

0.

Uvod u mehaniku

0.1. Pojam mehanike

Zakoni klasične fizike još se u 16. stoljeću počinju primjenjivati za rješavanje tehničkih problema. Na taj način počinje razvoj posebne grane fizike koju nazivamo

Tehnička fizika.

Grane tehničke fizike s povijesnim razvojem prikazane su tablično:

Grana	Početak razvoja
Mehanika čvrstih tijela	16. stoljeće
Mehanika tekućina i plinova (mehanika fluida)	17. stoljeće
Mehanika svjetla — optika	17. stoljeće
Mehanika zvuka — akustika	18. stoljeće
Mehanika titranja i valova	19. i 20. stoljeće
Termodinamika	19. i 20. stoljeće
Elektricitet	19. i 20. stoljeće

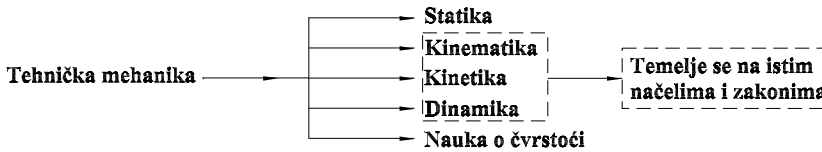
Od navedenih grana tehničke fizike u ovom udžbeniku bit će riječi o *mehanic* *čvrstih i krutih tijela* koja osobito važnu ulogu imaju u strojogradnji, gradnji različitih postrojenja i građevinskih objekata. Pritom je pažnja uvijek usmjerena na rješavanje tehničkih problema pa je taj dio tehničke fizike jednim imenom nazvan

Tehnička mehanika.

Tehnička mehanika je dio tehničke fizike čija se pravila i zakoni koriste u strojogradnji, gradnji različitih postrojenja i građevinskih objekata.

0.2. Podjela mehanike

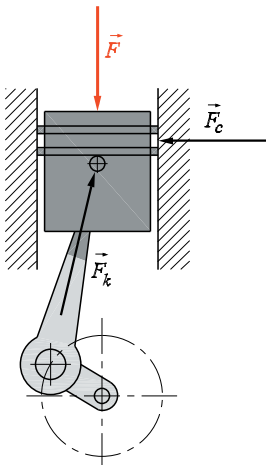
U skladu s primijenjenim pravilima i zakonima tehničke fizike, kao i utjecaja različitih parametara kao što su, npr., djelovanje sile na neko tijelo, koja može narušiti njegovu ravnotežu, u drugom ga slučaju uravnotežiti, a u trećem ga deformirati, izvršena je sljedeća podjela tehničke mehanike:



Sl. 0.1.

0.2.1. Statika

Na slici 0.2 nalazi se motorni mehanizam. Na klip djeluje sila F kao posljedica djelovanja tlaka p izgaranih plinova na površinu A čela klipa ($F = p \cdot A$). To je aktivna sila kojoj se suprotstavljaju sile reakcije: klipnjače F_k i cilindra F_c . Sila akcije će potiskivati klip prema dolje i uvjetovati pokretanje mehanizma.



F — sila akcije
 F_c, F_k — sile reakcije
 STATIKA — ravnoteža sila akcije i reakcije

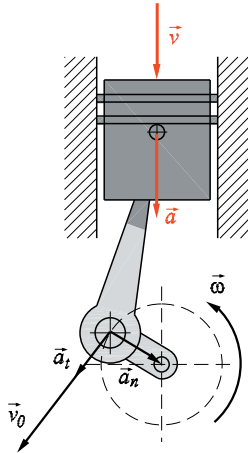
Sl. 0.2.

Predmet proučavanja statike nije nastalo gibanje mehanizama, već samo *ravnoteža sila* koje na njega djeluju (F , F_c i F_k), smatrajući da mehanizam u prikazanom položaju *miruje*. Iz toga proizlazi definicija statike:

Statika je dio tehničke mehanike koja proučava ravnotežu sila na mirnom tijelu.

0.2.2. Kinematika

Nastalo gibanje motornog mehanizma je predmet proučavanja kinematike (sl. 0.3). Pritom se ne uzima u obzir sila F koja je proizvela gibanje.



Sl. 0.3.

Prema rečenom:

- v — brzina klipa
 - a — ubrzanje klipa
 - a_t — tangencijalno ubrzanje čepa radilice
 - a_n — normalno ubrzanje čepa radilice
 - v_0 — obodna brzina čepa radilice
 - ω — kutna brzina radilice
- KINEMATIKA — brzine i ubrzanja

Kinematika je dio tehničke mehanike koja proučava gibanja geometrijski čvrstih tijela i mehanizama bez utjecaja sila koje su to gibanje proizvele.

