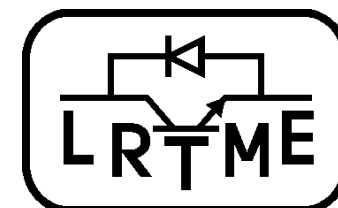




MATERIALI IN TEHNOLOGIJE



- **Predavanja: pon. 9:00 – 13:00**

- **Laboratorijske vaje:**

asistent doc. dr. Marko Petkovšek

poročila o opravljenih vajah je treba
speti v mapo **in jih prinesete na
zagovor**

2 kolokvija:

Pisni del izpita je opravljen,
če je rezultat **obeh kolokvijev vsaj 50%**,
datum in uro določimo po dogovoru

Literatura

Zapiski predavanj:

– na spletni strani:

<http://lrtme.fe.uni-lj.si>

Kaj je treba vedeti o materialih s področja elektrotehnike?

- **teoretična izhodišča** za razvijanje, preizkušanje in uporabo materialov,
- **klasifikacija** elektrotehniških materialov po *lastnostih, sestavi in uporabi*,
- **vrednosti fizikalnih, kemičnih in električnih veličin**, ki ovrednotijo lastnosti in nam omogočajo odločanje o uporabnosti materialov,
- **ekonomičnost** uporabe materialov v načrtovani konstrukciji oz. napravi.

RAZDELITEV ELEKTROTEHNIŠKIH MATERIALOV (I)

- **aktivni** elektrotehniški materiali (npr. neposredno odločajo o elektromagnetnih razmerah)
- **konstrukcijski** materiali, katerih glavna naloga je, da elemente iz aktivnih elektrotehničnih materialov mehansko povežejo v funkcionalno celoto
- **pomožni** materiali (npr. maziva, hladilna sredstva, laki ipd.).

RAZDELITEV ELEKTROTEHNIŠKIH MATERIALOV (II)

1. Prevodni materiali

- materiali za vodnike,
- materiali za upore,
- materiali za kontaktne pole,
- materiali za termoelemente,
- materiali za bimetalne zveze,
- materiali za vezi skozi steklo,
- loti,
- materiali za pokovinjanje,
- materiali za naparevanje,
- superprevodni materiali.

RAZDELITEV ELEKTROTEHNIŠKIH MATERIALOV (II)

2. Polprevodniški materiali

- materiali za polprevodniške diode in tranzistorje,
- materiali za termistorje, varistorje, fotocelice, fotoupore, fototranzistorje, ipd.

RAZDELITEV ELEKTROTEHNIŠKIH MATERIALOV (II)

3. Magnetni materiali

- mehkomagnetni materiali,
- trdomagnetni materiali.

RAZDELITEV ELEKTROTEHNIŠKIH MATERIALOV (II)

4. Izolacijski materiali

- materiali za izolatorje,
- materiali za dielektrike,
- impregnacijski izolanti,
- zalivke,
- feroelektrični ali
seignetoelektrični materiali

Splošna razdelitev snovi

Homogene snovi, ki imajo enotno zgradbo in pri delitvi mase dobimo snov z enakimi lastnostmi, kot jih je imela prvotna masa. V to skupino spadajo snovi z določeno kemijsko sestavo in sicer kemični elementi in čiste kemične spojine, homogene zmesi in spojine, ki so sestavljene iz več čistih homogenih snovi.

Heterogene snovi, ki so zmesi različnih homogenih snovi in od katerih vsaka v zmesi ohranja svoje karakteristične lastnosti (sivo železo, granit, izolacijski lak, ipd.).

Zgradba atomov in periodni sistem elementov

Osnovni delci snovi so **protoni, nevtroni in elektroni**.

Vsakemu od njih lahko določimo **maso** m , **električni naboj** q , **spin** s in **magnetni moment** μ_m .

Električni naboj in spin sta kvantizirani veličini.

To pomeni, da ima npr. vsak delec električni naboj, ki je mnogokratnik osnovnega naboja $e_0 = 1,602 \cdot 10^{-19}$ As.

