



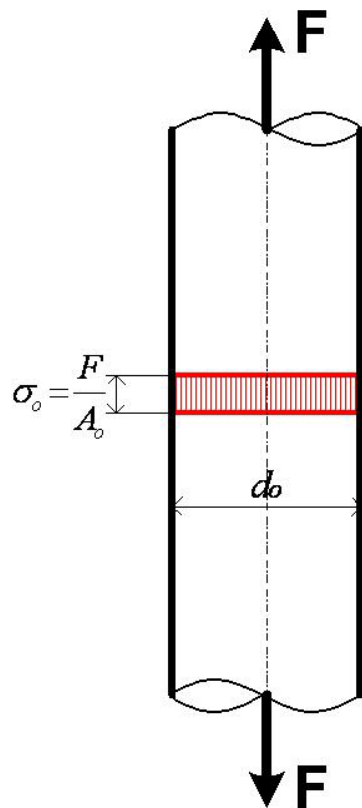
## **2. LABORATORIJSKA VJEŽBA**

- 1. UTJECAJ UNEŠENE KONCENTRACIJE NAPREZANJA, OBLIKOM POLUKRUŽNIH ZAREZA NA ŠTAPOVIMA PRI VLAČNOM NAPREZANJU, NA MEHANIČKO PONAŠANJE KRHKOG I ELASTOPLASTIČNOG MATERIJALA**
- 2. MJERENJE MODULA TORZIJE**
- 3. PRINCIP SUPERPOZICIJE**

## KONCENTRACIJE NAPREZANJA, IZAZVANE POLUKRUŽNIM ZAREZIMA, U ŠTAPOVIMA PRILIKOM RAZVLAČENJA

### – štap konstantnog poprečnog presjeka

Jednoliko raspoređeno naprezanje po površini poprečnog presjeka

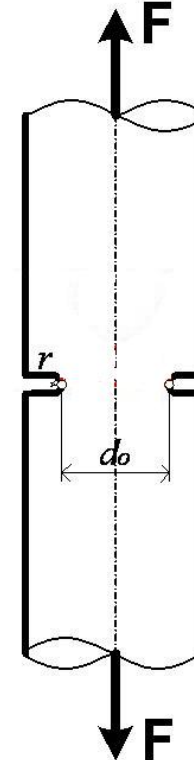
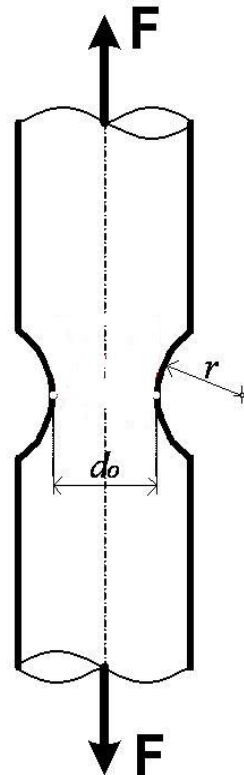


### -štapovi s oslabljenim presjecima polukružnog zarezom

Očekuje se **nejednoliko** raspoređeno naprezanje po površini poprečnog presjeka

sa **blagim** zarezom

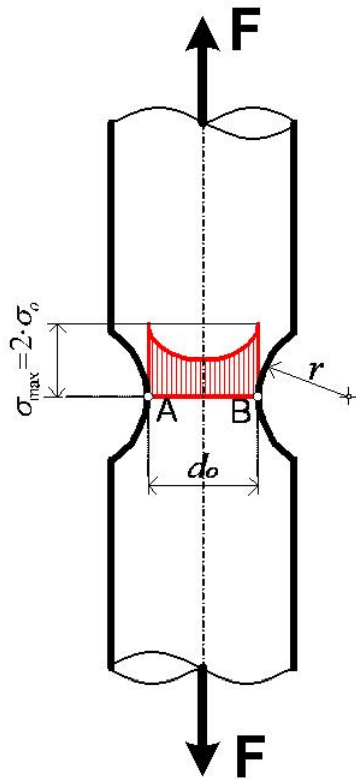
sa **oštrim** zarezom



Polukružnim zarezivanjem štapa, odnosno smanjivanjem presjeka, javlja se na kružnici smanjenog presjeka u točkama A i B, koncentracija naprezanja, ovisna o veličini radijusa zareza  $r$  ("oštrini" zareza).

