^2, \delta_1/l_1=0,001$
10.		H	2	$a=90\text{ cm}, b=80\text{ cm}, \alpha=30^\circ, \beta=75^\circ, \delta=0,3\text{ cm}, A_1=12\text{ cm}^2, A_2=6\text{ cm}^2$
11.		B	1	$l=140\text{ cm}, \alpha=30^\circ, \delta_1/l_1=0,0015, A_1=12\text{ cm}^2, A_2=6\text{ cm}^2$
12.		F	1	$l_1=130\text{ cm}, l_2=120\text{ cm}, \alpha=45^\circ, \beta=75^\circ, a=80\text{ cm}, b=100\text{ cm}, A_1=15\text{ cm}^2, A_2=10\text{ cm}^2, \delta_1/l_1=0,001$
13.		D	1	$l_1=120\text{ cm}, l_2=50\text{ cm}, \alpha=45^\circ, \beta=0^\circ, a=150\text{ cm}, b=100\text{ cm}, A_1=15\text{ cm}^2, A_2=10\text{ cm}^2, \delta_1/l_1=0,0008$
14.		E	3	$l_1=130\text{ cm}, l_2=90\text{ cm}, \alpha=75^\circ, \beta=60^\circ, a=45\text{ cm}, b=70\text{ cm}, A_1=10\text{ cm}^2, A_2=15\text{ cm}^2, \delta_1/l_1=0,002$
15.		C	2	$l_1=110\text{ cm}, l_2=130\text{ cm}, \alpha=75^\circ, \beta=60^\circ, a=50\text{ cm}, b=120\text{ cm}, A_1=16\text{ cm}^2, A_2=8\text{ cm}^2, \delta_1/l_1=0,001$
16.		H	3	$a=80\text{ cm}, b=70\text{ cm}, \alpha=30^\circ, \beta=60^\circ, \delta=0,3\text{ cm}, A_1=15\text{ cm}^2, A_2=10\text{ cm}^2$
17.		F	3	$l_1=100\text{ cm}, l_2=115\text{ cm}, \alpha=60^\circ, \beta=90^\circ, a=70\text{ cm}, b=120\text{ cm}, A_1=12\text{ cm}^2, A_2=8\text{ cm}^2, \delta_1/l_1=0,0012$
18.		G	3	$l_1=145\text{ cm}, l_2=100\text{ cm}, l_3=110\text{ cm}, \alpha=30^\circ, \delta_1/l_1=0,0015, A_1=16\text{ cm}^2, A_2=12\text{ cm}^2, A_3=8\text{ cm}^2$

## 2\_3. ZADATAK: TOPLINSKA NAPREZANJA U STATIČKI NEODREĐENIM KONSTRUKCIJAMA

Za statički neodređenu štapnu konstrukciju zadanu i opterećenu na slici u 5. zadatku VJEŽBENICE, treba provjeriti čvrstoću štapova i odrediti pomake karakterističnih točaka konstrukcije kad se temperatura konstrukcije povisi za  $\Delta T$ . U zadacima treba uzeti da je materijal štapa ① konstrukcijski čelik, a materijal štapa ② je mjed. Iz priložene tablice potrebno je odabrati modul elastičnosti, dopušteno naprezanje i koeficijent toplinskog rastezanja materijala štapova.

Sve izračunate vrijednosti sila, naprezanja i deformacija štapova, te pomake točaka konstrukcije, provjeriti izračunavanjem na PC uporabom programa ČVRSTOĆA, modula STAPTOPL.EXE.

