

- Zvezo lahko naredimo:
  - z vročim navlačenjem zunanjšega dela — pesta (prečno stiskanje) pri temperaturi do 643 K (370 °C),
  - s hladnim vtiskavanjem notranjšega dela — gredi (prečno stiskanje) pri temperaturi do 79 K (-194 °C),
  - s stiskanjem pri temperaturi okolice (vzdolžno stiskanje),
  - kombinirano z ohlajanjem gredi in segrevanjem pesta.
- Te zveze imajo prednost pred drugimi, ker dosežemo prihranek na dragem materialu in času izdelave, izdelava pa je natančnejša.

### 3.3 VZMETI

#### RAZDELITEV IN UPORABA VZMETI

- Vzmeti so elastični elementi, ki so sposobni spreminiti mehansko delo v potencialno energijo in jo po potrebi spet vrniti v obliki mehanskega dela.
- Glavna področja uporabe vzmeti so:
  - za akumulacijo dela (igračice, ure, navijalni bobni itd.),
  - za blažitev udarcev (amortizerji, odbijači, elastične gredne vezi itd.),
  - za enakomerno porazdelitev obremenitve (blazine, vozila itd.),
  - za omejitev sile (stiskalnice, orodja itd.),
  - za merjenje sil (dinamometer, tehtnica itd.),
  - za regulacijo (ventili),
  - za nihajne elemente (vibratorji, dodajalne naprave itd.),
  - za vračanje v začetni položaj (zavore, vzvodi itd.).

Vzmeti lahko razdelimo glede na:

1. *gradiva, iz katerih so izdelane:*
  - kovinske vzmeti,
  - gumijaste vzmeti,
  - lesene vzmeti.
2. *napetosti, ki se pojavijo v vzmeteh kot posledica zunanjih obremenitev:*
  - upogibne vzmeti,
  - torzijske vzmeti,
  - strižne vzmeti,
  - tlačne vzmeti.

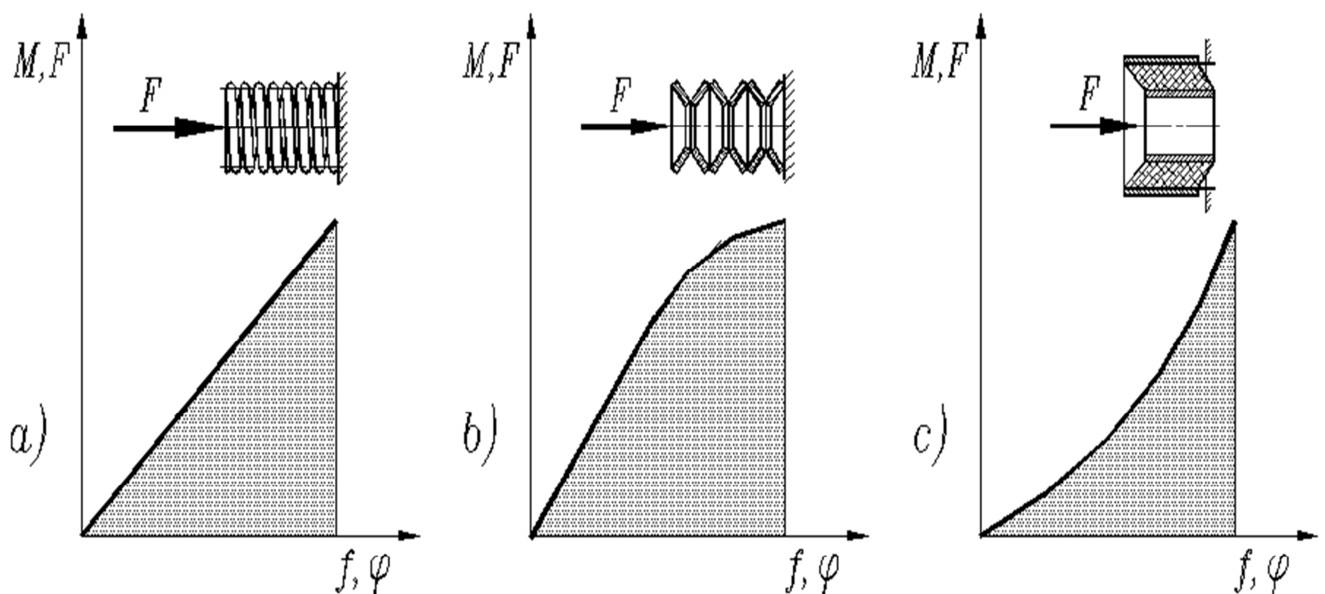
3. zunanje obremenitve:

- natezne vzmeti,
- tlačne vzmeti,
- strižne vzmeti,
- upogibne vzmeti,
- torzijske vzmeti.

4. geometrijsko obliko:

- listne vzmeti,
- spiralne vzmeti,
- vijačne vzmeti,
- paličaste vzmeti,
- krožniške in druge vzmeti.

### VZMETNE KARAKTERISTIKE



- a) linearna,
- b) degresivna,
- c) progresivna

### GRADIVA ZA VZMETI

- Lastnosti gradiva za vzmeti :
1. Gradivo naj ima mejo elastičnosti čim višje, ker je delo vzmeti sorazmerno s kvadratom dopustne napetosti.