Naprezanja na kružnici smanjenog presjeka, na tjemenu A i B zareza, mogu biti i nekoliko puta veća od prosječnog (nominalnog) naprezanja u sredini presjeka.

- štap sa **blagim** zarezom

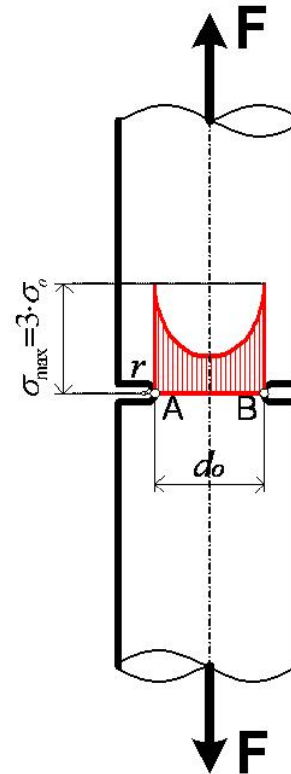


Kod prikazanog zareza ("blagi" zarez,  $r$  je  $\sim 20\text{mm}$ ) faktor koncentracije naprezanja  $\alpha_k$  je približno:

$$\alpha_k \approx 2,0$$

$$\sigma_{\max} = \alpha_k \cdot \sigma_o$$

- štap sa **oštrim** zarezom

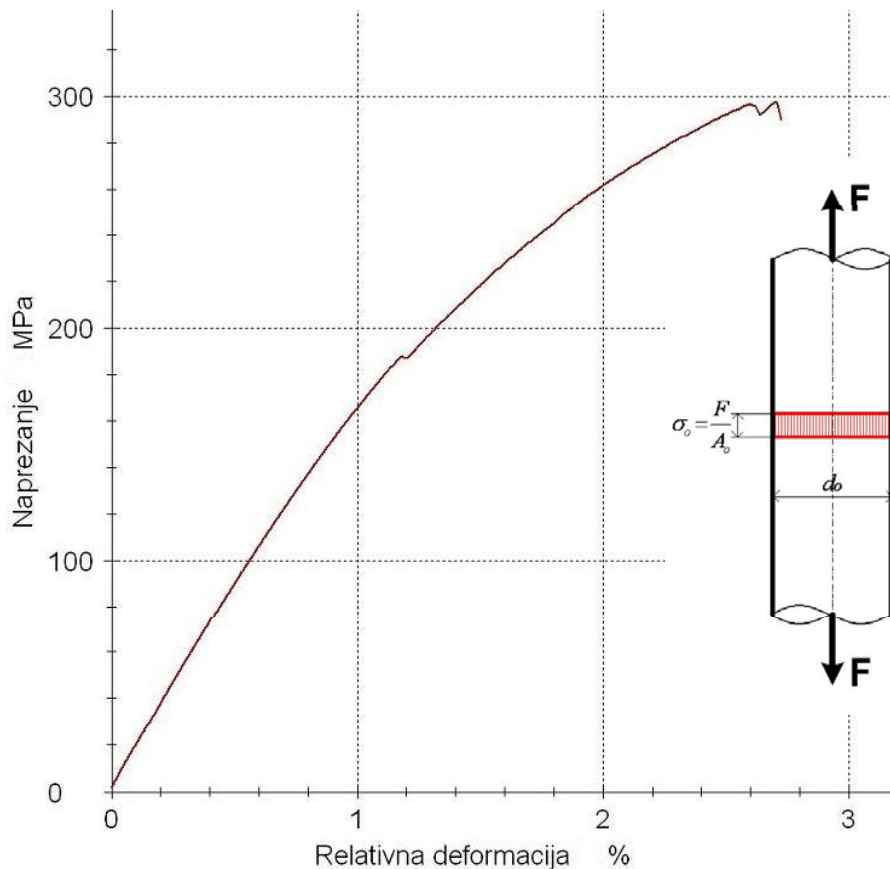


Kod "oštrog" zareza kad je  $r \sim 1\text{mm}$ , javlja se veća koncentracija naprezanja u točkama A i B

$$\alpha_k \approx 3,0$$

$$\sigma_{\max} = \alpha_k \cdot \sigma_o$$

## Mehanizam rastezanja krhkih materijala –uzorak je štap **konstantnog** presjeka (bez zareza)



Krhki materijali nemaju plastične sposobnosti deformiranja prije loma.

