

### 3. SILA IN NAVOR

#### 3.1 Kandidat naj zna opisati silo kot vektorsko količino in navesti enoto zanjo

Izraz sila pomeni delovanje telesa na telo. Sile spoznamo po njihovih učinkih. Učinki so:

- a) sprememba gibanja: velikosti hitrosti, smeri gibanja
- b) sprememba oblike (deformacija)

Sile delujejo pri neposrednem **dotiku** ali na **daljavo**.

Sila je vektorska količina, poleg **velikosti** je pomembna tudi njena **smer**. Poznati moramo tudi njeno prijemališče. Sile si ponazarjamo z usmerjenimi daljicami.

Poznamo sile:

- s točkastim prijemališčem (vrvica, privezana na voziček, ki ga z njo vlečemo),
- s prijemališčem, porazdeljenim po ploskvi (sila lepenja, sila trenja),
- s prostorsko porazdeljenim prijemališčem (teža telesa).

Sile merimo na osnovi njihovih učinkov. Sklepamo takole: čim večji je učinek, tem večja je sila, ki ga povzroča. Za merjenje sil običajno uporabljamo deformacije. Primerno telo je vijaka vzmet. Zanj velja pri ne prevelikih obremenitvah Hookov zakon. Usmerjeno vzmet s skalo običajno imenujemo **silomer** ali **dinamometer**. Ko s silomerom merimo neznan silo, jo v bistvu **primerjamo** z znano silo, ki povzroči enak raztezek vzmeti.

Sile lahko merimo tudi drugače, npr. električno (spreminjanje el. upora merjenca, piezoelektrični pojav itd.).

Enota za merjenje sile je **1 Newton**. To je sila, ki podela telesu z maso 1 kg pospešek  $1 \text{ m/s}^2$ .

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$$

1 Newton je približno enak teži 100 g uteži (točneje teža 102 g uteži je 1 N).

Stara enota je 1 kilopond. To je teža kilogramske uteži v praznem prostoru pri morski gladini na geografski širini  $45^\circ$ . Kilopond ima 1000 pondov (p).

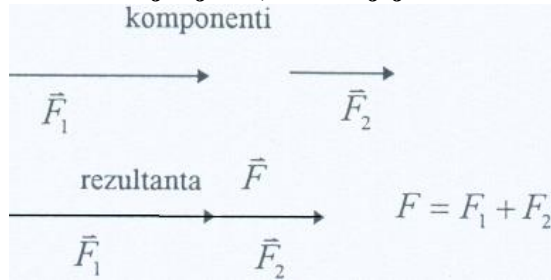
Velja:  $1 \text{ kp} = 9,81 \text{ N} \cong 10 \text{ N}$

#### 3.2 Kandidat naj zna grafično sestaviti in razstaviti sile v ravnini

Pri sestavljanju dveh sil iščemo silo, ki ima enak učinek kot dani sili. Iskano silo imenujemo vsota sil ali rezultanta, posamezni sili pa komponenti.

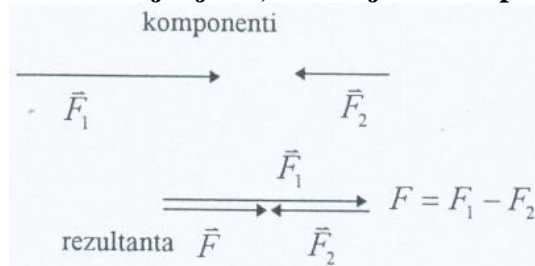
Sila je vektor. Za sestavljanje sil uporabljamo pravila za seštevanje vektorjev. Če deluje na telo več sil, sestavimo najprej dve sili, nato dodamo tretjo itd.

### 1. Sestavljanje sil, ki delujejo v isto smer



Velikost rezultante je enaka vsoti obeh komponent.

