

Boris Kulišić

**PRIRUČNIK ZA NASTAVNIKE**

uz udžbenik

Tehnička mehanika

**Nauka o čvrstoći**

za strojarske tehničare

i ostale tehničke struke programa A

Uporaba priručnika odobrena je rješenjem Ministarstva prosvjete i športa Republike Hrvatske  
(Klasa: UP/I<sup>o</sup> -602-09/03-01/0040, Urbroj 532-02-03/1-03-1 od 12. svibnja 2003.)

Intelektualno je vlasništvo, poput svakog drugog vlasništva, neotuđivo, zakonom  
zaštićeno i mora se poštivati. Nijedan dio ove knjige ne smije se preslikavati niti  
umnažati na bilo koji način, bez pismenog dopuštenja nakladnika.

**ISBN 953-197-742-9**

**Boris Kulišić**

**PRIRUČNIK  
ZA NASTAVNIKE**

**uz udžbenik**

**TEHNIČKA MEHANIKA  
NAUKA O ČVRSTOĆI  
za strojarske tehničare  
i ostale tehničke struke programa A**

*1. izdanje*

Zagreb, 2004.

© Boris Kulišić, prof., 2003.

*Urednica*

Sandra Gračan, dipl. inž.

*Recenzent udžbenika*

Prof. dr. sc. Ivan Heidl

*Lektorica*

Dubravka Lisičak, prof.

*Crteži*

Davor Švarc

*Slog i prijelom*

Nataša Jocić, dipl. inž.

*Design ovitka*

Julija Vojković

*Nakladnik*

ELEMENT, Zagreb, Menčetićeva 2  
telefoni: 01/ 6008-700, 01/ 6008-701  
faks: 01/ 6008-799

<http://www.element.hr/>  
e-mail: [element@element.hr](mailto:element@element.hr)

*Tisak*

ELEMENT, Zagreb

## PREDGOVOR

*Ovaj metodički priručnik pisan je s dvostrukim ciljem:*

- *PRVO. da predloži nastavniku način korištenja osnovnog udžbenika iz NAUKE O ČVRSTOĆI S VJEŽBAMA, dopunjujući osnovni udžbenik s RADNOM BILJEŽNICOM IZ ZNANOSTI O ČVRSTOĆI ZA 2. RAZRED TEHNIČKIH ŠKOLA. Ona sadrži CD, tako da se dio nastave može osuvremeniti primjenom računala;*
- *DRUGO. da predloži nastavniku makro i mikro plan (izvedbeni i operativni program) iz predmeta TEHNIČKA MEHANIKA – NAUKA O ČVRSTOĆI koji sadrže sve elemente potrebne za realizaciju toga predmeta.*

*Namjera je da se nastavnicima inženjerima, koji nemaju dostatnog pedagoškog obrazovanja i iskustva, pomogne u planiranju izvođenja nastave ovog ili bilo kojeg drugog stručnog predmeta.*

*Iz istog razloga, u prilogu PRIRUČNIKA dani su primjeri programskih zadataka i školskih zadaća te njihovi ispravci, iz kojih se vidi izbor zadataka, bodovanje i ocjenjivanje. Primjena udžbenika je objašnjena kroz organizaciju nastavnog sata. Tako, u svakoj fazi, bilo da se radi o uvodnom, glavnom ili završnom dijelu, nastavnik precizno zna na koju sliku, naslov, tekst, definiciju, izvod, formulu ili vježbu u udžbeniku se treba pozvati, odnosno, primijeniti.*

*To se isto odnosi na radnu bilježnicu kada se ona koristi za izvođenje vježbi.*

*Pored toga, smatram da svaki nastavnik treba sam kreirati nastavni sat i u okviru njega osmisliti način primjene i korištenja udžbenika jer ovaj metodički priručnik daje samo jedan od mogućih načina organizacije nastave i primjene osnovnog udžbenika zajedno s radnom bilježnicom.*

*Čitajući priručnik uočava se da je zamišljen tako da se dio nastave izvodi u Informatičkom praktikumu i Praktikum za ispitivanje čvrstoće materijala. Ukoliko nastavnik nema uvjete da tako organizira nastavu, tada će se još u većoj mjeri osloniti na udžbenik, koji pored teorije NAUKE O ČVRSTOĆI nudi niz riješenih zadataka i zadataka u okviru vježbi za rješavanje.*

*Nadam se da će ovaj priručnik pomoći kolegama kako u primjeni osnovnog udžbenika, tako i u planiranju te osmišljavanju i organizaciji same nastave.*

*Na kraju bih se zahvalio nakladniku i svima koju su doprinijeli da se ovaj priručnik tiska.*

*Autor*

*U Virovitici, 2003. godine*



## SADRŽAJ

<b>Prijedlog izvedbenog programa iz predmeta Tehnička mehanika – Nauka o čvrstoći</b> . . . . .	1
<b>Prijedlog operativnog programa iz predmeta Tehnička mehanika – Nauka o čvrstoći</b> . . . . .	5
<b>Razrada nastavnih jedinica</b> . . . . .	14
<b>1. Uvod u nauku o čvrstoći</b> . . . . .	14
— Uvod u predmet Nauka o čvrstoći, upoznavanje učenika s programom, literaturom, elementima praćenja i ocjenjivanja, kriterijima ocjenjivanjima te obvezama učenika . . . . .	14
— Temeljni pojmovi nauke o čvrstoći; pojam i vrste opterećenja i naprezanja . . . . .	15
— Ispitivanje čvrstoće materijala; dopušteno naprezanje i koeficijent sigurnosti . . . . .	16
— Utjecaj utora i zamor materijala . . . . .	18
<b>2. Aksijalna naprezanja</b> . . . . .	21
— Hookeov zakon — obrada . . . . .	21
— Hookeov zakon — vježbe . . . . .	23
— Naprezanje na vlak i tlak — jednadžbe naprezanja i dimenzioniranje . . . . .	24
— Naprezanje na vlak i tlak — dimenzioniranje elemenata . . . . .	25
— Utjecaj vlastite težine na naprezanje — obrada . . . . .	26
— Utjecaj vlastite težine na naprezanje — vježbe . . . . .	27
— Površinski tlak — obrada . . . . .	28
— Površinski tlak — vježbe . . . . .	29
— Naprezanje uslijed promjene temperature — obrada . . . . .	30
— Naprezanje uslijed promjene temperature — vježbe . . . . .	31
<b>3. Naprezanje na odrez ili smik</b> . . . . .	32
— Jednadžba naprezanja na odrez ili smik . . . . .	32
— Dimenzioniranje elemenata izloženih naprezanju na odrez ili smik — vježbe . . . . .	33
— Dimenzioniranje elemenata izloženih naprezanju na odrez ili smik — ponavljanje . . . . .	34
— Sile probijanja pri odrezu ili smiku — obrada . . . . .	35
— Sile probijanja pri odrezu ili smiku — vježbe i zadavanje 1. programskog zadatka . . . . .	36
— Ponavljanje gradiva iz 2. i 3. nastavne cjeline . . . . .	37
<b>4. Momenti inercije i otpori ploha</b> . . . . .	38
— Pojam i vrste momenata inercije i otpora . . . . .	38
— Vlastiti moment inercije i otpora jednostavnih ploha . . . . .	40
— Steinerov poučak — obrada . . . . .	41
— Steinerov poučak — vježbe . . . . .	42
— Momenti inercije i otpora složenih i oslabljenih ploha — obrada . . . . .	43
— Momenti inercije i otpora složenih i oslabljenih ploha — vježbe . . . . .	44
— Momenti inercije i otpora standardnih sastavljenih profila . . . . .	45
<b>5. Naprezanje pri savijanju ili fleksiji</b> . . . . .	46
— Temeljni pojmovi i vrste savijanja . . . . .	46
— Jednadžba savijanja . . . . .	47
— Dimenzioniranje elemenata izloženih savijanju . . . . .	48
— Elementi jednake čvrstoće na savijanje — obrada . . . . .	50
— Elementi jednake čvrstoće na savijanje — vježbe . . . . .	51
— Elastična linija (polumjer zakrivljenosti, kut nagiba i progib) — obrada . . . . .	52

— Elastična linija (polumjer zakrivljenosti, kut nagiba i progib) — vježbe i zadavanje 2. programskog zadatka . . . . .	54
— Ponavljanje i utvrđivanje gradiva iz 4. i 5. nastavne cjeline . . . . .	55
<b>6. Naprezanje pri uvijanju ili torziji . . . . .</b>	<b>56</b>
— Temeljni pojmovi i jednačbe naprezanja pri uvijanju ili torziji . . . . .	56
— Dimenzioniranje lakih vratila glede dopuštenog naprezanja . . . . .	58
— Dimenzioniranje lakih vratila glede dopuštene deformacije . . . . .	59
<b>7. Naprezanje pri izvijanju . . . . .</b>	<b>60</b>
— Temeljni pojmovi i Eulerove jednačbe . . . . .	60
— Vitkost štapa i granice primjene Eulerovih jednačbi . . . . .	61
— Dimenzioniranje elemenata izloženih izvijanju (Eulerove jednačbe, Tetmayerov-postupak i Omega-postupak) i zadavanje 3. programskog zadatka . . . . .	62
— Ponavljanje i utvrđivanje gradiva iz 6. i 7. nastavne cjeline . . . . .	63
<b>8. Složena naprezanja . . . . .</b>	<b>64</b>
— Ekscentrični vlak i tlak . . . . .	64
— Savijanje i vlak; savijanje i tlak — obrada . . . . .	66
— Savijanje i vlak; savijanje i tlak — vježbe . . . . .	67
— Dimenzioniranje teških vratila — obrada . . . . .	68
— Dimenzioniranje teških vratila — vježbe . . . . .	70
<b>Prilozi . . . . .</b>	<b>71</b>
— Prvi programski zadatak . . . . .	71
— Prva školska zadaća — Grupa A . . . . .	72
— Prva školska zadaća — Grupa B . . . . .	73
— Ispravak prve školske zadaće — Grupa A . . . . .	74
— Ispravak prve školske zadaće — Grupa B . . . . .	76
— Drugi programski zadatak . . . . .	77
— Druga školska zadaća — Grupa A . . . . .	78
— Druga školska zadaća — Grupa B . . . . .	79
— Ispravak druge školske zadaće — Grupa A . . . . .	80
— Ispravak druge školske zadaće — Grupa B . . . . .	82
— Treći programski zadatak . . . . .	84
— Treća školska zadaća — Grupa A . . . . .	86
— Treća školska zadaća — Grupa B . . . . .	86
— Ispravak treće školske zadaće — Grupa A . . . . .	87
— Ispravak treće školske zadaće — Grupa B . . . . .	88



---

## Prijedlog izvedbenog programa iz predmeta Tehnička mehanika – Nauka o čvrstoći

---

---

Nastavni predmet:	<b>TEHNIČKA MEHANIKA – NAUKA O ČVRSTOĆI</b>
Br. sati (uk.):	<b>2 (70)</b>
Cilj:	Dobivanje potrebnih znanja o zakonitostima nauke o čvrstoći nužnih za razumijevanje i rješavanje lakših tehničkih problema koji su vezani za dimenzioniranje i provjeru čvrstoće strojnih elemenata.
Zadaci:	<p>a) obrazovni</p> <ul style="list-style-type: none"><li>— naučiti zakonitosti i metode proučavanja čvrstoće materijala</li><li>— proširiti i produbiti sadržaje elemenata strojeva i strojarskih konstrukcija</li></ul> <p>b) funkcionalni</p> <ul style="list-style-type: none"><li>— primijeniti znanje na dimenzioniranju i provjeri čvrstoće strojnih elemenata i jednostavnijih konstrukcija</li></ul> <p>c) odgojni</p> <ul style="list-style-type: none"><li>— spoznati važnost poznavanja čvrstoće materijala u strojarskoj struci glede sigurnosti, utroška materijala i cijene koštanja strojnih dijelova</li><li>— stjecati naviku korištenja literature, tablica i računala pri rješavanju tehničkih problema</li></ul>

**TEHNIČKA MEHANIKA — NAUKA O ČVRSTOĆI, II. RAZRED**  
(nastavni predmet — razred)

Nastavna cjelina	Zadaci za učenike		Korelacija s drugim predmetima
	Obvezne	Neobvezne	
1	2	3	4
<b>1. Osnove nauke o čvrstoći</b>	1.1 Osnovne zadaci nauke o čvrstoći		
	1.2 Opterećenje, vrste i oblik		
	1.3 Naprezanje, pojam i vrste		
	1.4 Dijagrami rastezanja		Tehnički materijali (ispitivanje)
	1.5 Hookeov zakon		
	1.6 Dopušteno naprezanje i koeficijent sigurnosti		
	1.7 Utjecaj utora i zamor materijala		
<b>2. Aksijalna naprezanja</b>	2.1 Naprezanje i deformacija pri istezanju, jednadžbe naprezanja	2.7 Elementi jednake čvrstoće na vlak i tlak	Elementi strojeva
	2.2 Vlak bez utjecaja vlastite težine, dimenzioniranje	2.8 Utjecaj vlastite težine na naprezanje	Strojarske konstrukcije
	2.3 Naprezanje i deformacija pri sabijanju, jednadžbe naprezanja	2.9 Naprezanje uslijed centrifugalne sile	
	2.4 Tlak bez utjecaja vlastite težine, dimenzioniranje	2.10 Naprezanje u kosom presjeku	
	2.5 Površinski pritisak, jednadžbe i dimenzioniranje		
	2.6 Naprezanje uslijed promjene temperature		
	3.1 Naprezanje i deformacija, jednadžbe naprezanja na odrez ili smik		Elementi strojeva
	3.2 Dimenzioniranje elemenata izloženih naprezanju na odrez ili smik		Strojarske konstrukcije
	3.3 Naprezanje i površinski pritisak		
	3.4 Sila pri probijanju		
<b>4. Momenti inercija i otpori ploha</b>	4.1 Pojam i vrste momenata inercije i otpora		Elementi strojeva
	4.2 Momenti inercija i otpora jednostavnih ploha		Strojarske konstrukcije
	4.3 Steinerov poučak		
	4.4 Momenti inercije i otpora sastavljenih ploha	4.6 Momenti inercije i otpora oslabljenih ploha	
	4.5 Momenti inercije i otpora sastavljenih standardnih profila	4.7 Radijus inercije i elipsa inercije	

Nastavna cjelina	Zadaci za učenike		Korelacija s drugim predmetima
	Obvezne	Neobvezne	
1	2	3	4
<b>5. Naprezanje pri savijanju ili fleksiji</b>	5.1 Čisto savijanje, savijanje silama, jednažbe savijanja	5.5 Elementi jednake čvrstoće na savijanje	Elementi strojeva
	5.2 Nosači, dijagrami opterećenja	5.6 Pojačavanje profilnih elemenata lamelama	Strojarske konstrukcije
	5.3 Određivanje momenata savijanja i poprečnih sila, te dimenzioniranje nosača opterećenih na savijanje		
	5.4 Deformacije nosača pri savijanju (polumjer zakrivljenosti elastične linije, kut nagiba i progib)		
<b>6. Naprezanje pri uvijanju ili torziji</b>	6.1 Naprezanje i deformacija, jednažbe naprezanja		Elementi strojeva
	6.2 Momenti uvijanja		Strojarske konstrukcije
	6.3 Dimenzioniranje lakih vratila obzirom na čvrstoću i deformaciju		
<b>7. Naprezanje pri izvijanju</b>	7.1 Kriteriji za izvijanje i Eulerove jednažbe	7.4 Dimenzioniranje omega postupkom	Elementi strojeva
	7.2 Vrtkost štapova i granica primjena Eulerovih jednažbi – Tetmayerove jednažbe		Strojarske konstrukcije
	7.3 Dimenzioniranje štapova izloženih izvijanju		
<b>8. Složena naprezanja</b>	8.1 Ekscentrični vlak; ekscentrični tlak; jednažbe naprezanja i dimenzioniranje	8.5 Jezgra presjeka	Elementi strojeva
	8.2 Naprezanje pri vlaku i savijanju; naprezanje pri tlaku i savijanju, jednažbe naprezanja i dimenzioniranje		Strojarske konstrukcije
	8.3 Naprezanje pri savijanju i uvijanju, jednažbe		
	8.4 Dimenzioniranje teških vratila		

PRIJEDLOG ELEMENATA I PODELEMENATA VREDNOVANJA POSTIGNUĆA  
I UMIJEĆA I OCJENJIVANJA

Elementi	Podelementi	Bodovi	Kriterij za ocjene
1	2	3	4
1. poznavanje i razumijevanje nastavnih sadržaja	1.1 Poznavanje temeljnih pojmova nauke o čvrstoći (vrste opterećenja, vrste naprezanja, dijagram naprezanja, Hookeov zakon, čvrstoća, koeficijent sigurnosti, dopušteno naprezanje, utjecaj utora, zamor, jednadžbe naprezanja, deformacije)	0 do 40 <sup>1</sup>	ispod 20 – nedovoljan (1) 20 do 25 – dovoljan (2) 26 do 31 – dobar (3) 32 do 36 – vrlo dobar (4) 37 do 40 – odličan (5)
2. primjena znanja u rješavanju tehničkih problema	2.1 Školske zadaće 2.2 Programski zadaci 2.3 Vježbe	0 do 60 <sup>2</sup> 0 do 60	ispod 30 – nedovoljan (1) 30 do 35 – dovoljan (2) 36 do 42 – dobar (3) 43 do 54 – vrlo dobar (4) 55 do 60 – odličan (5)

<sup>1</sup> 0 bodova – ne poznaje i ne razumije osnovne pojmove nauke o čvrstoći ni uz nastavnikovu pomoć,  
10 bodova – djelomično prepoznaje i razumije osnovne pojmove nauke o čvrstoći uz nastavnikovu pomoć,  
20 bodova – uz nastavnikovu pomoć dobro prepoznaje i razumije osnovne pojmove nauke o čvrstoći,  
30 bodova – bez nastavnikove pomoći dobro prepoznaje i razumije osnovne pojmove nauke o čvrstoći,  
40 bodova – bez nastavnikove pomoći u potpunosti prepoznaje i razumije osnovne pojmove nauke o čvrstoći.

<sup>2</sup> Zadatke za školske zadaće i programe bodovati po razinama rješenja. Ako je ukupan zbroj bodova 60, tada kriterij za ocjene može biti kao što je predloženo u tablici.

---

## Prijednog operativnog programa iz predmeta Tehnička mehanika – Nauka o čvrstoći

---

---

ŠKOLA: \_\_\_\_\_ RAZRED: II. STROJARSKI TEHNIČAR

NASTAVNI PREDMET: NAUKA O ČVRSTOĆI

BROJ SATI: 2/ 70/

ŠKOLSKA GODINA: \_\_\_\_\_

NASTAVNIK: \_\_\_\_\_

CILJ (SVRHA)

UČENJA PREDMETA: DOBIVANJE POTREBNIH ZNANJA O ZAKONITOSTIMA NAUKE  
O ČVRSTOĆI NUŽNIH ZA RAZUMIJEVANJE I  
RJEŠAVANJE LAKŠIH TEHNIČKIH PROBLEMA KOJI SU  
VEZANI ZA DIMENZIONIRANJE I PROVJERU ČVRSTOĆE  
STROJNIH ELEMENATA

Red. br. sata	NAZIV NASTAVNE CJELINE I TEMA/ VJEŽBI (prema izvedbenom planu i programu)	CILJ ZA NASTAVNU CJELINU (zadaci za učenike)	NASTAVNE METODE I METODIČKI OBLICI RADA	KORELACIJA – veze s drugim nastavnim predmetima	NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA	MATERIJALNI UVJETI RADA (instrumenti, alat, uređaji, materijali)	MIJESTO IZVOĐENJA NASTAVNOG RADA	BROJ SATI NASTAVE		BROJ RADNOG TIJEDNA		NAPOMENA
								T	V	8	9	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	<b>I. UVOD U ZNANOST O ČVRSTOĆI</b>											
1.	1.1 Uvod u predmet; upoznavanje učenika s programom, literaturom, elementima i kriterijima praćenja i ocjenjivanja te obvezama učenika	Uspomeno izlaganje Frontalni	Uspomeno izlaganje Frontalni	Elementi strojeva	Udžbenik Radna bilježnica	Izvedbeni program	Učionica	1		1.		
2.	1.2 Temeljni pojmovi znanosti o čvrstoći; pojam i vrste opterećenja i naprezanja	Uspomeno izlaganje Frontalni	Uspomeno izlaganje Frontalni	Elementi strojeva	Grafoskop	Grafofolije	Učionica	1		1.		
3.	1.3 Ispitivanje čvrstoće materijala; dopušteno naprezanje i koeficijent sigurnosti	Demonstracijska Uspomeno izlaganje Dijaloška	Demonstracijska Uspomeno izlaganje Dijaloška	Tehnički materijali Elementi strojeva		Skolska kidalica Čelična epruveta Krede u boji	Praktikum za ispitivanje čvrstoće materijala	1		2.		
4.	1.4 Utjecaj utora i zamor materijala	Demonstracijska Usp. izlaganje Dijaloška	Demonstracijska Usp. izlaganje Dijaloška	Tehnički materijali	Grafoskop	Grafofolije Skolska kidalica Č. epr. s utorima	Prakt. za ispit. čvrstoće materijala	1		2.		



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
19.	3.3 Dimenzioniranje elemenata izloženih naprezanju na odrez ili smik	<p>a) MATERIALNI: Naučiti osnovne zakonitosti tangencijalnog naprezanja.</p> <p>b) FUNKCIONALNI: Uvježbati primjenu dimenzioniranja jednostavnih i složenih opora te sastavljenih standardnih profila. (c) ODGOJNI: Navikavati učenike na rad s udžbenikom i tablicama te na primjenu računala u rješavanju tehničkih problema.</p>	Dijaloška	Elementi stroj.	Grafoskop	Grafololije	Učionica	1	9.		
	3.4 Sile probijanja pri odrezu ili smiku		Računska	Stroj. konstruk.	Udžbenik						
	3.5 Sile probijanja pri odrezu ili smiku		Frontalni								
20.	3.4 Sile probijanja pri odrezu ili smiku		Dijaloška	Tehnologija obrade	Grafoskop	Grafololije	Učionica	I	9.		
	3.5 Sile probijanja pri odrezu ili smiku, zadavanje 1. programskog zadatka		Računska	Tehnologija obrade	Udžbenik						
21.	3.5 Sile probijanja pri odrezu ili smiku, zadavanje 1. programskog zadatka	Usm. izlaganje		Računalo							
	3.6 Ponavljanje gradiva iz 2. i 3. nastavne cjeline	Računska									
22.	3.6 Ponavljanje gradiva iz 2. i 3. nastavne cjeline	Rad s udžben.	Stroj. konstruk.	Udžbenik	CD	Informatički praktikum		10.			
	3.7 1. škol. zadaća	Rad s udžben.	Stroj. konstruk.	Udžbenik		Učionica		10.			
23.	3.7 1. škol. zadaća	Frontalni	Elementi stroj.	Udžbenik							
	3.8 Ispravak 1. školske zadaće	Dijaloška	Stroj. konstruk.								
24.	3.8 Ispravak 1. školske zadaće	Rad s udžben.	Teh. obrade								
	<b>4. MOMENTI</b>	Metoda pisanih radova			Škol. biljež.	Liste sa zadacima	Učionica	11.			
	<b>INERCIJE I</b>				Škol. biljež.	Liste s riješenim zadacima	Učionica	11.			
	<b>OTPORI PLOHA</b>										
25.	4.1 Pojam i vrste momenata inercije i otpora	Demonstracijska	Elementi stroj.	Grafoskop	Č. epruveta	Praktikum za ispitivanje čvrstoće mat.		12.			
	4.2 Vlastiti moment inercije i otpora jednostavnih ploha	Dijaloška	Stroj. konstruk.	Udžbenik	pravokutnog i okruglog presjeka						
	4.3 Steinerov poučak	Frontalni		Savijalica	Grafololije	Učionica		12.			
26.	4.2 Vlastiti moment inercije i otpora jednostavnih ploha	Usm. izlaganje	Elementi stroj.	Grafoskop							
	4.4 Zaključivanje ocjena za kraj I. p.	Računska	Stroj. konstruk.	Udžbenik							
27.	4.3 Steinerov poučak	Rad s udžben.		Računalo	CD	Informatički praktikum		13.			
	4.4 Zaključivanje ocjena za kraj I. p.	Rad s udžben.				Učionica		13.			
28.	4.4 Zaključivanje ocjena za kraj I. p.	Frontalni	Elementi stroj.	Računalo							
	4.5 Momenti inercija složenih i oslabljenih ploha	Usm. izlaganje	Stroj. konstruk.	Radna biljež.							
29.	4.5 Momenti inercija složenih i oslabljenih ploha	Računska	Elementi stroj.	Grafoskop	Grafololije	Učionica	I	14.			
		Frontalni	Stroj. konstruk.	Udžbenik	Flomasteri						





0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
44.	5.9.2. školska zad.	a) MATERIALNI: Naučiti osnove naprezanja i deformacija pri torziji; b) FUNKCIONALNI: Uvježbati primjenu jednadžbe naprezanja i deformacije pri uvijanju na rješavanju praktičnih zadataka. c) ODGOJNI: Navikavati učenike na rad s literaturom i računalom.	Metoda pisanih radova		Škol. bilježnice	Liste sa zadac.	Učionica	1	1	21.	
45.	5.10 Isprav. 2. šk. zad.				Škol. bilježnice	Liste s riješ. zad.	Učionica	1	1	22.	
	<b>6. NAPREZANJE PRI UVIJANJU ILI TORZJI</b>										
46.	6.1 Temeljni pojmovi i jednadžbe naprezanja pri uvijanju		Demonstracijska Usm. izlaganje Dijaloška Frontalni	Elementi stroj. Stroj. konstruk.	Ispitivalica na uvijanje	C. epruveta	Praktikum za ispitivanje čvrstoće mat.	1		22.	
47.	6.2 Dimenzioniranje lakih vratila glede dop. naprezanja		Računska Rad s udžb. i rač Individualni	Elementi stroj. Stroj. konstruk.	Udžbenik Računalo	Grafofolije	Učionica Informatički praktikum	1	1	23.	23.
49.	6.3 Dimenzioniranje lakih vratila		Računska Rad s udžben. Frontalni	Elementi stroj. Stroj. konstruk.	Udžbenik	CD				24.	
50.	glede dopuštene deformacije		Grupni			Džepno računalo	Učionica	1	1	24.	25.
	<b>7. NAPREZANJE PRI IZVIJANJU</b>										
51.	7.1 Temeljni pojmovi i Eulerove jednadžbe	a) MATERIALNI: Upoznati učenike s jednadžbama naprezanja i deformaciji pri izvijanju. b) FUNKCIONALNI: Osposobiti učenike za primjenu jednadžbe naprezanja za rješavanje jednostavnijih tehničkih problema. c) ODGOJNI: Uvidjeti važnost poznavanja naprezanja pri izvijanju.	Demonstracijska Dijaloška Usm. izlaganje Dijaloška Frontalni	Strojarske konstrukcije Strojarske konstrukcije	Ispitivalica na izvijanje	Čelična šipka	Prakt. za ispit. čvrstoće mat.	1		25.	
52.	7.2 Vitkost štapa i granice primjene Eulerovih jednadžbi				Udžbenik		Učionica	1		26.	
53.	7.3 Dimenzioniranje elemenata izloženih izvijanju		Računska Rad s udžbenikom	Strojarske konstrukcije	Udžbenik		Učionica	1		26.	
54.	(Eulerove jednadžbe, Tetmayer postupak) i zadanje 3. programskog zadatka		Rad s računalom Individualni		Radna bilježnica		Informatički praktikum	1		27.	
55.	7.4 Ponavljanje i utvrđivanje gradiva iz 6. i 7. nastavne cjeline		Dijaloška Računska Rad s udžbenikom	Strojarske konstrukcije Elementi strojeva	Udžbenik	CD	Učionica	1		27.	



**REKAPITULACIJA:**

BROJ NASTAVNIH CJELINA: 8

BROJ NASTAVNIH JEDINICA: 43

PLANIRANI TIP SATA:

– uvodni	1
– obrada novog gradiva	24
– vježbe	26
– ponavljanje i utvrđivanje gradiva	5
– provjeravanje postignuća	5
– vrednovanje uspjeha	4
<b>Ukupno:</b>	<b>65</b>
<b>Rezerva:</b>	<b>5</b>
<b>Sveukupno:</b>	<b>70</b>

**NAČIN PRAĆENJA UČENIKOVA POSTIGNUĆA:**

- usmeno ispitivanje,
- rješavanje zadataka na vježbama,
- pisanje domaćih zadaća,
- pisanje školskih zadaća,
- izrada programskih zadataka.

U tijeku školske godine učenici će izraditi tri programska zadatka i pisati tri školske zadaće. Programski zadaci prethode školskim zadaćama i učenici ih izrađuju kod kuće, a obuhvaćaju gradivo iz sljedećih nastavnih cjelina:

Programski zadatak	Nastavna cjelina	Vrijeme
1.	Aksijalna naprezanja; Naprezanja na odrez ili smik	XI.
2.	Moment inercije i otpora ploha, Naprezanje pri savijanju ili fleksiji	III.
3.	Naprezanje pri uvijanju ili torziji, Naprezanje pri izvijanju	V.

Školske zadaće obuhvaćaju sljedeće nastavne cjeline:

Školska zadaća	Nastavna cjelina	Vrijeme
1.	Aksijalna naprezanja; Naprezanja na odrez ili smik	XI.
2.	Moment inercije i otpora ploha, Naprezanje pri savijanju ili fleksiji	III.
3.	Naprezanje pri uvijanju ili torziji, Naprezanje pri izvijanju	V.