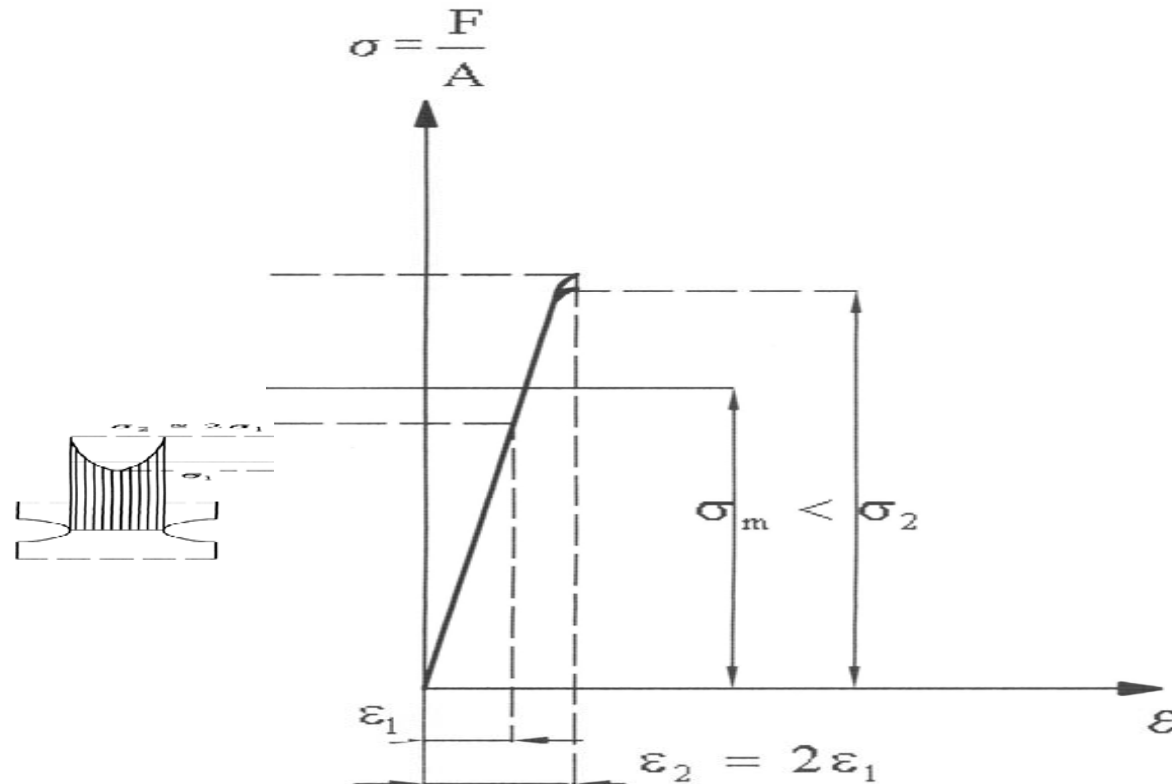
Povećanjem naprezanja deformacije rastu linearno do loma. Nema pojave plastičnih deformacija (**beton, kamen, staklo, lijevano željezo, keramika, drvo** itd.).

Krhki materijali se, zbog toga što se "lome bez najave", ubrajaju u takozvane "nepouzdanе", pa tu činjenicu treba uvažavati pri dimenzioniranju konstrukcija, koristeći veći faktor sigurnosti.