Red. broj	PREZIME I IME	Oznaka slike	Zadane vrijednosti uz sliku zadatka
1.		<b>C</b>	$l_1=150 \text{ cm}, l_2=110 \text{ cm}, l_3=90 \text{ cm}, \alpha=30^\circ, \Delta T=40^\circ \text{C}, A_1=6 \text{ cm}^2, A_2=5 \text{ cm}^2, A_3=4 \text{ cm}^2$
2.		<b>G</b>	$l_1=120 \text{ cm}, l_2=80 \text{ cm}, \alpha=60^\circ, \beta=-90^\circ, \Delta T=40^\circ \text{C}, A_1=4 \text{ cm}^2, A_2=6 \text{ cm}^2, a=60 \text{ cm}, b=60 \text{ cm}$
3.		<b>E</b>	$l_1=140 \text{ cm}, l_2=110 \text{ cm}, \alpha=60^\circ, \beta=15^\circ, \gamma=45^\circ, \Delta T=45^\circ \text{C}, A_1=8 \text{ cm}^2, A_2=4 \text{ cm}^2$
4.		<b>F</b>	$l=150 \text{ cm}, \alpha=35^\circ, \Delta T=50^\circ \text{C}, A_1=5 \text{ cm}^2, A_2=5 \text{ cm}^2$
5.		<b>D</b>	$l_1=100 \text{ cm}, l_2=130 \text{ cm}, \alpha=60^\circ, \beta=75^\circ, \Delta T=45^\circ \text{C}, A_1=5 \text{ cm}^2, A_2=5 \text{ cm}^2, a=40 \text{ cm}, b=80 \text{ cm}$
6.		<b>C</b>	$l_1=60 \text{ cm}, l_2=120 \text{ cm}, \alpha=-90^\circ, \beta=60^\circ, \Delta T=45^\circ \text{C}, A_1=5 \text{ cm}^2, A_2=10 \text{ cm}^2, a=80 \text{ cm}, b=40 \text{ cm}$
7.		<b>E</b>	$l_1=120 \text{ cm}, l_2=180 \text{ cm}, \alpha=15^\circ, \beta=60^\circ, \gamma=0^\circ, \Delta T=40^\circ \text{C}, A_1=4 \text{ cm}^2, A_2=4 \text{ cm}^2$
8.		<b>H</b>	$a=100 \text{ cm}, b=75 \text{ cm}, \alpha=30^\circ, \beta=45^\circ, \Delta T=40^\circ \text{C}, A_1=6 \text{ cm}^2, A_2=6 \text{ cm}^2$
9.		<b>C</b>	$l_1=140 \text{ cm}, l_2=50 \text{ cm}, \alpha=75^\circ, \beta=-90^\circ, \Delta T=40^\circ \text{C}, A_1=7 \text{ cm}^2, A_2=14 \text{ cm}^2, a=80 \text{ cm}, b=40 \text{ cm}$
10.		<b>H</b>	$a=90 \text{ cm}, b=60 \text{ cm}, \alpha=30^\circ, \beta=75^\circ, \Delta T=45^\circ \text{C}, A_1=5 \text{ cm}^2, A_2=5 \text{ cm}^2$
11.		<b>D</b>	$l_1=120 \text{ cm}, l_2=60 \text{ cm}, \alpha=60^\circ, \beta=-90^\circ, \Delta T=60^\circ \text{C}, A_1=5 \text{ cm}^2, A_2=5 \text{ cm}^2, a=60 \text{ cm}, b=90 \text{ cm}$
12.		<b>F</b>	$l=120 \text{ cm}, \alpha=15^\circ, \Delta T=40^\circ \text{C}, A_1=6 \text{ cm}^2, A_2=6 \text{ cm}^2$
13.		<b>D</b>	$l_1=140 \text{ cm}, l_2=100 \text{ cm}, \alpha=75^\circ, \beta=-90^\circ, \Delta T=45^\circ \text{C}, A_1=8 \text{ cm}^2, A_2=8 \text{ cm}^2, a=30 \text{ cm}, b=90 \text{ cm}$
14.		<b>E</b>	$l_1=120 \text{ cm}, l_2=160 \text{ cm}, \alpha=30^\circ, \beta=45^\circ, \gamma=90^\circ, \Delta T=50^\circ \text{C}, A_1=5 \text{ cm}^2, A_2=5 \text{ cm}^2$
15.		<b>C</b>	$l_1=80 \text{ cm}, l_2=50 \text{ cm}, \alpha=-90^\circ, \beta=60^\circ, \Delta T=45^\circ \text{C}, A_1=10 \text{ cm}^2, A_2=15 \text{ cm}^2, a=100 \text{ cm}, b=60 \text{ cm}$
16.		<b>D</b>	$l_1=130 \text{ cm}, l_2=100 \text{ cm}, \alpha=75^\circ, \beta=60^\circ, \Delta T=40^\circ \text{C}, A_1=6 \text{ cm}^2, A_2=6 \text{ cm}^2, a=30 \text{ cm}, b=60 \text{ cm}$
17.		<b>E</b>	$l_1=130 \text{ cm}, l_2=170 \text{ cm}, \alpha=30^\circ, \beta=45^\circ, \gamma=90^\circ, \Delta T=30^\circ \text{C}, A_1=5 \text{ cm}^2, A_2=10 \text{ cm}^2$
18.		<b>D</b>	$l_1=130 \text{ cm}, l_2=70 \text{ cm}, \alpha=60^\circ, \beta=-90^\circ, \Delta T=40^\circ \text{C}, A_1=5 \text{ cm}^2, A_2=10 \text{ cm}^2, a=50 \text{ cm}, b=80 \text{ cm}$
19.		<b>A</b>	$l_1=50 \text{ cm}, l_2=70 \text{ cm}, \Delta T=60^\circ \text{C}, A_1=5 \text{ cm}^2, A_2=10 \text{ cm}^2, \delta=0,02 \text{ mm}$
20.		<b>B</b>	$l_1=100 \text{ cm}, l_2=120 \text{ cm}, l_3=140 \text{ cm}, \Delta T=45^\circ \text{C}, A_1=5 \text{ cm}^2, A_2=8 \text{ cm}^2, A_3=4 \text{ cm}^2, a=80 \text{ cm}, b=50 \text{ cm}$

### 3. ZADATAK: UVIJANJE RAVNIH ŠTAPOVA OKRUGLOG PRESJEKA

Za štap uklješten na krajevima A i B, zadan i opterećen prema slici u 6. zadatku u VJEŽBENICI , treba odrediti:

a) Iznos dopuštenog opterećenja zakretnim momentom ( $M_{\text{dop}} = ?$ ) na temelju proračuna uvijanja štapova na čvrstoću i krutost, kod poznatih vrijednosti  $\tau_{\text{dop}}$  i  $\vartheta_{\text{dop}}$  te dimenzija štapa.

b) Za vrijednost referentnog zakretnog momenta  $M \approx 0,95 \cdot M_{\text{dop}}$  (zaokružiti na manji cijeli broj u N·m, korak cca 10 N·m), uz poznat materijal štapova i zadane dimenzije poprečnog presjeka štapova, treba provjeriti čvrstoću i krutost štapova, te odrediti kutne zakrete karakterističnih presjeka C i D (samo u zadacima gdje je postoji presjek D!).

