

# **FIZIKA**

## **Predavanje – 1. termin**

- 1. termin:** Biomehanika
- 2. termin:** Tekočine, Termodinamika; Nihanje  
Valovanje; Zvok in svetloba
- 3. termin:** Elektriika in magnetizem. Elektroterapija.

**PREDSTAVITEV SPLETNE UČILNICE**

**Izpit:** - pisni izpit (100%) ali  
- pisni izpit (90%) in predstavitev  
dveh nalog ostalim študentom (10%)

**Opomba:** Dodatnih 10% točk na izpitu je možno izkoristiti samo na  
1. izpitnem roku, na vseh nadaljnjih izpitnih rokih  
**NI DODATNIH TOČK.**

# FIZIKALNE KOLIČINE IN MERSKE ENOTE

- Fizikalne količine: z njimi opišemo/pojasnimo določene naravne zakonitosti, pojave.
- Vrednost fizikalne količine: produkt merskega števila in merske enote.
- Osnovne fizikalne količine in njihove enote so dogovorjene na mednarodni ravni.

# OSNOVNE FIZIKALNE KOLIČINE IN ENOTE

## Osnovna količina

Dolžina (pot)

Čas

Masa

Množina snovi

Temperatura

Električni tok

Svetilnost

## Oznaka

l

t

m

n

T

I

lv

## Osnovna enota

m

s

kg

mol

°C, K

A

cd

# FIZIKA

Predavanja

**1. del :** Biomehanika

# Biomehanika

**Kinematika** - geometrija gibanja

**Kinetika** – sile, navori, delo, energija

**Statika** – ravnotežje teles

**Elastomehanika** – napetosti in deformacije teles

**Mehanika tekočin**

# Sistemi masnih točk - telesa

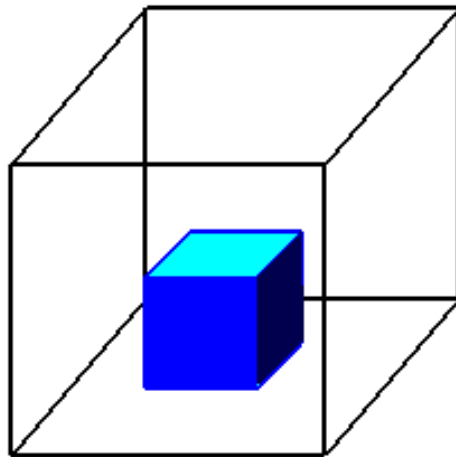
## Tipi teles

- **Plin:** masne točke (molekule) se gibljejo zelo prosto
- **Kapljevine:** razdalje med molekulami so majhne, rahle medsebojne povezave, telo ima površino in približno stalen volumen
- **Trdna telesa:** molekule so močno povezane
  - » **Elastično – plastična telesa:** pod vplivom zunanjih sil spreminjajo svojo obliko in/ali prostornino
  - » **toga telesa:** tudi pod vplivom zunanjih sil ne spremenijo oblike in prostornine (idealizacija). Medsebojne razdalje med masnimi točkami se ne spreminjajo.



# States of Matter

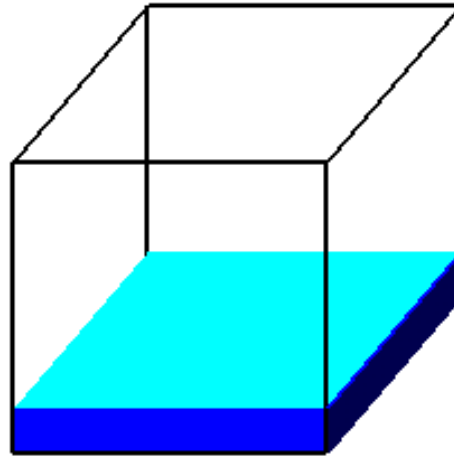
Glenn  
Research  
Center



**Solid**

Holds Shape

Fixed Volume

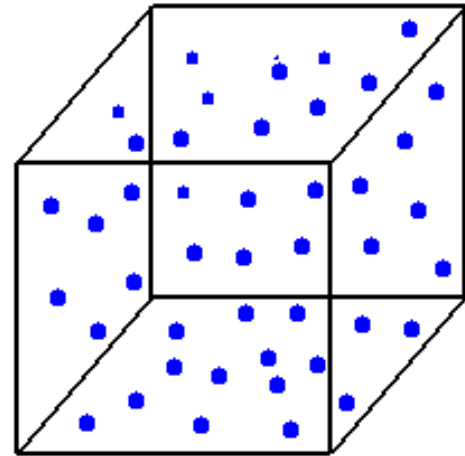


**Liquid**

Shape of Container

Free Surface

Fixed Volume



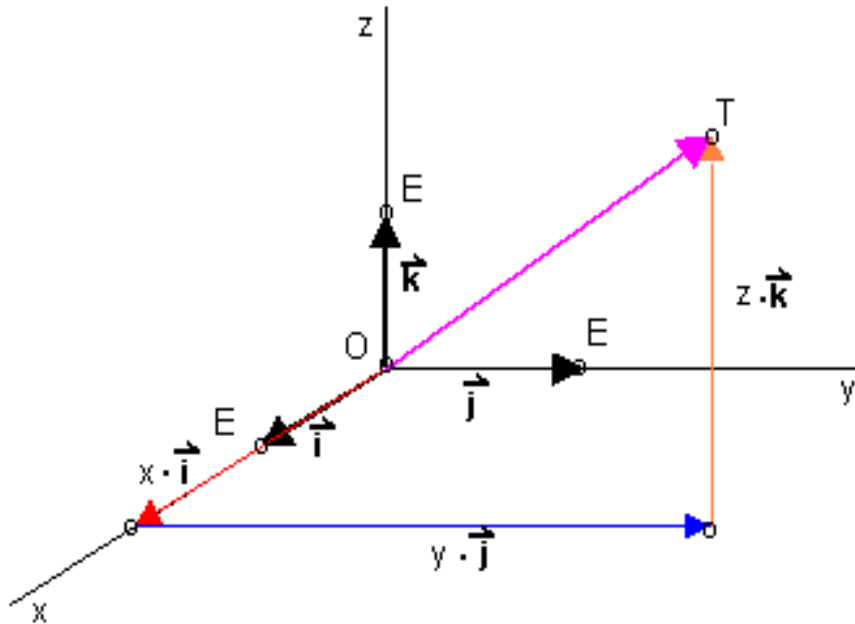
**Gas**

Shape of Container

Volume of Container



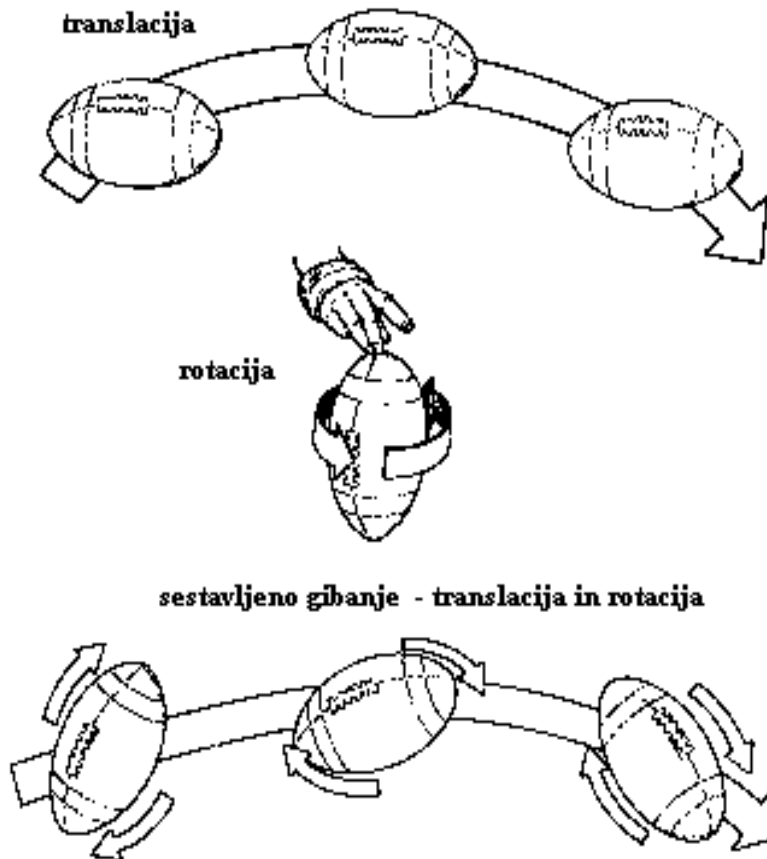
# Kinematika



Pravokotni kartezični koordinatni sistem in opis položaja točke T v prostoru s krajevnim vektorjem:

$$\vec{OT} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$$

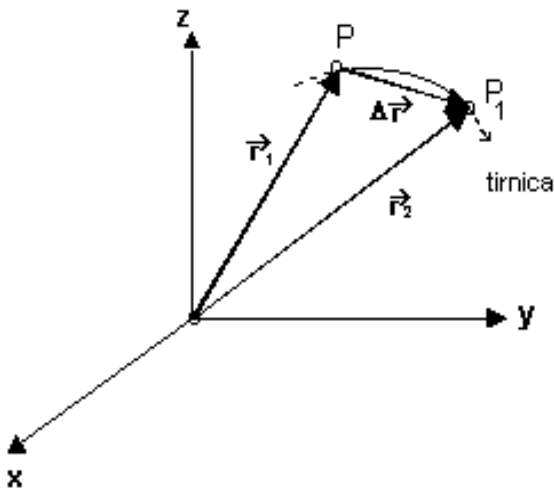
# Opis gibanja telesnih točk



- Opis gibanja posameznih masnih točk v matematičnem jeziku je v splošnem možen samo pri togih telesih.
- Obstaja pa pri vseh sistemih masnih točk posebna točka, ki je včasih tudi zunaj sistema masnih točk, in jo imenujemo **masno središče** ali **težišče**.
- Njeno gibanje pa se **za vsak masni sistem** da opisati z relativno enostavnimi matematičnimi izrazi.

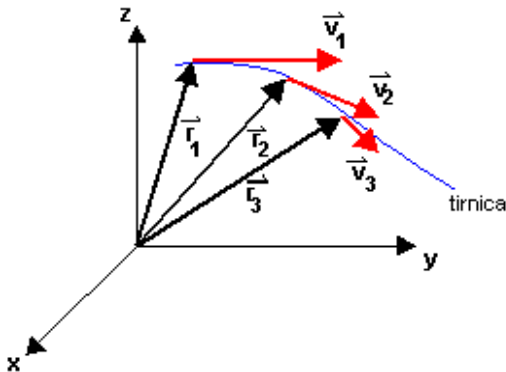
# Gibanje telesa v prostoru – kinematika

Gibanje telesa v prostoru popolnoma opišemo, če za vsak njegov del določimo: **položaj, hitrost in pospešek**.



Gibanje masne točke v prostoru opišemo, če povemo, kakšen je njen položaj (krajevni vektor) v poljubno izbranem času:  $\vec{r} = \vec{r}(t)$

Definicija hitrosti:  $\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$



Definicija pospeška:

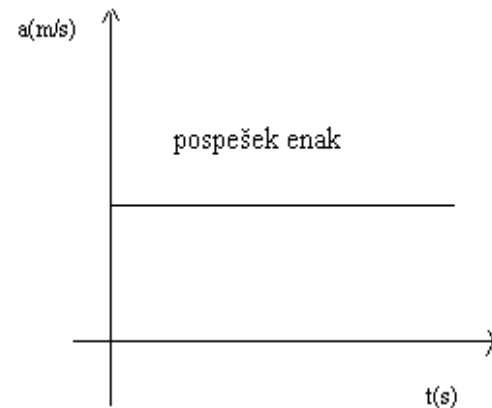
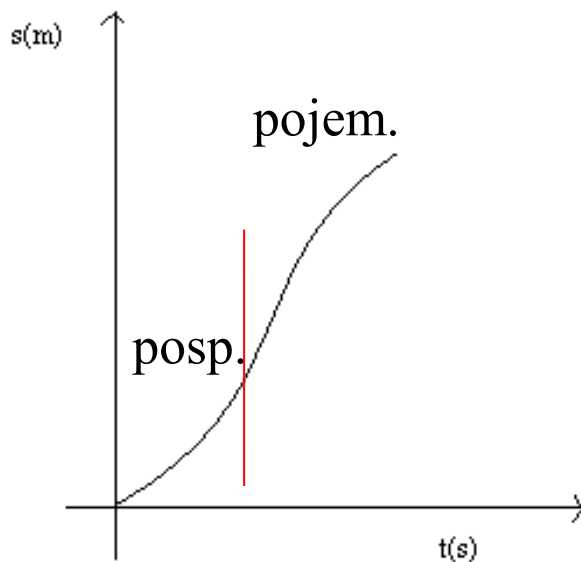
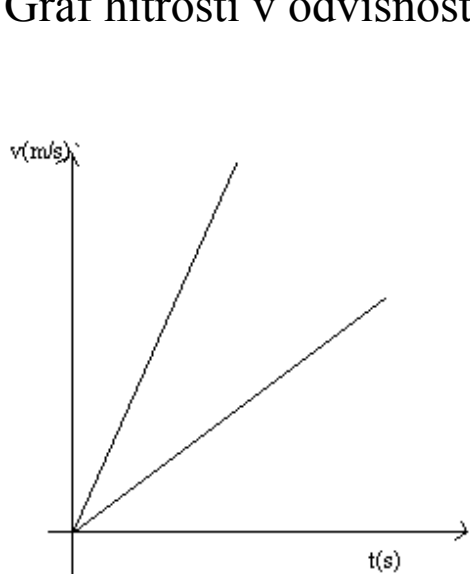
$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

# Premo gibanje - primer grafov pri enakomerno pospešenem gibanju (enačbe: IUčbenik 1-str. 57)

Graf pospeška v odvisnosti od časa

Graf poti v odvisnosti od časa

Graf hitrosti v odvisnosti od časa



### POT PRI ENAKOMERNO POSPEŠENEM GIBANJU IZ MIROVANJA

$$s = \frac{1}{2}at^2$$

$s$  je pot.

$t$  je čas od začetka gibanja.

$a$  je pospešek.

### PREMIK PRI ENAKOMERNO POSPEŠENEM GIBANJU

$$\Delta x = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$$

$x$  je premik.

$t$  je časovni interval od začetka gibanja.

$v_0$  je hitrost na začetku intervala.

$a$  je pospešek.

### PREMIK IN SPREMEMBA HITROSTI ( $a = konst.$ )

$$v_1^2 = v_0^2 + 2a\Delta x$$

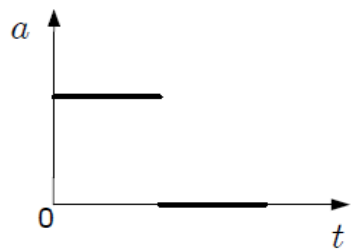
$\Delta x$  je premik telesa.

$v_0$  je hitrost v začetni legi.

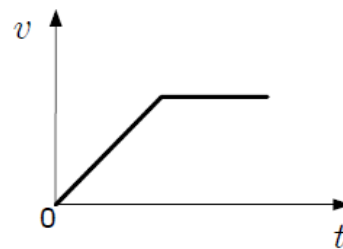
$v$  je hitrost v končni legi.

$a$  je pospešek.

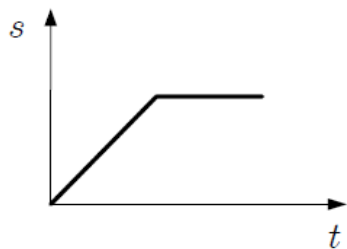
Kolesar nekaj časa vozi enakomerno, nato pa se ustavi. Kateri od grafov kaže opisano gibanje?



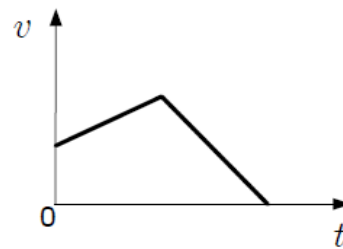
A



B



C

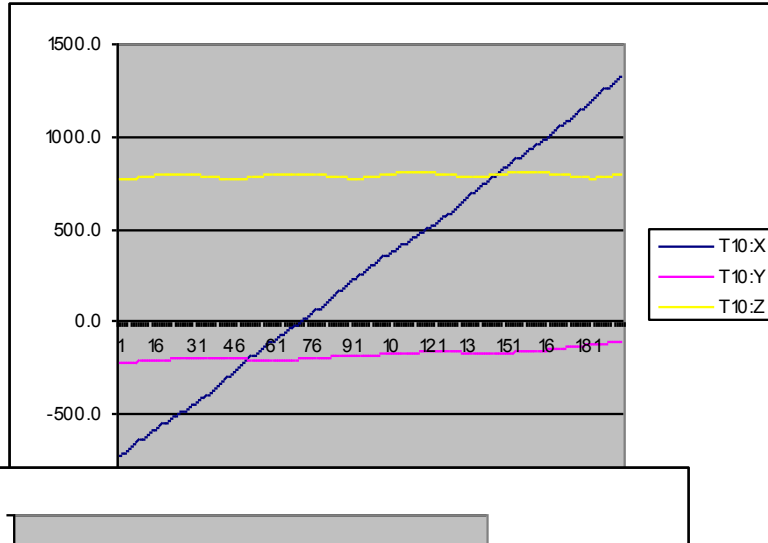


D

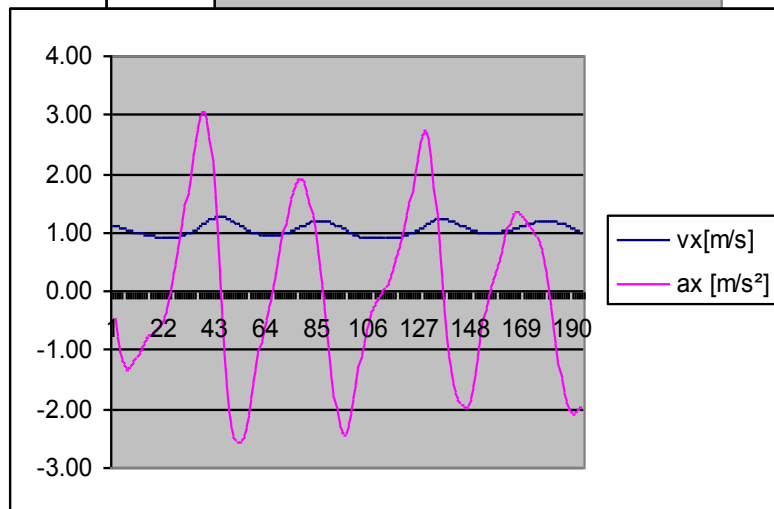
# Primer računanja hitrosti in pospeška iz tirnice: $\vec{r} = \vec{r}(t)$

Vzorec	Čas [s]	T10:X[mm]	T10:Y[mm]	T10:Z[mm]	vx[m/s]	ax [m/s <sup>2</sup> ]
12	0.11	-727.8	-220.3	771.3	1.11	
13	0.12	-716.7	-219.5	771.0	1.10	-0.48
14	0.13	-705.7	-218.8	771.1	1.10	-0.78
15	0.14	-694.7	-218.0	771.5	1.09	-1.01
16	0.15	-683.8	-217.3	772.2	1.07	-1.18
17	0.16	-673.1	-216.5	773.2	1.06	-1.28
18	0.17	-662.5	-215.8	774.5	1.05	-1.32
19	0.18	-652.0	-215.0	776.1	1.03	-1.31
20	0.19	-641.7	-214.1	778.0	1.02	-1.27
21	0.2	-631.4	-213.2	780.0	1.01	-1.20
22	0.21	-621.3	-212.3	782.2	1.00	-1.11
23	0.22	-611.4	-211.3	784.5	0.99	-1.02
24	0.23	-601.5	-210.3	786.8	0.98	-0.93
25	0.24	-591.7	-209.2	789.1	0.97	-0.86
26	0.25	-582.0	-208.1	791.4	0.96	-0.80
27	0.26	-572.3	-207.0	793.5	0.96	-0.76
28	0.27	-562.8	-205.9	795.5	0.95	-0.74

# Grafični prikaz tirnice točke T10 ter njene hitrosti in pospeška v smeri osi x



$$\vec{r}(t)$$

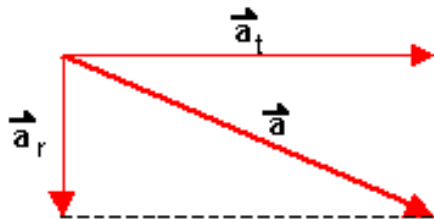
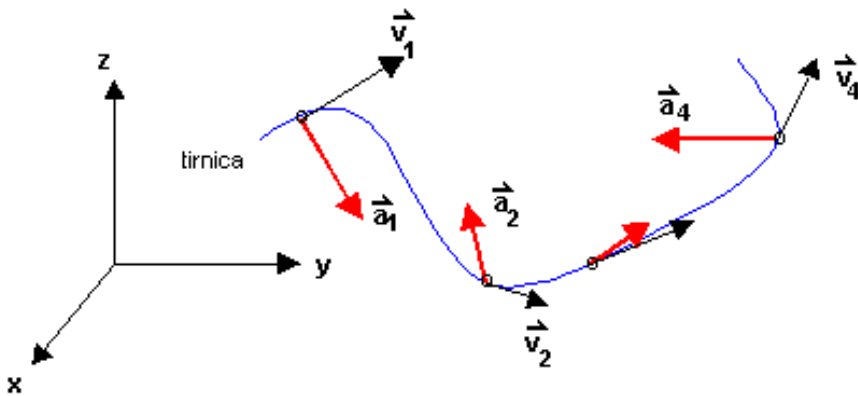


$$v_x(t), a_x(t)$$



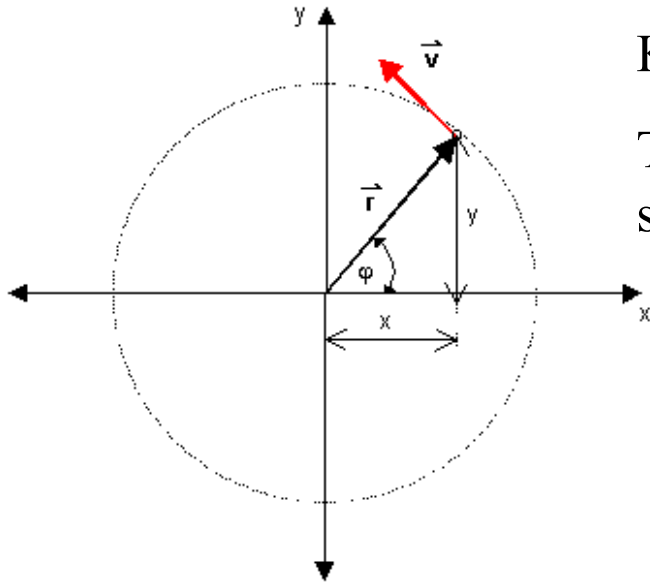
# Vektor pospeška $\vec{a}(t)$

Vektor hitrosti in pospeška na (poljubni) tirnici točke v prostoru



Vektor pospeška razstavimo na **tangentno komponento**, ki ima smer hitrosti in na **radialno**, ki je pravokotna nanjo