## Mehanizam rastezanja krhkih materijala –uzorci su štapovi **oslabljenog** presjeka

Kod krhkih materijala porastom sile razvlačenja **F**, formirana raspodjela naprezanja na oslabljenom presjeku štapa zbog unešene početne koncentracije naprezanja oblikom zareza, **zadržava** se do sloma ( $\alpha_k$  je konstantan)

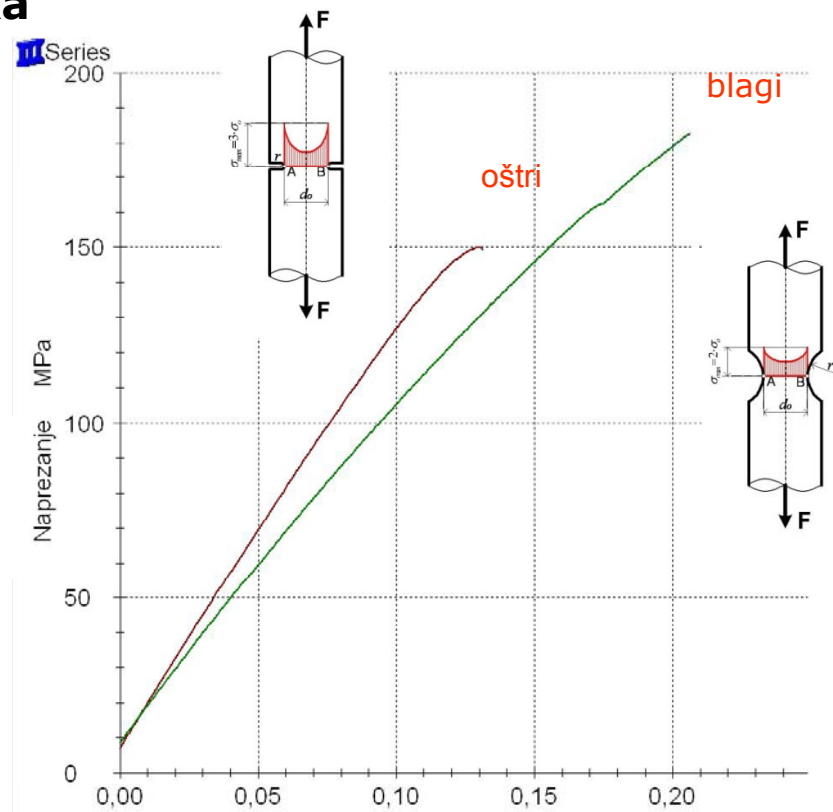
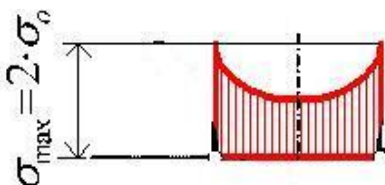
Kad maksimalno naprezanje (na rubu presjeka) dosegne čvrstoću materijala, dolazi do sloma.



## Mehanizam rastezanja krhkih materijala –uzorci su štapovi **oslabljenog** presjeka

blagi zarez

oštri zarez



Blagi zarez na oslabljenom presjeku ima manje koncentracije naprezanja od oštrog zarez, pa će i izmjerena sila loma, kojoj odgovara naprezanje  $\sigma_0$ , na blagom zrezu biti veća od one koja se mjeri na oštrm zrezu.