Nacrtati i kotirati dijagrame momenata uvijanja i kutova zakreta duž osi  $x$  štapova.

U zadacima uzeti da su svi štapovi od istog materijala ( $G_1=G_2=G_3=G$ ,  $\tau_{1\text{dop}} = \tau_{2\text{dop}} = \tau_{3\text{dop}} = \tau_{\text{dop}}$ ,

$\vartheta_{1\text{dop}} = \vartheta_{2\text{dop}} = \vartheta_{3\text{dop}} = \vartheta_{\text{dop}}$ ); materijal 1 je konstrukcijski čelik, materijal 2 je mjed, a materijal 3 je

aluminijaska legura. Iz priložene tablice potrebno je odabrati vrijednosti za modul smičnosti ( $G$ ), dopušteno posmično naprezanja materijala ( $\tau_{\text{dop}}$ ), te dopušteni relativni kut uvijanja ( $\vartheta_{\text{dop}}$ ).

Posebnosti koje se traže u zadacima na slikama D, E i F, označene su na slici zadatka.

Sve vrijednosti momenta, posmičnih naprezanja i kutnih zakreta presjeka štapova, provjeriti izračunavanjem na PC uporabom programa CVRSTOCA, modula TORZIJA.EXE.

Red. broj	PREZIME I IME	Oznaka slike	Materijal	Zadane vrijednosti uz sliku zadatka
1.		B	1	$l_1=0,8 \text{ m}$ , $l_2=0,5 \text{ m}$ , $k_{1D}=0,6$ , $k_{2D}=0,7$ , $D_1=12 \text{ cm}$ , $D_2=9 \text{ cm}$
2.		C	2	$l_1=0,5 \text{ m}$ , $l_2=0,35 \text{ m}$ , $l_3=0,45 \text{ m}$ , $k_{1D}=0,6$ , $k_{2D}=0$ , $k_{3D}=0,7$ , $k_1=1,7$ , $k_2=-1,4$ , $D_1=12 \text{ cm}$ , $D_2=9 \text{ cm}$ , $D_3=11 \text{ cm}$
3.		E	1	$l_1=0,6 \text{ m}$ , $l_2=0,5 \text{ m}$ , $l_3=0,3 \text{ m}$ , $k_{1D}=0,6$ , $k_{2D}=0$ , $k_{3D}=0,7$ , $k_1=1,8$ , $k_2=1,3$ , $D_1=11 \text{ cm}$ , $D_2=8 \text{ cm}$ , $D_3=12 \text{ cm}$
4.		C	1	$l_1=0,6 \text{ m}$ , $l_2=0,35 \text{ m}$ , $l_3=0,65 \text{ m}$ , $k_{1D}=0,65$ , $k_{2D}=0$ , $k_{3D}=0,65$ , $k_1=1,6$ , $k_2=1,2$ , $D_1=10 \text{ cm}$ , $D_2=9,5 \text{ cm}$ , $D_3=11,5 \text{ cm}$
5.		D	2	$l=1,8 \text{ m}$ , $k_{1D}=0,65$ , $k_{2D}=0,7$ , $D_1=10 \text{ cm}$ , $D_2=8 \text{ cm}$
6.		B	2	$l_1=0,9 \text{ m}$ , $l_2=0,7 \text{ m}$ , $k_{1D}=0,6$ , $k_{2D}=0,7$ , $D_1=11 \text{ cm}$ , $D_2=8 \text{ cm}$
7.		C	3	$l_1=0,7 \text{ m}$ , $l_2=0,4 \text{ m}$ , $l_3=0,5 \text{ m}$ , $k_{1D}=0,6$ , $k_{2D}=0,65$ , $k_{3D}=0,7$ , $k_1=1,8$ , $k_2=1,2$ , $D_1=12 \text{ cm}$ , $D_2=10 \text{ cm}$ , $D_3=11 \text{ cm}$
8.		E	3	$l_1=0,8 \text{ m}$ , $l_2=0,5 \text{ m}$ , $l_3=0,45 \text{ m}$ , $k_{1D}=0,6$ , $k_{2D}=0$ , $k_{3D}=0,7$ , $k_1=1,6$ , $k_2=1,4$ , $D_1=12 \text{ cm}$ , $D_2=10 \text{ cm}$ , $D_3=13 \text{ cm}$
9.		B	3	$l_1=0,9 \text{ m}$ , $l_2=0,45 \text{ m}$ , $k_{1D}=0,6$ , $k_{2D}=0$ , $D_1=10 \text{ cm}$ , $D_2=7 \text{ cm}$
10.		C	1	$l_1=0,7 \text{ m}$ , $l_2=0,6 \text{ m}$ , $l_3=0,5 \text{ m}$ , $k_{1D}=0,6$ , $k_{2D}=0,7$ , $k_{3D}=0,65$ , $k_1=1,5$ , $k_2=-1,6$ , $D_1=13 \text{ cm}$ , $D_2=12 \text{ cm}$ , $D_3=14 \text{ cm}$
11.		D	3	$l=1,85 \text{ m}$ , $k_{1D}=0,6$ , $k_{2D}=0,75$ , $D_1=12 \text{ cm}$ , $D_2=10 \text{ cm}$
12.		E	2	$l_1=0,5 \text{ m}$ , $l_2=0,4 \text{ m}$ , $l_3=0,3 \text{ m}$ , $k_{1D}=0,65$ , $k_{2D}=0,7$ , $k_{3D}=0$ , $k_1=1,4$ , $k_2=1,6$ , $D_1=9 \text{ cm}$ , $D_2=10 \text{ cm}$ , $D_3=11 \text{ cm}$
13.		F	1	$l_1=0,9 \text{ m}$ , $l_2=0,6 \text{ m}$ , $c=0,25 \text{ m}$ , $k_{1D}=0,6$ , $k_{2D}=0,65$ , $k_1=1,8$ , $k_2=1,6$ , $D_1=12 \text{ cm}$ , $D_2=9 \text{ cm}$
14.		D	1	$l=1,7 \text{ m}$ , $k_{1D}=0,6$ , $k_{2D}=0,7$ , $D_1=12 \text{ cm}$ , $D_2=9 \text{ cm}$
15.		A	3	$l_1=1,4 \text{ m}$ , $l_2=0,9 \text{ m}$ , $k_{1D}=0,6$ , $k_{2D}=0,7$ , $k_1=3$ , $k_2=1,4$ , $D_1=9 \text{ cm}$ , $D_2=7 \text{ cm}$
16.		E	1	$l_1=0,6 \text{ m}$ , $l_2=0,5 \text{ m}$ , $l_3=0,8 \text{ m}$ , $k_{1D}=0,6$ , $k_{2D}=0,65$ , $k_{3D}=0,7$ , $k_1=1,3$ , $k_2=1,7$ , $D_1=12 \text{ cm}$ , $D_2=10 \text{ cm}$ , $D_3=15 \text{ cm}$