2. Gradivo mora imeti veliko trajno dinamično trdnost  $\sigma_D$  zaradi dinamičnih obremenitev in lastnega nihanja.
3. Gradivo se mora dobro plastično preoblikovati, ker vzmeti največkrat izdelamo s postopki preoblikovanja (valjanje, upogibanje itd.).
  - Vzmeti so največkrat izdelane iz vzmetnih jekel (ogljikova, silicij-manganova, krom-silicijeva, krom-vanadijeva in nerjavna jekla). Poleg jekel uporabljamo za izdelavo vzmeti še med, silicijev in fosforni bron, novo srebro, nikelin, gumo, pluto in les.
  - Zahtevane mehanske lastnosti si vzmetna jekla pridobijo s toplotnimi obdelavami (kaljenjem in drugimi toplotnimi obdelavami). Z brušenjem in poliranjem se zelo poveča trajna dinamična trdnost, ker se zmanjša hrapavost, s tem pa tudi zarezni učinek.
  - Vzmetna jekla so standardizirana s standardom SIST EN 10027. Njihove mehanske lastnosti in uporaba so podane v TAB 96.

## DOPUSTNE NAPETOSTI

- Odvisne so predvsem od meje elastičnosti, načina obremenitve, velikosti prereza in oblike vzmeti
- *za upogibne vzmeti:*

$$\sigma_{\text{fdop}} = 0,8R_{p0,2}$$

- *za torzijske paličaste vzmeti:*

$$\tau_{\text{dop}} = 0,8R_{p0,2}$$

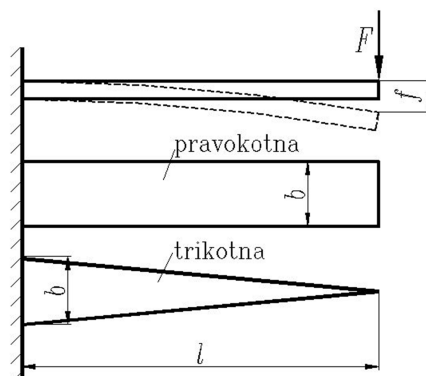
- *za valjaste torzijske vijačne vzmeti:*

$$\tau_{\text{dop}} = 500 \text{ do } 700 \text{ MPa}$$

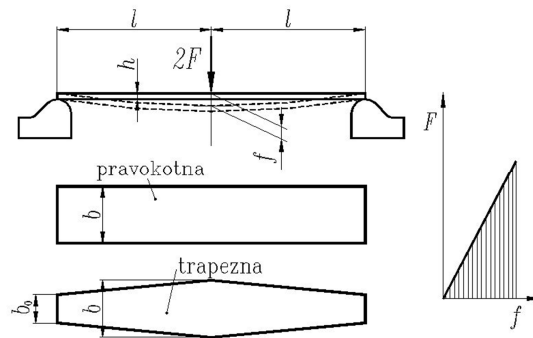
## VRSTE IN PRERAČUN VZMETI

### Upogibne vzmeti

#### Listne upogibne vzmeti



## Enojna enostransko vpeta listna upogibna vzmet



## Enojna obojestransko vpeta listna upogibna vzmet

- Enojna konzolno vpeta listna upogibna vzmet se uporablja v vseh panogah tehnike (strojništvo, elektrotehnika, finomehanika itd.).
- V praksi je največkrat uporabljena trapezna oblika, ki najbolje sledi poteku napetosti in je zelo ekonomična.
- Izračun upogibne napetosti v konzolno vpeti enojni listni vzmeti:

$$\sigma_f = \frac{M_f}{W} \leq \sigma_{fdop}$$

$$W = \frac{bh^2}{6}$$

$$M_f = Fl$$

- Izračun upogibka (deformacije) vzmeti:

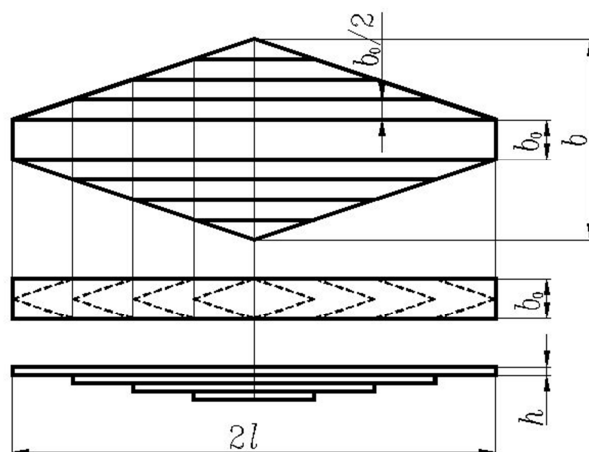
$$f = \frac{Fl^3}{3EI} = \frac{4Fl^3}{Ebh^3}$$

