



BIOMEHANIKA

BIOMEHANIČKI ASPEKT OSTEOGENEZE, MEHANIČKI MODEL ADAPTACIJE FORME KOSTI

BIOMEHANIČKI ASPEKT OSTEOGENEZE

□ ***Koštana depozicija i apsorpcija***

✓ Koštano tkivo čine koštane ćelije koje su na površini kosti zbijenije, a u unutrašnjosti razrjeđenije.

✓ Kost je pokrivena pokosnicom (periostom), u kojoj se nalazi najveći dio mladih koštanih ćelija (osteoblasta).

✓ ***Koja je uloga osteoblasta ???***

stvaranje koštanog tkiva

rast kostiju u širinu i dužinu.

Ovaj proces se naziva koštana depozicija.

Suprotan proces depoziciji, jeste koštana apsorpcija koja se ostvaruje putem krupnih ćelija “osteoklasti”:

- ✓ Oblast: (granične oblasti mnogih šupljih kostiju)
- ✓ Funkcija: razaranje i apsorbovanje unutrašnjih djelova koštanog tkiva.
- ❑ Koja je onda funkcija i uloga dva navedena procesa ??
- ✓ omogućavanje neprekidne promjene u strukturi i formi kostiju tokom života

FUNKCIONALNA ADAPTACIJA KOSTIJU

- ❑ Kost su stalno izložene dejstvu sila

Osteogeneza omogućava da se kost funkcionalno adaptira na sile koje na nju djeluju.

❑ Kako se odvija ova adaptacija??

✓ promjena strukture;

✓ promjena forme.

❑ Zakon transformacije kostiju (1892. Julius Wolff)

Svaka sila koja trajno ili veoma često djeluje na određenu kost muskuloskeletnog sistema dovodi do očvršćavanja te kosti, odnosno dovodi do povećanja gustine koštanih ćelija i debljine kosti.

✓ *Kost prilagođava svoju čvrstinu stepenu opterećenja !!!*

✓ *Koštana depozicija se uvećava na mjestima izloženim većoj sili !!!*

Adaptacija forme kostiju

☐ Osteogeneza omogućuje i trajnu adaptaciju forme kostiju u skladu sa dejstvjućim silama.

☐ Kako se vrši ova modifikacija forme kostiju?

Ona se vrši tako što se kost svojim izvijanjem štiti od djelovanja poprečnih (transferzalnih) sila, težeći da se postavi longitudinalno u odnosu na pravac djelovanja sile na nju.

☐ Srazmjerno male poprečne sile mogu veoma lako da slome kost.

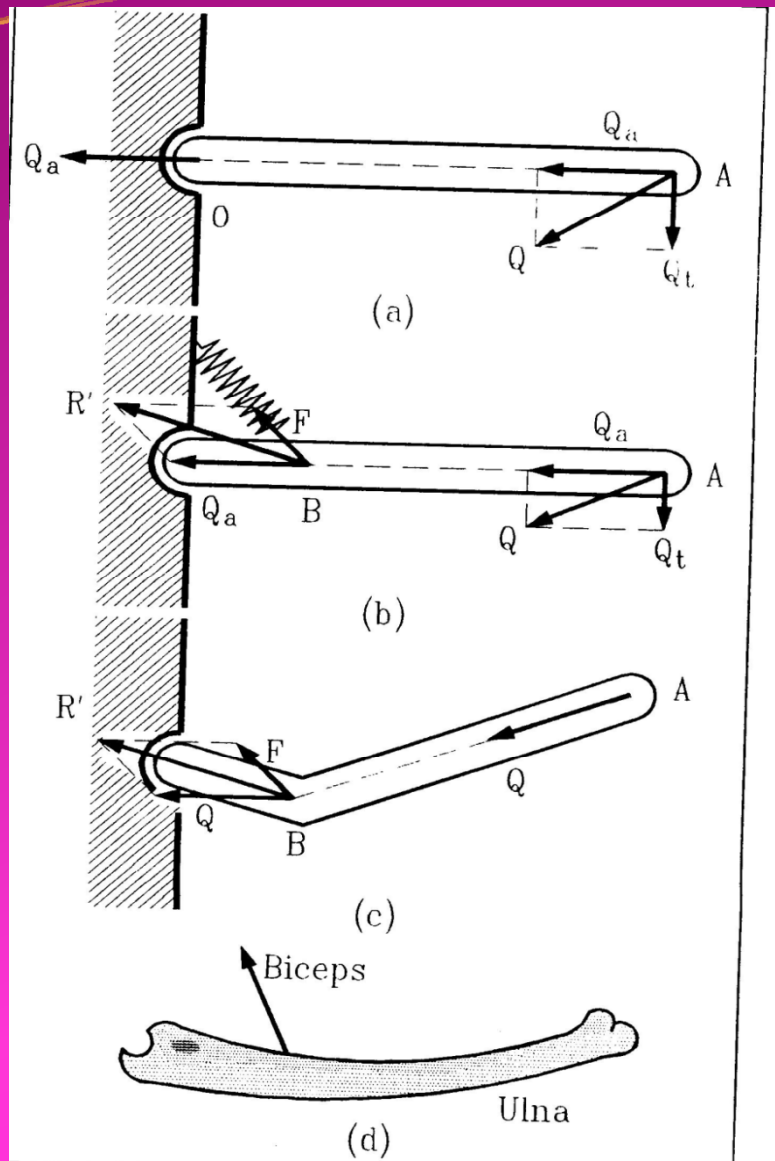
☐ Od čega zavisi forma kosti?