#### 4. ZADATAK: SAVIJANJE RAVNIH NOSAČA

Ravne grede zadane su i opterećene prema slikama N1) ÷ N9), a njihovi su poprečni presjeci zadani na slikama B) ÷ I), u "VJEŽBENICI ..." na 12. i 13. stranici.

a) Kod zadanih svojstava materijala, dimenzija grede i poprečnog presjeka potrebno je odrediti iznose dopuštenog opterećenja grede ( $F_{\text{dop}}$ ,  $q_{z \text{ dop}}$ ,  $M_{\text{dop}}=?$ ).

b) Kod odabranih iznosa opterećenja  $F$ ,  $q_z$ ,  $M$  (zaokruženo na manji cijeli broj u kN, kN/m, kN·m; uz korak cca 5 kN, 2 kN/m, 5 kN·m) treba odrediti reakcije u osloncima A i B, te skicirati i kotirati dijagrame poprečnih sila  $Q_z$  i momenata savijanja  $M_y$  duž grede.

c) Za presjek grede u kojem djeluje  $(M_y)_{\text{max}}$  treba odrediti iznose normalnih naprezanja  $\sigma_x$  po visini presjeka, te nacrtati i kotirati dijagram  $\sigma_x(z)$ .

d) Za presjek grede u kojem djeluje  $(Q_z)_{\text{max}}$  treba odrediti iznose posmičnih naprezanja  $\tau_{xz}$  po visini presjeka, te nacrtati i kotirati dijagram  $\tau_{xz}(z)$ .

e) Kod odabranih iznosa opterećenja  $F$ ,  $q_z$ ,  $M$  (iz točke b) zadatka) i za zadana svojstva materijala, dimenzija grede i poprečnog presjeka, treba numerički izračunati progibe u presjecima C, D i E grede, te nagibe tangente na elastičnu liniju u presjecima A, B, C, D i E grede. Primijeniti tablične izraze i metodu superpozicije opterećenja ravne grede.

f) Skicirati u mjerilu elastičnu liniju grede i kotirati je općim oznakama u zadanim presjecima.

Materijal grede je konstrukcijski čelik ( $E=200$  GPa,  $\sigma_{\text{dop}}=130$  MPa,  $\tau_{\text{dop}}=70$  MPa).

Sve izračunate vrijednosti za poprečni presjek, opterećenja, naprezanja i deformacije grede treba provjeriti izračunavanjem na PC uporabom programa „CVRSTOCA“, moduli „SAVIJ1\_N.EXE“ i „SAVIJ1\_D.EXE“.

Rezultati i dijagrami mogu se provjeriti i uporabom modula programa „MDSolids®“.

U svim zadacima zadane su vrijednosti:  $l = 6$  m,  $a = 2$  m,  $c = 1,5$  m,  $k_1 = 2$ ,  $k_2 = 0,15$ .

