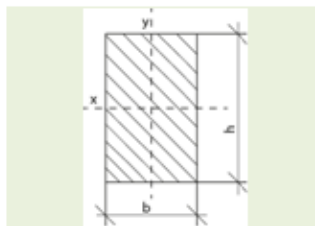


LESARSTVO IN TAPETNIŠTVO



TRDNOST ZA SREDNJE LESARSKÉ ŠOLE



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

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

Janja Hadalin, Katarina Hvasti



www.bodiprofi.si





SPLOŠNE INFORMACIJE O GRADIVU

Izobraževalni program: Lesarski tehnik

Ime modula: **TRDNOST ZA SREDNJE LESARSKE ŠOLE**

Naslov učnih tem ali kompetenc, ki jih obravnava učno gradivo: merske enote, sile, navor, dimenzioniranje na nateg, tlak, upogib, uklon, strig in torzijo.

Avtorici: Janja Hadalin, Katarina Hvasti

Recenzent: Kovačič Bojan

Lektorica: Barbara Oman

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

Hadalin, J., Hvasti, K.
Lesarstvo [Elektronski vir] : Trdnost za srednje lesarske šole /Janja Hadalin, Katarina Hvasti. - El. knjiga. - Kranj : Konzorcij šolskih centrov, 2010.

Način dostopa (URL): <http://munus2.tsc.si>. - Projekt MUNUS 2

ISBN xxxxxxxxxxxxxx
xxxxxxxxxx

Izdajatelj: Konzorcij šolskih centrov Slovenije v okviru projekta MUNUS 2
Slovenija, avgust 2009

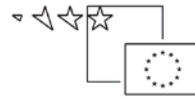


To delo je ponujeno pod Creative Commons Priznanje avtorstva-Nekomercialno-Deljenje pod enakimi pogoji 2.5 Slovenija licenco.

Učno gradivo je nastalo v okviru projekta Munus 2. Njegovo izdajo je omogočilo sofinanciranje Evropskega socialnega sklada Evropske unije in Ministrstva za šolstvo in šport.



MERSKE ENOTE	3
PRETVARJANJE ENOT	5
PRETVARJANJE VEČJIH ENOT V MANJŠE	6
PRETVARJANJE MANJŠIH ENOT V VEČJE	8
<i>NALOGE ZA PRETVARJANJE ENOT</i>	<i>9</i>
SILE	10
TRDNOST	12
NAPETOST	13
NATEZNA IN TLAČNA NAPETOST	20
<i>RAČUNSKÉ NALOGE ZA NATEZNO IN TLAČNO OBREMENTEV:</i>	<i>21</i>
STRIŽNA NAPETOST	24
<i>RAČUNSKÉ NALOGE ZA IZRAČUN STRIŽNE NAPETOSTI:</i>	<i>27</i>
NAVOR	29
UPOGIBNA TRDNOST	30
<i>RAČUNSKÉ NALOGE ZA DOLOČANJE ZUNANJIH SIL V NOSILCIH</i>	<i>34</i>
DOLOČANJE NOTRANJIH SIL NOSILCEV	38
<i>RAČUNSKÉ NALOGE ZA DOLOČANJE NOTRANJIH SIL:</i>	<i>42</i>
DIMENZIONIRANJE NA UPOGIB	44
<i>RAČUNSKÉ NALOGE ZA DIMENZIONIRANJE NA UPOGIB:</i>	<i>52</i>
TORZIJSKA TRDNOST (VZVOJ)	53
<i>RAČUNSKÉ NALOGE ZA PRERAČUNE PRI OBREMENTVI NA TORZIJO</i>	<i>55</i>
UKLONSKA TRDNOST	56
DIMENZIONIRANJE PO Ω POSTOPKU	2
<i>RAČUNSKÉ NALOGE ZA DIMENZIONIRANJE PO ω POSTOPKU</i>	<i>5</i>
VIRI:	6



Si predstavljaš življenje brez merskih enot?

Položiti bi morali 16 parketa, kupiti 10 desk, dolgih 4...

Zato so ljudje že pred stoletji začeli uporabljati razne mere za stvari, ki so jih uporabljali.

Ali si se kdaj vprašal, kolikšna sila pravzaprav je 1 N?

S katerimi enotami vse lahko merimo gostoto?

Katere merske enote poznamo in kaj z njimi merimo?

MERSKE ENOTE

Merska enota je dogovorjena vrednost veličine. Osnovne enote so: meter (m), kilogram (kg), sekunda (s), amper (A), kelvin (K) in mol (mol). Vse druge enote so izpeljane. Določimo jih iz osnovnih enot z ustreznimi veličinskimi enačbami. Izpeljane enote so npr. joule (J), pascal (Pa), newton (N), m^3 , ...

Poglejmo si enoto newton:

$$1\text{N} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} = 1 \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Geometrijske veličine:

dolžina / in pot s (m)

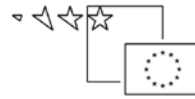
ploščina, površina S (m^2)

prostornina oz. volumen V (m^3)

ravninski kot α ($^\circ$ oz. rad); 2π radianov je enako 360°

? Kaj je merska enota?

? Katere so osnovne merske enote?



Časovne veličine:

čas t (s)

hitrost v (m/s)

pospešek a (m/s²)

kotna hitrost ω (rad/s ali s⁻¹)

Masne veličine:

masa m (kg)

gostota ρ (kg/m³)

Mehanske veličine:

sila F (N)

moment M (Nm)


napetost σ , tlak p (Pa) ; (1 bar = 10⁵ Pa = 10⁵ N/m² = 0,1 MPa)

Energijske veličine:

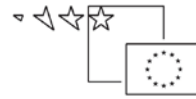
energija E , delo W (J)

moč P (W)

? Katere veličine so povezane s časom?

 Razišči, katere so še možne enote za merjenje gostote!

? Katere so enote za mehanske veličine?



Ker imajo merjene veličine lahko nepregledno veliko ali majhno število enot, so določene še desetiške (decimalne) merske enote, ki jih označujemo s predponami:

deka	da	10^1		deci	d	10^{-1}
hekto	h	10^2		centi	c	10^{-2}
kilo	k	10^3		mili	m	10^{-3}
mega	M	10^6		mikro	μ	10^{-6}
giga	G	10^9		nano	n	10^{-9}

PRETVARJANJE ENOT

Ko vstavljamo enote v enačbo, jih vstavljamo tako, da jih lahko okrajšamo.

Poglejmo si primer za izračun mase lesene kocke z robom 40 cm katere gostota meri 480 kg/m^3 .

$$l = 40 \text{ cm} = 0,4 \text{ m}$$

$$\rho = 480 \text{ kg/m}^3$$

$$V = l^3 = (0,4 \text{ m})^3 = 0,064 \text{ m}^3$$

$$m = \rho \cdot V$$

$$m = 480 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,064 \text{ m}^3 = 30,72 \text{ kg}$$

Kote merimo s kotnimi stopinjami (1°). Manjši enoti od kotne stopinje sta kotna minuta ($1'$) in kotna sekunda ($1''$).

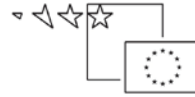
$$1^\circ = 60' = 3600''.$$

Koliko nm potrebujemo za en Gm?

Potence števila 10 pretvori v prava števila!

Kako bi izračunal volumen kocke z gostoto 50 g/cm^3 , ki je težka 2 kg?

Kako lahko na svojem žepnem računalu pretvarjaš med stopinjami, minutami in sekundami?



PRETVARJANJE VEČJIH ENOT V MANJŠE

Ko pretvarjamo večje enote v manjše, moramo pomnožiti večjo z desetiškim pretvornikom ($10^1, 10^2, 10^3, 10^6, 10^9, \dots$), da dobimo pravo število manjših enot:

$$1 \text{ km} = 10^3 \text{ m} = 1000 \text{ m}$$

$$1 \text{ m} = 10^1 \text{ dm} = 10 \text{ dm}$$

$$1 \text{ m} = 10^2 \text{ cm} = 100 \text{ cm}$$

$$1 \text{ m} = 10^3 \text{ mm} = 1000 \text{ mm}$$


$$1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa} = 1\,000\,000 \text{ Pa}$$


$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 100\,000 \text{ Pa} (= 100 \text{ kPa})$$


$$0,8 \text{ kW} = 0,8 \cdot 10^3 \text{ W} = 0,8 \cdot 1\,000 = 800 \text{ W}$$

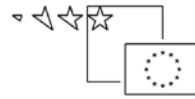
$$3,6 \text{ km/h} = 3\,600 \text{ m} / 3\,600 \text{ s} = 1 \text{ m/s}$$

$$1 \text{ kWh} = 1\,000 \text{ W} \cdot 3\,600 \text{ s} = 3\,600\,000 \text{ J} (= 3,6 \text{ MJ})$$

 Koliko dm meri 24000,5 mm?

 Koliko N je $\frac{500g \cdot 4m}{10s^2}$?

 Kolikšna je površina vaše šolske delavnice v dm^3 ?



Pri pretvarjanju kvadratne (kubične) večje enote v manjšo, moramo desetiški pretvornik ($10^1, 10^2, 10^3, 10^6, 10^9, \dots$) kvadrirati (kubirati).

$$1 \text{ m}^2 = (10^1 \text{ dm})^2 = 10^2 \text{ dm}^2 = 100 \text{ dm}^2$$

$$1 \text{ m}^2 = (10^2 \text{ cm})^2 = 10^4 \text{ cm}^2 = 10\,000 \text{ cm}^2$$

$$1 \text{ m}^2 = (10^3 \text{ mm})^2 = 10^6 \text{ mm}^2 = 1\,000\,000 \text{ mm}^2$$

$$1 \text{ N/cm}^2 = \frac{1 \text{ N}}{(10^1 \text{ mm})^2} = \frac{1 \text{ N}}{100 \text{ mm}^2} = 0,01 \text{ N/mm}^2$$

$$1 \text{ m}^3 = (10^1 \text{ dm})^3 = 10^3 \text{ dm}^3 = 1\,000 \text{ dm}^3$$

$$1 \text{ m}^3 = (10^2 \text{ cm})^3 = 10^6 \text{ cm}^3 = 1\,000\,000 \text{ cm}^3$$

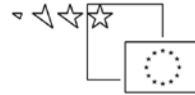
$$1 \text{ m}^3 = (10^3 \text{ mm})^3 = 10^9 \text{ mm}^3 = 1\,000\,000\,000 \text{ mm}^3$$

Pri prostornini tekočin lahko uporabljamo tudi enoto liter l ; $1 \text{ l} = 1 \text{ dm}^3$

? Koliko cm meri 1 m^3 ?

? Koliko m^3 ustreza 1 l ?

📏 Kolikšen je volumen ploha z dolžino 4m, širino 30 cm in debelino 48mm, izraženo v dl?



PRETVARJANJE MANJŠIH ENOT V VEČJE

Če pretvarjamo manjšo enoto v večjo, moramo pomnožiti večjo z decimalnimi pretvorniki ($10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}, 10^{-6}, 10^{-9}, \dots$) oz. deliti z desetiški pretvorniki ($10^1, 10^2, 10^3, 10^6, 10^9, \dots$).

Primeri:

$$1 \text{ dm} = 10^{-1} \text{ m} = \frac{1 \text{ m}}{10^1} = \frac{1 \text{ m}}{10} = 0,1 \text{ m}$$

$$1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m} = \frac{1 \text{ m}}{10^2} = \frac{1 \text{ m}}{100} = 0,01 \text{ m}$$

$$23 \text{ mm} = 23 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 0,023 \text{ m}$$

$$5\,410 \text{ Pa} = 5\,410 \cdot 10^{-3} \text{ kPa} = 5,41 \text{ kPa}$$

$$4,5 \text{ N/mm} = \frac{4,5 \text{ N}}{10^{-3} \text{ m}} = \frac{4,5 \cdot 10^3}{\text{m}} = 4\,500 \text{ N/m}$$


$$\text{Vedi: } 10^{-n} = \frac{1}{10^n}, \quad \frac{1}{10^{-n}} = 10^n$$

$$1 \text{ cm}^2 = (10^{-2} \text{ m})^2 = 10^{-4} \text{ m}^2 = 0,0001 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ N/mm}^2 = \frac{1 \text{ N}}{(10^{-1} \text{ cm})^2} = \frac{1 \text{ N}}{10^{-2} \text{ cm}^2} = \frac{10^2 \text{ N}}{\text{cm}^2} = 100 \text{ N/cm}^2$$

$$1 \text{ dm}^3 = (10^{-1} \text{ m})^3 = 10^{-3} \text{ m}^3 = 0,001 \text{ m}^3$$

? Koliko km meri 1000 dm?

 Izmerite obseg šolske delavnice (znotraj) v cm in ta obseg pretvori v km!



NALOGE ZA PRETVARJANJE ENOT

Pretvori v zahtevano enoto:

$$0,32 \text{ mg} = \dots \text{ kg}$$

$$23 \text{ mm}^2 = \dots \text{ m}^2$$

$$13 \text{ ms} = \dots \text{ s}$$

$$7,8 \text{ km/h} = \dots \text{ m/s}$$

$$0,03 \text{ bar} = \dots \text{ kPa}$$

$$1 \text{ bar} = \dots \text{ MPa}$$

$$0,3 \text{ cm}^2 = \dots \text{ m}^2$$

$$2 \text{ m}^3 = \dots \text{ l}$$

$$1^\circ 3' 25'' = \dots ''$$

$$7,2 \text{ dm}^2 = \dots \text{ mm}^2$$

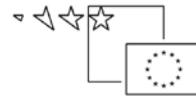
$$84 \text{ m}^3 = \dots \text{ dm}^3$$

$$9000 \text{ cm}^3 = \dots \text{ m}^3$$

(R : $3,2 \cdot 10^{-7} \text{ kg}$; $2,3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$; $1,3 \cdot 10^{-2} \text{ s}$; $2,2 \text{ m/s}$; 3 kPa ; $0,1 \text{ MPa}$; $0,00003 \text{ m}^2$; 2000 l ; $3805''$; 72000 mm^2 ; 84000 dm^3 ; $0,009 \text{ m}^3$)

POVEZAVA Z DRUŽBOSLOVJEM (ZGODOVINO):

Pretvarjanje med zdajšnjimi merskimi enotami in tistimi, ki so se uporabljale v preteklosti ali pa se danes ne uporabljajo v vsakdanjem življenju (milja, čevlji, palci, komolci, jard, ped, ...). Raziskovanje, kdo in kje danes še uporablja te enote.



Sile delujejo na vse okrog nas in tudi na nas. Si kdaj razmišljal, zakaj lahko hodiš samo po tleh in ne po stropu? Zakaj se palica zlomi, če jo preveč upogneš? Zakaj lahko zmečkaš list papirja in se ne bo več vrnil v prvotno obliko? Kaj se zgodi z kosom lesa, ko nanj delujejo različne sile? Kako lahko sile seštejemo?

SILE

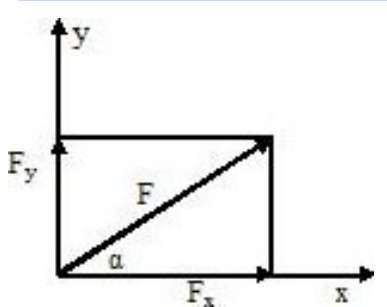
S silo (F) izražamo delovanje telesa na drugo telo, katerega posledica je sprememba oblike ali velikosti telesa.

Sila je vektorska količina, rezultat njenega delovanja je odvisen od velikosti in smeri.

Enota za merjenje sile je 1N.

Silo lahko prikažemo z usmerjeno daljico. Pri tem je smer sile enaka smeri daljice, velikost sile pa ponazorimo z dolžino daljice glede na izbrano merilo.