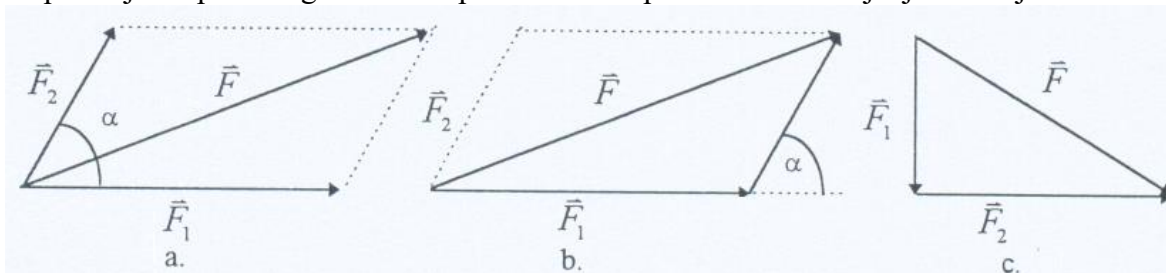
### 2. Sestavljanje sil, ki delujeta v nasprotno smer



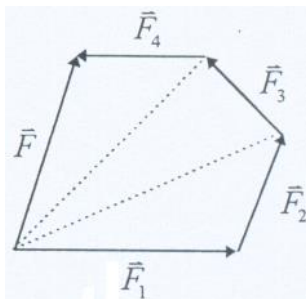
Velikost rezultante je enaka razliki obeh komponent.  
Smer rezultante se ujema s smerjo večje komponente.

### 3. Sestavljanje nevzporednih sil s skupnim prijemaščem

Uporabljamo paralelogramsko ali pa trikotniško pravilo za sestavljanje vektorjev



- Paralelogramsko pravilo:** Vektorja narišemo iz skupne točke. Nastalo sliko dopolnimo v paralelogram. Vsota ali rezultanta je vektor, ki veže skupno prijemašče obeh vektorjev z nasprotnim ogliščem paralelograma
- Trikotniško pravilo:** Na konec prvega vektorja narišemo začetek drugega vektorja. Vsota ali rezultanta je vektor, ki veže začetek prvega vektorja s koncem drugega.



Trikotniško pravilo uporabljamo tudi, če je treba sešteti več nevzporednih sil. V tem primeru seštejemo najprej dve sili v delno rezultanto, tej dodamo tretjo silo in tako dalje. Rezultanta je vektor, ki veže začetek prvega vektorja s koncem zadnjega. Nastali lik je zdaj vektorski mnogokotnik. Vrstni red prištevanja vektorjev ni pomemben. Če ga spremenimo, se spremeni le oblika vektorskega mnogokotnika, velikost in smer rezultante pa ne.

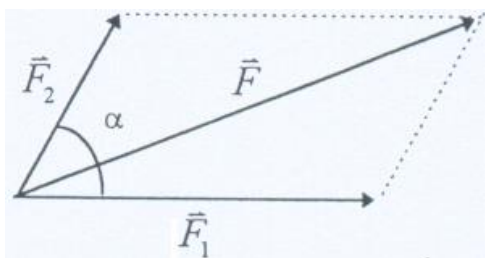
#### c) Rezultanto sil lahko določimo grafično z risanje ali pa računsko.

Velikost rezultante v splošnem primeru izračunamo po kosinusovem izreku:

$$F^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cdot \cos \alpha$$

Če sta komponenti pravokotni, preide gornja enačba v Pitagorov izrek:  $F^2 = F_1^2 + F_2^2$

#### 4. Razstavljane sil

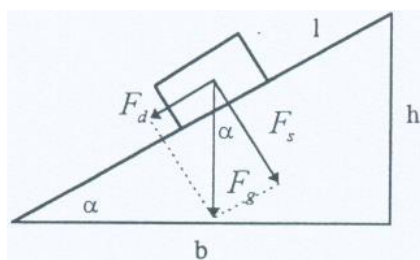


Pri razstavljanju sile iščemo sili (komponenti), ki imata na telo enak učinek kot dana sila. Silo lahko razstavimo na nešteto načinov. Če poznamo smer obeh komponent, smer ene komponente in velikost druge ali pa velikost obeh komponent, lahko silo razstavimo na en sam način.