**ELEMENTI PRAĆENJA UČENIKOVA POSTIGNUĆA:**

1. Poznavanje i razumijevanje nastavnih sadržaja
2. Primjena znanja u rješavanju tehničkih problema

## KRITERIJI OCJENJIVANJA (PRAĆENJA UČENIKOVA POSTIGNUĆA):

OCJENA	ELEMENT PRAĆENJA	MJERILO
nedovoljan (1)	1.	Učenik slabo poznaje nastavno gradivo. Ni uz nastavnikovu pomoć ne može prepoznati i primijeniti osnovne zakonitosti nauke o čvrstoći.
	2.	Ni uz nastavnikovu pomoć ne može riješiti jednostavne tehničke probleme. Na vježbama je neaktivan. Ne posjeduje potrebnu literaturu i u njoj se slabo snalazi. Programske zadatke izrađuje netočno i nepotpuno ili ih uopće ne radi. Školske zadaće su mu negativno ocijenjene.
nedovoljan (2)	1.	Učenik djelomično poznaje i razumije nastavno gradivo. Uz nastavnikovu pomoć može prepoznati i primijeniti osnovne zakonitosti nauke o čvrstoći.
	2.	Uz nastavnikovu pomoć u stanju je riješiti jednostavnije tehničke probleme. Na vježbama nije samostalan, već mu je potrebno nastavnikovo vođenje za snalaženje u literaturi i postavljanju zadataka. Programske zadatke radi neredovito i djelomično točno. Školske zadaće su mu ocijenjene s dovoljnim uspjehom.
dobar (3)	1.	Učenik poznaje i razumije osnovno (jednostavno) nastavno gradivo. Za razumijevanje složenijeg gradiva i njegovu primjenu, potrebna mu je nastavnikova pomoć.
	2.	Na vježbama učenik može riješiti jednostavnije zadatke, ali za složenije mu je potrebna nastavnikova uputa. Programske zadatke radi redovito s manjim pogreškama koje je u stanju samostalno otkloniti nakon nastavnikove upute. Školske zadaće su mu u prosjeku ocijenjene s dobrim uspjehom.
vrlo dobar (4)	1.	Učenik poznaje i razumije nastavno gradivo višeg stupnja složenosti. Samostalno je u stanju definirati zakonitosti nauke o čvrstoći.
	2.	Na vježbama se ističe u primjeni znanja i snalaženju u literaturi. Za rješavanje složenijih zadataka češće mu je potrebna nastavnikova pomoć. Programske zadatke radi redovito, ponekad s manjim pogreškama koje ne utječu bitno na praktičnu primjenu. Prosječna ocjena školskih zadaća mu je vrlo dobar.
odličan (5)	1.	Učenik poznaje i razumije gradivo višeg stupnja složenosti. Samostalan je u definiranju zakonitosti o čvrstoći.
	2.	Na vježbama se naročito ističe u primjeni znanja i snalaženju u tehničkoj literaturi. U stanju je rješavati složene zadatke bez nastavnikove pomoći. Programske zadatke radi točno i redovito. Iz školskih zadaća ima najmanju prosječnu ocjenu vrlo dobar.

*Napomena.* Za zaključnu pozitivnu ocjenu učenika, moraju sve školske zadaće i svi programski zadaci biti pozitivno ocijenjeni.

## LITERATURA:

- a) za učenike: Kulišić, B., *Nauka o čvrstoći*, Element, Zagreb, 2003.,  
Juhart, K. i Vabič, A., *Radna bilježnica iz znanosti o čvrstoći materijala za 2. razred tehničkih škola*, Element, Zagreb, 2001.
- b) za nastavnike: Alfirević, I., *Nauka o čvrstoći*, ITP Tehnička knjiga, Zagreb, 1995.

## Razrada nastavnih jedinica

**NASTAVNA CJELINA:** 1. UVOD U NAUKU O ČVRSTOĆI

**NASTAVNA JEDINICA:** Uvod u predmet Nauka o čvrstoći, upoznavanje učenika s programom, literaturom, elementima praćenja i ocjenjivanja, kriterijima ocjenjivanja te obvezama učenika

**VRIJEME:**

1 sat

**MJESTO IZVOĐENJA:**

Učionica

**OBLIK RADA:**

Frontalni

**TIP SATA:**

Uvodni

**NASTAVNE METODE:**

Razgovor, demonstracija

**NASTAVNA SREDSTVA**

**I POMAGALA:**

Udžbenik Nauka o čvrstoći, Radna bilježnica iz znanosti o čvrstoći s CD-om, Operativni plan rada predmeta

**ZADACI NASTAVE:**

a) materijalni:

Upoznati učenike s predmetom, literaturom, načinom praćenja i ocjenjivanja, elementima ocjenjivanja, kriterijima ocjenjivanja te njihovim obvezama iz toga predmeta.

b) odgojni:

Pripremiti učenike za stjecanje novih znanja u okviru svoje struke.

c) funkcionalni:

—

**UVODNI DIO:** 10'

- pozdraviti učenike, pozvati ih na suradnju i zaželjeti im dobar uspjeh iz ovog predmeta
- razgovorom ponoviti definiciju i osnovna načela STATIKE

**GLAVNI DIO:** 30'

- definirati definiciju NAUKE O ČVRSTOĆI i naglasiti osnovnu razliku između STATIKE i NAUKE O ČVRSTOĆI
- upoznati učenike sa sadržajem operativnog programa predmeta i načinom realizacije
- pokazati učenicima literaturu, dati im udžbenik i radnu bilježnicu da ih malo prolistaju i dati informaciju o načinu nabavke potrebne literature
- informirati učenike o drugim potrebnim sredstvima (bilježnica – preporuka format A4 s kvadratićima, džepnom računalu, tablicama i sl.)
- iz operativnog plana objasniti učenicima:
  - a) elemente praćenja i ocjenjivanja
  - b) kriterije ocjenjivanja
  - c) obvezama učenika tijekom šk. god.

**ZAVRŠNI DIO:** 5'

- odgovoriti učenicima na postavljena pitanja

**IZDVOJENO:**

Učenicima trebaju biti do kraja jasni elementi praćenja i ocjenjivanja te kriteriji ocjenjivanja. Posebno im treba skrenuti pažnju da su tijekom šk. god. obvezni izvoditi 3 programska zadatka i pisati 3 školske zadaće, te da je za zaključnu pozitivnu ocjenu potrebno da su svi programski zadaci i sve školske zadaće pozitivno ocijenjene.

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Temeljni pojmovi nauke o čvrstoći; pojam i vrste opterećenja i naprezanja</b>
<b>VRIJEME:</b>	1 sat
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	Učionica
<b>OBLIK RADA:</b>	Frontalni
<b>TIP SATA:</b>	Obrada novog gradiva
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Usmeno izlaganje, razgovor
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Grafofolije, grafoskop, udžbenik, radna bilježnica
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Usvojiti osnovne pojmove nauke o čvrstoći, pojam i vrstu opterećenja i naprezanja te vrste opterećenja i naprezanja.
b) odgojni:	Ocijeniti loše strane nepoznavanja osnova predmeta nauke o čvrstoći na izučavanje svoje struke.
c) funkcionalni:	Promatranjem dijagrama opterećenja te vanjskih sila koje djeluju na strojni dio, prepoznati vrstu opterećenja i naprezanja.

**NOVI POJMOVI:**

**Čvrsta tijela, idalna čvrsta tijela, elastičnost, plastičnost, visoka elastičnost, čvrstoća, krutost, elastična stabilnost, pojam opterećenja i naprezanja ( $p$ ,  $\sigma$ ,  $\tau$ ), statička, dinamički jednosmjerna i dvosmjerna opterećenja, naprezanje na vlak, tlak, odrez, savijanje, uvijanje i izvijanje.**

**UVODNI DIO: 3'**

- ponoviti definiciju krutih tijela iz STATIKE

**GLAVNI DIO: 35'**

- pomoću grafoskopa i grafofolije na kojoj su ispisani *novi pojmovi* metodom razgovora i usmenog izlaganja objasniti navedene pojmove
- pomoću projekcije sl. 1.1 iz udžbenika, str. 3. prenijete na grafofoliju, objasniti pojam opterećenja i naprezanja ( $p$ ,  $\sigma$ ,  $\tau$ )
- projekcijom sl. 1.7, 1.8 i 1.9 – dijagrami opterećenja iz udžbenika, str. 6. i 7., objasniti vrste opterećenja (statičko, dinamičko–pulziranje i osciliranje), pri tome povezivati vrstu opterećenja s primjerima iz strojarske prakse
- projekcijom sl. 1.2 do 1.6 objasniti vrste naprezanja (vlak, tlak, odrez, pri savijanju, uvijanju i izvijanju)

**ZAVRŠNI DIO: 7'**

- u radnoj bilježnici na str. 2. i 3. riješiti 1. i 2. teorijski zadatak koji je vezan za ponavljanje naučenih novih pojmova
- dati zadatke za domaću zadaću – preporuka 3. i 4. teorijski zadatak iz radne bilježnice

**IZDVOJENO:**

Budući da su učenici već na prvom satu upoznati s mnoštvom novih pojmova, moramo imati na umu da još nisu u mogućnosti povezivati te pojmove, te je stoga potrebno kroz nastavu koja slijedi permanentno ukazivati na te pojmove povezujući ih s konkretnim praktičnim primjerima.

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Ispitivanje čvrstoće materijala; dopušteno naprezanje i koeficijent sigurnosti</b>
<b>VRIJEME:</b>	1 sat
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	Praktikum za ispitivanje čvrstoće materijala
<b>OBLIK RADA:</b>	Frontalni
<b>TIP SATA:</b>	Obrada novog gradiva
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Demonstracijska, usmeno izlaganje, razgovor
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Kidalica, epruveta iz mekog čelika, grafoskop, grafofolije, radna bilježnica, udžbenik
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Upoznati osnovne dijelove kidalice i način ispitivanja vlačne čvrstoće materijala. Naučiti karakteristične točke dijagrama ispitivanja te razliku između čvrstoće materijala i dopuštenog naprezanja.
b) odgojni:	Uvidjeti odgovornost primjene materijala odgovarajuće čvrstoće glede opterećenja i naprezanja strojnog elementa ili konstrukcije, te značaj koeficijenta sigurnosti u pogledu čvrstoće i cijene koštanja proizvoda.
c) funkcionalni:	Uvođenje učenika u samostalno ispitivanje vlačne čvrstoće u okviru predmeta Tehnički materijali. Promatranjem i analiziranjem različitih dijagrama ispitivanja donositi samostalne zaključke o osobinama čvrstoće materijala.

**NOVI POJMOVI:**

**Kidalica, standardna epruveta (normalna i proporcionalna), dijagrami ispitivanja  $F-\Delta$  i  $\sigma-\varepsilon$ , granica proporcionalnosti  $P$ , granica elastičnosti  $E$ , granica razvlačenja ili popuštanja (tečenje)  $R$ , čvrstoća materijala  $\sigma_M$ , stvarno naprezanje  $K'$ , konvencionalno naprezanje  $K$ , apsolutno produljenje  $\Delta l$ , relativno produljenje  $\varepsilon$ , lomno produljenje  $\delta$ , lomno suženje (kontrakcija)  $\psi$ , poprečna deformacija  $\varepsilon_p$ , Poissonov koeficijent  $\mu$ , dopušteno naprezanje  $\sigma_{v,dop}$ , koeficijent sigurnosti  $v$ .**

**UVODNI DIO:** 3'

- pregledati domaću zadaću
- ponoviti vrste opterećenja i naprezanja, te definiciju čvrstoće materijala

**GLAVNI DIO:** 40'–42'

- najaviti statičko ispitivanje vlačne čvrstoće mekog čelika (kidalicu s epruvetom pripremiti za ispitivanje prije početka izvođenja nastave) i ispisati naslov na ploči
- uputiti učenike da otvore udžbenik na str. 8., na kojoj se nalazi naslov: *1.2 Ispitivanje čvrstoće materijala, dopušteno naprezanje i koeficijent sigurnosti*
- objasniti osnovne dijelove kidalice, upozoriti na eventualne tehničke razlike u konstrukciji u odnosu na kidalicu na sl. 1.10 i 1.11 u udžbeniku, str. 9. i 10.
- pokazati učenicima čeličnu epruvetu standardne izvedbe (proporcionalno dugu ili kratku) i upozoriti ih na osnovne ralice i način učvršćenja u kidalicu
- prije ispitivanja skrenuti pažnju učenicima da obrate pažnju na uređaj za mjerenje sile i mjerenje deformacije, te krenuti s ispitivanjem
- pomoću grafoskopa projicirati sl. 1.13 iz udžbenika, str. 11. i objasniti učenicima trenutnu fazu ispitivanja posebno ih upozoravajući na područja elastičnosti, plastičnosti i klonulosti
- nakon ispitivanja izračunati samo čvrstoću materijala  $\sigma_M / \text{MPa}$ ; naglasiti da će se detaljna obrada vlačnog ispitivanja izvesti u okviru predmeta Tehnički materijali
- pomoću projicirane slike dijagrama ispitivanja (sl. 1.13 i sl. 1.14 iz udžbenika, str. 11. i 13.), objasniti karakteristične točke ne upuštajući se u detalje
- uputiti učenike na opis karakterističnih točaka ispitivanja u udžbeniku na str. 11., 12. i 13.
- projicirati sl. 1.15 – dijagrami naprezanja na vlak za različite materijale iz udžbenika, str. 14., te objasniti razlike čvrstoće i mehaničkih svojstava materijala
- upoznati učenike s tab. 1 iz udžbenika, str. 15. – Poissonovim koeficijentima  $\mu$  pomoću kojih možemo izračunavati poprečne deformacije ispitivanog materijala po izrazu:

$$\varepsilon = -\mu \cdot \varepsilon \cdot 100\%$$



- pomoću projekcije sl. 1.14 iz udžbenika, str. 13., objasniti granicu tehničke primjene elastičnih materijala u konstrukcijama i to povezati s dopuštenim naprežanjem  $\sigma_{vd}$
- uputiti učenike da otvore str. 20. udžbenika na kojoj se nalazi naslov: *1.2.3 Dopušteno naprežanje i koeficijent sigurnosti*
- najaviti drugi dio nastavne jedinice i ispisati naslov na ploči
- dopušteno naprežanje dovesti u vezu s čvrstoćom materijala i koeficijentom sigurnosti (prema udžbeniku, str. 21.)
- na ploči ispisati izraze za dopušteno naprežanje
- uputiti učenike na izraze za dopuštena naprežanja u udžbeniku, str. 21.
- od učenika tražiti da sami zaključče definiciju proračunskog koeficijenta sigurnosti:

$$v_{pr} = \frac{\sigma_M}{\sigma_{vdop}}$$

- uputiti učenike da potraže izraze za koef. sigurnosti u udžbeniku na str. 21.
- ukazati na stvarni koef. sigurnosti  $v_{st} = \frac{\sigma_M}{\sigma_v}$  i dopuštenu razliku  $v_{pr} - v_{st} \pm 5\%$ , te posebno na:

$v_{st} < 0.95v_{pr}$  – konstrukcija nije dovoljno čvrsta

$v_{st} > 1.05v_{pr}$  – konstrukcija nije ekonomična; udžbenik, str. 22.

#### ZAVRŠNI DIO: 2'

- ukazati učenicima na tab. 2 – Dopuštena naprežanja u udžbeniku, str. 22.
- ukoliko ostane vremena, riješiti na str. 5. i 6., 4. i 5. teorijski zadatak u radnoj bilježnici
- ako nema vremena, uz te zadatke za domaću zadaću zadati još 6., 7. i 8. zadatak iz radne bilježnice.

#### IZDVOJENO:

Ova nastavna jedinica se detaljno, kroz više nastavnih sati, obrađuje u okviru predmeta Tehnički materijali II. (ispitivanje). Stoga u okviru Nauke o čvrstoće materijala nije potrebno zalaziti u detalje objašnjavanja postupka vlačnog ispitivanja, pojmova te računanja ispitivanjem dobivenih veličina. Ovdje je potrebno učenike naučiti osnovne točke u dijagramu ispitivanja, da shvate pojmove čvrstoće materijala i dopuštenog naprežanja potrebne za razumijevanje daljnjih gradiva.

S tim treba učenike upoznati i upozoriti ih da će stečena detaljna znanja u okviru predmeta Tehnički materijali II. koristiti u predmetu Nauka o čvrstoći.

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Utjecaj utora i zamor materijala</b>
<b>VRIJEME:</b>	1 sat
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	Praktikum za ispitivanje čvrstoće materijala
<b>OBLIK RADA:</b>	Frontalni, grupni
<b>TIP SATA:</b>	Obrada novog gradiva
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Demonstracijska, usmeno izlaganje, razgovor, računska, rad s udžbenikom
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Kidalica, čelična epruveta s usjekom, grafoskop, grafofolije, udžbenik, radna bilježnica

**NOVI POJMOVI:**

**Koncentracija naprezanja  $\sigma_{\max}$ , konstruktivni faktor  $\beta_k$ , zamor materijala, dinamička izdržljivost.**

**UVODNI DIO: 5'**

- metodom slučajnosti pregledati domaću zadaću 3–4 učenika; pregled ubilježiti u učenikovu bilježnicu i imenik (preporuka: oznaka pregleda, znak valjanosti ili oznaka rječicom, npr. 17. 09. '02. DZ +, 17. 09. '02. DZ djelomično, 17. 09. '02. nema DZ ili DZ –)
- dijaloškom metodom ponoviti gradivo prethodne nastavne jedinice
- uputiti učenike da otvore udžbenik na str. 22. na kojoj se nalazi naslov: *1.2.4 Utjecaj utora i naglih promjena presjeka*, najaviti nastavnu jedinicu i ispisati naslov na ploči

**GLAVNI DIO: 30'**

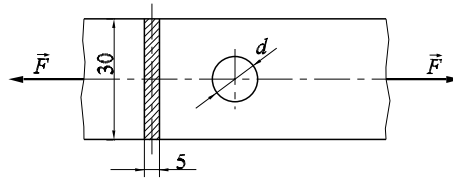
- upoznati učenike da ćemo sada ispitati čvrstoću istog materijala kao i prošli puta, samo ovog puta će epruveta na svom tijelu imati usjek
- izmjeriti  $d_o$  / mm/ na mjestu usjeka epruvete i izračunati površinu presjeka  $A_o$  / mm<sup>2</sup>
- izračunati čvrstoću:  $\sigma_M = \frac{F_{\max}}{A_o}$  / MPa/
- usporediti čvrstoću dobivenu na prethodnom satu kada epruveta nije imala usjek
- izvesti zaključak: *Utor ili usjek nije opasan pri statičkom opterećenju, naprotiv čvrstoća materijala raste.*
- grafoskopom projicirati sl. 1.23 i 1.24 iz udžbenika, str. 23. prenijete na grafofoliju i objasniti *koncentraciju naprezanja* u štapu s usjekom te način proračunavanja:  $\sigma_{\max} = \beta_k \cdot \sigma_v \leq \sigma_d$  / MPa/
- projicirati grafoskopom tab. 3 iz udžbenika str. 25. i objasniti način očitavanja konstruktivnog faktora  $\beta_k$ , te za naš primjer ispitivanja izračunati koncentraciju naprezanja na dnu utora  $\sigma_{\max}$ .
- objasniti što bi se dogodilo kada bi epruvetu s usjekom opteretili dinamičkim opterećenjem; povezati to sa zamorom materijala, te uputiti učenike da otvore udžbenik na str. 16. na kojoj se nalazi naslov: *1.22 Ispitivanje zamora materijala*
- najaviti drugi dio nastavne jedinice i ispisati naslov na ploči
- grafoskopom projicirati sl. 1.18 i 1.19 iz udžbenika, str. 17. prenijetu na grafofoliju i objasniti izgled loma uslijed zamora materijala te Wöhlerov dijagram izdržljivosti
- definirati pojmove zamor materijala i dinamičke izdržljivosti; uputiti učenike na definicije u udžbeniku, str. 16. (pisane kurzivom)
- uputiti učenike na tab. 2 u udžbeniku, str. 22. i ukazati na dopuštena naprezanja pri kojima ne nastupa zamor materijala

**ZAVRŠNI DIO: 10'**

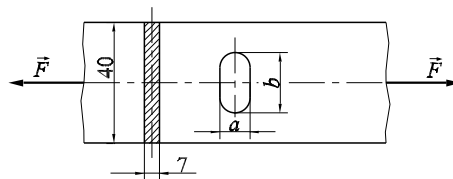
- podijeliti pripremljene zadatke:

**Grupa A:**

Plosnata čelična traka  $30 \times 5$  probušena je po sredini s provrtom  $\phi 10$  mm. Traka je opterećena silama  $F = 5$  kN. Provjerite čvrstoću materijala ako je traka izrađena iz čelika čvrstoće  $\sigma_M = 400$  MPa. Ucertajte dijagram naprezanja!

**Grupa B:**

Plosnata čelična traka  $40 \times 7$  probušena je po sredini elitičnim provrtom s osima  $a = 5$  mm,  $b = 10$  mm. Traka je opterećena silama  $F = 10$  kN. Provjerite čvrstoću materijala ako je traka izrađena iz čelika čvrstoće  $\sigma_M = 600$  MPa. Ucertajte dijagram naprezanja!



- koristeći udžbenik učenici rješavaju zadatak, a nastavnik obilazi učenike i pomaže u snalaženju u udžbeniku i postavljanju zadataka
- nakon 15' rješavanja, nastavnik projicira grafoskopom rješenja, te učenici sami isprave svoje pogreške

**RJEŠENJE:****Grupa A:**

$$30 \times 5$$

$$F = 5 \text{ kN} = 5\,000 \text{ N}$$

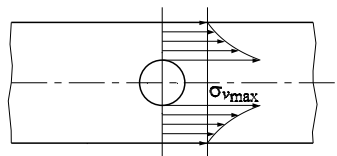
$$\sigma_M = 400 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\max} = ?$$

Iz tab. 3 za  $\sigma_M = 400$  MPa se očitava:  $\sigma_{v\text{dop}} = 120$  MPa

Stvarno naprezanje u punom presjeku:  $\sigma_v = \frac{F}{A} = \frac{5\,000}{30 \cdot 5} = 33.33$  MPa;  $\beta_k = 3$  za kružni provrt.

Naprezanje na dnu provrta:  $\sigma_{v\text{max}} = \beta_k \cdot \sigma_v = 3 \cdot 33.33 = 85 \doteq 100 \text{ MPa} < \sigma_{v\text{dop}} = 120 \text{ MPa}$  – zadovoljava.

**Grupa B:**

$$40 \times 7$$

$$F = 10 \text{ kN} = 10\,000 \text{ N}$$

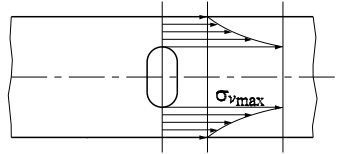
$$\sigma_M = 600 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\max} = ?$$

Iz tab. 3 za  $\sigma_M = 600$  MPa se očitava:  $\sigma_{v\text{dop}} = 150$  MPa.

Stvarno naprezanje u punom presjeku:  $\sigma_v = \frac{F}{A} = \frac{10\,000}{40 \cdot 7} = 35.71 \text{ MPa}$ ;  $\beta_k > 3$  za eliptičan provrt,  $\beta_k = 5$ , usvojeno.

Naprezanje na dnu utora:  $\sigma_{v_{\max}} = \beta_k \cdot \sigma_v = 5 \cdot 35.71 = 178.55 \text{ MPa} > \sigma_{v_{\text{dop}}} = 150 \text{ MPa}$  ne zadovoljava.

**IZDVOJENO:**

Ispitivanje zamora materijala će učenici vršiti u okviru predmeta Tehnički materijali. Stoga ovdje nije potrebno to posebno objašnjavati. Više pažnje treba posvetiti objašnjavanju pojma zamora i dinamičke izdržljivosti pomoću projekcije Wöhlerovog dijagrama.

**NASTAVNA CJELINA: 2. AKSIJALNA NAPREZANJA****NASTAVNA JEDINICA: Hookeov zakon****VRIJEME:**

1sat

**MJESTO IZVOĐENJA:**

Praktikum za ispitivanje čvrstoće materijala

**OBLIK RADA:**

Frontalni

**TIP SATA:**

Obrada novog gradiva

**NASTAVNE METODE:**

Demonstracijska, usmeno izlaganje, računska

**NASTAVNA SREDSTVA****I POMAGALA:**

Kidalica, čelična epruveta, udžbenik, grafoskop

**ZADACI NASTAVE:**

a) materijalni:

Naučiti zakonitost između naprezanja i deformacija.

b) odgojni:

Produbiti osjećaj za pravilnu uporabu materijala i njegovog opterećenja u konstrukcijama.

c) funkcionalni:

Utvrditi stečena znanja iz vlačnog ispitivanja materijala, te principom zornosti spoznati što se dešava s materijalom koji je opterećen iznad granice elastičnosti.

**NOVI POJMOVI:****Koeficijent elastičnosti  $\alpha$ , Youngov modul ili modul elastičnosti  $E$ , Hookeov zakon.****UVODNI DIO: 10'**

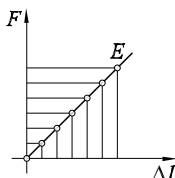
- usmeno ispitati 1–2 učenika (preporuka: početi od rednog broja 1), ponoviti gradivo potrebno za uvođenje u ovu nastavnu jedinicu (ispitivanje čvrstoće materijala, dopušteno naprezanje i koeficijent sigurnosti te pojam naprezanja)
- uputiti učenike da otvore udžbenik na str. 26. na kojoj se nalazi 2. poglavlje: *Aksijalna naprezanja* i naslov: *2.1. Hookeov zakon*
- najaviti nastavnu jedinicu i ispisati naslov na ploči
- grafoskopom projicirati dijagrame  $F-\Delta l$  i  $\sigma-\varepsilon$  na sl. 1.13 i 1.14 iz udžbenika, str. 11. i 13. prenijete na grafoliju i uvesti učenike u problematiku, a na ploču nacrtati tablicu sa skokovima opterećenja:

$F / N$	450	900	1 350	1 800	2 250	2 700	3 150	3 600	4 050	4 500	4 950	5 400	5 950	6 300
$\Delta l / mm$														

**GLAVNI DIO: 35'**

- početi s ispitivanjem unaprijed pripremljene kidalice na način da se kidalica opterećuje do zadanog opterećenja, upiše pripadajuće produljenje  $\Delta l$ , a potom rastereti
- postupak ponavljamo sve dok rasterećenjem ne primijetimo zaostalu trajnu deformaciju, kada prekidamo ispitivanje
- trajnu deformaciju usporediti s  $\sigma_E = \sigma_{0,01/0,005} \Rightarrow l_o \cdot 0.0001 - l_o \cdot 0.00005 =$  da bi znali za koliko smo prešli tehničku granicu elastičnosti
- na temelju dobivenih podataka konstruirati dijagram  $F-\Delta l$  u određenom mjerilu (preporuka:

$$M_F = \frac{450 \text{ N}}{100 \text{ mm}}; M_{\Delta l} = \frac{0.1 \text{ mm}}{10 \text{ mm}} :$$



- iz dobivenog dijagrama učenici trebaju izvući zaključak zakonitosti proporcionalnosti
- uputiti učenike na dijagram na sl. 2.2 u udžbeniku, str. 29.

- grafoskopom projicirati sl. 2.1 iz udžbenika, str. 27. i objasniti što se dogodilo s tijelom epruvete glede deformacije
- izvesti konstantu elastičnosti  $\alpha$  i Youngov modul ili modul elastičnosti  $E$ , prema izvodu u udžbeniku na str. 27., te skrenuti pažnju učenicima na tab. 4 u udžbeniku, str. 28.
- izvesti jednadžbu Hookeovog zakona proporcionalnosti, te jednadžbu Hookeovog zakona pisanu u drugom obliku:  $\sigma = \varepsilon \cdot E$  / MPa/ ; skrenuti pažnju učenicima na izvod u udžbeniku, str. 28.

**ZAVRŠNI DIO:** –

- prema iskustvu, za završni dio sata neće ostati vremena, ali obzirom da je ta jedinica planirana 2 školska sata, uvođenjem u 2. sat se mogu ponoviti zakonitosti naučene na 1. satu.

**IZDVOJENO:**

Pri ocjenjivanju učenika potrebno je obrazložiti danu ocjenu u smislu pohvale za dobro savladano gradivo ili skretanje pažnje na pojmove i zakonitosti koje treba bolje utvrditi.

Ako škola ne posjeduje opremu za ispitivanje čvrstoće materijala, tada će se ova nastavna jedinica, kao i sve ostale koje su predviđene da se izvedu u Praktikum za ispitivanje materijala, morati obraditi na klasičan način. U tome slučaju je dobro u okviru predmeta Tehnički materijali – ispitivanje, odvesti učenike u ispitni laboratorij neke radne organizacije, te naknadno analizirati dobivene dijagrame ispitivanja.

Budući da je zakonom zabranjeno reklamiranje, ovdje ćemo ipak samo napomenuti na postojanje školske ispitivalice čvrstoće materijala koje mogu zamjeniti vrlo skupe profesionalne ispitivalice.

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Hookeov zakon</b>
<b>VRIJEME:</b>	1 sat
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	Učionica
<b>OBLIK RADA:</b>	Frontalni
<b>TIP SATA:</b>	Vježbe
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Dokumentacijska, računska
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Udžbenik, džepno računalo, grafoskop
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Naučiti primjeniti zakon proporcionalnosti na različite primjere iz prakse.
b) odgojni:	Navikavati se na uporabu literature pri rješavanju tehničkih problema.
c) funkcionalni:	Kroz praktično rješavanje zadataka uvidjeti značaj ovog zakona u tehničkoj praksi.

**UVODNI DIO: 5'**

- zadati učenicima da u vremenu od 5' riješe prvih 6 zadataka iz udžbenika, str. 31. u okviru ZADATAKA ZA 1. VJEŽBU
- uputiti učenike da pri rješavanju zadataka slobodno koriste udžbenik
- nakon isteka 5' pomoću grafoskopa projicirati točne odgovore da učenici mogu potvrditi ispravnost svojih odgovora i ispraviti eventualne pogreške

**GLAVNI DIO: 35'**

- riješiti na ploči 2. i 3. zadatak iz udžbenika, str. 30. od ponuđenih riješenih primjera Hookeovog zakona; dijaloškom metodom aktivirati učenike potpitanjima da predvide korake rješavanja zadatka
- zadati učenicima da samostalno rješavaju 7., 8. i 9. zadatak iz udžbenika, str. 32. u okviru ZADATAKA ZA 1. VJEŽBU
- učenike stimulirati na rad tako što ćemo prvoj trojici koja riješe zadatak, ocijeniti rad
- obilaziti razred i pomagati učenicima u snalaženju u udžbeniku i postavljanju zadataka.