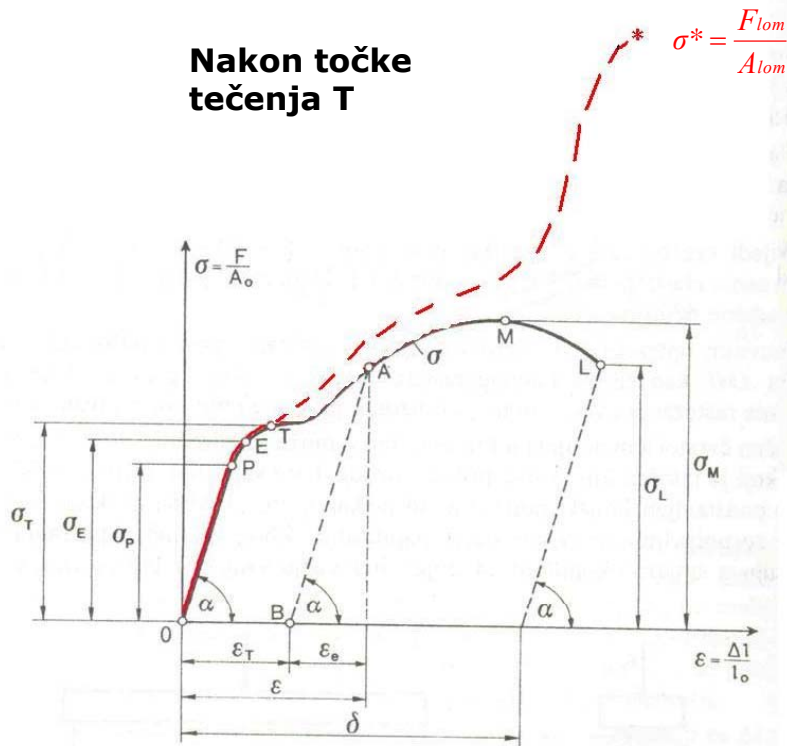
**Kod krhkih materijala, veličina unešene koncentracije naprezanja, oblikom zreza, direktno utječe na čvrstoću oslabljenog presjeka štapa**

## Mehanizam rastezanja elastoplastičnih materijala (mekani čelik) -uzorak je štap **konstantnog** presjeka (vježba 1.)

Nakon točke M



Nakon točke  
tečenja T



Materijali sa izraženim plastičnim karakteristikama, imaju sposobnost da prije sloma pretrpe znatne plastične deformacije (mekani čelik, metali općenito, polimeri itd.).

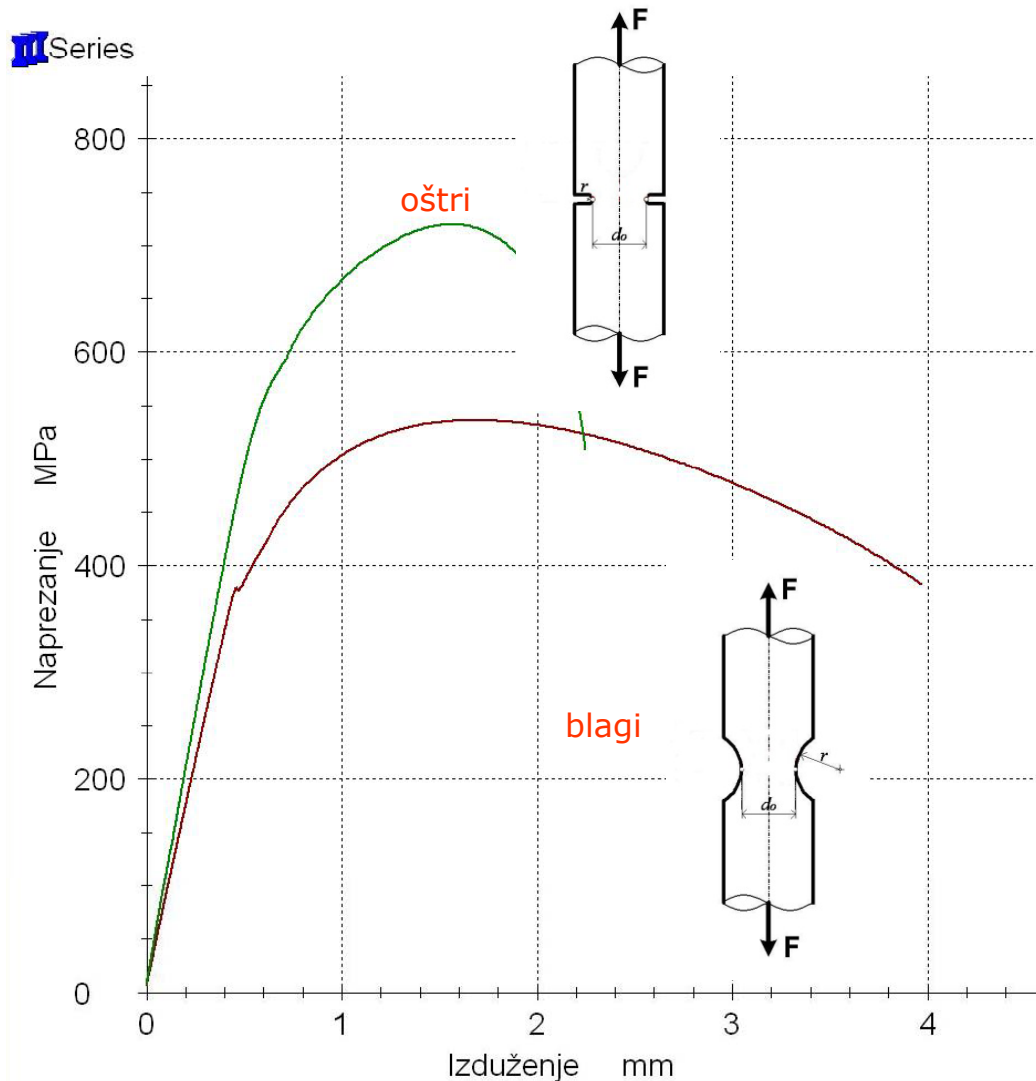
Karakteristično je da tijekom rastezanja, nakon točke tečenja (T), naprezanje stane, dolazi do tečenja materijala, štapu se po čitavoj duljini smanjuje presjek, nakon toga polako očvršćava i kad postigne maksimalno naprezanje (M = Fmax) dolazi do naglog lokalnog povećanja naprezanja na jednom presjeku štapa, gdje se formira "grlo" (naglo smanjenje presjeka ili lokalna kontrakcija poprečnog presjeka).