Pri grafičnem razstavljanju sil si pomagamo s paralelogramskim pravilom.

Narišemo dano silo in smer obeh komponent in sliko dopolnimo v paralelogram tako, da potegnemo vzporednici skozi konec vektorja dane sile. S tem je velikost iskani komponent določena.

#### Telo na klancu:

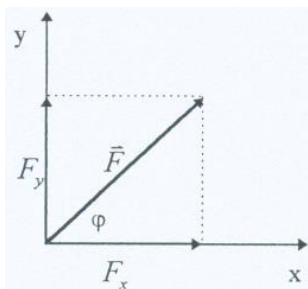


Težo telesa na klancu razstavimo na dve komponenti, od katerih je ena vzporedna s klancem, druga pa pravokotna nanj. Komponento, ki je vzporedna s klancem običajno imenujemo dinamična komponenta teže telesa, komponento, ki je pravokotna na klancem, pa imenujemo statična komponenta teže telesa. Velikost obeh je odvisna od teže in od strmine (naklonskega kota) klanca. Izračunamo ju iz enačb:

$$F_d = F_g \cdot \sin \alpha$$

$$F_s = F_g \cdot \cos \alpha$$

3.3 Kandidat naj zna v pravokotnem koordinatnem sistemu izračunati velikost komponent in iz komponent izračunati velikost sile



$$F_x = F \cdot \cos \varphi \quad F_y = F \cdot \sin \varphi$$

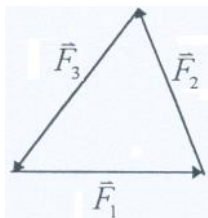
$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

3.4 Kandidat naj zna zapisati izrek o ravnovesju sil

Zakon o ravnovesju ali I. Newtonov zakon:

**Če telo miruje ali pa se giblje premo in enakomerno, je vsota sil, ki delujejo najn iz okolice, enaka nič, ali pa sil iz okolice ni.**

Z besedo vsota sil je mišljena vektorska vsota sil.

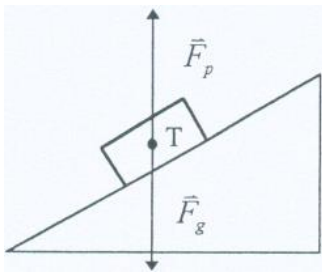


Npr. če delujejo na telo v eni točki tri nevzporedne sile, tvorijo njihovi vektorji sklenjen vektorski trikotnik z zaporednimi smernimi puščicami, vektorska vsota teh treh sil je torej enaka nič.

**Varuj se zmotnega mnenja**, da je za vzdrževanje enakomernega premega gibanja potrebna sila! Če se telo tako giblje, je vsota sil, ki nanj delujejo, enaka nič! Včasih rečemo, da se telo giblje zaradi vztrajnosti.

Prijemališče sile smemo na togem telesu premikati vzdolž premice, na kateri leži (po premici sile).

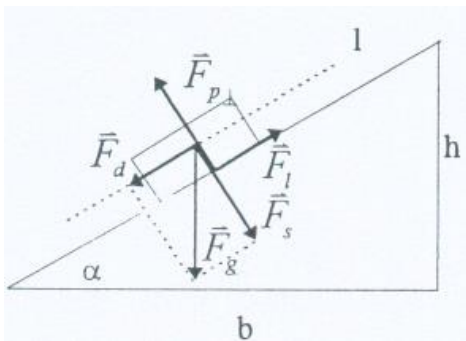
3.5 Kandidat naj zna določiti sile na telo, ki miruje na klancu.