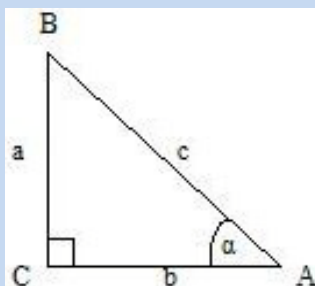
Ker je sila vektorska količina, jo lahko razstavimo na njene komponente. Vektorska vsota teh komponent je enaka izvorni sili.



$$\sin \alpha = \frac{\text{nasprotna kateta}}{\text{hipotenuza}}$$

$$\cos \alpha = \frac{\text{priležna kateta}}{\text{hipotenuza}}$$

$$\tan \alpha = \frac{\text{nasprotna kateta}}{\text{priležna kateta}}$$

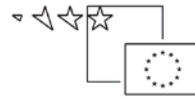


a ... nasprotna kateta (glede na kot α)
b ... priležna kateta (glede na kot α)
c ... hipotenuza

V pravokotnem trikotniku velja
Pitagorov izrek: $a^2 + b^2 = c^2$.

? Kakšna količina je sila?

? Katere sile delujejo nate, ko sediš v šolski učilnici?



Teža telesa F_g je sila, s katero Zemlja deluje na telo iz okolice, ga vleče k središču Zemlje in povzroča težni pospešek: $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Teža telesa je povezana z maso prek Newtonovega zakona dinamike ($F = m \cdot a$) takole: $F_g = m \cdot g$.


Teža je sila, torej je njena merska enota enaka merski enoti sile, to je 1N. Vidimo, da je 1N enak teži telesa z maso $0,1 \text{ kg} = 100 \text{ g}$.

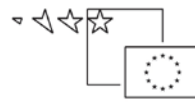
V zbirki uteži so uteži z maso : 1 kg, 0,5 kg in 20 g. Koliko tehtajo te uteži?

(R: 10 N, 5 N in 0,2 N)

POVEZAVA Z NARAVOSLOVJEM:

Kako sile vplivajo na rast dreves? (viharniki, krajše veje smrek v tundri, teren, ki se premika, drevesa ob rekah ...)

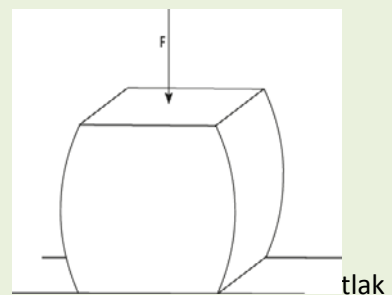
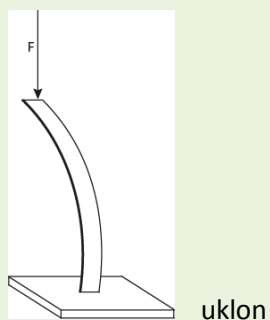
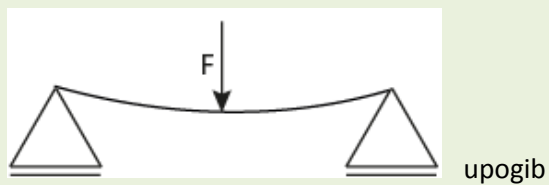
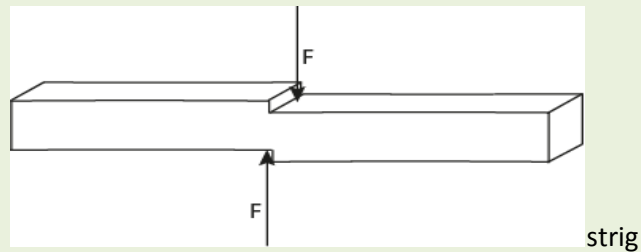
 Katere sile delujejo na raketo, ki se nahaja v breztežnostnem prostoru?

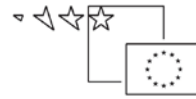


Le zakaj so nekatere stvari bolj trdne od drugih? Lahko odlomiš vejo, ne moreš pa stisniti kamna. Kaj pa pravzaprav je trdnost? Odpor proti delovanju neke sile?

TRDNOST

Trdnost je odpor materiala proti delovanju zunanjih sil.





Ob besedi napetost verjetno najprej pomisliš na električno napetost. Malokdo pa pomisli na obstoj drugih napetosti. Kaj pa imata skupnega napetost, ki se pojavi zaradi obremenitev in les? Kdaj pride do te napetosti in kako jo izmerimo?

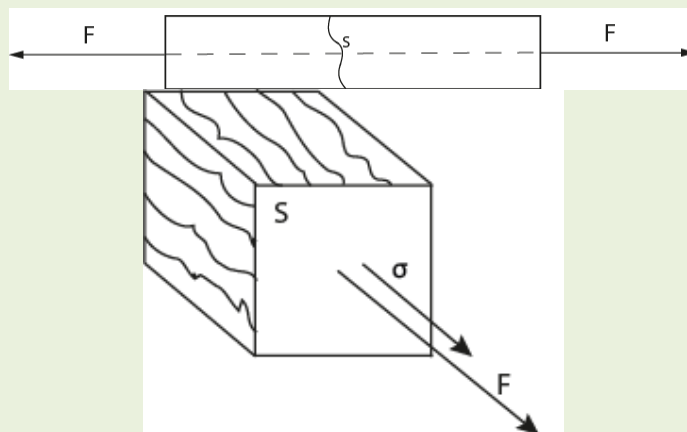
NAPETOST

Napetost je sila, ki deluje na določeno ploskev.

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad , \quad \tau = \frac{F}{S}$$

Enota za napetost: Pa = $\frac{N}{m^2}$, MPa = $\frac{N}{mm^2}$, za les pa $\frac{N}{cm^2}$

Sila lahko deluje pravokotno na prerez materiala in povzroči NORMALNO NAPETOST. To velja za obremenitev na nateg, tlak, upogib in uklon. Normalno napetost označimo s σ .



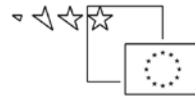
Slika normalne napetosti

? Kakšna je razlika med napetostjo in tlakom?

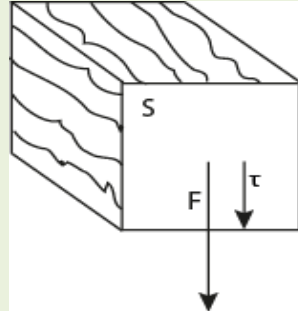
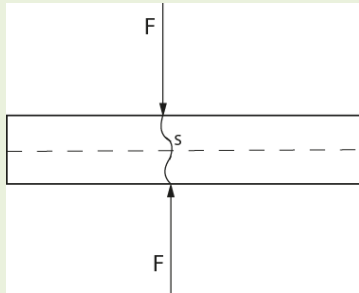
? Kaj je prerez?

? Kaj je ploščina?

? Kaj je površina?



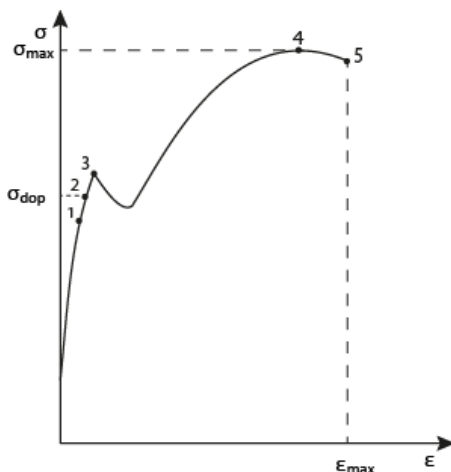
Sila lahko deluje na prerez materiala tangencialno in povzroči TANGENCIALNO NAPETOST. To velja za obremenitev na strig in torzijo. Tangencialno napetost označimo s τ .



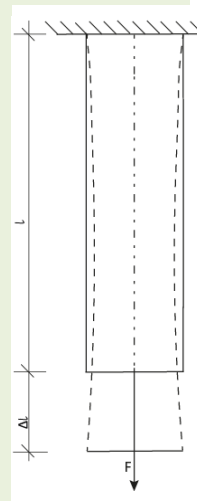
Slika tangencialne napetosti

Zunanja obremenitev povzroči DEJANSKO NAPETOST σ_{dej} na določenem prerezu. To je napetost s katero dejansko obremenimo prerez material. Ta napetost je lahko 0, če se materiala sploh ne dotaknemo, ali pa je enaka MAKSIMALNI NAPETOSTI σ_{max} , če material zlomimo. Zlom nastopi na vrhu $\sigma - \epsilon$ diagrama. Ob zlomu smo dosegli največjo napetost σ_{max} . Pravilna obremenitev lahko nastopi do meje elastičnosti, kar pomeni, da se telo po razbremenitvi vrne v prvotni položaj. Se ne deformira – ne spremeni svoje oblike. Na meji elastičnosti imamo DOPUSTNO NAPETOST σ_{dop} . V območju plastičnosti material spremeni svojo obliko – se deformira (po razbremenitvi se ne vrne v svoj položaj).

$\sigma - \epsilon$ DIAGRAM



1. Premosorazmernost
2. Elastičnost
3. Plastičnost
4. Max. Napetost
5. zlom



? Kakšne vrste napetosti poznamo glede na smer delovanja sile?

Od kje dobimo izraz »tangencialna« napetost?

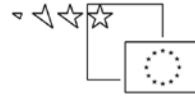
? Kaj je deformacija?

? Zakaj se material zlomi?

$$\sigma_{dej} \leq \sigma_{dop} \quad \tau_{dej} \leq \tau_{dop}$$

Učno gradivo je nastalo v okviru projekta Munus 2. Njegovo izdajo je omogočilo sofinanciranje

Evropskega socialnega sklada Evropske unije in Ministrstva za šolstvo in šport.



σ_{dop} (MPa) dopustna napetost

σ_{max} (MPa) maksimalna napetost

σ_{dej} (MPa) dejanska napetost (pri dejanski napetost indeks pogosto izpustimo)

Dopustna napetost je podana s standardi in predpisi (tabele). Izračunamo jo kot razmerje med maksimalno napetostjo in varnostnim količnikom.

$$\sigma_{dop} = \frac{\sigma_{max}}{\nu}$$

ν (/) varnostni količnik

Varnostni količnik je odvisen od vrste materiala, namena konstrukcije, vrste obremenitve, posebnih vplivov in se giblje od 2 do 10 in tudi več.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad \Delta l = l_1 - l$$

ε (/) specifični raztezek

Δl (mm) raztezek

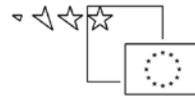
l_1 (mm) nova dolžina

l (mm) prvotna dolžina

? Kako izračunamo dopustno napetost?

📖 Kako bi s pomočjo lomljenja kosov lesa določil maksimalno napetost?

? Kje najdemo zapisane varnostne količnike?



Na osnovi zunanje obremenitve F in dopustne napetosti σ_{dop} izračunamo potrebni prerez S , kar imenujemo dimenzioniranje. Tako določimo premer, oziroma dolžino stranic. Dopustne napetosti odčitamo iz tabele.

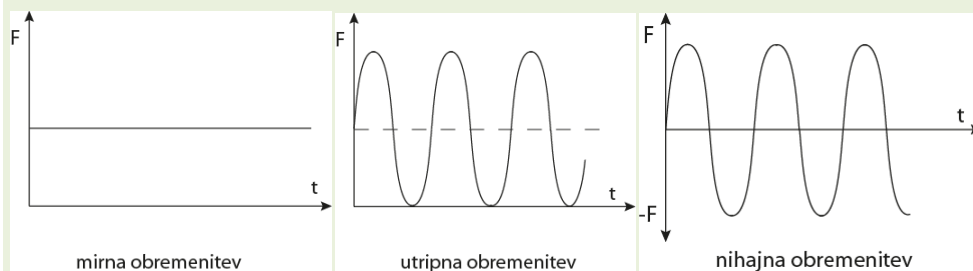
V tabelah za les so podani podatki za 18 % vlažnost lesa. Pri manjši vlažnosti se napetost poveča in obratno.

Les za konstrukcije razvrščamo v tri kvalitetne razrede:

- I . les velike nosilnosti
- II . les običajne nosilnosti
- III . les male nosilnosti

Vrste obremenitev:

- I – mirna obremenitev, pri kateri je napetost konstantna
- II – utripna obremenitev, napetost se spreminja med največjo napetostjo in nič
- III – nihajna obremenitev, napetost se spreminja med največjo pozitivno in največjo negativno vrednostjo



? Za kolikšno vlažnost lesa veljajo podatki o napetostih v tabelah?

? Katere vrste obremenitev poznaš glede na jakost sile?

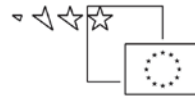


Obremenitev		MATERIAL		
		Konstrukcijsko jeklo		Siva litina
		Mehko (do 0,25% C)	Trdo (do 0,5% C)	
na nateg	I	90-150	120-180	30
	II	60-100	80-120	20
	III	30-50	40-60	10
na tlak	I	90-150	120-180	90
	II	60-100	80-120	60
na upogib	I	90-150	120-180	
	II	60-100	80-120	
	III	30-50	40-60	
na strig	I	72-120	96-144	30
	II	48-80	64-96	20
	III	24-48	32-48	10
na torzijo	I	60-120	90-144	
	II	40-80	60-96	
	III	20-40	30-48	

Tabela 1: Dopustne napetosti za jeklo in sivo litino v MPa (po Bachu s prikazom načinov obremenitve I, II in III)

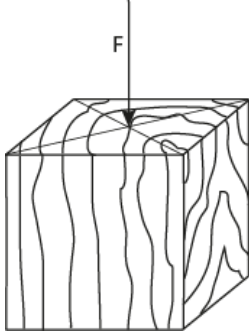
Vrsta napetosti (N/cm ² , u=18%)	Oznaka	Smreka, jelka, bor			Hrast, bukev	
		I	II	III	I	II
upogib	σ_{dop}	1300	1000	700	1400	1200
nateg v osni smeri	$\sigma_{ dop}$	1050	850	0	1150	1000
tlak v osni smeri	$\sigma_{ dop}$	1100	850	600	1200	1000
tlak prečno na os	$\sigma_{\perp dop}$	200	200	200	300	300
strig v osni smeri	$\tau_{ dop}$	90	90	90	120	120
strig prečno na os	$\tau_{\perp dop}$	90	90	90	120	120

Tabela 2: Dopustne napetosti za les v N/cm² pri vlažnosti 18%.



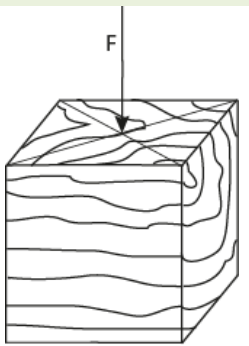
Obremenitve vedno računamo na najmanjšem prerezu elementa, ker so tu napetosti največje.

Ta prerez imenujemo NEVARNI ali KRITIČNI PREREZ.



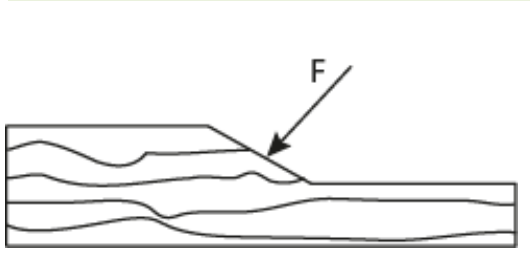
$$\sigma_{\parallel} = \frac{F}{S}$$

S je površina ploskve, na katero sila deluje vzporedno na vlakna.



$$\sigma_{\perp} = \frac{F}{S}$$

S je površina ploskve, na katero sila deluje pravokotno na vlakna.



$$\sigma_{\alpha} = \frac{F}{S}$$

S je površina ploskve, na katero sila deluje pod kotom na vlakna.

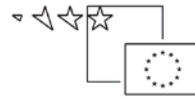
Pri delovanju sile pod kotom imenujemo dopustno napetost tlak pod kotom $\sigma_{<dop}$ in jo izračunamo:

$$\sigma_{\alpha dop} = \sigma_{\parallel dop} - (\sigma_{\parallel dop} - \sigma_{\perp dop}) \sin \alpha$$

? Kje se pri preveliki obremenitvi predmet zlomi?

? Na kakšnem prerezu glede na velikost računamo obremenitve?

? Kakšna je razlika med delovanjem sile vzporedno, pravokotno in pod kotom?




Material lahko optimalno izkoristimo, če pri dimenzioniranju dejansko napetost enačimo z dopustno napetostjo.