Na tom mjestu, kad kontrakcija poprečnog presjeka dosegne graničnu vrijednost, nastaje lom (L).





## Mehanizam rastezanja elastoplastičnog materijala (mekani čelik) -uzorci su štapovi **oslabljenog** presjeka



Zarez kod elastoplastičnih materijala, nakon što naprezanje dosegne točku tečenja, djeluje na taj način da svojim oblikom omogućava više ili manje kontrakciju poprečnog presjeka odnosno formiranje grla. Ako je **zarez blagi** (veliki radijus), postojat će **veća mogućnost** za kontrakciju poprečnog presjeka i **za stvaranje grla**, nego u slučaju kad se radi o oštroj zarezu. Kad je u pitanju **oštar zarez**, njegov oblik dozvoljava vrlo male poprečne deformacije, praktički **nema** kontrakcije poprečnog presjeka i **pojave grla**, pa je maksimalno izmjereno naprezanje skoro jednako realnom naprezanju.



## Mehanizam rastezanja oslabljenih uzoraka izrađenih od elastoplastičnog materijala

U prethodnim razmatranjima je pokazano da kod elastoplastičnih materijala nakon što nivo naprezanja dosegne točku tečenja, unešena koncentracija naprezanja oblikom oslabljenog presjeka se gubi (anulira).\*

Zato kod elastoplastičnih materijala oblik oslabljenog presjeka utječe na mehanički odgovor materijala tek nakon točke tečenja (**T**) kroz mogućnost pojave grla na tom oslabljenom presjeku i na taj način mijenja veličinu naprezanja i konačnu plastičnu deformaciju pri lomu. Time se mijenja koeficijent žilavosti  $\psi$  i ukupna energija potrebna za kidanje uzorka ( $W$ ).

Kod štapa sa "blažim" zarezom dolazi do veće kontrakcije poprečnog presjeka i uzorak se lomi pri većoj poprečnoj deformaciji i maksimalna izmjerena sila je manja (faktor  $\Psi$  je veći, uzorak je žilaviji, rad potreban za kidanje  $W_{lom}$  je veći) nego na uzorku sa "oštrijim" zarezom (faktor  $\Psi$  je manji, uzorak je krhkiji, izmjerena maksimalna sila je veća,  $W_{lom}$  je manji i ukupna deformacija pri slomu je manja).