1. Če telo na klancu miruje, je vsota vseh sil, ki nanj delujejo, enaka nič. Teži telesa  $F_g$  drži ravnovesje sila podlage  $F_p$ .

2. Med osnovno ploskvijo telesa in klancem deluje ploskovno porazdeljena sila lepenja, ki je vzporedna s klancem in zadržuje telo (klado) na klancu. Velikost sile lepenja je odvisna od pravokotne sile podlage  $F_{p\perp}$  in od kvalitete stičnih ploskev.

Težo telesa **nadomestimo** z dinamično in statično komponento. Telo deluje na klanc s statično komponento teže  $F_s$ . Po III. Newtonovem zakonu deluje podlaga nazaj na telo z nasprotno in enako veliko silo podlage  $F_{p\perp}$ . Vsota sil  $F_s$  in  $F_{p\perp}$  je nič. Dinamična komponenta teže telesa  $F_d$  sili telo k gibanju po klancu navzdol. Nasprotuje ji sila lepenja  $F_l$ , ki je usmerjena vzporedno s klancem navzgor. Dokler je sila  $F_l$  večja od dinamične komponente teže  $F_d$ , klada ne zdrsne navzdol. Sila  $F_d$  in  $F_l$  sta takrat nasprotno enaki, njuna vsota je nič.



Teža  $F_g$  ima prijemališče v težišču telesa. Isto velja za njuni komponenti  $F_d$  in  $F_s$ .

Sila  $F_{p\perp}$  ima prijemališče porazdeljeno po stični ploskvi telesa s klancem, po dogovoru rišemo njeno prijemališče na sredini stične ploskve. Isto velja tudi za silo  $F_l$ .

Velja:

$$F_l = k_l \cdot F_{p\perp} = k_l \cdot mg \cdot \cos \alpha, \text{ kjer je } k_l \text{ koeficient lepenja.}$$

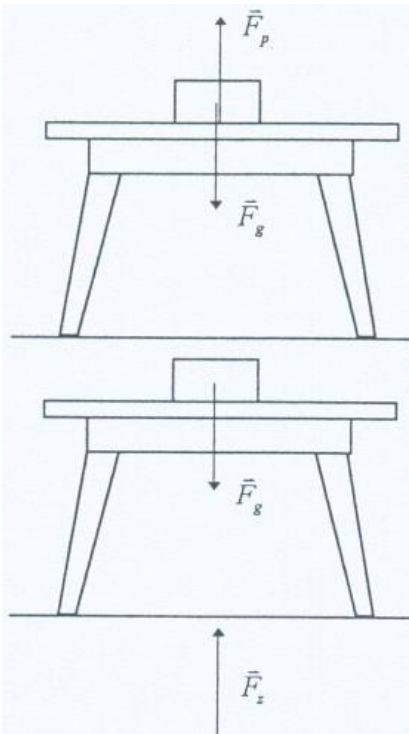
Telo se giblje enakomerno po klancu navzgor (navzdol). Tudi v tem primeru je vsota vseh sil, ki na telo delujejo, enaka nič. Silo lepenja moramo zdaj nadomestiti s silo trenja, ki v **vsakem primeru deluje v nasprotno smer**, kot se giblje telo.

3.6 Kandidat naj zna za izbrani sistem ločiti med zunanji in notranji silami

**Zakon o vzajemnem učinku** ali III. Newtonov zakon pravi, da sta sili, s katerima delujeta telesi drugo na drugo, nasprotno enaki.

**Zunanje sile** so sile, s katerimi telesa iz okolice delujejo na opazovano telo. Sile pa delujejo tudi med deli opazovanega telesa. To so **notranje sile**. **Njihova vsota je vselej enaka nič.**

Primer: Telo na vodoravni mizi.



1. Katere sile delujejo na telo?

Na telo deluje teža  $F_g$ , ki ima prijemališče v težišču telesa in sila podlage  $F_p$ , ki ima prijemališče porazdeljeno po statični ploskvi klade in mize. Sili sta enako veliki in nasprotni. Njuna vsota je nič. Telo miruje.