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

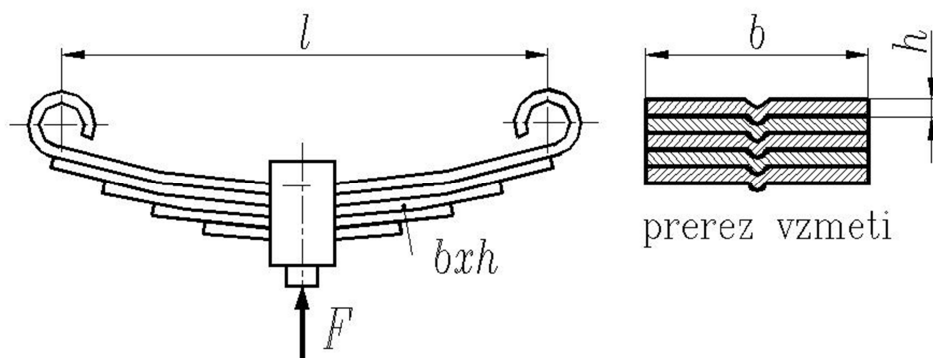
- Izračun vzmetne konstante (togosti):

$$C = \frac{F}{f} = \frac{bh^3}{4l^3} E$$

- Sestavljena listna upogibna vzmet je izdelana iz hladno valjanih trakov



### Teoretična oblika sestavljene listne upogibne vzmeti



### Praktična izvedba sestavljene listne upogibne vzmeti

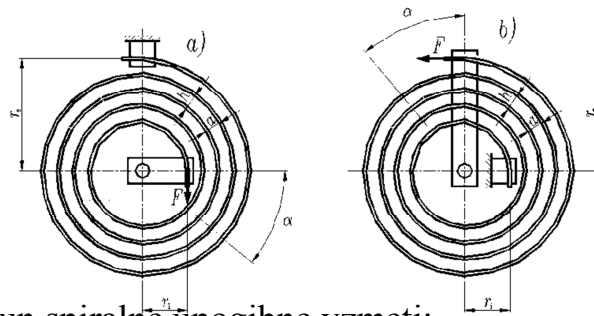
- V praksi se sestavljena listna upogibna vzmet uporablja pri cestnih vozilih (mobilni stroji, tovornjaki, avtobusi) za obežanje koles in vzmetenje karoserije. Strojna kladiva jo uporabljajo za pogon ovna in blažitev udarcev.
- Enačbe za preračun sestavljene listne upogibne vzmeti:

$$\sigma_f = \frac{M_f}{W} \leq \sigma_{fdop} \quad W = \frac{nbh^2}{6} \quad I = \frac{nbh^3}{12}$$

$$f = \psi \frac{Fl^3}{3EI} = \psi \frac{4Fl^3}{nbh^3 E}$$

## Spiralna upogibna vzmet

- Izdelane so iz hladno valjanega ploščatega jekla.
- Uporablja se kot akumulator dela (pri urah, igračah itd.), za vračanje v začetni položaj (navijalni boben pri sesalcu za prah, sidro pri žičnici itd.) in kot elastični element pri nekaterih grednih vezeh.
- Spiralna vzmet se pri obremenitvi z vrtilnim momentom  $T$  navija (zavrti za kot  $\alpha$ ), v poljubnem prerezu vzmeti pa se pojavi upogibna napetost  $\sigma_f$ .
- Obremenitev lahko deluje na notranjem delu (sorniku) – slika a ali na zunanjem delu (koncu vzmeti) – slika b.



- Enačbe za preračun spiralne upogibne vzmeti:
  - Izračun upogibne napetosti:

$$\sigma_f = k \cdot \frac{M_f}{W} \leq \sigma_{fdop} \quad W = \frac{bh^2}{6}$$

$$M_f = T = Fr_i$$

- Izračun zasučnega kota (deformacije) vzmeti:

$$\alpha = \frac{M_f L}{EI} = \frac{LW}{EI} \sigma_f \quad I = \frac{bh^3}{12}$$

$b$  - širina vzmeti

- Izračun spirale:

$$r = ca \quad c = \frac{h + a}{2\pi} = \text{const.}$$

$c$  - konstanta spirale

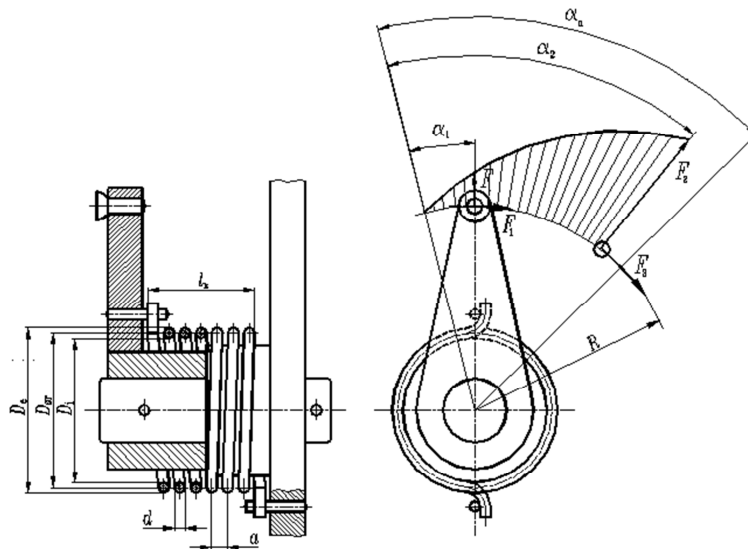
– Izračun dolžine razvite vzmeti:

$$L = \frac{r_e^2 - r_i^2}{2c} \quad r_e = r_i + (h + a)n$$

$r_i$  – notranji polmer vzmeti,  $k$  – koeficient ukrivljenosti vzmeti

### Vijačna upogibna vzmet

- Uporabljajo se pri strojnih delih, ki se morajo po razbremenitvi vrniti v začetno lego (vzvodi, zavore, bobni, gredne vezi itd.).
- Na obeh koncih vzmeti deluje sila  $F$ , ki v poljubnem prerezu vzmeti povzroči upogibno napetost  $\sigma$ . Vrtilni moment  $T$ , ki ga povzroča sila  $F$  na ročici  $R$ , mora delovati tako, da se navoji vzmeti stiskajo, njihov premer  $D$  pa se zmanjšuje.
- Vzmet lahko obremenimo z največjo silo  $F$ , pri kateri se navoji dotaknejo drug drugega.



- Enačbe za preračun vijačne upogibne vzmeti:

– Izračun upogibne napetosti:

$$\sigma_f = k \frac{M_f}{W} \leq \sigma_{f\text{dop}} \quad M_f = FR \quad W = \frac{\pi d^3}{32}$$

- Izračun zasučne deformacije vzmeti:

$$\alpha = \frac{M_f L}{EI} \quad I = \frac{\pi d^4}{64}$$

- Izračun dolžine razvite žice

$$L = 2\pi R_{sr} n$$

$R_{sr}$  – srednji premer vzmeti

- Izračun koraka navoja vzmeti:

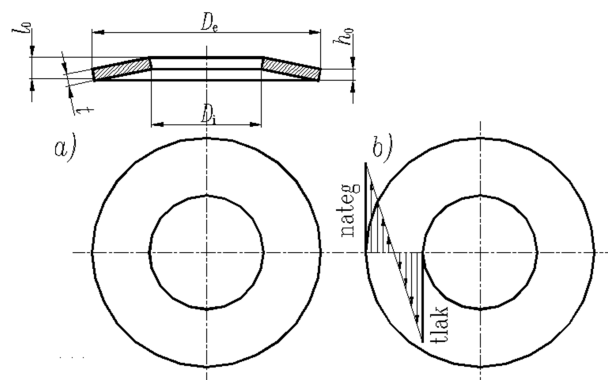
$$P = \frac{R_{sr}}{2}$$

$k$  – koeficient ukrivljenosti žice vzmeti

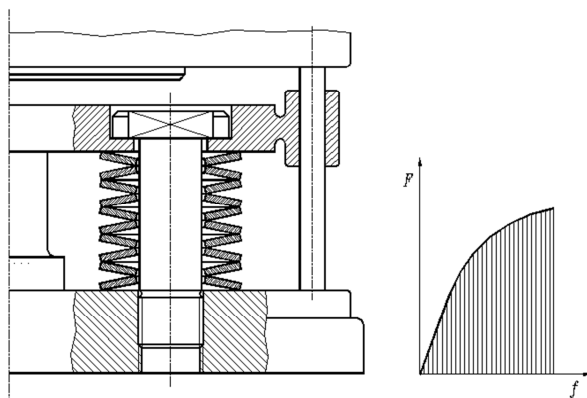
### Krožniške (membranske) upogibne vzmeti

- Vedno so obremenjene na tlak.
- uporabljamo jih za prestrezanje velikih obremenitev pri orodjih za preoblikovanje (rezilna, vlečna in druga orodja).
- Za vgradnjo potrebujejo malo prostora, imajo majhne deformacije in so standardizirane.
- Sestavljene so iz več posameznih segmentov.
- Vodene so z notranje (s sornikom) ali zunanje strani (s pušo).
- Njihovo obratovanje je zanesljivo in imajo dolgo življenjsko dobo.
- Izdelane so iz vzmetnih jekel z oznakami: C76E, 67SiCr8, 51CrV4 in 58CrV4.
- Njihovo obliko in mere predpisuje standard DIN 2093.
- Pri obremenitvi se zunanji premer vzmeti poveča (natezna napetost), notranji pa zmanjša (tlačna napetost).