**Kod elastoplastičnih materijala, koncentracija naprezanja unešena oblikom smanjenog presjeka štapa ne utječe na realnu čvrstoću. Zarez oblikom mijenja plastično ponašanje na način da mijenja maksimalnu izmjerenu silu, odnosno maksimalno naprezanje ( $F_{max}/A_0$ , čvrstoća materijala), a zatim žilavost i rad potreban za kidanje.**

\*Ova aproksimacija vrijedi samo za statička opterećenja, kad je prirast sile ili deformacije u vremenu relativno mali, dok u dinamičkim uvjetima naprezanja ovakova aproksimacija ne vrijedi



## Ispitivanja u laboratoriju

Ispitat će se tri uzorka krhkog materijala (**lijevano željezo**) i tri uzorka elastoplastičnog materijala (**mekani čelik**) i izmjeriti sljedeće parametre:

- $d_0$  – početni promjer poprečnog presjeka
- $A_0$  – početna površina poprečnog presjeka
- $d_L$  – promjer poprečnog presjeka u trenutku loma
- $A_L$  – površina poprečnog presjeka u trenutku loma
- $\psi$  – kontrakcija poprečnog presjeka
- $W_{lom}$  – rad utrošen na kidanje uzorka
- $F_{max}$  – maksimalna sila
- $F_L$  – sila u trenutku loma
- $\sigma_{om}$  – granično maksimalno naprezanje (čvrstoća materijala)
- $\sigma_{OL}$  – granično naprezanje u trenutku loma
- $\sigma_L$  – stvarno naprezanje u trenutku loma