0.2.3. Kinetika

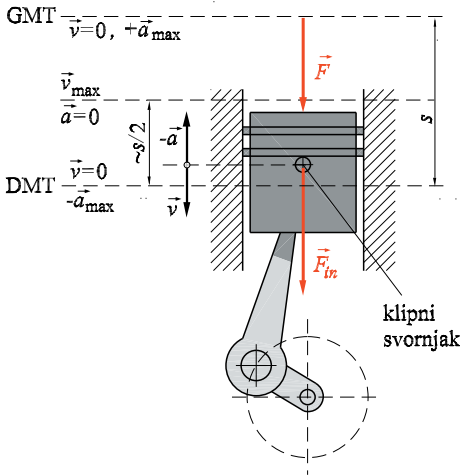
U odnosu na prikazani motorni mehanizam kinetika bi izučavala gibanje motornog mehanizma uzimajući u obzir i silu F koja je to gibanje izazvala. Stoga njezina definicija glasi:

Kinetika je dio tehničke mehanike koja proučava gibanje tijela pod utjecajem djelujućih sila.

0.2.4. Dinamika

Gibanje klipa u cilindru motornog mehanizma nije jednoliko (sl. 0.4), jer se njegova brzina kreće od 0 u gornjoj mrtvoj točki do neke maksimalne vrijednosti na približno pola puta svog hoda, pa se opet smanjuje do nulte vrijednosti u donjoj mrtvoj točki. To ima za pojavu ubrzanje $+a$ i usporenje $-a$. Posljedica ubrzanja su opet inercijalne sile F_i u motornom mehanizmu koje ga dodatno opterećuju.

Dinamika uzima sve to u obzir pa se dobije realna slika opterećenja koje je važno za dimenzioniranje strojnog dijela.



Sl. 0.4.

GMT — gornja mrtva točka
 DMT — donja mrtva točka
 s — hod klipa
 F — sila akcije (opterećenje)
 F_{in} — sila inercije
 a — ubrzanje klipa
 $-a$ — usporenje klipa
 v — brzina klipa
 DINAMIKA — sile akcije, sile inercije, brzine i ubrzanja

Prema izloženom proizlazi definicija:

Dinamika je dio tehničke mehanike koja proučava gibanja tijela, sile koje su to gibanje proizvele i sile koje se javljaju kao posljedica gibanja.

U pravilu dinamika sadrži sve kinematičke, kinetičke i dinamičke pojave.

0.2.5. Nauka o čvrstoći

U našoj okolini se nalaze realna — čvrsta tijela koja se uslijed djelovanja vanjskih sila mogu deformirati. Predmet proučavanja nauke o čvrstoći su upravo realna tijela koja se koriste za izradu strojeva i drugih tehničkih uređaja.

Nauka o čvrstoći → ČVRSTA TIJELA — podložna deformacijama.

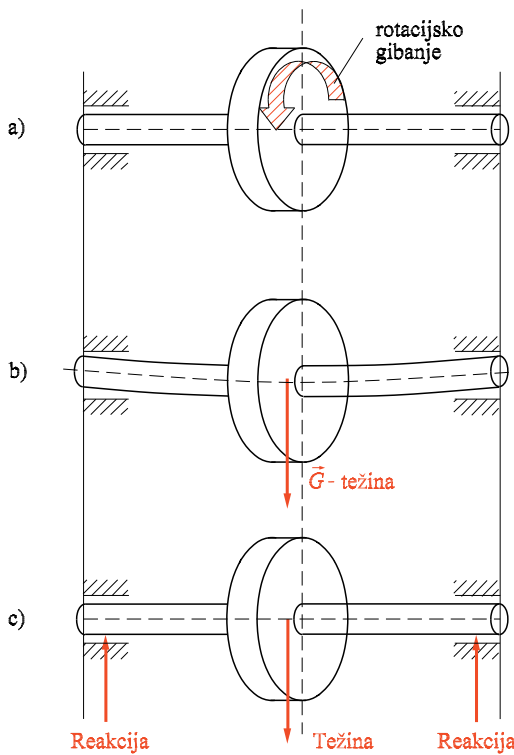
Svornjak koji spaja klip s klipnjačom na slici 0.4 opterećen je istovremeno statičkom silom F i dinamičkom silom F_{in} . Ukoliko bi svornjak bio premalih dimenzija u odnosu na sile koje ga opterećuju, on bi se deformirao, jer je načinjen od realnog čvrstog tijela. Da se to ne bi dogodilo, svornjaku treba odrediti dovoljno velike dimenzije u skladu s veličinom opterećenja i čvrstoćom materijala od kojeg je izrađen. Prema rečenom:

Nauka o čvrstoći je dio tehničke mehanike koji služi za dimenzioniranje strojnih dijelova tako da sile koje su izazvale naprezanje ne prelaze dopuštenu veličinu.