Red. broj	PREZIME I IME	Oznaka grede	Oznaka presjeka	Dimenzije poprečnog presjeka grede
1.		N1	I	$b_1=16$ cm, $b_2=5$ cm, $b_3=12$ cm, $t_1=4$ cm, $t_2=3$ cm, $h=28$ cm
2.		N2	C	$b_1=12$ cm, $b_2=4$ cm, $h=18$ cm, $t=4$ cm
3.		N3	B	$b_1=12$ cm, $b_2=8$ cm, $h_1=18$ cm, $h_2=14$ cm
4.		N4	E	$b_1=12$ cm, $b_2=3$ cm, $h=24$ cm, $t=3$ cm
5.		N5	D	$b_1=11$ cm, $b_2=3$ cm, $h=18$ cm, $t=3$ cm
6.		N6	B	$b_1=14$ cm, $b_2=9$ cm, $h_1=21$ cm, $h_2=16$ cm
7.		N7	H	$b_1=10$ cm, $b_2=4$ cm, $h=20$ cm, $t=3$ cm
8.		N8	F	$b_1=16$ cm, $b_2=11$ cm, $h=6$ cm, $t=2,5$ cm
9.		N9	I	$b_1=18$ cm, $b_2=6$ cm, $b_3=14$ cm, $t_1=5$ cm, $t_2=4$ cm, $h=30$ cm
10.		N1	D	$b_1=9$ cm, $b_2=3$ cm, $h=15$ cm, $t=3$ cm
11.		N9	C	$b_1=16$ cm, $b_2=6$ cm, $h=25$ cm, $t=5$ cm
12.		N7	E	$b_1=15$ cm, $b_2=2,5$ cm, $h=20$ cm, $t=2$ cm
13.		N5	B	$b_1=15$ cm, $b_2=11$ cm, $h_1=18$ cm, $h_2=14$ cm
14.		N1	H	$b_1=9$ cm, $b_2=3$ cm, $h=18$ cm, $t=3$ cm
15.		N6	G	$b_1=18$ cm, $b_2=12$ cm, $h=9$ cm, $t=3$ cm

## 5. ZADATAK: KOSO SAVIJANJE KONZOLNIH NOSAČA

Konzolni nosači zadani su i opterećeni prema slikama N1) ÷ N3), a pravci sila označeni su na poprečnim presjecima koji su zadani na slikama A) ÷ F), u "VJEŽBENICI ..." na 15. stranici.

g) Kod zadanih svojstava materijala, dimenzija konzole i poprečnog presjeka potrebno je odrediti iznos dopuštenog opterećenja nosača ( $F_{\text{dop}}=?$ ).

h) Kod odabranih iznosa opterećenja  $F_1$  i  $F_2$  (zaokruženo na cijeli broj u kN; korak 2 kN) treba na mjestu A uklještenja nosača odrediti iznose normalnih naprezanja  $\sigma_x$  u zadanim točkama 1, 2, ... 8 ( .. 12 kod presjeka D), te nacrtati i kotirati prostorni dijagram naprezanja  $\sigma_x$ . Koordinate  $y$  i  $z$  točaka poprečnog presjeka nosača te iznose naprezanja  $\sigma_x$  dati u tablici.

c) Treba odrediti iznos i kut progiba  $\delta_B$  slobodnog kraja B konzolnog nosača, te komponente progiba  $v_B$  i  $w_B$  u pravcima koordinatnih osi ( $y, z$ ) poprečnog presjeka.

Sve izračunate vrijednosti za poprečni presjek, opterećenja, naprezanja i deformacije konzolnog nosača treba provjeriti izračunavanjem na PC uporabom programa „CVRSTOCA“, modul „KOSOSAV.EXE“.

Rezultati i dijagrami mogu se provjeriti i uporabom modula programa „MDSolids®“, ver. 2.05.

U svim zadacima zadane su vrijednosti:  $l = 3,5$  m,  $a = 2$  m,  $k_1 = 1,25$ ,  $k_2 = 0,75$ ,  $k = 0$ .

Materijal grede je konstrukcijski čelik:  $E = 200$  GPa,  $\sigma_{\text{dop}} = 100 \div 130$  MPa.