# Krožno gibanje



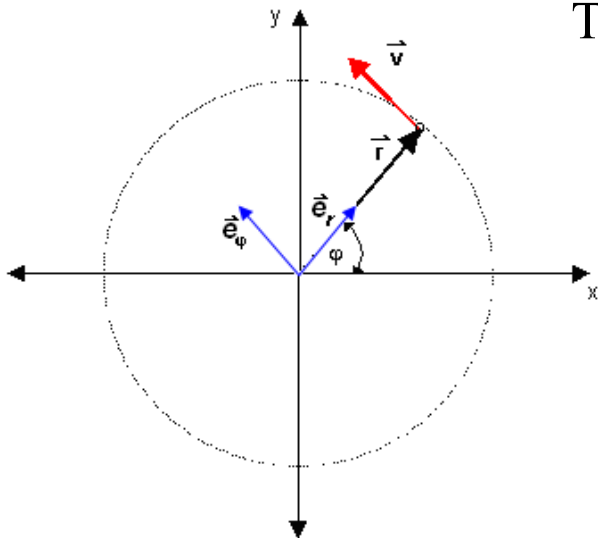
Kroženje – ravninsko gibanje

Trajektorija - krožnica v kartezičnem koordinatnem sistemu

$$x(t) = r \cos \varphi(t)$$

$$y(t) = r \sin \varphi(t)$$

$$\vec{r}(t) = r \cos \varphi(t) \cdot \vec{i} + r \sin \varphi(t) \cdot \vec{j}$$



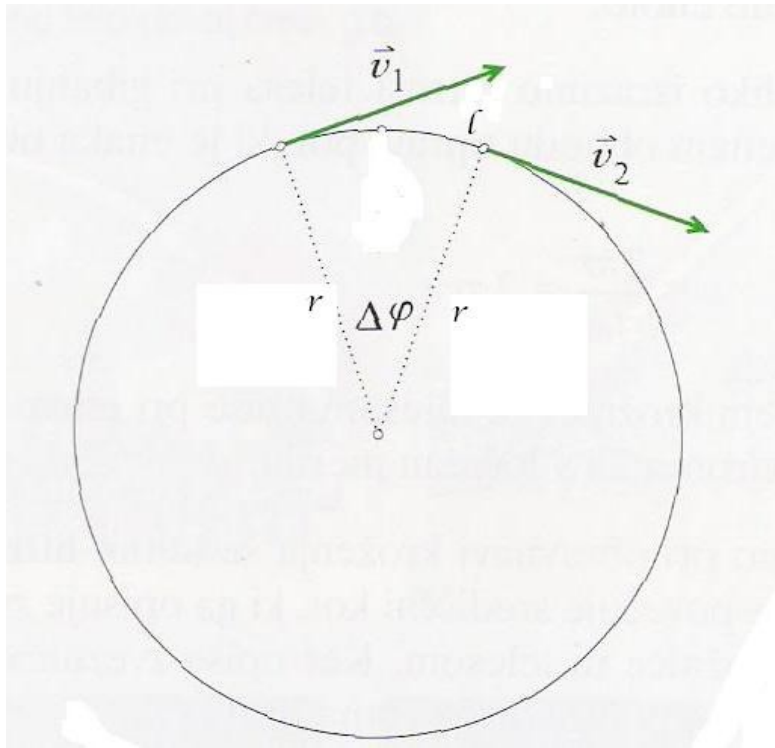
Trajektorija - krožnica v polarnem koordinatnem sistemu

$$\vec{r}(t) = r \vec{e}_r$$

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t} = \frac{\Delta s \cdot \vec{e}_\varphi}{\Delta t} = \frac{r \cdot \vec{e}_\varphi \cdot \Delta \varphi}{\Delta t}$$

$$\vec{v} = r \omega \cdot \vec{e}_\varphi \quad \omega \text{ - kotna hitrost}$$

## Kotna in obodna hitrost



$\omega$  – kotna hitrost

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \quad [s^{-1} = Hz]$$

$$\omega = \frac{2\pi}{t_0} = 2\pi\nu$$

$\nu$  - obodna hitrost

$$\nu = \frac{\Delta l}{\Delta t}$$

$$\Delta l = r \cdot \Delta\varphi$$

$$\mathbf{v} = \mathbf{r} \cdot \boldsymbol{\omega}$$

Zraven kotnih stopinj uporabljamo za merjenje kotov še radiane.

$180^\circ = \pi$ -radianov  $\rightarrow 180^\circ = \pi$ ,  $360^\circ = 2\pi$

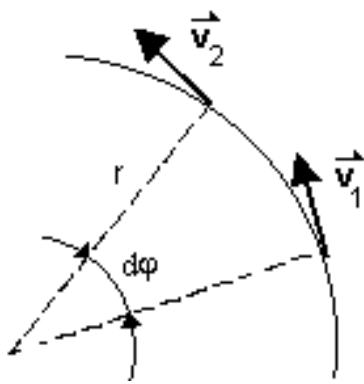
# Pospešek pri kroženju

Hitrost pri kroženju spreminja po smeri in lahko tudi po velikosti – pospešek razstavimo na dve pravokotni komponenti: **radialno** in **kotno**.

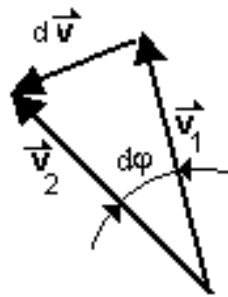
Kotni pospešek je definiran kot:

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

Za definicijo radialnega pospeška si pomagamo s sliko: iz slike vidimo, da je sprememba hitrosti  $d\vec{v}$  usmerjena proti središču. Zato ima tako smer tudi radialni pospešek  $\vec{a}_r$ . Njegovo velikost določimo s pomočjo slike b) (MAT!):



a)



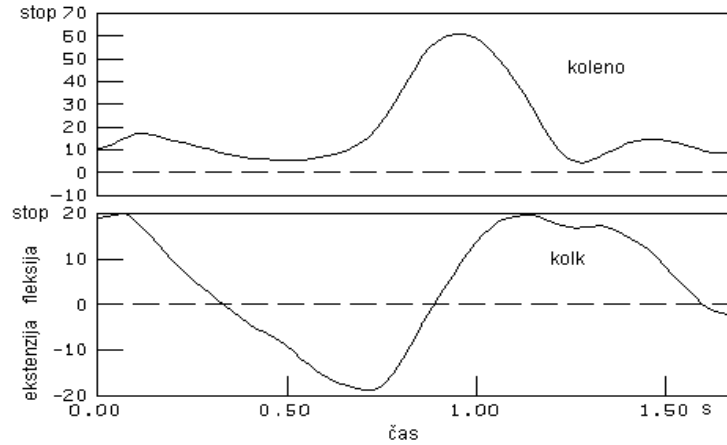
b)

$$dv = v d\varphi = a_r dt$$

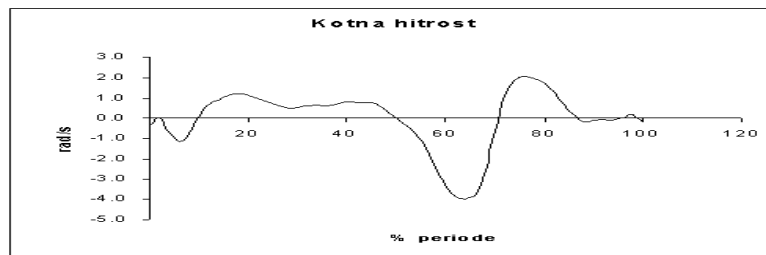
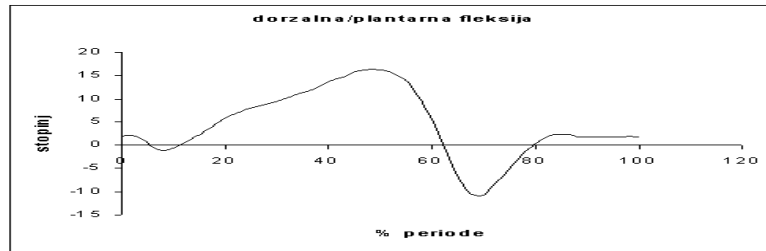
$$a_r = v \cdot \frac{d\varphi}{dt} = v\omega = \frac{v^2}{r} = r\omega^2$$

$$\vec{a}_r = -\omega^2 \vec{r}$$

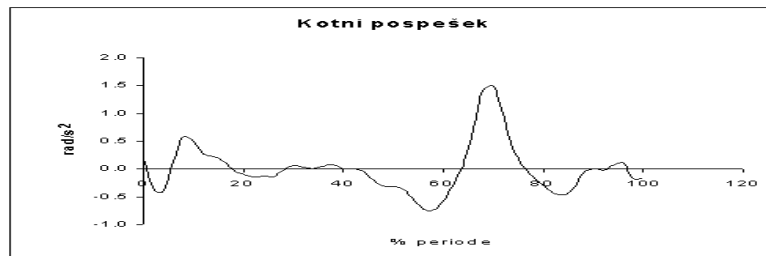
# Primer krožnega gibanja v biomehaniki



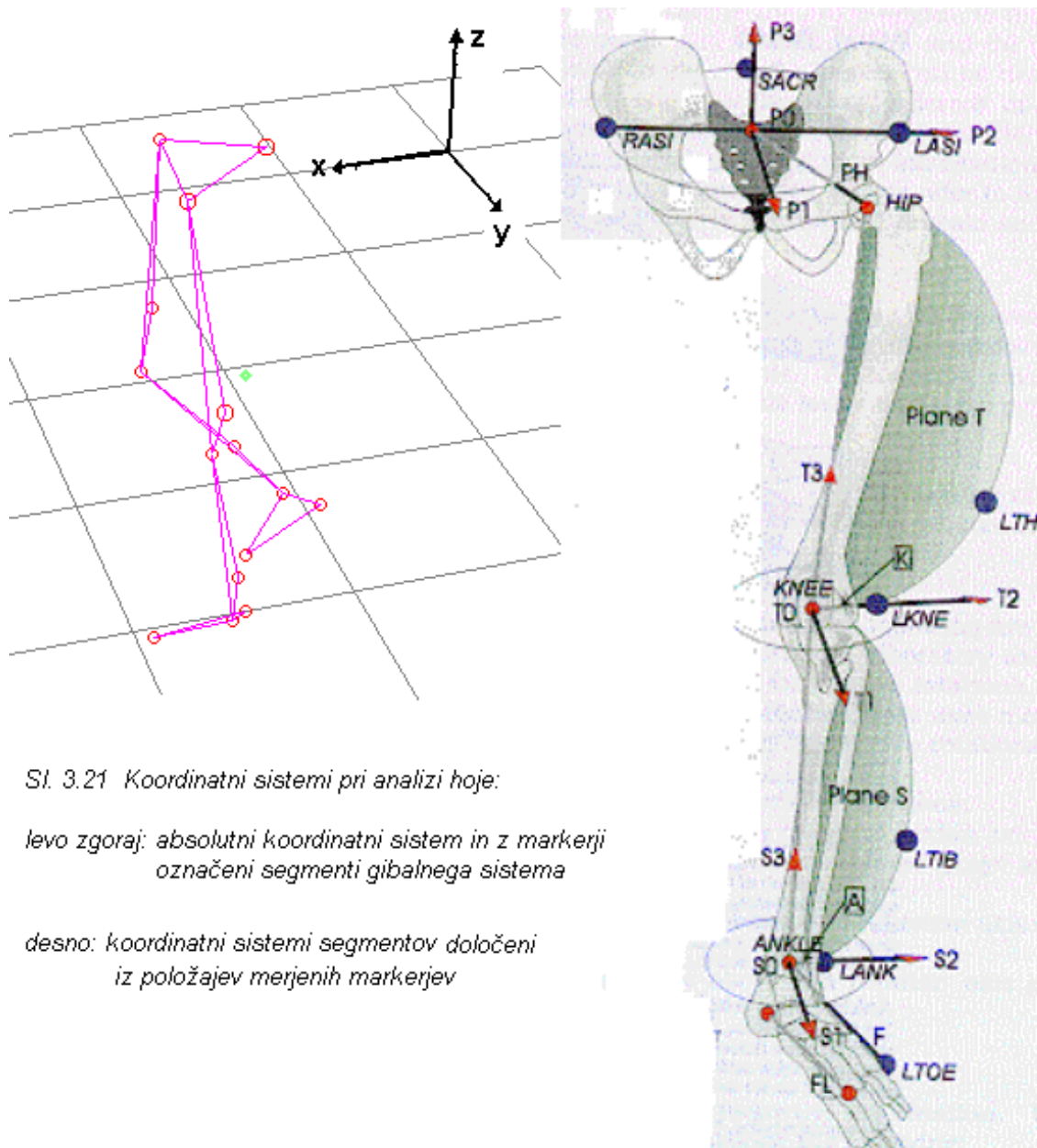
Goniograma kolka in kolena v sagitalni ravnini pri hoji.



Goniogram (kot), kotna hitrost in kotni pospešek v gležnju pri normalni hoji.



# Uporaba kinematičnih metod v kinezologiji



Sl. 3.21 Koordinatni sistemi pri analizi hoje:

levo zgoraj: absolutni koordinatni sistem in z markerji označeni segmenti gibalnega sistema

desno: koordinatni sistemi segmentov določeni iz položajev merjenih markerjev

# KINETIKA – SILE IN NAVORI

## Newtonovi zakoni

- **I. NEWTONOV ZAKON:**

- če je  $\sum \vec{F} = 0$ , potem telo miruje ali pa se giblje premo enakomerno

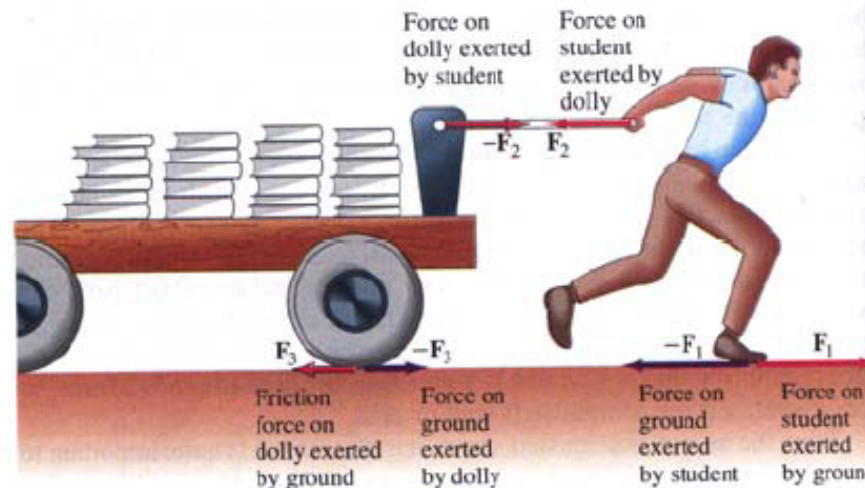
- **II. NEWTONOV ZAKON:**

- če je  $\sum \vec{F} \neq 0$ , to povzroči, da se telo giblje pospešeno =>

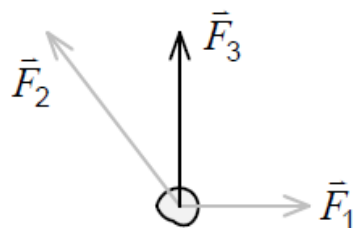
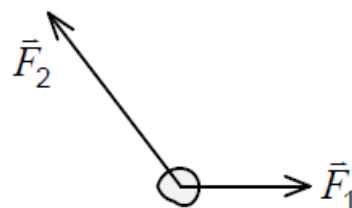
$$\sum \vec{F} \propto \vec{a} \quad \sum \vec{F} = m\vec{a} \quad \left[ N = \frac{kgm}{s^2} \right]$$

- **III. NEWTONOV ZAKON:**

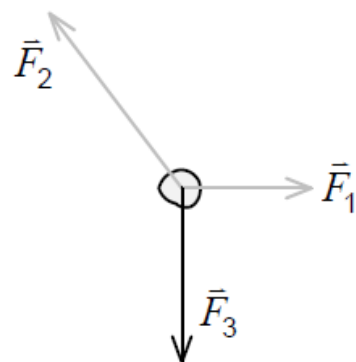
- kadarkoli deluje en predmet s silo na drugega, vedno deluje tudi drugi predmet na prvega z enako veliko vendar nasprotno usmerjeno silo:



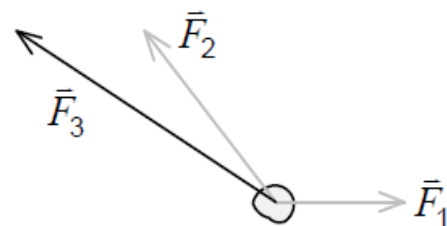
Na majhno telo delujeta dve sili ( $\vec{F}_1$  in  $\vec{F}_2$ ) tako, kakor kaže slika. Kateri odgovor pravilno kaže silo ( $\vec{F}_3$ ), s katero bi lahko uravnovesili sili, ki delujeta na opazovano telo?



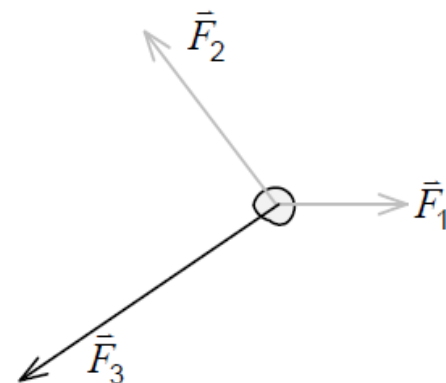
A



B



C

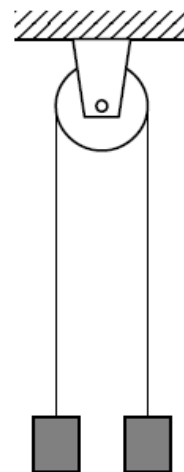


D



**Prek lahkega škripca sta na lahki vrvici obešeni uteži z enakima masama. Uteži mirujeta na enakih višinah, kakor kaže slika. Kaj se bo zgodilo potem, ko na desno utež obesimo dodatno utež? Privzemite, da sta trenje pri vrtenju škripca in zračni upor zanemarljiva.**

- A Uteži se bodo gibale enakomerno.
- B Uteži se bodo gibale enakomerno pospešeno.
- C Uteži se bodo najprej gibale enakomerno pospešeno, nato pa enakomerno.
- D Uteži se bodo začele gibati, nato pa obstale v novi ravnovesni legi (še preden bi katera od uteži dosegla škripec ali tla).



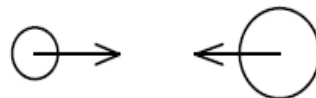
Katera skica pravilno prikazuje par zvezd, ki druga na drugo delujeta z gravitacijsko silo? Masa desne zvezde je dvakrat večja od mase leve.



A



B



C



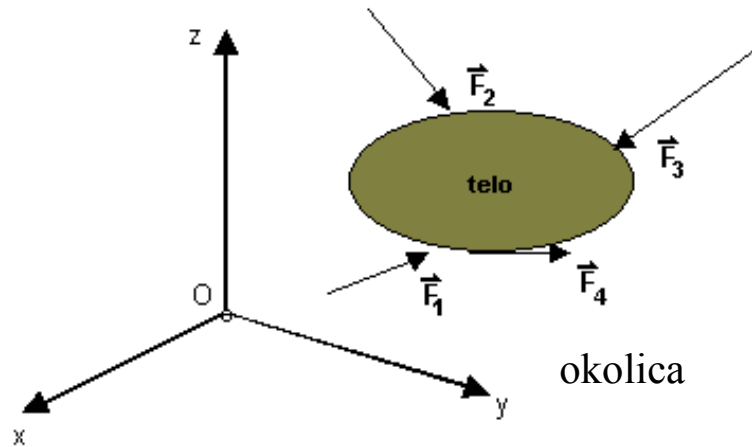
D

## Komentar k Newtonovim zakonom

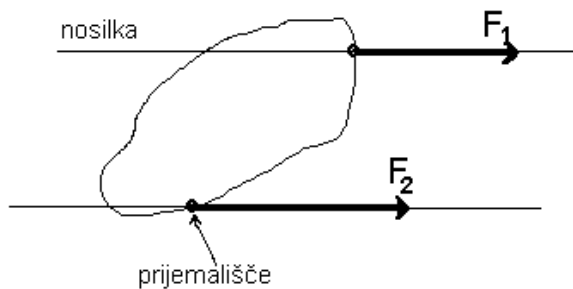
- I. Newtonov zakon sledi iz II, če je pospešek 0
- V zapisani obliki zakoni veljajo za masno točko
- II. Zakon velja tudi za pospešek težišča masnih sistemov

# Telo - okolica - sile

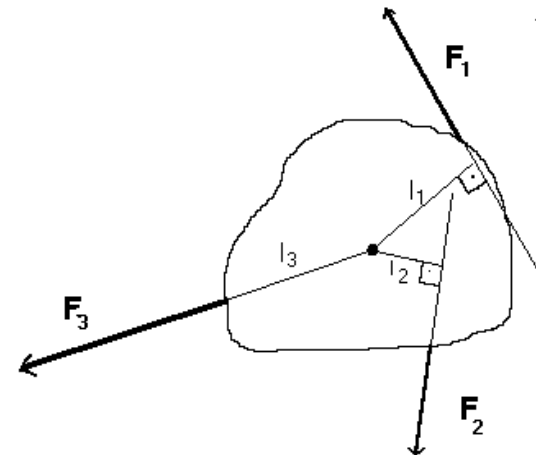
Izbira telesa - sistema masnih točk, je odvisna od tega, kateri sistem želimo opazovati. Vse ostalo je okolica.