a) oblika krožniške vzmeti, b) potek napetosti v vzmeti







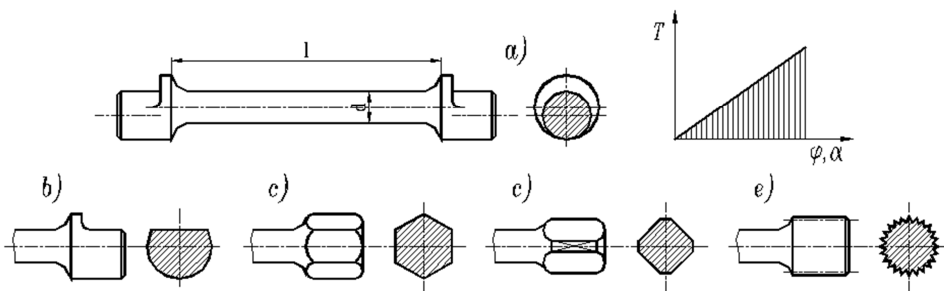
### Vgradnja krožniške vzmeti

#### Torzijske vzmeti

#### Torzijske paličaste vzmeti

- So ravne palice okroglega prereza, ki so obremenjene z vrtilnim momentom  $T$ .
- Na koncih je vzmet odebeljena in oblikovana take, da jo lahko vpneemo.
- Največkrat jih uporabljamo za blažitev torzijskih nihanj pri cestnih vozilih (osebni avtomobili, prikolice itd.).
- Zaradi zmanjšanja zareznege vpliva in povečanja trajno dinamične oblikovno trdnosti vzmeti, površino vzmeti brusimo ali poliramo.
- Prehod z večjega na manjši premer mora biti izveden z velikim polmerom zaokrožitve.
- Za izdelavo paličastih torzijskih vzmeti uporabimo vzmetno jeklo 51CrV4.
- Njihova oblika in mere so določene s standardom DIN 2091.

#### Ravna paličasta torzijska vzmet in oblike za pritrditev



- a) ekscentrična, b) sploščena, c) šestroba, d) štiroba, e) zvezdasta

- Enačbe za preračun torzijskih paličastih vzmeti:

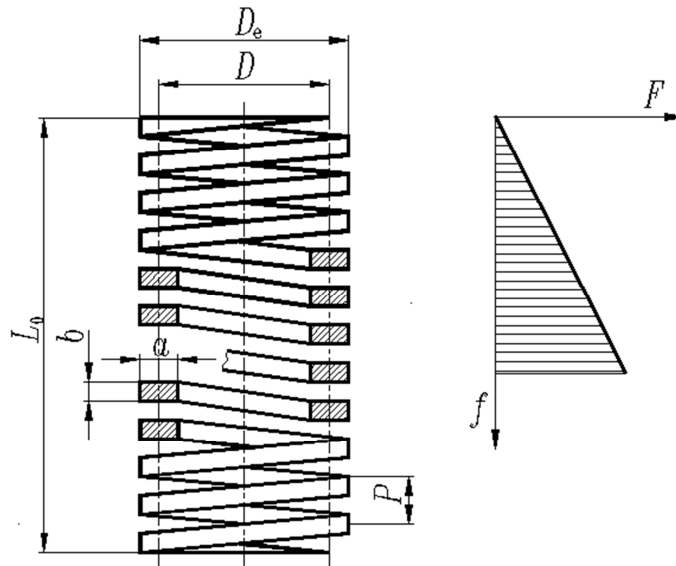
$$\tau_t = \frac{T}{W_t} \leq \tau_{tdop} \qquad \alpha = \frac{TL}{GI_t}$$

$\alpha$  - zasučni kot (deformacija) vzmeti

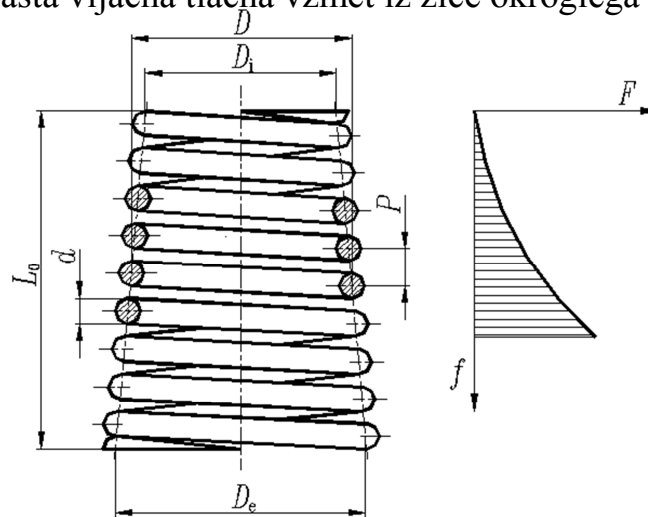
### Vijačne torzijske vzmeti

- So v praksi najbolj razširjene vzmeti.
- Izdelane so iz žice okroglega ali kvadratnega prereza, ki je navita po vijačnici.
- Do premera žice 10 mm jih navijamo v hladnem stanju (pri temperaturi okolice), od premera 10 do 17 mm v hladnem ali vročem stanju, za večje premere žic pa je možna izdelava vzmeti samo v vročem stanju.
- Uporabljamo jih kot tlačne, povratne ali natezne vzmeti pri ventilih, merilnikih sil, kot elemente za omejitve sil, pri blažilnikih itd.
- Vijačne torzijske vzmeti so po svoji osnovni geometrijski obliki lahko valjaste ali stožčaste.
- V praksi sta največkrat v rabi tlačna in natezna valjasta vijačna vzmet iz žice okroglega prereza.
- Tlačno obremenjene vijačne torzijske vzmeti imajo konca vzmeti ravno brušena za pravilno naleganje vzmeti, da se vzmet ne ukloni.
- Natezno obremenjene vijačne torzijske vzmeti imajo konca vzmeti oblikovana v ušesa, da jih lahko vpnemo.