**ZAVRŠNI DIO: 5'**

- zadati učenicima domaću zadaću – zadatak 10. i 11. iz udžbenika, str. 32. u okviru ZADATAKA ZA 1. VJEŽBU; uputiti učenike da analiziraju izrađene primjere iz Hookeovog zakona u udžbeniku, str. 29.–31.
- učenici koji nisu stigli riješiti sve zadatke (7., 8. i 9.) na nastavnom satu, zadati da ih dovrše kod kuće uz zadatke zadane za domaću zadaću.

**IZDVOJENO:**

Za izvođenje vježbi izvan informatičkog praktikuma potrebno je da svaki učenik ima osnovni udžbenik iz Nauke o čvrstoći i džepno računalo. Preporučuje se vođenje interne dokumentacije o napredovanju svakog učenika jer ćemo već na ovoj vježbi uočiti učenike koji će bez posebnih teškoća riješiti sve zadatke i one koji će eventualno riješiti samo 1 zadatak. Posebno je potrebno inzistirati na korištenju udžbenika kao izvora pomoći za rješavanje postavljenih zadataka.

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Naprezanje na vlak i tlak – jednadžbe naprezanja i dimenzioniranje</b>
<b>VRIJEME:</b>	1 sat
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	Učionica
<b>OBLIK RADA:</b>	Frontalni
<b>TIP SATA:</b>	Obrada novog gradiva
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Usmeno izlaganje, razgovor, računska
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Udžbenik, grafoskop, grafofolija
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Naučiti izražavati naprezanja na vlak i tlak jednadžbama naprezanja, te na osnovu njih dimenzionirati strojne elemente i dijelove konstrukcija.
b) odgojni:	Navikavanje na tehničku literaturu i odgovornost pri dimenzioniranju.
c) funkcionalni:	Povezivati do sada naučeno gradivo s ovom nastavnom jedinicom i donositi odgovarajuće zaključke.

**NOVI POJMOVI:**

⊕ **naprezanje – vlak**, ⊖ **naprezanje – tlak**, **aksijalne sile**, **unutarnje sile**, **dijagram aksijalnog opterećenje**, **dimenzioniranje**.

**UVODNI DIO:** 10'

- metodom slučajnosti pregledati domaću zadaću 2–3 učenika; ubilježiti pregled u imenik i učenikovu bilježnicu
- usmeno ispitati 1–2 učenika (prema redoslijedu u imeniku); zadnja pitanja se trebaju obvezno odnositi na nastavnu jedinicu pojam i vrstu naprezanja, koja će poslužiti kao uvođenje u glavni dio nastavnog sata
- uputiti učenike da otvore udžbenik na str. 32. na kojoj se nalazi naslov: *2.2 Naprezanje na vlak i tlak*
- najaviti nastavnu jedinicu i ispisati naslov na ploči

**GLAVNI DIO:**

- grafoskopom projicirati sl. 2.3 iz udžbenika, str.32. prenijetu na grafofoliju i povezujući pojam naprezanja doći do izraza za naprezanje na vlak ⊕ i tlak ⊖, ispisati ga na ploči
- uputiti učenike na formulu u udžbeniku, str. 33.
- grafoskopom projicirati sl. 2.4 iz udžbenika, str. 33. prenijetu na grafofoliju i ponoviti pojmove vanjsko opterećenje, unutarnje sile, dijagram unutarnjih sila
- projicirati sl. 2.5 iz udžbenika, str. 34. i analizirati određivanje aksijalnog opterećenja za naznačene presjeke štapa te crtanje dijagrama aksijalnog opterećenja (prema primjeru u udžbeniku, str. 34.)
- uputiti učenike na riješeni primjer, udžbenik, str. 35.
- uputiti učenike na naslov u udžbeniku, str. 34. i *2.2.1 Dimenzioniranje elemenata izloženih vlačnom i tlačnom naprezanju* i ispisati naslov na ploči
- iz osnovne jednadžbe naprezanja izvesti traženu dimenziju različitog presjeka štapa (kao u udžbeniku, str. 35.)
- za poznate sile koje opterećuju štap prema sl. 2.5 izvršiti dimenzioniranje presjeka štapa ako je on puni krug i ako je  $\sigma_{vd} = 120 \text{ MPa}$  (vidi udžbenik, str. 35.)
- grafoskopom projicirati sl. 2.6 iz udžbenika, str. 36. prenijetu na grafofoliju i komentirati proračunske promjere štapa i stvarni promjer

**ZAVRŠNI DIO:**

- uz projekcije slika 2.3, 2.4, 2.5 i 2.6 iz udžbenika prenijetih na grafofoliju metodom razgovora ponoviti izloženo gradivo



<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Naprezanje na vlak i tlak – dimenzioniranje elemenata</b>
<b>VRIJEME:</b>	2 sata
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	Informatički praktikum
<b>OBLIK RADA:</b>	Individualni
<b>TIP SATA:</b>	Vježbe
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Demonstracijska, računska, metoda pisanih radova
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Računalo, radna bilježnica iz Znanosti o čvrstoći s CD-om, udžbenik
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Naučiti dimenzionirati strojne elemente izložene vlačnim i tlačnim naprezanjima.
b) odgojni:	Spoznati odgovornost pri dimenzioniranju strojnih elemenata, navikavanje na rad s novim tehnologijama.
c) funkcionalni:	Snalaženje u literaturi, povezivanje i utvrđivanje do sada stečenih pojmova i znanja.

**UVODNI DIO: 10'**

- upoznati učenike s režimom rada i pravilima ponašanja u informatičkom praktikumu
- demonstrirati način uporabe CD-a i upoznati učenike sa njegovim sadržajem
- u radnoj bilježnici uporabom udžbenika, prostoručno riješiti zadatke na str. 10. i 11. (8. teorijski zadatak)

**GLAVNI DIO: 65'**

- uputiti učenike da na CD-u pronađu 8. teorijski zadatak iz teme NAPREZANJE KOD VLAKA i kliknuti na ikonu RJEŠENJA, te usporediti rješenja sa svojim rješenjima u radnoj bilježnici
- otvoriti 1. računski zadatak iz teme NAPREZANJE KOD VLAKA, te će ga svaki učenik individualno rješavati
- nakon rješenja 1. zadatka učenik će rješavati drugi zadatak, a tempo napredovanja će podesiti svojim individualnim sposobnostima i znanju
- nastavnik obilazi svakog učenika, pomaže mu da postavi zadatak i bilježi u svoje interne bilješke napredovanje svakog učenika
- učenik koji riješi sva 3 računski zadatka na CD-u iz teme NAPREZANJE KOD VLAKA, prelazi na rješavanje 1. teorijskog zadatka iz teme NAPREZANJE KOD TLAKA, kojeg rješava u radnoj bilježnici, str. 17.; točnost rješenja učenik sam provjerava pronalaženjem zadatka na CD-u i aktiviranjem ikone RJEŠENJE.
- nakon toga učenik prelazi na rješavanje računskih zadataka na CD-u iz teme NAPREZANJE KOD TLAKA

**ZAVRŠNI DIO: 5'**

- prema internim bilješkama ocijeniti učenike koji su najbolje izveli vježbu
- zadati domaću zadaću i uputiti učenike da analiziraju riješene primjere u udžbeniku iz ove nastavne jedinice. Zadaci za zadaću:
  - za naprednije učenike: 4., 8. i 9. zadatak iz udžbenika, str. 42. u okviru ZADATAKA ZA 2. VJEŽBU
  - za učenike koji su slabije napredovali zadati da riješe do kraja zadatke na CD-u iz NAPREZANJA KOD VLAKA I TLAKA
- uputiti učenike da analiziraju riješene primjere iz udžbenika na str. 36.–42. i 45.–48.

**IZDVOJENO:**

Učenici koji nemaju kod kuće računalo, zadatke zadane za domaću zadaću mogu rješavati iz radne bilježnice. Vježbe izvoditi u grupama s maksimalno 15 učenika. Škole koje nemaju dovoljno radnih mjesta u informatičkom praktikumu, mogu vježbe izvoditi prema zadacima za 2. vježbu iz osnovnog udžbenika, str. 42., te zadacima za 3. vježbu na str. 49.

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Utjecaj vlastite težine na naprezanje</b>
<b>VRIJEME:</b>	1 sat
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	Učionica
<b>OBLIK RADA:</b>	Frontalni
<b>TIP SATA:</b>	Obrada novog gradiva
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Usmeno izlaganje, računska
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Grafoskop, udžbenik
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Proširiti znanje iz aksijalnih naprezanja.
b) odgojni:	Uvidjeti odgovornost uzimanja u obzir vlastite težine pri naprezanju.
c) funkcionalni:	Povezati ranije naučeno gradivo iz fizike i nauke o čvrstoći. Prepoznati korisno opterećenje od nosivosti elementa.

**NOVI POJMOVI:**

**Dijagram korisnog opterećenja, dijagram opterećenja uslijed vlastite težine, dijagram ukupnog opterećenja, specifična masa (gustoća)  $\rho$ , nosivost  $F$ , korisno opterećenje  $F_k$ , kritična dužina  $L$ .**

**UVODNI DIO: 10'**

- metodom slučajnosti pregledati domaće zadatke trojici učenika; pregled zabilježiti u imenik i učeničku bilježnicu
- prema redosljedu u imeniku usmeno ispitati 1–2 učenika
- uputiti učenike da otvore str. 50. udžbenika na kojoj se nalazi naslov: *2.3 Utjecaj vlastite težine na naprezanje*
- grafoskopom projicirati sliku 2.25 iz udžbenika, str. 50. prenijeti na grafofoliju i prijeći na glavni dio sata pitanjem: Smijemo li kod dugačkih štapova, stupova mosnih konstrukcija, užadi ili lanaca rudničkih dizalica zanemariti vlastitu težinu prilikom razmatranja naprezanja?

**GLAVNI DIO: 30'**

- nakon dobivenog odgovora upoznati učenike s novom nastavnom jedinicom i ispisati naslov na ploču
- pomoću projicirane slike 2.25 iz udžbenika prenijete na grafofoliju objasniti dijagrame opterećenja štapa:
  - dijagrami korisnog djelovanja
  - dijagrami opterećenja uslijed vlastite težine
  - dijagrami ukupnog opterećenja
- koristeći sliku i dijagrame, izvesti na ploči jednadžbu maksimalnog naprezanja prema izvodu u udžbeniku, str. 51. uzimajući u obzir vlastitu težinu:

$$\sigma_{\max} = \frac{F_k + G}{A} \geq \sigma_{\text{dop}}$$

- analizirati 1. i 2. zadatak u okviru riješenih primjera iz udžbenika, str. 52. i 53., s ciljem da učenici razluče pojam korisnog opterećenja  $F_k$  od nosivosti elementa  $F$ , te da nauče određivati kritičnu dužinu  $L$  elementa

**ZAVRŠNI DIO: 5'**

- ponoviti pojmove specifična masa, nosivost, korisno opterećenje, kritična dužina te pomoću projicirane slike 2.25 iz udžbenika dijagram korisnog opterećenja, dijagram opterećenja uslijed vlastite težine i dijagram ukupnog opterećenja
- zadati domaću zadaću – zadatak 5., 6. i 8. iz udžbenika, str. 55. u okviru ZADATKA ZA 4. VJEŽBU
- uputiti učenike da do kraja analiziraju izrađene primjere u udžbeniku, str. 53. i 54.

**IZDVOJENO:**

Ako je nastava organizirana u blok–satovima, tada završni dio u 1. satu nije potreban.

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Utjecaj vlastite težine na naprezanje</b>
<b>VRIJEME:</b>	1 sat
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	Učionica
<b>OBLIK RADA:</b>	Grupni
<b>TIP SATA:</b>	Vježbe
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Metoda pisanih radova, rada s udžbenikom, računska
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Grafoskop, udžbenik
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Naučiti dimenzionirati elemente uzevši u obzir utjecaj vlastite težine.
b) odgojni:	Uvidjeti odgovornost uzimanja u obzir vlastite težine pri dimenzioniranju elemenata kao što su užad ili lanci dizala, stupovi različitih konstrukcija itd.
c) funkcionalni:	Povezati do sada naučeno gradivo iz aksijalnih naprezanja. Steći sposobnost razlučivanja kada pri dimenzioniranju elemenata treba uzimati u obzir i vlastitu težinu.

**UVODNI DIO: 5'**

- metodom slučajnosti pregledati 2–3 domaće zadatke; pregled ubilježiti u imenik i učenikovu bilježnicu
- formirati grupe po 4 učenika vodeći računa da u svakoj bude barem 1 bolji učenik
- zadati da učenici riješe zadatke 1–4 iz udžbenika, str. 54. (ZADACI ZA 4. VJEŽBU), na taj način će ponoviti osnovne pojmove potrebne pri rješavanju praktičnih zadataka
- projicirati grafoskopom rješenja, a učenici će usporediti svoja i popraviti eventualne greške

**GLAVNI DIO: 35'**

- zadati učenicima da rješavaju zadatke 7., 9. i 10. iz udžbenika, str. 55. (ZADACI ZA 4. VJEŽBU)
- obilaziti razred, pomagati i kontrolirati rad grupa, voditi interne bilješke o napredovanju svake grupe i pojedinaca u njoj

**ZAVRŠNI DIO: 5'**

- učenike koji su uspješno riješili zadatke ocjeniti i ocjene unijeti u imenik
- pribilježiti učenike koji nisu uspjeli riješiti sve zadatke i zadati im da to dovrše kod kuće; komentirati rad grupa

**IZDVOJENO:**

Za ovakvu organizaciju rada potrebno je da svaki učenik ima udžbenik i džepno računalo. Pri rješavanju teoretskih i praktičnih zadataka, navoditi učenike da se slobodno služe udžbenikom i prethodnim zabilješkama. Ukoliko ima više učenika koji nisu znali riješiti neki od zadanih zadataka za domaću zadaću, potrebno je objasniti način rješavanja prije prelaska na glavni dio nastave.

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Površinski tlak</b>
<b>VRIJEME:</b>	1 sat
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	Učionica
<b>OBLIK RADA:</b>	Frontalni
<b>TIP SATA:</b>	Obrada novog gradiva
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Usmeno izlaganje
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Grafoskop, udžbenik
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Naučiti pojam površinskog tlaka, te dimenzionirati elemente izložene površinskom tlaku tako da ga izdrže bez trajnih deformacija.
b) odgojni:	Razviti osjećaj odgovornosti pri dimenzioniranju elemenata.
c) funkcionalni:	Usporedbom do sada stečenog znanja uočiti razliku između tlačnog naprezanja i površinskog tlaka.

**NOVI POJMOVI:**

**Dodirna površina, projekcija dodirne površine, površinski tlak.**

**UVODNI DIO: 8'**

- pregledati domaću zadaću učenicima koji na vježbama nisu riješili sve predviđene zadatke; ubilježiti pregled u imenik i učenikovu bilježnicu
- ispitati 1 učenika
- uputiti učenike da otvore udžbenik na str. 59. na kojoj se nalazi naslov: *2.5 Površinski tlak*
- najaviti novu nastavnu jedinicu i ispisati naslov na ploči

**GLAVNI DIO: 32'**

- grafoskopom projicirati sl. 2.31. Poprečni ili radijalni čep u posteljici kliznog ležaja iz udžbenika, str. 59. prenijeta na grafoliju i postaviti problem: *Je li naprezanje unutar materijala čepa i na njegovim dodirnim površinama s posteljom ležaja iste vrste?*
- nakon dobivenih odgovora još jednom naglasiti razliku između  $\sigma_t$  i  $p$
- izvesti osnovnu jednadžbu površinskog tlaka:

$$p = \frac{F}{A} \leq p_d$$

- uputiti učenike na jednadžbu u udžbeniku, str. 59.
- upoznati učenike s tab. 6 Dopušteni površinski tlakovi za aksijalne čepove i tab. 2 Dopuštena naprezanja u kojoj se nalazi  $p_d$  / MPa/ za različite materijale u udžbeniku, str. 62. i 22.
- analizirati primjer 1. i 2. – dimenzioniranje poprečnog i uzdužnog čepa na temelju površinskog tlaka, udžbenik, str. 62. i 63.

**ZAVRŠNI DIO: 5'**

- ponoviti izloženo gradivo metodom razgovora
- zadati domaću zadaću – zadatak 1., 2. i 3. iz udžbenika u okviru ZADATAKA ZA 6. VJEŽBU, str. 64.
- uputiti učenike na analizu riješenih primjera u udžbeniku iz POVRŠINSKOG TLAKA, str. 63. i 64.

**IZDVOJENO:**

Ako se nastava vrši u blok–satu, nakon analize 1. i 2. zadatka u okviru rješene primjera iz udžbenika, treba prijeći na vježbe, a završni dio sata ostaviti za kraj blok–sata. Vježbe izvoditi u informatičkom praktikumu pomoću Radne bilježnice iz znanosti o čvrstoći s CD-om. Počevši od 1. teorijskog zadatka teme Naprezanje kod tlaka.

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Površinski tlak</b>
<b>VRIJEME:</b>	1 sat
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	Informatički praktikum
<b>OBLIK RADA:</b>	Individualni
<b>TIP SATA:</b>	Vježbe
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Rad s udžbenikom, radnom bilježnicom, računalom, računska
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Udžbenik, Radna bilježnica iz znanosti o čvrstoći s CD-om, računalo
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Naučiti dimenzionirati strojne elemente izložene površinskom tlaku.
b) odgojni:	Navikavati učenike na primjenu nove tehnologije pri rješavanju tehničkih problema i na primjenu literature.
c) funkcionalni:	Razviti sposobnost uočavanja razlike između tlačnog napreznja i površinskog tlaka.

**UVODNI DIO:** 10'

- pregledati domaću zadaću 2–3 učenika; pregled evidentirati u imenik i učenikovu bilježnicu
- staviti u pogon računala, uputiti učenike da na CD-u pronađu temu Napreznje kod tlaka, nastavnu jedinicu Površinski pritisak i početi rješavati 1. i 2. teorijski zadatak
- rješanjem 1. i 2. teorijskog zadatka učenici će ponoviti gradivo iz prethodnog sata i pripremiti se za rješavanje praktičnih zadataka

**GLAVNI DIO:** 32'

- uputiti učenike da otvore 1. računski zadatak iz iste nastavne jedinice i zadati da ga rješavaju
- pri rješavanju svaki učenik se može služiti literaturom (udžbenik, bilješke)
- nastavnik obilazi svakog učenika i pomaže onima koji imaju teškoće u postavljanju zadatka i snalaženju na računalu
- voditi internu evidenciju o napredovanju učenika
- ocijeniti učenike koji su prvi riješili zadatak (2–3 učenika), nastavnik ocjenjuje rješenje na osnovu osvojenih bodova koje mu računalo pokaže na temelju točnosti rješenja

**ZAVRŠNI DIO:** 3'

- zadati domaću zadaću – Udžbenik, str. 65., ZADACI ZA 6. VJEŽBU: 5., 6. i 7. zadatak

**IZDVOJENO:**

Ako škola ne posjeduje dovoljan kapacitet radnih mjesta u informatičkom praktikumu, vježba se može izvesti grupnim oblikom rada na klasičan način – rješavanjem zadataka 6. vježbe iz udžbenika, str. 64.

Prilikom ocjenjivanja učenika, predlažem da se u rubriku Bilješke stavi datum, kratica vježbe, broj osvojenih bodova od ukupnog broja i ocjena, npr.: 12. 12. 2002. – Vj. PT<sup>1</sup> 70/100: 3, a desno pod XII. mjesec iz 2. elementa praćenja učenikova postignuća – Primjena znanja u rješavanju tehničkih problema unese ocjena 3.

<sup>1</sup> PT – površinski tlak

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Naprezanje uslijed promjene temperature</b>
<b>VRIJEME:</b>	1 sat
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	Učionica
<b>OBLIK RADA:</b>	Frontalni
<b>TIP SATA:</b>	Obrada novog gradiva
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Usmeno izlaganje
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Udžbenik
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Naučiti izračunavanje aksijalnih napreznja uslijed produljenja i skraćanja drugih elemenata.
b) odgojni:	Uvidjeti koji se problemi mogu javiti ako ugrađenim elementima konstrukcije ne omogućimo slobodno diletiranje.
c) funkcionalni:	Povezati do sada obrađena aksijalna napreznja s naprezanjem uslijed promjene temperature.

**NOVI POJMOVI:**

**Linearni koeficijent rastezanja materijala  $\alpha_t$ , diletacija  $\pm\Delta l$ , produljenje  $+\Delta l$ , skraćenje  $-\Delta l$ , temperaturni interval  $\Delta T$ , apsolutna temperatura  $T^\circ K$ , nedeformabilni zid.**

**UVODNI DIO: 8'**

- pregledati domaću zadaću 2–3 učenika; pregled upisati u imenik i učenikovu bilježnicu
- usmeno ispitati 1–2 učenika
- najaviti novu nastavnu jedinicu u okviru cjeline aksijalna napreznja i naslov ispisati na ploči, a učenike uputiti da otvore udžbenik na str. 66. gdje se nalazi naslov: 2.6. *Naprezanje uslijed promjene temperature*

**GLAVNI DIO: 30'**

- nastavnu jedinicu povezati s fizikom, te ponoviti što se događa s tijelima koje zagrijavamo  $+Q$  i koje pothadjemo  $-Q$
- nacrtati štap duljine  $l$  na ploči i ucrtati produljenje  $+\Delta l$  za  $+Q$  i  $-\Delta l$  za  $-Q$
- izvesti jednadžbe vrijednosti  $\Delta l$  prema udžbeniku, str. 66.
- upoznati učenike s tab. 7 – Koeficijenti toplinskog rastezanja iz udžbenika, str. 66. i komentirati je
- nacrtati sl. 2.40 – štap postavljen između dva nedeformabilna zida prema udžbeniku, str. 67. i postaviti pitanje: *Što će se dogoditi na mjestima dodira štapa s nedeformabilnim zidom ako štap zagrijavamo?*
- ucrtati vektore sila reakcija zida  $\mathbf{F}$ ,  $-\mathbf{F}$ , te povezivanjem Hookeovog zakona za  $\Delta l$  i  $\Delta l$  uslijed promjene temperature izvesti jednadžbu napreznja  $\sigma = \alpha_t \cdot E \cdot \Delta t$  / MPa/ prema izvodu u udžbeniku na str. 67.
- uputiti učenike na izvod u udžbeniku i zaključak pisan kurzivom, str. 67.
- analizirati 1. zadatak iz udžbenika u okviru danih riješenih primjera, str. 68.
- uputiti učenike da kod kuće analiziraju i ostale izrađene primjere u udžbeniku, str. 68.–72.

**ZAVRŠNI DIO: 7'**

- metodom razgovora ponoviti izloženo gradivo
- zadati domaću zadaću – ZADACI ZA 7. VJEŽBU (udžbenik, str. 72.): 1., 2. i 3. zadatak i uputiti učenike da analiziraju riješene primjere u udžbeniku iz ove nastavne jedinice kako bi lakše riješili zadaću

**IZDVOJENO:**

I ovdje kao kod prethodne nastavne jedinice, moguće je drugačije organizirati izvođenje ove teme ako se radi u blok–satu. Predlažem istu metodologiju za izvođenje ove nastavne jedinice u blok–satu kao i za prethodnu nast. jedinicu.

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Naprezanje uslijed promjene temperature</b>
<b>VRIJEME:</b>	1 sat
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	Informatički praktikum
<b>OBLIK RADA:</b>	Individualni
<b>TIP SATA:</b>	Vježbe
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Rad s udžbenikom, radnom bilježnicom, računalom; računska
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Udžbenik, radna bilježnica iz znanosti o čvrstoći s CD-om, računalno
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Naučiti izračunavati aksijalno naprezanje i sile koje se javljaju kao posljedica aksijalnog napreznja uslijed promjene temperature.
b) odgojni:	Ukazati učenicima na značaj uvažavanja napreznja uslijed promjene temperature prilikom konstrukcijskih rješenja toplovoda, cjevovoda, mosnih i drugih konstrukcija, te posljedice koje mogu nastati uslijed razornih sila koje nastaju ako ne uvažimo to naprezanje i ne omogućimo slobodno diletiranje.
c) funkcionalni:	Steći sposobnost prepoznavanja napreznja uslijed promjene temperature na primjerima iz prakse, te primijeniti odgovarajuća rješenja.

**UVODNI DIO: 10'**

- pregledati domaću zadaću 2–3 učenika; pregled upisati u imenik i bilježnicu učenika
- riješiti zadatak kojega eventualno više učenika nije znalo riješiti; zadatak će na ploči rješavati učenik koji ga je ispravno riješio; nakon toga mu se može dati ocjena da se potiče samostalan rad učenika kod kuće
- rješavanjem zadatka ponoviti osnovne zakonitosti napreznja uslijed promjene temperature

**GLAVNI DIO: 30'**

- staviti u pogon računala; na CD-u pronaći temu Naprezanje uslijed promjene temperature, nastavnu jedinicu Naprezanje i deformacija i otvoriti 1. računski zadatak
- učenici rješavaju zadatak samostalno uz uporabu literature (udžbenik, bilješke)
- nastavnik obilazi učenike i pomaže slabijima da postavе zadatak, te vodi interne bilješke o napredovanju svakog učenika

**ZAVRŠNI DIO: 5'**

- prvih 3–4 učenika koji su riješili zadatak ocijeniti; ocjenu unijeti u imenik na već predloženi način
- zadati domaću zadaću: udžbenik, str. 72. – ZADACI ZA 7. VJEŽBU: 4., 5. i 8. zadatak
- učenici koji eventualno nisu do kraja riješili zadatak rješavan na glavnom djelu sata, zadati da ga dovrše kod kuće

**IZDVOJENO:**

Vježbe iz ove nastavne jedinice mogu se izvesti računskom metodom na klasičan način rješavajući zadatke za 7. vježbu iz udžbenika.

**NASTAVNA CJELINA: 3. NAPREZANJE NA ODREZ ILI SMIK****NASTAVNA JEDINICA: Jednadžba naprezanja na odrez ili smik****VRIJEME:** 1 sat**MJESTO IZVOĐENJA:** Praktikum za ispitivanje čvrstoće materijala**OBLIK RADA:** Frontalni**TIP SATA:** Obrada novog gradiva**NASTAVNE METODE:** Demonstracijska, usmeno izlaganje**NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:** Rezalica, epruveta, grafoskop, grafofolije**ZADACI NASTAVE:**

- a) materijalni: Upoznati učenike s novom vrstom naprezanja, jednadžbama naprezanja te deformacijama koje ono može izazvati na strojnim elementima i konstrukcijama.
- b) odgojni: Uvidjeti važnost poznavanja naprezanja pri odrezu ili smiku za poznavanje strojarske struke.
- c) funkcionalni: Naučiti prepoznavati naprezanje pri odrezu ili smiku u različitim praktičnim situacijama.

**NOVI POJMOVI:****Apsolutni smik  $\Delta l$ , kut smika ili relativno smicanje  $\gamma$ , modul klizanja ili smicanja.****UVODNI DIO: 15'**

- pregledati domaću zadaću 2–3 učenika; pregled evidentirati u imenik i učenikovu bilježnicu
- pomoću grafoskopa projicirati sl. 1.1 Pojam opterećenja i naprezanja iz udžbenika prenešenu na grafofoliju te dijaloškom metodom ponoviti pojam opterećenja i naprezanja
- posebno naglasiti tangencijalno naprezanje  $\tau$  koje se javlja pri odrezu
- uputiti učenike da otvore str. 86. udžbenika na kojoj se nalazi 3. poglavlje: *Naprezanje na odrez ili smik* i naslov: *3.1 Jednadžba naprezanja na odrez ili smik*
- najaviti nastavnu jedinicu i ispisati naslov na ploči
- objasniti pokus koji ćemo izvršiti
- demonstrirati naprezanje pri odrezu ili smiku na školskoj ispitivalici (rezalici) jedne pune kružne epruvete iz aluminija

**GLAVNI DIO: 25'**

- grafoskopom projicirati slike 3.1 Naprezanje na odrez s dijagramom naprezanja i 3.2 Vanjska i unutrašnja sila pri naprezanju na odrez iz udžbenika, str. 86. i 87. prenijete na grafofoliju, pa pomoću njih objasniti izvedeni pokus i jednadžbu naprezanja:

$$\tau = \frac{F}{A} \leq \tau_{\text{dop}}$$

- jednadžbu naprezanja ispisati na ploči
- projicirati sliku 3.5 Deformacije materijala pri naprezanju na odrez iz udžbenika, str. 88. i objasniti pojmove apsolutni smik, kut smika, relativno smicanje, te prema izvodu u udžbeniku na str. 89. izvesti na ploči izraz za kut smika:

$$\gamma = \frac{\Delta l}{l_0}$$

- analogijom Hookeovog zakona za aksijalno naprezanje izvesti na ploči drugi izraz za tangencijalno naprezanje:

$$\tau = \gamma \cdot G / \text{MPa}$$

- uputiti učenike na tab. 8 u udžbeniku, str. 89. – Moduli smika (klizanja) i na odnos:

$$G = 0.385 E$$

**ZAVRŠNI DIO: 5'**

- metodom razgovora i pomoću projekcija slika iz glavnog dijela ponoviti izloženo gradivo



<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Dimenzioniranje elemenata izloženih naprezanju na odrez ili smik</b>
<b>VRIJEME:</b>	1 sat
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	Informatički praktikum
<b>OBLIK RADA:</b>	Individualni
<b>TIP SATA:</b>	Vježbe
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Rad s računalom, računska, rad s udžbenikom
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Računalo, radna bilježnica iz znanosti o čvrstoći s CD-om, udžbenik
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Naučiti dimenzionirati strojne elemente izložene naprezanju na odrez ili smik.
b) odgojni:	Navikavanje učenika na rad s novim tehnologijama i korištenje literature.
c) funkcionalni:	Produbiti znanje iz 2. nastavne cjeline. Stjecanje umijeća dimenzioniranja elemenata izloženih smičnim naprezanjima.