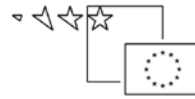
$$\sigma_{dej} = \sigma_{dop} \quad \tau_{dej} = \tau_{dop}$$

DEFORMACIJA

Pri delovanju zunanje sile se element deformira. Spreminja svojo obliko. Vzdolžna deformacija nastane npr. nategu in tlaku, ko sila deluje vzdolž osi. Prečna deformacija nastane, ko sila deluje prečno na os telesa. To se zgodi pri strigu in torziji.

? Kaj pomeni, da se element deformira?

 Ali je tvoja sila dovolj velika, da bi lahko vzdolžno deformiral palico? Kaj pa prečno?



NATEZNA IN TLAČNA NAPETOST

Natezno in tlačno napetost povzročita normalni sili, ki se razlikujeta po smeri delovanja.



Natezna napetost



Tlačna napetost

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

σ (MPa= N/mm²) natezna ali tlačna napetost

F (N) natezna ali tlačna sila

S (m²) površina prereza

HOOKOV ZAKON povezuje napetost in specifični raztezek.

Premosorazmernostni faktor je elastični modul E, ki je za nekatere materiale podan v tabelah.

$$\sigma = \varepsilon \cdot E \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

σ (MPa) napetost

ε (/) specifični raztezek

E (MPa) elastični modul

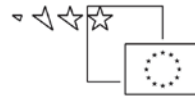
Δl (mm) raztezek

l (mm) prvotna dolžina

? V čem se razlikujeta natezna in tlačna napetost?

? Ponovi Hookov zakon!

📖 Ali sta si specifični raztezek in elastični modul premo ali obratno sorazmerna?



Vrsta materiala	Natezna trdnost (MPa)	Modul elastičnosti (MPa)
konstrukcijsko jeklo	340-850	210000
siva litina	120-140	100000
baker	200-250	115000
iglavci (v osni smeri)	40-180	10000
iglavci (prečno na os)	2-3	300
trdi listavci (v osni smeri)	50-200	12500
trdi listavci (prečno na os)	4-7	600

Tabela 3: Natezna trdnost in modul elastičnosti

RAČUNSKÉ NALOGE ZA NATEZNO IN TLAČNO OBREMENITEV:

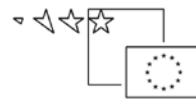
1. Odčitaj iz tabele vrednost dopustne napetosti:

- Nateg v osni smeri pomeni, da na smrekov les I . kategorije deluje sila _____ N na 1cm².
- Tlak v osni smeri pomeni, da na smrekov les II . kategorije deluje sila _____ N na 1cm².
- Tlak prečno na os pomeni, da na smrekov les II . kategorije deluje sila _____ N na 1cm².
- Tlak prečno na os pomeni, da na borov les II . kategorije deluje sila _____ N na 1cm².
- Nateg v osni smeri pomeni, da na hrastov les II . kategorije deluje sila _____ N na 1cm².
- Nateg v osni smeri pomeni, da na jelkin les II . kategorije deluje sila _____ N na 1cm².
- Tlak prečno na os pomeni, da na borov les I . kategorije deluje sila _____ N na 1cm².
- Nateg v osni smeri pomeni, da na smrekov les II . kategorije deluje sila _____ N na 1cm².
- Tlak prečno na os pomeni, da na hrastov les I . kategorije deluje sila _____ N na 1cm².
- Tlak prečno na os pomeni, da na bukov les II . kategorije deluje sila _____ N na 1cm².

(R: a = 850, b = 1050, c = 850, d = 200, e = 200, f = 1000, g = 850, h = 200, i = 300, j = 300)

2. Jekleno palico premera 15 mm obremenimo z maso 1t. Izračunajte dejansko napetost in jo primerjajte z dopustno napetostjo za mirno obremenitev na trdem konstrukcijskem jeklu. Kaj ugotovite? Kakšno vrednost ima dopustna sila?

(R: $\sigma_{dop} = 120 \text{ MPa}$, $S = 176,7 \text{ mm}^2$, $\sigma_{dej} = 56,59 \text{ N/mm}^2$, $F_{dop} = 21\,204 \text{ N}$, $\sigma_{dej} < \sigma_{dop}$)



3. Kvadratni profil s stranico 1 cm obremenimo s silo 9,5 kN. Je profil obremenjen še z dopustno napetostjo, če je trdo konstrukcijsko jeklo obremenjeno z mirno obremenitvijo. Kakšna je dopustna sila? Kaj pa se zgodi, če vzamete kvadratni profil istih dimenzij iz mehkega konstrukcijskega jekla? Kolikšna je pa v tem primeru dopustna sila?

(R: $S = 100 \text{ mm}^2$, $\sigma_{\text{dop}} = 120 \text{ MPa}$, $F_{\text{dop}} = 12\,000 \text{ N}$, $\sigma_{\text{dej}} = 95 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_{\text{dej}} < \sigma_{\text{dop}}$; $\sigma_{\text{dop}} = 90 \text{ MPa}$, $\sigma_{\text{dej}} > \sigma_{\text{dop}}$, $F_{\text{dop}} = 9\,000 \text{ N}$)

4. Imamo podporni steber iz smrekovega lesa II . kategorije. Premer stebra je 13 cm. Kolikšna je dopustna sila v osni smeri?

(R: $S = 132,7 \text{ cm}^2$, $\sigma_{\text{dop}} = 850 \text{ N/cm}^2$, $F_{\text{dop}} = 112\,795 \text{ N}$)

5. Imamo tram iz smrekovega lesa II . kategorije. Pravokotni prerez ima stranici $a = 12 \text{ cm}$ in $b = 10 \text{ cm}$. Kakšna je dopustna sila v osni smeri, oziroma, koliko kilogramov ga po celi površini lahko tlačimo, da je obremenitev v meji elastičnosti.

(R: $\sigma_{\text{dop}} = 850 \text{ N/cm}^2$, $S = 120 \text{ cm}^2$, $F_{\text{dop}} = 102\,000 \text{ N}$, $m = 10\,200 \text{ kg}$)

6. Maksimalna natezna trdnost jekla je 630 MPa . Imamo palico premera 8 mm, ki je obremenjena s silo 5 kN. Zahtevana je 5-kratna varnost. Izračunajte dejansko in dopustno napetost. Kaj ugotovite, ko primerjate oba rezultata?

(R: $S = 50,26 \text{ mm}^2$, $\sigma_{\text{dop}} = 126 \text{ MPa}$, $\sigma_{\text{dej}} = 99,48 \text{ MPa}$)

7. Maksimalna natezna trdnost jekla je 850 N/mm^2 . Imamo palico kvadratnega prereza s stranico 40 mm, ki je obremenjena s silo 30 kN. Zahtevana je 7-kratna varnost. Izračunajte dejansko napetost in ugotovite, ali je jeklo ustrezno.

(R: $S = 1\,600 \text{ mm}^2$, $\sigma_{\text{dop}} = 121,43 \text{ MPa}$, $\sigma_{\text{dej}} = 18,75 \text{ MPa}$)

8. Palico iz bukovega lesa I . kategorije obremenimo v osni smeri z natezno silo 8 kN. Dolžina palice je 1,5 m, premer pa je 50 mm . Izračunajte, kolikšne so napetosti v palici, kolikšen je specifični raztezek in za koliko se palica podaljša?

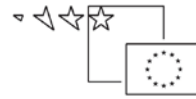
(R: $E = 12\,500 \text{ MPa}$, $S = 1\,963,5 \text{ mm}^2$, $\sigma_{\text{dej}} = 4,07 \text{ MPa}$, $\epsilon = 0,000325$, $\Delta l = 0,488$)

9. Z natezno silo 50 kN, obremenimo jekleno palico dolžine 3 m. Podaljša se lahko za 1,1 mm. Kolikšen je prerez in premer palice? Kolikšna je dejanska napetost v palici pri tem razteku?

(R: $\sigma_{\text{dop}} = 150 \text{ MPa}$, $E = 210\,000 \text{ MPa}$, $\sigma_{\text{dej}} = 77 \text{ MPa}$, $S = 650 \text{ mm}^2$, $d = 29 \text{ mm}$)

10. Jekleno žico obremenimo s silo 15 kN, premer žice je 12 mm, dolžina pa 15 m. Izračunajte kakšne napetosti se pojavijo v žici in za koliko se podaljša pri dani obremenitvi.

(R: $\sigma_{\text{dop}} = 140 \text{ MPa}$, $S = 113,1 \text{ mm}^2$, $\sigma_{\text{dej}} = 132,63 \text{ MPa}$, $E = 210\,000 \text{ MPa}$, $\epsilon = 0,00063$, $\Delta l = 9,47 \text{ mm}$)



11. Imamo steber iz smrekovega lesa II kvalitete. Prerez stebra je 18/20 cm, dolžina pa 3m. S kolikšno tlačno silo ga lahko obremenimo in za koliko se pri tej obremenitvi skrči?

(R: $E = 10\,000\text{ MPa}$, $\sigma_{\text{dop}} = 850\text{ N/cm}^2$, $S = 360\text{ cm}^2$, $F_{\text{dop}} = 306\text{ kN}$, $\epsilon = 0,00085$, $\Delta l = 2,55\text{ mm}$)

12. Jekleno palico dolžine 4m obremenimo s silo 40 kN. Palica se lahko podaljša za 1,2 mm. Izračunajte potreben premer palice, če bi imela okrogel prerez in stranico a, če bi bila kvadratnega prereza.

(R: $\sigma_{\text{dop}} = 120\text{ MPa}$, $S = 333,33\text{ mm}^2$, $d = 21\text{ mm}$, $a = 19\text{ mm}$)

13. Žagin list polnojarmenika je debel 1,4 mm, širok 150 mm, ter dolg 1100 mm. Višina zob je 15 mm. Napetost v listu mora biti 170 MPa. Izračunajte kritični prerez, silo napenjanja in raztezek lista.

(R: $S_{\text{kritični}} = 189\text{ mm}^2$, $F = 32,13\text{ kN}$, $E = 210\,000\text{ MPa}$, $\epsilon = 0,000809$, $\Delta l = 0,89\text{ mm}$)

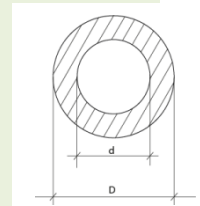
14. Jeklen pas širine 50 mm in debeline 3mm je izdelan iz jekla $\sigma_{\text{dop}} = 90\text{ MPa}$. Izračunajte s kolikšno največjo silo ga lahko obremenimo, da ne prestopimo meje elastičnosti.

(R: $S = 150\text{ mm}^2$, $F_{\text{dop}} = 13,5\text{ kN}$)

15. Votel podstavek iz sive litine je obremenjen z dinamično utripno obremenitvijo 300 kN. Izračunajte notranji premer in debelino stene, če je zunanji premer 100 mm. Višina podstavka je 1,6 m. Koliko se podstavek pri tej obremenitvi skrči?

(R: $E = 100\,000\text{ MPa}$, $\sigma_{\text{dop}} = 60\text{ MPa}$, $S = 5\,000\text{ mm}^2$, $d = 80\text{ mm}$, debelina stene = 10 mm,

$\Delta l = 0,96\text{ mm}$)

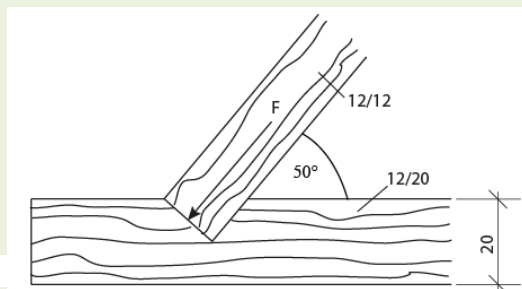


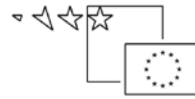
16. Jeklena palica je obremenjena s silo 20 kN. Njena dolžina je 3 m. Podaljša se lahko za 1,5 mm. Prerez palice je pravokotnik s stranicama a in b, ki sta v razmerju 3 : 4. Dimenzionirajte prerez palice.

(R: $\epsilon = 0,0005$, $E = 210\,000\text{ MPa}$, $\sigma = 105\text{ MPa}$, $S = 191\text{ mm}^2$, $a = 12\text{ mm}$, $b = 16\text{ mm}$)

17. Vez lege 12/20 cm in opornika 12/12 cm iz smrekovega lesa II . kategorije je prikazana na sliki. Sila velikosti 30 kN deluje na lego pod kotom 50° . Ugotovite, če so dimenzije lege pravilne.

(R: $\sigma_{\parallel \text{dop}} = 850\text{ N/cm}^2$, $\sigma_{\perp \text{dop}} = 200\text{ N/cm}^2$, $\sigma_{<\text{dop}} = 352,07\text{ N/cm}^2$, $S = 144\text{ cm}^2$, $\sigma = 208,3\text{ N/cm}^2$)





STRIŽNA NAPETOST

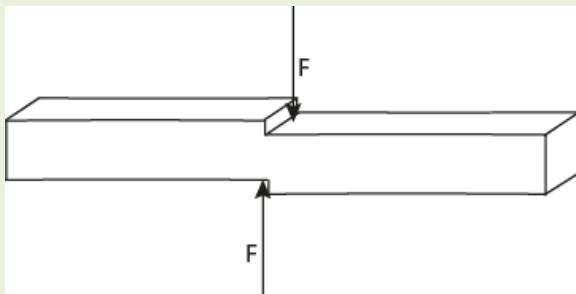
Strižna napetost nastane, če deluje obremenitev pravokotno na os telesa, ga skuša prerezati. Sila deluje v tangencialni smeri, zato strižno napetost označimo z grško črko τ . Primer take obremenitve je razrez furnirja ali pločevine s škarjami. Strižna napetost nastopi pri kratki konzoli in vseh veznih elementih (kovice, zatiči, zvari, vijaki, žičniki, lepljeni spoji, vse lesne vezi, ...), ki jih obremenimo tako, kot da bi jih poskušali prestriči.

$$\tau = \frac{F}{S}$$

τ (MPa) strižna napetost

F (N) strižna sila

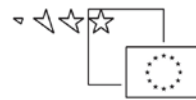
S (m²) površina prereza



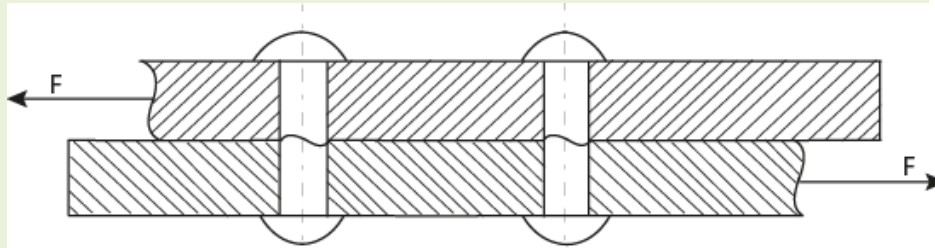
obremenitev pri strigu

? S katero grško črko označimo strižno napetost in zakaj?

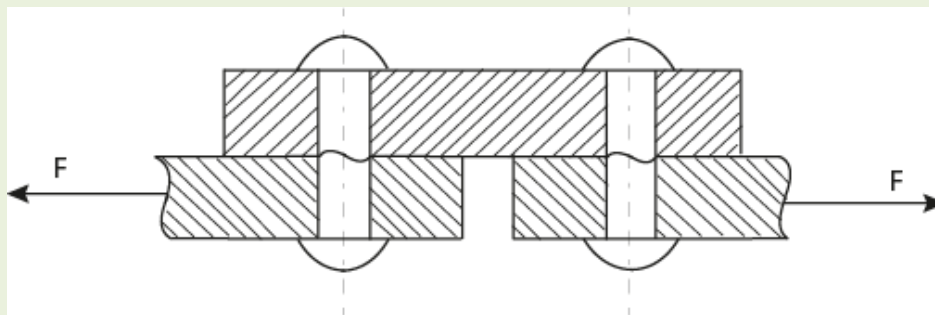
📄 Poskusi s škarjami prerezati nekaj različnih predmetov (papir, karton, furnir, kos kovine...). Ali je strižna sila dovolj šnja, da lahko stvar prerežeš?