Ona zavisi od funkcija koje vrši i u skladu sa njima se mjenja.

☐ Kostii lokomotornog sistema imaju različit oblik.

☐ Kostii su u pravilu ugaone poluge.

MEHANIČKI MODEL ADAPTACIJE FORME KOSTI



Primjer koji pokazuje na koji način prava kost može da se modifikuje tako da postane trajno zaštićena od poprečnih sila (koje mogu izazvati njeno savijanje i moguću frakturu).

Vrijede sljedeće činjenice:

- ✓ Smjer savijanja kosti suprotan je od smjera djelovanja sile F .
- ✓ Mjesto izmjene forme kosti pri dejstvu sila na nju može se predvidjeti.
- ✓ Rezultanta R dejstvjućih sila prolazi kroz centar rotacije kosti (zglob).

MEĐUMOLEKULSKE SILE

❑ Međumolekulske sile su privlačne i odbojne sile elektrostatičke i kvantne prirode koje djeluju istovremeno.

❑ Kakva je priroda međumolekulskih sila ???

Međumolekulske sile su uglavnom, posljedica uzajamnog djelovanja negativnih elektronskih omotača i pozitivnih jezgara atoma u sastavu molekula.

Privlačna (atraktivna) Van der Valsova sila

$$F_A = -\frac{a}{r^7}$$

a – koeficijent srazmjernosti

Odbojna sila

$$F_r = \frac{b}{r^s}; s \geq 9$$

b – koeficijent srazmjernosti

Rezultujuća sila između dva susjedna molekula na rastojanju r :

$$F = F_A + F_r$$

$F < 0$ (privlačenje)

$F > 0$ (odbijanje)

Svaki molekul se ponaša kao dipol, čiji polaritet uslovljava uzajamno privlačenje između molekula (njihovih jezgara i omotača !!!).

Kada molekuli u toku privlačenje dođu u međusobni dodir preko svojih omotača između njih počinju da djeluju odbojne sile F_r koje naglo rastu srazmjerno prodiranju omotača jednog molekula u omotač drugog molekula.

Gravitacijske sile se zanemaruju u međumolekulskim djelovanjima.

ELASTIČNOST PRI ISTEZANJU I SABIJANJU

☐ Deformacija čvrstog tijela je promjena njegovog oblika i zapremine pod dejstvom spoljnih sila.

✓ Elastična deformacija

✓ Plastična deformacija

Realna tijela deformišu se istovremeno na oba načina, ali je jedan od njih uvijek dominantniji.

☐ Četiri su osnovna načina deformacije čvrstih tijela:

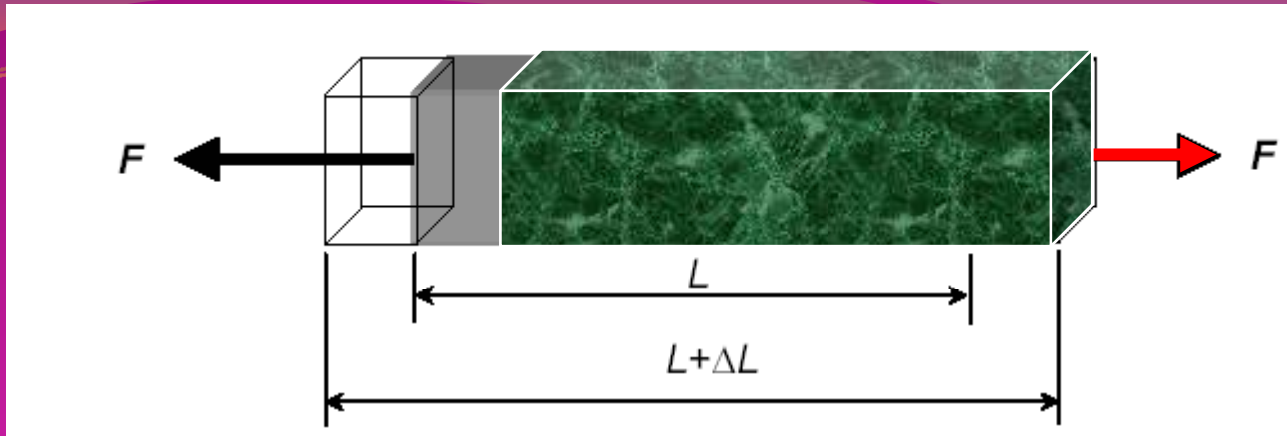
✓ **istezanje**

✓ savijanje

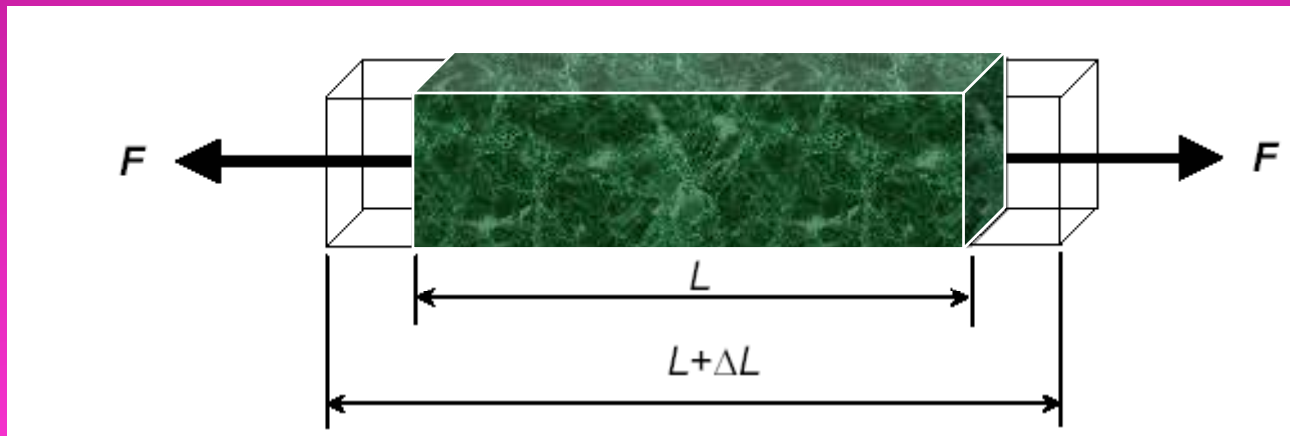
✓ **smicanje**

✓ uvrtnje

ELASTIČNA TIJELA



Svako tijelo se pod djelovanjem vanjskih sila deformiše !

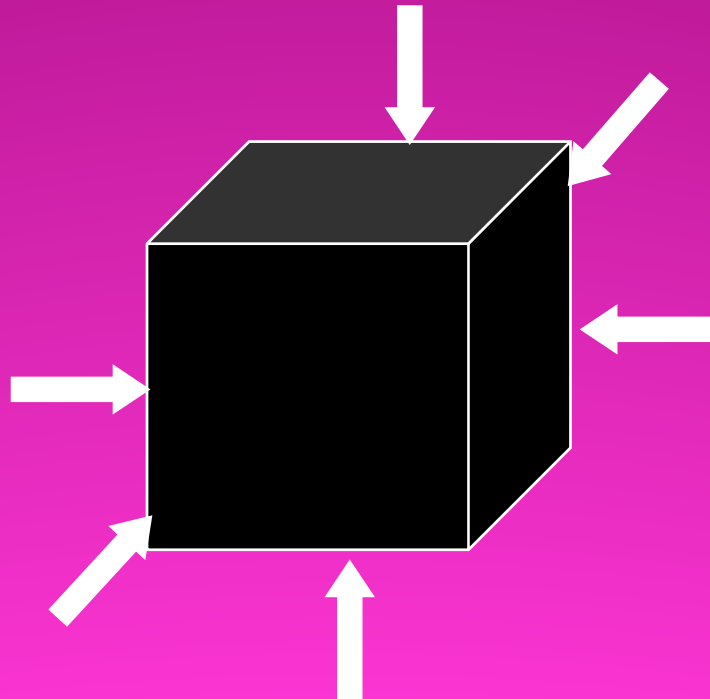


Tijelo je elastično, ako ga unutrašnje međumolekulske sile po prestanku djelovanja vanjskih sila, vraćaju u prvobitan oblik i stanje.