**UVODNI DIO: 5'**

- staviti računalo u pogon i na CD-u pronaći temu Naprezanje kod odreza ili smika; nastavna jedinica Naprezanje i površinski pritisak – 1. računski zadatak

**GLAVNI DIO: 35'**

- učenici rješavaju zadatak samostalno
- nastavnik prati njihov rad i upisuje napredak učenika u internu evidenciju
- učenicima koji su riješili zadatak zadati da rješavaju zadatak 12. i 13. iz udžbenika, str. 101. – ZADACI ZA 10. VJEŽBU, koje rješavaju u svoju bilježnicu

**ZAVRŠNI DIO: 5'**

- učenicima koji su uspješno riješili zadatke, dati ocjenu i unijeti je u imenik
- učenici koji nisu stigli riješiti sva tri zadatka, zadati da ih riješe za domaću zadaću

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Dimenzioniranje elemenata izloženih naprezanju na odrez ili smik</b>
<b>VRIJEME:</b>	1 sat
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	Učionica
<b>OBLIK RADA:</b>	Frontalni
<b>TIP SATA:</b>	Ponavljjanje i utvrđivanje gradiva
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Dijaloška, računaska
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Grafoskop, udžbenik
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Naučiti dimenzionirati strojne elemente (zakovice, zatike, svornjake, zavare itd.) izložene naprezanju pri odrezu ili smiku.
b) odgojni:	Razviti osjećaj odgovornosti za ispravno dimenzioniranje strojnih dijelova.
c) funkcionalni:	Povezati stečeno teorijsko znanje iz naprezanja na odrez ili smik i primijeniti ga pri dimenzioniranju strojnih elemenata.

**UVODNI DIO: 3'**

- ponoviti osnovne pojmove naprezanja na odrez ili smik
- najaviti nastavnu jedinicu i ispisati naslov na ploči

**GLAVNI DIO: 30'**

- grafoskopom projicirati sl. 3.6 Površine odreza i gnječenja uslijed površinskog tlaka kod zakovice iz udžbenika, str. 90. prenijetu na grafofoliju, pa iz osnovne jednadžbe naprezanja učenici trebaju izvesti izraz za dimenzioniranje tijela zakovica:

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi \cdot \tau_{0d}}} = \sqrt{\frac{4F}{i \cdot k \cdot \pi \cdot \tau_{0d}}} \quad / \text{ mm} /$$

- formulu ispisati na ploči, a učenike uputiti na formulu u udžbeniku, str. 90.
- uputiti učenike na tab. 9 u udžbeniku, str. 91. – Standardni promjeri čeličnih zakovica s pripadajućim provrtom
- skrenuti pažnju učenicima da se na isti način dimenzioniraju i ostali strojni elementi na odrez, kao što su npr. zatici i svornjaci, te tijela vijaka izložena tangencijalnom naprezanju
- naglasiti da se svi elementi dimenzionirani kod naprezanja na odrez ili smik provjeravaju na površinski tlak, koji prema sl. 3.6 u udžbeniku učenici trebaju (također dijaloškom metodom) sami izvesti:

$$p = \frac{F}{A} = \frac{F}{d \cdot s} \leq pd; \quad pd = (1.7 \text{ do } 2.2) \sigma_{va}$$

- formulu ispisati na ploči, a učenike uputiti na formulu u udžbeniku na str. 91.
- projicirati grafoskopom sl. 3.15 – 3. riješenog primjera iz udžbenika, str. 97. prenijetu na grafofoliju, te na konkretnom zadatku iz strojarske prakse pokazati način dimenzioniranja punog valjkastog zatika i kontrolu na površinski tlak nakon dimenzioniranja

**ZAVRŠNI DIO: 12'**

- zadati učenicima da rješavaju zadatke 1 do 6 iz udžbenika u okviru ZADATAKA ZA 10. VJEŽBU: str. 101. uputiti ih da odgovore slobodno potraže u tekstu udžbenika
- nakon isteka 6', projicirati im rješenja da mogu sami utvrditi u kojem stupnju su naučili gradivo i da isprave netočne odgovore
- zadati domaću zadaću: udžbenik, str. 101. – ZADACI ZA 10. VJEŽBU: 7., 10. i 11. zadatak i uputiti učenike da analiziraju riješene primjere u udžbeniku iz ovog područja na str. 94.–100.

**IZDVOJENO:**

Ovakva organizacija nastave prisiljava učenike da tijekom sata budu maksimalno angažirani, a uloga nastavnika se svodi samo na vođenje učenika u ispravnom smjeru. Prilikom izvoda formula za dimenzioniranje, uputiti učenike da prate izvod u udžbeniku. Na taj način ih navikavamo da koriste udžbenik kao osnovni izvor znanja.

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Sile probijanja pri odrezu ili smiku</b>
<b>VRIJEME:</b>	1 sat
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	Učionica
<b>OBLIK RADA:</b>	Frontalni
<b>TIP SATA:</b>	Obrada novog gradiva
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Usmeno izlaganje, računska
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Grafoskop, udžbenik, grafofolije sa slikama (3.10 i 3.11), iz udžbenika, str. 93. i 94.
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Naučiti određivati veličinu sile potrebnu za štancanje različitih proizvoda izrađenih iz lima probijanjem, maksimalni promjer probijanja i maksimalnu debljinu lima koju možemo probijati uz određene uvjete.
b) odgojni:	Shvatiti jednostavnost i praktičnost izrade proizvoda probijanjem te odgovornost za ispravnu uporabu stroja za probijanje.
c) funkcionalni:	Stečeno znanje povezati sa znanjem iz tehnologije obrade materijala. Steći umijeće izračunavanja sile pri probijanju lima najveće debljine i površine probijanja.

**NOVI POJMOVI:****Štance, štancanje, patrica, matrica, površina isjecanja.****UVODNI DIO: 10'**

- prema redosljedu u imeniku usmeno ispitati jednog učenika i pregledati mu domaće zadaće
- najaviti novu nastavnu jedinicu i ispisati naslov na ploči, a učenike uputiti da otvore udžbenik na str. 93. na kojoj se nalazi naslov: *3.2.3 Proračun na odrez pri isjecanju ili probijanju*

**GLAVNI DIO: 30'**

- grafoskopom projicirati sl. 3.10 Probijanje kružne plohe na štanci iz udžbenika, str. 93. prenijetu na grafofoliju i objasniti alat za probijanje, naziv stroja i postupka
- iz čvrstoće lima izvesti na ploči prema udžbeniku na str. 93. maksimalnu površinu probijanja:

$$A_{\max} = \frac{F_{\max}}{\tau_L}$$

- uputiti učenike na formulu u udžbeniku, str. 93.
- projicirati sliku 3.11 Površina isjecanja za kružnu plohu (udžbenik, str. 94.) da učenici uoče razliku između površine opterećene na odrez i površine opterećene na tlak
- iz  $A_{\max}$  izvesti prema izvodu u udžbeniku, str. 93. i 94. izraz za maksimalnu debljinu lima pri probijanju  $s_{\max}$ ; uputiti učenike na izvod u udžbeniku
- iz tlačnog naprezanja matrice izvesti maksimalni promjer probijanja  $d_{\max}$  (udžbenik, str. 93.)
- upozoriti učenike da će se dobivene jednačbe probijanja mjenjati u ovisnosti o obliku predmeta koji se izrađuje probijanjem
- analizirati riješeni 4. zadatak iz udžbenika (riješeni primjeri iz poglavlja DIMENZIONIRANJE ELEMENATA PRI NAPREZANJU NA ODREZ ILI SMIK, str. 98.)

**ZAVRŠNI DIO: 5'**

- metodom razgovora ponoviti izloženo gradivo
- zadati domaću zadaću – udžbenik, str. 104. ZADACI ZA 10. VJEŽBU: 14., 15. i 16. zadatak

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Sile probijanja pri odrezu ili smiku i zadavanje 1. programskog zadatka</b>
<b>VRIJEME:</b>	1 sat
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	Informatički praktikum
<b>OBLIK RADA:</b>	Individualni
<b>TIP SATA:</b>	Vježbe
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Rad s računalom, računska, rad s udžbenikom
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Računalo, radna bilježnica iz znanosti o čvrstoći s CD-om, udžbenik
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Uvježbati određivanje sile probijanja i ostalih veličina pri izradi strojnih elemenata štancanjem.
b) odgojni:	Naviknuti učenike na primjenu moderne tehnologije u svojoj struci kao i na uporabu literature pri rješavanju tehničkih problema.
c) funkcionalni:	Produbiti znanje iz struke i povezati ga sa znanjem stečenih u okviru predmeta tehnologija obrade.

**UVODNI DIO: 10'**

- pregledati domaću zadaću 2–3 učenika; pregled evidentirati u imenik i bilježnicu učenika
- staviti računala u pogon, pronaći na CD-u temu Naprezanje kod odreza ili smika; nastavnu jedinicu Naprezanje i otvoriti 1. teorijski zadatak
- učenici trebaju riješiti 1. teorijski zadatak u vremenu od 8' koristeći udžbenik, te će se tako pripremiti za vježbe
- evidentirati u internu evidenciju učenike koji nisu u zadanom vremenu riješili zadatak

**GLAVNI DIO: 30'**

- u okviru iste teme i nastavne jedinice na CD-u, otvoriti 2. teorijski zadatak kojega će svaki učenik rješavati samostalno
- evidentiranim učenicima iz uvodnog dijela pomoći da shvate gradivo i postave zadatak
- učenici koji su riješili zadatak na CD-u, zadati da rješavaju 17. zadatak iz udžbenika u okviru ZADATAKA ZA 10. VJEŽBU, str. 104.

**ZAVRŠNI DIO: 5'**

- zadati učenicima koji nisu dovršili do kraja 17. zadatak, da ga dovrše kod kuće (evidentirati učenike)
- podijeliti učenicima 1. programski zadatak s unaprijed zadanim polaznim veličinama (vidi primjer 1. programskog zadatka na kraju priručnika)
- objasniti i pokazati u kojem obliku i kojem roku trebaju predati rješenja
- najaviti 1. školsku zadaću i predbilježiti je u dnevnik rada

**IZDVOJENO:**

Prijedlog programskih zadataka kao i način zadavanja polaznih veličina nalazi se na kraju priručnika. Rok izrade može biti 15 dana. Datum zadavanja 1. programskog zadatka unijeti u dnevnik rada u rubriku: Podaci o zadaćama, programima . . .

Prilikom predaje izrađenog 1. programskog zadatka zahtijevati da u njemu bude umetnut list sa zadacima i zadanim polaznim veličinama.

Sve predane i ocijenjene radove sačuvati do početka nove školske godine. Nakon toga svi programski zadaci se mogu podijeliti učenicima.

Ocjenu dobivenu iz programskog zadatka unijeti pod element praćenja: PRIMJENA ZNANJA U RJEŠAVANJU TEHNIČKIH PROBLEMA, npr.: 20.12.2002. – 1. PZ:4

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Ponavljjanje gradiva iz 2. i 3. nastavne cjeline</b>
<b>VRIJEME:</b>	1 sat
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	Učionica
<b>OBLIK RADA:</b>	Frontalni
<b>TIP SATA:</b>	Ponavljjanje i utvrđivanje gradiva
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Metoda razgovora, računska, rad s udžbenikom
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Udžbenik
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Utvrditi znanja iz nastavnih cjelina: 2. Aksijalna napreznja i 3. Napreznja pri odrezu ili smiku iz kojih će učenici pisati 1. školsku zadaću.
b) odgojni:	Pripremiti učenike da uspješno riješe zadatke na 1. školskoj zadaći.
c) funkcionalni:	Steći umijeće povezivanja gradiva i donošenja odgovarajućih zaključaka.

**UVODNI DIO:** 1'

- najaviti učenicima da ćemo danas vježbati zadatke iz 2. i 3. nastavne cjeline da ih što bolje pripremimo za 1. školsku zadaću

**GLAVNI DIO:** 42'

- postaviti sljedeće zadatke iz udžbenika:

5. i 8.	iz 2. VJEŽBE, str. 43.
4. i 6.	iz 3. VJEŽBE, str. 49.
6. i 7.	iz 6. VJEŽBE, str. 65.
14. i 17.	iz 10. VJEŽBE, str. 104.

- zadatke trebaju postaviti učenici uz pomoć nastavnika; posebno skretati pažnju na sustav jedinica

**ZAVRŠNI DIO:** 2'

- uputiti učenike na broj vježbi iz udžbenika iz kojih će biti odabrani zadaci za školsku zadaću

**IZDVOJENO:**

Zadatke nije potrebno numerički rješavati do kraja jer se pretpostavlja da ih matematički znaju riješiti. Izbor zadataka za školsku zadaću treba biti sličan zadacima koje su učenici rješavali na vježbama ili radili u okviru domaćih zadaća.

**NASTAVNA CJELINA: 4. MOMENTI INERCIJE I OTPORI PLOHA****NASTAVNA JEDINICA: Pojam i vrste momenata inercije i otpora****VRIJEME:** 1 sat**MJESTO IZVOĐENJA:** Praktikum za ispitivanje čvrstoće**OBLIK RADA:** Frontalni**TIP SATA:** Obrada novog gradiva**NASTAVNE METODE:** Demonstracijska, usmeno izlaganje, dijaloška**NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:**Uređaj za ispitivanje čvrstoće kod savijanja: epruveta pravokutnog presjeka  $a \times b$  i kružnog presjeka  $\phi$ , grafoskop**ZADACI NASTAVE:**

a) materijalni:

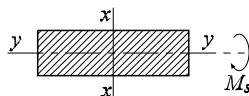
Naučiti temeljne pojmove i zakonitosti iz nauke o čvrstoći.

b) odgojni:

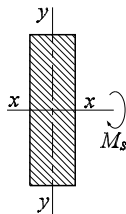
Prikazati važnost poznavanja osobina oblika poprečnog presjeka i odgovornost za pravilnu ugradnju u konstrukciji.

c) funkcionalni:

Spoznati da krutost i otpornost konstrukcije na različita opterećenja ovise o obliku poprečnog presjeka njezinih elemenata i pravilnoj ugradnji.

**NOVI POJMOVI:****Moment inercije ili tromost, momenti otpora, aksijalni momenti inercije, polarni momenti inercije, centrifugalni momenti inercije, centralni ili vlastiti momenti inercije.****UVODNI DIO: 8'**— postaviti epruvetu pravokutnog presjeka u savijalicu tako da se savija oko osi  $y$ :

- izvršiti opterećenje određenom silom  $F$  / N/ i pri tome opterećenju izmjeriti progib  $f$  / mm/; vrijednost ispisati na ploči
- postaviti drugu epruvetu od istog materijala i istih dimenzija u ispitivalicu, ali sada tako da se savijanje vrši oko osi  $x$ :



- opteretiti istom silom  $F$  / N/ i izmjeriti progib  $f$  / mm/; vrijednost ispisati na ploči
- postaviti epruvetu kružnog poprečnog presjeka iste površine poprečnog presjeka kao i prethodna epruveta i načinjenu od istog materijala (to je potrebno posebno naglasiti učenicima)
- izvršiti ispitivanje istom silom  $F$  / N/ i izmjeriti progib  $f$  / mm/; rezultat ispisati na ploču
- pitati učenike što su uočili i neka izvedu zaključak: *Naprezanje i krutost kod savijanja ne ovise samo o veličini površine poprečnog presjeka, nego i o njegovom obliku i osi oko koje se vrši opterećenje.*
- najaviti naslovnu jedinicu i naslov ispisati na ploči
- uputiti učenike da otvore str. 106. udžbenika na kojoj se nalazi 4. poglavlje: *Momenti inercije i otpora ploha* i naslov: *4.1. Pojam i vrste momenata inercija i otpora ploha*

**GLAVNI DIO:**

- projicirati sl. 4.2 iz udžbenika, str. 107. prenijetu na grafofoliju – Plohe i osi u odnosu na koje se vrši određivanje momenta inercije i objasniti aksijalni, polarni i centrifugalni moment inercije

- grafoskopom projicirati sl. 4.3 – Površina presjeka  $A$  s elementarnim površinama  $\Delta A$  iz udžbenika str. 107. i izvesti opći izraz za centralni i vlastiti moment inercije za osi  $x$  i  $y$  (prema izvodu u udžbeniku, str. 108.)

$$I_x = \sum_{i=1}^n \Delta A_i \cdot y_i^2; \quad I_y = \sum_{i=1}^n \Delta A_i \cdot x_i^2$$

- grafoskopom projicirati sl. 4.4 – Pol u ishodištu koordinatnog sustava s osi okomitoj na ravninu presjeka  $\pi$ , iz udžbenika, str. 109. prenijetu na grafofoliju i izvesti izraz za polarni moment inercije  $I_p$  (prema izvodu u udžbeniku, str. 108.)

$$I_p = \sum_{i=1}^n \Delta A_i \cdot r_i^2; \quad I_p = I_x + I_y$$

- grafoskopom projicirati sl. 4.5 – Maksimalne udaljenosti od osi  $x$  i  $y$  do ruba presjeka iz udžbenika, str. 110. prenijetu na grafofoliju i izvesti jednadžbe momenta otpora za osi  $x$  i  $y$ :

$$W_x = \frac{I_x}{y_{\max}}; \quad W_y = \frac{I_y}{x_{\max}}$$

- uputiti učenike na izvode u udžbeniku, str. 109. i 110.

#### ZAVRŠNI DIO:

- projiciranjem slika iz glavnog dijela, dijaloškom metodom, ponoviti izloženo gradivo

#### IZDVOJENO:

Zbog širine gradiva koje treba obraditi i demonstracijske metode, kojom se želi induktivnim putem doći do zaključka, ne preporučuje se u uvodnom dijelu, osim izvođenja pokusa, ništa drugo planirati.

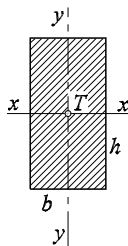
<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Vlastiti moment inercije i otpora jednostavnih ploha</b>
<b>VRIJEME:</b>	1 sat
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	Učionica
<b>OBLIK RADA:</b>	Frontalni
<b>TIP SATA:</b>	Obrada novog gradiva
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Usmeno izlaganje, računska
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Grafoskop, udžbenik
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Naučiti određivati momente inercije i otpora jednostavnih ploha.
b) odgojni:	Navikavati učenike na rad s literaturom i uporabom tablica.
c) funkcionalni:	Uočiti razliku u veličini momenata inercije i otpora pojedinih ploha, te izvesti zaključak o njihovoj uporabnoj vrijednosti u konstrukciji.

**UVODNI DIO: 5'**

- ponoviti vrstu momenata inercije i otpora i opće izraza za vlastite ili centralne momente inercije i otpora ploha za osi  $x$  i  $y$ ; zatražiti da izraze za momente inercije i otpora učenici pronađu u udžbeniku, str. 108. i 109.
- najaviti nastavnu jedinicu i ispisati naslov na ploči
- uputiti učenike da otvore udžbenik na str. 112. na kojoj se nalazi naslov: *4.3. Momenti inercije i otpora jednostavnih ploha*

**GLAVNI DIO: 35'**

- na osnovi opće formule za moment inercije  $I_x = \sum_{i=1}^n A_i \cdot y_i^2$  i  $I_y = \sum_{i=1}^n A_i \cdot x_i^2$  te otpora:  $W_x = \frac{I_x}{y_{\max}}$  i  $W_y = \frac{I_y}{x_{\max}}$ , na ploči izvesti vlastiti moment inercije za pravokutnik  $b \times h$  (prema izvodu u udžbeniku, str. 113.):



$$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12}, \quad I_y = \frac{h \cdot b^3}{12}, \quad I_p = I_x + I_y$$

$$W_x = \frac{b \cdot h^2}{6}, \quad W_y = \frac{h \cdot b^2}{6}$$

- upozoriti učenike da se na sličan način mogu izvesti vlastiti momenti inercije i otpora drugih jednostavnih ploha (kvadratne, kružne pune, trokutaste itd.) koje nećemo izvoditi, a nalaze se u tab. 10 udžbenika
- upoznati učenike s tab. 10 u udžbeniku, str. 114.–115.
- analizirati zadatak 1. i 2. iz udžbenika u okviru riješenih primjera, str. 116.

**ZAVRŠNI DIO: 5'**

- prokomentirati zajedno s učenicima riješene zadatke, te na njima ponoviti izloženo gradivo
- zadati domaću zadaću: udžbenik, str. 119. – ZADACI ZA 11. VJEŽBU: 1., 2. i 5. zadatak
- uputiti učenike da analiziraju riješene primjere u udžbeniku iz ove nastavne jedinice na str. 116.–118.



<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Steinerov poučak</b>
<b>VRIJEME:</b>	1 sat
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	Učionica
<b>OBLIK RADA:</b>	Frontalni
<b>TIP SATA:</b>	Obrada novog gradiva
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Usmeno izlaganje, računska
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Grafoskop, udžbenik
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Naučiti određivati momente inercije i otpora za bilo koju os položenu izvan težišta plohe.
b) odgojni:	Navikavati učenika na rad s literaturom i uporabu talica.
c) funkcionalni:	Steći sposobnost prepoznavanja kada treba primijeniti Steinerov poučak za izračunavanje momenata inercije i otpora složenih ploha.

**NOVI POJMOVI:**  
**Steinerov poučak**

#### UVODNI DIO: 5'

- pregledati dvojici, trojici učenika domaću zadaću; pregled evidentirati u imenik i u učenikovu bilježnicu
- ponoviti pojam centralnog ili vlastitog momenta inercije; pronaći njegov opći izraz u udžbeniku, str. 108.
- osvrnuti se na tab. 10 – Momenti inercije i otpora jednostavnih ploha, udžbenik, str. 114.–115.
- uputiti učenike da otvore udžbenik na str. 110. na kojoj se nalazi naslov: *4.2. Steinerov poučak*
- najaviti nastavnu jedinicu i ispisati naslov na ploči

#### GLAVNI DIO: 35'

- projicirati sl. 4.6 – Osi  $\xi$  i  $\eta$  izvan težišta plohe iz udžbenika, str. 110. prenijetu na grafofoliju i postaviti problem: *Kako za osi  $\xi$  i  $\eta$  koje ne prolaze težištem plohe  $T$  odrediti moment inercije plohe i moment otpora?*
- Rješenje dovesti u vezu sa Steinerovim poučkom, te postaviti opći izraz momenta inercije za os  $\xi$  :

$$I_{\xi} = \sum_{i=1}^n \Delta A_i (y_i + a)^2 \quad (1)$$

- razviti izraz (1) kao u udžbeniku na str. 111. i doći do izraza:

$$I_{\xi} = I_x + A \cdot a^2 \quad \text{i analogijom (bez izvođenja):}$$

$$I_{\eta} = I_y + A \cdot b^2$$

- uputiti učenike na izvod u udžbeniku, str. 111.
- naglasiti da dobiveni izrazi predstavljaju Steinerov poučak, te zahtijevati da na temelju njih učenici sami izvedu pravilo Steinerovog poučka
- uputiti ih da usporede svoje pravilo s napisanim pravilom u udžbeniku na dnu str. 111.
- analizirati primjere 1. i 4. (riješeni primjeri) iz udžbenika, str. 116. i 117. te na taj način pokazati primjenu Steinerovog poučka

#### ZAVRŠNI DIO: 5'

- metodom razgovora ponoviti izloženo gradivo na primjeru 5. iz udžbenika (riješeni primjeri)
- zadati domaću zadaću, zadatak 3. iz ZADATAKA ZA 11. VJEŽBU, udžbenik, str. 119.
- uputiti učenike da analiziraju riješene primjere u udžbeniku iz ove nastavne jedinice, str. 116.–118.

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Steinerov poučak</b>
<b>VRIJEME:</b>	1 sat
<b>OBLIK RADA:</b>	Grupni
<b>TIP SATA:</b>	Vježbe
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Računska, rad s računalom
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Računalo, Radna bilježnica iz znanosti o čvrstoći s CD-om
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Naučiti primjenu Steinerovog poučka.
b) odgojni:	Navikavati učenike na uporabu računala pri rješavanju tehničkih problema.
c) funkcionalni:	Steći umijeće primjene Steinerovog poučka za određivanje momenta inercije i otpora ploha.

**UVODNI DIO: 5'**

- pregledati domaću zadaću dvojici ili trojici učenika; pregled ubilježiti u imenik i bilježnicu učenika
- upaliti računala i na CD-u pronaći temu **NAPREZANJE KOD SAVIJANJA**; nastavnu jedinicu **GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE PRESJEKA – 1. teorijski zadatak**

**GLAVNI DIO: 35'**

- učenici rješavaju 1. teorijski zadatak, a nastavnik obilazi učenike i pomaže učenicima kojima je potrebna pomoć
- nakon riješenog 1. teorijskog zadatka, treba preći na 1. računski zadatak i naglasiti da će prva trojica koja ga riješe biti ocijenjena
- nastavnik pomaže učenicima i vodi interne bilješke o napredovanju učenika
- učenici koji su dovršili 1. računski zadatak i dobili ocjenu, mogu pristupiti rješavanju 2. računskog zadatka

**ZAVRŠNI DIO: 5'**

- postaviti učenicima pitanje: *Zašto je bilo potrebno u zadacima koje smo rješavali primijeniti Steinerov poučak za izračun momenta inercije plohe?*
- nakon dobivenog odgovora zadati domaću zadaću: 2. računski zadatak s CD-a

**IZDVOJENO:**

Ukoliko se vježbe izvode na klasičan način bez uporabe računala, mogu se rješavati zadaci u okviru naslova 4.4 **MOMENTI INERCIJE I OTPORA SLOŽENIH I OSLABLJENIH PLOHA** u udžbeniku, str. 120., a zadatke za domaću zadaću izabrati iz ponuđenih zadataka za 12. vježbu, str. 127.

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Momenti inercije i otpora složenih i oslabljenih ploha</b>
<b>VRIJEME:</b>	1 sat
<b>OBLIK RADA:</b>	Frontalni
<b>TIP SATA:</b>	Obrada novog gradiva
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Usmeno izlaganje, računska
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Grafoskop, udžbenik, flomasteri
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Proširiti znanja iz poglavlja 4. MOMENTI INERCIJE I OTPORA PLOHA.
b) odgojni:	Naviknuti učenike na sustavnosti pri rješavanju složenijih zadataka.
c) funkcionalni:	Steći umijeće određivanja momenata inercije i otpora različitih ploha koje u praksi mogu susretati.

**UVODNI DIO:** 5'

- pregledati domaću zadaću dvojici, trojici učenika; pregled ubilježiti u imenik i učenikovu bilježnicu
- najaviti novu nastavnu jedinicu i ispisati naslov na ploči
- grafoskopom projicirati sl. 4.16 – Složena ploha iz dva pravokutnika iz udžbenika na str. 120. prenijetu na grafofoliju i dijaloškom metodom definirati:
  - vrstu plohe obzirom na oblik
  - od kojih jednostavnih ploha se sastoji složena ploha
  - je li poznato težište složene plohe
  - koji poučak trebamo primijeniti pri određivanju vlastitog momenta inercije i otpora takve (složene) plohe

**GLAVNI DIO:** 35'

- uputiti učenike da otvore stranicu udžbenika s naslovom 4.4 MOMENTI INERCIJA I OTPORA SLOŽENIH (SASTAVLJENIH) I OSLABLJENIH PLOHA, str. 120.
- inzistirati da pročitaju 1. korak, te flomasterom na grafofoliji razdijeliti složenu plohu na 2 jednostavne (prema sl. 4.16)
- nakon toga uputiti učenike da pročitaju 2. korak, pa također flomasterom na grafofoliji uraditi taj korak
- postupati isto sve do zadnjeg (6.) koraka
- za istu složenu plohu zadatak riješiti numerički za os  $x-x$  koja je položena u težištu  $T$  ako su dimenzije kao na sl. 4.16 udžbenika, str. 120.
- zadatak rješavati po koracima kako je pokazano u udžbeniku, str. 121.
- projicirati grafoskopom sl. 4.17 – Pravokutna ploha  $A_1$  oslabljena plohom  $A_2$  iz udžbenika, str. 122. i analizirati po koracima u udžbeniku, drugi način rješavanja zadatka

**ZAVRŠNI DIO:** 5'

- ponoviti korake rješavanja momenata inercija složenih i oslabljenih ploha
- postaviti pitanje: *Koja je razlika u 6. koraku kada računamo moment inercije za složenu plohu u odnosu na oslabljenu?*

**IZDVOJENO:**

Složenu plohu na sl. 4.22 možemo promatrati kao oslabljenu, sl. 4.23. Određivanje momenta inercije oslabljene plohe prema sl. 4.23 ne treba računati, već samo analizirati račun u udžbeniku, jer se inače neće moći izvesti završni dio sata.

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Momenti inercije i otpora složenih i oslabljenih ploha</b>
<b>VRIJEME:</b>	2 sata
<b>OBLIK RADA:</b>	Grupni
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	Učionica
<b>TIP SATA:</b>	Vježbe
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Računska, rad s udžbenikom
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Udžbenik, džepno računalo
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Utvrditi znanje iz nastavne jedinice Momente inercije i otpora oslabljenih ploha.
b) odgojni:	Navikavati učenike na rad s udžbenikom i tablicama.
c) funkcionalni:	Steći umijeće izračunavanja momenata inercije i otpora različitih ploha koje u praksi mogu susretati.

**UVODNI DIO: 5'**

- formirati grupe 4–5 učenika tako da u svakoj bude jedan napredniji učenik
- svakoj grupi zadati zadatak – udžbenik ZADACI ZA 12. VJEŽBU, str. 127.:

I. grupa:	zadatak 1.a)	V. grupa:	zadatak 3.
II. grupa:	zadatak 1.b)	VI. grupa:	zadatak 4.a
III. grupa:	zadatak 1.c)	VII. grupa:	zadatak 4.b
IV. grupa:	zadatak 2.		itd.

**GLAVNI DIO: 38'**

- objasniti da svaka grupa rješava svoj zadatak po koracima uz korištenje udžbenika
- točnost rješenja mogu provjeriti na kraju udžbenika (12. vježba)
- nastavnik obilazi grupe, usmjerava rad i vodi internu evidenciju o napredovanju svake grupe i pojedinca u njoj; nakon što je grupa točno riješila zadatak, nastavnik joj zadaje novi zadatak kojega nije rješavala
- za netočno riješen zadatak nastavnik treba pomoći grupi da pronađe grešku

**ZAVRŠNI DIO: 2'**

- zadati domaću zadaću – zadatke od 1.a do 4.b iz 12. VJEŽBE koje nisu rješavali na grupi
- uputiti učenike da analiziraju riješene primjere u udžbeniku iz ove nastavne jedinice na str. 124.–126.

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Momenti inercije i otpora standardnih sastavljenih profila</b>
<b>VRIJEME:</b>	2 sata
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	Učionica
<b>OBLIK RADA:</b>	Frontalni, grupni
<b>TIP SATA:</b>	Vježbe
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Računska, rad s udžbenikom i tablicama
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Udžbenik, džepno računalo
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Proširiti znanje iz nastavne cjeline MOMENTI INERCIJE I OTPORA PLOHA.
b) odgojni:	Navikavati učenike na korištenje tablica i udžbenika.
c) funkcionalni:	Povezati ranije stečena znanje iz toga područja.