Spin (nem. Drehimpuls) je vedno polovica ali celoštevilčni mnogokratnik veličine $\hbar = h/2\pi$,

kjer je h Planckova konstanta in znaša $h = 6,624 \cdot 10^{-34}$ Js.

Magnetni dipolni moment elektrona je po velikosti enak Bohrovemu magnetonu ($\mu_B = e_0 h/4\pi m_e$).

Pomembne veličine osnovnih delcev snovi:

	Proton	Nevtron	Elektron
Naboj	$e_0 = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As}$	0	$e_0 = -1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As}$
Masa v mirovanju	$m_p = 1,672 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	$m_N = 1,672 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	$m_E = 9,105 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
Spin	$s_p = 5,3 \cdot 10^{-35} \text{ Js}$	$s_N = 5,3 \cdot 10^{-35} \text{ Js}$	$s_E = 5,3 \cdot 10^{-35} \text{ Js}$
Magnetni moment	$\mu_p = 1,4 \cdot 10^{-26} \text{ Am}^2$	$\mu_N = -1,0 \cdot 10^{-26} \text{ Am}^2$	$\mu_E = -9,3 \cdot 10^{-24} \text{ Am}^2$

Kvantna števila

Kvantno število	Vrednost	Oznaka	Pomen
n	1,2,3,...	K,L,M,	Glavno kvantno število (en. nivo elektrona)
l	0,1,2... $n-1$	s,p,d,f	Tirno kvantno število (določa obliko orbital)
m_l	0,±1, ±2,...., ± l	-	Smerno kvantno število (določa orientacijo orbital)
m_s	±1/2	-	Spinsko kvantno število

Elektronske lupine

Stanje elektronov v atomu opišemo z vsemi štirimi kvantnimi števili

Po Pauli-jevem principu se stanja elektronov v atomu ne morejo ujemati v vseh štirih kvantnih številih

Kemične lastnosti atomov so določene z razporeditvijo elektronskih lupin

Vsaka lupina je določena z glavnim kvantnim številom n (v literaturi so označene tudi z velikimi črkami K, L, M, N,....)

Maksimalno število elektronov v posamezni lupini izračunamo s pomočjo formule:

$$\sum_{l=0}^{n-1} m_l \cdot m_s = \sum_{l=0}^{n-1} (2 \cdot l + 1) \cdot 2 = 2 \cdot n^2$$

“Podlupine” - orbitale

Z naraščanjem glavnega kvantnega števila se povečuje povprečna razdalja elektronov od jedra in njihova energija

V posameznih “lupinah” obstaja nadaljnja delitev elektronov glede na kvantno število l .

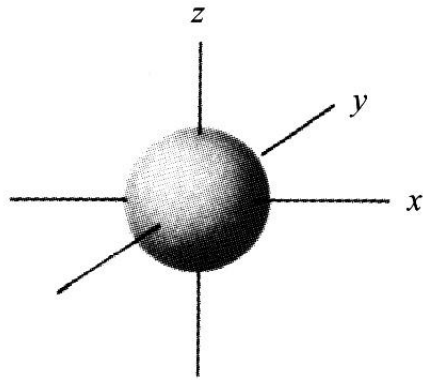
“Podlupine” oz. orbitale označujemo s črkami s, p, d, f.