U tom slučaju opterećenje (sile F i F_{in}) neće moći deformirati svornjak.

0.2.6. Zadaci mehanike

Nabrojena područja tehničke mehanike su međusobno povezana, pa su tako i zadaci mehanike međusobno povezani. Iako ćemo pri rješavanju tehničkih problema zakone statike, dinamike i nauke o čvrstoći primjenjivati pojedinačno i tako postupno rješavati problem, njega treba sagledati u cjelini kako bismo mogli odrediti pravilan slijed rješavanja. Zadaci mehanike i njihova povezanost vidi se iz primjera jedne osovine s rotirajućim strojnim elementom (sl. 0.5). Rotirajući element može biti remenica, zupčanik, zamašnjak ili turbinsko kolo.



Sl. 0.5.

Zadatak statike ovdje bi bio pronaći ravnotežu između težine G rotirajućeg elementa i reakcija koje se javljaju u ležajevima osovine (slika 0.5c)), smatrajući da osovina miruje. Daljnji zadatak statike je pronaći maksimalni moment savijanja i poprečne sile potrebne za njezino dimensioniranje. Zadatak dinamike bi bio da na osnovu poznatih zakona gibanja odredi sile koje proizvode gibanje ili da na temelju poznatih sila koje djeluju na strojni element odredi zakon gibanja. Na slici 0.5b) vidi se da je težina G elementa izazvala progib osovine. Zadatak znatnosti o čvrstoći je da na osnovu opterećenja koje smo definirali u statici i dinamici odredi takve dimenzije osovine (promjer) da budu zadovoljeni uvjeti *čvrstoće, krutosti i stabilnosti*. Na taj način je problem rješavan parcijalno primjenjivanjem zadataka tehničke mehanike koji su međusobno povezani i u konačnici daju rješenje problema.

0.3. Osnovni pojmovi i aksiomi mehanike

0.3.1. Pojam krutog tijela i materijalne točke

Sila može deformirati tijelo ukoliko je veća od njegove čvrstoće. U statici se smatra da su sva tijela *apsolutno kruta* te se ne mogu deformirati ma koliko bile velike sile koje ga opterećuju.

U prirodi → ČVRSTA TIJELA — podložna deformacijama.
U statici → KRUTA TIJELA — nisu podložna deformacijama.

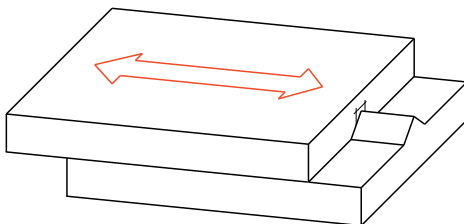
Da bi se pojednostavilo rješavanje složenijih zadataka, u mehanici je uveden pojam *materijalna točka*.

Materijalna točka je tijelo čije su dimenzije zanemarene, a predstavljena je geometrijskom točkom.

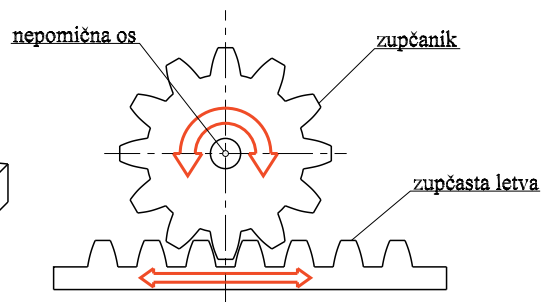
0.3.2. Translacija i rotacija

Velik broj različitih vrsta i slučajeva gibanja mogu se svesti na dva osnovna: **translaciju i rotaciju**.

Na slici 0.6 nalazi se prizmatični klizač. Djelovanjem sile na pokretni dio on će izvršiti pravocrtno gibanje. Sve točke klizača imat će istu brzinu, ubrzanje i isti pravac gibanja, što je osobina translatornog gibanja.



