

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 ČVRSTOĆA, modul NAPR_DEF.EXE. Za grafičko rješenje može se koristiti i program MDSolids[®].

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

- iznos dopuštenog opterećenja konstrukcije ($F_{\text{dop}} = ?$) na temelju odabranog dopuštenog napreznja materijala štapova i pretpostavljenih ploština poprečnog presjeka štapova,
- 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,
- za vrijednost opterećenja F iz točke b) zadatka i s plošinama poprečnih presjeka (zaokruženih na veći cijeli broj u 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 ČVRSTOĆA, podprograma STAP_ODR.EXE.

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

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 (σ_{dop}) materijala štapova.

Sve izračunate vrijednosti sila, naprezanja i deformacija štapova, te pomake točaka konstrukcije, provjeriti izračunavanjem na PC uporabom programa ČVRSTOĆA, 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 δ_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 (σ_{dop}) materijala štapova.

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

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

3. ZADATAK: UVIJANJE RAVNIH ŠTAPOVA OKRUGLOG PRESJEKA

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

- Iznos dopuštenog opterećenja zakretnim momentom ($M_{\text{dop}} = ?$) na temelju proračuna uvijanja štapova na čvrstoću i krutost, kod poznatih vrijednosti τ_{dop} i ϑ_{dop} te dimenzija štapa.
- 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 aluminijska legura. Iz priložene tablice potrebno je odabrati vrijednosti za modul smičnosti (G), dopušteno posmično naprezanja materijala (τ_{dop}), te dopušteni relativni kut uvijanja (ϑ_{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 ČVRSTOĆA, modula TORZIJA.EXE.

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

- Kod zadanih svojstava materijala, dimenzija grede i poprečnog presjeka potrebno je odrediti iznose dopuštenog opterećenja grede (F_{dop} , $q_{z \text{ dop}}$, $M_{\text{dop}}=?$).
- 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.
- Za presjek grede u kojem djeluje $(M_y)_{\text{max}}$ treba odrediti iznose normalnih naprezanja σ_x po visini presjeka, te nacrtati i kotirati dijagram $\sigma_x(z)$.
- Za presjek grede u kojem djeluje $(Q_z)_{\text{max}}$ treba odrediti iznose posmičnih naprezanja τ_{xz} po visini presjeka, te nacrtati i kotirati dijagram $\tau_{xz}(z)$.
- 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.
- 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 „ČVRSTOĆA“, 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 σ_x u zadanim točkama 1, 2, ... 8 (.. 12 kod presjeka D), te nacrtati i kotirati prostorni dijagram naprezanja σ_x . Koordinate y i z točaka poprečnog presjeka nosača te iznose naprezanja σ_x dati u tablici.