Vsaka orbitala ima lahko $(2l + 1) \times 2$ elektronov

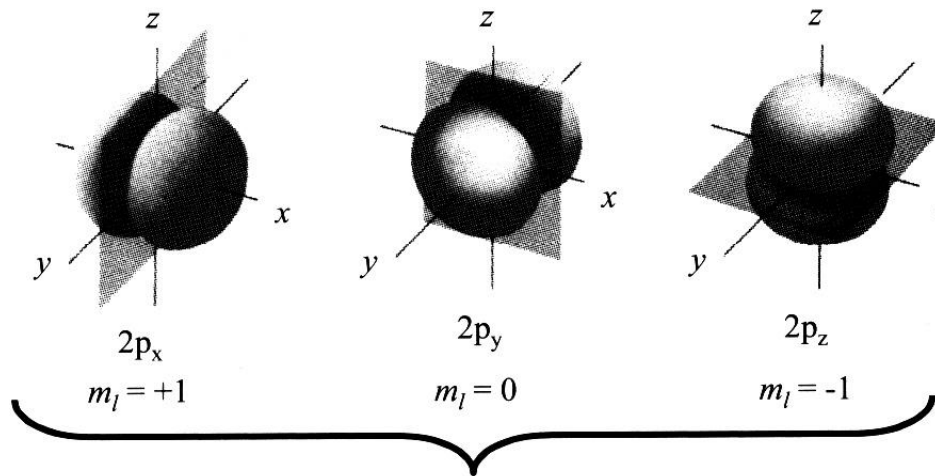
Največja možna zasedenost orbital

Lupina	N	1	2	3	4
	Simbol	K	L	M	N
Orbitala	s	2	2	2	2
Orbitala	p	-	6	6	6
Orbitala	d	-	-	10	10
Orbitala	f	-	-	-	14
Skupaj		2	8	18	32

s in p orbitale

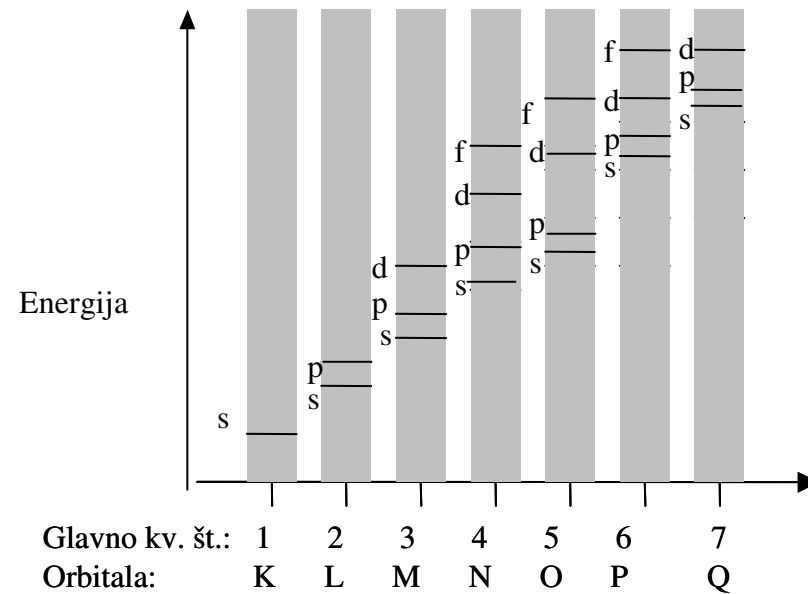


1s-Orbital
($n = 1, l = 0, m_l = 0$)