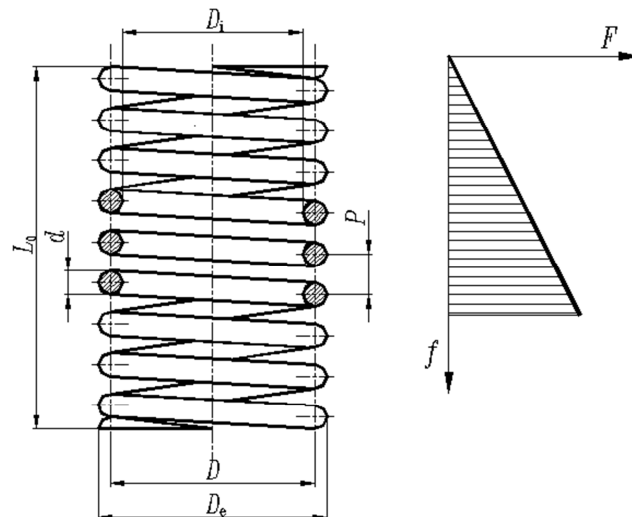
- Valjasta vijačna tlačna vzmet iz ploščatega jekla



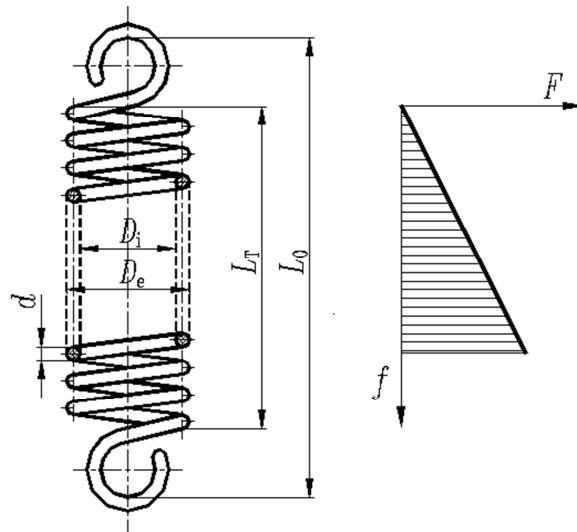
Stožčasta vijačna tlačna vzmet iz žice okroglega preseza



Vijačna tlačna vzmet



## Vijačna natezna vzmet



- Enačbe za trdnostni preračun vijačnih torzijskih vzmeti :

1. Idealna torzijska napetost v vzmeti

$$\tau_i = \frac{8D}{\pi d^3} \cdot F = \frac{Gd}{i\pi D^2} \cdot s$$

2. Največja napetost v vzmeti

$$\tau_k = k\tau_i$$

$k$  – koeficient ukrivljenosti žice vzmeti

3. Premer žice

$$d = \sqrt[3]{\frac{8FD}{\pi\tau_i}}$$

4. Poves (stisnitev) vzmeti

$$s = \frac{8D^3i}{Gd^4} \cdot F$$

5. Število navojev vzmeti, ki se lahko povesijo

$$i = \frac{Gd^4s}{8D^3F}$$

$G$  – strižni modul

6. Celotno število navojev vzmeti

$$i_c = i + (1,5 \text{ do } 2)$$

7. Največja dovoljena obremenitev vzmeti

$$F = \frac{Gd^4s}{8D^2i}$$

8. Vzmetna konstanta (togost) vzmeti

$$C = \frac{F}{f} = \frac{Gd^4}{8D^3i}$$

9. Koristna dolžina vzmeti

$$L = 2\pi Ri$$

10. Dejanska dolžina žice

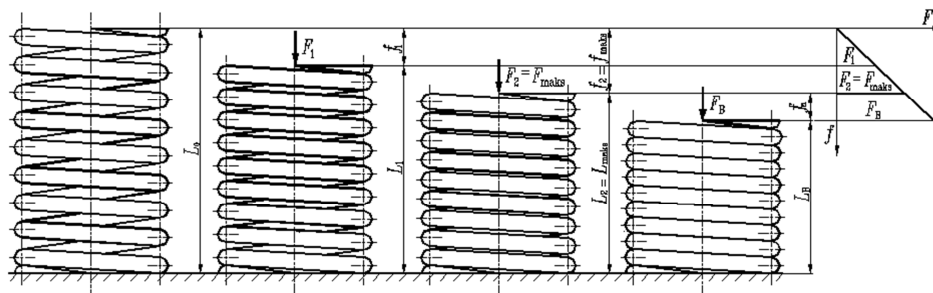
$$L_d = 2\pi Ri_c$$

11. Višina stisnjene vzmeti - pri popolnoma stisnjeni vzmeti morajo biti navoji razmaknjeni vsaj za 10 % premera žice  $d$ .