c) Treba odrediti iznos i kut progiba δ_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 „ČVRSTOĆA“, 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 uklještenja 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 „ČVRSTOĆA“, 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.		A	$k = 0,65, F_1 = 9 \text{ kN}, F_2 = -5 \text{ kN}, F_3 = 6 \text{ kN}, F_4 = -135 \text{ kN}, l_1 = 55 \text{ cm}, l_2 = 60 \text{ cm}, l_3 = 140 \text{ cm}$
2.		B	$k = 0,6, F_1 = -7 \text{ kN}, F_2 = 8 \text{ kN}, F_3 = -5 \text{ kN}, F_4 = 125 \text{ kN}, l_1 = 65 \text{ cm}, l_2 = 45 \text{ cm}, l_3 = 120 \text{ cm}$
3.		E	$k = 0,7, F_1 = -10 \text{ kN}, F_2 = -9 \text{ kN}, F_3 = 6 \text{ kN}, F_4 = -150 \text{ kN}, l_1 = 60 \text{ cm}, l_2 = 145 \text{ cm}$
4.		C	$k = 0,65, F_1 = -8 \text{ kN}, F_2 = -7 \text{ kN}, F_3 = 9 \text{ kN}, F_4 = 130 \text{ kN}, l_1 = 65 \text{ cm}, l_2 = 130 \text{ cm}$
5.		D	$k = 0,7, F_1 = -7 \text{ kN}, F_2 = -6 \text{ kN}, F_3 = 9 \text{ kN}, F_4 = 125 \text{ kN}, l_1 = 45 \text{ cm}, l_2 = 55 \text{ cm}, l_3 = 110 \text{ cm}$
6.		G	$k = 0,65, F_1 = -8 \text{ kN}, F_2 = -6 \text{ kN}, F_3 = 9 \text{ kN}, F_4 = 140 \text{ kN}, l_1 = 55 \text{ cm}, l_2 = 125 \text{ cm}$
7.		F	$k = 0,6, F_1 = 8 \text{ kN}, F_2 = -5 \text{ kN}, F_3 = 6 \text{ kN}, F_4 = -135 \text{ kN}, l_1 = 55 \text{ cm}, l_2 = 50 \text{ cm}, l_3 = 135 \text{ cm}$
8.		I	$k = 0,65, F_1 = -6 \text{ kN}, F_2 = 8 \text{ kN}, F_3 = -5 \text{ kN}, F_4 = 140 \text{ kN}, l_1 = 45 \text{ cm}, l_2 = 60 \text{ cm}, l_3 = 125 \text{ cm}$
9.		H	$k = 0,6, F_1 = -9 \text{ kN}, F_2 = -7 \text{ kN}, F_3 = 6 \text{ kN}, F_4 = -120 \text{ kN}, l_1 = 55 \text{ cm}, l_2 = 135 \text{ cm}$
10.		M	$k = 0,65, F_1 = -8 \text{ kN}, F_2 = 6 \text{ kN}, F_3 = -9 \text{ kN}, F_4 = 130 \text{ kN}, l_1 = 65 \text{ cm}, l_2 = 135 \text{ cm}$
11.		J	$k = 0,65, F_1 = -7 \text{ kN}, F_2 = 9 \text{ kN}, F_3 = -8 \text{ kN}, F_4 = 140 \text{ kN}, l_1 = 45 \text{ cm}, l_2 = 60 \text{ cm}, l_3 = 135 \text{ cm}$
12.		K	$k = 0,6, F_1 = 6 \text{ kN}, F_2 = -8 \text{ kN}, F_3 = 7 \text{ kN}, F_4 = -125 \text{ kN}, l_1 = 45 \text{ cm}, l_2 = 60 \text{ cm}, l_3 = 110 \text{ cm}$
13.		L	$k = 0,65, F_1 = 7 \text{ kN}, F_2 = -9 \text{ kN}, F_3 = -5 \text{ kN}, F_4 = -130 \text{ kN}, l_1 = 55 \text{ cm}, l_2 = 60 \text{ cm}, l_3 = 130 \text{ cm}$
14.		N	$k = 0,6, F_1 = -8 \text{ kN}, F_2 = 6 \text{ kN}, F_3 = -9 \text{ kN}, F_4 = 125 \text{ kN}, l_1 = 45 \text{ cm}, l_2 = 55 \text{ cm}, l_3 = 120 \text{ cm}$
15.		A	$k = 0,65, F_1 = 9 \text{ kN}, F_2 = 8 \text{ kN}, F_3 = -6 \text{ kN}, F_4 = 135 \text{ kN}, l_1 = 45 \text{ cm}, l_2 = 50 \text{ cm}, l_3 = 135 \text{ cm}$
16.		E	$k = 0,6, F_1 = -6 \text{ kN}, F_2 = -7 \text{ kN}, F_3 = 8 \text{ kN}, F_4 = -120 \text{ kN}, l_1 = 60 \text{ cm}, l_2 = 145 \text{ cm}$

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 „ČVRSTOĆA“, modul „IZV_STAP.EXE“.

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