Sl. 0.6. Translacija



Sl. 0.7. Translacija i rotacija

Slika 0.7 prikazuje ravan zupčasti par. Djelovanjem sile na zupčastu letvu ona će imati translatorno gibanje koje će se pomoću ozubljenja pretvarati u rotacijsko gibanje zupčanika oko njegove osi. Moguće je rotaciju zupčanika pretvoriti u translaciju zupčaste letve.

Translacija je pravocrtno gibanje tijela gdje sve njegove točke imaju istu putanju, brzinu i ubrzanje.

Rotacija je vrtnja tijela oko nepomične osi.

0.4. Aksiomi¹ mehanike

Aksiomi mehanike proizašli su na temelju iskustva i opažanja. Tako je još Galilei² ustanovio da bi se tijelo koje se giba bez otpornih sila (otpora), gibalo uvijek pravocrtno i jednoliko (imalo bi konstantnu brzinu). To stanje tijela može promijeniti samo sila. Ona ga može

ubrzati, usporiti ili skrenuti s pravocrtne putanje.

Newton³ je Galilejev aksiom proširio i na gibanja nebeskih tijela, te je tako nastala definicija sile:

Sila je uzrok koji izaziva promjenu gibanja tijela koje se očituje u promjeni njegove brzine.

Promjena brzine u jedinici vremena je ubrzanje, pa se sila izravno veže na ubrzanje tijela, što je obuhvaćeno 2. Newtonovim aksiomom.

Newton prvi uvodi pojam *mase* umjesto “količine tvari”, a svoje postavke je formulirao kroz

tri osnovna aksioma (zakona) mehanike:

1. aksiom — *zakon tromosti ili inercije*:

Svako tijelo ostaje u stanju mirovanja ili jednolikog pravocrtnog gibanja sve dok neka sila svojim djelovanjem to stanje ne promijeni.

2. aksiom — *zakon proporcionalnosti sile i ubrzanja*:

Promjena brzine ili ubrzanja proporcionalno je sili koja djeluje na tijelo stalne mase ili:

$$F = m \cdot a.$$

Promjena brzine (ubrzanja a) zbiva se na pravcu i u smjeru sile F .

3. aksiom — *princip jednakosti akcije i reakcije*:

Sili akcije uvijek je jednaka i suprotno usmjerena sila reakcije.

¹ prema Euklidu, grč. matematičaru, aksiom je istina koja se ne dokazuje

² Galileo Galilei — tal. fizičar i astronom (1564. – 1642.)

³ sir Isaac Newton — engl. prirodoslovac (1643. – 1727.)

U tehničkoj mehanici aksiomi su svedeni na oblik prikladan za primjenu na materijalna tijela, kao što su strojevi, vozila, prenosila, mjerni instrumenti, građevinske konstrukcije i slično, što će biti razrađeno u poglavljima statike, kinematike, dinamike i nauke o čvrstoći.

0.5. Osnovne veličine i jedinice u mehanici

Prema SI¹ sustavu jedinice veličine koje se koriste u tehničkoj fizici svrstane su u dvije grupe.

Prvu grupu čine

osnovne veličine.

Drugu grupu čine

izvedene veličine.

U tablici 1 navedene su sve osnovne veličine prema SI sustavu jedinica s pripadajućom mjernom jedinicom i njezinom oznakom.

Osnovna veličina	Mjerna jedinica	Oznaka
dužina	metar	m
masa	kilogram	kg
vrijeme	sekunda	s
jakost električne struje	Amper	A
termodinamička temperatura	Kelvin	K
jakost svjetla	Candela	cd
količina tvari	Mol	mol

Tablica 1. Osnovne veličine

Od sedam osnovnih veličina iz tablice 1 za tehničku mehaniku veliko značenje imaju *dužina*, *masa* i *vrijeme*. Iz njih se mogu izvesti sve potrebne veličine kao sila, moment sile, brzina, ubrzanje, rad, energija, snaga itd., koje se koriste u tehničkoj mehanici. Iz toga slijedi zaključak:

Sve izvedene veličine proizlaze iz sedam osnovnih veličina

0.5.1. Fizikalne veličine u statici

Za statiku posebno značenje imaju veličine kao što su
sila i moment sile.

¹ međunarodni sustav jedinica (Système international d'Unites)

0.5.1.1. Sila

Sila i moment sile su izvedene jedinice. Sila je jedinica izvedena iz mase i ubrzanja.