$$\psi = \frac{A_0 - A_L}{A_0} \cdot 100(\%)$$

$$W_{lom} = \int_0^{\Delta l} F \cdot dl$$

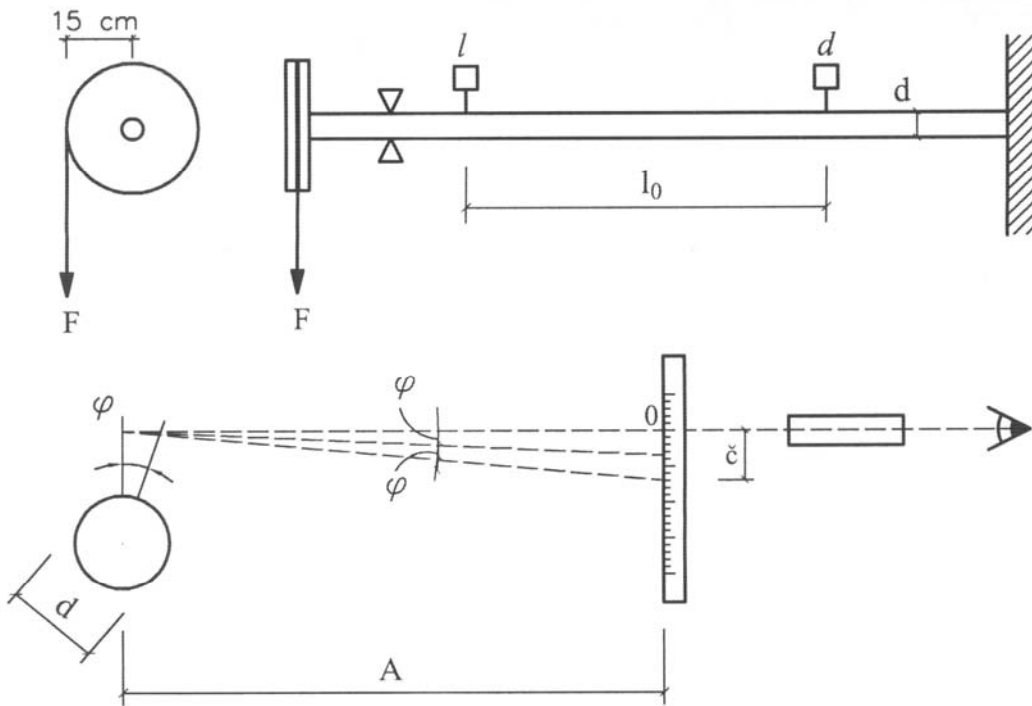
$$\sigma_{om} = \frac{F_{max}}{A_0}$$

$$\sigma_{OL} = \frac{F_L}{A_0}$$

$$\sigma_L = \frac{F_L}{A_L}$$

## TORZIJA

Martens-ov zrcalni aparat



Materijal: ČELIK

Promjer štapa:  $d = 10 \text{ mm}$

Mjerna duljina:  $l_0 = 100 \text{ mm}$

Udaljenost skale od zrcala:  $A = 100 \text{ cm}$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\check{C}}{2A}, \quad \operatorname{tg} \varphi \cong \varphi$$

$$\varphi_{l_0} = \varphi_l - \varphi_d = \frac{\check{C}_l}{2A} - \frac{\check{C}_d}{2A}$$

$$\varphi_{l_0} = \frac{\check{C}_l - \check{C}_d}{2A} = \frac{a}{2A}$$

$$\frac{M_t \cdot l_0}{I_p} = G \cdot \varphi \Rightarrow G = \frac{M_t \cdot l_0}{I_p \cdot \varphi}$$

Kontrola :

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \frac{2,1 \cdot 10^5}{2 \cdot (1 + 0,30)} = 0,81 \cdot 10^5 \text{ MPa}$$

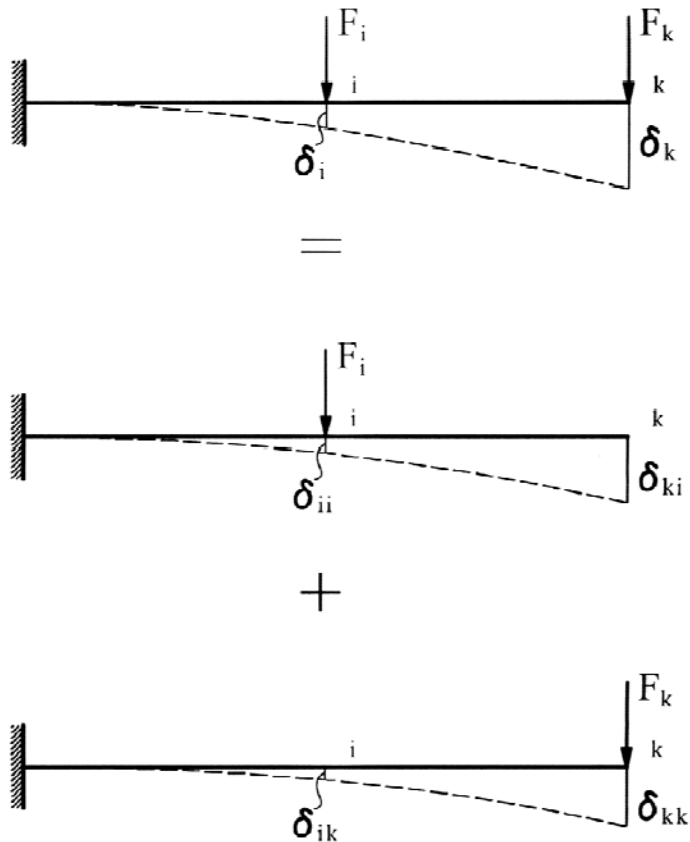
$$M_t = 4500 \text{ Nmm}$$

$$I_p = \frac{\pi \cdot d^4}{32} = 981,75 \text{ mm}^4$$

Maksimalno posmično naprežanje za  $M_t$  i  $I_p$ :

$$\tau_{\max} = \frac{M_t}{I_p} \cdot \frac{d}{2} = \frac{4500}{981,75} \cdot \frac{10}{2} = 22,92 \text{ MPa}$$

## PRINCIP SUPERPOZICIJE



Stanje pomaka (naprezanja i deformacija) izazvano složenim stanjem opterećenja jednako je zbroju stanja pomaka (naprezanja i deformacija) izazvanih izdvojenim pojedinačnim opterećenjima.

$$\delta_k = \delta_{ki} + \delta_{kk}$$

$$\delta_i = \delta_{ii} + \delta_{ik}$$