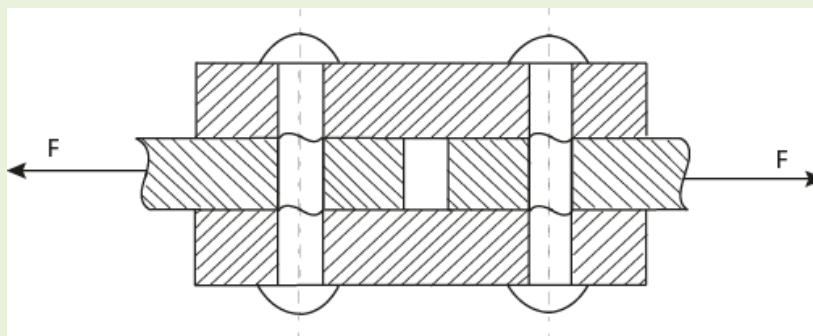
Vezni elementi (kovice, čepi, mozniki, ...) imajo lahko enega ali več strižnih mest, kjer se bodo zlomili. Število strižnih mest na enem strižnem elementu označimo s k in jih največkrat določimo iz prereza strižnega elementa.



prekriti zakov, $k = 1$




enozaplatni zakov, $k = 1$

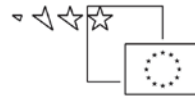


dvozaplatni zakov, $k = 2$

? Kako so na sliki označena strižna mesta?

? Kateri vezni elementi so lahko obremenjeni na strig?

 Ali je pomembno iz katere kovine so kovice in zakaj? Kako pa je s premerom kovic? Razišči!



$$\tau = \frac{F}{S_{cel}} \quad \tau_{dej} \leq \tau_{dop}$$

$$S_{cel} = S_1 \cdot k \cdot N$$

N (/) število strižnih elementov (kovic, moznikov, čepov, ...)

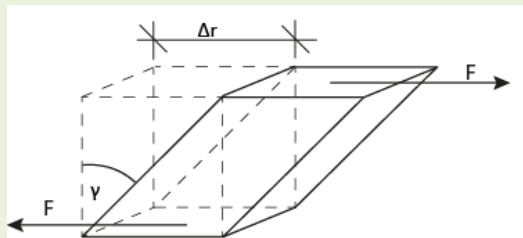
k (/) število strižnih mest na enem strižnem elementu

S_1 (m^2) površina prereza enega strižnega elementa

S_{cel} (m^2) celotna strižna površina

V primerih, ko ne moremo odčitati strižne napetosti iz tabel in imamo podano natezno napetost izračunamo strižno napetost s pomočjo izkustvene formule:

$$\tau = 0,8 \cdot \sigma$$



Deformirana kocka pri obremenitvi na strig

Pri obremenitvi na strig se material gnete in se delci materiala premaknejo za razdaljo Δr in za kot γ .

Ta kot je zelo majhen, zato lahko napišemo $\tan \gamma = \gamma = \frac{\Delta r}{l}$

HOOKOV ZAKON ZA STRIG

$$\tau = G \cdot \gamma$$

τ ($MPa = N/mm^2$) strižna napetost

G ($MPa = N/mm^2$) strižni modul

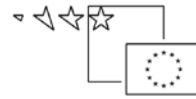
γ (rad) specifična tangencialna deformacija

Strižni modul G odčitamo iz tabel, specifična tangencialna deformacija je tako majhna, da jo bomo tu zanemarili.

? Kaj označimo s črko N in kaj s črko k ?

? Kje dobimo podatke o strižnem modulu?

📎 Pri katerem postopku obdelave furnirja je uporabljen strig?



RAČUNSKÉ NALOGE ZA IZRAČUN STRIŽNE NAPETOSTI:

1. Prekriti zakov obremenimo s silo 110 kN. Kovice in pločevina so iz jekla z dopustno natezno napetostjo 90 MPa. Število kovic je 8. Izračunajte premer kovice.

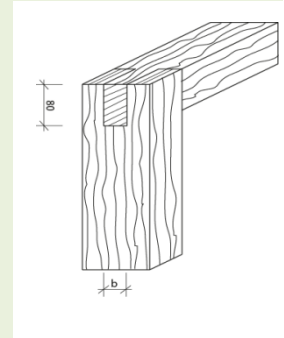
$$(R: \tau = 72 \text{ MPa}, k = 1, N = 8, S_{\text{cel}} = 1\,527,77 \text{ mm}^2, S_1 = 190,97 \text{ mm}^2, d = 15,6 \text{ mm} = 16 \text{ mm})$$

2. Dvozaplatni zakov obremenimo s silo 90 kN. Kovice in pločevina so iz jekla z dopustno natezno napetostjo 120 MPa. Število kovic je 4. Izračunajte premer kovice.

$$(R: \tau = 96 \text{ MPa}, S_{\text{cel}} = 937,5 \text{ mm}^2, S_1 = 117,18 \text{ mm}^2, d = 13 \text{ mm})$$

3. Enojna zarezna čepna vez iz smrekovega lesa I . kategorije je obremenjena s silo 1 500 N. Čep je visok 80 mm. Določite najmanjšo dopustno širino čepa.

$$(R: \tau_{\text{DOP}} = 90 \text{ N/cm}^2, S_{\text{cel}} = 16,66 \text{ cm}^2, b = 2 \text{ cm})$$



4. Dvojna zarezna čepna vez iz smrekovega lesa I . kategorije je obremenjena s silo 1 500 N. Čep je visok 80 mm. Določite najmanjšo dopustno širino čepa.

$$(R: \tau_{\text{dop}} = 90 \text{ N/cm}^2, S_{\text{cel}} = 16,66 \text{ cm}^2, b = 1 \text{ cm})$$

5. Klop iz hrastovega lesa je obremenjena s silo teže 10 kN. Noga in sedežna plošča sta povezani z dvojno zarezno čepno vezjo. Višina čepa je 60 mm. Izračunajte najmanjšo širino čepa.

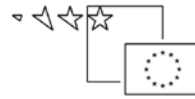
$$(R: \tau_{\text{dop}} = 120 \text{ N/cm}^2, S_{\text{cel}} = 83,33 \text{ cm}^2, N = 4, k = 2, S_1 = 10,416 \text{ cm}^2, b = 17,4 \text{ mm})$$

6. Iz smrekovega furnirja izsekujemo s silo 260 N kvadratne ploščice. Dimenzija stranice kvadrata je 50 mm. Debelina furnirja je 0,8 mm. Izračunajte potrebno napetost v N/cm^2 za izrez ene ploščice.

$$(R: k = 1, N = 1, S_1 = 160 \text{ mm}^2, S_{\text{cel}} = 160 \text{ mm}^2, \tau = 162,5 \text{ N/cm}^2)$$

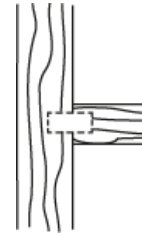
7. Iz furnirskega bukovega traku debeline 0,8 mm izsekavamo po 4 krpice pravokotnega prereza s stranicama: $a = 28 \text{ mm}$ in $b = 36 \text{ mm}$. Izračunajte kolikšna sila je potrebna pri izsekovanju.

$$(R: \tau_{\text{dop}} = 120 \text{ N/cm}^2, S_1 = 1,024 \text{ mm}^2, S_{\text{cel}} = 4,096 \text{ mm}^2, F = 491,52 \text{ N})$$

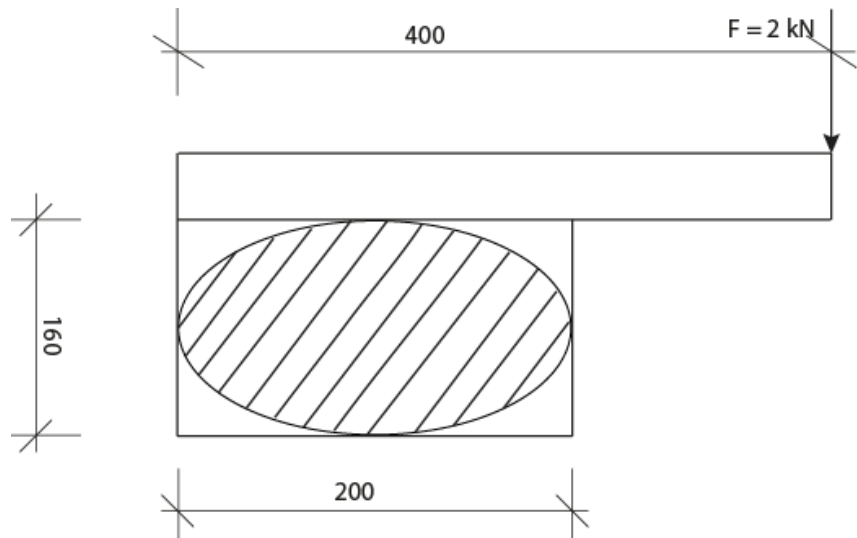


8. Naložena polica tehta 70 kg. Mozničili smo jo z bukovimi mozniki premera 8 mm. Izračunajte koliko moznikov smo uporabili pri izdelavi konstrukcije.

(R: $\tau_{dop} = 120 \text{ N/cm}^2$, $S_1 = 50,265 \text{ mm}^2$, $k = 1$, $S_{cel} = 5,83 \text{ cm}^2$, $N = 12$)

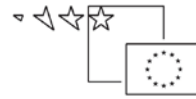


9. Nosilec iz smrekovega lesa je obremenjen s silo, kot ja narisano na sliki. Določi mu torzijsko napetost in ugotovi, če je ta še v dovoljenih mejah.
(R: $\tau_{dop} = 90 \text{ N/cm}^2$,
 $M = 800\,000 \text{ Nmm}$,
 $W_{t\text{ elipsa}} = 1\,005\,309,6 \text{ mm}^3$, $\tau = 79,58 \text{ N/cm}^2$. Nosilec je še obremenjen v dovoljenih mejah.)



POVEZAVA S TUJIM JEZIKOM:

Izrazi v povezavi z napetostmi, veznimi elementi, silami, merami, materiali ... v tujem jeziku.



Ali veš, zakaj se vrtavka zavrti? Zakaj se nekatere stvari »prevagajo«? Zaradi navora. Vsepovsod okrog nas srečujemo stvari, na katere vpliva navor. Kaj pa to pravzaprav je? V katerih enotah se meri in kako ga izračunamo? Kje ga srečamo v lesarstvu?

NAVOR

Navor ali starejši izraz moment (M) je v fiziki količina, ki nastopa pri kroženju točkastega telesa in vrtenju togega telesa. Enaka je produktu sile in razdalje premice sile od osi.

Matematično je navor vektorska količina, ki jo izračunamo kot vektorski produkt med ročico r , to je s krajevnim vektorjem od izhodišča v osišču do prijemališča sile, in silo F :

Merska enota navora je produkt enot sile in dolžine, to je Nm.

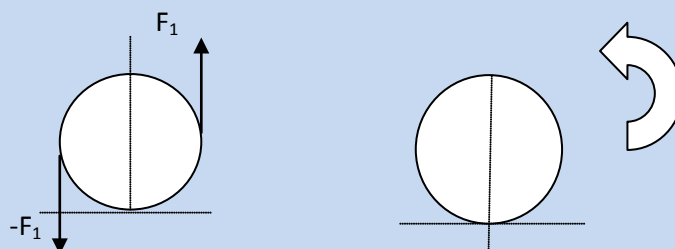
$$M = F \cdot l.$$

NAVOR DVOJICE SIL

Dvojico sil sestavljata enako veliki, a nasprotno usmerjeni sili; njuni premici sta razmaknjeni za l . Ker je vsota dvojice sil nič: $F + (-F) = F - F = 0$, dvojica sil ne more pospeševati telesa skozi prostor, lahko pa ga vrti. Zato je pomemben njen navor.

Za poljubno lego vrtilne osi velja, da je navor dvojice sil produkt ene sile in njune medsebojne razmaknjenosti: $M = F \cdot l$.

Navor dvojice je tem večji, čim večji sta sili in čim bolj sta njuni premici razmaknjeni.



Navor v smeri urnega kazalca je negativen,

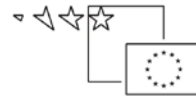
v protiurni smeri pa pozitiven.

? Kaj je navor?

📏 Kako bi določil ročico, če bi sila delovala pod kotom?

? Kaj je navor dvojice sil?

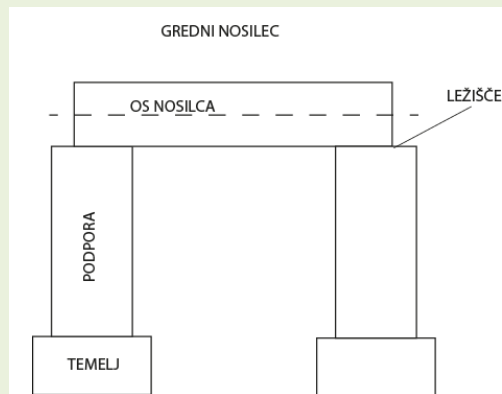
🔍 Kje uporabljamo navor dvojice sil pri strojih za obdelavo lesa?



Najbrž si že večkrat sedel na klopi. Pa vendar – ali veš, zakaj se klop ni zlomila, četudi si sedel na sredino? Predstavlja si klop iz npr. furnirja. Ali bi te zdržala? Kaj pa, če bi sedel na podporo? Ali pa bi dal na sredo klopi kakšen zelo lahek predmet? Kako delujejo razne podpore, kot npr. nosilci?


UPOGIBNA TRDNOST

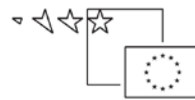
Na upogib so obremenjeni vsi nosilci. To so konstrukcijski elementi, kjer dimenzija dolžine prevladuje nad dimenzijo širine in debeline.



Nosilci so lahko različnih prerezov. Vedno pa poteka skozi težišče os nosilca, ki je lahko ravna, lomljena ali ločna. Material za nosilce je jeklo, les ali železobetón.

? Kaj so podpore mizi?

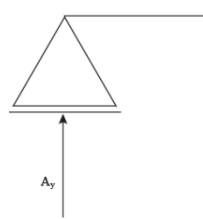
 Sam poskusi narediti klopco iz dveh dovolj trdnih podpor in npr. kartona, furnirja... (kar imaš pri roki). Nato preveri, če zdrži tvojo težo na sredini! Kaj pa na podpori? Potem to poskušaj še z lažjimi predmeti, ki jih lahko tudi stehtaš in določiš njihovo silo.



Nosilec je podprt v podpori, kjer se ob obremenitvi pojavijo reakcijske sile. Te so nasprotno usmerjene kot je obremenitev. Reakcije morajo biti v ravnotežju z obremenitvijo. Tu bomo obravnavali tri vrste podpor:

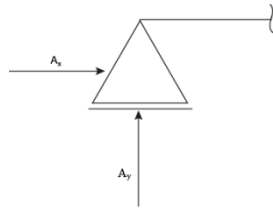
pomična členkasta podpora dovoli, da se nosilec lahko premika horizontalno, zavrti se lahko okoli členka, ne more se pa premikati vertikalno. V tej podpori se pojavi ena reakcijska sila.

Simbol:



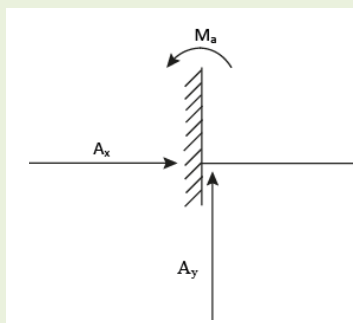
nepomična členkasta podpora, ki ne dovoli premika v horizontalni, niti v vertikalni smeri, se pa nosilec lahko zavrti okoli členka. To je podpora z dvema neznankama (horizontalno in vertikalno silo).

Simbol:



vpeta podpora ne dovoli premika v nobeno smer in tudi ne vrtenja. To je podpora s tremi neznankami.

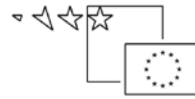
Simbol:



Pomične in nepomične členkaste podpore označimo z velikimi tiskanimi črkami (A,B,C,...).