Red. broj	PREZIME I IME	Oznaka nosača	Oznaka presjeka	Dimenzije poprečnog presjeka i pravci sila
1.		N1	E	$b=16$ cm, $t=4$ cm, $h=24$ cm, $\alpha_1=30^\circ$ , $\alpha_2=60^\circ$
2.		N2	C	$b=15$ cm, $t=3$ cm, $h=12$ cm, $\alpha_1=30^\circ$ , $\alpha_2=45^\circ$
3.		N3	B	$b=15$ cm, $t=3$ cm, $h=21$ cm, $\alpha_1=30^\circ$ , $\alpha_2=60^\circ$
4.		N1	F	$b=15$ cm, $t=3$ cm, $h=21$ cm, $\alpha_1=-30^\circ$ , $\alpha_2=-60^\circ$
5.		N2	D	$b=12$ cm, $t=3$ cm, $h=18$ cm, $\alpha_1=30^\circ$ , $\alpha_2=45^\circ$
6.		N2	B	$b=12$ cm, $t=3$ cm, $h=18$ cm, $\alpha_1=30^\circ$ , $\alpha_2=-90^\circ$
7.		N1	C	$b=18$ cm, $t=3$ cm, $h=15$ cm, $\alpha_1=0^\circ$ , $\alpha_2=45^\circ$
8.		N3	F	$b=12$ cm, $t=3$ cm, $h=18$ cm, $\alpha_1=30^\circ$ , $\alpha_2=90^\circ$
9.		N1	E	$b=15$ cm, $t=2,5$ cm, $h=18$ cm, $\alpha_1=30^\circ$ , $\alpha_2=45^\circ$
10.		N2	D	$b=15$ cm, $t=3$ cm, $h=21$ cm, $\alpha_1=30^\circ$ , $\alpha_2=60^\circ$
11.		N1	C	$b=12$ cm, $t=2,5$ cm, $h=8$ cm, $\alpha_1=90^\circ$ , $\alpha_2=45^\circ$
12.		N3	E	$b=12$ cm, $t=2$ cm, $h=16$ cm, $\alpha_1=45^\circ$ , $\alpha_2=60^\circ$
13.		N2	B	$b=15$ cm, $t=3$ cm, $h=24$ cm, $\alpha_1=-30^\circ$ , $\alpha_2=0^\circ$
14.		N1	D	$b=14$ cm, $t=3,5$ cm, $h=20$ cm, $\alpha_1=0^\circ$ , $\alpha_2=60^\circ$
15.		N2	E	$b=15$ cm, $t=3$ cm, $h=24$ cm, $\alpha_1=0^\circ$ , $\alpha_2=60^\circ$
16.		N2	C	$b=18$ cm, $t=3,5$ cm, $h=15$ cm, $\alpha_1=0^\circ$ , $\alpha_2=-45^\circ$
17.		N1	F	$b=14$ cm, $t=3$ cm, $h=18$ cm, $\alpha_1=-90^\circ$ , $\alpha_2=0^\circ$
18.		N2	E	$b=15$ cm, $t=2,5$ cm, $h=21$ cm, $\alpha_1=90^\circ$ , $\alpha_2=30^\circ$
19.		N3	F	$b=12$ cm, $t=2$ cm, $h=16$ cm, $\alpha_1=30^\circ$ , $\alpha_2=0^\circ$
20.		N1	C	$b=15$ cm, $t=2,5$ cm, $h=12$ cm, $\alpha_1=-45^\circ$ , $\alpha_2=0^\circ$
21.		N1	D	$b=12$ cm, $t=4$ cm, $h=24$ cm, $\alpha_1=30^\circ$ , $\alpha_2=45^\circ$



## 6. ZADATAK: ČVRSTOĆA KOLJENASTOG ŠTAPA

Za koljenasto savijene štapove okruglog poprečnog presjeka, zadane i opterećene prema slikama A) ÷ S) na 17. stranici u "VJEŽBENICI...", potrebno je na mjestu ukliještenja u točki A:

a) odrediti standardni promjer  $D$  okruglog poprečnog presjeka štapa, primjenom energijske teorije čvrstoće HMM,

b) s tako odabranim standardnim promjerom  $D$  poprečnog presjeka provjeriti čvrstoću štapa.

**NAPOMENA:** Pravci sila i štapova podudaraju se s osima ( $x, y, z$ ) pravokutnog koordinatnog sustava! Negativan predznak sile znači da ona djeluje u suprotnom smislu od onog danog na slici štapa.

Sve izračunate vrijednosti provjeriti izračunavanjem na PC uporabom programa „CVRSTOCA“, modul „KOLJENO.EXE“.

Materijal štapa je konstrukcijski čelik:  $\sigma_{\text{dop}} = 140 \div 170 \text{ MPa}$ .