**NOVI POJMOVI:**

**Standardni čelični profili (normalni, uski i široki)  $I$ ,  $C$ ,  $L$  i  $T$  profili.**

**UVODNI DIO: 10'**

- pregledati domaću zadaću dvojici – trojici učenika; pregled evidentirati u imenik i učenikovu bilježnicu
- usmeno ispitati jednog učenika; preporuka na jednom od primjera koje je učenik rješavao za domaću zadaću
- najaviti nastavnu jedinicu i ispisati naslov na ploči
- uputiti učenike da otvore udžbenik na str. 128. na kojoj se nalazi naslov: *4.5 Momenti inercije i otpora sastavljenih standardnih profila*

**GLAVNI DIO: 75'**

- postaviti primjer sastavljenog standardnog profila iz udžbenika prema sl. 4.27, str. 133.
- primjenom tab. 14 i tab. 11 iz udžbenika str. 132. i 129. za standardne čelične profile, zadatak riješiti na ploči po koracima prema udžbeniku, str. 133.
- formirati radne grupe po istom principu kao i ranije, te svakoj grupi zadati zadatak iz udžbenika, str. 135. – 13. VJEŽBA: 1.a, 1.b, 1.c, 2.a, 2.b, 2.c i 2.d.
- grupe trebaju primjenom iste metodologije kao što je rješavan primjer na ploči, riješiti svoj zadatak, uz slobodno korištenje udžbenika i tablica.
- nastavnik obilazi grupe i pomaže u postavljanju zadatka grupi koja to samostalno ne može učiniti te vodi evidenciju o napredovanju grupa
- uputiti učenike da rješenje mogu kontrolirati na kraju udžbenika (rješenja 13. vježbe)
- grupi koja je točno riješila zadatak, zadati novi zadatak

**ZAVRŠNI DIO: 5'**

- ponoviti korake rješavanja zadataka
- zadati domaću zadaću – zadatke od 1.a do 2.d iz 13. VJEŽBE koje nisu rješavali na grupi

**NASTAVNA CJELINA: 5. NAPREZANJE PRI SAVIJANJU ILI FLEKSIJI**

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Temeljni pojmovi i vrste savijanja</b>
<b>VRIJEME:</b>	1 sat
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	Praktikum za ispitivanje čvrstoće materijala
<b>OBLIK RADA:</b>	Frontalni
<b>TIP SATA:</b>	Obrada novog gradiva
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Demonstracijska, usmeno izlaganje
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Školska ispitivalica čvrstoće pri savijanju, čelična epruveta, grafoskop, udžbenik
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Usvojiti temeljne pojmove i vrste savijanja.
b) odgojni:	Uvidjeti važnost naprezanja na savijanje.
c) funkcionalni:	Steći sposobnost prepoznavanja različitih vrsta savijanja u strojarskoj praksi.

**NOVI POJMOVI:**

**Ravno savijanje, koso savijanje, neutralna os, neutralna ravnina, ravnina savijanja, čisto savijanje, savijanje silama (poprečno savijanje).**

**UVODNI DIO: 10'**

- pregledati domaću zadaću 1–2 učenika i usmeno ih ispitati; preporuka da se učenici ispitaju na zadacima koje su imali za domaću zadaću
- uputiti učenike da otvore udžbenik na str. 143. na kojoj se nalazi 5. poglavlje: *Naprezanje pri savijanju ili fleksiji* i naslov: *5.1 Temeljni pojmovi i vrste savijanja*
- objasniti učenicima ispitivalicu i pokus koji ćemo izvesti
- najaviti nastavnu jedinicu pitanjem: *Na koje naprezanje smo izložili štap?*

**GLAVNI DIO: 30'**

- nakon napisanog naslova nastavne jedinice na ploči, pokazati učenicima savinutu epruvetu i pitati što se dogodilo s vlaknima iznad uzdužne osi, a što s onima ispod?
- grafoskopom projicirati sliku 5.6 iz udžbenika, str. 145. prenijetu na grafofoliju i potvrditi učenička zapažanja, te postaviti pitanje: *Koje vlakno se najviše produžilo, a koje najviše skratilo?*
- nakon dobivenog odgovora postaviti pitanje što se dogodilo s uzdužnom osi štapa, te na taj način doći do pojma neutralne osi
- prikazati sl. 5.7 iz udžbenika, str. 145. prenijetu na grafofoliju i objasniti pojmove *ravnine savijanja* i *neutralne ravnine*
- projekcijom sl. 5.2, 5.3, 5.6 i 5.7 iz udžbenika, str. 143. i 144. objasniti vrste savijanja

**ZAVRŠNI DIO: 5'**

- uputiti učenike da u udžbeniku na str. 159. potraže ZADATKE ZA 15. VJEŽBU
- svaki učenik treba korištenjem udžbenika riješiti zadatke od 1. do 7., pa će na taj način ponoviti novo gradivo (zadatke rješavati u udžbeniku)
- učenici koji ne stignu riješiti sve zadatke, zadati da ih riješe do kraja za domaću zadaću

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Jednadžba savijanja</b>
<b>VRIJEME:</b>	1 sat
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	Učionica
<b>OBLIK RADA:</b>	Frontalni
<b>TIP SATA:</b>	Obrada novog gradiva
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Usmeno izlaganje, računska
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Udžbenik, grafoskop, grafofolije
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Upoznati učenike s novim jednadžbama napreznja.
b) odgojni:	Uvidjeti novu vrstu napreznja te ocijeniti vrijednost njegovog poznavanja za strojarsku struku.
c) funkcionalni:	Razviti sposobnost prepoznavanja napreznja pri savijanju i primjenu jednadžbe savijanja pri dimenzioniranju strojnih elemenata.

**UVODNI DIO:** 10'

- usmeno ispitati jednog učenika te ujedno zadnja pitanja iskoristiti za uvod u novu nastavnu jединicu
- uputiti učenike da otvore udžbenik na str. 146. na kojoj se nalazi naslov: *5.2 Jednadžba savijanja*
- najaviti nastavnu jединicu i ispisati naslov na ploči

**GLAVNI DIO:** 30'

- grafoskopom projicirati sl. 5.9 iz udžbenika, str. 146. prenijetu na grafofoliju i postupno na ploči izvesti jednadžbu savijanja  $\sigma_s = \frac{M_s}{W}$  / MPa/ kao što je izvod u udžbeniku na str. 147. i 148.
- primjenom jednadžbe savijanja riješiti iz ZADATAKA ZA 15. VJEŽBU 8. zadatak (udžbenik, str. 160.)

**ZAVRŠNI DIO:** 5'

- metodom razgovora ponoviti izloženo gradivo

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Dimenzioniranje elemenata izloženih savijanju</b>
<b>VRIJEME:</b>	3 sata
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	1. sat učionica; 2. i 3. sat informatički praktikum
<b>OBLIK RADA:</b>	1. sat frontalni; 2. i 3. sat individualni ili grupni
<b>TIP SATA:</b>	Vježbe
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Računska, rad s udžbenikom, rad s računalom
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Udžbenik, računalo, radna bilježnica s CD-om
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Naučiti dimenzionirati strojne elemente izložene naprezanju pri savijanju.
b) odgojni:	Navikavati učenike na rad s literaturom i računalom.
c) funkcionalni:	Razviti umijeće dimenzioniranja elemenata izloženih savijanju kako bi u budućoj strojarskoj praksi mogli primijeniti i proširiti stečeno znanje.

1. sat:

#### UVODNI DIO: 10'

- temeljne pojmove i vrste savijanja ponoviti rješavanjem ZADATAKA ZA 15. VJEŽBU iz udžbenika, str. 159. zadaci 1. do 7.
- najaviti nastavnu jedinicu i njezin cilj, te ispisati naslov na ploči
- uputiti učenike da u udžbeniku pronađu naslov 5.3 DIMENZIONIRANJE ELEMENATA IZLOŽENIH SAVIJANJU, str. 148.

#### GLAVNI DIO: 32'

- upoznati učenike s mogućom vrstom zadataka iz ovog područja i ispisati na ploči:
  1. zadatak: izračunavanje dimenzija elementa iz  $W = \frac{M_s}{\sigma_{sd}}$
  2. zadatak: provjeravanje zadovoljavanja uvjeta:  $\sigma_s = \frac{M_s}{W} \leq \sigma_{sd}$
- uputiti učenike da to pronađu u tekstu s naslovom 5.3 Dimenzioniranje elemenata izloženih savijanju na str. 148. i obilježe podcrtavanjem
- iz udžbenika na str. 149. i 150. analizirati riješene primjere iz toga područja: 1., 2. i 3. primjer, a učenike uputiti da kod kuće analiziraju ostale primjere

#### ZAVRŠNI DIO: 3'

- zadati domaću zadaću: udžbenik, str. 160. i 161. – ZADACI ZA 15. VJEŽBU: 8., 9. i 10. zad.

#### IZDVOJENO:

Ako se nastava izvodi u blok satu, nakon završetka prvog sata, nastavnik može odlučiti hoće li se premjestiti u informatički praktikum i nastaviti vježbe na računalima, ili će i drugi sat izvesti u učionici i nastaviti nastavu klasičnim metodama.

Ako se odluči nastaviti vježbe u učionici, nije potrebno u završnom dijelu prvog sata zadavati domaću zadaću, već to treba učiniti na kraju 2. sata i to zadatke 11., 12. i 13. iz udžbenika u okviru ZADATAKA ZA 15. VJEŽBU, na str. 161.

U glavnom dijelu nastavnik treba formirati grupe od po 4–5 učenika koje trebaju riješiti 8., 9. i 10. zadatak iz ZADATAKA ZA 15. VJEŽBU.

2. sat:

#### UVODNI DIO: 5'

- staviti računala u pogon i na CD-u pronaći 3. teorijski zadatak iz teme NAPREZANJE KOD SAVIJANJA

#### GLAVNI DIO: 37'

- učenici rješavaju individualno uz pomoć udžbenika 3. teorijski zadatak koji ima za cilj podsjećanje učenika na vrste nosača, vrste opterećenja i pronalaženje maksimalnog momenta savijanja
- nakon rješavanja 3. teorijskog zadatka, učenik prelazi na 4. teorijski zadatak kojim će još jednom obnoviti osnovne pojmove iz naprezanja pri savijanju



- za rješavanje 3. i 4. teorijskog zadatka ograničiti vrijeme izrade na max. 8'
- evidentirati učenike koji su morali potražiti pomoć da bi ih riješili
- za svaki sljedeći računski zadatak vrijeme izrade ograničiti na 9 do 10'
- riješiti 1., 2. i 3. računski zadatak
- uputiti učenike da mogu potražiti pomoć pri njihovom rješavanju; te učenike je potrebno evidentirati u interne bilješke radi mogućnosti praćenja njihovog napredovanja

**ZAVRŠNI DIO:** 3'

- zadati domaću zadaću: udžbenik, str. 161. – ZADACI ZA 15. VJEŽBU: 11., 12. i 13. zadatak

3. sat:

**UVODNI DIO:** 8'

- pregledati domaću zadaću 2–3 učenika; pregled ubilježiti u imenik i u učenikovu bilježnicu
- ako eventualno većina učenika nije znala riješiti neki zadatak, postaviti ga na ploči kako bi ga mogli riješiti za idući put
- staviti računala u pogon i na CD-u pronaći 4. računski zadatak u okviru teme NAPREZANJE KOD SAVIJANJA nastavne jedinice DIMENZIONIRANJE

**GLAVNI DIO:** 32'

- u okviru vremena od 10' učenici trebaju riješiti 4. računski zadatak; nastavnik može upoznati učenike da će za riješen zadatak u okviru zadanog vremena dobiti ocjenu u skladu s brojem osvojenih bodova koje računalo samo izbaci klikom na ikonu *rješenja*
- pomagati slabijim učenicima pri postavljanju zadatka
- učenici koji su riješili 4. zadatak prelaze na sljedeći, te individualno napreduju u okviru svojih mogućnosti

**ZAVRŠNI DIO:** 5'

- zadati domaću zadaću: udžbenik, str. 162. – ZADACI ZA 15. VJEŽBU: zadatak 13 i 14.

**IZDVOJENO:**

Prilikom izvođenja ove vježbe učenicima treba zadati vrijeme u okviru kojega trebaju riješiti zadatak. Na taj način ih prisiljavamo na intenzivni rad, a poticaj mu je ocjena koju može dobiti nakon rješenja.

Radi uvida o uspješnosti svladanog gradiva potrebno je voditi internu evidenciju.

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Elementi jednake čvrstoće na savijanje</b>
<b>VRIJEME:</b>	1 sat
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	Učionica
<b>OBLIK RADA:</b>	Frontalni
<b>TIP SATA:</b>	Obrada novog gradiva
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Usmeno izlaganje
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Grafoskop, grafolije, udžbenik
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Proširiti znanje iz nastavne cjeline Naprezanje pri savijanju.
b) odgojni:	Pokazati kako se može racionalizirati primjena materijala u konstrukciji i time sniziti cijenu koštanja proizvoda.
c) funkcionalni:	Steći sposobnost primjene znanja na konkretnim primjerima iz prakse.

**UVODNI DIO: 5'**

- pregledati domaću zadaću dvojici, trojici učenika; pregled ubilježiti u imenik i učenikovu bilježnicu
- ako eventualno više učenika nije znalo riješiti neki zadatak, postaviti ga na ploči, a učenici će ga dovršiti kod kuće
- grafoskopom projicirati sl. 5.36 iz udžbenika, str. 164. prenijetu na grafoliju i analizirati dijagram momenta savijanja
- postaviti pitanje iskoristivosti materijala pri dimenzioniranju osovine na osnovu maksimalnog momenta savijanja, koja će izgledati kao na sl. 5.36a, (potrebno je zaslonom otkriti sl. 5.26a, na kojoj učenici trebaju uočiti da je njen promjer  $d_o$  dimenzioniran prema  $M_{s\max}$  prevelik za opterećenje lijevo i desno od kritičnog presjeka)
- najaviti temu i ispisati naslov na ploči
- uputiti učenike da otvore udžbenik na str. 163. na kojoj se nalazi naslov: *5.4 Elementi jednake čvrstoće na savijanje*

**GLAVNI DIO: 35'**

- upitati učenike kako bi oni izradili osovinu da njen presjek bude u skladu s opterećenjem
- nakon dobivenog odgovora, otkrivanjem zaslona na grafoskopu projicirati cjelovitu sliku 5.36, pa će se otkriti i sl. 5.36b) na kojoj se nalazi paraboličan oblik idealnog profila osovine
- definirati nosač jednake čvrstoće na savijanje i uputiti učenike na definiciju u udžbeniku, str. 164. (pisano kurzivom)
- najaviti da ćemo sada pokazati kako se analitički određuje parabola grede kružnog presjeka jednake čvrstoće na savijanje, te prema izvodu u udžbeniku na str. 165. izvesti izraz, na ploči, za promjere vratila na udaljenosti  $x$  od oslonca  $A$ :

$$d_x = d_o \sqrt[3]{\frac{2x}{l}} \text{ / mm/}$$

- grafoskopom projicirati sl. 5.37 iz udžbenika, str. 166. s asimetričnim opterećenjem i uputiti učenike da se tada promjeri vratila izračunavaju prema izrazima u udžbeniku (str. 165.):

$$d_{x_1} = d_o \sqrt[3]{\frac{x_1}{a}}; \quad d_{x_2} = d_o \sqrt[3]{\frac{x_2}{b}}$$

- tražiti od učenika da samo pronađu veličine iz formula  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $a$  i  $b$  koje se nalaze na sl. 5.37, str. 166.

**ZAVRŠNI DIO: 5'**

- metodom razgovora uz projekciju sl. 5.36 i 5.37, te izvoda za  $d_x$ ;  $d_{x_1}$  i  $d_{x_2}$ , ponoviti izloženo gradivo

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Elementi jednake čvrstoće na savijanje</b>
<b>VRIJEME:</b>	1 sat
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	Učionica
<b>OBLIK RADA:</b>	Frontalni
<b>TIP SATA:</b>	Vježbe
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Računska, metoda grafičkih radova
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Grafoskop, udžbenik, školski pribor za teh. crtanje, krede u boji
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Na konkretnom primjeru naučiti dimenzionirati elemenat jednake čvrstoće na savijanje.
b) odgojni:	Pokazati učenicima racionalizaciju primjene materijala u konstrukciji.
c) funkcionalni:	Steći sposobnost primjene stečenog znanja i na drugim praktičnim primjerima.

**UVODNI DIO:** 3'

- ponoviti definiciju elementa jednake čvrstoće na savijanje i pronaći izraze u udžbeniku za izračunavanje promjera  $d_x$  u skladu s opterećenjem osovine  $M_x$  (str. 165.)
- najaviti nastavnu jedinicu i ispisati naslov na ploči

**GLAVNI DIO:** 40'

- analizirati 1. zadatak u okviru rješениh primjera iz udžbenika na str. 172.
- uputiti učenike na zadatak u udžbeniku i najaviti da ćemo ga zajednički postupno riješiti analitičkom i grafičkom metodom
- rješavati zadatak na ploči na način da uvijek pitamo učenike za sljedeći korak koji treba napraviti; ako ga učenici ne znaju, uputiti ih da to pronađu u udžbeniku na str. 165.
- nakon analitičkog određivanja pojedinih promjera osovine, nastavnik može grafoskopom projicirati sl. 5.45 iz udžbenika, str. 173. prenijetu na grafofoliju i kratko analizirati konstrukciju idealnog i stvarnog oblika osovine i najaviti konstruiranje idealnog oblika vratila prema toj slici
- postupno konstruirati idealan i stvaran oblik osovine objašnjavajući svaki korak nastajanja konstrukcije; crtati na ploči školskim priborom za tehničko crtanje i kredama u boji, a učenici u svojoj bilježnici
- povremeno obići razred i ukazati na eventualne propuste učenika pri crtanju u svojoj bilježnici
- na kraju nakon dobivenih točaka parabole, ucrtati je kredom u boji, a drugom bojom ucrtati stvaran oblik osovine

**ZAVRŠNI DIO:** 2'

- zadati domaću zadaću: udžbenik, str. 181. – ZADACI ZA 16. VJEŽBU: 1. zadatak
- uputiti učenike da analiziraju izrađene primjere u udžbeniku, str. 174.–180., te na osnovu njih mogu rješavati dobiveni zadatak za domaću zadaću

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Elastična crta (polumjer zakrivljenosti, kut nagiba i progib)</b>
<b>VRIJEME:</b>	1 sat
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	Učionica
<b>OBLIK RADA:</b>	Frontalni
<b>TIP SATA:</b>	Obrada novog gradiva
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Usmeno izlaganje, rad s udžbenikom, računska
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Grafoskop, udžbenik
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Naučiti pojmove deformacije elemenata pri savijanju i način njihovog određivanja.
b) odgojni:	Ukazati učenicima na posljedice koje u praksi mogu nastati nepoznavanjem i neuvažavanjem ove problematike.
c) funkcionalni:	Osposobiti učenika da može samostalno odrediti deformacije uobičajenih slučajeva opterećenja elemenata na savijanje.

**NOVI POJMOVI:**

**Elastična crta, polumjer zakrivljenosti  $\rho$ , kut nagiba elastične linije  $\varphi$ , progib  $f$ .**

**UVODNI DIO: 5'**

- pregledati domaću zadaću dvojici učenika; upisati pregled u imenik i učenikovu bilježnicu
- najaviti temu i napisati naslov na ploči
- uputiti učenike da otvore u udžbeniku str. 190. na kojoj se nalazi naslov *5.6 Elastična crta (polumjer zakrivljenosti, kut nagiba i progib)*

**GLAVNI DIO: 35'**

- grafoskopom projicirati sl. 5.65 iz udžbenika na str. 190. prenijetu na grafofoliju i objasniti pojmove: elastična crta, progib i kut nagiba elastične crte pri čistom savijanju
- uputiti učenike da definicije pronađu u tekstu naslova *5.6.1 Elastična crta* u udžbeniku, str. 190. i da ih podertaju
- grafoskopom projicirati sl. 5.66 iz udžbenika, str. 191. prenijetu na grafofoliju i na ploči izvesti izraz za polumjer zakrivljenosti prema udžbeniku:

$$\rho = \frac{E \cdot y}{\sigma_s} \quad \text{odnosno:} \quad \rho = \frac{E \cdot I_x}{M} \quad / \text{ mm/}$$

- uputiti učenike da otvore str. 192 udžbenika na kojoj se nalazi naslov: *5.6.3 Kut nagiba elastične crte* i ispisati naslov na ploči
- grafoskopom projicirati sl. 5.67 iz udžbenika i analizirati prema izvodu u udžbeniku na str. 193. na koji način se dobije izraz za kut nagiba  $\varphi$  elastične crte:

$$\varphi = \frac{A_m}{E \cdot I_k} \quad / \text{ rad/}$$

- uputiti učenike da otvore udžbenik na str. 194. na kojoj se nalazi naslov: *5.6.4 Progib* i ispisati naslov na ploči
- grafoskopom projicirati sl. 5.68 iz udžbenika, str. 194. i analizirati prema izvodu u udžbeniku na str. 194. izvod za dobivanje progiba:

$$f = \frac{A_m \cdot x_0}{E \cdot I_x} \quad / \text{ mm/}$$

- objasniti učenicima da su dobiveni izrazi za određivanje kuta nagiba  $\varphi$  elastične crte i progiba *opći izrazi*, a da se za određenu vrstu nosača i opterećenja kutovi nagiba  $\varphi$  i progib  $f$  mogu odrediti prema izrazima danim u tablici 15 na str. 195. udžbenika

**ZAVRŠNI DIO: 5'**

- grafoskopom projicirati tab. 15 i analizirati je zajedno s učenicima
- ponoviti definicije za elastičnu crtu, polumjer zakrivljenosti  $\rho$ , kut nagiba  $\varphi$  i progib  $f$

**IZDVOJENO:**

Preporučujem da se na ploči izvede samo izraz za određivanje polumjera zakrivljenosti elastične crte  $\rho$ , a izvod za kut nagiba i progib samo analiziraju, pomoću priređene grafolije. Nakon svake analize treba učenike upoznati s izvodom u udžbeniku. To je predloženo radi toga jer će učenici ubuduće za praktično određivanje deformacija koristiti tablicu 15, pa ih nije na ovom stupnju obrazovanja potrebno opterećivati detaljnim izvodima.

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Elastična crta (polumjer zakrivljenosti, kut nagiba i progib) i zadavanje 2. programskog zadatka</b>
<b>VRIJEME:</b>	1 sat
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	Učionica
<b>OBLIK RADA:</b>	Frontalni
<b>TIP SATA:</b>	Vježbe
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Rad s udžbenikom, analitička
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Udžbenik
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Naučiti praktično određivati elemente deformacije pri savijanju.
b) odgojni:	Navikavati učenika na rad s literaturom pri rješavanju tehničkih problema.
c) funkcionalni:	Osposobiti učenika da može samostalno određivati elemente deformacije koje nastaju na strojnim elementima i konstrukcijama izloženim naprezanju pri savijanju.

**UVODNI DIO: 5'**

- kratko ponoviti dijaloškom metodom definicije elastične crte, polumjera zakrivljenosti elastične crte, kut nagiba i progib elastične crte

**GLAVNI DIO: 35'**

- uputiti učenike da otvore stranicu 196. udžbenika s riješenim primjerima iz te nastavne jedinice
- zajedno s učenicima postaviti zadatke na ploči: 1., 2. i 7.; postavu zadatka ispisati na ploči, a učenici prate svaki korak u udžbeniku

**ZAVRŠNI DIO: 5'**

- podijeliti liste s 2. programskim zadatkom i zadati rok izrade (vidi prilog)
- zadati domaću zadaću: ZADACI ZA 18. VJEŽBU – udžbenik, str. 202. i 203.: 1., 3. i 4. zadatak
- uputiti učenike da do kraja prouče izrađene primjere u udžbeniku na str. 197.–202., te da im to bude pomoć za rješavanje dom. zad.

**IZDVOJENO:**

Budući da su zadaci 1., 2. i 7. riješeni, preporuka je da se ne gubi vrijeme na njihovo numeričko rješavanje, već zajedno s učenicima treba primjenom tablice 15 (udžbenik, str. 195.) i ranije stečenog znanja, analizirati njihovo postavljanje.

Npr. prvi zadatak predstavlja konzolu opterećenu na kraju silom  $F$ . Nastavnik treba pročitati zadatak i na ploči ispisati zadane i tražene veličine.

Nakon toga, treba od učenika zahtijevati da sami iz tab. 15 očitaju za konzolu opterećenu na kraju silom  $F$  izraz za progib  $f$  i kut nagiba elastične crte  $\varphi$ . Pronađene izraze učenici očitavaju, a nastavnik ispisuje na ploči i postavlja pitanje: *Jesu li nam poznate sve veličine da bi izračunali  $f$  i  $\varphi$ ?*

Učenici sami trebaju uočiti nepoznate veličine, u našem slučaju modul elastičnosti  $E$  i moment inercije  $I_x$ .

U daljnjoj analizi nastavnik treba zahtijevati da učenici sami odrede iz teksta zadatka na temelju čega i odakle možemo odrediti modul elastičnosti  $E$ , te zahtijevati da pronađu talicu (tab. 4) u udžbeniku i očitaju vrijednost  $E$ . Nastavnik očitano vrijednost za  $E$  ispisuje na ploči.

Zatim, nastavnik zahtijeva da učenici pronađu u udžbeniku izraz za moment inercije pravokutnog presjeka. Nakon očitane formule iz tab. 10, nastavnik je ispisuje na ploči, te objašnjava da su sada poznati svi elementi za određivanje progiba i kuta nagiba elastične linije konzole, te upućuje učenike na zadatak u udžbeniku i njegova numerička rješenja.

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Ponavljjanje i utvrđivanje gradiva iz 4. i 5. nastavne cjeline</b>
<b>VRIJEME:</b>	1 sat
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	Učionica
<b>OBLIK RADA:</b>	Frontalni
<b>TIP SATA:</b>	Ponavljjanje i utvrđivanje gradiva
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Rad s udžbenikom, analitička
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Udžbenik
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Utvrđiti znanja iz nastavnih cjelina: 4. Momenti inercije i otpora ploha i 5. Naprežanje pri savijanju iz kojih će učenici pisati 2. školsku zadaću.
b) odgojni:	Pripremiti učenike da uspješno riješe zadatke na 2. školskoj zadaći.
c) funkcionalni:	Povezivati gradivo i donositi odgovarajuće zaključke u budućoj strojarskoj praksi.

**UVODNI DIO:** 1'

- najaviti nastavnu jedinicu i ispisati naslov na ploči
- najaviti uvježbavanje zadataka iz 4. i 5. nastavne cjeline u okviru pripreme za pisanje 2. školske zadaće koju će pisati idući tjedan

**GLAVNI DIO:** 42'

- iz ZADATAKA ZA 12. VJEŽBU, udžbenik, str. 127. postaviti 2. i 5. a) zadatak; pri tome ponoviti vrste momenata inercije i otpora ploha te primjenu Steinerovog poučka
- iz ZADATAKA ZA 15. VJEŽBU, udžbenik, str. 162. i 163. postaviti 16. i 17. zadatak
- iz ZADATAKA ZA 18. VJEŽBU, udžbenik, str. 204. postaviti 7. i 8. zadatak

**ZAVRŠNI DIO:** 2'

- uputiti učenike da će zadaći za školsku zadaću biti odabrani iz udžbenika danih u okviru ZADATAKA ZA 12., 13. i 15. VJEŽBU, te da se za zadaću mogu pripremiti analizirajući riješene primjere u udžbeniku koji se nalaze ispred spomenutih vježbi

**IZDVOJENO:**

Zadatke nije potrebno numerički rješavati jer se pretpostavlja da ih postavljene znaju matematički riješiti.

Izbor zadataka za školsku zadaću treba biti sličan onima koje su učenici rješavali na vježbama ili u okviru domaćih zadaća.

Prijedlog izabranih zadataka za 2. školsku zadaću vidi u prilogu.

**NASTAVNA CJELINA: 6. NAPREZANJE PRI UVIJANJU ILI TORZIJI**

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Temeljni pojmovi i jednadžbe naprezanja pri uvijanju ili torziji</b>
<b>VRIJEME:</b>	1 sat
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	Praktikum za ispitivanje čvrstoće materijala
<b>OBLIK RADA:</b>	Frontalni
<b>TIP SATA:</b>	Obrada novog gradiva
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Demonstracijska, usmeno izlaganje, razgovor
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Školska ispitivalica čvrstoće pri uvijanju, čelična epruveta, grafoskop, grafofolije, udžbenik
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Upoznati učenike s novom vrstom naprezanja i jednadžbama naprezanja.
b) odgojni:	Uvidjeti važnost poznavanja naprezanja pri uvijanju za poznavanje strojarske struke.
c) funkcionalni:	Razviti sposobnost prepoznavanja opterećenja strojnih dijelova na uvijanje u različitim praktičnim situacijama.