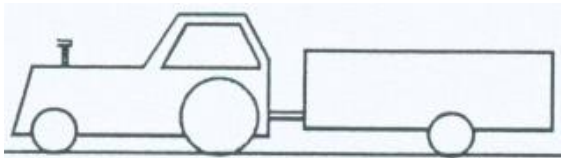
Telo zato, ker ima težo  $F_g$ , deluje na mizo s silo, ki je enaka  $F_g$ , a je porazdeljena po statični ploskvi. Po zakonu o vzajemnem učinku deluje miza na telo z enako in nasprotno silo  $F_p$ .

2. Katera sila je po zakonu o vzajemnem učinku teži telesa nasprotna sila?

Teža telesa je sila, s katero Zemlja privlači telo.

Po zakonu o vzajemnem učinku je teži telesa  $F_g$  nasprotna sila  $F_z$ , s katero telo privlači Zemljo.

Primer: Traktor vleče prikolico.



1. Traktor s prikolico obravnavamo kot eno telo, vsa ostala telesa predstavljajo okolico.

Sila, s katero vleče traktor prikolico, je enaka sili, s katero deluje prikolica na traktor. Ti dve sili sta notranji sili, njuna vsota je po III. Newtonovem zakonu nič. Isto velja za vse sile, ki delujejo med deli traktorja s prikolico.

Sila, s katero se pogonsko kolo traktorja odriva od tal, povzroča, da tla delujejo na kolo z nasprotno enako silo. To je zunanja sila, ki povzroči, da se npr. Traktor giblje pospešeno. Če se traktor giblje enakomerno, potem sila, s katero tla odrivajo kolo traktorja, uravnoveša silo trenja in upor zraka.

2. Tudi prikolico samo lahko obravnavamo kot telo. V tem primeru se sila, s katero deluje traktor nanjo, zunanja sila. Prav tako sta zunanji sili upor zraka ter trenje med kolesi in podlago.

### 3.7 Kandidat naj zna zapisati Hookov zakon

Glede na to, kako se snovi vedejo, kadar deluje nanje sila, jih razdelimo na **prožne ali elastične** in **neprožne ali plastične**.

Snov je prožna, če deformacija po prenehanju delovanja sile izgine.

Snov je neprožna, če je deformacija trajna.

Idealno prožnih snovi ni.

Za prožna telesa velja Hookov zakon (približek in le za omejen interval sil):

**Sila je premosorazmerna deformaciji.**

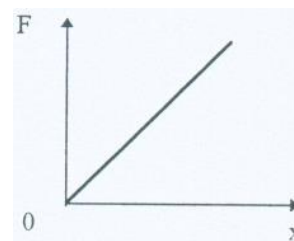
### 3.8 Kandidat naj zna definirati prožnostni koeficient vzmeti in vzmet uporabiti za merjenje sil

Hookov zakon povemo za prožno vijačno vzmet takole:

Sila je sorazmerna z raztežkom, ki ga povzroča.

Zakon zapišemo:  $F = k \cdot x$

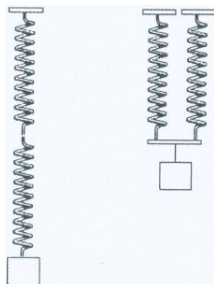
kjer je  $k$  koeficient prožne vzmeti. To je število, značilno za uporabljeno vzmet. Pove, kolikšna sila povzroči raztezek enak dolžinski enoti. Merska enota za  $k$  je  $N/m$ .



Graf  $F(x)$ :

Smerni koeficient premice v grafu  $F(x)$  je enak smernemu koeficientu vzmeti. Seveda velja Hookov zakon tudi za druga prožna telesa, ne samo za vzmet. Npr. jeklen trak, gumijev trak, steklena nit,...