? Razloži pojme:
-pomična členkasta podpora
-nepomična členkasta podpora
-vpeta podpora

? Kaj podpira strop omare? Kaj pa police na steni?



Obremenitev in reakcijske sile (reakcije) so sistem zunanjih sil, ki mora biti v ravnotežju, da je konstrukcija stabilna. Ravnotežje nastopi, ko je vsota vseh sil in vsota vseh navorov ali momentov enaka nič.

Ravnotežni pogoji v ravnini so:

$$\Sigma x = 0$$

Vsota vseh horizontalnih sil je enaka nič. Seštejemo vse sile, ki delujejo v smer abscisne osi. Pri tem upoštevamo smeri sil. Sami izberemo eno smer za pozitivno, drugo za negativno.

$$\Sigma y = 0$$

Vsota vseh vertikalnih sil je enaka nič. Seštejemo vse sile, ki delujejo v smer ordnatne osi. Pri tem upoštevamo smeri sil. Sami izberemo eno smer za pozitivno, drugo za negativno.

$$\Sigma M = 0$$

Vsota vseh momentov je enaka nič. Pri prostoležečem nosilcu si za vrtilišče izberemo eno robno podporo. Potem iz tega vrtilišča določamo vrtilne momente za vsako pravokotno silo na os nosilca. Moment je negativen, če se vrtili v smeri urinega kazalca in pozitiven, če se vrtili v obratni smeri urinega kazalca.

$$M = F \cdot l$$

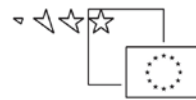
M (Nm) vrtilni moment

F (N) sila pravokotna na os nosilca

l (m) razdalja od vrtilišča do prijemašča vertikalne sile

? Kdaj lahko rečemo, da je konstrukcija stabilna?

? S simboli za podpore skiciraj balkon in mizo!



Poznamo različne nosilce. Obravnavali bomo prosto ležeče in konzolne nosilce, ki so lahko obremenjeni točkovno ali pa zvezno.

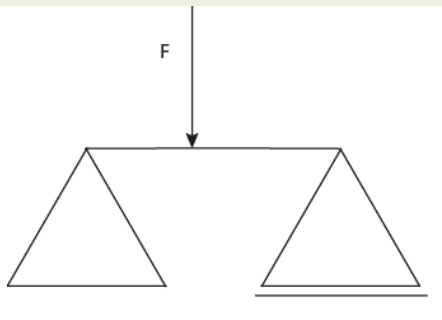
Točkovno pomeni, da sila pritiska v posamezni točki ali v več točkah, zvezna obremenitev pa deluje na večji dolžini. To zvezno obremenitev q nadomestimo s točkovno silo Q .

$$Q = q \cdot l$$

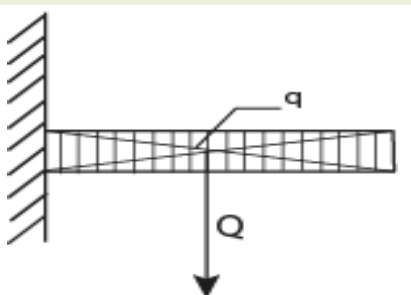
Q (N) točkovna sila, ki nadomesti zvezno obremenitev

q (N/m) zvezna obremenitev

l (m) dolžina zvezne obremenitve



Točkovna obremenitev prostoležečega nosilca



Zvezna obremenitev konzolnega nosilca

? Navedi primer točkovne in primer zvezne obremenitve!

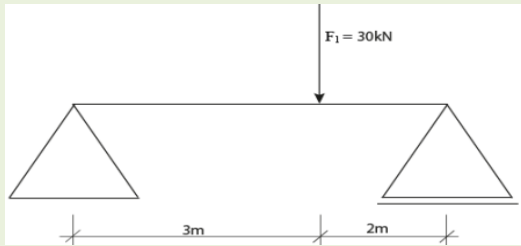


Poišči čim več (vsaj 8) primerov konzolnih in prostoležečih nosilcev in ugotovi, s kakšnimi obremenitvami so obremenjeni. Nato jih še skiciraj!



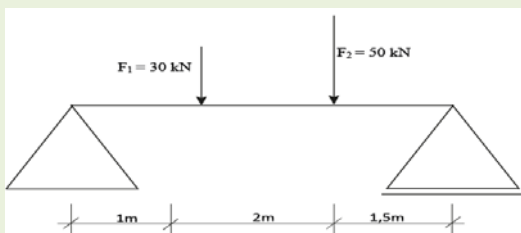
RAČUNSKÉ NALOGE ZA DOLOČANJE ZUNANJИH SIL V NOSILCIH

1. Na prostoležeče nosilce delujejo vertikalne sile, kot je narisano na slikah. Narišite in izračunajte reakcije v podporah.



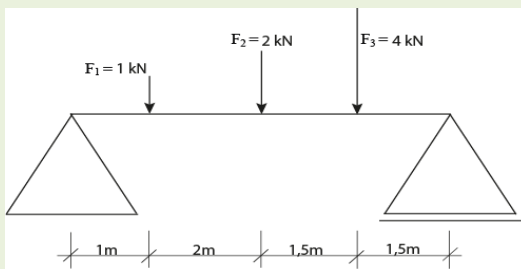
(R: $A_x = 0$, $A_y = 12 \text{ kN}$, $B_y = 18 \text{ kN}$)

2.

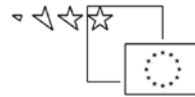


(R: $A_x = 0$, $A_y = 40 \text{ N}$, $B_y = 40 \text{ N}$)

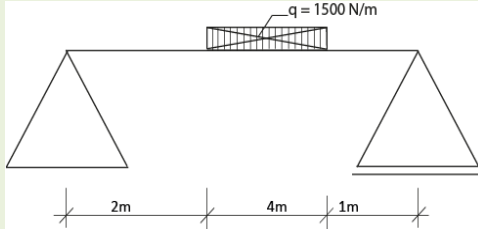
3.



(R: $A_x = 0$, $A_y = 2,84 \text{ kN}$, $B_y = 4,16 \text{ kN}$)

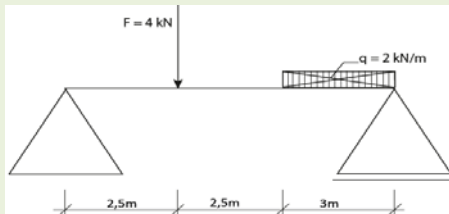


4.



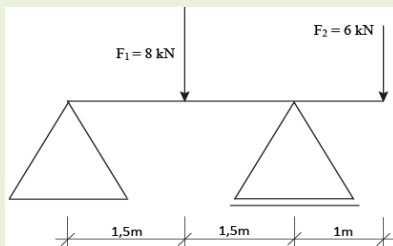
(R: $A_x = 0$, $A_y = 25,7$ kN, $B_y = 34,3$ kN)

5.

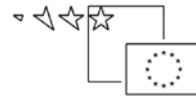


(R: $A_x = 0$, $A_y = 3,8$ kN, $B_y = 6,2$ kN)

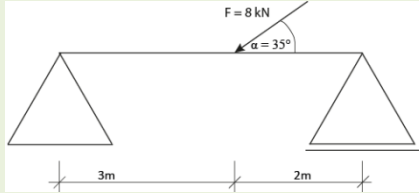
6.



(R: $A_x = 0$, $A_y = 2$ kN, $B_y = 12$ kN)

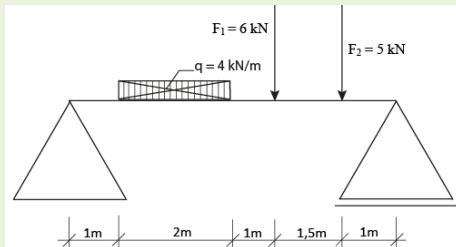


7.



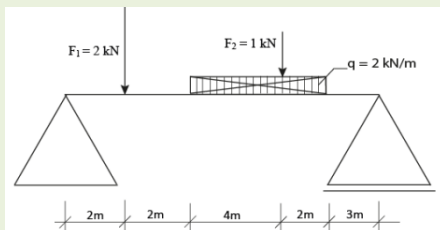
(R: $F_x = 6,55 \text{ kN}$, $F_y = 4,58 \text{ kN}$, $A_x = 6,55 \text{ N}$, $A_y = 1,83 \text{ kN}$, $B_y = 2,74 \text{ kN}$)

8.

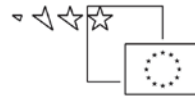


(R: $Q = 8 \text{ kN}$, $A_x = 0$, $A_y = 8,62 \text{ kN}$, $B_y = 10,38 \text{ kN}$)

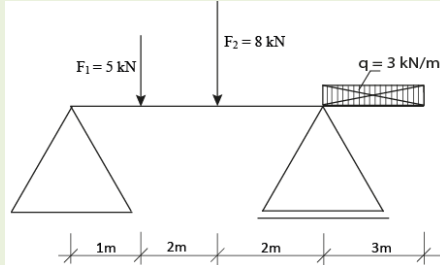
9.



(R: $Q = 12 \text{ kN}$, $A_x = 0$, $A_y = 7,62 \text{ kN}$, $B_y = 7,3 \text{ kN}$)

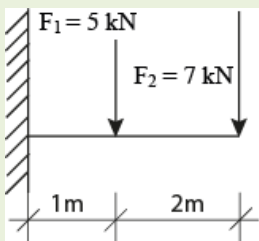


10.



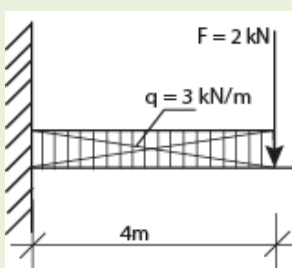
(R: $Q = 9 \text{ kN}$, $A_x = 0$, $A_y = 4,5 \text{ kN}$, $B_y = 17,5 \text{ kN}$)

11.



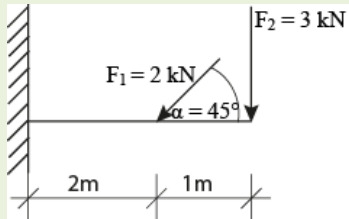
(R: $A_x = 0$, $A_y = 12 \text{ kN}$, $M_a = 26 \text{ kNm}$)

12.



(R: $Q = 12 \text{ kN}$, $A_x = 0$, $A_y = 14 \text{ kN}$, $M_a = 32 \text{ kNm}$)

13.



($R: F_y = 1,4 \text{ kN}, F_x = 1,4 \text{ kN}, A_x = 1,4 \text{ kN}, A_y = 3,4 \text{ kN}, M_a = 11,8 \text{ kNm}$)

DOLOČANJE NOTRANJNH SIL NOSILCEV

Nosilci se pod vplivom zunanje obremenitve (sile) povesejo. Nevtralna os, ki je bila prvotno premica, se upogne, ne da bi se pri tem podaljšala ali skrčila. Upogibno os nosilca imenujemo elastična črta. Razdalja med prvotno lego nevtralne osi in elastično črto imenujemo povese, ki ni enak po celotni dolžini, ampak se spreminja, kot se spreminja napetost. Največji nastopi tam, kjer je obremenitev največja. Povese označimo s f in ga merimo v cm.

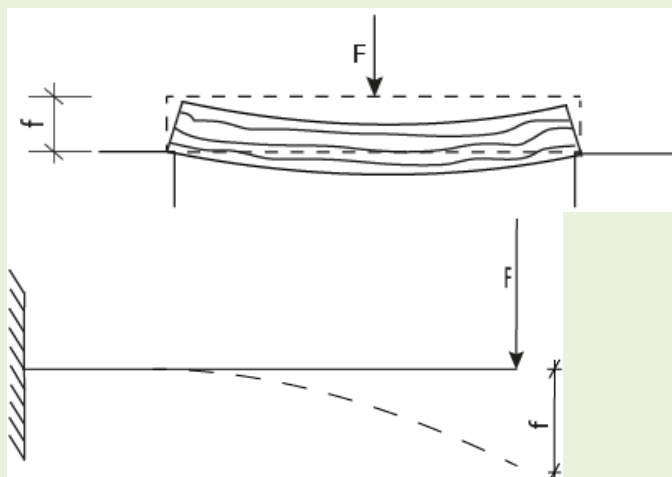
Povese nosilca je odvisen od njegove dolžine in za lesene nosilce velja:

Stropniki (bivalni prostori) $l/300$ razpona

Lege, špirovci, stropniki (hlev, skedenj) $l/200$ razpona

Konzolni nosilci $l/150$ razpona

l je dolžina nosilca v cm.



Napetosti se pri prosto ležečem nosilcu spreminjajo tudi po debelini. Od

! Katere sile so odpor proti zunanjim silam?

? Pojasni razliko med N_x, T_x in M_x !

! Kaj bi se dogajalo v prosto-ležečem nosilcu, če bi sila nanj delovala na sredi med sredino nosilca in podporo?

Učno gradivo je nastalo v okviru projekta Munus 2. Njegovo izdajo je omogočilo sofinanciranje

Evropskega socialnega sklada Evropske unije in Ministrstva za šolstvo in šport.



največje tlačne, do ničle in naprej do največje natezne napetosti. Pri obremenitvi konzole so napetosti po debelini ravno obratne. Zato bomo morali za dimenzioniranje nosilcev poznati tudi notranje sile.

Zunanje sile (reakcije in obremenitve) povzročijo v nosilcih delovanje notranjih sil. Polja so posamezni deli nosilca med zunanji reakcijama. Nosilec namišljeno prerežemo iz leve ali desne strani, da dobimo posamezna polja. Režemo vedno pravokotno na os nosilca. Razdaljo med reakcijama označimo z x . V tem namišljenemu prerezu dobimo tri notranje sile:

N_x je notranja osna sila, ki deluje v horizontalni smeri (osna sila),

T_x je notranja prečna sila, ki deluje v vertikalni smeri (pravokotno na os nosilca) in

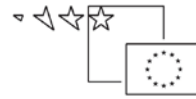
M_x upogibni moment, ki ima vrtilišče vedno v prerezu. To je navor.

$$M = F \cdot l$$

M (Nm) navor

F (N) sila

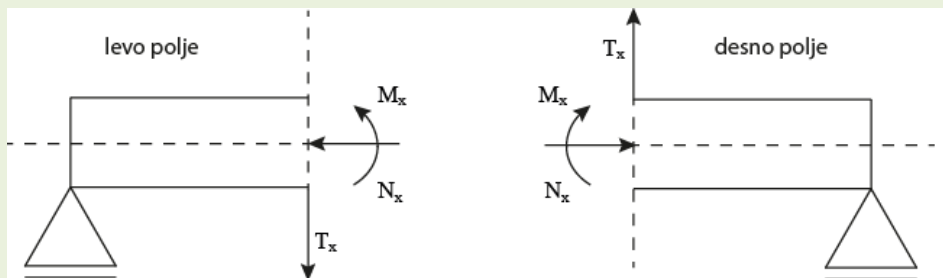
l (m) razdalja od vrtilišča do prijemališča sile



Oсна sila N_x je pozitivna, če deluje iz prereza. Povzroči nateg ali tlak.

Prečna sila T_x je pozitivna, če deluje na levi del nosilca navzdol, na desni pa navzgor. Ta sila povzroči strig.

Upogibni moment M_x je pozitiven, kadar povzroči upogibanje nosilca navzdol. Pozitivne notranje sile:



Trije ravnotežni pogoji:

$$N_x + \Sigma X = 0$$

$$T_x + \Sigma Y = 0$$

$$M_x + \Sigma M = 0$$

Nevarni ali kritični prerez je tisti, v katerem nastopi največji upogibni moment (M_{\max}). Tega določimo iz formule po tabeli (če imamo v njej tak nosilec) ali pa narišemo diagrama prečnih sil in upogibnih momentov. Maksimalni upogibni moment uporabimo za dimenzioniranje nosilcev.

? Zakaj so si reakcije v levem in desnem polju po smeri nasprotni?

📖 Kaj se dogaja v posameznem polju?

? Zakaj mora biti vsota notranjih in zunanjih sil enaka 0 N?