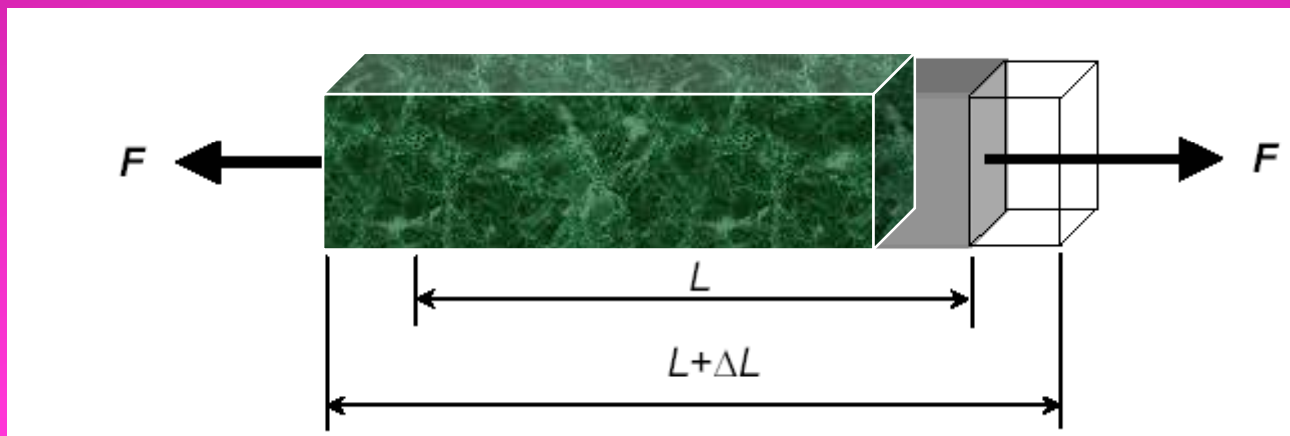
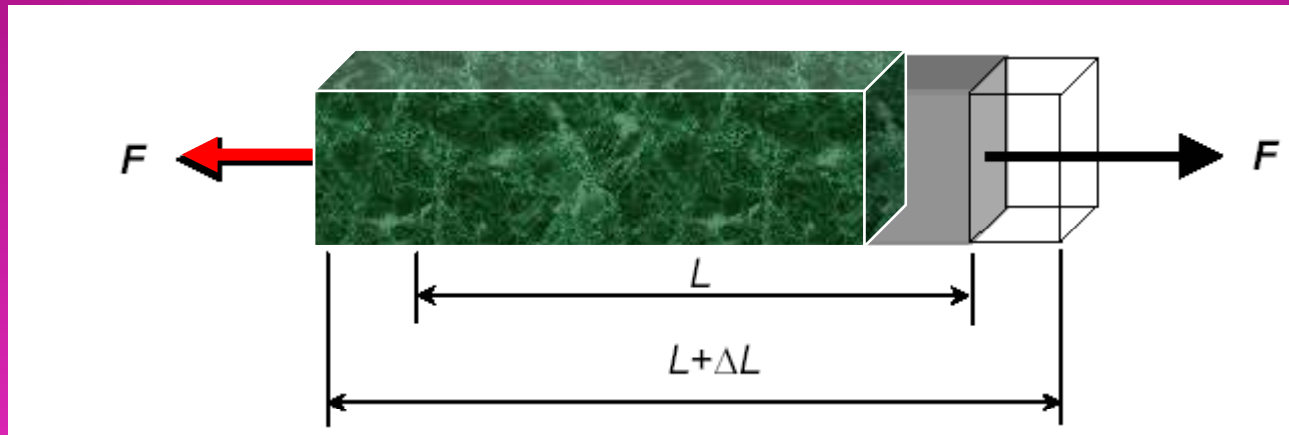
Kada se deformacija tijela može opisati Hookeovim zakonom elastičnosti, tijelo je savršeno elastično

$$\sigma = E \cdot \delta$$

Tijela koja pod dejstvom vanjskih sila ne mjenjaju formu nazivaju se *kruta tijela*.



PLASTIČNA TIJELA



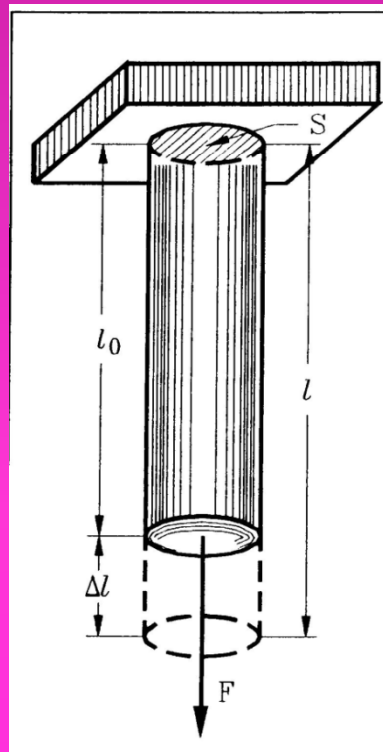
Savršeno plastična tijela potpuno zadržavaju svoj deformisani oblik i nakon prestanka djelovanja spoljnih sila (F).