**NOVI POJMOVI:**

**Čisto smicanje, kut smika  $\gamma$ , kut uvijanja ili torzije  $\varphi$ , krutost vratila, specifična deformacija ili specifični kut uvijanja  $\nu$ , dopušteni zakretni kut  $\nu_d$ , modul smika ili modul klizanja  $G$ .**

**UVODNI DIO: 5'**

- objasniti pokus koji ćemo izvesti
- upozoriti učenike da prate obilježenu izvodnicu (flomasterom) na plaštu štapa i da opišu što se s njom događa
- također upozoriti učenike da prate kut zakretanja momentnog ključa u ravnini okomitoj na izvodnicu (os štapa)
- pokus uvijanja izvršiti polaganim opterećenjem – rasterećenjem štapa, sve dok ne pređemo u plastično područje s jasno vidljivim deformacijama (izvodnica na plaštu štapa će poprimiti oblik krivulje)
- na kraju pokusa pitati učenike: Koje naprezanje štapa smo izveli pokusom?
- nakon dobivanog odgovora uputiti učenike da otvore udžbenik na str. 205. na kojoj se nalazi poglavlje 6. NAPREZANJE PRI UVIJANJU ILI SUKANJU (TORZIJI); ispisati naslov na ploči

**GLAVNI DIO: 35'**

- grafoskopom projicirati sliku 6.1 iz udžbenika, str. 205. prenijeta na grafofoliju i dovesti je u vezu s izvršenim pokusom, te objasniti pojmove: kut smika  $\gamma$  i kut uvijanja ili torzije  $\varphi$
- grafoskopom projicirati sliku 6.2 iz udžbenika, str. 206. i objasniti pojam čistog smicanja
- prema Hookeovom zakonu za aksijalna naprezanja  $\sigma = \varepsilon \cdot E$ , analogijom izvesti Hookeov zakon za čisto smicanje ili tangencijalno naprezanje:

$$T = \gamma \cdot G \quad / \text{MPa} / ,$$

te uputiti učenike na izraz (1) u udžbeniku, str. 206. izraz ispisati na ploči

- uputiti učenike na tab. 16 u udžbeniku, str. 207. i objasniti pojam modula klizanja  $G$
- iz jednadžbe čistog smicanja izraziti deformaciju – kut smika  $\gamma$ :

$$\gamma = \frac{\tau}{G} \quad / \text{rad} / ,$$

te prema izrazu (10) iz udžbenika, na str. 208. komentirati ovisnost deformacije o omjeru:

$$\frac{r}{R} = \frac{\gamma'}{\gamma} \rightarrow \gamma' = \gamma \frac{r}{R} \quad (10)$$

- upitati učenike da prema izrazu (10) zaključe za koje uvjete će deformacija biti najveća, a kada je neće biti, te na taj način doći do spoznaje da su najviše deformirana vanjska vlakna štapa, a da se ona smanjuju smanjivanjem polumjera štapa, dok u geometrijskoj osi nema deformacije
- dovesti deformaciju u vezu s naprezanjem i uputiti učenike na izraz (11) u udžbeniku, str. 208.



- grafoskopom projicirati sl. 6.3 iz udžbenika, str. 208. prenijetu na grafofoliju i komentirati promjenu naprezanja u poprečnom presjeku štapa
- uputiti učenike da otvore udžbenik na str. 209. na kojoj se nalazi naslov: *6.1.1 Jednadžbe naprezanja*
- najaviti drugi dio nastavne jedinice i ispisati naslov na ploči
- grafoskopom projicirati sliku 6.4 iz udžbenika, str. 209. prenijetu na grafofoliju i komentirati izvod u udžbeniku jednadžbe naprezanja (str. 209. i 210.):

$$\tau_u = \frac{M_u}{W_p} \leq \tau_{td}$$

- uputiti učenike na naslov u udžbeniku, str. 210.: *6.1.2 Kut uvijanja  $\varphi$* , te skrenuti pažnju na izraz (4) na str. 211.;

$$\widehat{\varphi} = \frac{M_u \cdot l}{I_p \cdot G} \quad / \text{rad} / ,$$

te izraze za specifičnu deformaciju  $\vartheta$  te njene dopuštene vrijednosti ispisati na ploči

#### ZAVRŠNI DIO: 5'

- uz projekciju slika pri obradi nastavne jedinice, metodom razgovora ponoviti gradivo

#### IZDVOJENO:

Prilikom obrade ove nastavne jedinice maksimalno se mora koristiti nastavna tehnologija i dobro razraditi plan izvođenja nastavne jedinice. Tako npr. školska ispitivalica s epruvtom ispitivanja, mora biti pripremljena za pokus. Sve potrebne slike za obradu trebaju biti nacrtane ili skenirane na grafofoliju, a preporučujem i izvod jednadžbe naprezanja prema udžbeniku na str. 209. i 210. Također se preporuča da nastavnik ne izvodi jednadžbe naprezanja na ploči, jer neće imati vremena obraditi do kraja planirano gradivo. Stoga će on učenicima objasniti izvod svojim komentarom na projekciji grafoskopom, a učenike uputiti na kojoj stranici se on nalazi u udžbeniku.

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Dimenzioniranje lakih vratila glede dopuštenog napreznja</b>
<b>VRIJEME:</b>	2 sata
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	1. sat: učionica, 2. sat: informatički praktikum
<b>OBLIK RADA:</b>	1. sat: frontalni, 2. sat: individualni (grupni)
<b>TIP SATA:</b>	Vježbe
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Računska, rad s računalom i udžbenikom
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	1. sat: udžbenik; 2. sat: Računalo, Radna bilježnica iz znanosti o čvrstoći s CD-om
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Naučiti dimenzionirati laka vratila glede dopuštenog napreznja.
b) odgojni:	Navikavati učenike na primjenu literature i računala u strojarskoj praksi.
c) funkcionalni:	Steći umijeće primjene stečenog znanja dimenzioniranja na raznim primjerima iz strojarske prakse.

*1. sat:* učionica

#### **UVODNI DIO:** 10'

- ponoviti gradivo prethodnog sata rješavanjem ZADATAKA ZA 19. VJEŽBU u udžbeniku na str. 223. zadaci 1 do 8
- najaviti temu i ispisati naslov na ploči; uputiti učenike da otvore udžbenik na str. 211. na kojoj se nalazi naslov: *6.2 Dimenzioniranje lakih vratila glede dopuštenog napreznja*

#### **GLAVNI DIO:** 32'

- reći definiciju lakih vratila; uputiti učenike da je pronađu u tekstu naslova 6.2 i da je podcrtaju
- na primjerima riješenih zadataka (primjer 1. i 2., str. 214. i 215.) pokazati način dimenzioniranja vratila punog i šupljeg presjeka
- zadatak 3. na str. 216. (riješeni primjeri) samo analizirati korištenjem udžbenika
- uputiti učenike da samostalno mogu analizirati i ostale izrađene primjere u udžbeniku, str. 217. – 223., te se na taj način pripremati za usmeni odgovor

#### **ZAVRŠNI DIO:** 2'

- zadati domaću zadaću – udžbenik, str. 223. ZADACI ZA 19. VJEŽBU, zadatak 13., 14. i 15. i napomenuti ukoliko nešto ne znaju riješiti, da sličan zadatak potraže u okviru riješenih primjera i vide način njihova rješavanja

*2. sat:* informatički praktikum

#### **UVODNI DIO:** 3'

- upaliti računala i na CD-u pronaći temu NAPREZANJE KOD TORZIJE ILI UVIJANJA, nastavnu jedinicu: DIMENZIONIRANJE – 1. računski zadatak

#### **GLAVNI DIO:** 40'

- učenici rješavaju zadatak, a nastavnih prati njihov rad i pomaže slabijim učenicima
- učenike koji su riješili 1. zadatak, nastavnik ih ocjenjuje na temelju osvojenih bodova, a oni prelaze na rješavanje sljedećeg zadatka
- nastavnik vodi internu evidenciju o napredovanju učenika

#### **ZAVRŠNI DIO:** 3'

- izaći iz programa i ugasiti računala
- zadati domaću zadaću: udžbenik, str. 225. ZADACI ZA 19. VJEŽBU, zadatak 16., 17. i 18.

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Dimenzioniranje lakih vratila glede dopuštene deformacije</b>
<b>VRIJEME:</b>	3 sata
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	Učionica
<b>OBLIK RADA:</b>	1. sat – frontalni; 2. i 3. sat: grupni
<b>TIP SATA:</b>	Vježbe
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Računska
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Udžbenik, džepno računalo
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Naučiti dimenzionirati laka vratila glede dopuštene deformacije.
b) odgojni:	Navikavanje na grupni rad primjenom literature.
c) funkcionalni:	Steći umijeće primjene stečenog znanja dimenzioniranja na raznim primjerima iz strojarske prakse.

*1. sat:* frontalni rad

#### **UVODNI DIO:** 5–10'

- pregledati domaću zadaću dvojici – trojici učenika; pregled upisati u imenik i učenikovu bilježnicu
- zadatke koje učenici eventualno nisu znali riješiti, postaviti na ploči da ih učenici dovrše kod kuće
- uputiti učenike da u udžbeniku na str. 211. pronađu izraze za specifičnu deformaciju  $\vartheta$ , te najaviti današnju temu i zatražiti da učenici otvore udžbenik na stranici 212. s naslovom: 6.2.2 Dimenzioniranje s obzirom na deformaciju

#### **GLAVNI DIO:** 35–40'

- zahtijevati od učenika da promatrajući formule date u okviru naslova 6.2.2, uoče razliku dimenzioniranja na osnovu naprezanja i deformacije
- zaključak ispisati na ploču:
  - na osnovu naprezanja  $\rightarrow$  dimenzioniranje iz  $W_p$  /mm<sup>3</sup>/
  - na osnovu deformacije  $\rightarrow$  dimenzioniranje iz  $I_p$  /mm<sup>4</sup>/
- analizirati zadatke 7., 8. i 9. iz udžbenika, str. 219. i 210. (riješeni primjeri)

*2. sat:* grupni rad: 85'

- formirati grupe na već predloženi način
- zadati da rješavaju zadatak 11. – udžbenik, str. 224. – ZADACI ZA 19. VJEŽBU
- nastavnik obilazi grupe i prati njihov rad, te usmjerava i upućuje da potraže način rješavanja u razrađenoj teoriji u udžbeniku
- grupa koja je riješila 11. zadatak, zadati da rješava 12. iz iste vježbe
- voditi internu evidenciju o napredovanju svake grupe
- prema svom izboru zadavati grupama zadatke iz ZADATAKA ZA 19. VJEŽBU

#### **ZAVRŠNI DIO:** 5'

- svaka grupa treba kratko dati svoj komentar u čemu su imali najviše poteškoća pri rješavanju zadataka, a nastavnik će to zabilježiti u svoje interne bilješke, te će u idućim nastavnim satima učenicima to posebno objasniti
- zadati domaću zadaću: udžbenik, str. 225. – ZADACI ZA 19. VJEŽBU: 20., 21. I 22. ZADATAK i uputiti učenike da samostalno prouče riješene zadatke u udžbeniku koji se nalaze prije 19. vježbe

**NASTAVNA CJELINA: 7. NAPREZANJE PRI IZVIJANJU**

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Temeljni pojmovi i Eulerove jednadžbe</b>
<b>VRIJEME:</b>	1 sat
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	Praktikum za ispitivanje čvrstoće materijala
<b>OBLIK RADA:</b>	Frontalni
<b>TIP SATA:</b>	Obrada novog gradiva
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Demonstracijska, usmeno izlaganje, dijaloška
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Školska ispitivalica čvrstoće na izvijanje, čelična šipka, udžbenik, grafoskop, grafofolije
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Upoznati učenike s novom vrstom napreznja i jednadžbama napreznja.
b) odgojni:	Uvidjeti važnost poznavanja napreznja pri izvijanju za poznavanje strojarske struke.
c) funkcionalni:	Razviti sposobnost prepoznavanja napreznja strojnih elemenata na izvijanje i steći umijeće ispravnog odabira odgovarajuće Eulerove jednadžbe za proračunavanje.

**NOVI POJMOVI:**

**Stabilna, labilna i indiferentna ravnoteža, kritična sila  $F_k$ , Eulerove jednadžbe, reducirana dužina  $l_0$ , os izvijanja.**

**UVODNI DIO: 5'**

- upoznati učenike s pokusom koji ćemo izvesti
- izvesti pokus izvijanja štapa
- upitati učenike: Kakvim smo opterećenjem opteretili štap?
- zašto nije došlo do deformacije štapa karakteristično za tlačno opterećenje?
- nakon zaključka da kod tijela čija je dužina  $l$  mnogo veća od dimenzije poprečnog presjeka dolazi do novog napreznja koje nazivamo *izvijanje*, najaviti temu
- uputiti učenike da otvore udžbenik na str. 226. na kojoj se nalazi poglavlje 7. NAPREZANJE PRI IZVIJANJU i ispisati naslov nastavne jedinice na ploči

**GLAVNI DIO: 35'**

- grafoskopom projicirati sliku 7.1 iz udžbenika, str. 227. prenijetu na grafofoliju i komentirati zajedno s učenicima izvedeni pokus, te objasniti kada će štap biti u stabilnoj, kada u indiferentnoj, a kada u labilnoj ravnoteži
- ravnotežu štapa povezati s kritičnom silom  $F_k$ ; uputiti učenike da u tekstu pod naslovom 7.1 Temeljni pojmovi i Eulerove jednadžbe na str. 226. potraže definiciju kritične sile  $F_k$ , te da je podcrtaju
- grafoskopom projicirati sl. 7.2 iz udžbenika, str. 228. prenijetu na grafofoliju i komentirati izvod za kritičnu silu, dok se ne dođe do njenog konačnog oblika:

$$F_k = \frac{2E \cdot I_x}{l^2} \quad / \text{N/}$$

- objasniti pojam osi izvijanja, te uputiti učenike na sl. 7.3 (udžbenik, str. 229.)
- grafoskopom projicirati sl. 7.4 iz udžbenika, str. 229. prenijetu na grafofoliju i komentirati Eulerove jednadžbe za kritičnu silu za sva četiri slučaja uklještenja štapa
- uputiti učenike na izraze za kritične sile prema sl. 7.4 u udžbeniku, str. 229.

**ZAVRŠNI DIO: 5'**

- projekcijom slika iz glavnog dijela metodom razgovora ponoviti izloženo gradivo

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Vitkost štapa i granice primjene Eulerovih jednadžbi</b>
<b>VRIJEME:</b>	1 sat
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	Učionica
<b>OBLIK RADA:</b>	Frontalni
<b>TIP SATA:</b>	Obrada novog gradiva
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Usmeno izlaganje, dijaloška
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Udžbenik
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Proširiti znanje iz naprezanja pri izvijanju.
b) odgojni:	Navikavati učenike na rad s udžbenikom.
c) funkcionalni:	Steći umijeće primjene Eulerovih jednadžbi na konkretne slučajeve u strojarskoj praksi.

**NOVI POJMOVI:**

**Kritično naprezanje  $\sigma_k$ , vitkost štapa  $\lambda$ , polumjer inercije  $i_{\min}$ , granična vitkost  $\lambda_p$ , Eulerova hiperbola.**

**UVODNI DIO: 5'**

- dijaloškom metodom ponoviti gradivo prethodnog nastavnog sata
- najaviti novu nastavnu jedinicu i naslov ispisati na ploči
- uputiti učenike da otvore udžbenik na str. 280. na kojoj se nalazi naslov 7.2 *Kritično naprezanje i vitkost štapa*

**GLAVNI DIO: 35'**

- prema izvodu u udžbeniku, na str. 230. izvesti na ploči izraze za kritično naprezanje  $\sigma_k$  i vitkost štapa  $\lambda$ :

$$\sigma_k = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}; \quad \lambda = \frac{l_o}{i_{\min}}$$

- pri tome učenici prate izvod u svom udžbeniku (ne prepisuju ga s ploče)
- nakon toga uputiti učenike na naslov u udžbeniku, str. 231.: 7.3 *Granice primjene Eulerovih jednadžbi* i ispisati ga na ploči
- pozvati se na izraz za kritičnu silu  $\sigma_k$  i uputiti učenike: Do koje granice u dijagramu  $\sigma - \varepsilon$  vrijedi konstanta  $E$  (modul elastičnosti)?
- nakon dobivenog odgovora – granice proporcionalnosti  $\sigma_p$ , na ploči nacrtati dijagram  $\sigma - \lambda$  iz udžbenika, str. 231. – sl. 7.5 i na Eulerovoj hiperboli označiti točku  $P$  i vrijednost  $\sigma_p$ , te postaviti pitanje: Sadrže li Eulerove jednadžbe za kritičnu silu modul elastičnosti?
- nakon potvrdnog odgovora, zatražiti da učenici sami zaključe do koje granice naprezanja se mogu primijeniti Eulerove jednadžbe, te uputiti učenike da u udžbeniku u okviru teksta pod naslovom 7.3 *Granice primjene Eulerovih jednadžbi*, str. 231. potraže i podcrtaju odgovor
- prijeći na izvod granične vitkosti  $\lambda_p$  uz  $\sigma_{kr}$ , prema izvodu u udžbeniku na str. 232., te je (na ploči) ucrtavati na dijagram  $\sigma_{kr} - \lambda$ : zahtijevati od učenika da zaključe primjenu Eulerovih formula glede vitkosti  $\lambda$
- nakon dobivenog odgovora, posebnom bojom označiti u nacrtanom dijagramu  $\sigma_{kr}$  (na ploči) granice primjene Eulerovih jednadžbi i uputiti učenike da pronađu konačne zaključke u udžbeniku, str. 232.:

1.  $\sigma_k \leq \sigma_p$
2.  $\lambda > \lambda_p$

**ZAVRŠNI DIO: 5'**

- dijaloškom metodom ponoviti izloženo gradivo i zadati domaću zadaću: udžbenik, str. 243. – ZADACI ZA 20. VJEZBU: zadaci od 1. do 10.

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Dimenzioniranje elemenata izloženih izvijanju (Eulerove jednadžbe, Tetmayer–postupak, Omega postupak) i zadavanje 3. programskog zadatka</b>
<b>VRIJEME:</b>	2 sata
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	1. sat: učionica; 2. sat: informatički praktikum
<b>OBLIK RADA:</b>	1. sat: frontalni; 2. sat: individualni
<b>TIP SATA:</b>	Vježbe
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Računska, rad s udžbenikom, rad s računalom
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Udžbenik, računalo, radna bilježnica iz nauke o čvrstoći s CD-om
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Naučiti učenike dimenzionirati elemente izložene naprezanju pri izvijanju različitim postupcima.
b) odgojni:	Navikavati učenike na primjenu udžbenika i računala pri rješavanju zadataka iz struke.
c) funkcionalni:	Šteći umijeće primjene odgovarajućeg postupka dimenzioniranja strojnih dijelova u budućoj strojarskoj praksi.

**NOVI POJMOVI:****Tetmayerova jednadžba, Omega – postupak.***1. sat:* učionica**UVODNI DIO:** 3'

- ponoviti granicu primjene Eulerovih jednadžbi
- najaviti nastavnu jedinicu i ispisati naslov na ploči

**GLAVNI DIO:** 42'

- analizirati primjer 1. – udžbenik, str. 233.: RIJEŠENI PRIMJERI u okviru naslova 7.4.1 Dimenzioniranje primjenom Eulerovih jednadžbi
- riješiti primjer 1. – udžbenik, str. 237.: RIJEŠENI PRIMJERI u okviru naslova 7.4.2 Dimenzioniranje primjenom Tetmayerovih jednadžbi
- uputiti učenike na naslov 7.4.2 u udžbeniku, str. 235., te kratko objasniti dijagram na sl. 7.7, str. 236. i primjenu tab. 17 iz koje treba odabrati Tetmayerovu jednadžbu za dovršenje zadataka
- kratko uputiti učenike na naslov 7.4.3 Dimenzioniranje primjenom Omega–postupka, str. 240., te upoznati učenike s primjenom tab. 18 i izrađenim primjerima

*2. sat:* Informatički praktikum**UVODNI DIO:** 5'

- staviti računala u pogon i na CD-u pronaći temu NAPREZANJE KOD IZVIJANJA, nastavnu jedinicu: ELASTIČNO IZVIJANJE i otvoriti 2. računski zadatak

**GLAVNI DIO:** 35'

- učenici rješavaju zadatak, a nastavnik obilazi i pomaže učenicima u njegovom rješavanju

**ZAVRŠNI DIO:** 5'

- izaći iz programa i ugasiti računala
- podijeliti učenicima 3. programski zadatak; zadati rok izrade
- zadati domaću zadaću: udžbenik, str. 244. i 245. – ZADACI ZA 20. VJEŽBU: zadatak 11. i 12. – riješiti u udžbeniku, 15., 21. i 22. – riješiti u bilježnicu, te skrenuti pažnju da analiziraju riješene zadatke u udžbeniku na str. 238.–240. i 241.–242. iz ovog područja kako bi se što bolje pripremili za školsku zadaću

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Ponavljanje i utvrđivanje gradiva iz 6. i 7. nastavne cjeline</b>
<b>VRIJEME:</b>	1 sat
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	Učionica
<b>OBLIK RADA:</b>	Frontalni
<b>TIP SATA:</b>	Ponavljanje
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Računska, dijaloška, rad s udžbenikom
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Udžbenik
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Utvrđiti znanja iz nastavnih cjelina: 6. Naprezanje pri uvijanju ili torziji i 7. Naprezanje pri izvijanju, iz kojih će učenici pisati 3. školsku zadaću.
b) odgojni:	Pripremiti učenike da steknu samopouzdanje da bi uspješno riješili zadatke na 3. školskoj zadaći.
c) funkcionalni:	Razviti sposobnost povezivanja gradiva i steći sposobnost samostalnog donošenja zaključaka u budućoj strojarskoj praksi.

**UVODNI DIO: 5' (10')**

- pregledati domaću zadaću dvojici, trojici učenika; pregled upisati u imenik i učenikovu bilježnicu
- ako eventualno učenici nisu znali riješiti neki od zadanih zadataka, dijaloškom metodom postaviti ga na ploči inzistirajući da učenici korake rješenja potraže u udžbeniku u okviru razrađene teorije i riješenih primjera
- najaviti uvježbavanje zadataka iz 6. i 7. nastavne cjeline u okviru pripreme pisanja 3. školske zadaće koju će učenici pisati idući tjedan

**GLAVNI DIO: 39' (34')**

- analizirati riješene primjere iz udžbenika dane u okviru poglavlja 6. NAPREZANJE PRI UVIJANJU ILI TORZIJI:
  - primjer 6. na str. 218.: dimenzioniranje šupljeg vratila na osnovu čvrstoće
  - primjer 7. na str. 219.: dimenzioniranje punog vratila na osnovu dopuštene deformacije
  - provjera naprezanja i krutosti vratila poznatih dimenzija
- analizirati riješeni 2. primjer iz udžbenika, str. 234. u okviru poglavlja 7. Naprezanje pri izvijanju, naslov 7.4.1 Dimenzioniranje primjnom Eulerovih jednadžbi

**ZAVRŠNI DIO: 1'**

- uputiti učenike da se pripreme za zadaću rješavanjem zadataka iz 19. i 20. VJEŽBE koje još nisu rješavali za domaću zadaću, te da prouče riješene primjere u udžbeniku koji se nalaze ispred spomenutih vježbi

**NASTAVNA CJELINA: 8. SLOŽENA NAPREZANJA**

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Ekscentrični vlak i tlak</b>
<b>VRIJEME:</b>	1 sat
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	Učionica
<b>OBLIK RADA:</b>	Frontalni
<b>TIP SATA:</b>	Obrada novog gradiva
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Usmeno izlaganje, dijaloška, rad s udžbenikom
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Grafoskop, grafolije, udžbenik
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Upoznati učenike s mogućnošću istovremenog djelovanja više različitih napreznja na strojne elemente.
b) odgojni:	Uvidjeti važnost poznavanja složenih napreznja za buduće zanimanje.
c) funkcionalni:	Steći umijeće prepoznavanja složenog napreznja pri ekscentričnom vlaku i tlaku na konkretnim slučajevima u strojarskoj praksi.

**NOVI POJMOVI:**

**Ekscentrično opterećenje, ekscentrični vlak, ekscentrični tlak, redukcija sile.**

**UVODNI DIO: 5'**

- najaviti novu nastavnu cjelinu pitanjem: Jesu li strojni dijelovi ili dijelovi neke konstrukcije uvijek izloženi jednoj vrsti napreznja?
- nakon dobivenog odgovora najaviti 8. nastavnu cjelinu i ispisati naslov na ploči
- uputiti učenike da otvore udžbenik na str. 246. na kojoj se nalazi poglavlje 8. SLOŽENA NAPREZANJA i naslov: *8.1 Temeljni pojmovi i vrste složenih napreznja*

**GLAVNI DIO: 35'**

- objasniti temeljne pojmove i vrste složenih napreznja
- uputiti učenike da u okviru naslova 8.1 potraže definiciju i nabrojane vrste složenih napreznja, te da ih podcrtaju
- grafoskopom projicirati sl. 8.1 iz udžbenika, str. 247. i prenijetu na grafoliju te upitati učenike: *Kojem napreznju je izložen štap na slici?*
- ako učenici ne mogu samostalno doći do odgovora, ukazati na ekscentrično opterećenje sile  $F$  u odnosu na os štapa i podsjetiti kako se radi redukcija sile na zadanu točku ili os, te dijalogom doći do odgovora
- najaviti nastavnu jedinicu i ispisati naslov na ploči **EKSCENTRIČNI VLAK I TLAK**
- pomoću projicirane slike 8.1 iz udžbenika, str. 248. objasniti pojam ekscentričnog vlaka; projicirati novu sliku 8.2 iz udžbenika, str. 248. i objasniti dijagram napreznja ekscentričnog opterećenja
- dijaloškom metodom zajedno s učenicima izvesti na ploči izraze za napreznje u krajnjim vlaknima štapa (točke  $A$  i  $B$ ):  $\sigma_A$  i  $\sigma_B$  (prema izvodu u udžbeniku, str. 248.)
- nakon izvoda izraza za ekscentrični vlak, uputiti učenike na naslov u udžbeniku, na str. 248.: 8.2.2 *Ekscentrični tlak*; skrenuti pažnju učenicima na isti izvod u udžbeniku, str. 249., za napreznja u krajnjim vlaknima
- uputiti učenike na naslov u udžbeniku 8.2.3 *Ekscentrični tlak*, te zahtijevati da usporede izvedene izraze za napreznja krajnjih vlakna štapa (točka  $A$  i  $B$ ):  $\sigma_A$  i  $\sigma_B$  s izrazima za ekscentrični vlak i odgovore u čemu je razlika

**ZAVRŠNI DIO: 5'**

- projicirati grafoskopom sl. 8.5 iz udžbenika, str. 251. i analizirati ekscentrični vlak i tlak na riješenom primjeru (str. 250.–251.) i uputiti učenike da kod kuće prouče i ostale riješene primjere u udžbeniku
- zadati domaću zadaću: udžbenik, str. 256. – ZADACI ZA 21. VJEŽBU, 1. zadatak



**IZDVOJENO:**

Jednadžbe naprezanja ekscentričnog tlaka ne treba izvoditi jer je izvod isti kao i kod ekscentričnog vlaka. Predlaže se da nastavnik na projiciranoj slici 8.3, objasni nastanak naprezanja u krajnjim vlaknima štapa (točke  $A$  i  $B$  – dijagrami), a da učenici jednadžbe naprezanja iz udžbenika usporede s jednadžbama koje smo izveli na ploči za ekscentrični vlak. Učenici će uočiti da se one razlikuju samo u predznaku sile  $F$  koji je kod ekscentričnog vlaka  $+$ , a kod tlaka  $-$ . To treba dovesti u vezu s općom oznakom za vlak $\oplus$  i tlak $\ominus$ .

U završnom dijelu treba analizirati jedan izrađeni primjer, te na njemu ponoviti izloženo gradivo. Preporuka je da to bude 1. zadatak iz udžbenika u okviru riješenih primjera iza naslova 8.3 SAVIJANJE I VLAK; SAVIJANJE I TLAK. Predlaže se da se primjer pripremi na grafofoliji i dijaloškom metodom komentiraju koraci rješenja zadataka.

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Savijanje i vlak; savijanje i tlak</b>
<b>VRIJEME:</b>	1 sat
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	Učionica
<b>OBLIK RADA:</b>	Frontalni
<b>TIP SATA:</b>	Obrada novog gradiva
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Usmeno izlaganje, dijaloška, rad s udžbenikom
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Grafoskop, grafofolije, udžbenik
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Objasniti zakonitost složenih napreznja: savijanja i vlaka te savijanja i tlaka.
b) odgojni:	Navikavati učenike na rad s udžbenikom.
c) funkcionalni:	Razviti sposobnost prepoznavanja koji su strojni elementi u praktičnim situacijama opterećeni na savijanje i vlak odnosno savijanje i tlak.

**UVODNI DIO: 5'**

- pregledati domaću zadaću dvojici, trojici učenika; pregled upisati u imenik i učenikovu bilježnicu
- najaviti nastavnu jedinicu i naslov ispisati na ploči
- uputiti učenike da otvore udžbenik na str. 249., na kojoj se nalazi naslov 8.3 SAVIJANJE I TLAK

**GLAVNI DIO: 35'**

- grafoskopom projicirati sl. 8.4 iz udžbenika, str. 250. prenijetu na grafofoliju i dijaloškom metodom objasniti savijanje i vlak – savijanje i tlak
- zajednički dijaloškom metodom izvesti na ploči jednadžbe graničnih napreznja  $\sigma_A$  i  $\sigma_B$  koristeći projekciju sl. 8.4 prema udžbeniku na str. 249. i 250.
- grafoskopom projicirati sl. 8.9 iz udžbenika, str. 254. i analizirati zadatak 4. u okviru riješenih primjera iza naslova 8.3 SAVIJANJE I VLAK; SAVIJANJE I TLAK
- uputiti učenike da kod kuće analiziraju ostale riješene primjere u udžbeniku

**ZAVRŠNI DIO: 5'**

- ponoviti izloženo gradivo
- zadati domaću zadaću: udžbenik, str. 257. i 258. – ZADACI ZA 21. VJEŽBU: zadatak 4. i 6.

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Savijanje i vlak; savijanje i tlak</b>
<b>VRIJEME:</b>	1 sat
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	Informatički praktikum
<b>OBLIK RADA:</b>	Individualni (grupni)
<b>TIP SATA:</b>	Vježbe
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Računska
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Računalo, Radna bilježnica iz znanosti o čvrstoći s CD-om
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Naučiti dimenzionirati elemente na savijanje i vlak; savijanje i tlak.
b) odgojni:	Navikavati učenike na primjenu literature i računala u struci.
c) funkcionalni:	Osposobiti učenike da mogu samostalno prepoznati i dimenzionirati jednostavnije slučajeve kada su strojni dijelovi opterećeni na ovo složeno naprezanje.

**UVODNI DIO: 3'**

- upaliti računala i na CD-u pronaći temu: SASTAVLJENA OPTEREĆENJA, nastavnu jedinicu: NAPREZANJE KOD VLAKA I SAVIJANJA – 1. računski zadatak

**GLAVNI DIO: 40'**

- učenici rješavaju zadatak; pratiti i poticati njihov rad; u interne bilješke upisivati napredovanje učenika
- učenicima koji su riješili zadatak dati ocjene u skladu s brojem osvojenih bodova

**ZAVRŠNI DIO: 2'**

- zadati domaću zadaću: udžbenik, str. 257. – ZADACI ZA 21. VJEŽBU: 3. i 5. zadatak
- učenicima koji nisu uspjeli riješiti 1. računski zadatak na CD-u do kraja, zadati da ga dovrše kod kuće; evidentirati te učenike u interne bilješke

**IZDVOJENO:**

Zbog dužine 1. računskog zadatka, postoji mogućnost da ga svi učenici neće uspjeti riješiti do kraja za 1 školski sat. Ukoliko ipak ima učenika koji ga riješe i za kraće vrijeme, oni će prijeći na rješavanje 2. računskog zadatka iz nastavne jedinice NAPREZANJE KOD TLAKA I SAVIJANJA.