Zunanje sile, ki delujejo na izbrano telo

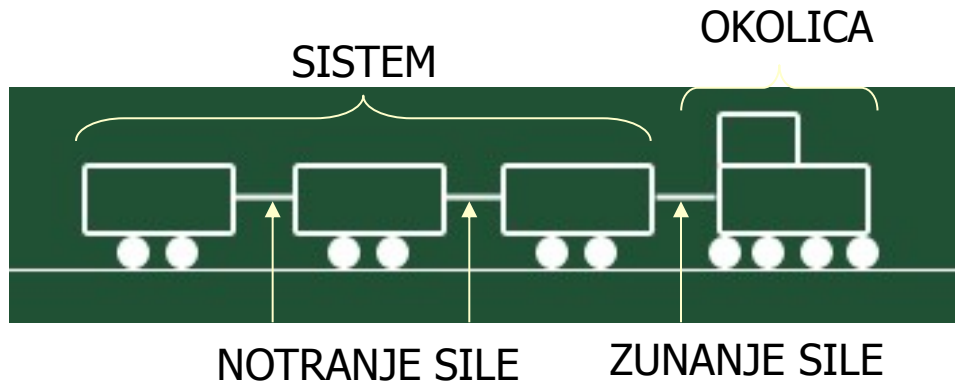


Nosilka in prijemališče sile



Vpliv velikosti in smeri sile ter oddaljenosti nosilke od osi na rotacijo telesa

# ZUNANJE IN NOTRANJE SILE



- Zunanje sile: iz okolice delujejo na opazovani sistem – „odločajo“ o ravnovesju telesa.
- Notranje sile: ne vplivajo na ravnovesje telesa, vplivajo pa na napetost oziroma stisnjenost telesa.
- Vsota notranjih sil je vselej enaka 0.

**Človek sedi na konju. Opazovani sistem sta jezdec in konj. Katera od naštetih sil je notranja sila?**

- A Teža konja.
- B Sila podlage na konja.
- C Teža jezdeca.
- D Sila jezdeca na konja.

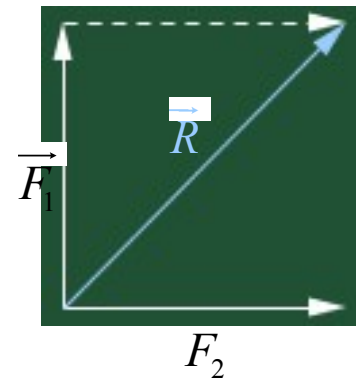
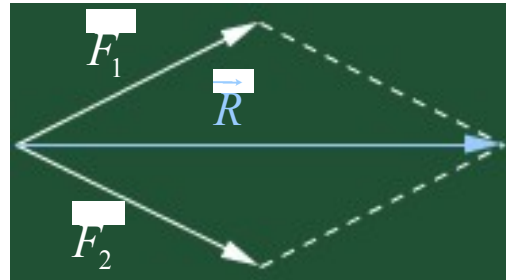
# SESTAVLJANJE IN RAZSTAVLJANJE SIL

- S silami računamo kot z vektorji

- Sestavljanje:

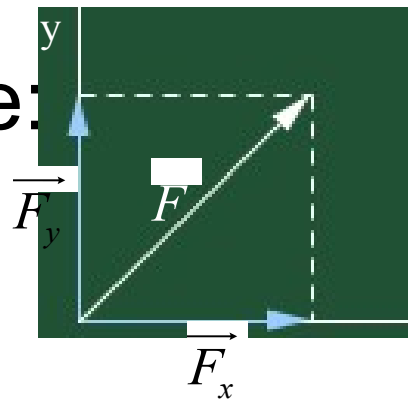
💡  $\vec{R}$  - rezultanta sil

Paralelogramsko pravilo

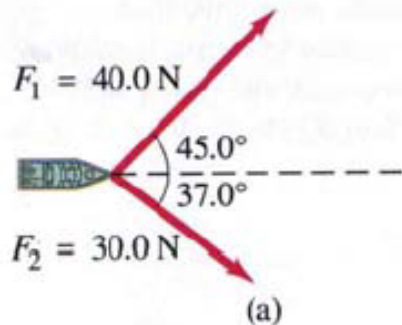


Trikotniško pravilo

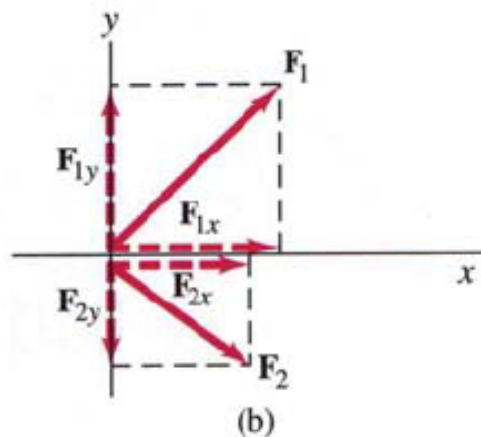
- Razstavljanje:



- SEŠTEVANJE IN RAZSTAVLJANJE SIL:



$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{F}_R; \quad F_1 + F_2 \neq F_R !!!$$

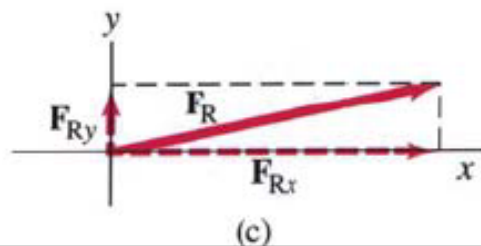


$$F_{1x} = F_1 \cos 45^\circ, \quad F_{1y} = F_1 \sin 45^\circ$$

$$F_{2x} = F_2 \cos 37^\circ, \quad F_{2y} = F_2 \sin 37^\circ$$

$$F_{Rx} = F_{1x} + F_{2x}$$

$$F_{Ry} = F_{1y} + F_{2y}$$



$$F_R = \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Ry}^2}$$



- SESTAVLJENI ŠKRIPCI-SPREMENIJO VELIKOST IN SMER SILE

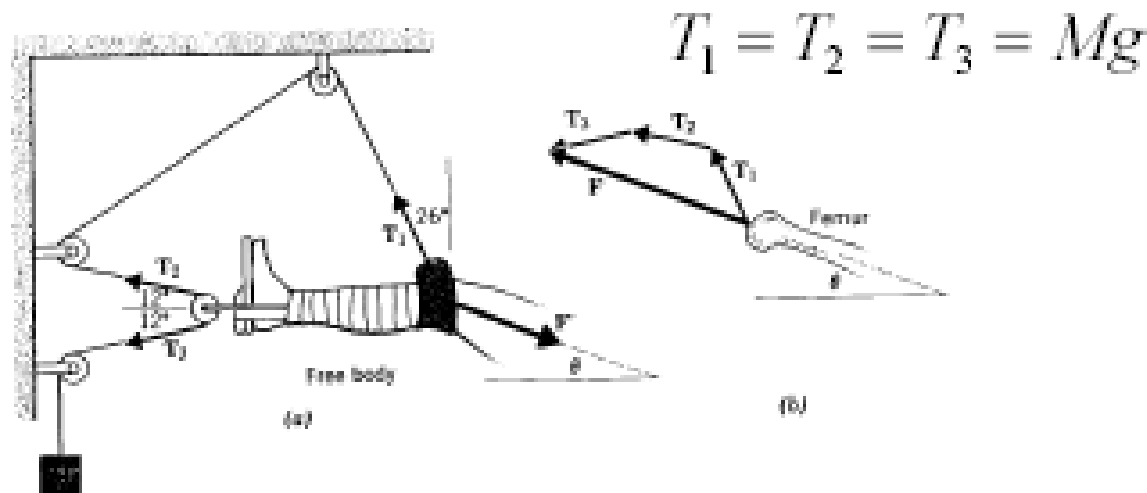
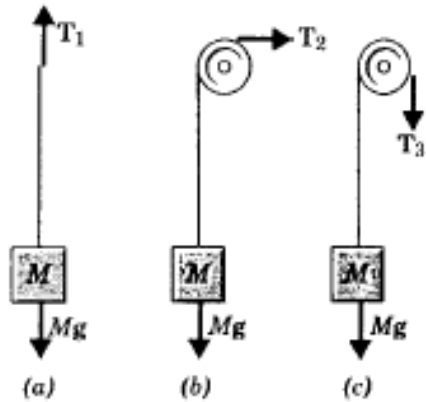


Figure 4 The Russell traction system used to immobilize a fractured femur. The system is adjusted so that the angle of elevation  $\theta$  of the thigh is approximately  $20^\circ$ . (Adapted from Williams and Lisner.) The dashed curve isolates the lower leg as a free body. The force  $F'$  is the force exerted by the femur on the lower leg. The reaction force  $F = -F'$  is exerted on the femur.

## UPORABA ŠKRIPECV V MEDICINI

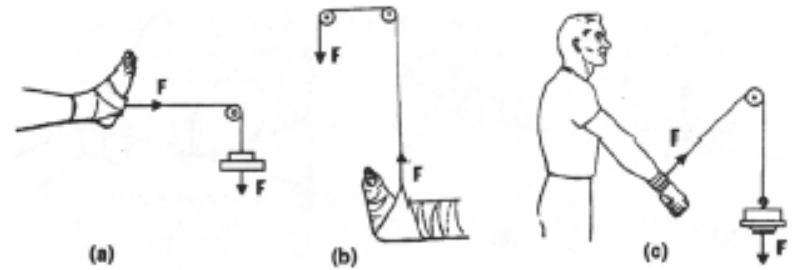


$$T_1 = T_2 = T_3 = Mg$$

ŠKRIPEC JE UPORABEN, KER LAHKO:

- SPREMENI SMER SILE
- SPREMENI VELIKOST SILE (ne nujno)

- PREPROSTI ŠKRIPCI- SPREMENIJO SAMO SMER SILE



- PRIMERI UPORABE



- SESTAVLJENI ŠKRIPCI-SPREMENIJO VELIKOST IN SMER SILE

$$T_1 = T_2 = Mg$$

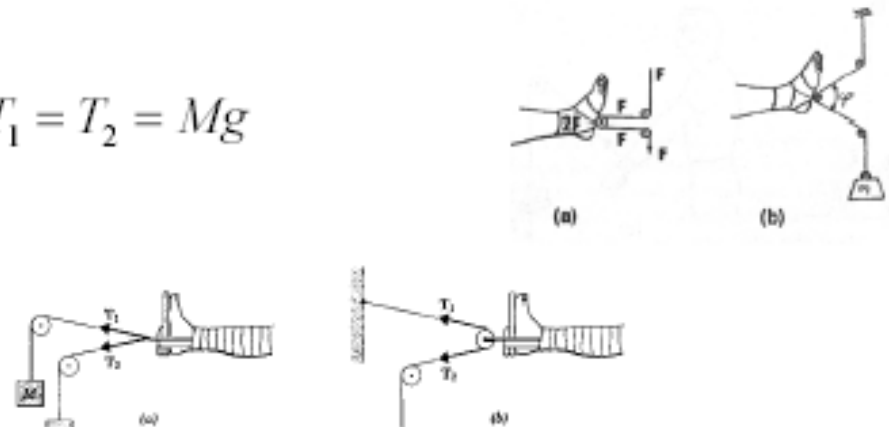
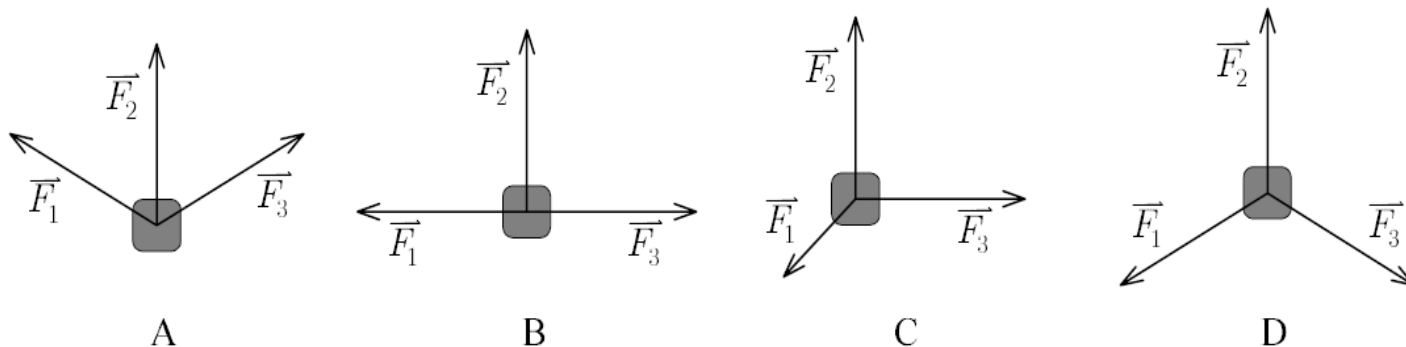


Figure 2 Two equivalent methods of exerting a force on a patient's leg. In each case,  $T_1 = T_2$ .

Na opazovano telo delujejo tri sile, ki ležijo v isti ravnini. Na kateri sliki so sile v ravnovesju?



Zemlja privlači človeka s silo, ki jo imenujemo teža. Tretji Newtonov zakon pravi, da med Zemljo in človekom deluje sila, ki je teži nasprotno enaka. Na kaj deluje ta sila?

- A Na človeka.
- B Na Zemljo.
- C Na Zemljo in na človeka.
- D Na težo.

Za opis gibanja masnih sistemov je zaradi poenostavite matematičnega opisa statike in dinamike koristno vpeljati pojem **navora** in **telesnega težišča**.

Definicija navora:

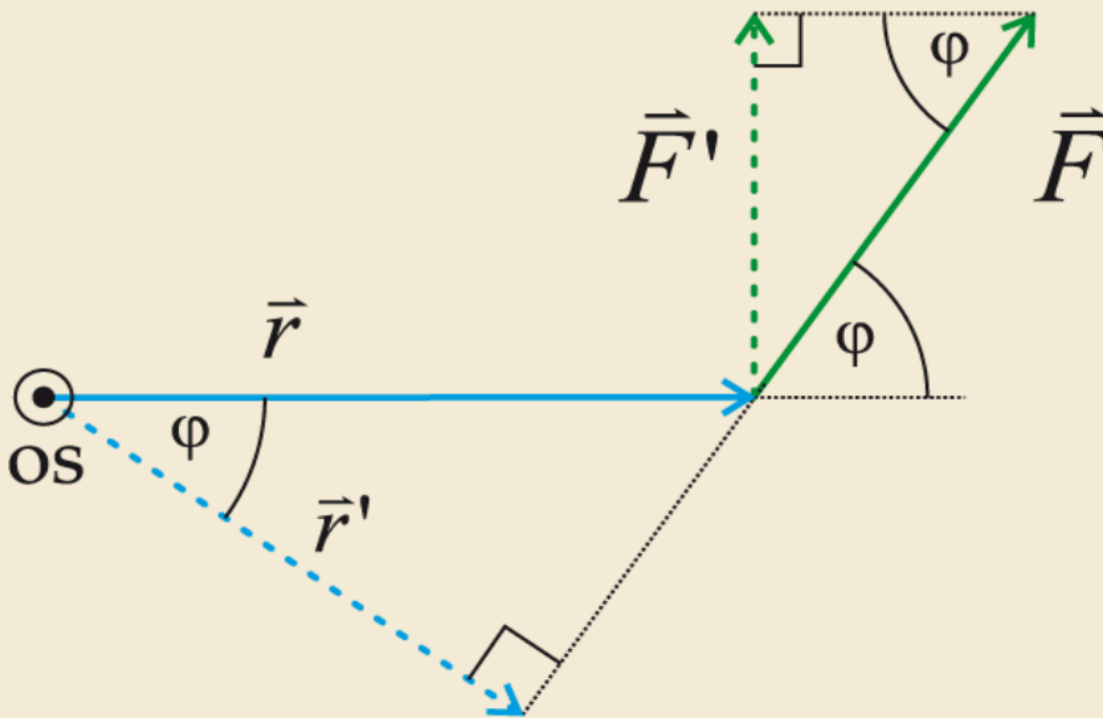
$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$$



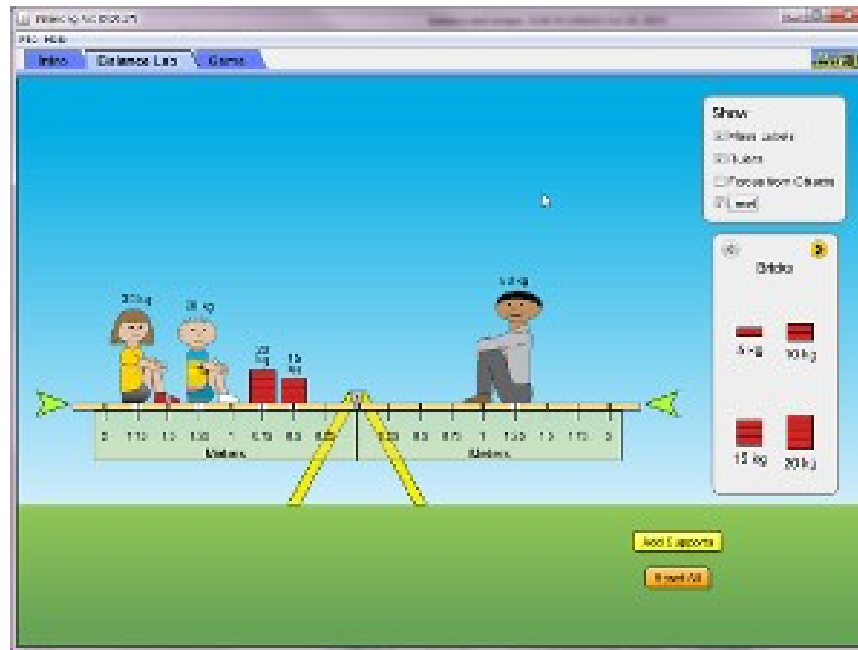
# Računanje navora (Učbenik: str. 106)

## NAVOR

$$M = r' F = r F' = r F \sin \varphi$$



## Primer simulacije (PhET):



**Navor** omogoča tudi **posplošitev** Newtonovih zakonov za telesa (Eulerjevi zakoni).

Newtonovi zakoni za telesa:

I. 
$$\sum_i \vec{F}_i = \mathbf{0} \quad \sum_i \vec{M}_i = \mathbf{0}$$

II. 
$$\sum_i \vec{F}_i = m\vec{a}_c \quad \sum_i \vec{M}_i = J\vec{\alpha}$$

III. 
$$\vec{F}_{12} = \vec{F}_{21}$$

J ... vztrajnosti moment odvisen  
od mase in geometrije telesa

$\vec{\alpha}$  ... kotni pospešek okrog osi rotacije

## Vztrajnostni momenti nekaterih teles:

- Krogla:  $J=2mr^2 / 3$
- Plošča:  $mr^2/2$
- Obroč pokončen:  $J=mr^2/2$
- Obroč vodoravni:  $J=mr^2$
- Palica:  $ml^2/12$



Če se telo ne vrti okoli svojega težišča, potem njegov vztrajnostni moment izračunamo po **Steinerjevem izreku**:

$$J = J^* + m \cdot r^{*2}$$

$J^*$  → vztrajnostni moment telesa pri vrtenju okoli težišča

$r^*$  → razdalja od težišča do osi vrtenja

# Masno središče - težišče

## Definicija:

Masno središče je tista točka, okrog katere je navor (**masni moment prvega reda**) enak nič. Za sistem masnih točk v tem primeru velja:

$$\sum_{i=1}^n \vec{r}_i m_i = 0$$

$$\sum_{i=1}^n \vec{r}_i m_i = \vec{r}_c m$$

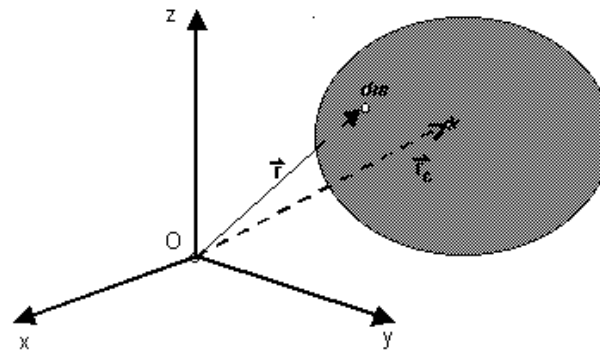
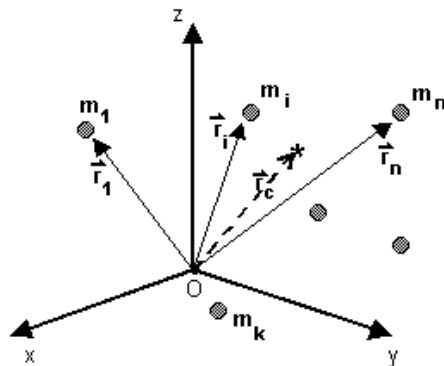
$$\vec{r}_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n \vec{r}_i m_i$$

in za telo:

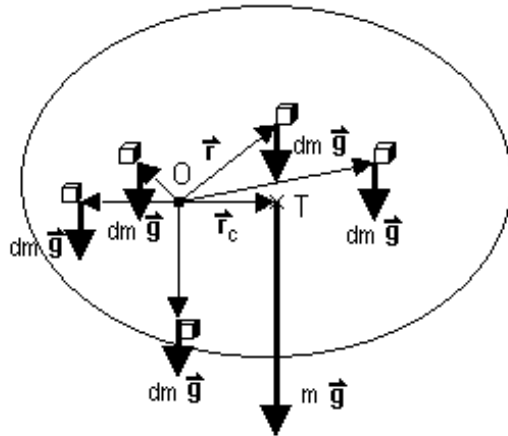
$$\int \vec{r} dm = 0$$

$$\int \vec{r} dm = \vec{r}_c m$$

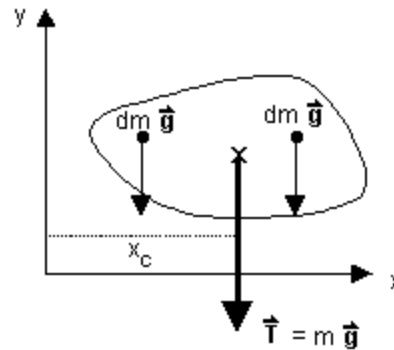
$$\vec{r}_c = \frac{1}{m} \int \vec{r} dm$$