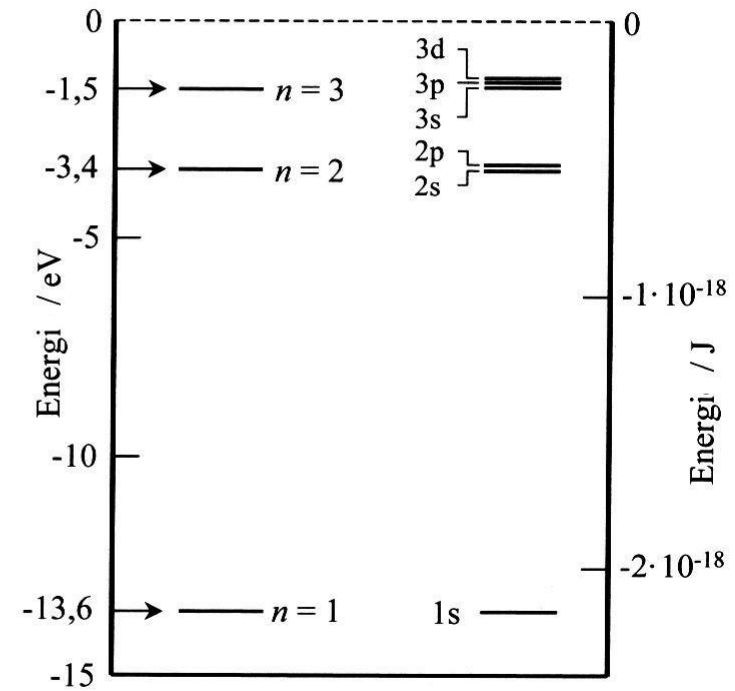
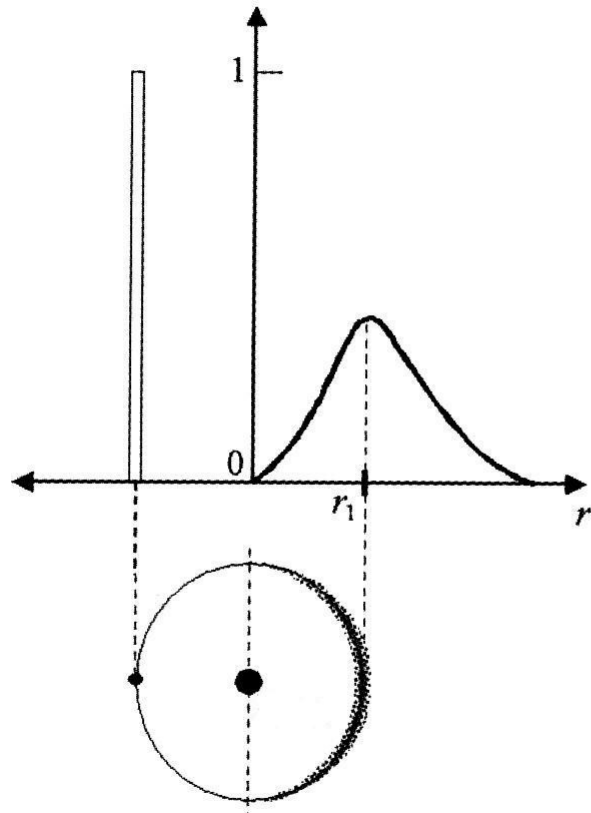
2p-Orbitale
($n = 2, l = 1$)

Energijska stanja elektronov



Energijska stanja elektronov po orbitalah

Bohrov in kvantnomehanski model vodikovega atoma



Kemijske vezi

ionska vez – (proces ionizacije, oddaja ali sprejem elektronov)

kovalentna vez – prekrivanje elektronskih “oblakov”, nastanek hibridnih orbital

kovinska vez – mobilni elektroni, ki tvorijo elektronsko vez, elektronski plin

$$F_{ef}(r_0) = F_{privl} + F_{odb} = \frac{K_{privl}}{r^2} + \frac{K_{odb}}{r^{9...12}} = 0$$

IONSKA VEZ

Vez je značilna za elemente z različnimi lastnostmi.

Nastopi takrat, ko eden od obeh atomov z oddajo elektrona postane pozitivno nabit, drugi pa s prejemom elektrona na zunanji obli postane negativno nabit. V tem primeru se vzpostavi vez na osnovi elektrostatične privlačne sile med kationom in anionom.

Primer: NaCl

Na (p) — Na⁺ (p) + e⁻ (p) Pri oddaji elektrona rabimo ionizacijsko energijo $8,21 \times 10^{-19}$ J/atom

Cl (p) + e⁻ (p) — Cl⁻ (p) Pri sprejemu elektrona se sprosti energija $6,11 \times 10^{-19}$ J/atom

Pri tvorbi kristalne strukture: Na⁺ (p) + Cl⁻ (p) — NaCl (kristal) se sprosti energija $1,27 \times 10^{-18}$ J/molekulo

Efektivna vrednost energije celotne reakcije je $1,06 \times 10^{-18}$ J/molekulo.

Večji del dobimo v postopku kondenzacije, ko se tvori kristalna mreža

Kovalentna vez (I)

V teh primerih ne tvorijo vezi ioni ampak *nevtralni atomi*.

Vez tvorijo elektronski pari, ki pripadajo obema atomoma v molekuli.