Red. broj	PREZIME I IME	Slika štapa	Vrijednosti uz slike koljenastog štapa
1.		<b>A</b>	$k=0,65, F_1=9 \text{ kN}, F_2=-5 \text{ kN}, F_3=6 \text{ kN}, F_4=-135 \text{ kN}, l_1=55 \text{ cm}, l_2=60 \text{ cm}, l_3=140 \text{ cm}$
2.		<b>B</b>	$k=0,6, F_1=-7 \text{ kN}, F_2=8 \text{ kN}, F_3=-5 \text{ kN}, F_4=125 \text{ kN}, l_1=65 \text{ cm}, l_2=45 \text{ cm}, l_3=120 \text{ cm}$
3.		<b>E</b>	$k=0,7, F_1=-10 \text{ kN}, F_2=-9 \text{ kN}, F_3=6 \text{ kN}, F_4=-150 \text{ kN}, l_1=60 \text{ cm}, l_2=145 \text{ cm}$
4.		<b>C</b>	$k=0,65, F_1=-8 \text{ kN}, F_2=-7 \text{ kN}, F_3=9 \text{ kN}, F_4=130 \text{ kN}, l_1=65 \text{ cm}, l_2=130 \text{ cm}$
5.		<b>D</b>	$k=0,7, F_1=-7 \text{ kN}, F_2=-6 \text{ kN}, F_3=9 \text{ kN}, F_4=125 \text{ kN}, l_1=45 \text{ cm}, l_2=55 \text{ cm}, l_3=110 \text{ cm}$
6.		<b>G</b>	$k=0,65, F_1=-8 \text{ kN}, F_2=-6 \text{ kN}, F_3=9 \text{ kN}, F_4=140 \text{ kN}, l_1=55 \text{ cm}, l_2=125 \text{ cm}$
7.		<b>F</b>	$k=0,6, F_1=8 \text{ kN}, F_2=-5 \text{ kN}, F_3=6 \text{ kN}, F_4=-135 \text{ kN}, l_1=55 \text{ cm}, l_2=50 \text{ cm}, l_3=135 \text{ cm}$
8.		<b>I</b>	$k=0,65, F_1=-6 \text{ kN}, F_2=8 \text{ kN}, F_3=-5 \text{ kN}, F_4=140 \text{ kN}, l_1=45 \text{ cm}, l_2=60 \text{ cm}, l_3=125 \text{ cm}$
9.		<b>H</b>	$k=0,6, F_1=-9 \text{ kN}, F_2=-7 \text{ kN}, F_3=6 \text{ kN}, F_4=-120 \text{ kN}, l_1=55 \text{ cm}, l_2=135 \text{ cm}$
10.		<b>M</b>	$k=0,65, F_1=-8 \text{ kN}, F_2=6 \text{ kN}, F_3=-9 \text{ kN}, F_4=130 \text{ kN}, l_1=65 \text{ cm}, l_2=135 \text{ cm}$
11.		<b>J</b>	$k=0,65, F_1=-7 \text{ kN}, F_2=9 \text{ kN}, F_3=-8 \text{ kN}, F_4=140 \text{ kN}, l_1=45 \text{ cm}, l_2=60 \text{ cm}, l_3=135 \text{ cm}$
12.		<b>K</b>	$k=0,6, F_1=6 \text{ kN}, F_2=-8 \text{ kN}, F_3=7 \text{ kN}, F_4=-125 \text{ kN}, l_1=45 \text{ cm}, l_2=60 \text{ cm}, l_3=110 \text{ cm}$
13.		<b>L</b>	$k=0,65, F_1=7 \text{ kN}, F_2=-9 \text{ kN}, F_3=-5 \text{ kN}, F_4=-130 \text{ kN}, l_1=55 \text{ cm}, l_2=60 \text{ cm}, l_3=130 \text{ cm}$
14.		<b>N</b>	$k=0,6, F_1=-8 \text{ kN}, F_2=6 \text{ kN}, F_3=-9 \text{ kN}, F_4=125 \text{ kN}, l_1=45 \text{ cm}, l_2=55 \text{ cm}, l_3=120 \text{ cm}$
15.		<b>A</b>	$k=0,65, F_1=9 \text{ kN}, F_2=8 \text{ kN}, F_3=-6 \text{ kN}, F_4=135 \text{ kN}, l_1=45 \text{ cm}, l_2=50 \text{ cm}, l_3=135 \text{ cm}$
16.		<b>E</b>	$k=0,6, F_1=-6 \text{ kN}, F_2=-7 \text{ kN}, F_3=8 \text{ kN}, F_4=-120 \text{ kN}, l_1=60 \text{ cm}, l_2=145 \text{ cm}$

## 7. ZADATAK: IZVIJANJE ŠTAPOVA

Za štapove AB učvršćene prema slikama A) ÷ D), a čiji je poprečni presjek m ÷ n zadan prema slikama E) ÷ M) na 18. stranici u "VJEŽBENICI...", potrebno je odrediti:

- vrijednost dopuštenog tlačnog opterećenja ( $F_{\text{dop}} = ?$ ).
- nacrtati dijagram  $\sigma_{\text{kr}} = f(\lambda)$  i označiti pripadajuće vrijednosti naprezanja i vitkosti u zadatku.

Sve izračunate vrijednosti provjeriti izračunavanjem na PC uporabom programa „CVRSTOCA“, modul „IZV\_STAP.EXE“.