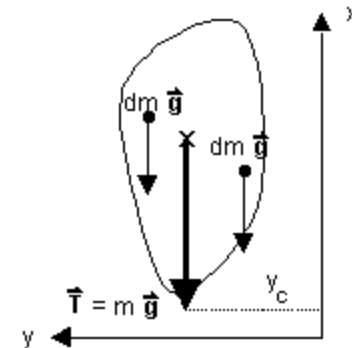
# Težišče (IUčbenik 1: str. 109)



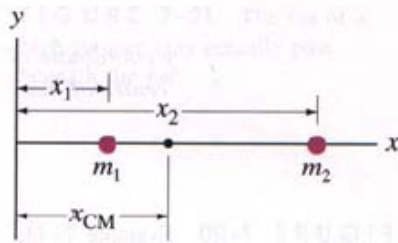
Določanje težišča telesa



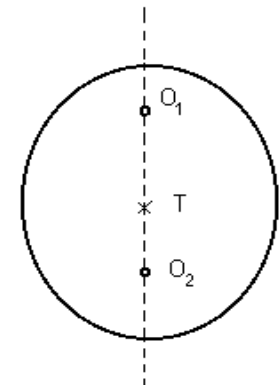
Določanje težišča telesa – ravninski primer



Težišče sistema teles v eni dimenziji:

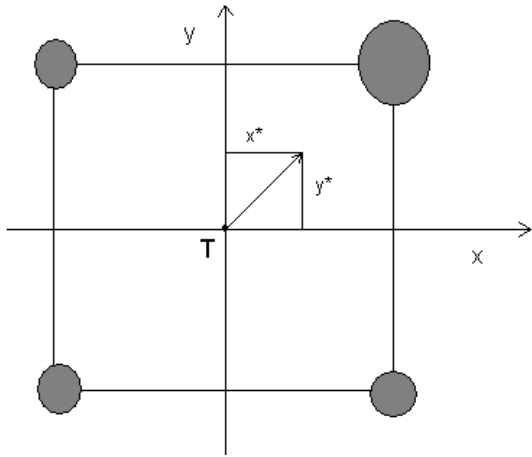


$$x_{CM} = \frac{x_1 m_1 + x_2 m_2}{m_1 + m_2}$$



Navor teže je na vertikali skozi težišče enak 0

# Težišče v ravnini

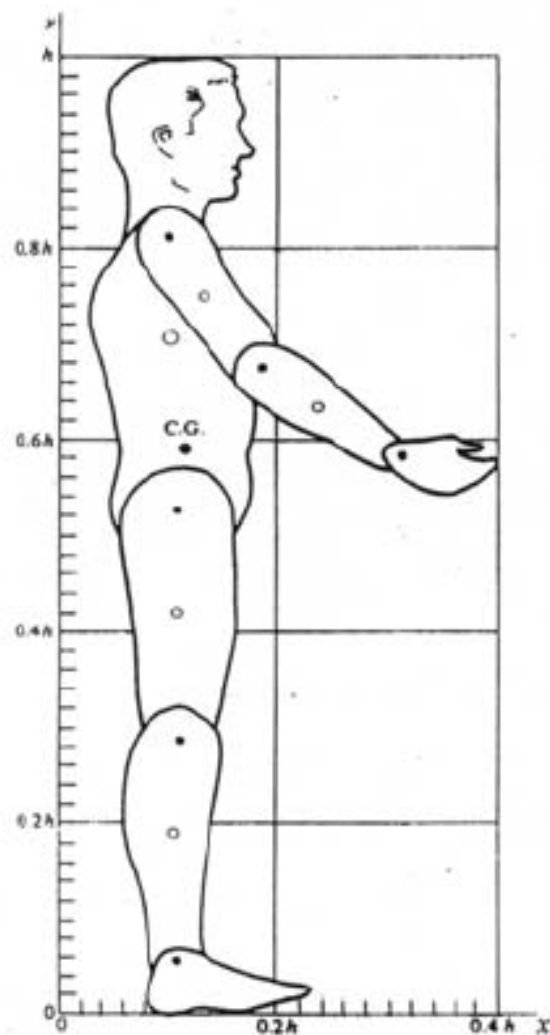


$T(x^*, y^*)$

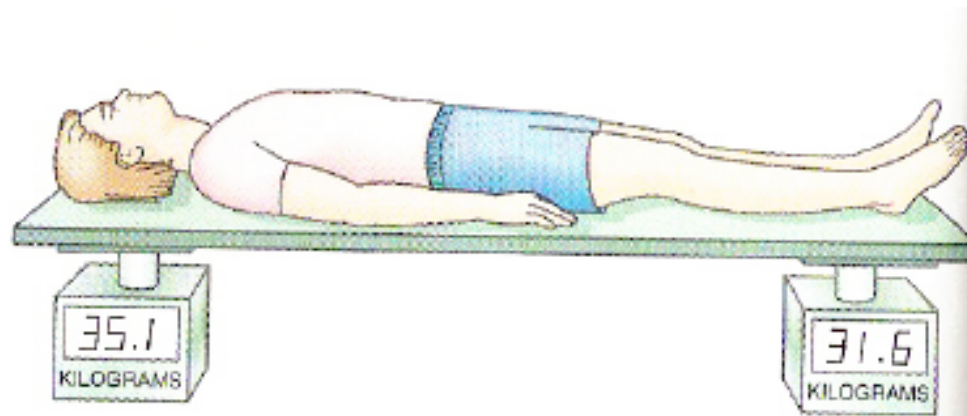
$$x^* = \frac{m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2 + m_3 \cdot x_3 + \dots}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots}$$

$$y^* = \frac{m_1 \cdot y_1 + m_2 \cdot y_2 + m_3 \cdot y_3 + \dots}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots}$$

# TEŽIŠČE ČLOVEKA IN NJEGOVIH DELOV

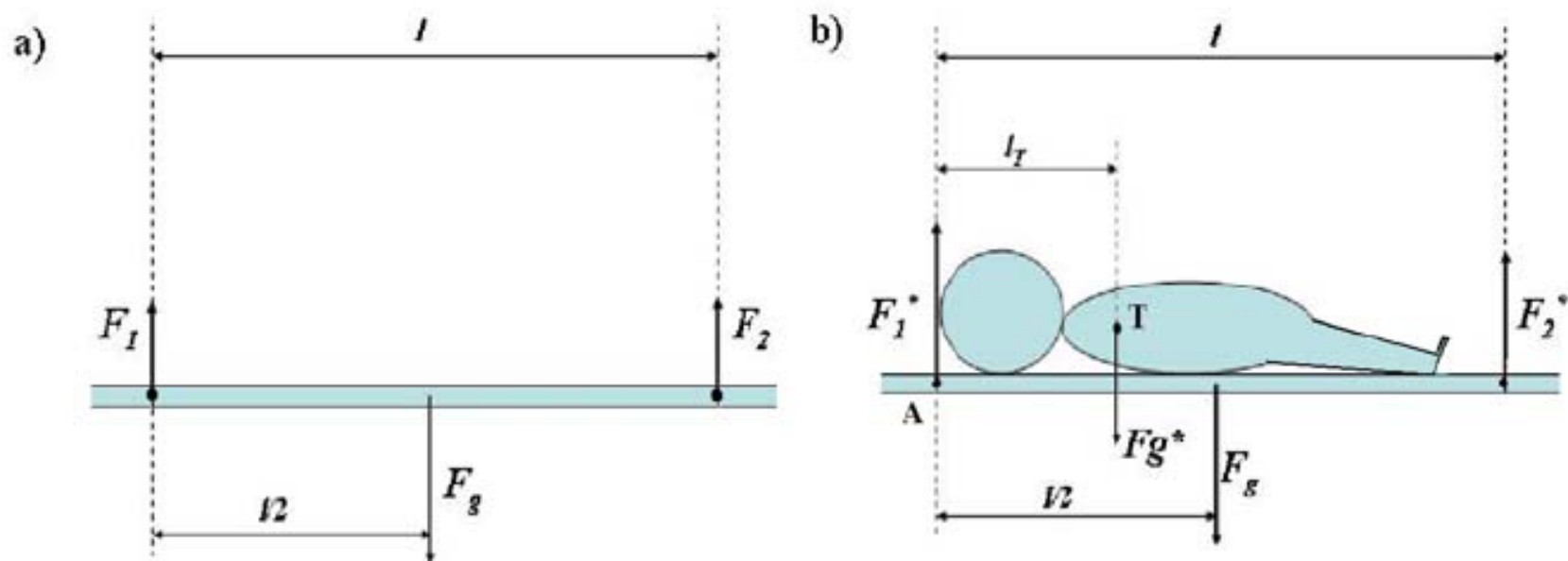


- preprosta določitev težišča človeka:



Slika 4.4.2.3. Težišče posameznega dela človeškega telesa, glede na sklepe. Točka C.G. označuje težišče človeka.

## VAJA: določitev težišča predmeta:



**Slika:** a) Shematska slika delovanja sil na ploščo samo.

b) Shematska slika delovanja sil na ploščo, ko je nanjo položena lutka.

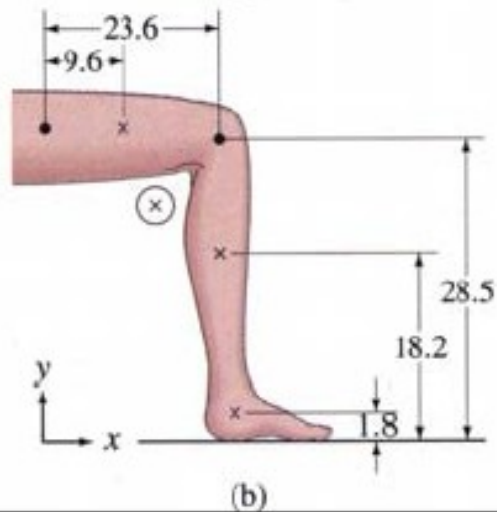
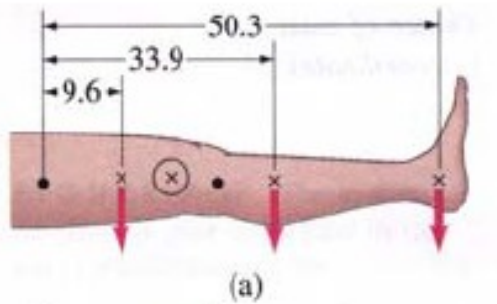
Newtonov zakon:  $\sum_i \vec{F} = 0$  in  $\sum_i \vec{M} = 0$

Vsota navorov v točki A:

$$F_1^* \cdot 0 + F_2^* \cdot l - F_g \cdot \frac{l}{2} - F_g^* \cdot l_T = 0$$

$$\longrightarrow l_T = \frac{F_2^* l - F_g \frac{l}{2}}{F_g^*}$$

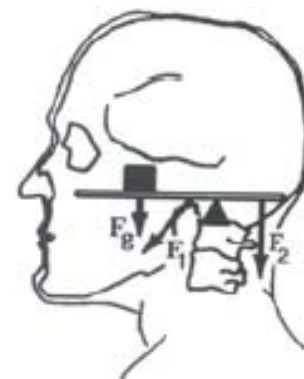
# TEŽIŠČE JE LAHKO TUDI IZVEN PREDMETA



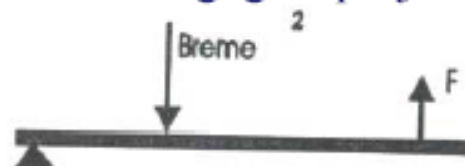
# VZVODI

Ločimo tri tipe vzvodov:

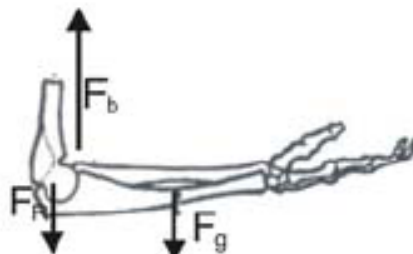
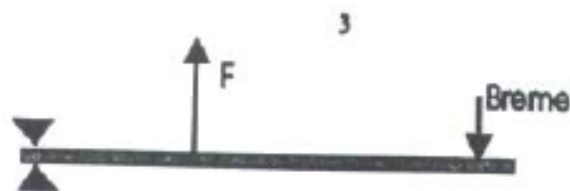
1. **TIP:** je dvokraki



2. **TIP:** je enokraki. Ročica bremena pri vzvodu drugega tipa je krajša od ročice sile. Primeren je za premagovanje velikih sil.

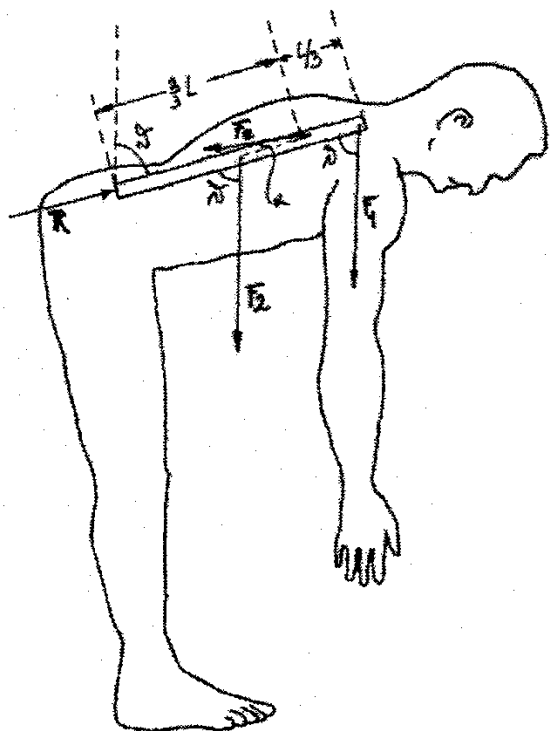


3. **TIP:** je enokraki. Vzvod tretjega tipa je zelo pogost v človeškem telesu – pojavlja se predvsem tam, kjer so potrebne velike hitrosti gibanja na račun večjih sil





## Primer sil na 5. ledveno vretence pri predklonu



$$\sum \overline{M}_i = F_e L_e \sin \alpha - F_2 L_2 \sin \vartheta - F_1 L_1 \sin \vartheta = 0$$

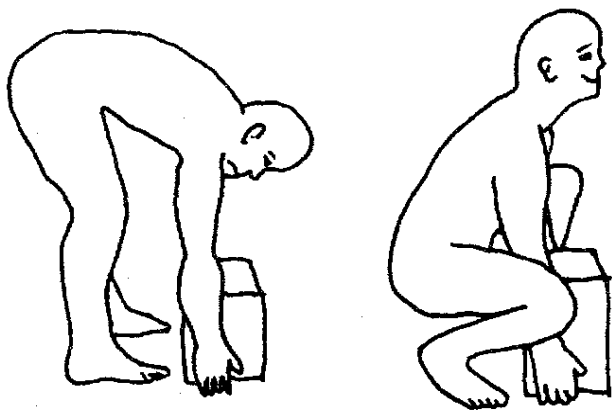
$$F_e = \frac{F_2 L_2 + F_1 L_1}{L_e \sin \alpha} \sin \vartheta$$

$L_e = 2/3L$ ,  $\alpha = 12^\circ$ ,  $L_2 = L/2$   
 $F_2 = 0,4F_t$ ,  $F_1 = 0,2F_t$ ;  $F_t =$  teža telesa

Če upoštevamo približke za lege in velikost sil dobimo:

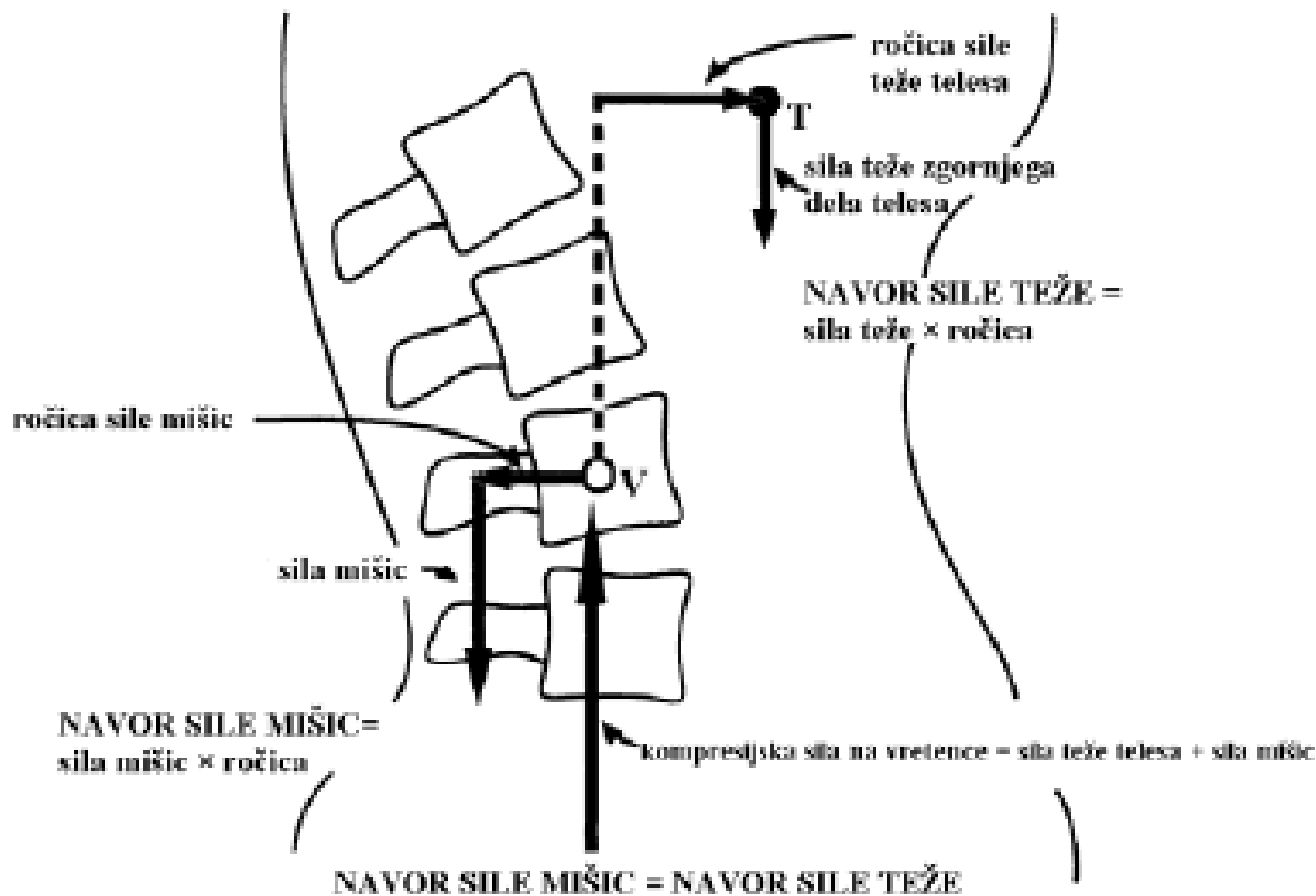
$$F_e = 2,9 F_t \sin \vartheta$$

Z upoštevanjem pogoja  $\sum \overline{F}_{xi} = 0$  pa še  $R_x = 2,4 F_t$

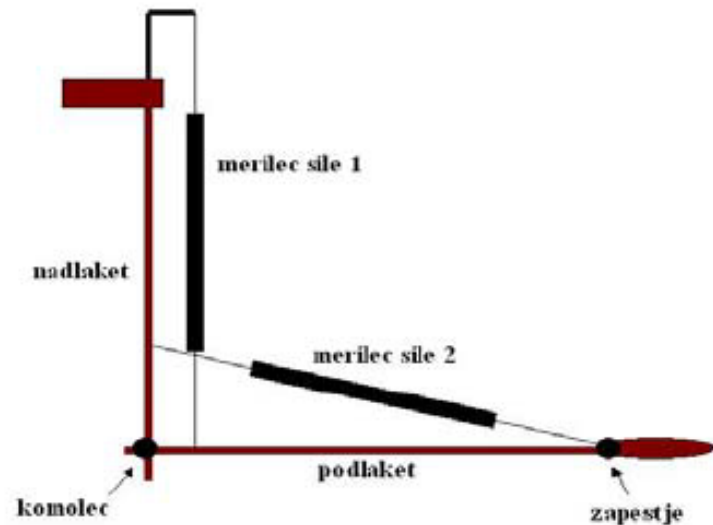
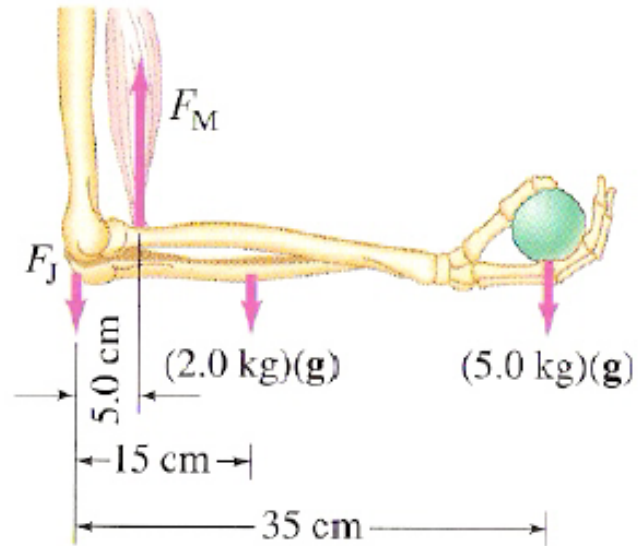
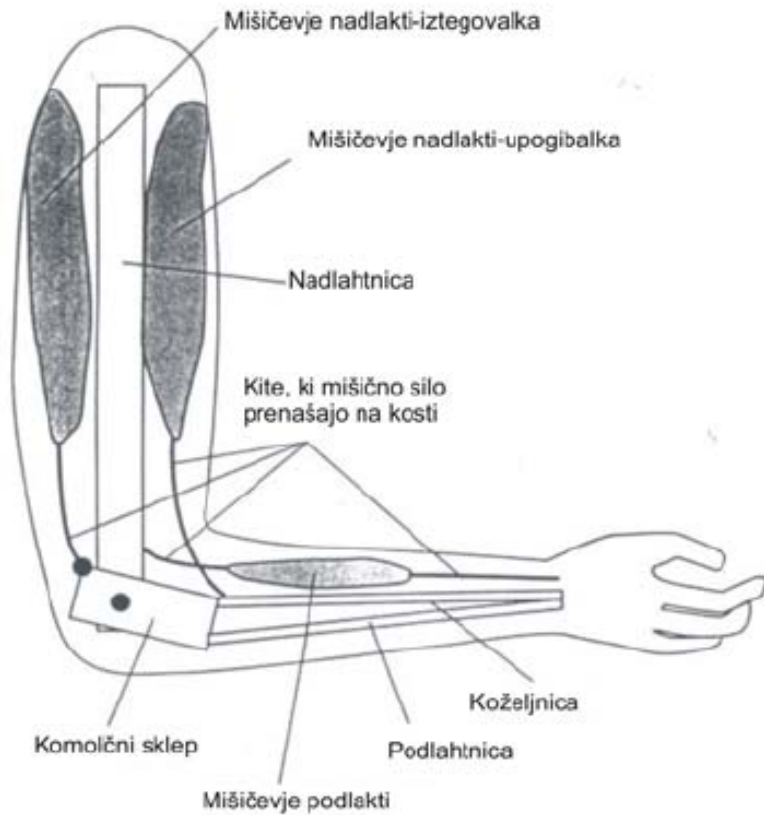
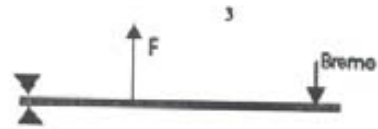


Slika 4.11: Poškodbe v križu lahko zmanjšamo s primernim načinom dviganja bremen. Breme naj bo čim bližje križu, glava dvignjena in hrbtenica pokončna, da bo ročica sile teže čim manjša (desna slika). Leva slika prikazuje nepravilen način dviganja bremen, kjer velika ročica sile teže bremena povzroči veliko obremenitev hrbtenice.