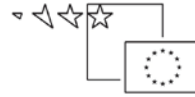


Diagrama pri prosto ležečem nosilcu:

- Diagram strižnih sil T_x

Strižna sila T_x ni odvisna od lege prereza v posameznem polju, ampak je v celem polju konstantna. Če ima pozitiven predznak deluje navzgor, v nasprotnem primeru deluje navzdol.

- Diagram upogibnih momentov

Pri točkovni obremenitvi se vrednost upogibnih momentov spreminja linearno, lomi se v prerezih pod obremenitvijo. Maksimalni upogibni moment nastopi tam, kjer prečna sila spremeni svoj predznak ali je enaka nič. Oziroma tam, kjer je zunanja obremenitev največja. Upogibni moment je za določeni prerez enak ploščini diagrama prečnih sil.

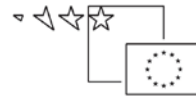
Diagram pri konzolnem nosilcu:

- Največja prečna sila in največji upogibni moment nastopita v istem prerezu. Vrednost upogibnega momenta je veliko večja, kot pri prosto ležečem nosilcu (ista razdalja in obremenitev). Zato konzolo uporabljamo za manjše razdalje.

To velja za točkovne obremenitve, pri zvezni obremenitvi dobimo enačbo kvadratične parabole, ki pa se je tu ne bomo učili.

📌 Kako se bo med obremenitvijo M_x spreminjal glede na T_x ?

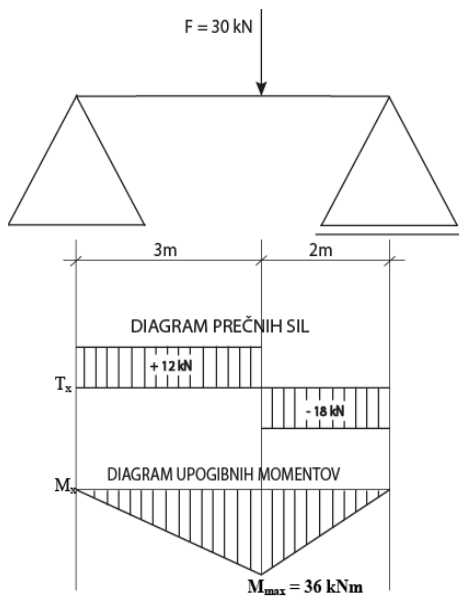
? Razloži diagram pri konzolnem nosilcu!



RAČUNSKE NALOGE ZA DOLOČANJE NOTRANJNH SIL:

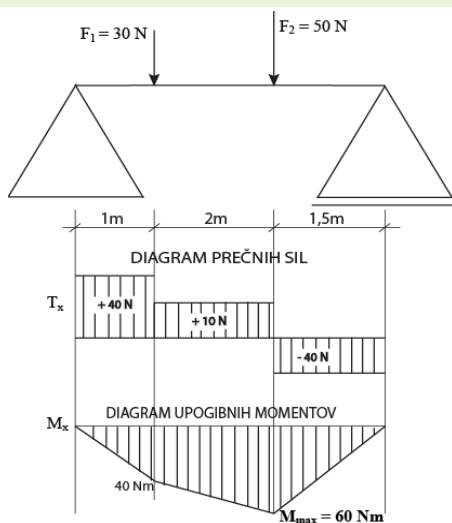
Pri naslednjih nosilcih izračunajte zunanje, notranje sile, max. upogibni moment in narišite diagrama prečnih sil in upogibnih momentov.

1.

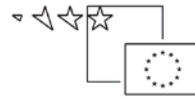


(R: $A_x = 0$, $A_y = 12 \text{ kN}$, $B_y = 18 \text{ kN}$)

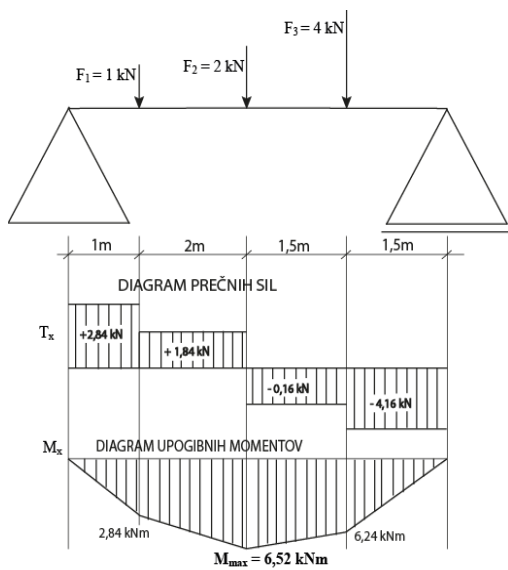
2.



(R: $A_x = 0$, $A_y = 40 \text{ N}$, $B_y = 40 \text{ N}$)

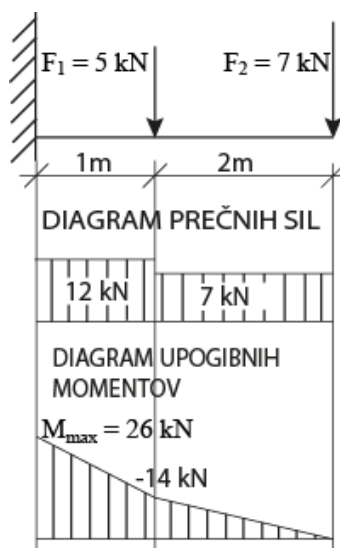


3.

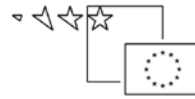


(R: $A_x = 0$, $A_y = 2,84 \text{ kN}$, $B_y = 4,16 \text{ kN}$)

4.



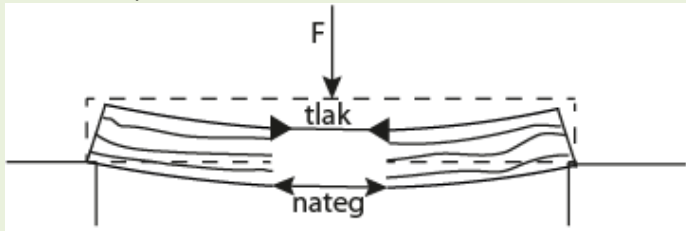
(R: $A_x = 0$, $A_y = 12 \text{ kN}$, $M_a = 26 \text{ kNm}$)



Si se kdaj vprašal, zakaj se neka stvar pod tvojo težo upogne ali celo zlomi? Ali se zlomi najprej na vrhu ali spodaj? Ali je to odvisno od tega, da je ta stvar prostoležeči ali pa konzolni nosilec?

DIMENZIONIRANJE NA UPOGIB

Nosilec se zaradi zunanje obremenitve upogne. V njem nastanejo tlačne in natezne napetosti.



Pri prostoležečem nosilcu nastopijo na zgornjem robu največje tlačne obremenitve, na spodnjem robu pa največje natezne obremenitve. Napetost in s tem tudi specifični raztezek (Hookov zakon $\sigma = \varepsilon \cdot E$) se proti sredini manjša. Na nevtralni osi sta napetost in specifični raztezek enaka nič in tu spremenita predznak. Nevtralna os poteka skozi težišče prereza nosilca.

Na zgornjem robu konzolnega nosilca se pojavijo največje natezne obremenitve, na spodnjem robu pa največja tlačna obremenitev. Največji specifični raztezek je na zgornjem robu, največji tlačni specifični raztezek je na spodnjem robu.

Pri dimenzioniranju na upogib moramo upoštevati normalne napetosti (tlak in nateg).

$$M = \sigma \frac{I}{e} \quad \text{in} \quad \sigma = M \frac{e}{I}$$

I (cm^4) vztrajnostni moment prereza

e (cm) oddaljenost zgornjega ali spodnjega roba od nevtralne osi

σ (N/m^2 , N/cm^2 , N/mm^2) normalna napetost

M (Nm) upogibni moment

$$W = \frac{I}{e} \quad \text{in} \quad \sigma = \frac{M}{W}$$


Pri dimenzioniranju na upogib upoštevamo samo največji, maksimalni upogibni moment, saj tam nastopijo največje napetosti.

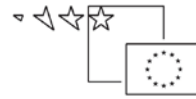
$$\sigma_{dej} = \frac{M_{max}}{W_{dej}} \leq \sigma_{dop}$$

Vztrajnostni moment ploskve je enak vsoti ploskovnih elementov ploskve

? Katera dva momenta sta vztrajnostna momenta?

? Kaj se med obremenitvij o dogaja v nosilcu po debelini?

 Na dva zaboja, ki sta 1-2m narazen, postavi desko, ki te bo vsaj malo zdržala. Nato opazuj, kje se bo najprej začela lomiti. Zgoraj ali spodaj?

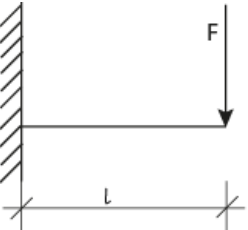
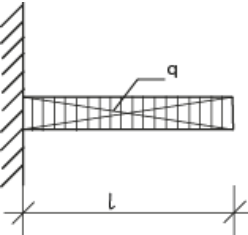
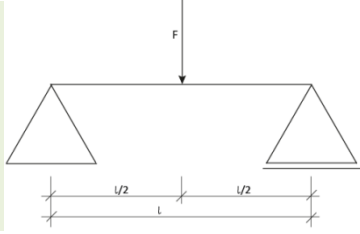


(posamičnih delov ploskve), pomnoženi s kvadratom razdalje od osi, ki gre skozi težišče ploskve. Skozi težišče ploskve pa lahko položimo neskončno število osi. Na eni od teh osi je vztrajnostni moment celotne ploskve največji in na eni najmanjši. Ti dve osi se imenujeta vztrajnostni osi, pripadajoča momenta pa vztrajnostna momenta (vztrajnostni moment za os x in vztrajnostni moment za os y). Upogibna trdnost je odvisna od vztrajnostnega momenta, zato ni vseeno kako so nosilci obrnjeni (ploščati). Vztrajnostni in odpornostni moment bomo izračunavali tudi s pomočjo formul v tabelah.

Prerez nosilca	Vztrajnostni moment	Odpornostni moment
	$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12}$ $I_y = \frac{h \cdot b^3}{12}$	$W_x = \frac{b \cdot h^2}{6}$ $W_y = \frac{h \cdot b^2}{6}$
	$I_x = I_y = \frac{a^4}{12}$	$W_x = W_y = \frac{a^3}{6}$
	$I_x = 0,5413 \cdot r^4$	$W_x = \frac{5}{8} \cdot r^3$
	$I_x = I_y = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$	$W_x = W_y = \frac{\pi \cdot d^3}{32}$

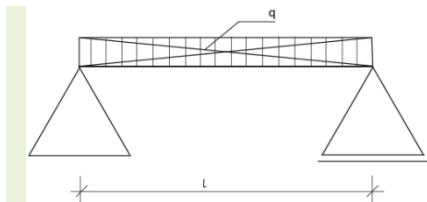
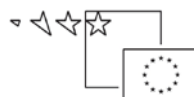
Tabela 4: Formule za vztrajnostni in odpornostni moment



NOSILEC IN VRSTA OBREMITVE	REAKCIJE	MAKSIMALNI UPOGIBNI MOMENT	POVES
	$A = F$ $M_a = F \times l$	$M_{\max} = -F \times l$	$f = \frac{F \times l^3}{3 \times E \times I}$
	$A = q \times l$ $M_a = \frac{q \times l^2}{2}$	$M_{\max} = -\frac{q \times l^2}{2}$	$f = \frac{q \times l^4}{8 \times E \times I}$
	$A = B = \frac{F}{2}$	$M_{\max} = \frac{F \times l}{4}$	$f = \frac{F \times l^3}{48 \times E \times I}$

Učno gradivo je nastalo v okviru projekta Munus 2. Njegovo izdajo je omogočilo sofinanciranje Evropskega socialnega sklada Evropske unije in

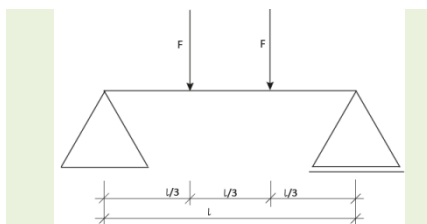
Ministrstva za šolstvo in šport.



$$A = B = \frac{q \times l}{2}$$

$$M_{\max} = \frac{q \times l^2}{8}$$

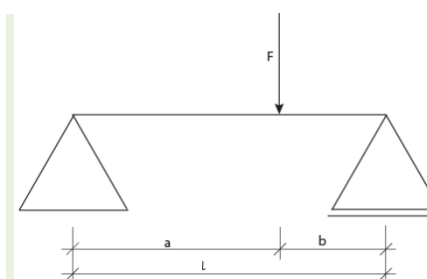
$$f = \frac{5 \times q \times l^4}{384 \times E \times I}$$



$$A = B = F$$

$$M_{\max} = \frac{F \times l}{3}$$

$$f = \frac{23 \times F \times l^3}{648 \times E \times I}$$



$$A = \frac{F \times b}{l}$$

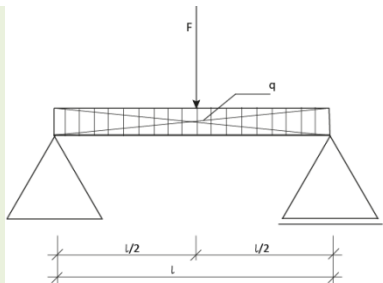
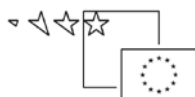
$$M_{\max} = \frac{F \times a \times b}{l}$$

$$\text{za } a > b$$
$$f = \frac{F \times l^3}{9 \times E \times I} \times \frac{b^2 \times a^2}{l^4} \times \left(2 + \frac{a}{b}\right) \times \sqrt{\frac{1}{3} + \frac{2b}{3a}}$$

$$\text{za } a < b$$
$$f = \frac{F \times l^3}{9 \times E \times I} \times \frac{b^2 \times a^2}{l^4} \times \left(2 + \frac{b}{ba}\right) \times \sqrt{\frac{1}{3} + \frac{2a}{3b}}$$

Učno gradivo je nastalo v okviru projekta Munus 2. Njegovo izdajo je omogočilo sofinanciranje Evropskega socialnega sklada Evropske unije in

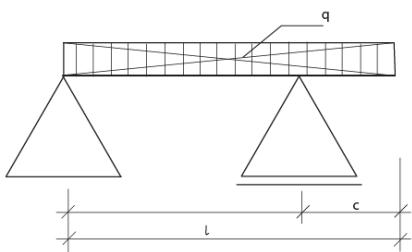
Ministrstva za šolstvo in šport.



$$A = B = \frac{q \times l}{2} + \frac{F}{2}$$

$$M_{\max} = \frac{q \times l^2}{8} + \frac{F \times l}{4}$$

$$f = \frac{l^3}{48 \times E \times I} \times \left(\frac{5}{8} \times q \times l + F \right)$$



$$A = \frac{q}{2 \times l} \times (l^2 - c^2)$$

$$B = \frac{q}{2 \times l} \times (l^2 + c^2)$$

med a in b

$$M = \frac{A^2}{2 \times q}$$

V ležišču b

$$B = -q \times \frac{c^2}{2}$$

poves med ležiščema a in b

$$f = \frac{q \times l^2 \times (5 \times l^2 - 12 \times c^2)}{384 \times E \times I}$$

poves previsa

$$f = \frac{q \times c^3 \times (4 \times l + 3 \times c) - q \times l^3 \times c}{24 \times E \times I}$$

Tabela 5

Učno gradivo je nastalo v okviru projekta Munus 2. Njegovo izdajo je omogočilo sofinanciranje Evropskega socialnega sklada Evropske unije in

Ministrstva za šolstvo in šport.