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Dimenzioniranje teških vratila</b>
<b>VRIJEME:</b>	1 sat
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	Učionica
<b>OBLIK RADA:</b>	Frontalni
<b>TIP SATA:</b>	Obrada novog gradiva
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Usmeno izlaganje, rad s udžbenikom
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Grafoskop, grafolije, udžbenik
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Pokazati dimenzioniranje teških vratila primjenom metode najveće duljinske deformacije koja se u strojarскоj praksi najviše koristi.
b) odgojni:	Spoznati važnost poznavanja dimenzioniranja vratila na mjestima gdje savijanje ne smijemo zanemariti.
c) funkcionalni:	Razviti sposobnost dimenzioniranja teških vratila.

**NOVI POJMOVI:**

**Teško vratilo, teorija duljinske deformacije, ekvivalentni moment  $M_{ek}$ , Saint-Venantova formula, Bachov korekcijski faktor.**

**UVODNI DIO: 5'**

- pregledati domaću zadaću dvojici učenika; pregled upisati u imenik i učenikovu bilježnicu
- najaviti nastavnu jedinicu i ispisati naslov na ploči
- uputiti učenike da otvore udžbenik na stranici 272., na kojoj se nalazi naslov 8.6 DIMENZIONIRANJE TEŠKIH VRATILA

**GLAVNI DIO: 35'**

- objasniti pojam teškog vratila; uputiti učenike da potraže definiciju za teška vratila u udžbeniku u tekstu naslova 8.6 i da je podcrtaju
- spomenuti sve četiri teorije dimenzioniranja; uputiti učenike da otvore udžbenik na str. 268. s naslovom 8.5 SAVIJANJE I TORZIJA i potraže naslove:
  - Teorija najvećeg normalnog napreznja
  - Teorija najvećeg posmičnog napreznja
  - Teorija najveće distorzijske energije
  - Teorija najveće duljinske deformacije
- objasniti učenicima da se u strojarstvu za dimenzioniranje teških vratila najviše koristi teorija d) najveće duljinske deformacije prema kojoj ćemo i mi vršiti dimenzioniranje
- uputiti da potraže formulu (38) za ekvivalentni moment  $M_{ek}$ , na str. 271.; komentirati izraz i informirati učenike da je to Saint-Venantova formula te objasniti Bachov korekcijski faktor
- reći učenicima da nećemo izvoditi izraze ni za jednu teoriju, a ako nekoga zanima kako se došlo do izraza za ekvivalentna napreznja za sve četiri teorije, može proučiti u udžbeniku na str. 269.
- vratiti se na temu Dimenzioniranje teških vratila uputom: *Ako je za dimenzioniranje odabrana teorija najveće duljinske deformacije, pronađite u udžbeniku uvjet čvrstoće  $\sigma_{ek}$ !*
- ispisati očitani uvjet čvrstoće na ploči i izvesti izraze za promjere vratila prema udžbeniku, na str. 271. i 273.:

$$\text{a) punog: } d = \sqrt[3]{\frac{10 M_{ek}}{\sigma_{sd}}} \quad \text{i} \quad \text{b) šupljeg: } D = \sqrt[2]{\frac{10 M_{ek}}{(1 - \beta^4) \sigma_{sd}}} \quad / \text{ mm/}$$

- grafoskopom projicirati sliku 8.30 iz udžbenika, str. 273. i 274. prenijetu na grafoliju i objasniti konkretan primjer dimenzioniranja vratila

**ZAVRŠNI DIO: 5'**

- dijaloškom metodom ponoviti izloženo gradivo

**IZDVOJENO:**

Budući da se učenici tek u III. razredu susreću s ravnotežom prostornog sustava sila, čije poznavanje je potrebno za određivanje reakcija i momenata savijanja teških vratila, pri obradi ove nastavne jedinice to treba imati na umu. Stoga je potrebno ovu nastavnu jedinicu obraditi na informativnoj razini. Detaljni račun dimenzioniranja teških vratila učenici će raditi u okviru predmeta STROJARSKE KONSTRUKCIJE u III. razredu, nakon što obrade prostorni sustav sila.

<b>NASTAVNA JEDINICA:</b>	<b>Dimenzioniranje teških vratila</b>
<b>VRIJEME:</b>	1 sat
<b>MJESTO IZVOĐENJA:</b>	Učionica
<b>OBLIK RADA:</b>	Frontalni
<b>TIP SATA:</b>	Vježbe
<b>NASTAVNE METODE:</b>	Računska; rad s udžbenikom
<b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b>	Udžbenik, grafoskop
<b>ZADACI NASTAVE:</b>	
a) materijalni:	Pokazati učenicima primjer dimenzioniranja teškog vratila metodom najveće duljinske deformacije.
b) odgojni:	Navikavati učenike na rad s literaturom.
c) funkcionalni:	Steći umijeće dimenzioniranja teških vratila.

**UVODNI DIO:** 5'

- dijaloškom metodom i upotrebom udžbenika ponoviti gradivo obrađeno na prethodnom satu

**GLAVNI DIO:** 38'

- riješiti 1. zadatak na ploči iz riješenih PRIMJERA u udžbeniku na str. 276.
- grafoskopom projicirati sl. 8.34 iz udžbenika na str. 279. i analizirati 2. riješeni zadatak

**ZAVRŠNI DIO:** 2'

- zadati domaću zadaću: udžbenik, str. 287. i 288. – ZADACI ZA 23. VJEŽBU: 1. i 2. zadatak
- uputiti učenike da samostalno analiziraju ostale riješene primjere u udžbeniku, str. 281.–287., te da na osnovu njih riješe domaću zadaću

# Prilozi

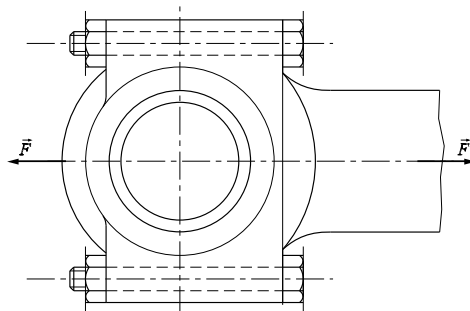
## TEHNIČKA MEHANIKA – ČVRSTOĆA Prvi programski zadatak

Ime i prezime: \_\_\_\_\_ Razred: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

### 1. zadatak

Dvodijelna glava ojnice motornog mehanizma prema slici stegnuta je pomoću dva vijka finog metričkog navoja. Koliki mora biti nazivni promjer vijaka ako na ojnicu djeluju sile  $F$ , i ako je poznato dopušteno naprezanje materijala vijka  $\sigma_{v,dop}$ ? Koliko je stvarno naprezanje?

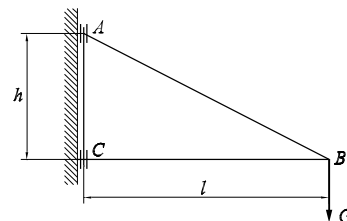
$F / \text{kN/}$	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
$\sigma_{v,dop} / \text{MPa/}$	55	55	60	60	70	70	80	80	90	95	100



### 2. zadatak

Odredite dimenzije čeličnih štapova  $AB$  i  $BC$   $L$  profila konzole prema slici opterećene silom (teretom)  $G$  ako je poznata čvrstoća materija  $\sigma_{dop}$  i koeficijent sigurnosti konstrukcije  $v$ .

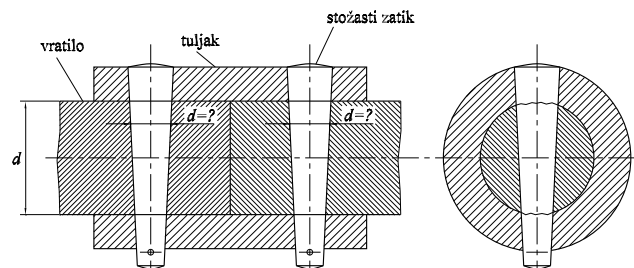
$G / \text{kN/}$	25	30	35	40	45	50	55	60	65
$\sigma_{dop} / \text{MPa/}$	370		460			500			
$v$	1.5		1.8			2			
$I / \text{m/}$	5		6			7			
$h / \text{m/}$	2		4			5			



### 3. zadatak

Vratilo promjera  $d$  prema slici sastoji se od dva djela spojena tuljkom i s dva poprečna stožasta zatika, te prenosi snagu  $P$  pri zadanom broju okreta. Izračunajte potrebni srednji promjer zatika, ako je poznato dopušteno naprezanje pri odrezu materijala zatika  $\tau_{odp}$ .

$d / \text{mm/}$	50		60		70		80	
$P / \text{kW/}$	3		4		5		6	
$n \text{ o / min/}$	120	140	160	180	200	220	240	260
$\tau_{od}$	50			55			60	



**TEHNIČKA MEHANIKA – ČVRSTOĆA**  
**Prva školska zadaća**

**Grupa A**

Ime i prezime: \_\_\_\_\_ Razred: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

1. Čelični štap kružnog presjeka površine  $A = 6.4 \text{ cm}^2$  punke pri opterećenju  $F = 270 \text{ kN}$ . Koliki je promjer štapa, kolika je čvrstoća metrijala i koliko je dopušteno naprezanje ako je  $\nu = 3.5$ ?

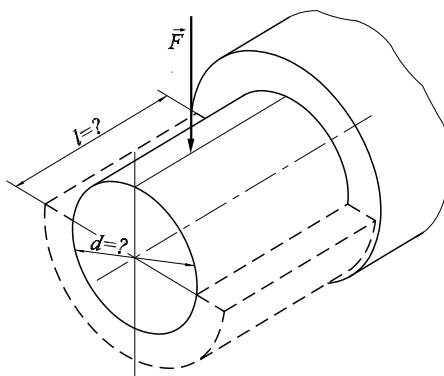
**10 bodova**

2. Štap punog kružnog presjeka duljine  $l = 20 \text{ m}$ , opterećen je aksijalnom silom  $F = 120 \text{ kN}$ . Dimenzionirajte štap uzevši u obzir njegovu vlastitu težinu ako je poznato  $\sigma_{vd} = 100 \text{ MPa}$  i  $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ !

**15 bodova**

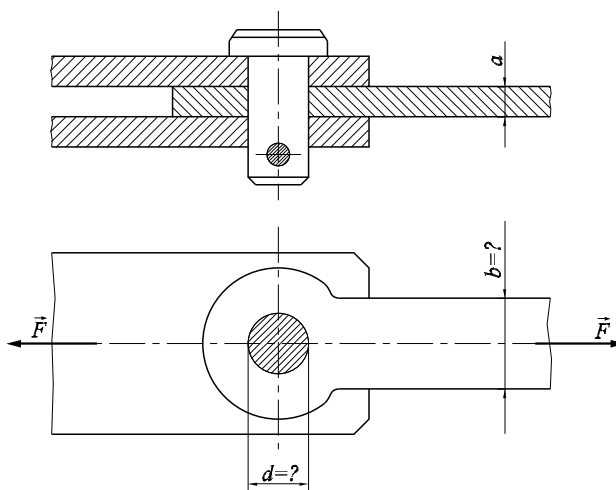
3. Poprečni čep opterećen je prema slici silom  $F = 400 \text{ N}$ . Odredite njegov promjer  $d$  i duljinu  $l$  ako je konstruktivna karaktereistika  $\varphi = 1.5$ , a dopušteni površinski pritisak  $p_d = 3 \text{ MPa}$ .

**10 bodova**



4. Poluga prema slici spojena je svornjakom. Poluge su opterećene silom  $F = 120 \text{ kN}$ . Dopušteno naprezanje poluge je  $\sigma_{vd} = 80 \text{ MPa}$ . Odredite promjer svornjaka  $d$  i širinu poluge  $b$  ako je njena debljina  $a = 15 \text{ mm}$ .

**20 bodova**





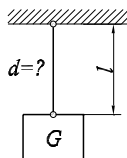
**TEHNIČKA MEHANIKA – ČVRSTOĆA**  
**Prva školska zadaća**

**Grupa B**

Ime i prezime: \_\_\_\_\_ Razred: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

1. Odredite potreban promjer užeta za primjer prema slici ako je poznato:  $l = 6$  m i težina  $G = 40$  kN. Za koju duljinu će se teret spustiti zbog produljenja užeta ako je  $\sigma_{vd} = 200$  MPa i  $E = 210$  GPa?

**10 bodova**

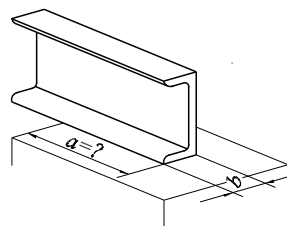
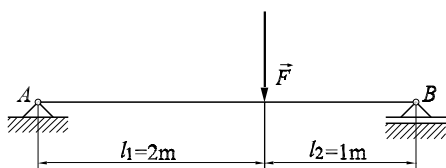


2. Kolika mora biti širina  $b$  štapa pravokutnog poprečnog presjeka ako je debljina  $a = 10$  mm i duljina  $l = 18$  m i ako njegovo korisno opterećenje mora iznositi  $F_k = 80$  kN. Vrijednost širine zaokružite na cijeli broj. Dopušteno naprezanje materijala štapa iznosi  $\sigma_{vd} = 80$  MPa, a njegova gustoća  $\rho = 78\,500$  N/m<sup>3</sup>.

**15 bodova**

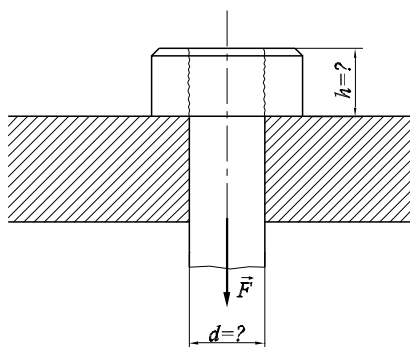
3. Čelična greda profila  $\text{C } 20$  širine  $b = 75$  mm služi kao nosač oslonjen na betonsku podlogu. Odredite dužinu oslanjanja za oslonac  $B$  ako je greda opterećena silom  $F = 15$  kN, a dopušteni površinski tlak za beton  $p_d = 1.5$  MPa. Ostali podaci prema slici:

**10 bodova**



4. Svornjak s glavom prema slici opterećen je uzdužnom silom  $F = 60$  kN. Odredite njegov promjer  $d$  i visinu glave  $h$  ako je  $\sigma_{vd} = 70$  MPa.

**20 bodova**



## ISPRAVAK 1. ŠKOLSKE ZADAĆE

Grupa A

## 1. 10 bodova

$$A = 6.4 \text{ cm}^2 = 640 \text{ mm}^2$$

$$F = 270 \text{ kN} = 270\,000 \text{ N}$$

$$y = 3.5$$

$$\sigma_L = ?$$

$$\sigma_{vd} = ?$$

$$\text{– čvrstoća: } \sigma_L = \frac{F}{A} = \frac{270\,000}{640} = 421.87 = \boxed{422 \text{ MPa}}$$

5 bodova

$$\text{– dop. naprezanje: } \sigma_{vd} = \frac{\sigma_L}{v} = \frac{422}{3.5} = \boxed{120.57 \text{ MPa}}$$

5 bodova

## 2. 15 bodova

$$l = 20 \text{ m}$$

$$F = 120 \text{ kN}$$

$$\sigma_{vd} = 100 \text{ MPa} = 100 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$$

$$d = ?$$

– težina štapa:

$$G = m \cdot g = \rho \cdot V \cdot g = \rho \cdot A \cdot l \cdot g$$

$$\text{– iz } \sigma_{vd} = \frac{F + G}{A} = \frac{F + \rho \cdot A \cdot l \cdot g}{A} \rightarrow A \cdot \sigma_{vd} = F + \rho \cdot A \cdot l \cdot g$$

$$\boxed{A(\sigma_{vd} - \rho \cdot l \cdot g) = F}$$

5 bodova

$$A = \frac{F}{\sigma_{vd} - \rho \cdot l \cdot g} = \frac{120\,000}{100 \cdot 10^6 - 7850 \cdot 20 \cdot 9.81} = \frac{120\,000}{10^8 - 1\,540\,170} = \frac{120\,000}{98\,459\,830} = \boxed{0.001218 \text{ m}^2}$$

5 bodova

– promjer štapa:

$$\text{Iz } A = \frac{d^2 \pi}{4} \rightarrow d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.001218}{3.14}} = 0.0394 \text{ m} = 39.4 \text{ mm} = \boxed{40 \text{ mm}}$$

5 bodova

## 3. 10 bodova

$$F = 400 \text{ N}$$

$$\varphi = 1.5$$

$$p_d = 3 \text{ MPa}$$

$$d = ?$$

$$l = ?$$

– promjer čepa:

$$\text{iz } p_d = \frac{F}{A} = \frac{F}{d \cdot l} = \frac{F}{d^2 \cdot \varphi}$$

$$\rightarrow d = \sqrt{\frac{F}{\varphi \cdot p_d}} = \sqrt{\frac{400}{1.5 \cdot 3}} = 9.42 \text{ mm} \rightarrow \boxed{d = 95 \text{ mm}}$$

5 bodova

$$\text{iz } \varphi = \frac{l}{d} \rightarrow l = \varphi \cdot d = 1.5 \cdot 95 = \boxed{142.5 \text{ mm}}$$

5 bodova

## 4. 20 bodova

$$F = 120 \text{ kN} = 120 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$\sigma_{vd} = 80 \text{ MPa}$$

$$a = 15 \text{ mm}$$

$$d = ?$$

$$b = ?$$

– dopušteno naprezanje kod odreza:

$$\tau_{od} = (0.75 - 0.80) \cdot \sigma_{vd} = 0.775 \cdot \sigma_{vd} = 0.775 \cdot 80 = \boxed{62 \text{ MPa}}$$

5 bodova

$$\text{– promjer svornjaka: Iz } \tau_{od} = \frac{F}{A} \rightarrow A = \frac{F}{\tau_{od}} = \frac{120 \cdot 10^3}{80} = \boxed{1\,500 \text{ mm}^2}$$

5 bodova

$$\text{Iz } A = \frac{d^2 \pi}{4} \rightarrow d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1\,500}{3.14}} = 43.7 \text{ mm} \quad \boxed{d = 45 \text{ mm}}$$

5 bodova

$$\text{– širina poluge: Iz } \sigma_{vd} = \frac{F}{A} = \frac{F}{a \cdot b} \rightarrow b = \frac{F}{a \cdot \sigma_{vd}} = \frac{120 \cdot 10^3}{15 \cdot 80} = \boxed{100 \text{ mm}}$$

5 bodova

Bodovna ljestvica i ocjene:

Broj bodova	ocjena
ispod 20	nedovoljan (1)
20 – 25	dovoljan (2)
30 – 35	dobar (3)
40 – 45	vrlo dobar (4)
50 – 55	odličan (5)

**IZDVOJENO:**

Prema predloženoj ljestvici učenik bi za ocjenu dovoljan trebao riješiti ispravno 2 zadatka bodovana s po 10 bodova ili ukupno nakupiti barem 20 bodova. Za ocjenu dobar učenik bi trebao riješiti također 2 zadatka ali bi jedan od njih morao biti bodovan s 20 bodova ili bi ukupno trebao nakupiti barem 30 bodova.

Ocjenu vrlo dobar učenik dobiva ako uspješno riješi 3 zadatka, 2 s 10 bodova i 1 s 20 bodova, ili ako ukupno osvoji najmanje 40 bodova, itd.

## ISPRAVAK 1. ŠKOLSKE ZADAĆE

Grupa B

## 1. 10 bodova

$$l = 6 \text{ m} = 6000 \text{ mm}$$

$$G = 40 \text{ kN} = 40000 \text{ N}$$

$$\sigma_{vd} = 200 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa} = 210 \cdot 10^3 \text{ MPa}$$

$$d = ?$$

$$\Delta l = ?$$

– promjer užeta  $d_1$ :

$$\text{Iz } \sigma_{vd} = \frac{G}{A} \rightarrow A = \frac{G}{\sigma_{vd}} = \frac{40000}{200} = 200 \text{ mm}^2$$

$$\text{Iz } A = \frac{d^2 \pi}{4} \rightarrow d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 200}{3.14}} = 15.96 \text{ mm} = \boxed{16 \text{ mm}}$$

5 bodova

$$\text{– produljenje užeta: } \Delta l = \frac{G \cdot l}{A \cdot E} = \frac{40000 \cdot 6000}{200 \cdot 210 \cdot 10^3} = \boxed{5.68 \text{ mm}}$$

5 bodova

## 2. 15 bodova

$$a = 10 \text{ mm}$$

$$l = 18 \text{ m} = 18000 \text{ mm}$$

$$F_k = 80 \text{ kN} = 80000 \text{ N}$$

$$\sigma_{vd} = 80 \text{ MPa} = 80 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$\rho = 77850 \text{ kg/m}^3$$

$$b = ?$$

$$\text{– iz } \sigma_{vd} = \frac{F_k + G}{A} \rightarrow A \cdot \sigma_{vd} = F_k + G$$

$$G = m \cdot g = \rho \cdot v \cdot g = \rho \cdot A \cdot l \cdot g$$

$$A \cdot \sigma_{vd} = F_k + \rho A \cdot l \cdot g$$

$$\boxed{A(\sigma_{vd} - \rho l \cdot g) = F_k}$$

5 bodova

$$A = \frac{F_k}{\sigma_{vd} - \rho \cdot l \cdot g} = \frac{80000}{80 \cdot 10^6 - 77850 \cdot 18 \cdot 9.81} = \frac{80000}{66138847} = 0.0012095 \text{ m}^2 = \boxed{1209.5 \text{ mm}^2}$$

5 bodova

$$\text{– širina štapa: Iz } A = b \cdot a \rightarrow b = \frac{A}{a} = \frac{1209.5}{10} = \boxed{120.95 \text{ mm}}$$

5 bodova

## 3. 20 bodova

$$b = 75 \text{ mm}$$

$$F = 15 \text{ kN}$$

$$p_d = 1.5 \text{ MPa}$$

$$a = ?$$

– reakcija u osloncu B:

$$\sum M_A = 0 \rightarrow -F_B \cdot l + F \cdot l_1 = 0$$

$$F_B = \frac{F \cdot l_1}{l} = \frac{15000 \cdot 2}{3} = \boxed{10000 \text{ N}}$$

5 bodova

$$\text{– dužina } a: \text{ Iz } p_d = \frac{F}{A} = \frac{F}{a \cdot b} \rightarrow a = \frac{F}{b \cdot p_d} = \frac{10000}{75 \cdot 1.5} = 88.88 \text{ mm} \quad \boxed{a=90 \text{ mm}}$$

5 bodova

## 4. 10 bodova

$$F = 60 \text{ N}$$

$$\sigma_{vd} = 70 \text{ MPa}$$

$$d = ?$$

$$h = ?$$

– promjer svornjaka:

$$\text{Iz } \sigma_{vd} = \frac{F}{A} \rightarrow A = \frac{F}{\sigma_{vd}} = \frac{60000}{70} = \boxed{857.14 \text{ mm}^2}$$

5 bodova

$$\text{Iz } A = \frac{d^2 \pi}{4} \rightarrow d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 857.14}{3.14}} = \boxed{33 \text{ mm}}$$

5 bodova

$$\text{– visina glave svornjaka: } \tau_{od} = (0.75 - 0.80) \sigma_{vd} = 0.775 \cdot \sigma_{vd} = 0.775 \cdot 70 = 54.25 \text{ MPa}$$

$$\text{Iz } \tau_{od} = \frac{F}{A} \rightarrow A = \frac{F}{\tau_{od}} = \frac{60000}{54.25} = \boxed{1205.99 \text{ mm}^2}$$

5 bodova

$$\text{Iz } A = d \cdot \pi \cdot h \rightarrow h = \frac{A}{d \cdot \pi} = \frac{1205.99}{33 \cdot 3.14} = 10.67 = \boxed{h = 11 \text{ mm}}$$

5 bodova

## TEHNIČKA MEHANIKA – ČVRSTOĆA

### Drugi programski zadatak

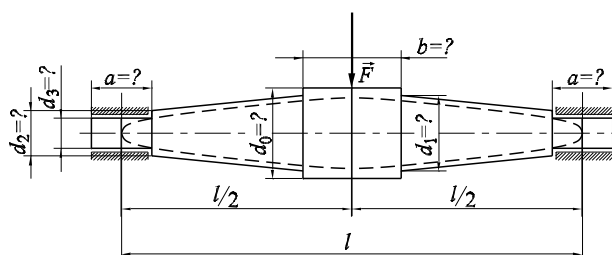
Ime i prezime: \_\_\_\_\_ Razred: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

#### ELEMENTI JEDNAKE ČVRSTOĆE NA SAVIJANJE

##### Zadatak.

Osovina prema slici opterećena je po sredini silom  $F$ . Treba odrediti promjere osovine da nosač bude jednake čvrstoće na savijanje za  $x = l/2, l/4, l/8, l/16, l/32$  i  $l/64$  prema zadanom dopuštenom opterećenju i duljini prema tablici. Idealni i stvarni profil osovine prikažite grafički u odabranom mjerilu, te odredite stvarne promjere kotirane na slici.

Izračunajte veličinu progiba  $f$  i polumjer zakrivljenosti  $\rho$  elastične linije u opasnom presjeku, te kut zakreta  $\varphi$  elastične linije u osloncima  $A$  i  $B$  osovine ako je ona izrađena od ugljičnog čelika.



Sl. 2.

Sila $F$ / kN/	50	55	60	65	70	75
Duljina $l$ / m/	0.4	0.5	0.6	0.4	0.5	0.6
Dopušteno naprezanje $\sigma_{dop}$ / MPa/	60	65	70	80	90	100

##### UPUTA ZA RJEŠAVANJE ZADATKA.

Proračun promjera idealnog oblika osovine izvršiti prema 1. zadatku iz udžbenika u okviru riješenih primjera poglavlja 5.4 ELEMENTI JEDNAKE ČVRSTOĆE NA SAVIJANJE. Grafički prikaz idealnog i stvarnog oblika vratila riješiti prema slici 5-51 (isto poglavlje).

Izraze za progib i kut elastične linije odabrati prema tablici 16 udžbenika, poglavlje 5.6 ELASTIČNA CRTA (POLUMJER ZAKRIVLJENOSTI, KUT NAGIBA I PROGIB), polumjer zakrivljenosti riješiti kao u 7. zadatku u okviru riješenih primjera istog poglavlja.

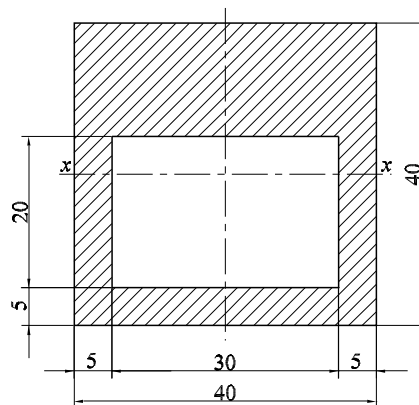
**TEHNIČKA MEHANIKA – ČVRSTOĆA**  
**Druga školska zadaća**

**Grupa A**

Ime i prezime: \_\_\_\_\_ Razred: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

1. Za presjek prema slici odredite vlastiti aksijalni moment inercije i otpora za os  $x$ .

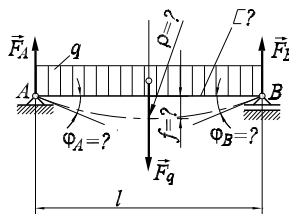
**25 bodova**



Sl. 3.

2. Prosta greda prema slici kontinuirano je opterećena s jediničnim opterećenje  $q = 20 \text{ kN/m}$ . Raspon između oslonca je 6 m. Koji  $\Gamma$ -profil treba odabrati, koliki je progib i polumjer zakrivljenosti elastične linije u opasnom presjeku, te koliki su kutovi nagiba elastične linije u osloncima  $A$  i  $B$  izraženi u stupnjevima?  $\sigma_{s_d} = 160 \text{ MPa}$ ,  $E = 210 \text{ GPa}$ .

**35 bodova**  
 **$\Sigma$  70 bodova**



Sl. 4.

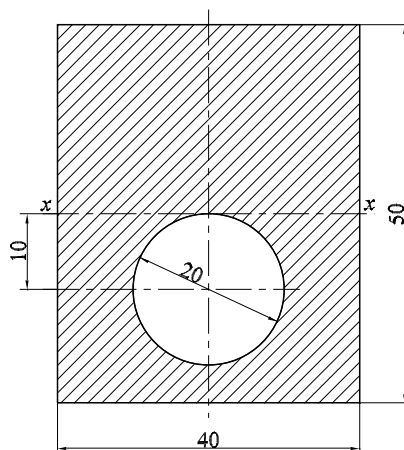
**TEHNIČKA MEHANIKA – ČVRSTOĆA**  
**Druga školska zadaća**

**Grupa B**

Ime i prezime: \_\_\_\_\_ Razred: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

1. Za presjek prema slici odredite vlastiti aksijalni moment inercije i otpora za os  $x$ .

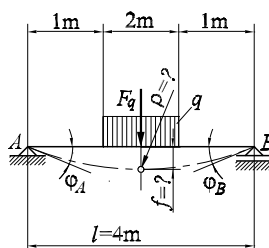
**25 bodova**



Sl. 5.

2. Nosач iz  $I$ -profila duljine 4 m, opterećen je kontinuiranim opterećenjem  $q = 50 \text{ kN/m}$ , prema slici. Odredite dimenzije  $I$ -profila, progib i polumjer zakrivljenosti elastične linije u opasnom presjeku te kuta nagiba elastične crte u osloncu  $A$ ;  $\sigma_{\text{vd}} = 60 \text{ MPa}$ ,  $E = 200 \text{ GPa}$ .

**35 bodova**  
 $\Sigma$  **70 bodova**



Sl. 6.