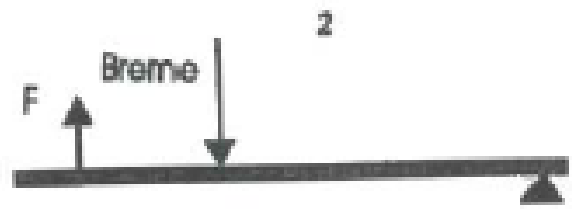
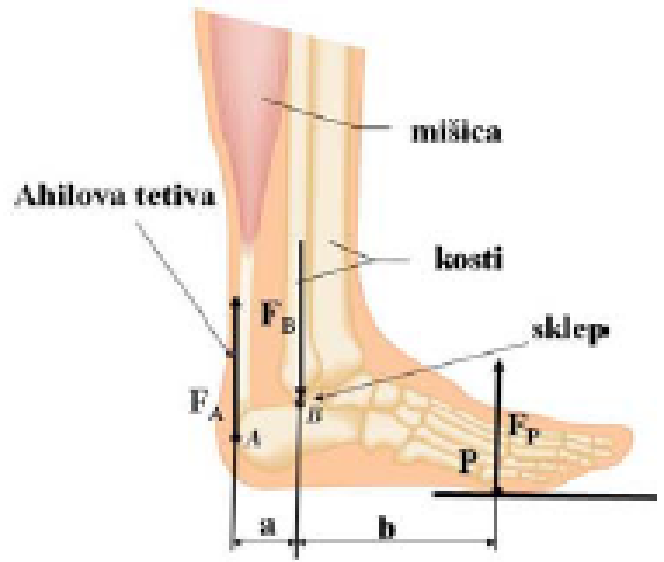
# • POSAMEZNO VRETENCE



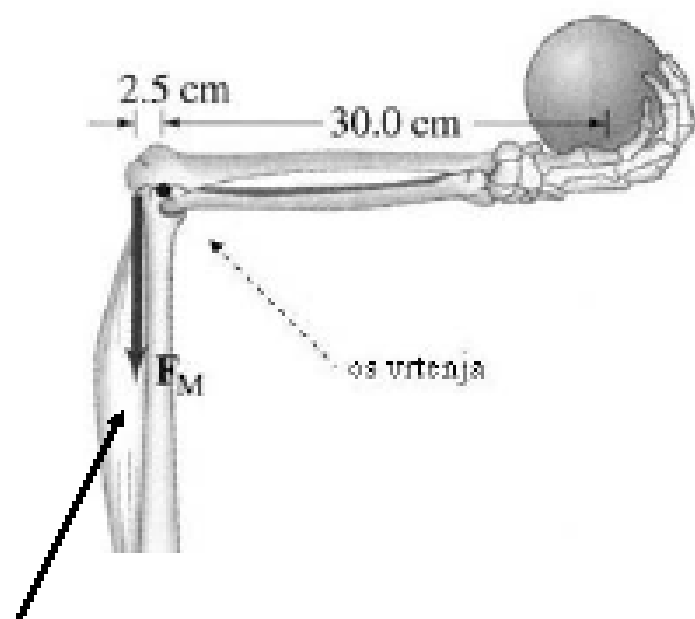
# •ROKA



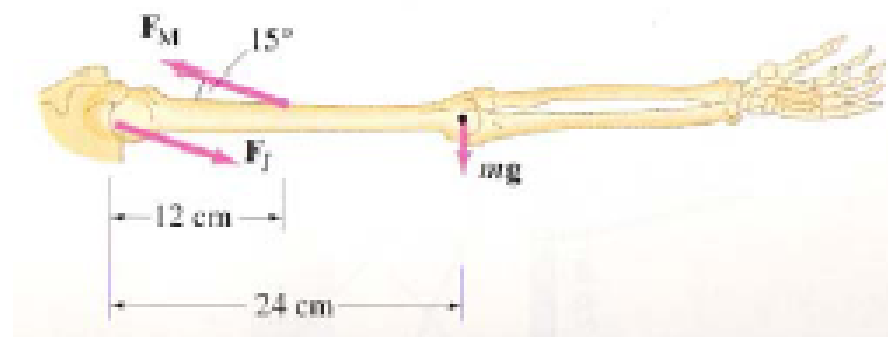
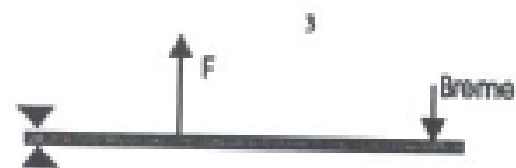
# •STOJA NA PRSTIH



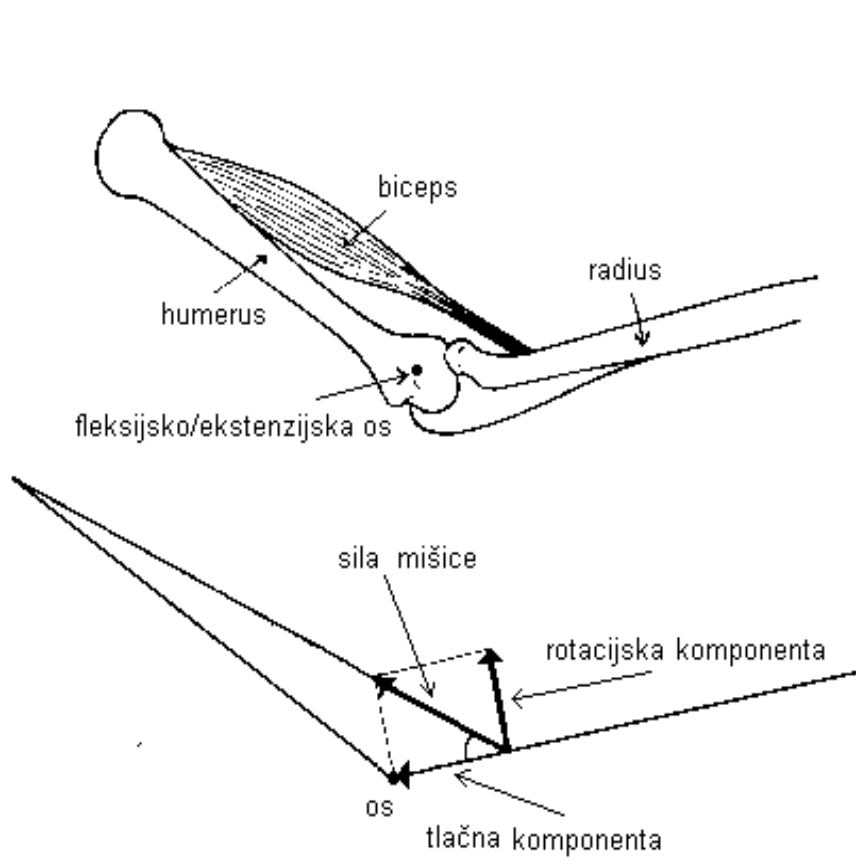
## •DRUGI PRIMERI VZVODOV V ROKI



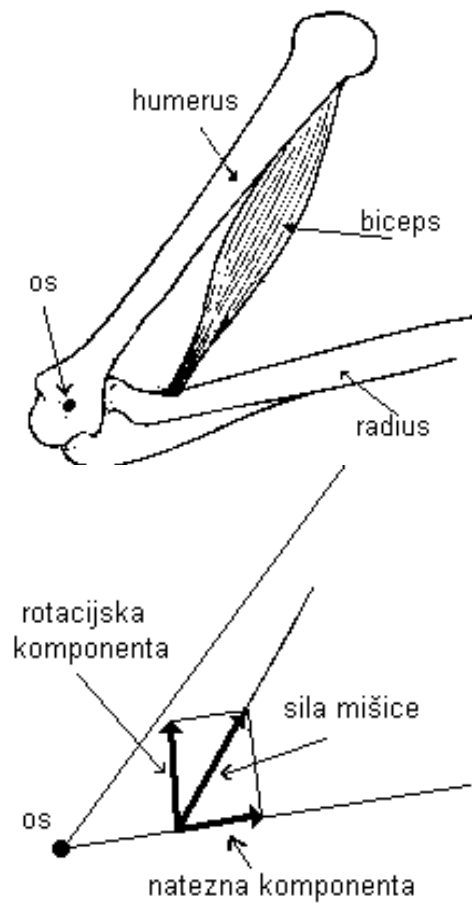
triceps - mišica  
iztegovalka



# Sile in navori v sklepih

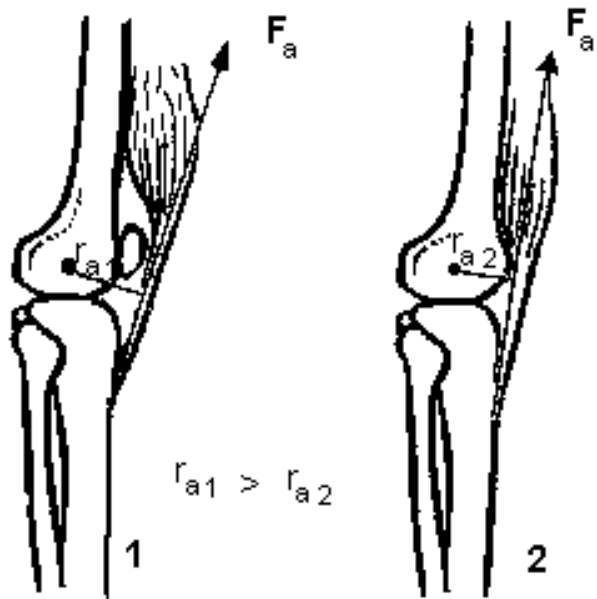


Sila v mišici  
povzroča navor  
in tlak v sklepu



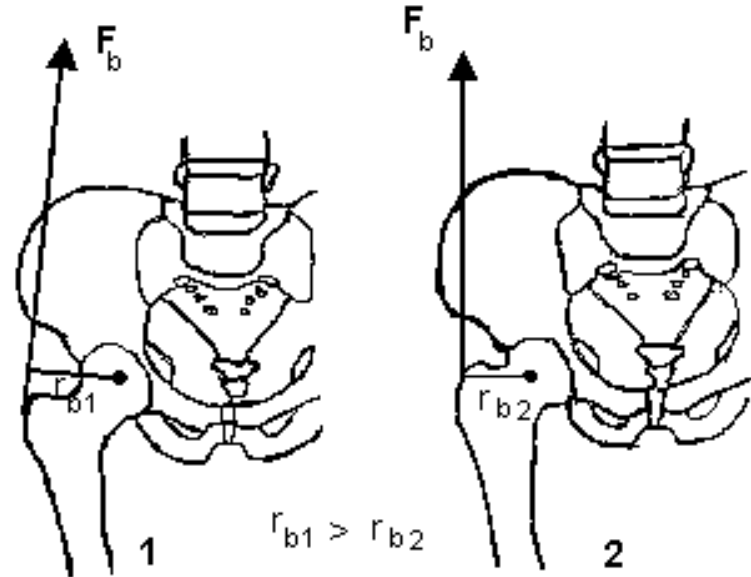
Sila v mišici povzroča navor in nateg v sklepu

# Vpliv anatomske značilnosti in smeri mišice na navorno ročico



a)

koleno – m. rectus femoris



b)

kolk – m. gluteus medius

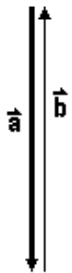
# Statika - ravnotežje

Za ravnotežje telesa mora biti izpolnjen pogoj, ki ga podaja I.

Newtonov zakon:  $\sum \vec{F}_i = 0$      $\sum \vec{M}_i = 0$

Pri stoji človeka moča biti vektor reakcijske sile na telo nasprotno enak vektorju sile težnosti. To zahteva pogoj:  $\sum \vec{F}_i = 0$

Drugi pogoj:  $\sum \vec{M}_i = 0$  pa zahteva, da sta vektorja na isti premici



$\vec{a}$  ... teža telesa

$\vec{b}$  ... reakcija podlage

$$\vec{a} + \vec{b} = 0$$

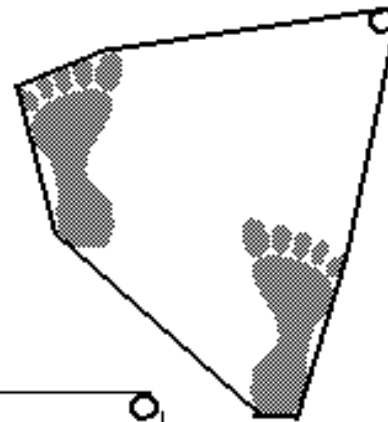
Človek pri stoji stabilnost ohranja dinamično. To pomeni, da projekcija težišča na podporno površino ne miruje. Ne sme pa se premakniti izven ploskve, ki jo določajo njene konveksne oblike in tetive med konkavnimi odseki.



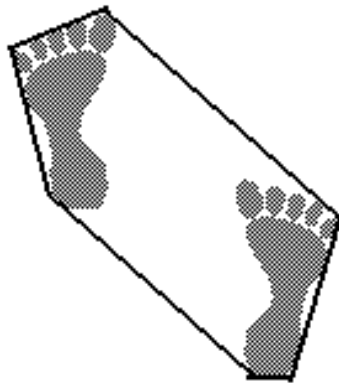
# Primeri opornih površin pri različnih položajih stopal in uporabi različnih opornih pripomočkov



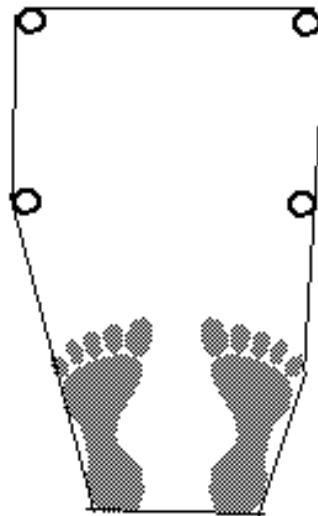
normalna stoja



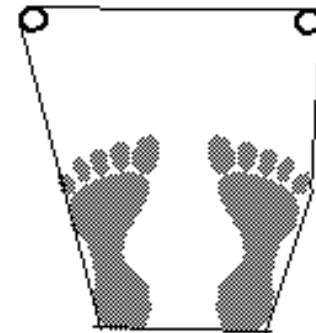
stoja z oporo na palico



stoja z razkorakom



stoja s štirinožno hoduljo



stoja z oporo na dvonožno hoduljo

## Gravitacijska sila - sila teže

$$F = Gm_1m_2 / r^2$$

$$F_g = m \cdot g$$

**Newtonov gravitacijski zakon** za 2 masni točki

Gravitacijska konstanta  $G = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kgs}^2$

$m_1, m_2 \dots$  masi teles 1 in 2

$r \dots \dots$  razdalja med masnima točkama

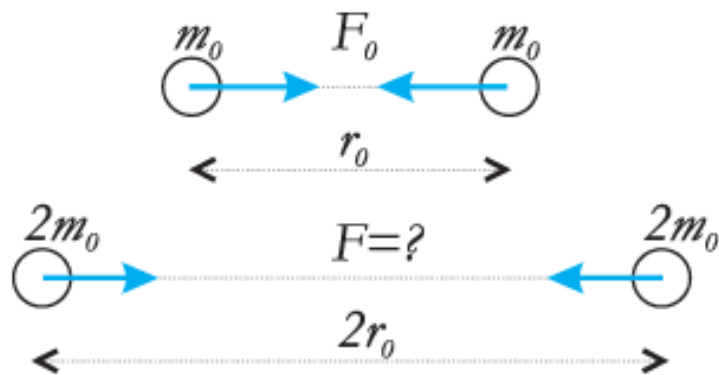
$F_g \dots$  teža telesa z maso  $m$  na zemlji

$g \dots$  gravitacijski pospešek proti središču zemlje

$g = Gm_z/r^2$ , kjer je  $m_z$  masa Zemlje =  $6,0 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ ,  $r$  pa njen polmer = 6370 km

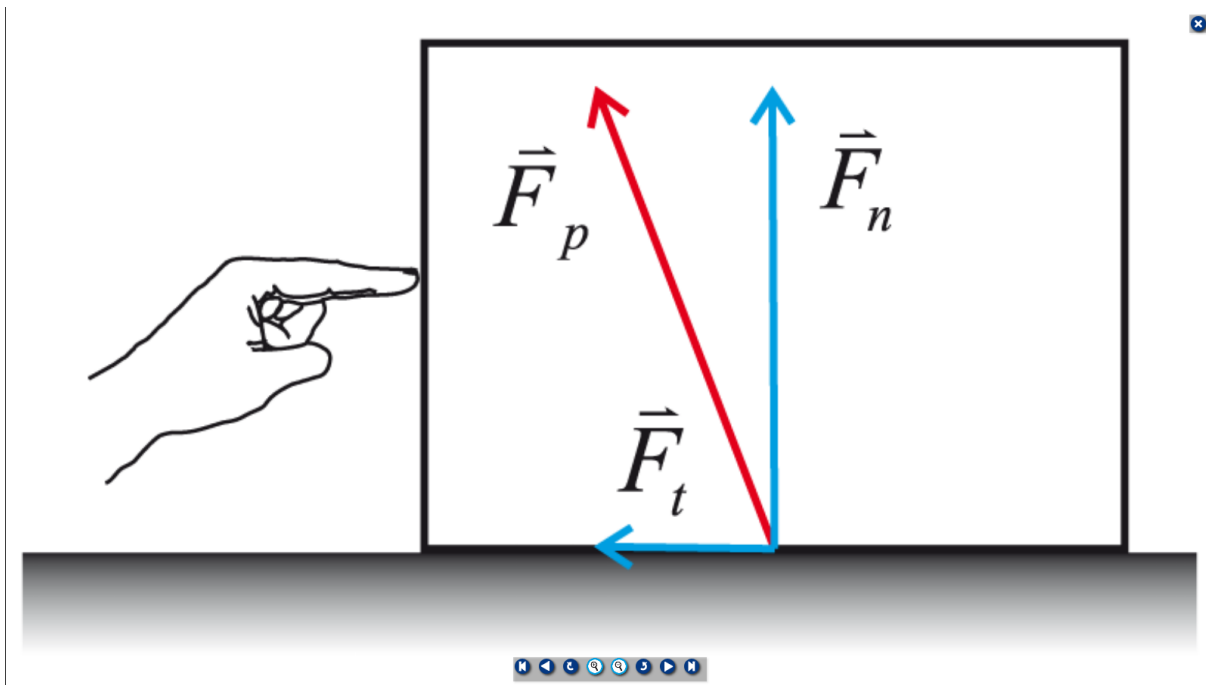
V naših krajih je  $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$ .

32. Gravitacijsko privlačno silo med dvema enakima kroglicama mase  $m_0$ , ki sta razmaknjeni za razdaljo  $r_0$ , označimo z  $F_0$ . Kolikšna je gravitacijska privlačna sila med kroglicama z maso  $2m_0$ , ki sta razmaknjeni za razdaljo  $2r_0$ ?