Kovalentna vez je povezana s povsem določeno **prostorsko razporeditvijo** atomov, oz molekul

Si – ($1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$) ima v nepopolno zasedeni lupini M štiri valenčne elektrone.

Zaradi tega potrebuje štiri sosednje atome, ki se prostorsko razporedijo po določenem geometrijskem pravilu.

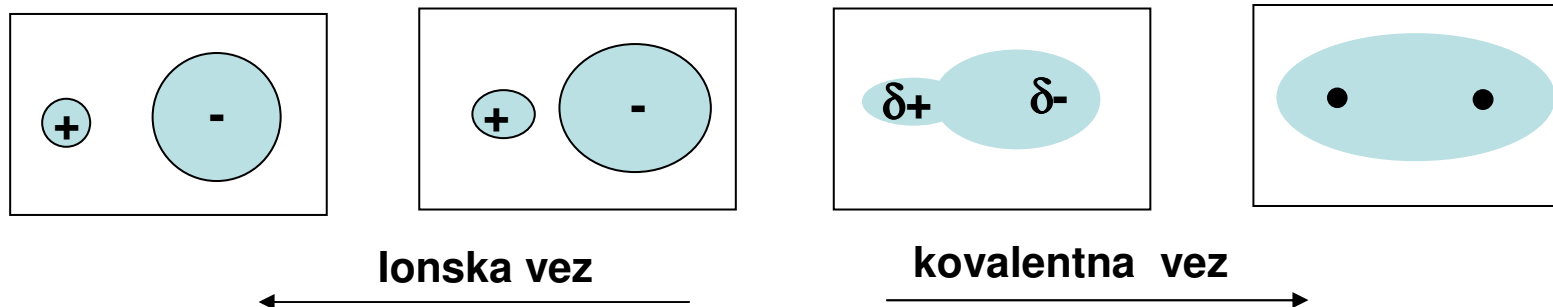
Kovalentna vez (II)

Kovalentne vezi delujejo v različnih geometrijskih smereh enako močno.

Zaradi tega imajo mnoge snovi, ki jih povezujejo kovalentne vezi, zelo **visoko trdoto**

(Primer: diamant, SiC, Silicijev nitrid Si_3N_4 in veliko kovinskih oksidov)

Prehod med ionsko in kovalentno vezjo



Kovalentna vez (III)

Kristal	Izraženost ionskega značaja
Si, Ge	0
SiC	0,18
GaAs	0,31
SiO ₂	0,51
ZnO	0,62
CdS	0,69
MgO	0,84
AgCl	0,86
NaCl	0,96

Izraženost ionske vezi pri različnih snoveh

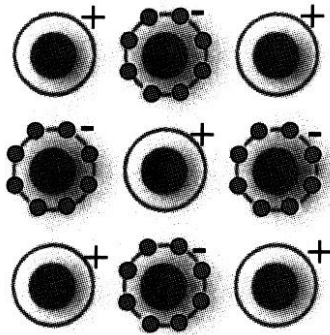
Kovinska vez

Kovino lahko obravnavamo kot sistem, ki je zgrajen iz pozitivnih ionov in je obdan s prostimi elektroni.

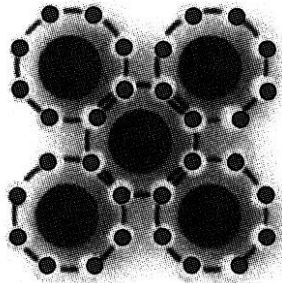
Kovinska vez je posledica elektrostatične privlačne sile med kationi in elektroni.

Prosti elektroni v kovini so glavni vzrok za dobro električno in toplotno prevodnost ter za optične lastnosti kovinskih površin (refleksija, neprozornost).