Označba*	Dimenzije mm				Prerez A mm ²	Masa kg/m	Statične veličine			
	h	b	d	t			I _x	I _y	W _x	W _y
							10 ⁴ mm ⁴ (=cm ⁴)	10 ³ mm ³ (=cm ³)		
80	80	42	3,9	5,9	758	5,95	77,8	6,3	19,5	3,00
100	100	50	4,5	6,8	1060	8,32	171	12,2	34,2	4,88
120	120	58	5,1	7,7	1420	11,2	328	21,5	54,7	7,41
140	140	66	5,7	8,6	1830	14,4	573	35,2	81,9	10,7
160	160	74	6,3	9,5	2280	17,9	935	54,7	117	14,8
180	180	82	6,9	10,4	2790	21,9	1450	81,3	161	19,8
200	200	90	7,5	11,3	3350	26,3	2140	117	214	26,0
(220)	220	98	8,1	12,2	3960	31,1	3060	162	278	33,1
240	240	106	8,7	13,1	4610	38,2	4250	221	354	41,7
260	260	113	9,4	14,1	5340	41,9	5740	288	442	51,0
(280)	280	119	10,1	15,2	6110	48,0	7590	364	543	61,2
300	300	125	10,8	16,2	6910	54,2	9800	451	653	72,2
320	320	131	11,5	17,3	7780	61,1	12510	555	782	84,7
340	340	137	12,2	18,3	8680	68,1	15700	674	923	98,4
(360)	360	143	13,0	19,5	9710	76,2	19610	818	1090	114

Tabela 6: Vztrajnostni in odpornostni moment za jeklene I profile



d cm	S cm ²	I cm ⁴	W cm ³	i cm
10	78,54	490,9	98,2	2,5
12	113,1	1018	169,6	3,0
14	153,9	1886	269,4	3,5
16	201,1	3217	402,1	4,0
18	254,5	5153	572,6	4,5
20	314,2	7854	785,4	5,0
22	380,1	11499	1045	5,5
24	452,4	16286	1357	6,0
26	530,9	22432	1726	6,5
28	615,8	30172	2155	7,0
30	706,9	39761	2651	7,5
40	1257	125664	6283	10,0

Tabela 7: Vztrajnostni in odpornostni moment ter vztrajnostni polmer za okrogle prereze

Učno gradivo je nastalo v okviru projekta Munus 2. Njegovo izdajo je omogočilo sofinanciranje

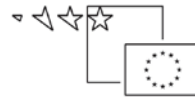
Evropskega socialnega sklada Evropske unije in Ministrstva za šolstvo in šport.



PRAVOKOTNI PROFILI LESENIH NOSILCEV			$W_x = \frac{b \cdot h^2}{6}$	$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12}$	$W_y = \frac{h \cdot b^2}{6}$	$I_y = \frac{h \cdot b^3}{12}$
Dimenzija prereza cm (širina x višina)		Površina prereza cm ²	W_x cm ³	I_x cm ⁴	W_y cm ³	I_y cm ⁴
6	10	60	100	500	60	180
6	12	72	144	864	72	216
8	8	64	85	341	85	341
8	10	80	133	667	107	427
8	14	112	261	1829	149	597
8	16	128	341	2731	171	683
10	10	100	167	833	167	833
10	12	120	240	1440	200	1000
10	14	140	327	2287	233	1167
10	16	160	427	3413	267	1333
10	18	180	540	4860	300	1500
12	12	144	288	1728	288	1728
12	14	168	392	2744	336	2016
12	16	192	512	4096	384	2304
12	18	216	648	5832	432	2592
12	20	240	800	8000	480	2880
14	14	196	457	3201	457	3201
14	16	224	597	4779	523	3659
14	18	252	756	6804	588	4116
14	20	280	933	9333	653	4573
14	22	308	1129	12423	719	5031
16	24	384	1536	18432	1024	8192
16	16	256	683	5461	683	5461
16	18	288	864	7776	768	6144
16	20	320	1067	10667	853	6827
16	22	352	1291	14197	939	7509
18	24	432	1728	20736	1296	11664
18	18	324	972	8748	972	8748
18	20	360	1200	12000	1080	9720
18	22	396	1452	15972	1188	10692
20	24	480	1920	23040	1600	16000
20	20	400	1333	13333	1333	13333
20	22	440	1613	17747	1467	14667
22	24	528	2112	25344	1936	21296
24	26	624	2704	35152	2496	29952
24	26	624	2704	35152	2496	29952
24	28	672	3136	43904	2688	32256
24	30	720	3600	54000	2880	34560
26	26	676	2929	38081	2929	38081
26	28	728	3397	47563	3155	41011
26	32	832	4437	70997	3605	46869
28	28	784	3659	51221	3659	51221

Učno gradivo je nastalo v okviru projekta Munus 2. Njegovo izdajo je omogočilo sofinanciranje

Evropskega socialnega sklada Evropske unije in Ministrstva za šolstvo in šport.

**RAČUNSKÉ NALOGE ZA DIMENZIONIRANJE NA UPOGIB:**

1. Imamo 1,5 m dolg konzolni nosilec pravokotnega prereza, ki je na prostem koncu obremenjen s silo 6 kN. Višina stranice h je $1,5 \cdot b$. Dopustna napetost za jeklo je 120 MPa. Izračunajte stranici b in h pravokotnega prereza in poves nosilca pod dano obremenitvijo.

(R: $M_{\max} = 9 \text{ kNm}$, $W_x = 75\,000 \text{ mm}^3$, $b = 58,5 \text{ mm}$, $h = 88 \text{ mm}$, $I_x = 3\,322\,176 \text{ mm}^4$, $f = 10 \text{ mm}$)

2. Enostranski vpeti jekleni nosilec z dopustno napetostjo 120 MPa je obremenjen z upogibnim momentom 50 000 Nm. Izračunajte:

- veljavni I profil, če bi imel nosilec obliko I profila,
- stranici pravokotnika za kateri velja $h:b = 1:2$, če bi bil pravokotnega prereza in
- premer kroga, če bi bil okroglega prereza.

(R: $W_x = 416\,666,6 \text{ mm}^3$, I 260, $b = 215 \text{ mm}$, $h = 108 \text{ mm}$, $d = 162 \text{ mm}$)

3. Imamo $2 \cdot d$ dolg tečaj valjaste oblike obremenjen z rezultanto enakomerne zvezne oblike Q je 90 kN. Dopustna upogibna napetost je 140 MPa. Izračunajte premer tečaja.

(R: $d = 81 \text{ mm}$)

4. Prosto ležeči jekleni nosilec I 240 profil je na sredini obremenjen z napetostjo 85 MPa. Dolžina nosilca je 1 m. Izračunajte dejansko silo, maksimalni upogibni moment in poves nosilca.

(R: $F_{\text{dej}} = 391\,850 \text{ N}$, $M_{\max} = 97\,962,5 \text{ Nm}$, $I_x = 4\,250 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$, $f = 0,91 \text{ mm}$)

5. Dimenzionirajte pravokotni prerez hrastovega trama dolžine 4 m. To je prostoležeči nosilec, ki je po celi dolžini obremenjen z zvezno obremenitvijo 1800 N/m. Stranici b in h sta v razmerju 7:5. Dopustna upogibna napetost je 1400 N/mm², elastični modul pa je 12 500 MPa. Izračunajte tudi poves hrastovega nosilca.

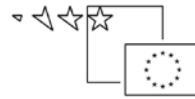
(R: $M_{\max} = 3600 \text{ Nm}$, $W_x = 257\,142,8 \text{ mm}^3$, $b = 92,3 \text{ mm} = 93 \text{ mm}$, $h = 129,26 \text{ mm} = 130 \text{ mm}$, $I_x = 17\,026\,750 \text{ mm}^4$, $f = 28,2 \text{ mm}$)

6. Izračunajte s kakšno silo lahko obremenite prostoležeči nosilec iz smrekovega lesa I kategorije. Dolžina nosilca je 4 m, širina je 16 cm, višina je 20 cm. Sila deluje na nosilec v sredini.

(R: $\sigma_{\text{dop}} = 1\,300 \text{ N/cm}^2$, $W_x = 1\,066,66 \text{ cm}^3$, $M_{\max} = 13\,866,66 \text{ Nm}$, $F = 13,8 \text{ kN}$)

POVEZAVA Z FIZIKO:

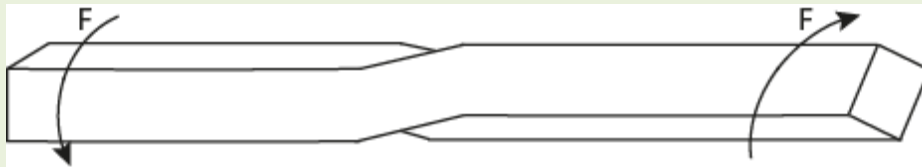
Računanje nateznih in tlačnih napetosti.



Si se kdaj vprašal, kako so obremenjene gredi? Na eni strani jih hoče zaviti v eno stran in na drugi v drugo stran. Kot, da bi ožemal mokro cunjо☺. Kako pa vemo, kateri les je najbolj »odporen« proti torziji? Kje pride do torzije in kaj to natančneje sploh je?

TORZIJSKA TRDNOST (VZVOJ)

Do torzije pride takrat, ko hoče dvojica sil telo, ki je na enem koncu vpeto, zaviti okoli vzdolžne osi. To je zadržana torzija. Poznamo pa tudi prosto torzijo, kjer sta oba konca palice prosta.



$$\tau = \frac{M_t}{W_t} \leq \tau_{\text{dop}}$$

τ (MPa) torzijska trdnost

W_t (mm³) torzijski odpornostni moment

Torzijski odpornostni moment za krog izračunamo po formuli:

$$W_t = \frac{\pi d^3}{16}$$

Torzijski moment M_t lahko izračunamo na dva načina:

– z dvojico sil: $M_t = 2 \cdot a \cdot F$

– in zaradi pogona na gredi pri moči P ter vrtilni hitrosti n

$$M_t = \frac{P}{\omega} = \frac{P}{2\pi n}$$

M_t (Nm) torzijski moment

a (m) ročica, razdalja med silama, ki hočeta telo zaviti okoli vzdolžne osi

F (N) sila


P ($W = \frac{Nm}{s}$) moč

ω (s⁻¹) kotna hitrost

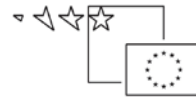
n (min⁻¹, 1/min, vrt/min) vrtilna hitrost

Prosti konec palice se zaradi obremenitve zavrti za kot ϕ in prvotno vlakno dobi po dolžini obliko vijačnice pod kotom γ . Na robu nastopijo največje napetosti in tam se vlakna najbolj deformirajo. Os nosilca je nevtralna in se ne spremeni.

? Kje se vlakna najbolj deformirajo in kje najmanj?

 Iz kakšnega lesa bi izdelal gred?

? Ali pri obremenitvi na vzvoj nastanejo tangencialne ali normalne napetosti?



Pri obremenitvi na torzijo ali vzvoj nastopijo tangencialne napetosti. Tudi tu velja Hookov zakon, ki pravi, da je tangencialna napetost (torzija) premosorazmerna s kotom γ . Premosorazmernostni faktor je strižni modul G , ki ima za jeklo vrednost $81\,000\text{ N/mm}^2$.

$$M_t = G \cdot \gamma$$

Upor na mestu vpetja je vpetostni moment M_a , ki je enak torzijskemu momentu M_t , ki ima nasprotno smer. Na torzijo so obremenjene gredi strojev in enostransko obremenjeni nosilci. Zasučni kot ϕ predstavlja deformacijo in ta mora biti manjša od dopustne. Za gredi je dopustna deformacija $0,25$ na dolžini l en meter.

Formula za izračun deformacije:

$$\frac{\phi^\circ}{l} = \frac{M_t}{GI_t} \cdot \frac{180^\circ}{\pi} \leq \frac{\phi_{dop}^\circ}{l}$$

$$I_t = \frac{\pi d^4}{32}$$

Formule za torzijske odpornostne momente:

Krog

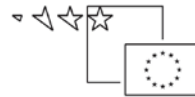
$$W_t = \frac{\pi}{16} \cdot d^3$$

Kvadrat

$$W_t = 0,208 \cdot a^3$$

Gred preračunana na dopustno deformacijo ima veliko večji premer, kot gred, ki smo jo preračunali na dopustno napetost. Na dopustno deformacijo bomo preračunavali daljše gredi, za krajše bo dovolj preračun na dopustno napetost.

Pri lesnih enostavnih prerezih upoštevamo kot nosilni prerez elipso, ki jo včrtamo v prerez. Za les je torzijska napetost enaka strižni napetosti v osni smeri.



RAČUNSKÉ NALOGE ZA PRERAČUNE PRI OBREMITVI NA TORZIJO

1. Jeklena gred z dopustno torzijsko napetostjo 40 MPa prenaša moč 70 kN. Vrtilna hitrost gredi je 250 vrt/min. Strižni modul za jeklo je 81 000 MPa. Dimenzionirajte gred na dopustno napetost in na dopustni zasučni kot φ°_{dop}/l je 0,25°/m.

(R: $\omega = 26,18 \text{ s}^{-1}$, $M_t = 2\,673,8 \text{ Nm}$, $W_t = 38\,197,19 \text{ mm}^3$, $d = 58 \text{ mm}$, $d = 93 \text{ mm}$)

2. Jeklena palica s premerom 40 mm in dopustno torzijsko napetostjo 50 MPa je na prostem koncu obremenjena z dvojico sil v medsebojni razdalji 30 cm. Izračunajte velikost sile.

(R: $W_t = 12\,566,37 \text{ mm}^3$, $M_t = 628,3 \text{ Nm}$, $F = 2094,4 \text{ N} = 2 \text{ kN}$)

3. Jeklen konzolni nosilec z dopustno torzijsko napetostjo 40 MPa in dolžino 3 m je na koncu obremenjen s torzijskim momentom 7 kNm. Strižni modul za jeklo je 81 000 MPa. Dimenzionirajte premer nosilca in zasučni kot.

(R: $W_t = 175\,000 \text{ mm}^3$, $d = 96 \text{ mm}$, $\varphi^{\circ} = 1,78^{\circ}$)

4. Jeklena gred s premerom 60 mm in dolžine 1,5 m se vrti s vrtilno hitrostjo 6 s^{-1} . Dopustni zasučni kot je 0,25°/m. Izračunajte moč gredi.

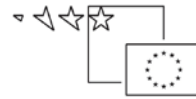
(R: $\omega = 37,69 \text{ s}^{-1}$, $W_t = 38\,197,19 \text{ mm}^3$, $I_t = 1\,272\,345,025 \text{ mm}^4$, $M_t = 449\,683,85 \text{ Nmm}$, $P = 16\,948,58 \text{ W} = 17 \text{ kW}$)

5. Jeklena gred s premerom 90 mm in dolžine 5 m se pod obremenitvijo zasuče za 2,3°. Strižni modul je 81 000 MPa. Izračunajte dejansko strižno napetost in ugotovite, če je gred še pravilno obremenjena. Dopustna strižna napetost je 40 MPa.

(R: $W_t = 143\,138,8 \text{ mm}^3$, $I_t = 6\,441\,246,68 \text{ mm}^4$, $M_t = 4\,188,8 \text{ Nm}$, $\tau_{dej} = 29,3 \text{ MPa}$)

POVEZAVA Z DRUŽBOSLOVJEM:

Raziskovanje lesenih naprav na vodni pogon (mlini ...).



Vsi znamo lomiti palice. Vendar zakaj točno se palica zlomi, ko stopiš nanjo in drugi konec povlečeš navzgor? Kako sile delujejo na palice, s katerimi športniki skačejo v višino? Od česa vse je odvisno, ali se bo palica zlomila ali ne?

UKLONSKA TRDNOST

Vitka palica, ki je obremenjena s tlačno silo se nekoliko skrajša in ukloni. V primeru, da deformacije zaradi delovanja sile postanejo prevelike, palica počne. Silo, pri kateri se to zgodi imenujemo kritična sila. Pri delovanju te sile na palico, se v njej pojavi uklonska napetost.