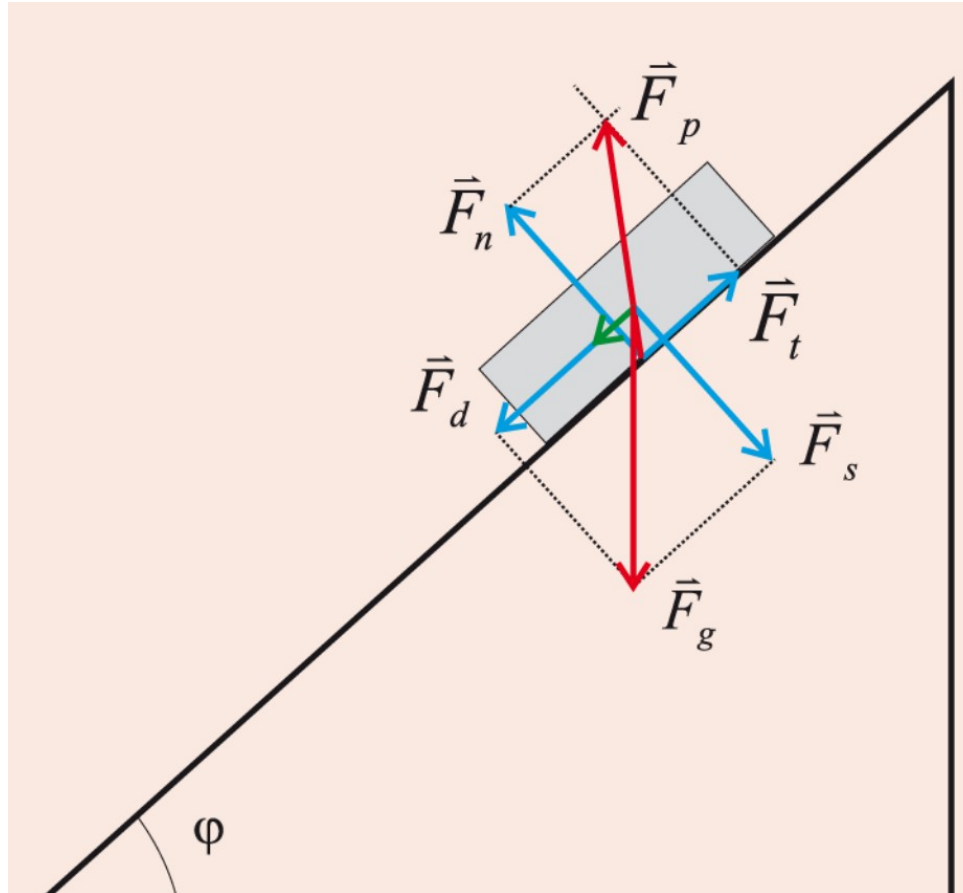
- A  $F = 0,5F_0$
- B  $F = F_0$
- C  $F = 2F_0$
- D  $F = 4F_0$

# Sila trenja (IUčbenik 1: str. 100)



$$\mathbf{F}_t = k_t \mathbf{F}_n$$

# KLANEC:



## KOMPRESIJSKE IN STRIŽNE SILE NA DISK V HRBTENICI

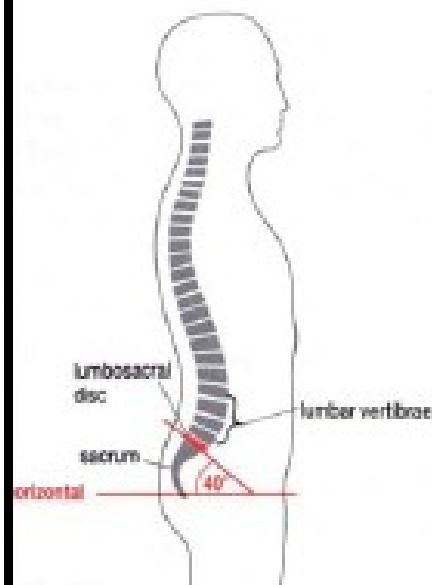


Fig 1.5 The vertebral column.

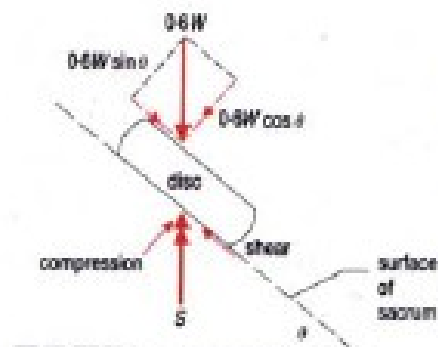
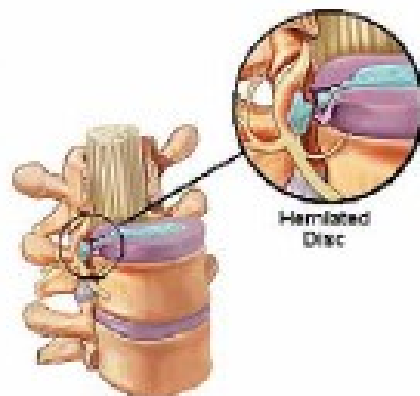
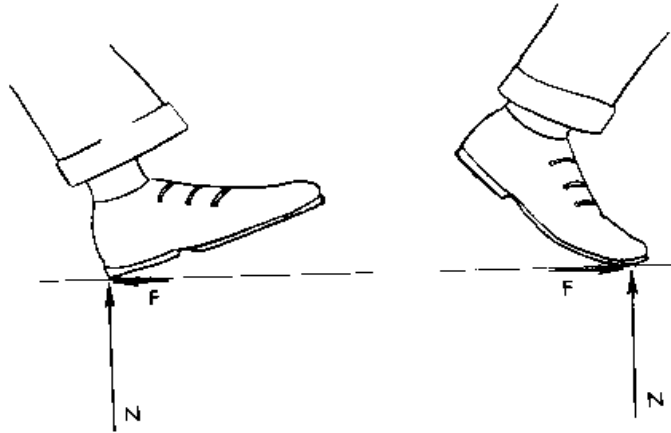


Fig 1.6 Forces on the lumbosacral disc.

- disk se obnaša kot telo na klancu - večji kot je nagib, večja je komponenta sile vzdolž 'klanca' - večja verjetnost za zdrs in ukleščenje - hernija



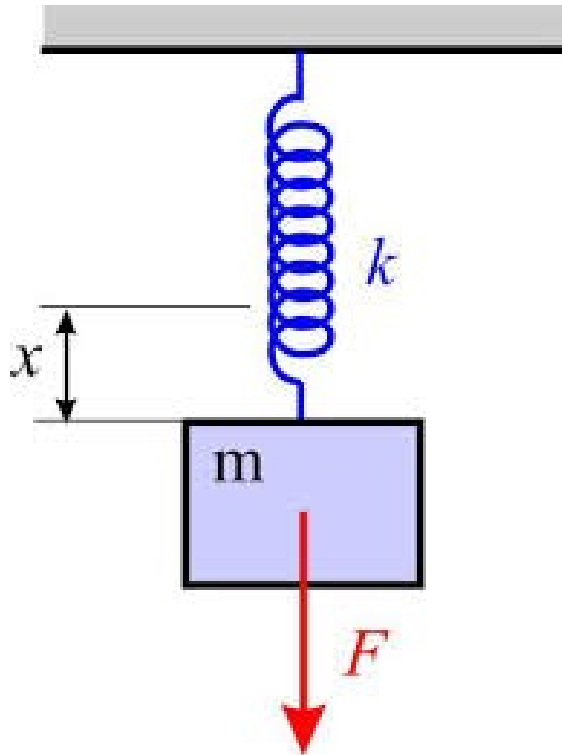
# Koristnost sile trenja v biomehaniki



Sila trenja pri hoji

# Sila prožnosti (IUčbenik 1, str. 98)

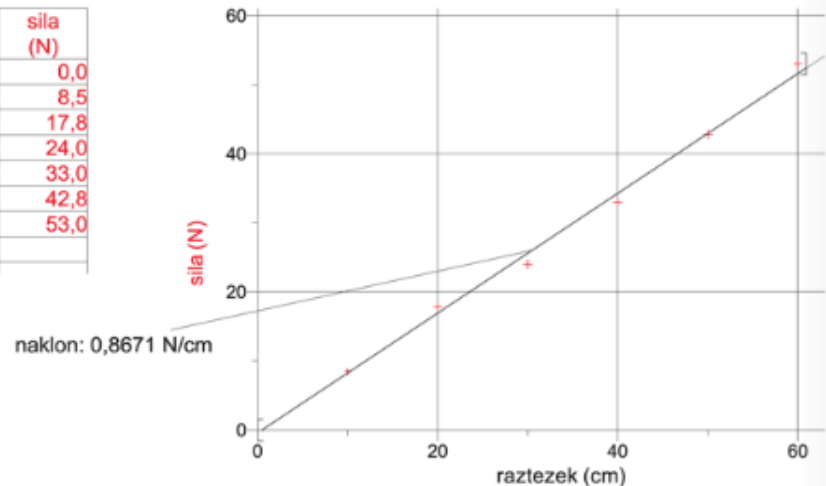
Hookov zakon za vzmet:  $\vec{F} = k\vec{x}$



## Poskus

Zgornji konec vzmeti trdno vpnemo. Na prosti konec zaporedoma obešamo uteži z vedno večjo maso in merimo raztezek vzmeti (slika 3.30a). Meritve zberemo v tabelo:

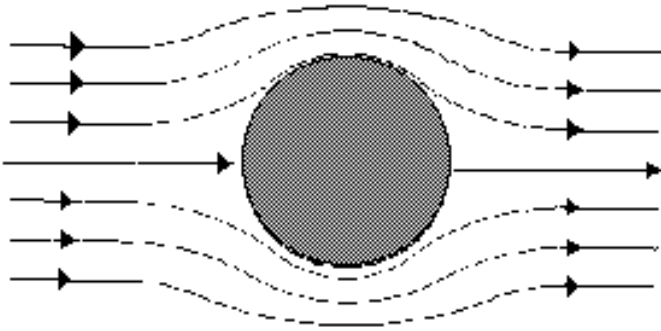
raztezek (cm)	sila (N)
0	0,0
10	8,5
20	17,8
30	24,0
40	33,0
50	42,8
60	53,0



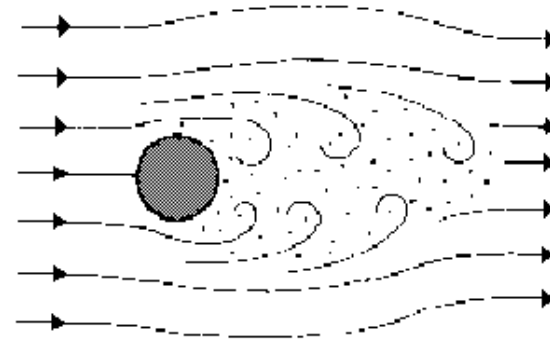
Graf sile od raztezka je premica. Naklon te premice je  $\frac{\Delta F}{\Delta x} = 0,87 \text{ N cm}^{-1}$  in je enak prožnostnemu koeficientu vzmeti  $k$ . Vzmet smo s tem poskusom umerili in jo lahko uporabimo za merjenje sile.



# Sile pri gibanju v tekočinah – upor medija; Učbenik 1: str. 103)



Tokovnice v **idealni** tekočini  
Rezultanta sil (upor) na telo,  
ki ga tekočina obliva je nič



Tokovnice v **realni** (viskozni) tekočini

Upor je odvisen od oblike telesa, hitrosti in  
viskoznosti tekočine

Za majhne hitrosti in viskozne tekočine velja  
linearni zakon upora:  $\mathbf{R}_v = k\eta v$

Za velike hitrosti in malo viskozne pa kvadratni:  
 $\mathbf{R}_d = c_u S\rho v^2/2$

$\eta$  [Nsm<sup>-2</sup>] ... viskoznost,  $\rho$ ... gostota tekočine

S ...presek telesa;  $k, c_u$  ... konstanti upora

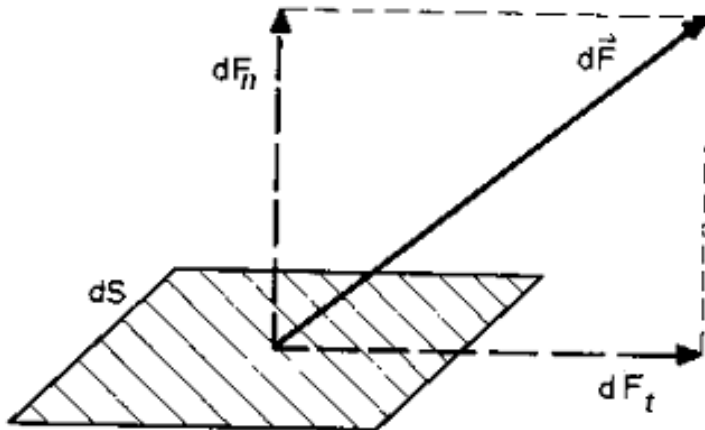
# Porazdelitev sil

Sile delujejo na telo na zelo različne načine:

- po celotni prostornini – gravitacija
- po večjih površinah in lahko v različnih smereh
- v izbranih točkah

Zato je smiselno opisovati, kakšen je vektor sile na majhen del

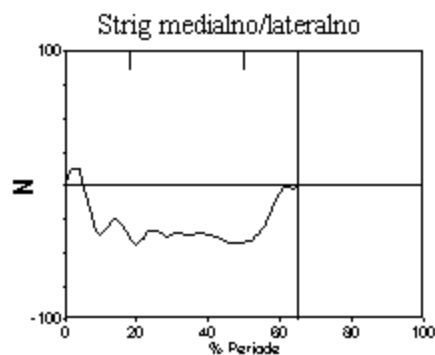
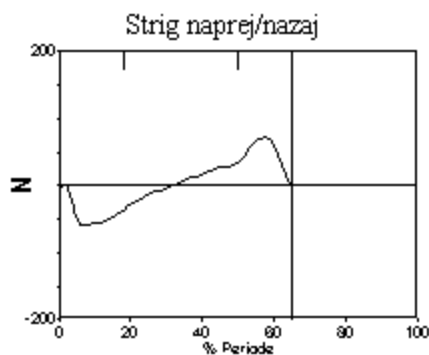
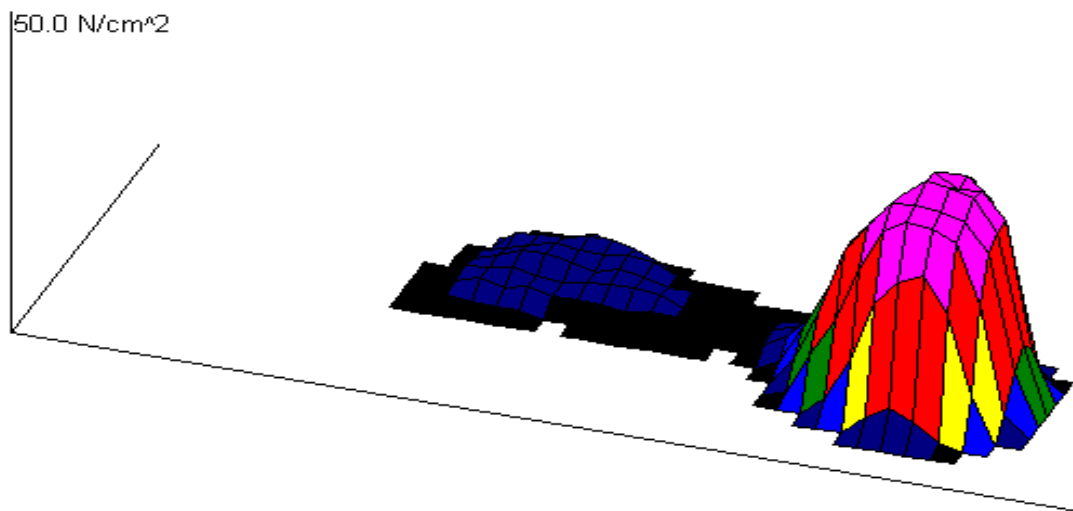
površine ali volumna:  $\vec{p} = \frac{d\vec{F}}{dS}$  oziroma  $\vec{f} = \frac{d\vec{F}}{dV}$



$$\frac{dF_n}{dS} = \sigma \quad \text{Natezna napetost}$$

$$\frac{dF_t}{dS} = \tau \quad \text{Strižna napetost}$$

# Časovni potek vektorja in porazdelitev podporne sile pri hoji



## Gibalna količina (IUčbenik 1)

Definicija:  $\vec{G} = m\vec{v}$

$$d\vec{G} / dt = m \cdot d\vec{v} / dt = m\vec{a}$$

II. Newtonov zakon torej lahko zapišemo tudi v obliki:

$$d\vec{G} / dt = \vec{F}$$

Z integracijo po času  
dobimo:

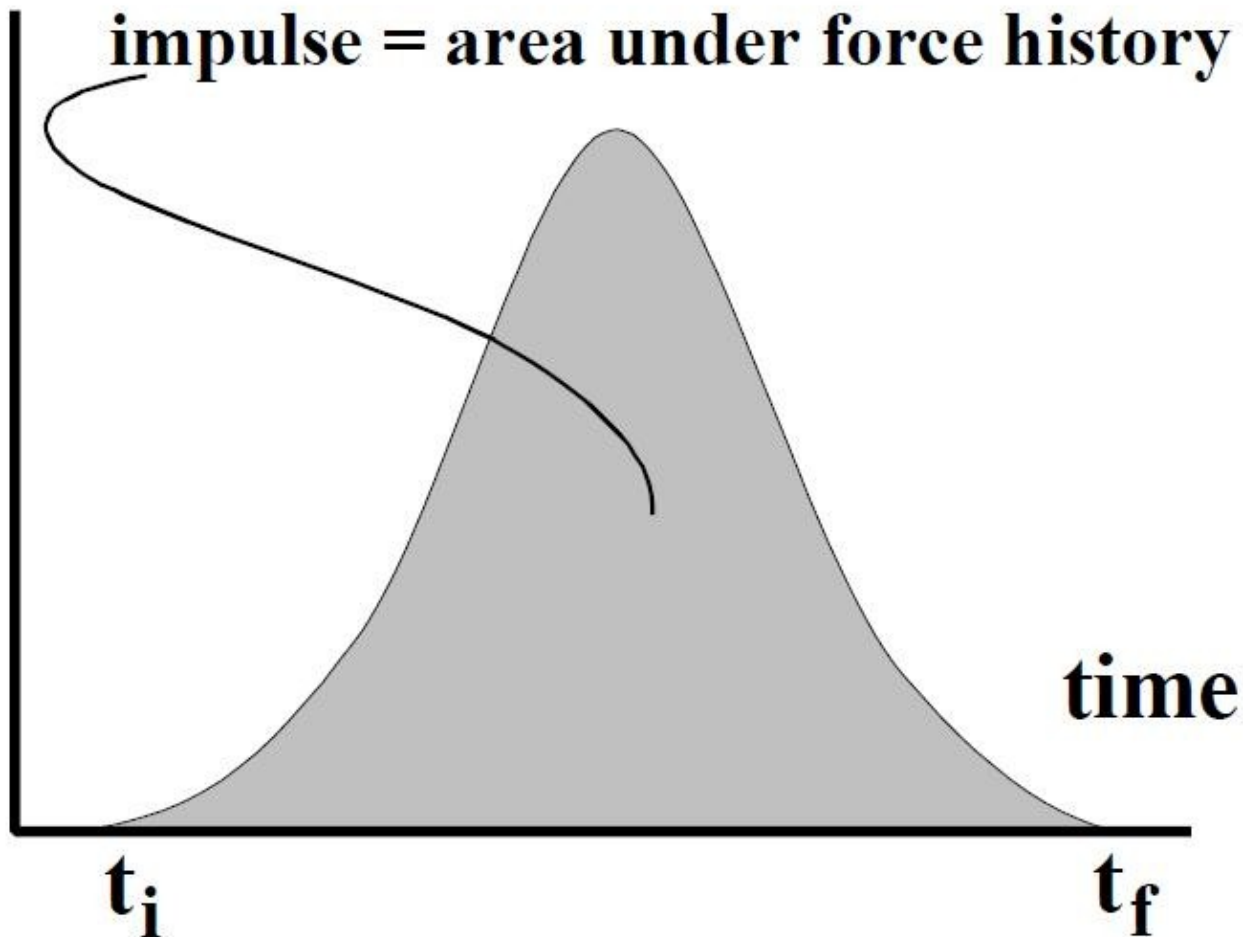
$$\int_{t_1}^{t_2} d\vec{G} / dt = \int_{t_1}^t \vec{F} dt = m(\vec{v}_2 - \vec{v}_1) = \vec{I}$$

Izraz:  $\vec{I} = \int_{t_1} \vec{F}' \cdot dt$

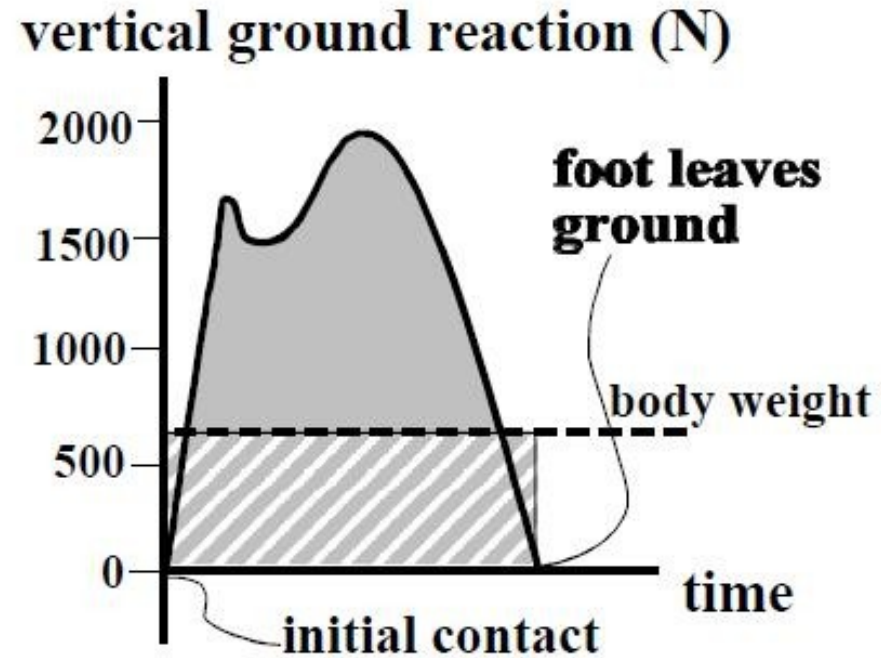
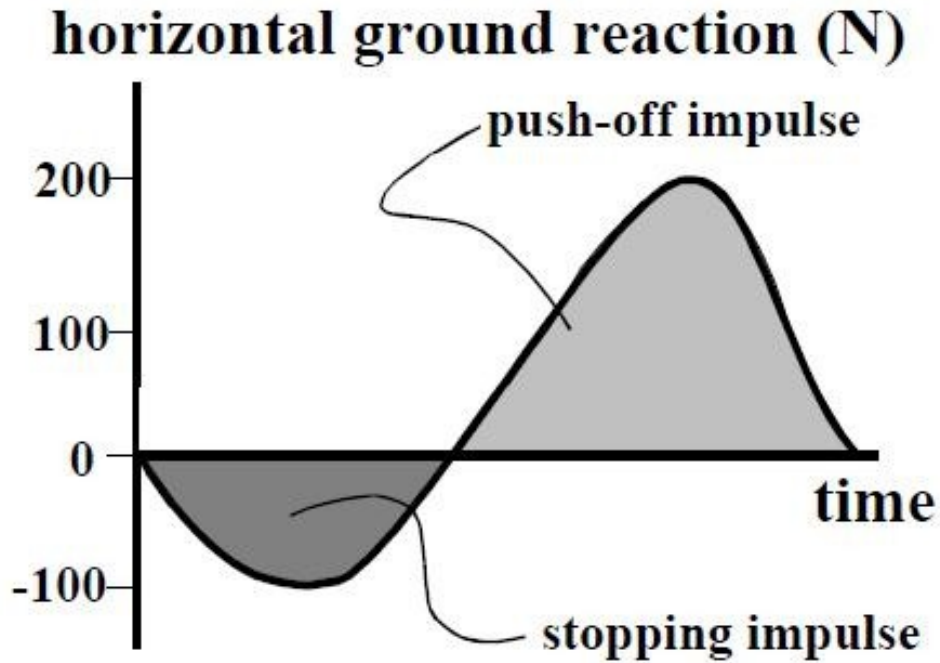
(I - sunek sile) pove, da je sprememba gibalne količine enaka sunku sile