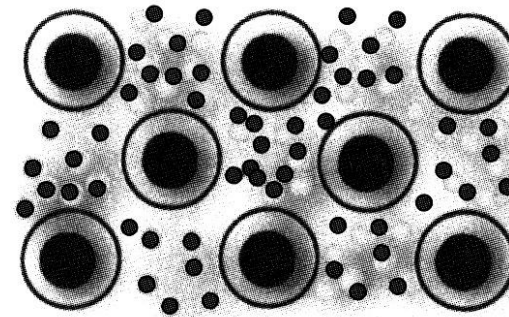
Primerjava treh vrst vezi



ionska vez



kovalentna vez



kovinska vez

POJMI IN DEFINICIJE ZA DOLOČANJE LASTNOSTI MATERIALOV

1. Masa

Masa m je lastnost snovi in je določena kot razmerje med silo F in pospeškom a :

$$m = \frac{F}{a} \left[\frac{\text{Ns}^2}{\text{m}} \right] \text{ ali } [\text{kg}]$$

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

2. Gostota ρ

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right], \quad \left[\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right]$$

ρ je odvisna od temperature in pritiska.

3. Specifična teža snovi σ

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^3} \right]$$

4. Agregatno stanje snovi

Ob delovanju zunanjih fizikalnih vplivov lahko snov nastopa v več agregatnih stanjih. Takrat govorimo o fazah. (tekoča, trdna in plinasta).

5. Izotropnost in anizotropnost

Smerna odvisnost fizikalnih lastnosti snovi

6. Struktura in tekstura snovi

S pojmom tekstura materiala označujemo način sestave zrn v nekem telesu.

7. Monomorfnost, polimorfnost in amorfnost.

8. Tališče in strdišče

19. Vpojnost za vodo

To lastnost preizkušamo tako, da material s **površino 100 cm²** pustimo **sedem dni pri temperaturi 20 °C** v destilirani vodi. Prirastek teže pove količino absorbirane vlage.

σ_v (mg / 100 cm², 7 dni)

20. Vsebina vlage

Je razmerje med težo vlage in težo suhega materiala v %:

G_{vl} - teža vlage,

G_m - teža vlažnega materiala,

G_s - teža suhega materiala, (posebno pomemben podatek za izolacijske materiale).

$$vl(\%) = 100 \cdot \frac{G_m - G_s}{G_s} = \frac{G_{vl}}{G_s} \cdot 100$$

21. Relativna vlaga

Je razmerje med trenutno težo vodne pare v zraku in težo vodne pare, ki bi bila lahko v isti atmosferi pri isti temperaturi in bi bila atmosfera popolnoma nasičena z vlago.

Tudi ta podatek je zelo pomemben za izolacijske materiale in merilne naprave. V tropskih krajih je lahko relativna vlaga tudi 100 %.

23. Mehanska napetost σ

To je sila, ki deluje pravokotno na 1 m² preseka nekega telesa in je po preseku enakomerno porazdeljena:

σ - mehanska napetost [N/m²]