$$L_B = 1,1di + d$$

12. Višina neobremenjene vzmeti

$$L_0 = L_B + s$$

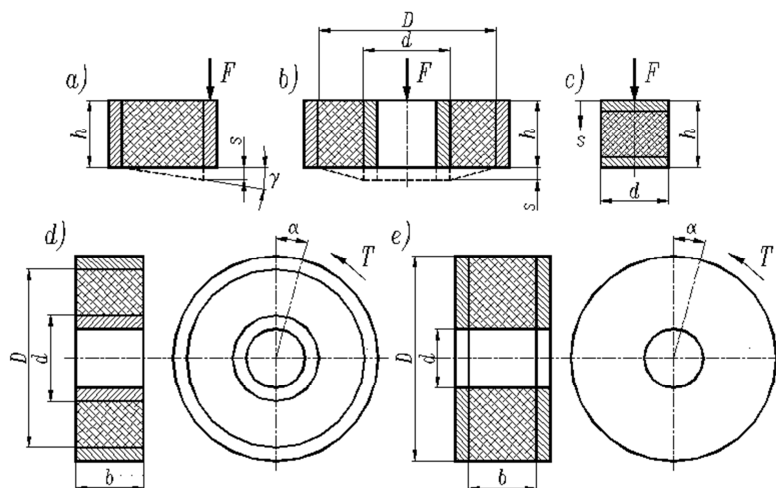


Razmere pri obremenitvi tlačne vijačne vzmeti

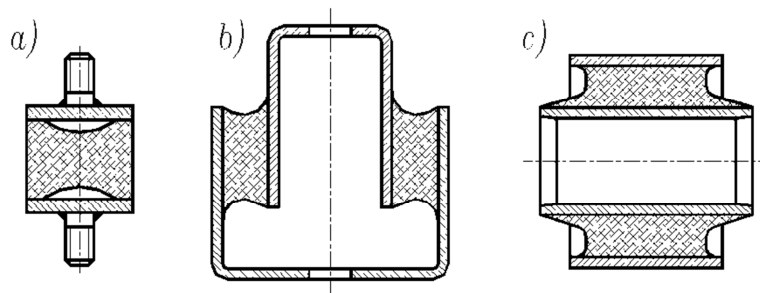
## Gumijaste vzmeti

- Uporabljajo se predvsem za dušenje nihanj in udarcev.
- Za izdelavo se uporabljajo naravna guma, buna, perbunan in druge umetne gume.
- Te vzmeti so uporabne le za temperature do  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  (izjemoma do  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Odporne so proti kislinam in lugom, so pa občutljive za maščobe in bencin.
- Pomanjkljivost gumijastih vzmeti je tudi staranje. Guma postane po določenem času neelastična in lepljiva ter začne pokati.
- Gumijaste vzmeti so v praksi obremenjene predvsem na tlak, strig ali torzijo.

- Oblike gumijastih vzmeti



- a) prizmatična, b) kolutna strižna, c) valjasta tlačna, d) kolutna torzijska, e) torzijska vzmet s ploščama
- Pritrditev gumijastih vzmeti na kovinske podlage



a) vrtljiva opora,      b) dvojna U-opora,      c) torzijska opora

## Druge vrste vzmeti – plinske vzmeti

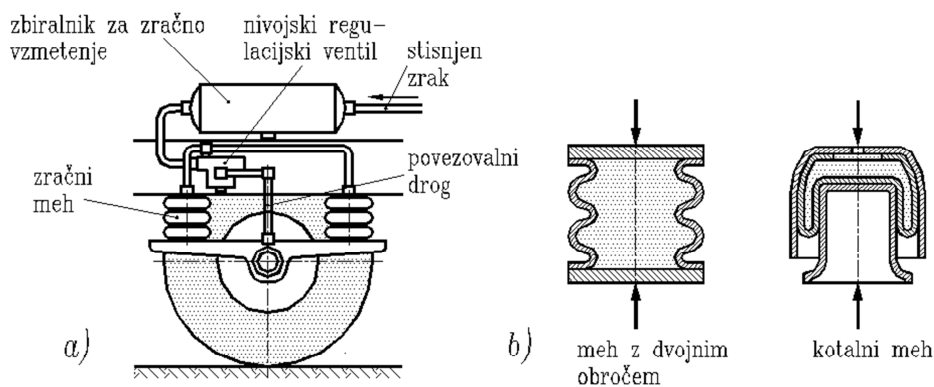
- Uporabljajo se za vzmetenje cestnih vozil.

## Zračne vzmeti

- To so najpogosteje uporabljene plinske vzmeti.
- Slaba stran te vzmeti je, da potrebujejo tlačno napravo. Zato jih uporabljamo pri avtobusih in tovornjakih.
- Ima prilagodljivo karakteristiko. S spremembo zračnega tlaka se deformacija vzmeti prilagaja obremenitvi.

## Hidropnevmatske vzmeti

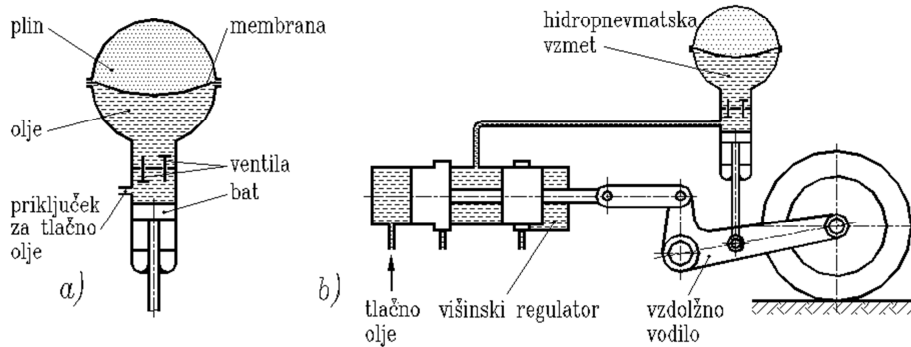
- so druga vrsta plinskih vzmeti.
- Pri njih se določena zaprta količina plina (največkrat dušika) s črpanjem ali izpuščanjem olja bolj ali manj stisne.
- Zračne vzmeti