# Sunek sile

**force**



# Sunek sile pri teku



**Pri trku vlaka in avtomobila vlak popolnoma uniči avtomobil.  
Lahko sklepamo, da je:**

**A Sila, s katero deluje avtomobil na vlak, večja od sile, s katero deluje vlak na avtomobil**

**B Sila, s katero deluje avtomobil na vlak, enaka sili, s katero deluje vlak na avtomobil**

**C Sila, s katero deluje avtomobil na vlak, manjša od sile, s katero deluje vlak na avtomobil**

## Zakon o ohranitvi gibalne količine

- Če pri trku 2 ali več teles ne deluje nobena zunanja sila, se gibalna količina ohranja. To pomeni, da je vsota gibalnih količin pred trkom enaka vsoti gibalnih količin po trku.

$$F \cdot \Delta t = \Delta G$$

$$0 = \Delta G$$

$$0 = G_2 - G_1$$

$$G_1 = G_2 \quad (G_{\text{pred}} = G_{\text{po}})$$



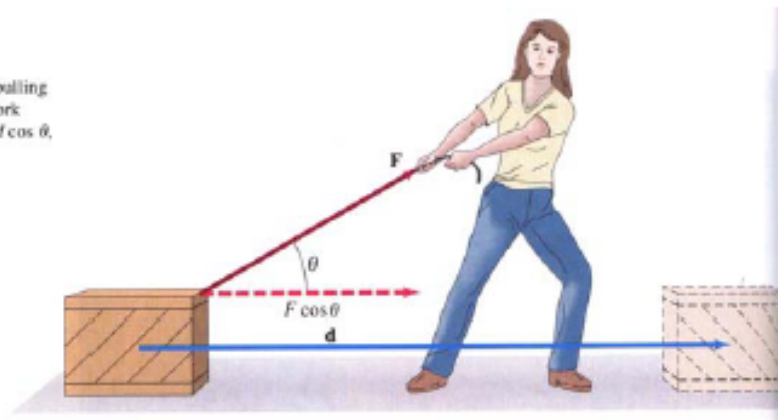
5. Na zračni drži sta dva vozička z masama  $m_1$  in  $m_2$  ( $m_2 > m_1$ ). Gibljeta se drug proti drugemu s hitrostma velikosti  $v_1$  in  $v_2$  ( $v_2 < v_1$ ). Ko se srečata, se pri trku sprimeta. V katero smer se bosta gotovo gibala po trku?

- A** V smer, v katero se je pred trkom gibal voziček z večjo maso.
- B** V smer, v katero se je pred trkom gibal voziček z večjo hitrostjo.
- C** V smer, v katero se je pred trkom gibal voziček z večjo silo.
- D** V smer, v katero se je pred trkom gibal voziček z večjo gibalno količino.

- **DELO SILE:**

$$A = \vec{F} \cdot \vec{s} = F_{\parallel} s = Fs \cos \varphi \quad [Nm = J]$$

**FIGURE 6-1** A person pulling a crate along the floor. The work done by the force  $\mathbf{F}$  is  $W = Fd \cos \theta$ , where  $\mathbf{d}$  is the displacement.



- je skalarna količina

Splošneje: 
$$A = \int_1^2 \vec{F} d\vec{s} = m \int_1^2 \frac{d\vec{v}}{dt} d\vec{s} = m \int_1^2 \vec{v} d\vec{v} = \frac{m}{2} (v_2^2 - v_1^2) = \Delta E_k$$

Delo, ki ga opravi rezultanta zunanjih sil je enako spremembi kinetične energije telesa.

# Potencialna energija in moč

Telo, ki se giblje v težnostnem polju zemlje, veča komponento hitrosti v smeri pospeška. Pri tem se lahko njegova kinetična energija:  $E_k = mv^2/2$  poveča ali zmanjša, odvisno od začetne smeri hitrosti. Gravitacijska sila pri

tem na telo opravlja delo: 
$$A = \int_1^2 \vec{F} d\vec{s} = m \int_1^2 \vec{g} d\vec{s} = \Delta E_k = -\Delta E_p$$

Od tod sledi zakon o ohranitvi energije pri gibanju teles v potencialnem (težnostnem) polju:  $\Delta E_k + \Delta E_p = 0$ . Vsota kinetične in potencialne energije se ohranja. Pri gibanju, kjer se pojavlja sila trenja, se vsota ne ohranja, ker je delo sile trenja vedno negativno.



Moč je definirana kot:  $P = \Delta A / \Delta t$  [J/s = W]

## Primer:

**MERJENJE POVPREČNE MOČI PRI SKOKU**

$\frac{1}{2}mv_v^2 = mg\Delta h$

$v_v = \frac{2\Delta x}{t}$

$\Delta h = \frac{v_v^2}{2g} = \frac{2\Delta x^2}{gt^2}$

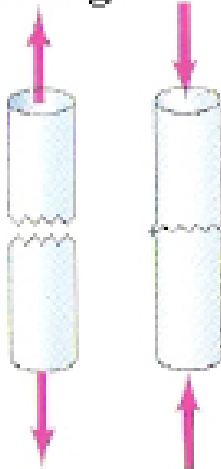
počep                      izteg                      prosti let

$$A = \frac{1}{2}mv_v^2 + mg\Delta x = mg(\Delta h + \Delta x) = mg\Delta h_{tot}$$
$$\overline{P} = \frac{A}{t}$$

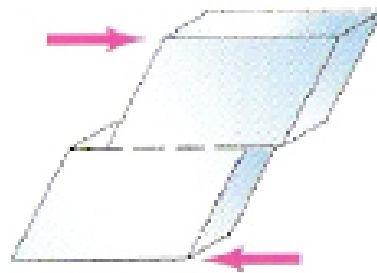
# DEFORMACIJE

- nateg, stisk, strig

razteg

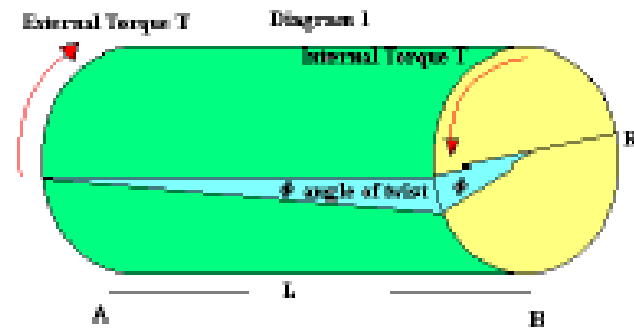


strig

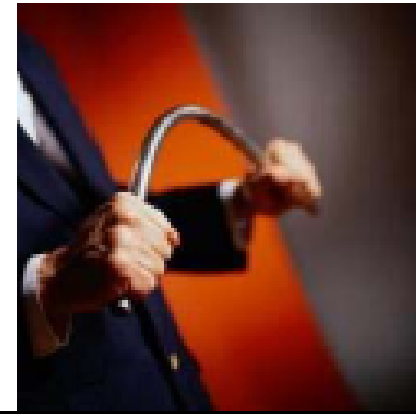


stisk oz.  
kompresija

- torzija



- upogib



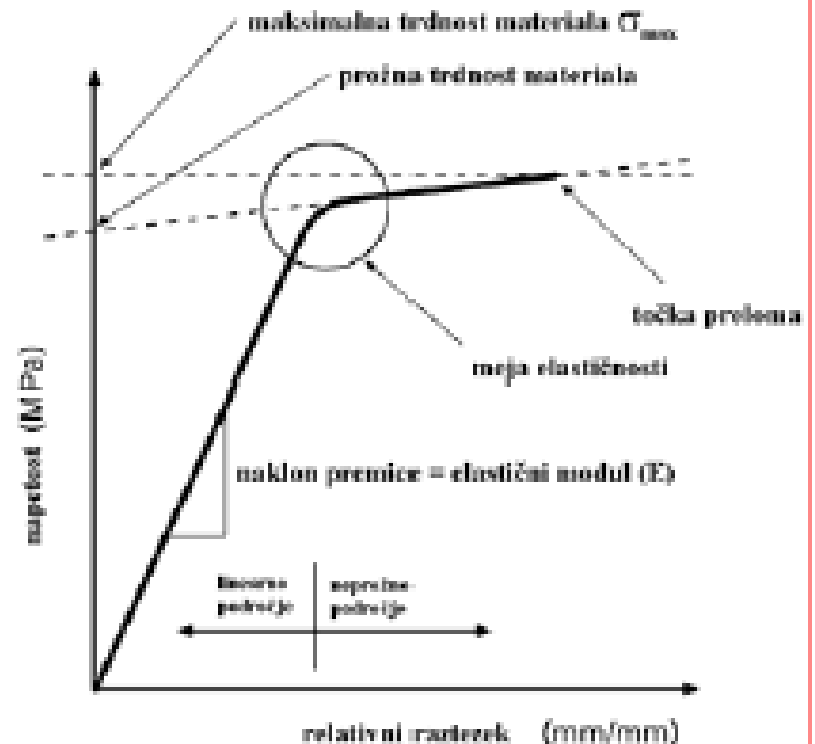
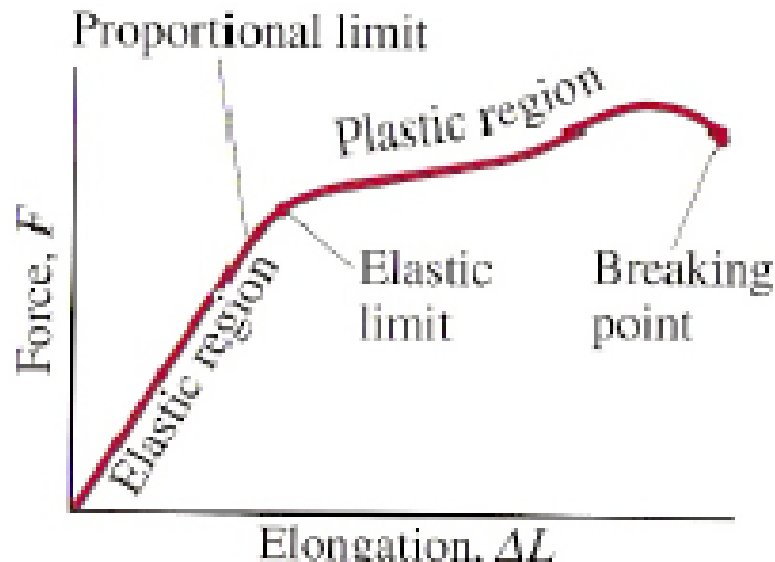
- določanje maksimalne trdnosti in elastičnega modula materialov

**Hookov zakon:**

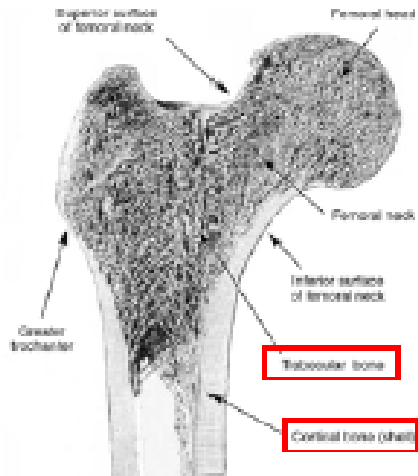
$$E = \frac{\text{napetost (tlak)}}{\text{relativni raztezek}} = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F/S}{\Delta l/l}$$

- ANALOGIJA: idealna vzmet – Hookov zakon

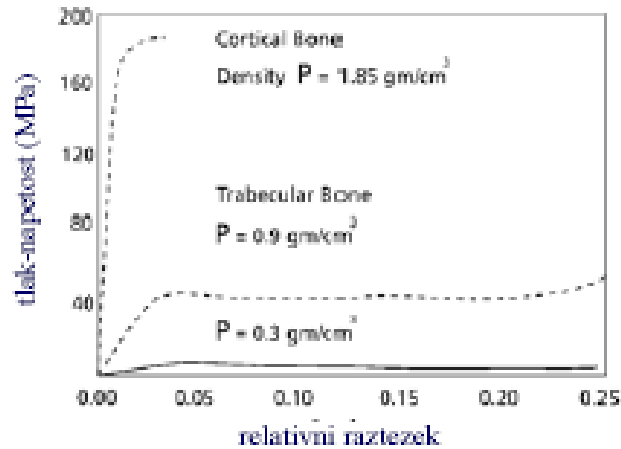
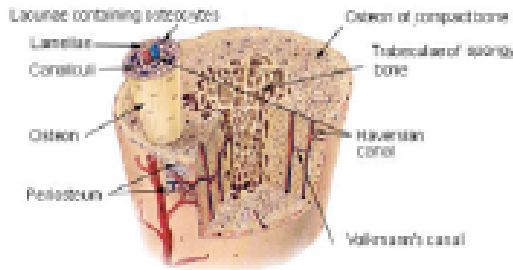
$$F = kx$$



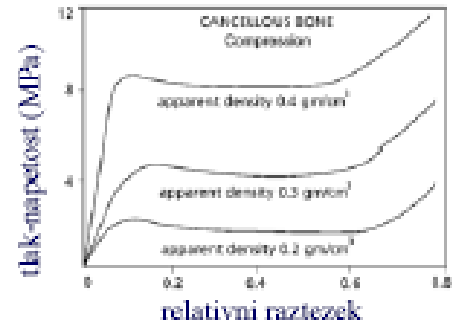
# ELASTIČNE LASTNOSTI KOSTI



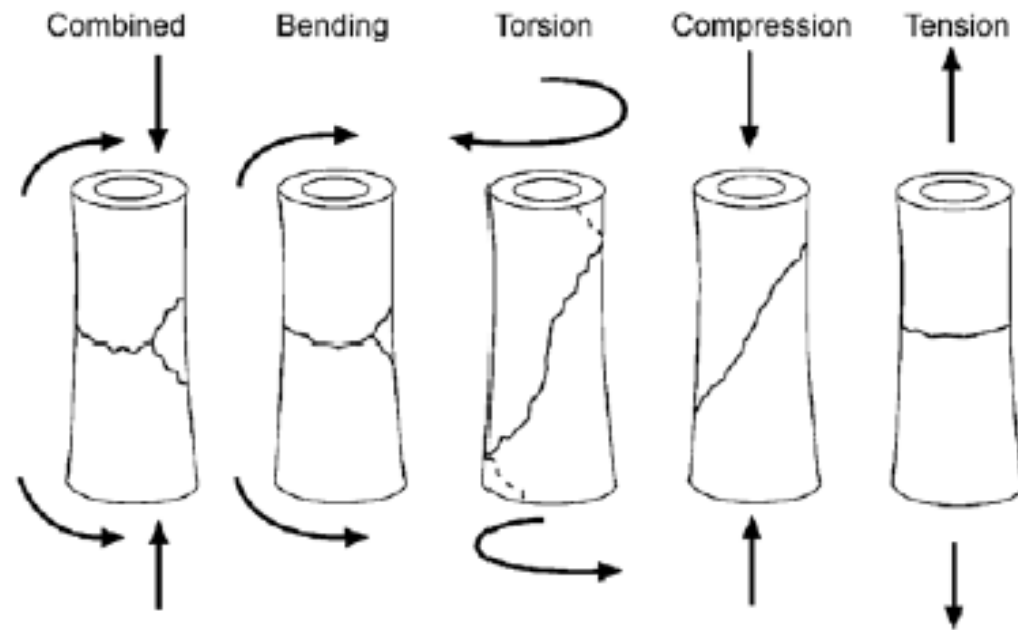
## Compact Bone & Spongy (Cancellous Bone)



- vpliv gostote kosti na njene elastične lastnosti



**•ZLOMI KOT POSLEDICE DEFORMACIJ**



The fracture pattern of long bones corresponding to the type of external load



## TORZIJSKI ZLOM TIBIE

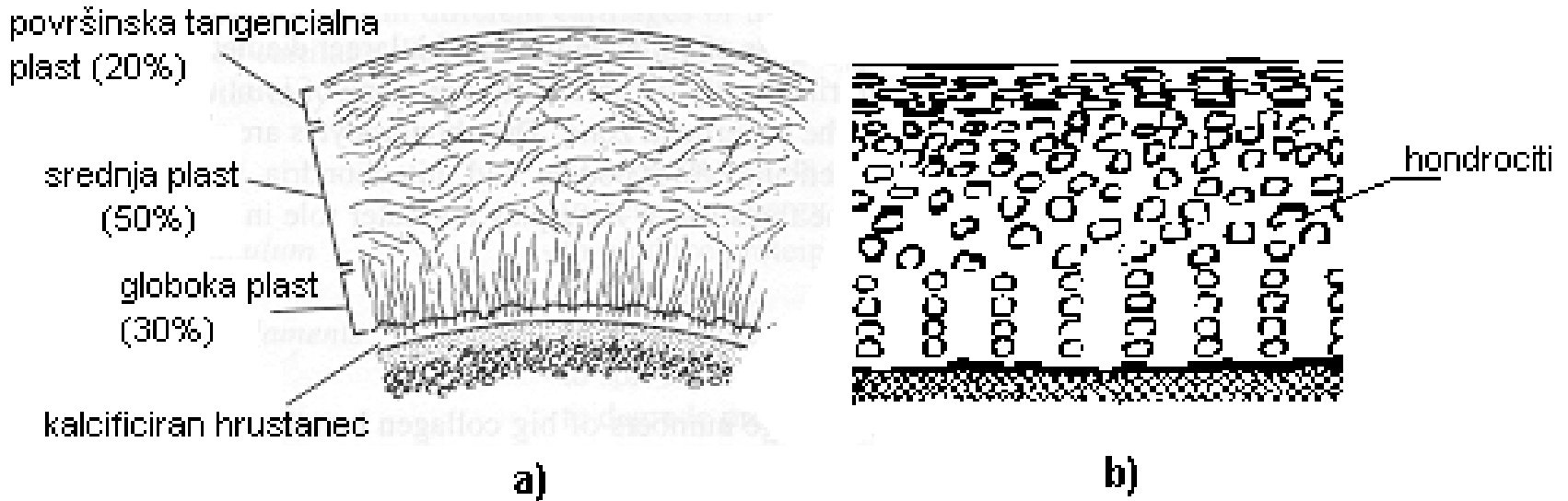


Golenica (tibia) lahko prenese največji navor pribl. 100 Nm, pri čemer je maksimalni kot zasuka 3,4.

### **TA ZLOM JE POGOST PRI SMUČANJU:**

Če je razdalja od konice smuči do čevlja 1 m, potem je dovolj, da se sneg upira zasuku s silo 100 N, da je navor na golenico 100 Nm.