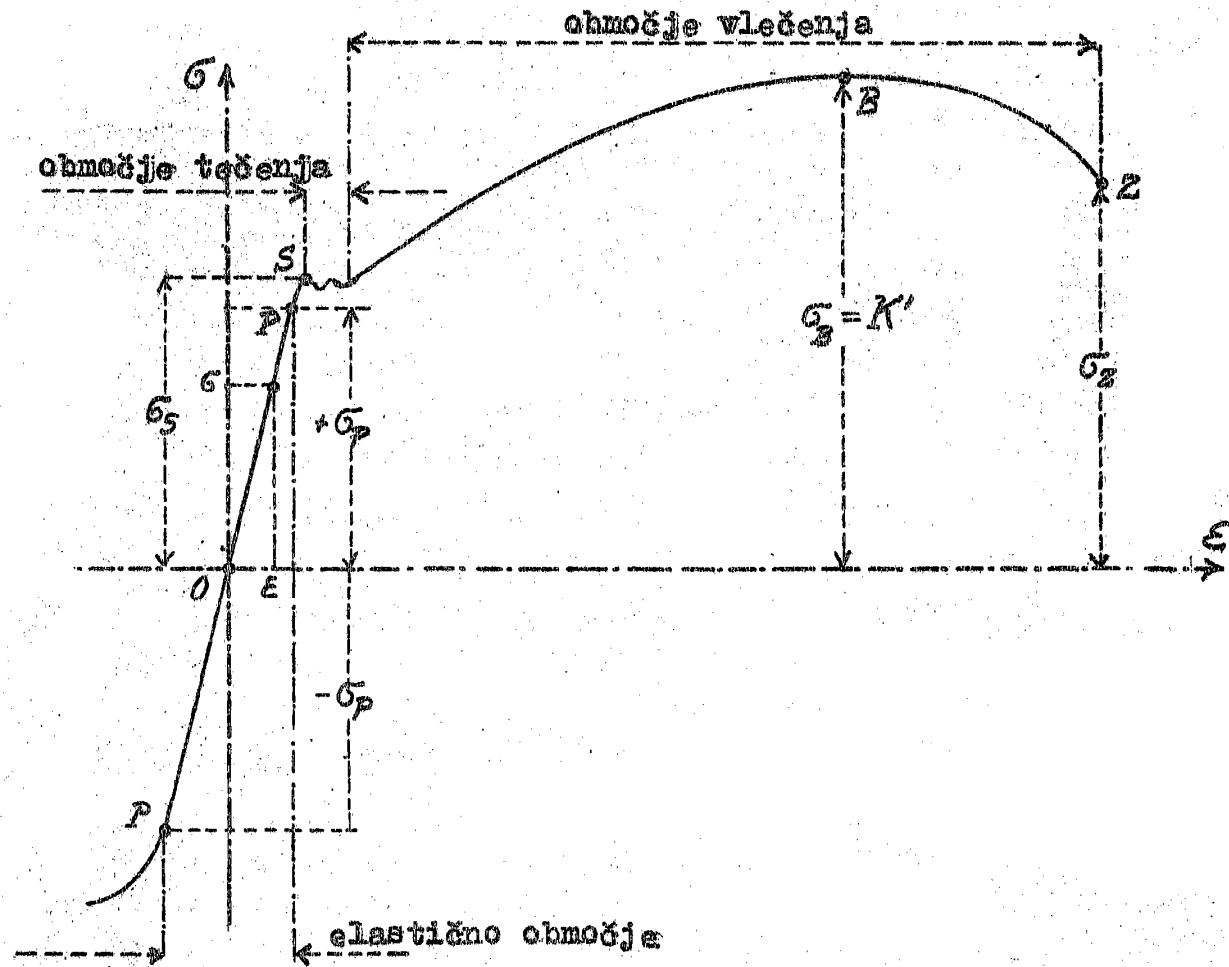
F - sila na presek telesa [N]

S - presek telesa [m²]

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

Glede na to kako sila na telo deluje ločimo:

- natezna napetost σ_n je posledica sile, ki telo razteza
- tlačna napetost σ_H je posledica sile F , ki telo stiska
- pri strižni napetosti σ_s deluje sila paralelno na presek telesa
- upogibna napetost σ_u pa deluje tako, da palico upogne.



$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} \text{ ali } \frac{dl}{l_0} = \frac{\sigma}{E} = \frac{F}{E \cdot S} \text{ ali } dl = \frac{F \cdot l_0}{E \cdot S}$$

25. Trdota

To je odpornost materiala proti udiranju drugega materiala, ki je trši.

Označujemo jo s podatki, ki jih črpamo iz različnih metod.

Enote za merjenje trdote so iste kot pri merjenju pritiska [N/m^2] ali pa so kar relativne vrednosti.

a) Mohsova trdotna lestvica

Vsebuje deset materialov. Prvi je najmehkejši lojavec in zadnji, najtrši, je diamant.

- | | |
|------------|--------------|
| 1. lojavec | 6. živec |
| 2. sadra | 7. kremenjak |
| 3. apnenec | 8. topaz |
| 4. fluorit | 9. korund |
| 5. apetit | 10. diamant |

b) Brinellova trdota H_B ali HB

Pri tej metodi uporabljamo trdo jekleno kroglico, ki jo z določeno silo vtiskamo v preizkušani material. Za kovine je premer kroglice 10 mm, sila 3×10^4 N pa mora delovati 30 s.