Normalni napon i relativno istezanje

Normalni elastični napon σ se definiše kao omjer sile i površine na koju ta sila djeluje:

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

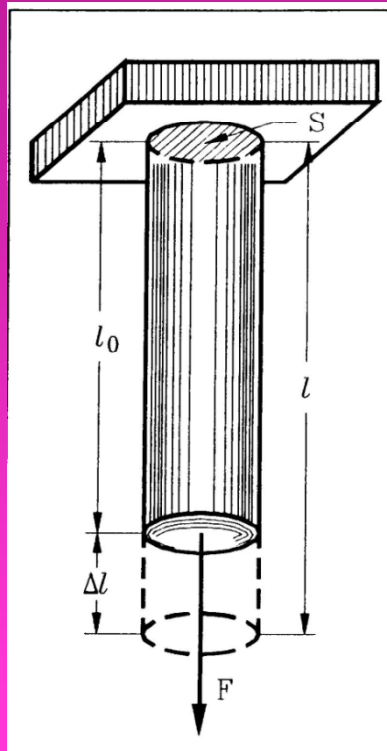
Deformacija δ čvrstog tijela je promjena dimenzija i zapremine tijela, te je obično praćena promjenom oblika tijela. Najjednostavnija deformacija je linearna i definiše se kao:



$$\delta = \frac{\Delta l}{l}$$

Hukov zakon za istezanje

❑ Na sve vrste elastičnih deformacija može se primjeniti opšti Hukov zakon, tj. između normalnog napona i relativne deformacije postoji linearna srazmjernost.

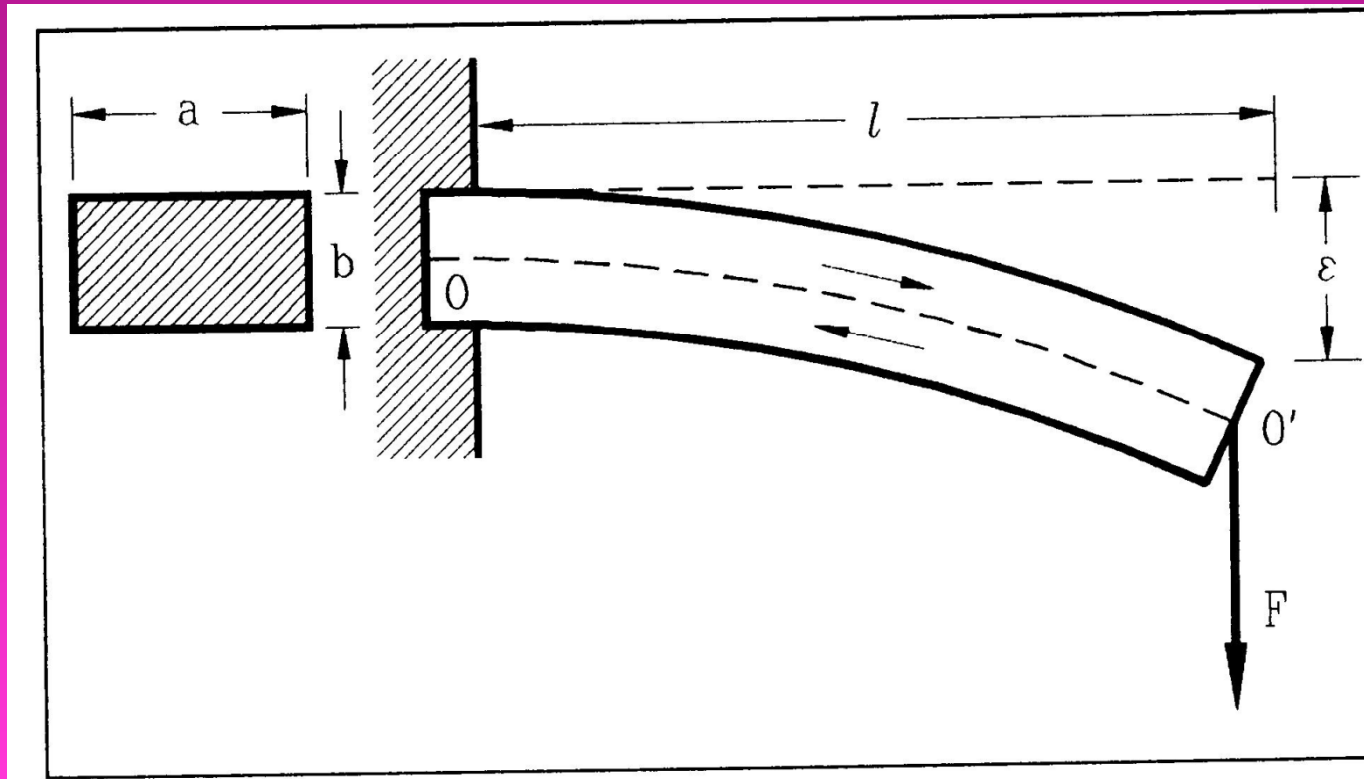


$$\sigma = E \cdot \delta$$

Jungov modul E , zavisi samo od svojstva supstancije posmatranog tijela.