Red. broj	PREZIME I IME	Oznaka štapa	Oznaka presjeka	Vrijednosti uz slike štapa i poprečnog presjeka
1.		<b>C</b>	<b>F</b>	$L=355 \text{ cm}$ , $E=200 \text{ GPa}$ , $\sigma_T=265 \text{ MPa}$ , $\sigma_P=195 \text{ MPa}$ , $\sigma_0=305 \text{ MPa}$ , $S_{\min}=2,0$ , $b_1=100 \text{ mm}$ , $b_2=65 \text{ mm}$ , $h_1=135 \text{ mm}$ , $h_2=95 \text{ mm}$ .
2.		<b>C</b>	<b>E</b>	$L=355 \text{ cm}$ , $E=206 \text{ GPa}$ , $\sigma_T=255 \text{ MPa}$ , $\sigma_P=195 \text{ MPa}$ , $\sigma_0=310 \text{ MPa}$ , $S_{\min}=2,0$ , $b_1=100 \text{ mm}$ , $b_2=25 \text{ mm}$ , $h_1=150 \text{ mm}$ , $h_2=100 \text{ mm}$ .
3.		<b>A</b>	<b>G</b>	$L=285 \text{ cm}$ , $E=210 \text{ GPa}$ , $\sigma_T=275 \text{ MPa}$ , $\sigma_P=205 \text{ MPa}$ , $\sigma_0=315 \text{ MPa}$ , $S_{\min}=2,2$ , $b_1=100 \text{ mm}$ , $b_2=25 \text{ mm}$ , $h_1=25 \text{ mm}$ , $h_2=95 \text{ mm}$ .
4.		<b>A</b>	<b>G</b>	$L=265 \text{ cm}$ , $E=207 \text{ GPa}$ , $\sigma_T=270 \text{ MPa}$ , $\sigma_P=200 \text{ MPa}$ , $\sigma_0=310 \text{ MPa}$ , $S_{\min}=2,1$ , $b_1=100 \text{ mm}$ , $b_2=25 \text{ mm}$ , $h_1=25 \text{ mm}$ , $h_2=65 \text{ mm}$ .
5.		<b>B</b>	<b>H</b>	$L=185 \text{ cm}$ , $E=210 \text{ GPa}$ , $\sigma_T=255 \text{ MPa}$ , $\sigma_P=195 \text{ MPa}$ , $\sigma_0=310 \text{ MPa}$ , $S_{\min}=2,0$ , $b_1=110 \text{ mm}$ , $b_2=80 \text{ mm}$ , $h_1=140 \text{ mm}$ , $h_2=120 \text{ mm}$ .
6.		<b>D</b>	<b>H</b>	$L=365 \text{ cm}$ , $E=200 \text{ GPa}$ , $\sigma_T=250 \text{ MPa}$ , $\sigma_P=190 \text{ MPa}$ , $\sigma_0=295 \text{ MPa}$ , $S_{\min}=2,2$ , $b_1=110 \text{ mm}$ , $b_2=90 \text{ mm}$ , $h_1=120 \text{ mm}$ , $h_2=110 \text{ mm}$ .
7.		<b>C</b>	<b>I</b>	$L=320 \text{ cm}$ , $E=206 \text{ GPa}$ , $\sigma_T=260 \text{ MPa}$ , $\sigma_P=195 \text{ MPa}$ , $\sigma_0=315 \text{ MPa}$ , $S_{\min}=2,1$ , $d=50 \text{ mm}$ , profil <b>L</b> 80x40x6.
8.		<b>C</b>	<b>J</b>	$L=360 \text{ cm}$ , $E=207 \text{ GPa}$ , $\sigma_T=265 \text{ MPa}$ , $\sigma_P=205 \text{ MPa}$ , $\sigma_0=315 \text{ MPa}$ , $S_{\min}=2,3$ , $d=30 \text{ mm}$ , profil <b>L</b> 90x60x6, $h_2=20 \text{ mm}$ .
9.		<b>A</b>	<b>K</b>	$L=290 \text{ cm}$ , $E=206 \text{ GPa}$ , $\sigma_T=270 \text{ MPa}$ , $\sigma_P=215 \text{ MPa}$ , $\sigma_0=310 \text{ MPa}$ , $S_{\min}=2,0$ , $d=40 \text{ mm}$ , profil <b>I</b> 100.
10.		<b>C</b>	<b>L</b>	$L=320 \text{ cm}$ , $E=207 \text{ GPa}$ , $\sigma_T=280 \text{ MPa}$ , $\sigma_P=235 \text{ MPa}$ , $\sigma_0=325 \text{ MPa}$ , $S_{\min}=2,2$ , $d=50 \text{ mm}$ , profil <b>I</b> 120, $h_2=25 \text{ mm}$ .
11.		<b>C</b>	<b>M</b>	$L=380 \text{ cm}$ , $E=210 \text{ GPa}$ , $\sigma_T=320 \text{ MPa}$ , $\sigma_P=255 \text{ MPa}$ , $\sigma_0=350 \text{ MPa}$ , $S_{\min}=2,2$ , $d=40 \text{ mm}$ , profil <b>I</b> 140, $h_2=15 \text{ mm}$ .
12.		<b>A</b>	<b>F</b>	$L=315 \text{ cm}$ , $E=207 \text{ GPa}$ , $\sigma_T=360 \text{ MPa}$ , $\sigma_P=285 \text{ MPa}$ , $\sigma_0=410 \text{ MPa}$ , $S_{\min}=2,1$ , $b_1=110 \text{ mm}$ , $b_2=80 \text{ mm}$ , $h_1=140 \text{ mm}$ , $h_2=100 \text{ mm}$ .
13.		<b>C</b>	<b>G</b>	$L=425 \text{ cm}$ , $E=206 \text{ GPa}$ , $\sigma_T=290 \text{ MPa}$ , $\sigma_P=230 \text{ MPa}$ , $\sigma_0=340 \text{ MPa}$ , $S_{\min}=2,2$ , $b_1=150 \text{ mm}$ , $b_2=50 \text{ mm}$ , $h_1=40 \text{ mm}$ , $h_2=120 \text{ mm}$ .