Dimenzioniranje po Eulerjevem postopku:

$$F_k = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{\min}}{l_0^2}$$

$$\sigma_k = \frac{F_k}{S}$$

$$F = \frac{F_k}{\nu}$$

F_k (N) kritična ali uklonska sila

F (N) dejanska sila s katero lahko obremenimo element

ν (-) varnostni faktor, ki ima vrednost 5 za jeklo, za sivo litino 8, za les 10

E (N/mm²) elastični modul

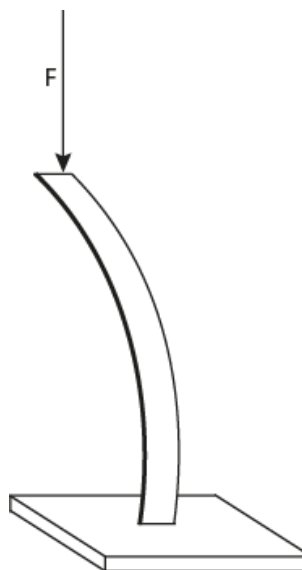
I_{\min} (mm⁴) minimalni vztrajnostni moment prereza za os, okrog katere se nosilec ukloni (tabela)

l_0 (mm) prosta uklonska dolžina


σ_k (N/mm²) uklonska napetost

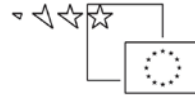
S (mm²) prerez palice

Prosta uklonska dolžina l_0 je odvisna od načina vpetja in materiala. Na sliki so prikazani štiri osnovni načini vpetja in odvisnost proste uklonske dolžine od prvotne dolžine l .



? Kaj je kritična sila?

 Torej, zakaj se palice, s katerimi skačejo v višino ne zlomijo? Poskusi poiskati podatke o teh palicah (material, premer, dolžina ...)!



Uklonska sila F_k in uklonska napetost σ_k sta odvisni od vitkosti λ .

$$\lambda = \frac{l_0}{i}$$

λ (-) vitkost

i (mm) vztrajnostni polmer

l_0 (mm) prosta uklonska dolžina

Vztrajnostni polmer i izračunamo iz minimalnega vztrajnostnega momenta I_{\min} za tisto os okrog katere se nosilec ukloni ter prereza S.

$$i = \sqrt{\frac{I_{\min}}{S}}$$

Za okrogli prerez s premerom d velja:

$$i = \frac{d}{4}$$

Za kvadrat s stranico a :

$$i = 0,289 \cdot a$$

Za pravokotnik s stranicama b in h pa:

$$i = 0,289 \cdot b, \text{ kjer je } b \text{ krajša stranica}$$

Večja je vitkost, večja je nevarnost uklona. Uklonsko kritično napetost določamo po treh različnih postopkih, v odvisnosti od vitkosti.

$\lambda < 60$ dimenzioniranje na čisti tlak

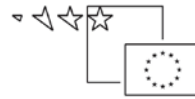
$60 < \lambda < \lambda_p$ dimenzioniranje po Tetmajerjevem postopku

$\lambda_p < \lambda < 250$ dimenzioniranje po Eulerjevem postopku (elastično področje)

Vrednost λ_p za jeklo je 105, za les 100, za sivo litino 80, za jekleno litino 112.

? Kaj je vztrajnostni polmer in kako ga izračunamo?

📖 Kako je poleg uklona še obremenjena palica?



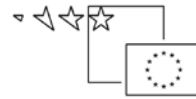
Vrsta vpetja	trdno vpetje in prost konec	obojestransko členkasto vpetje	členkasto in trdno vpetje	obojestransko trdno vpetje
Slika				
Jeklo	$l_0 = 2 \cdot l$	$l_0 = l$	$l_0 = 0,707 \cdot l$	$l_0 = 0,5 \cdot l$
les	$l_0 = 2 \cdot l$	$l_0 = l$	$l_0 = 0,8 \cdot l$	$l_0 = 0,65 \cdot l$

Gradivo	E (MPa)	σ_k (MPa)	Vitkost λ
Siva litina	100.000	$776-12,0 \lambda + 0,053 \lambda^2$	$\lambda < 80$
Jeklina litina	200.000	$303-1,29 \lambda$	$\lambda < 112$
Jeklo	-mehko	210.000	$310-1,14 \lambda$
	-trdo	210.000	$335-0,62 \lambda$
	-Cr Ni	210.000	$470-2,30 \lambda$
les	10.000	$29,3-0,194 \lambda$	$\lambda < 100$

Tabela 9: Tetmajerjeve enačbe za napetost σ_k pri neelastičnem uklonu

Učno gradivo je nastalo v okviru projekta Munus 2. Njegovo izdajo je omogočilo sofinanciranje

Evropskega socialnega sklada Evropske unije in Ministrstva za šolstvo in šport.

**RAČUNSKÉ NALOGE ZA DIMENZIONIRANJE NA UKLON**

1. Jeklen drog iz mehkega jekla je na eni strani trdo vpet, na drugi pa ima prosti konec. Premer droga je 50 mm in dolžina 2,5 m. Varnostni faktor je 5. Izračunajte silo s katero ga lahko obremenimo.

(R: $E = 210\,000\text{ MPa}$, $l_0 = 5\,000\text{ mm}$, $I_{\min} = 306\,796\text{ mm}^4$, $F_k = 25\,434,8\text{ N}$, $F = 5\,087\text{ N}$)

2. Smrekov steber pravokotnega prereza je na eni strani vpet členkasto na drugi pa trdo. Dolžina stebra je 5 m. Obremenjen je s silo 45 kN. Izračunajte dimenziji stranic pravokotnika, če sta v razmerju 2 :3. Varnostni faktor je 10.

(R: $l_0 = 4\,000\text{ mm}$, $I_{\min} = 72\,951\,252\text{ mm}^4$, $b = 155,4\text{ mm}$, $h = 233,14\text{ mm}$, $i = 44,87\text{ mm}$, $\lambda = 111,4$ zato lahko dimenzioniramo po Eulerju.)

3. Trdo jekleno palico okroglega prereza obremenimo s silo 200 kN. 1,8 m dolga palica je na obeh straneh členkasto vpet. Varnostni faktor je 5. Izračunajte premer palice.

(R: $E = 210\,000\text{ MPa}$, $l_0 = 1\,800\text{ mm}$. Po Eulerju: $I_{\min} = 1\,563\,241\text{ mm}^4$, $d = 75\text{ mm}$. Preverimo vitkost: $i = 18,8\text{ mm}$, $\lambda = 95,85 < 105$, zato dimenzioniramo po Tetmajerjevemu postopku (tabela): $\sigma_k = 275,57\text{ MPa}$,

$S = 3628,8\text{ mm}^2$, $d = 68\text{ mm}$, $v = 5$)

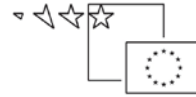
4. Steber iz hrastovega lesa dolžine 4 m je obremenjen s tlačno silo 15 kN. Na obeh straneh imamo trdo vpetje. Varnostni faktor je 10. Izračunajte dimenzije stranice, če je ta kvadratnega prereza.

(R: $E = 12\,500\text{ MPa}$, $l_0 = 2\,000\text{ mm}$. Po Eulerju: $I_{\min} = 4\,863\,416\text{ mm}^4$, $a = 87,4\text{ mm}$. Preverimo vitkost: $i = 25,26\text{ mm}$, $\lambda = 79,2 < 100$, zato dimenzioniramo po Tetmajerjevemu postopku (tabela): $\sigma_k = 13,9\text{ MPa}$,

$S = 10\,764\text{ mm}^2$, $a = 104\text{ mm}$, $v = 10$)

POVEZAVA S KEMIJO:

Kateri materiali zdržijo večjo uklonsko napetost (kovine, les ...)



DIMENZIONIRANJE PO ω POSTOPKU

Po ω postopku dimenzioniramo tlačno obremenjene konstrukcije iz lesa in jekla. Dopustno napetost zmanjšamo za uklonsko število ω , ki je odvisno od vitkosti in vrste materiala. Za les je podano v tabeli, za jeklo pa v Strojniškem priručniku.

$$\sigma_{\omega} = \omega \cdot \frac{F}{S} \leq \sigma_{\text{dop}}$$

σ_{ω} (N/mm²) uklonska napetost

ω (-) uklonsko število

σ_{dop} (N/mm²) dopustna tlačna napetost


F (N) dejanska tlačna sila

S (mm²) prerez palice

V elastičnem področju je varnostni faktor v 2,5, v ostalem področju pa je v 1,5.

Pri dimenzioniranju z ω postopkom običajno nimamo podanih prerezov palic, ampak jih moramo predvideti. Izračunamo uklonsko napetost, če je ta večja od dopustne moramo prerez povečati. Če je malo manjša od dopustne so predvidene mere prereza pravilne, če je pa uklonska napetost veliko manjša od dopustne, bomo prerez povečali.

? Kaj dimenzioniramo po ω postopku?

 Kaj je varnostni faktor?



λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02
20	1,02	1,03	1,03	1,03	1,03	1,04	1,04	1,04	1,05	1,05
30	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08	1,08	1,09	1,09	1,10
40	1,10	1,11	1,11	1,12	1,13	1,13	1,14	1,15	1,15	1,16
50	1,17	1,18	1,18	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25
60	1,26	1,27	1,29	1,30	1,31	1,32	1,34	1,35	1,36	1,38
70	1,39	1,41	1,43	1,44	1,46	1,48	1,50	1,52	1,54	1,56
80	1,59	1,61	1,63	1,66	1,69	1,71	1,74	1,78	1,81	1,84
90	1,88	1,92	1,95	2,00	2,04	2,09	2,14	2,19	2,24	2,30
100	2,36	2,41	2,46	2,51	2,56	2,61	2,66	2,71	2,76	2,81
110	2,86	2,91	2,97	3,02	3,07	3,13	3,18	3,24	3,29	3,35
120	3,40	3,46	3,52	3,58	3,64	3,69	3,75	3,81	3,87	3,93
130	4,00	4,06	4,12	4,18	4,25	4,31	4,37	4,44	4,50	4,57
140	4,63	4,70	4,77	4,83	4,90	4,97	5,04	5,11	5,18	5,25
150	5,32	5,39	5,46	5,53	5,61	5,68	5,75	5,83	5,90	5,98
160	6,05	6,13	6,20	6,28	6,36	6,44	6,51	6,59	6,67	6,75
170	6,83	6,91	6,99	7,08	7,16	7,24	7,32	7,41	7,49	7,57
180	7,66	7,75	7,83	7,92	8,00	8,09	8,18	8,27	8,36	8,44
190	8,53	8,62	8,72	8,81	8,90	8,99	9,08	9,17	9,27	9,36
200	9,46	9,55	9,65	9,74	9,84	9,94	10,03	10,13	10,23	10,33
210	10,43	10,53	10,63	10,73	10,83	10,93	11,03	11,13	11,24	11,34
220	11,44	11,55	11,65	11,76	11,86	11,97	12,08	12,18	12,29	12,40
230	12,51	12,62	12,72	12,83	12,94	13,06	13,17	13,28	13,39	13,50
240	13,62	13,73	13,84	13,96	14,08	14,19	14,31	14,42	14,54	14,66
250	14,78									

Tabela 10: Uklonska števila ω za mehko konstrukcijsko jeklo

Učno gradivo je nastalo v okviru projekta Munus 2. Njegovo izdajo je omogočilo sofinanciranje

Evropskega socialnega sklada Evropske unije in Ministrstva za šolstvo in šport.

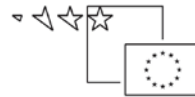


Uklonsko število ω											
Vitkost λ	Vitkost										Vitkost λ
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0
10	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	10
20	1,03	1,03	1,04	1,04	1,05	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07	20
30	1,08	1,08	1,09	1,09	1,10	1,10	1,11	1,11	1,12	1,13	30
40	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23	40
50	1,24	1,25	1,26	1,28	1,30	1,32	1,34	1,36	1,38	1,40	50
60	1,42	1,44	1,46	1,48	1,50	1,52	1,54	1,56	1,58	1,61	60
70	1,64	1,67	1,70	1,74	1,78	1,82	1,87	1,92	1,97	2,02	70
80	2,07	2,12	2,17	2,22	2,27	2,33	2,39	2,45	2,50	2,56	80
90	2,62	2,68	2,74	2,80	2,86	2,92	2,98	3,04	3,10	3,16	90
100	3,22	3,29	3,36	3,42	3,48	3,55	3,62	3,69	3,76	3,83	100
110	3,90	3,97	4,04	4,12	4,19	4,26	4,33	4,41	4,48	4,56	110
120	4,64	4,72	4,80	4,87	4,95	5,03	5,11	5,20	5,28	5,37	120
130	5,45	5,53	5,62	5,70	5,79	5,87	5,96	6,05	6,13	6,22	130
140	6,31	6,40	6,50	6,59	6,69	6,78	6,88	6,97	7,06	7,15	140
150	7,25	7,35	7,45	7,55	7,65	7,75	7,85	7,95	8,05	8,15	150
160	8,25	8,35	8,47	8,57	8,67	8,78	8,88	9,00	9,12	9,22	160
170	9,32	9,43	9,55	9,66	9,78	9,88	-	-	-	-	170

Tabela 11: Uklonska števila ω za les

Učno gradivo je nastalo v okviru projekta Munus 2. Njegovo izdajo je omogočilo sofinanciranje

Evropskega socialnega sklada Evropske unije in Ministrstva za šolstvo in šport.

**RAČUNSKÉ NALOGE ZA DIMENZIONIRANJE PO ω POSTOPKU**

1. Imamo smrekov steber **II**, ki je na obeh staneh trdno vpet. Dolžina stebra je 5 m, obremenjen pa je s silo 50 kN. Izračunajte stranico a kvadratnega prereza.

$$(R: \sigma_{dop} = 850 \text{ N/cm}^2, l_0 = 3250 \text{ mm}, a = 13 \text{ cm}, S = 169 \text{ cm}^2, i = 3757 \text{ mm}, \lambda = 86, \omega = 2,39,$$

$$\sigma = 707 \text{ N/cm}^2 < \sigma_{dop})$$

2. Smrekov steber **II** pravokotnega prereza 16/20 cm je visok 4m. S kakšno uklonsko silo ga lahko obremenimo, če ima členkasto in trdo podporo?

$$(R: \sigma_{dop} = 850 \text{ N/cm}^2, l_0 = 3200 \text{ mm}, S = 320 \text{ cm}^2, i = 46,24 \text{ mm}, \lambda = 69, \omega = 1,61,$$

$$F = 168\,944 \text{ N} = 196 \text{ kN})$$

3. Izračunajte uklonsko silo za hrastov steber **II** istih dimenzij, kot smrekov v prejšnji nalogi.

$$(R: \sigma_{dop} = 1\,000 \text{ N/cm}^2, l_0 = 3200 \text{ mm}, S = 320 \text{ cm}^2, i = 46,24 \text{ mm}, \lambda = 69, \omega = 1,61,$$

$$F = 198\,757 \text{ N} = 199 \text{ kN})$$

4. S kakšno silo lahko obremenimo jeklen drog z dopustno napetostjo 140 MPa in premerom 60 mm? Dolžina droga je 2,5 m in je obojestransko členkasto vpet.

$$(R: l_0 = 2\,500 \text{ mm}, S = 2\,827 \text{ mm}^2, i = 15 \text{ mm}, \lambda = 166,6, \omega = 6,59,$$

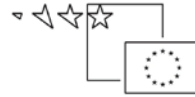
$$F = 60\,057 \text{ N} = 60 \text{ kN})$$



KONZORCIJ ŠOLSKIH CENTROV



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA ŠOLSTVO IN ŠPORT



Naložba v vašo prihodnost
OPERACIJO DELNO FINANCIRA EVROPSKA UNIJA
Evropski socialni sklad

Viri:

Cvetaš Franc (2007) Trdnost, Tehniška založba Slovenije

Geršak Mirko (1996) Gradiva in nauk o trdnosti, Srednja lesarska šola Ljubljana

Geršak Mirko in Prošek Marko (2005) Lesarstvo – zbirka nalog, Lesarska založba

Kraut Bojan (2007) Krautov strojniški priročnik, Ljubljana: Littera picita

Stropnik Jože, Šterk Peter in Juhart Karli (2007) Statika, Tehniška založba Slovenije

Žitnik Davorin (2004) Gradbeniški priročnik, Tehniška založba Slovenije

Učno gradivo je nastalo v okviru projekta Munus 2. Njegovo izdajo je omogočilo sofinanciranje
Evropskega socialnega sklada Evropske unije in Ministrstva za šolstvo in šport.