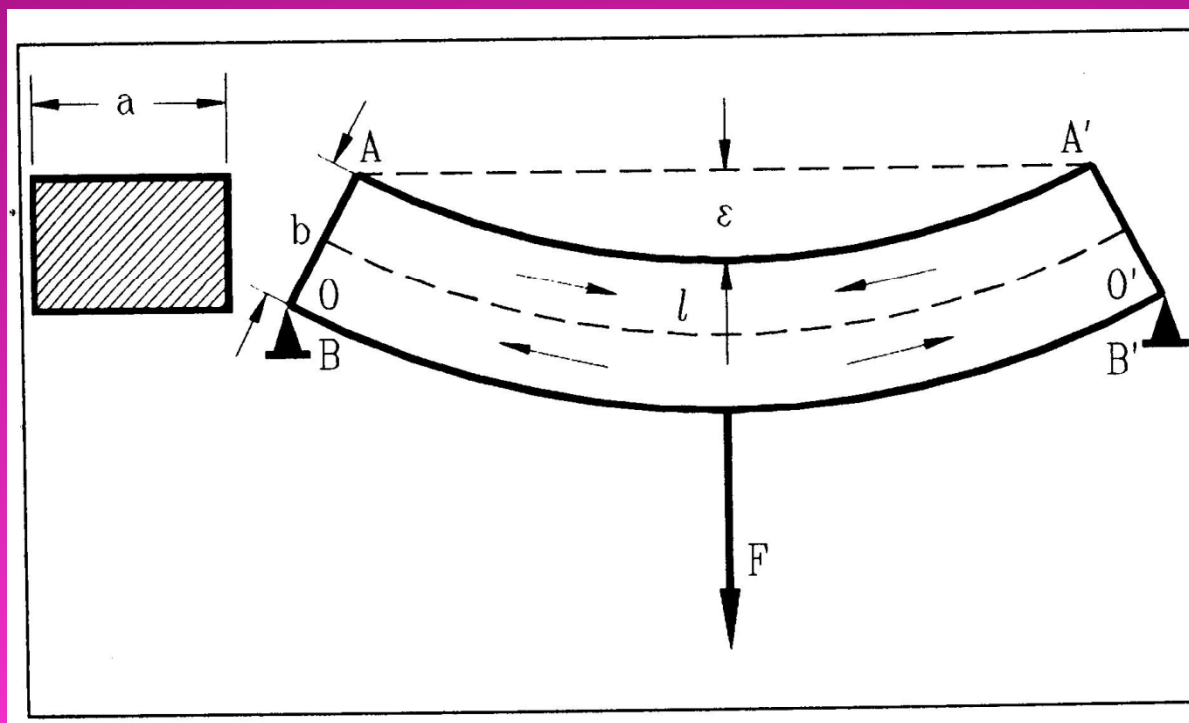
Hukov zakon za savijanje

❑ Mjera ovog oblika deformacije naziva se ugib ε , tj. najveće pomjeranje savijenog tijela u odnosu na početni položaj.



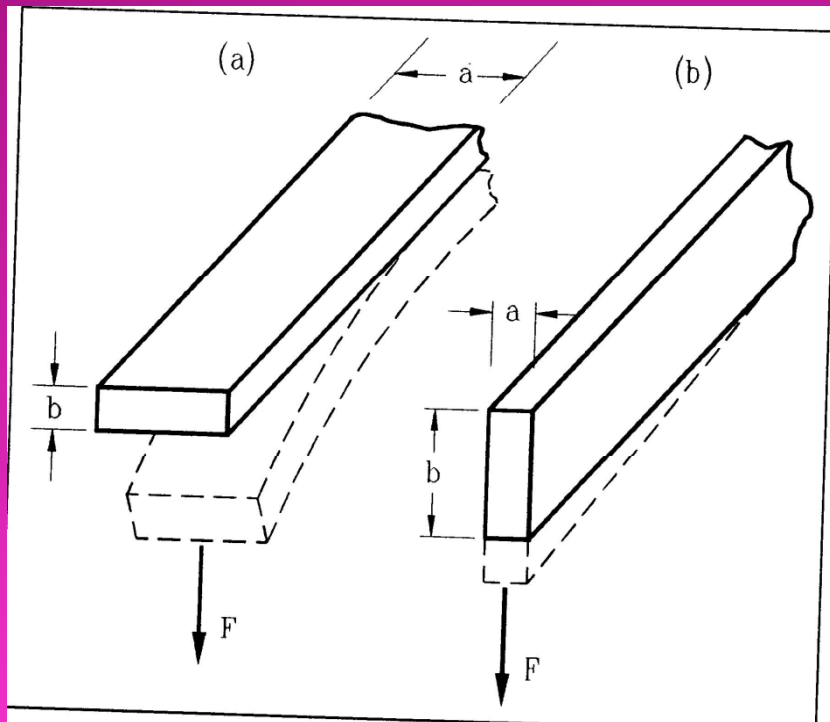
Savijanje je kombinacija: istezanja i sabijanja.