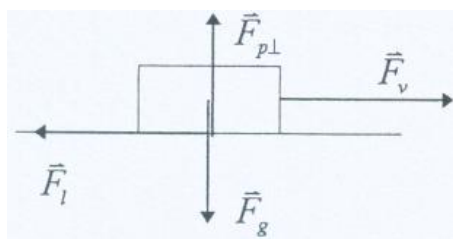
Primeri:



1. Dve enaki vzmeti obesimo eno ob drugi. Na obe skupaj obesimo breme. Kolikšen je koeficient sestavljene vzmeti?
2. Dve enaki vzmeti obesimo eno za drugo. Na obe skupaj obesimo breme. Kolikšen je koeficient sestavljene vzmeti?

### 3.9 Kandidat naj zna definirati koeficienta trenja in lepenja ter reševati naloge, kjer nastopajo trenje, lepenje in zračni upor

Lepenje in trenje sta sili, ki nastopata pri dotiku teles.



**Lepenje** je sila, ki jo opazujemo pri telesih, ki mirujejo na podlagi. Če vlečemo telo od strani s silo, se ne premakne. Premiku nasprotuje sila lepenja, torej je ta sila nasprotna vlečni sili in vzporedna s podlago. To silo moramo premagati, če hočemo premakniti telo. Sila lepenja je odvisna od kvalitete stičnih ploskev. Za dani par stičnih ploskev je sorazmerna s silo, s katero pritiska telo na podlago v pravokotni smeri.

V okviru napake 20 % sila lepenja ni odvisna od velikosti stičnih ploskev.

Silo lepenja izračunamo po enačbi:  $F_l = k_l \cdot F_{p\perp}$ , kjer je  $k_l$  koeficient lepenja, ki je odvisen od hrapavosti stičnih ploskev telesa in podlage.

**Trenje** zavira gibanje teles. Če hočemo, da se telo giblje s stalno hitrostjo, ga moramo ves čas vleči s silo, ki je nasprotna enaka sili trenja. Smer sile trenja je nasprotna vlečni sili in vzporedna s podlago. Sila trenja je sorazmerna s silo, s katero pritiska telo pravokotno na podlago, skoraj nič pa ni odvisna od velikosti stične ploskve med telesom in podlago in od relativne hitrosti. Seveda pa je odvisna od kvalitete stičnih ploskev. Izračunamo jo po enačbi:

$$F_t = k_t \cdot F_{p\perp},$$

kjer je  $k_t$  koeficient trenja, to je število, katerega vrednost je odvisna od kvalitete stičnih ploskev.

Koeficient lepenja lahko določimo tako, da s silomerom izmerimo velikost sile lepenja in pravokotno silo podlage, nato pa koeficient izračunamo.

Koeficient lepenja lahko izmerimo tudi s klancem. Telo (klado) postavimo na klanec, ki mu počasi večamo naklonski kot. Izmerimo tisti naklonski kot klanca, pri katerem klada zdrsne po njem. Koeficient lepenja je tedaj kar tangens tega naklonskega kota.

Koeficient trenja lahko določimo tako, da s silomerom izmerimo velikost sile trenja in pravokotno silo podlage, nato pa koeficient izračunamo.

Koeficient trenja lahko izmerimo tudi s klancem. Telo (klado) spuščamo po klancu navzdol. Naklon klanca spreminjamo. Ko dosežemo, da klada drsi po klancu navzdol s stalno hitrostjo, izmerimo naklonski kot tega klanca. Koeficient trenja je tedaj kar tangens tega naklonskega kota.

#### UPOR ZRAKA

Zrak ovira gibanje teles. Če hitros telesa ni zelo majhna, je sila zraka – upor sorazmerna s kvadratom hitrosti:  $F_u = k \cdot v^2$ . Koeficient  $k$  je odvisen od gostote zraka, velikosti prečnega preseka telesa in od oblike telesa.