Dobljeni rezultat označimo z:

$HB_{10/30000/30}$

Za plastične materiale uporabljamo kroglice s premerom 5 mm, silo 500 N za čas od 10 do 60 s. Po prenehanju delovanja sile, izmerimo višino ali površino vdrtine in njen premer. Trdoto izračunamo po enačbi:

$$H_B = \frac{F}{S} = \frac{F}{\pi \cdot h \cdot d} = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}$$

F - sila [N]

S - površina vdrtine [mm²]

h - višina vdrtine [mm]

d - premer vdrtine [mm]

D - premer kroglice [mm]

H_B - Brinellova trdota [N/mm²]

c) Vickersova trdota *HV*

V material vtiskamo diamantno piramido s kvadratično osnovnico in vršnim kotom med dvema nasprotnima ploskvama 136°. Sile vtiskanja so 50, 100, 300 in 500 N. Sile izbiramo tako, da je diagonala d vdrtine enaka ali večja od 0,4 mm.

Trdoto izračunamo s pomočjo enačbe:

$$HV = 1,8544 \cdot \frac{F}{d^2} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

d - diagonala vdrtine [mm]

d) Rockwellova trdota HRC

V material vtiskamo bodisi jekleno kroglico premera 1,588 mm ali 3,175 mm ali pa diamantni stožec z vršnim kotom 120° . Sile izbiramo med 100 in 1500 N. Vrednosti trdote odčitavamo direktno na merilnem instrumentu s skalami od A do H. (običajno uporabljamo A, B in C skalo)

26. Temperaturni raztezek

To je podaljšanje 1 m dolge palice, ki jo segrejemo za 1 °C. Govorimo o linearnem temperaturnem raztezk:

$$\alpha = \frac{1}{L_0} \cdot \left(\frac{dL}{dT} \right) \quad \left[\frac{1}{^\circ\text{C}} \right]$$

L_0 - dolžina palice pri referenčni temperaturi.

$$L = L_0(1 + \alpha \cdot \Delta T) \quad [\text{m}]$$

Površinski temperaturni raztezek:

$$\gamma = 2 \cdot \alpha$$

Prostorski temperaturni raztezek:

$$\beta = \frac{1}{V_0} \left(\frac{dV}{dT} \right)$$

$$\beta \cong 3 \cdot \alpha$$

26. Specifična toplota c

$$Q = c_{sr} \cdot m \cdot \Delta T$$

$$c_{sr} = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \quad \left[\frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \right]$$

c_v , c_p

27. Toplotna prevodnost λ_T

Toplotna prevodnost snovi je količina, ki pove, koliko toplote lahko preide skozi snov s presekom 1 m^2 v dolžini 1 m v času 1 s pri temperaturni razliki $1 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$\lambda_T = \frac{Q_p \cdot l}{S \cdot \Delta T} \quad \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{C}} \right]$$

$$Q_p = \frac{\lambda_T \cdot S \cdot \Delta T}{l} \quad [\text{W}], \quad \left[\frac{\text{J}}{\text{s}} \right]$$

- Q_p - količina toplote, ki preteče skozi telo v času 1 s
- S - presek telesa [m^2]
- ΔT - temperaturna razlika med koncema telesa [$^\circ\text{C}$]
- l - dolžina telesa [m]
- λ_T - toplotna prevodnost [$\text{W}/\text{m } ^\circ\text{C}$]

31. Specifična upornost ρ

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

$$\rho = \frac{R \cdot S}{l} \quad \left[\frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}} \right] = [10^{-6} \Omega \text{ m}]$$

32. Temperaturni koeficient upornosti

$$\alpha_R = \frac{dR}{dT} \cdot \frac{1}{R} = \frac{\Delta\rho \cdot l}{\Delta T \cdot S} \cdot \frac{S}{\rho \cdot l} = \frac{\Delta\rho}{\rho \cdot \Delta T}$$

$$R_2 = R_1 \left[1 - \alpha_{\vartheta_1} (\vartheta_1 - \vartheta_2) \right]$$