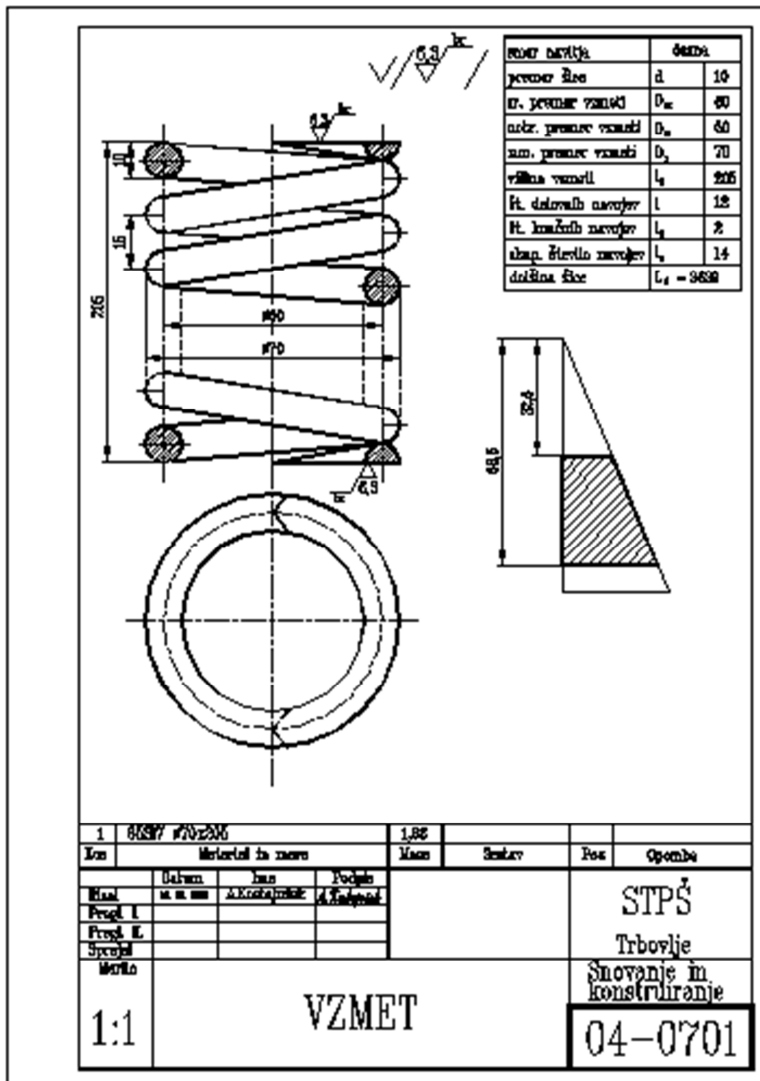
a) delovanje vzmeti,

b) vrste (mehov) vzmeti

- Hidropnevmatska vzmet

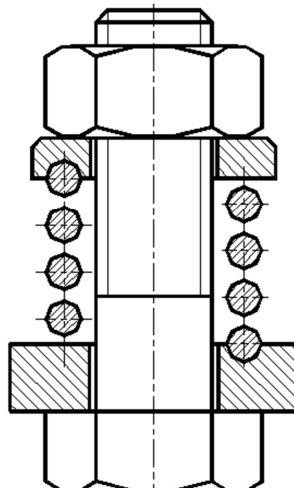


a) shema vzmeti,                      b) delovanje vzmeti pri avtomobilu  
 - Poenostavljeno risanje vijalne torzijske vzmeti na delavniški risbi

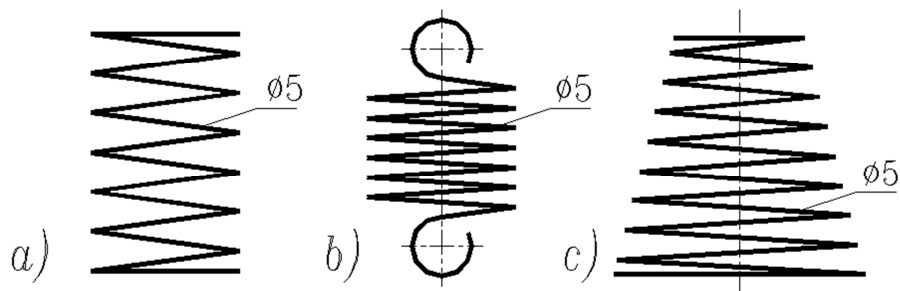




- Tlačna vzmet na steblu vijaka



- Shematsko risanje vzmeti



- a) tlačna,
- b) natezna,
- c) stožčasta vzmet