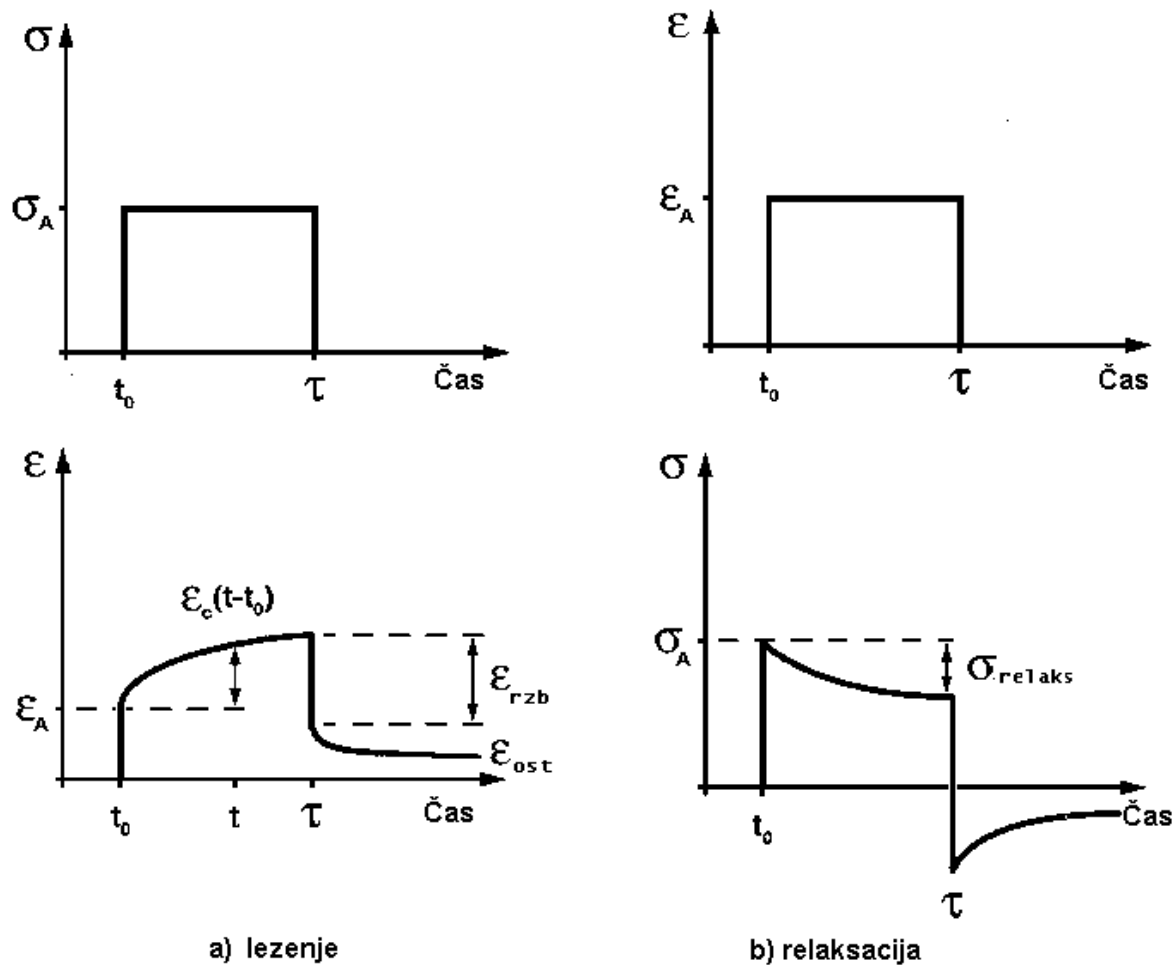
# Visko-elastične strukture: hrustanec



Plastna struktura hrustanca:

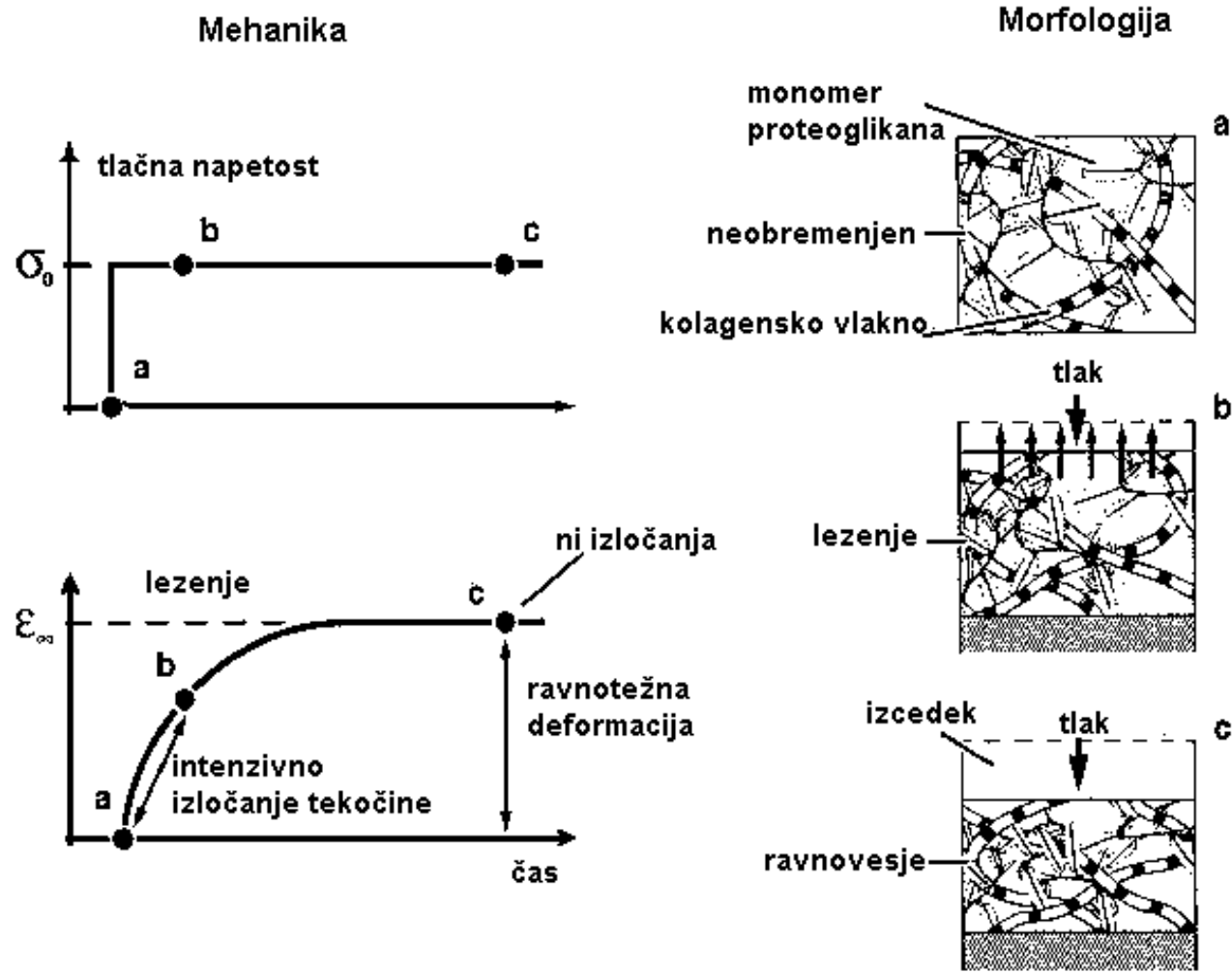
- a) orientacija in gostota kolagenskih vlaken
- b) oblika in porazdelitev hrustančnih celic

# Pojav viskoelastičnosti pri trdnih snoveh



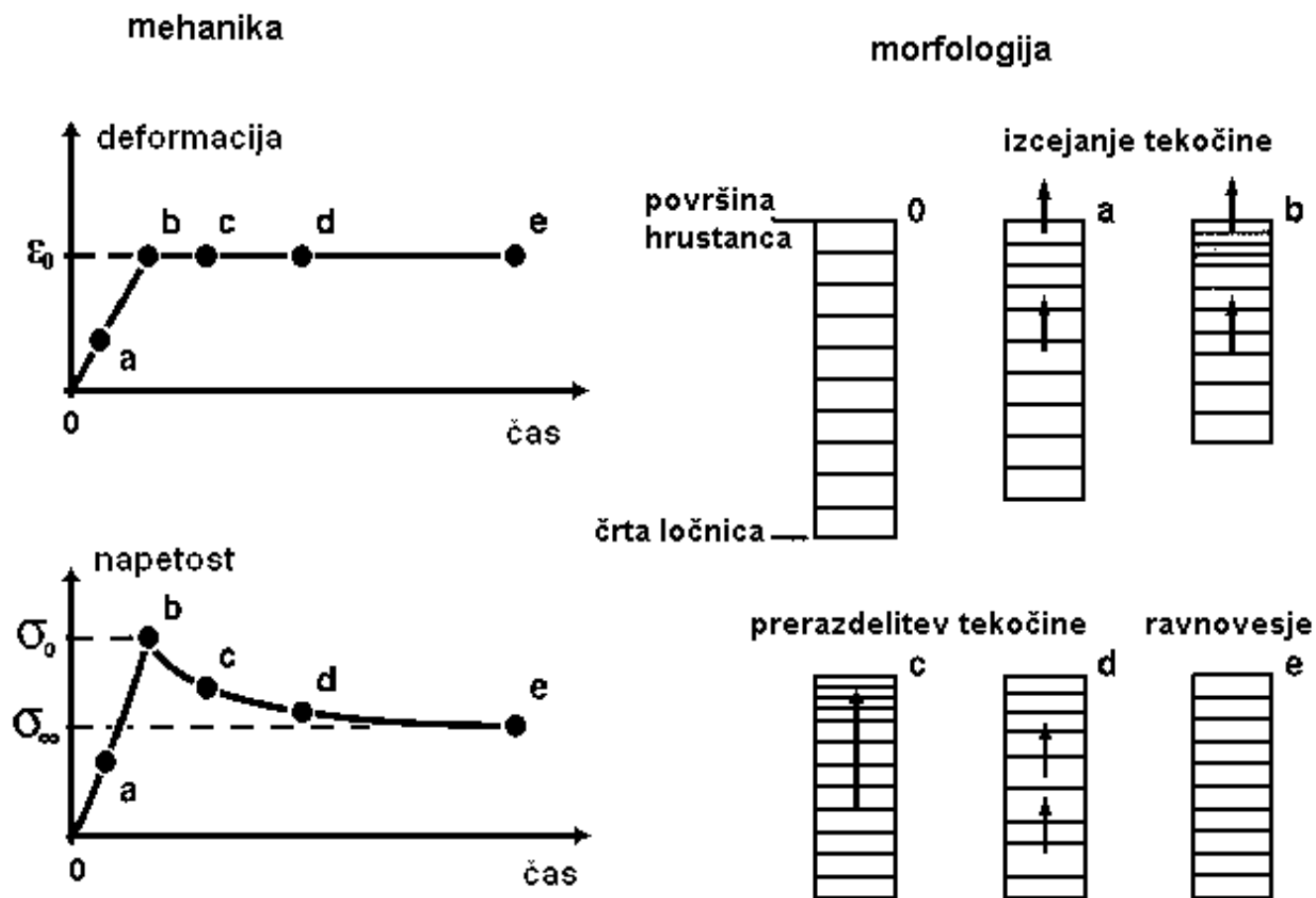
Časovna odvisnost napetosti in deformacije pri viskoelastičnih snoveh

# Mehanizem lezenja pri hrustancu



a) mehanizem lezenja

# Mehanizem relaksacije pri hrustancu



b) mehanizem relaksacije

# Diagrami trdnosti za hrustanec, vezi in kite

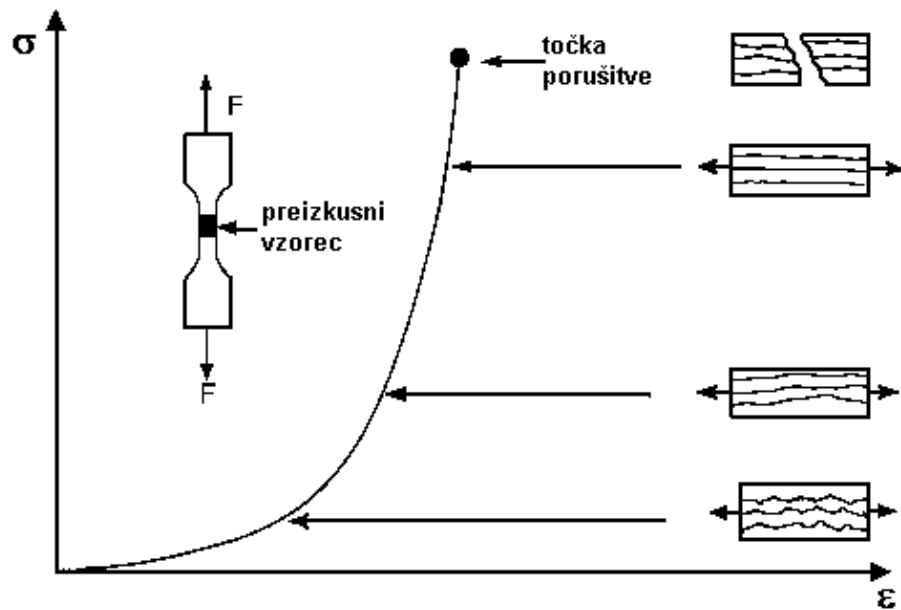
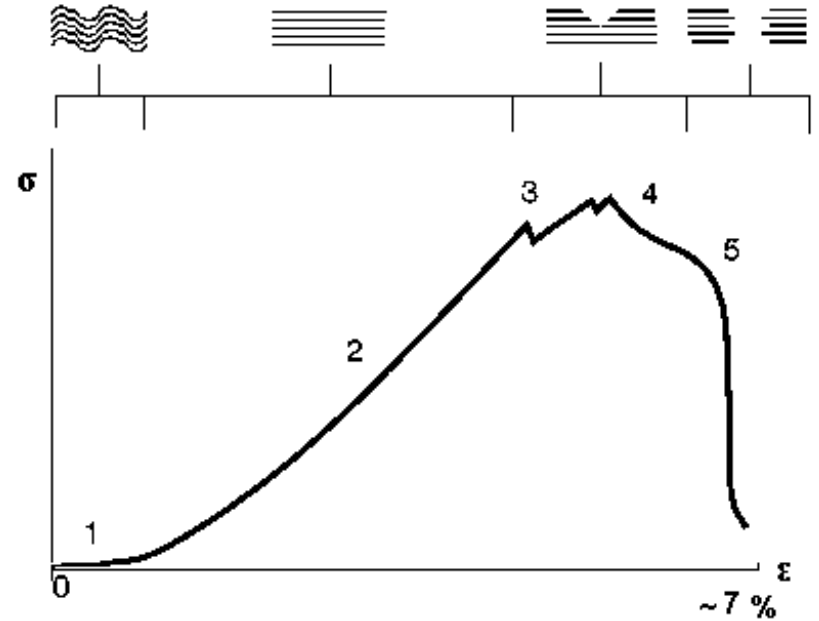
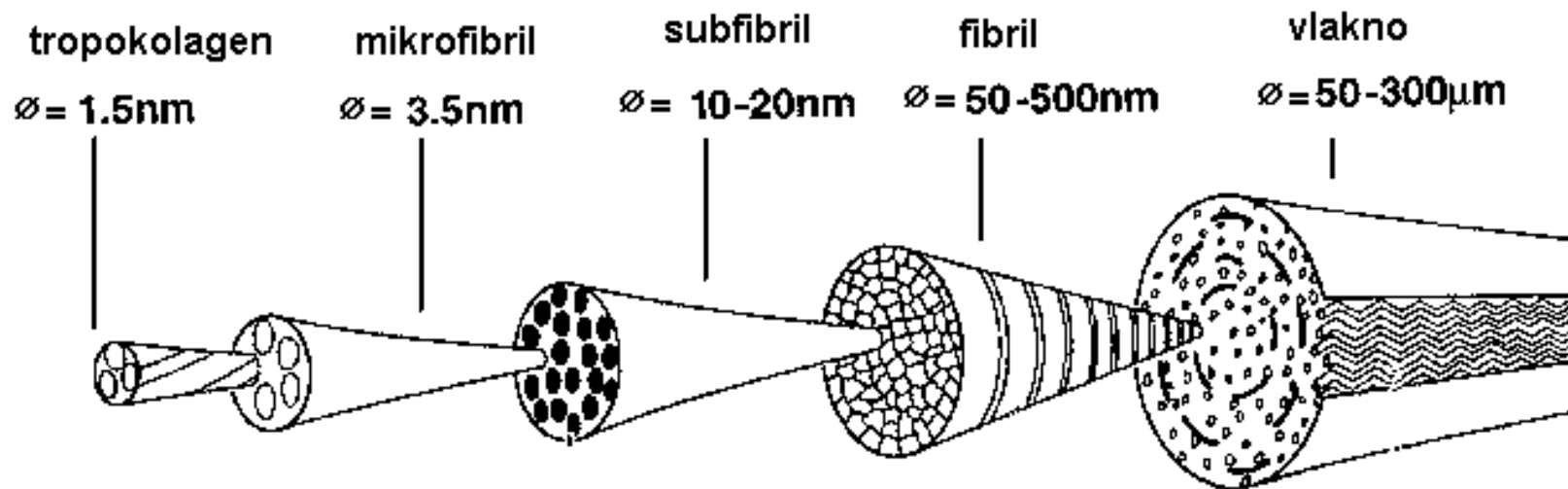
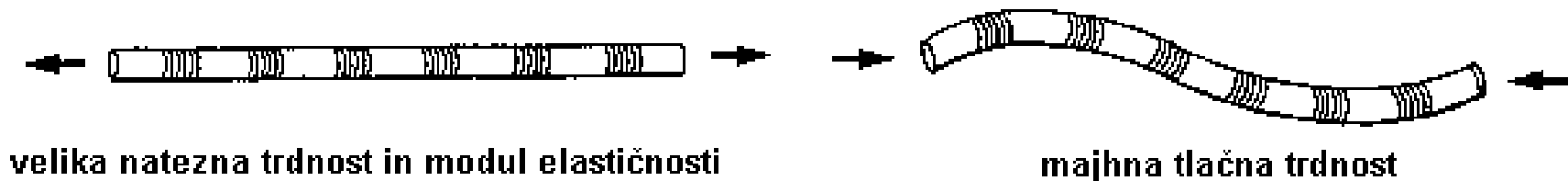


Diagram trdnosti hrustanca



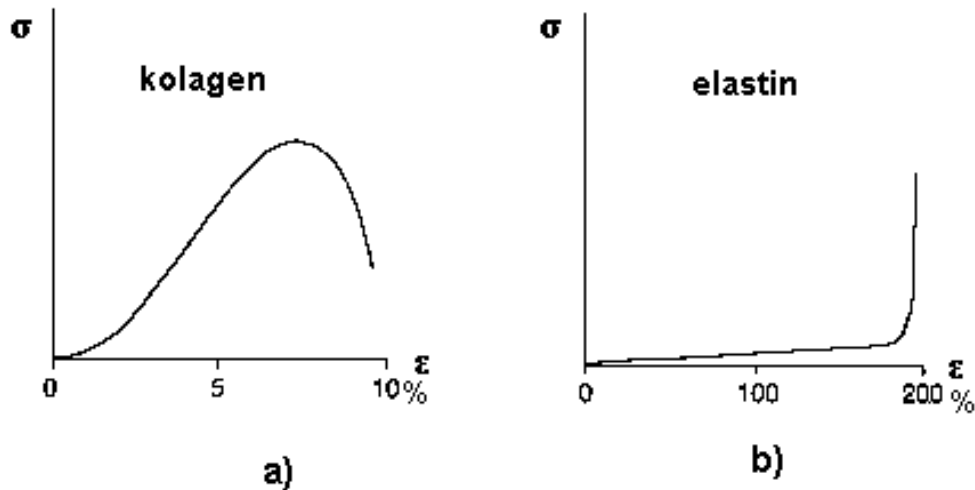
Shematični prikaz trdnostne karakteristike vezi in kit

# Struktura in mehanske lastnosti kolagenskih vlaken



Struktura kolagenskih vlaken v kitah in vezeh

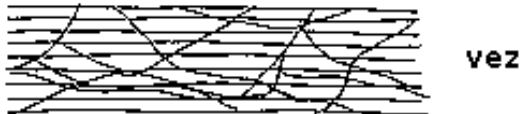
# Vpliv trdnostnih karakteristik in orientacije vlaken v tkivih



Trdnostni karakteristiki  
a) kolagenskih in b)  
elastinskih vlaken

Elastin: zelo raztegljiv material,  
Zelo hitro doseže porušno trdnost  
(samo 10% natezne trdnosti kompaktna  
kosti)

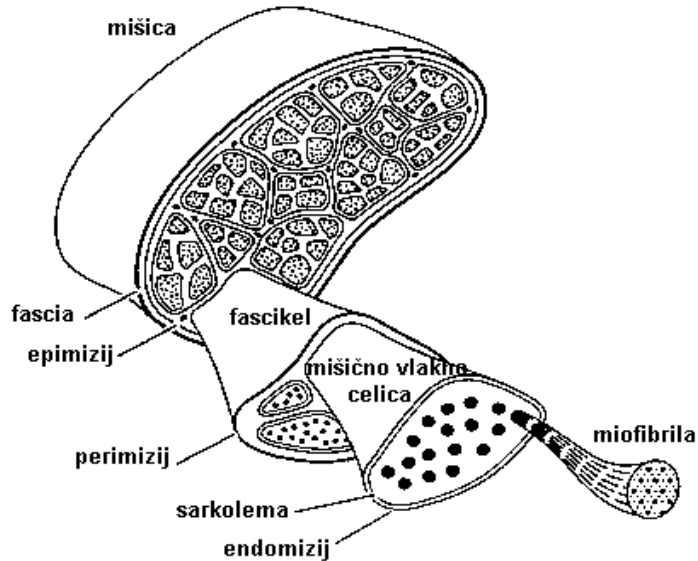
Kalogen: kalogenska vlakna  
prenesejo veliko večje natezne  
obremenitve, a se pri porušni napetosti  
podaljšajo samo za 6%-8%



Urejenost kolagenskih vlaken v tipičnih  
veznih tkivih: kiti, vezi in koži



# Vlaknasta struktura mišice



Celotno telo mišice obdaja ovojnica imenovana **fascia**, pod njo pa še druga ovojnica iz veznega tkiva (kolagenska mrežasto razporejena vlakna, elastin, celice veznega tkiva, maščobne celice) **epimizij**. Naslednjo manjšo strukturo predstavlja mišični **sveženj** ali **fascikel**, ki ga sestavlja večje število mišičnih vlaken obdanih z ovojnico veznega tkiva (**perimizij**). Naslednja manjša struktura je torej **mišično vlakno** ali **mišična celica** (sl. 6.4.4), ki jo obdaja tanka membrana **sarkolema**. Mišična vlakna pa se povezujejo med seboj v fascikel preko mrežaste ovojnice **endomizij**. Ovojnice večjih struktur se stikajo z ovojnici manjših oziroma preraščajo ena v drugo. Tako epimizij prehaja v perimizij ta pa v endomizij. Mišična vlakna imajo premer od 10 – 100  $\mu\text{m}$  in dolžino do 40 cm. Tako kot druge celice živih organizmov torej tudi mišično celico obdaja membrana in vsebuje vodno raztopino organskih in anorganskih ionov, **sarkoplazmo**. Vlakno ima več celičnih jeder, ki so razporejena vzdolž vlakna, tik pod površino membrane in veliko mitohondrijev med nadaljno mikrovlaknato strukturo mišičnega vlakna, ki skrbijo za oksidacijo hranljivih snovi in s tem za energijo, ki je potrebna za delovanje (krčenje) mišičnih vlaken. Značilna vlaknata struktura mišice se torej nadaljuje tudi znotraj celice. Predstavlja jo sistematično paralelno urejena struktura vlaken, imenovanih **miofibrile**, ki pod mikroskopom pokaže značilen progasti vzorec. Enota tega ponavljajočega se vzorca se imenuje **sarkomera** in predstavlja osnovno kontraktilno enoto v mišici. Med miofibrilskimi vlakni je razvejan še sistem **sarkoplazemskih retikulov**, ki ima pomembno vlogo v procesu vzburjenja in krčenja mišičnega vlakna.

# Mišično vlakno - celica