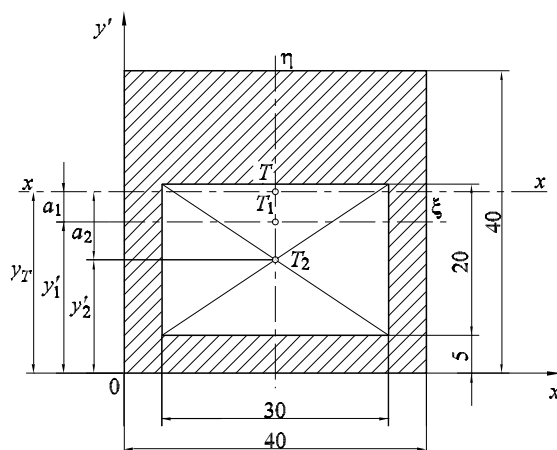
## ISPRAVAK 2. ŠKOLSKE ZADAĆE

Grupa A

1.

$$a_1 = y_T - y'_1 = 2.3 - 2 = 0.3 \text{ cm}$$

$$a_2 = y_T - y'_2 = 2.3 - 1.5 = 0.8 \text{ cm}$$



– težište:

$$y'_1 = 2 \text{ cm} \quad A_1 = 4 \cdot 4 = 16 \text{ cm}^2 \quad A = A_1 - A_2$$

$$y'_2 = 1.5 \text{ cm} \quad A_2 = 3 \cdot 2 = 6 \text{ cm}^2 \quad A = 16 - 6 = 10 \text{ cm}^2$$

$$y_T = \frac{A_1 y'_1 - A_2 \cdot y'_2}{A} = \frac{16 \cdot 2 - 6 \cdot 1.5}{10} = \boxed{2.3 \text{ cm}}$$

5 bodova

– momenti inercije za os x:

$$I_x = I_{x_1} - I_{x_2}$$

$$I_{x_1} = I_{\xi} + A_1 \cdot a_1^2 = \frac{a^4}{12} + A_1 a_1^2 = \frac{4^4}{12} + 16 \cdot 0.3^2 = 21.33 + 1.44 = 22.77 \text{ cm}^4$$

7.5 bodova

$$I_{x_2} = I_{\xi} + A_2 \cdot a_2^2 = \frac{b \cdot h^3}{12} + A_2 \cdot a_2^2 = \frac{3 \cdot 2^3}{12} + 6 \cdot 0.8^2 = 2 + 3.84 = 5.84 \text{ cm}^4$$

7.5 bodova

$$I_x = 22.77 - 5.84 = \boxed{16.93 \text{ cm}^4}$$

15 bodova

– moment otpora za os x:

$$W_x = \frac{I_x}{y_{\max}} = \frac{16.93}{2.3} = \boxed{7.36 \text{ cm}^3}$$

5 bodova

Σ 25 bodova

2.

$$q = 20 \text{ kN/m} = 20 \text{ N/mm}$$

$$l = 6 \text{ m} = 6000 \text{ mm}$$

$$\sigma_{sd} = 160 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

$$C = ?$$

$$f = ?$$

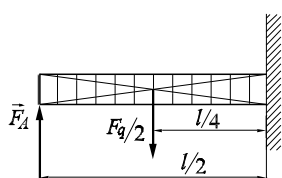
$$\rho = ?$$

$$\varphi_{A,B} = ?$$

– reakcija u osloncima  $F_A$  i  $F_B$ :

$$F_A = F_B = \frac{F_q}{2} = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{20 \cdot 6}{2} = 60 \text{ kN} = \boxed{6 \cdot 10^4 \text{ N}}$$

5 bodova

– maksimalni moment savijanja  $M_{s_{\max}}$ :

$$M_{s_{\max}} = F_A \cdot \frac{l}{2} - \frac{F_q}{2} \cdot \frac{l}{4} = 60 \cdot \frac{6}{2} - \frac{120}{2} \cdot \frac{6}{4}$$

$$M_{s_{\max}} = 180 - 90 = 90 \text{ kNm} = 9 \cdot 10^7 \text{ Nmm}$$

5 bodova

– moment otpora  $W$ :

$$Iz \sigma_{sd} = \frac{M_{s_{\max}}}{W} \rightarrow W = \frac{M_{s_{\max}}}{\sigma_{sd}} = \frac{9 \cdot 10^7}{160} = 562\,500 \text{ mm}^3$$

$$W = \boxed{562.5 \cdot 10^3 \text{ mm}^3}$$

5 bodova



– izbor dimenzije  $\Gamma$  – profila:

Iz tab. 15 (udžbenik) za  $W_x = 679 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$  očitavamo:  $\Gamma 32; I_w = 10\,870 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$

**5 bodova**

– progib u opasnom presjeku:

$$f = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384E \cdot I_x} = \frac{5 \cdot 20 \cdot 6\,000^4}{384 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 10\,870 \cdot 10^4} = \frac{1.296 \cdot 10^{17}}{0.08765568 \cdot 10^{17}} = \boxed{14.78 \text{ mm}}$$

**5 bodova**

– polumjer zakrivljenosti  $\rho$  elastične linije u opasnom presjeku:

$$\rho = \frac{E \cdot I_x}{M_{s_{\max}}} = \frac{210 \cdot 10^3 \cdot 10\,870 \cdot 10^3}{90 \cdot 10^6} = \frac{2\,282\,700}{90} = \boxed{25\,363 \text{ mm}}$$

**5 bodova**

– kut zakretanja elastične linije u osloncima A i B:

$$\varphi_A = \varphi_B = \frac{q \cdot l^3}{24 \cdot E \cdot I_x} = \frac{20 \cdot 6\,000^3}{24 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 10\,870 \cdot 10^4} = \frac{4.32 \cdot 19^{12}}{547.848 \cdot 10^{12}} = \boxed{0.0788539 \text{ rad}}$$

$$\varphi_A = \varphi_B = 0.0788539 \cdot \frac{180^\circ}{\pi} = 0.452^\circ = 0^\circ 27' 7''$$

**5 bodova**  
 $\Sigma$  **35 bodova**

## ISPRAVAK 2. ŠKOLSKE ZADAĆE

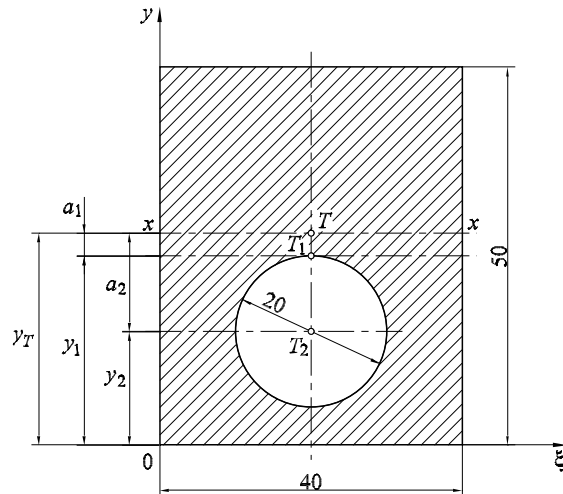
Grupa B

1.

$$a_1 = y_T - y_1 = 2.68 - 2.5 = 0.18 \text{ cm}$$

$$a_2 = y_T - y_2 = 2.68 - 1.5 = 1.18 \text{ cm}$$

$$y_{\max} = y_T = 2.68 \text{ cm}$$



- težište:

$$y_1 = 2.5 \text{ cm} \quad A_1 = 4 \cdot 5 = 20 \text{ cm}^2 \quad A = A_1 - A_2 = 20 - 3.14$$

$$y_2 = 1.5 \text{ cm} \quad A_2 = \frac{d^2 \pi}{4} = \frac{2^2 \cdot \pi}{4} = 3.14 \text{ cm}^2 \quad A = 16.85 \text{ cm}^2$$

$$y_T = \frac{A_1 \cdot y_1 - A_2 \cdot y_2}{A} = \frac{20 \cdot 2.5 - 3.14 \cdot 1.5}{16.85} = \frac{50 - 4.71}{16.85} = 2.68 \text{ cm}$$

5 bodova

- momenti inercije za os x:

$$I_x = I_{x_1} - I_{x_2}$$

$$I_{x_1} = I_{\xi_1} + A_1 \cdot a_1^2 = \frac{b \cdot h^3}{12} + A_1 \cdot a_1^2 = \frac{4 \cdot 5^3}{12} + 20 \cdot 0.18^2 = 41.66 + 0.648 = 42.308 \text{ cm}^4$$

7.5 bodova

$$I_{x_2} = I_{\xi_2} + A_2 \cdot a_2^2 = \frac{d^4 \pi}{64} + A_2 \cdot a_2^2 = \frac{2^4 \cdot 3.14}{64} + 3.14 \cdot 1.18^2 = 0.785 + 4.372 = 5.157 \text{ cm}^4$$

7.5 bodova

$$I_x = 42.308 - 5.157 = 37.151 \text{ cm}^4$$

15 bodova

$$\text{- moment otpora za os x: } W_x = \frac{I_x}{y_{\max}} = \frac{37.151}{2.68} = 13.86 \text{ cm}^3$$

5 bodova

Σ 25 bodova

2.

$$g = 50 \text{ kN/m}$$

$$\sigma_{sd} = 60 \text{ MPa}$$

$$E = 200 \text{ GPa}$$

$$l = 4 \text{ m}$$

$$I = ?$$

$$f = ?$$

$$\rho = ?$$

$$\varphi_{A,B} = ?$$

- reakcije u osloncima  $F_A$  i  $F_B$ :

$$F_A = F_B = \frac{F_q}{2} = \frac{g \cdot l}{2} = \frac{50 \cdot 4}{2} = 100 \text{ kN} = 10^5 \text{ N}$$

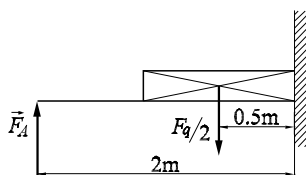
5 bodova

- maksimalni moment savijanja  $M_{s_{\max}}$ 

$$M_{s_{\max}} = F_A \cdot 2 - \frac{F_q}{2} \cdot 0.5 = 100 \cdot 2 - \frac{200}{2} \cdot 0.5$$

$$M_{s_{\max}} = 200 - 50 = 150 \text{ kNm} = 15 \cdot 10^7 \text{ Nmm}$$

5 bodova

- moment otpora  $W_x$ 

$$\text{Iz } \sigma_{sd} = \frac{M_{s_{\max}}}{W} \rightarrow W = \frac{M_{s_{\max}}}{\sigma_{sd}} = \frac{15 \cdot 10^7}{60}$$

$$= 25 \cdot 10^5 = \boxed{2\,500 \cdot 10^3 \text{ mm}^3}$$

**5 bodova**

– izbor I–profila:

$$\text{Iz tab. 14 (udžbenik) za } W_k = 2\,750 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \rightarrow \boxed{I50; \quad I_x = 67\,740 \cdot 10^4 \text{ mm}^4}$$

**5 bodova**– progib u opasnom presjeku ( $f$ )

Prem tab. 16 (udžbenik):

$$f = \frac{q \cdot l^4}{24 \cdot E \cdot I_x} \left( \frac{5}{16} - \frac{3a^2}{2l^2} + \frac{a^4}{l^4} \right)$$

$$f = \frac{50 \cdot 4\,000^4}{24 \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 67\,740 \cdot 10^4} \left( \frac{5}{16} - \frac{3 \cdot 1\,000^2}{2 \cdot 4\,000^2} + \frac{1\,000^4}{4\,000^4} \right)$$

$$f = \frac{1.28 \cdot 10^{16}}{0.325152 \cdot 10^{16}} \left( 0.3125 - \frac{3 \cdot 10^6}{32 \cdot 10^6} + \frac{10^{12}}{2.56 \cdot 10^{14}} \right)$$

$$f = 3.9366(0.3125 - 0.09375 + 0.003906) = \boxed{0.876 \text{ mm}}$$

**5 bodova**– polumjer zakrivljenosti elastičnosti crte u opasnom presjeku ( $\rho$ ):

$$\rho = \frac{E \cdot I_x}{M_{s_{\max}}} = \frac{200 \cdot 10^3 \cdot 67\,740 \cdot 10^4}{15 \cdot 10^7} = \frac{13\,548\,000}{15} = \boxed{903\,200 \text{ mm}}$$

**5 bodova**– kut zakreta elastične crte u osloncu A ( $\varphi_A$ )

Prema tab. 16 (udžbenik):

$$\varphi_A = \frac{q \cdot b}{E \cdot I_k} \left( \frac{l^2}{44} + \frac{2al - 2a^2}{24} \right)$$

$$\varphi_A = \frac{50 \cdot 2\,000}{200 \cdot 10^3 \cdot 67\,740 \cdot 10^4} \left( \frac{4\,000^2}{44} + \frac{2 \cdot 1\,000 \cdot 4\,000 - 2 \cdot 1\,000^2}{24} \right)$$

$$\varphi_A = \frac{10^5}{13\,548 \cdot 10^{10}} \left( 363\,636.36 + \frac{8 \cdot 10^6 - 2 \cdot 10^6}{24} \right)$$

$$\varphi_A = 7.38 \cdot 10^{-10} (363\,636.36 + 250\,000) = 4\,528\,636.337 \cdot 10^{-10}$$

$$\varphi_A = 0.00045286 \text{ rad} \cdot \frac{180^\circ}{\pi} = 0.02596^\circ = \boxed{0^\circ 1' 33''}$$

**5 bodova**  
 $\Sigma$  **35 bodova**

Bodovna ljestvica i ocjene:

Broj bodova	ocjena
ispod 25	nedovoljan (1)
25 – 35	dovoljan (2)
40 – 50	dobar (3)
55 – 60	vrlo dobar (4)
65 – 70	odličan (5)

## TEHNIČKA MEHANIKA – ČVRSTOĆA

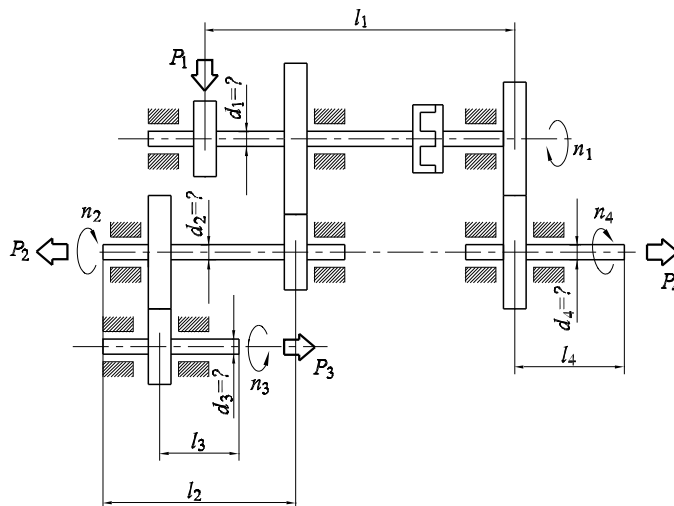
### Treći programski zadatak

Ime i prezime: \_\_\_\_\_ Razred: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

#### DIMENZIONIRANJE I PROVJERA KRUTOSTI VRATILA

##### Zadatak.

Izračunajte promjere vratila i provjerite njihovu krutost za vretenište prema slici prema zadanim parametrima u tablici.



$P_1$ / kW/	12	14	16	18	20	22	24
$P_2$ / kW/	5	7	6	8	10	10	12
$P_3$ / kW/	4	3	4	4	6	7	8
$P_4$ / kW/	3	4	6	6	4	3	2
$n_1$ / min <sup>-1</sup> /	210	160	460	520	630	840	900
$n_2$ / min <sup>-1</sup> /	260	280	520	800	1 200	1 320	1 480
$n_3$ / min <sup>-1</sup> /	420	520	300	400	600	660	740
$n_4$ / min <sup>-1</sup> /	300	360	920	1 020	800	900	1 200
$l_1$ / m/	0.6	0.48	0.50	0.46	0.40	0.60	0.62
$l_2$ / m/	0.42	0.35	0.30	0.32	0.34	0.40	0.42
$l_3$ / m/	0.28	0.30	0.25	0.28	0.30	0.32	0.35
$l_4$ / m/	0.28	0.28	0.30	0.35	0.32	0.32	0.40
$\tau_d$ / MPa/	30		36		42		
$\vartheta_d$ °/m	0.5		0.8				

##### UPUTA ZA RJEŠAVANJE ZADATKA.

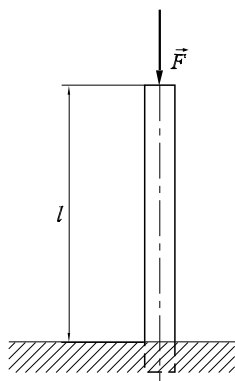
Momente uvijanja izračunati prema izrazu danom u udžbeniku u okviru naslova 6.2.1 *Dimenzioniranje s obzirom na čvrstoću*, a promjere vratila iz naprezanja na uvijanje kao u riješenim primjerima u udžbeniku u okviru poglavlja 6. **NAPREZANJE PRI UVIJANJU ILI TORZIJI.**

Provjeru krutosti vratila izvršiti kao u zadatku 1. u okviru riješenih primjera iz poglavlja 6. Modul klizanja odabrati iz tablice 17. za ugljični čelik.

## DIMENZIONIRANJE ELEMENATA IZLOŽENIH IZVIJANJU

**Zadatak.**

Dimenzionirajte čelični stup zadanog profila opterećenog prema slici za poznate veličine u tablici:



$F / \text{kN/}$	40	45	50	55	30	35	40	45
$l / \text{m/}$	5		6		4		5	
$\nu$	3.5		4		2.5		3	
$\sigma_p / \text{MPa/}$	160		180		140		180	
$E / \text{GPa/}$	200		210		200		210	
Presjek stupa	<i>I-profil</i>	<i>C-profil</i>			<i>I-profil</i>	<i>C-profil</i>		

**UPUTA ZA RJEŠAVANJE ZADATKA.**

Zadatak riješiti kao zadatak 2. u okviru riješenih primjera poglavlja 7.4 DIMENZIONIRANJE ELEMENATA IZLOŽENIH IZVIJANJU naslova 7.4.1 Dimenzioniranje primjenom Eulerovih jednažbi.

Ukoliko vitkost ne zadovoljava primjenu Eulerovih jednažbi, zadatak rješavati prema zadatku 1. u okviru riješenih primjera iza naslova 7.4.2 Dimenzioniranje primjenom Tetmayerovih jednažbi.

**TEHNIČKA MEHANIKA – ČVRSTOĆA**  
**Treća školska zadaća**

**Grupa A**

Ime i prezime: \_\_\_\_\_ Razred: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

1. Izračunajte promjer vratila kojim se prenosi snaga  $P = 30 \text{ kW}$  pri  $n = 1\,200 \text{ min}^{-1}$  ako je poprečni presjek šuplji s omjerom  $\beta = d/D = 1/3$ ;  $\tau_{td} = 25 \text{ MPa}$ .

**20 bodova**

2. Vratilo promjera  $d = 60 \text{ mm}$  opterećeno je momentom uvijanja  $M_t = 1\,600 \text{ Nm}$ . Modul smika je  $G = 80 \text{ GPa}$ . Provjerite:

- čvrstoću vratila ako je  $\tau_{td} = 40 \text{ MPa}$
- krutost vratila ako je dopušteni zakretni kut  $\vartheta_d = 0.2^\circ/\text{m}$ .

**15 bodova**

3. Koliki teret smije nositi hrastov stup visine  $4 \text{ m}$  pravokutnog presjeka  $b \times h = 150 \times 200 \text{ mm}$  uz koeficijent sigurnosti  $\nu = 3.5$  ako je modul elastičnosti  $E = 10\,500 \text{ MPa}$ ? Stup je zglobno vezan na oba kraja.

**15 bodova**

**TEHNIČKA MEHANIKA – ČVRSTOĆA**  
**Treća školska zadaća**

**Grupa B**

Ime i prezime: \_\_\_\_\_ Razred: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

1. Odredite promjer vratila kojim se snaga prenosi putem remenskog prijenosa ako je promjer remenice  $D = 360 \text{ mm}$ , sila u radnom kraku remena iznosi  $F = 4.5 \text{ kN}$ , a materijal vratila je iz čelika dopuštenog naprezanja na uvijanje  $\tau_{td} = 20 \text{ MPa}$ . Koliko je stvarno naprezanje?

**15 bodova**

2. Vratilo izrađeno iz ugljičnog čelika s modulom smika  $G = 80 \text{ GPa}$  prenosi moment uvijanja  $M_u = 200 \text{ Nm}$ . Odredite:

- promjer vratila ako je dopušteni zakretni kut  $\vartheta_d = 0.003 \text{ rad/m}$
- stvarni kut uvijanja  $\varphi$  ako je razmak od prijenosnog do prijenosnog člana  $l = 400 \text{ mm}$ .

**15 bodova**

3. Odredite veličinu  $I$ -profila čeličnog stupa ako je on na jednom kraju uklješten, a na drugom slobodan. Dužina stupa je  $3 \text{ m}$ ;  $E = 210 \text{ GPa}$ ;  $\nu = 12$ , a opterećen je tlačnom silom  $F = 150 \text{ kN}$ .

**30 bodova**

## ISPRAVAK 3. ŠKOLSKE ZADACÉ

Grupa A

1.

$$P = 30 \text{ kW}$$

$$n = 1\,120 \text{ min}^{-1}$$

– moment uvijanja:

$$M_u = 0.159 \cdot \frac{P}{n} = 0.159 \cdot \frac{30 \cdot 10^3}{18.66} = 0.156 \cdot 1\,607.7 = \boxed{255.627 \text{ Nm}}$$

$$\beta = d/D = 1/3$$

$$\tau_{ud} = 25 \text{ MPa}$$

5 bodova

$$D = ?$$

$$d = ?$$

$$\text{– promjer vratila: Iz } \tau_{vd} = \frac{M_u}{w_p} = \frac{M_u}{0.2D^3(1-\beta^4)}$$

$$\rightarrow D = \sqrt[3]{\frac{M_u}{0.2\tau_{vd}(1-\beta^4)}} = \sqrt[3]{\frac{255.627}{0.2 \cdot 25 \cdot 10^6(1-0.33^4)}} = \sqrt[3]{\frac{255.627}{4\,940\,704}}$$

$$D = \sqrt[3]{5.1738 \cdot 10^{-0.5}} = 0.03726 \text{ m} = 37.26 \text{ mm}, \text{ standardizirano: } \boxed{D = 40 \text{ mm}}$$

10 bodova

$$\text{Iz } \beta = \frac{d}{D} \rightarrow d = D \cdot \beta = 40 \cdot \frac{1}{3} = \boxed{13.3}$$

5 bodova

2.

$$d = 60 \text{ mm}$$

$$M_u = 1\,600 \text{ Nm}$$

$$G = 80 \text{ GPa}$$

$$\tau_{ud} = 40 \text{ MPa}$$

$$\vartheta_d = 0.2^\circ/\text{m}$$

– čvrstoća vratila:

$$\tau_u = \frac{M_u}{w_p} = \frac{M_u}{0.2d^3} = \frac{1\,600 \cdot 10^3}{0.2 \cdot 60^3} = \boxed{37 \text{ MPa}}$$

5 bodova

 $\tau = 37 \text{ MPa} < \tau_{ud} = 40 \text{ MPa}$  – čvrstoća zadovoljava

– specifični kut uvijanja:

a)  $\tau_u = ?$

b)  $\vartheta = ?$

$$\vartheta = \frac{M_u}{G \cdot I_p}; \quad I_p = \frac{d^4 \pi}{32} = \frac{60^4 \cdot 3.14}{32} = \boxed{1\,271\,700 \text{ mm}^4}$$

5 bodova

$$\vartheta = \frac{16 \cdot 10^5}{80 \cdot 10^3 \cdot 1\,271\,700} = \frac{1\,600}{101\,736\,000} = 0.0000157 \text{ rad/m} = 0.000157 \cdot \frac{180^\circ}{\pi}$$

$$= \boxed{0.0009^\circ/\text{m} < \vartheta_d = 0.2^\circ/\text{m}} \text{ – krutost zadovoljava}$$

5 bodova

3.

$$l = 4 \text{ m}$$

$$b \times h = 150 \times 200 \text{ mm}$$

$$v = 3.5$$

$$E = 10\,500 \text{ MPa}$$

$$F = ?$$

– minimalni moment inercije:

$$I_{\min} = \frac{h \cdot b^3}{12} = \frac{200 \cdot 150^3}{12} = \boxed{56\,250\,000 \text{ mm}^4}$$

5 bodova

$$\text{– maksimalni teret: } F = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{\min}}{v \cdot l^2} = \frac{3.14^2 \cdot 10\,500 \cdot 56 \cdot 250 \cdot 000}{3.5 \cdot 4\,000^2} = \boxed{103\,988 \text{ N}}$$

5 bodova

$$\text{– vitkost stupa: } \lambda = \frac{l}{i_{\min}}; \quad i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} = \sqrt{\frac{56\,250\,000}{150 \cdot 200}} = \sqrt{1\,875}$$

$$= 43.3 = \frac{4\,000}{43.3} = \boxed{92.37 < \lambda_p = 100} \text{ – ne zadovoljava račun po Eulerovoj formuli}$$

5 bodova

– račun po Tetmayeru:

$$\sigma_{kr} = 29.3 - 1.9 \cdot \lambda = 29.3 - 1.9 \cdot 92.37 = 29.3 - 175.5 = \boxed{-146.2 \text{ MPa}}$$

5 bodova

$$\text{Iz } \sigma_{kr} = \frac{F}{A} \cdot v \rightarrow F = \frac{\sigma_{kr} \cdot A}{v} = \frac{30\,000 \cdot (-146.2)}{3.5} = \boxed{-1\,253\,143 \text{ N}} = -1\,253 \text{ kN}$$

5 bodova

## ISPRAVAK 3. ŠKOLSKE ZADAĆE

Grupa B

1.

$D = 360 \text{ mm}$

– moment uvijanja:

$F = 4.5 \text{ kN}$

$\tau_{ud} = 20 \text{ MPa}$

$d = ?$

$$M_u = F \cdot \frac{D}{2} = 4500 \cdot \frac{360}{2} = \boxed{810\,000 \text{ Nmm}}$$

5 bodova

– promjer vratila:

$$\text{Iz } \tau_{ud} = \frac{M_u}{W_p} = \frac{M_u}{0.2d^3} \rightarrow d = \sqrt[3]{\frac{M_u}{0.2 \cdot \tau_{ud}}} = \sqrt[3]{\frac{810\,000}{0.2 \cdot 20}} = 58.7 \text{ mm, standardizirano: } \boxed{d = 60 \text{ mm}}$$

5 bodova

$$\text{– stvarno naprezanje: } \tau = \frac{M_u}{W_p} = \frac{M_u}{0.2d^3} = \frac{810\,000}{0.2 \cdot 60^3} = \frac{810\,000}{43\,200} = \boxed{18.75 \text{ MPa} < \tau_{ud} 20 \text{ MPa}}$$

5 bodova

2.

$G = 80 \text{ GPa}$

– promjer vratila:

$M_u = 200 \text{ Nm}$

$\vartheta_d = 0.003 \text{ rad/m}$

$l = 400 \text{ mm}$

$$\text{Iz } \vartheta = \frac{M_u}{G \cdot I_p} \rightarrow I_p = \frac{M_u}{G \cdot \vartheta} = \frac{200}{80 \cdot 10^9 \cdot 0.003} = \boxed{8.33333333 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4}$$

5 bodova

a)  $d = ?$

b)  $\varphi = ?$

$$\text{Iz } I_p = \frac{\pi \cdot d^4}{32} \rightarrow d = \sqrt[4]{\frac{32 \cdot I_p}{\pi}} = \sqrt[4]{\frac{32 \cdot 8.33333333 \cdot 10^{-7}}{3.14}}$$

$$d = \sqrt[4]{8.492569 \cdot 10^{-6}} = 0.05398 \text{ m} = 53.98 \text{ mm, standardizirano: } \boxed{d = 55 \text{ mm}}$$

5 bodova

– kut uvijanja:

$$\text{Iz } \vartheta = \frac{\varphi}{l} \rightarrow \varphi = \vartheta \cdot l = \frac{M_u}{G \cdot I_p} \cdot l = \frac{200 \cdot 4}{80 \cdot 10^9 \cdot 8.3 \cdot 10^{-7}} = \frac{800}{66\,400} = \boxed{0.012 \text{ rad} \cdot \frac{180^\circ}{\pi} = 0.69^\circ}$$

5 bodova

3.

$l = 3 \text{ m}$

– minimalni moment inercije:

$E = 210 \text{ GPa}$

$v = 12$

$F = 250 \text{ kN}$

$I = ?$

$$\text{Iz } F = \frac{F_k}{v} = \frac{\pi^2 E \cdot I_{\min}}{l^2} \rightarrow I_{\min} = \frac{v \cdot l^2 \cdot F}{\pi^2 \cdot E} = \frac{12 \cdot 3\,000^2 \cdot 250 \cdot 10^3}{3.14^2 \cdot 210 \cdot 10^3}$$

$$I_{\min} = \frac{2.7 \cdot 10^{10}}{2\,070.5} = \boxed{13\,040\,328 \text{ mm}^4}$$

5 bodova

– izbor profila:

$$\text{Za } I_{\min} = I_y = 1\,440 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 \rightarrow \boxed{I\,42.5; A = 13\,200 \text{ mm}^2}$$

5 bodova

$$\text{– vitkost stupa: } \lambda = \frac{l_o}{i_{\min}}; \quad i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} = \sqrt{\frac{1\,440 \cdot 10^4}{13\,200}} = \sqrt{1\,090.90} = \boxed{33 \text{ mm}}$$

5 bodova

$$\lambda = \frac{l}{i_{\min}} = \frac{3\,000}{33} = \boxed{90.9 < \lambda_p = 105} \text{ – proračun po Euleru ne zadovoljava}$$

5 bodova

– dimenzioniranje po Tetmayeru:

$$\sigma_{kr} = 310 - 1.14 \cdot \lambda = 310 - 1.14 \cdot 90.9 = 310 - 103.63 = \boxed{206.37}$$

5 bodova

$$\text{Iz } \sigma_{kr} = \frac{F}{A} \cdot v \rightarrow A = \frac{F \cdot v}{\sigma_{kr}} = \frac{250 \cdot 10^3 \cdot 12}{206.37} = 14\,536.99 = \boxed{14\,537 \text{ mm}^2}$$

$$\text{Iz tab. za } I\text{-profil za } A = 14\,700 \text{ mm}^2 \rightarrow \boxed{I\,45}$$

5 bodova