□ Kada se tijelo pravougaonog poprečnog presjeka ugne u sredini pod dejstvom sile F , Hukov zakon je dat u obliku:



$$\varepsilon = \frac{F \cdot l^3}{4 \cdot E \cdot b^3 \cdot a}$$

❑ Ako je tijelo učvršćeno na samo jednom kraju dok na drugi djeluje sila F , Hukov zakon glasi:



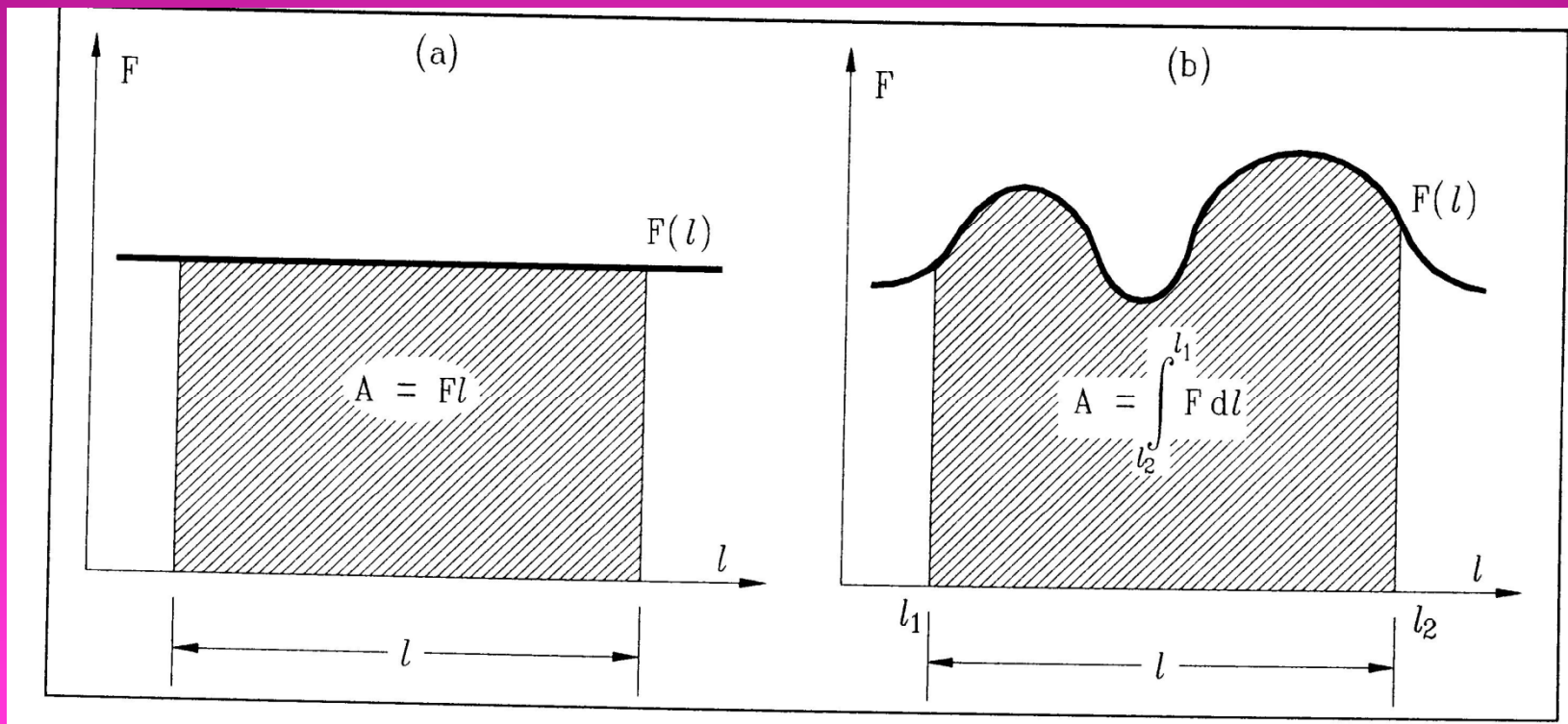
$$\varepsilon = \frac{F \cdot l^3}{E \cdot b^3 \cdot a}$$

Ugib je četiri puta veći nego u prethodnom slučaju.

ENERGETIKA KOŠTANE FRAKTURE

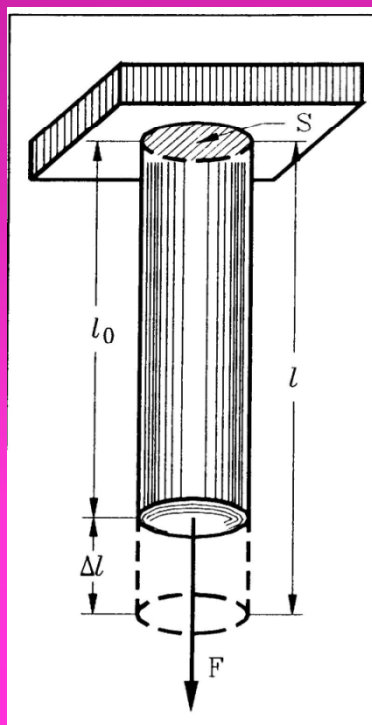
□ Količina rada konstantne sile F , koja djeluje duž pređenog puta l definisan je relacijom:

$$A = F \cdot l$$



Potencijalna energija elastično deformisanog štap

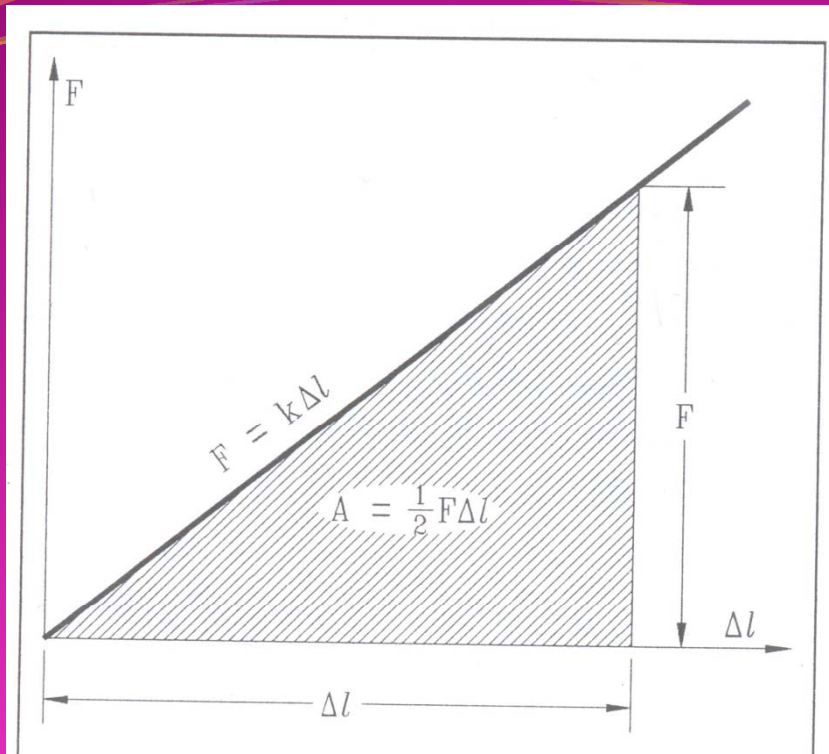
- Da bi se neko tijelo deformisalo, treba na njega djelovati silom, tj. izvršiti rad.
- Na račun količine tog rada deformisano tijelo stiče određenu potencijalnu energiju.



Sila kojom se isteže štap:

$$F = k \cdot \Delta l$$

k – krutost štapa.



Količina rad koji ova sila izvrši na putu Δl ravna je površini trougla:

$$A = \frac{1}{2} k \cdot \Delta l$$

Potencijalna energija E_p koju štap stekne promjenom svoje dužine za Δl iznosi:

$$E_p = A = F \cdot \frac{\Delta l}{2} = \frac{E \cdot S}{l} \Delta l \frac{\Delta l}{2} = \frac{E \cdot S \cdot l}{2} \left(\frac{\Delta l}{l} \right)^2 = \frac{E \cdot V}{2} \delta^2$$

Zapreminska gustina potencijalne energije

- Energija elastično deformisanog tijela je posljedica djelovanja međumolekulskih sila, ona je raspoređena po cijelom tijelu.

$$e_p = \frac{E_p}{V} = \frac{1}{2} E \cdot \delta^2$$

odnosno, na osnovu Hukovog zakona vrijedi

$$e_p = \frac{\sigma^2}{2 E}$$

Kritične veličine

- ❑ Pri velikoj deformaciji tijela dolazi do njegovog preloma (frakture).
- ❑ Kritične veličine pri kojima dolazi do preloma tijela
 - ✓ kritični napon σ_c
 - ✓ kritična gustina potencijalne energije e_{pc}

Materijal	Kritični napon σ_c (GN/m ²)	Način deformisanja
Kost	100×10^{-3}	sabijanje
	83×10^{-3}	istezanje
	$27,5 \times 10^{-3}$	savijanje
Tetiva	$68,9 \times 10^{-3}$	istezanje
Mišić	$0,55 \times 10^{-3}$	istezanje

Primjer

□ Neka biomehanički sistem čine butna kost i kombinacija golenjače i lišnjače kao jedinstveno tijelo u obliku štapa. (poprečni presjek $S = 6 \text{ cm}^2$ i dužine $l = 90 \text{ cm}$). Odredi energiju koju ovaj fizički model apsorbuje da bi pri longitudinalnoj deformaciji tijela došlo do njegove frakture u tački loma, tj na mjestu koje je najslabije.

$$E_{pc} = \frac{S \cdot \sigma^2 \cdot l}{2 \cdot E} = 193 Nm = 193 J$$

Ukupna energija deformacije koju bi apsorbivale potpuno ispravljene noge bi bila dvostruko veća, $E_{pc} = 386 \text{ J}$.

($m = 70 \text{ kg}$; $h = 57,6 \text{ cm}$)