Temelj za izvođenje veličine sile, a onda i za jedinicu sile, je drugi Newtonov aksiom — osnovni zakon mehanike prema kojem je:

sila produkt mase m i ubrzanja a ,

ili:

$$F = m \cdot a \quad m \text{ — masa, } a \text{ — akceleracija.} \quad (1)$$

Jedinica za silu izvodi se prema izrazu (1). Jedinica za masu je 1 kilogram, a za ubrzanje je izvedena u poglavlju kinematike i glasi: 1 m/s^2 , pa je :

$$[F] = [m] \cdot [a] = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \frac{\text{kg m}}{\text{s}^2}.$$

U čast engleskog fizičara prema čijem aksiomu je izvedena jedinica za silu, $1 \frac{\text{kgm}}{\text{s}^2}$ je nazvan 1 njutn / 1 N/:

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

Iz jedinice slijedi i definicija za silu:

Sila od 1 N je sila koja tijelu mase 1 kg daje ubrzanje od 1 m/s^2 .

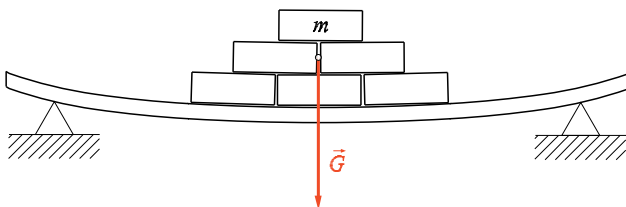
U statici se za silu rabe i veće jedinice od 1 N, kao:

kilonjtn — $1 \text{ kN} = 1000 \text{ N} = 10^3 \text{ N}$,

meganjtn — $1 \text{ MN} = 1000000 \text{ N} = 10^6 \text{ N}$.

0.5.1.2. Težina kao sila

Poseban oblik sile koji se javlja u tehničkoj mehanici je težina G . Nju posjeduje svako tijelo kao posljedicu djelovanja Zemljine privlačne sile koja sva tijela privlači prema središtu Zemlje. Na slici 0.8 masa opeke opterećuje podlogu svojom težinom G , uslijed čega je ona načinila progib.



Sl. 0.8. Težina je stalno opterećenje

S obzirom da je težina poseban oblik sile, i za nju vrijedi drugi Newtonov aksiom, jednačina (1). No za težinu se umjesto ubrzanja a uzima u obzir Zemljina gravitacija g , pa je:

$$G = m \cdot g \quad / \text{N/}. \quad (2)$$

Gravitacija je ubrzanje što ga tijelo dobije pri slobodnom padu. Mjerenjem je ustanovljena njezina vrijednost:

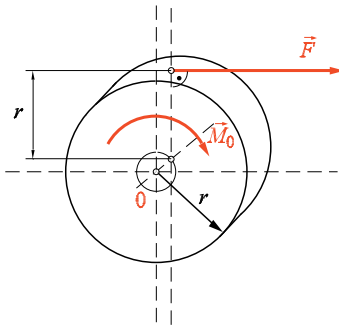
$$g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

Iz jednadžbe (2) je masa:

$$m = \frac{G}{g} \text{ /kg/}.$$

0.5.1.3. Moment sile

Moment sile je veličina izvedena iz sile i dužine. Na slici 0.9 nalazi se kotač polumjera r , na čijem obodu djeluje sila F .



Uslijed djelovanja sile F na kraku r kotač će se okretati oko točke O. Rotacija kotača je posljedica djelovanja momenta.

Sl. 0.9. Moment sile uvjetuje rotaciju tijela

Prema SI sustavu jedinica:

Moment sile je produkt sile F s okomitim razmakom r u odnosu na točku rotacije O .

$$M = F \cdot r \quad F \text{ — sila, } r \text{ — krak sile.} \quad (1)$$

Okomiti razmak između pravca djelovanja sile i točke rotacije je *krak sile*. Jedinica za moment proizlazi iz izraza (1):

$$[M] = [F] \cdot [r] = \text{N} \cdot \text{m} = \text{Nm}.$$

Veće jedinice za moment sile su:

$$\text{kilonjutnmetar — } 1 \text{ kNm} = 1000 \text{ Nm} = 10^3 \text{ Nm},$$

$$\text{meganjutnmetar — } 1 \text{ MNm} = 1000000 \text{ Nm} = 10^6 \text{ Nm}.$$

U statiki se moment sile naziva *statički moment sile* ili skraćeno *moment*.

Djelovanje može biti različito. Djelovanje momenta na kotač (slika 0.9) uvjetuje njegovu rotaciju, pa nosi naziv

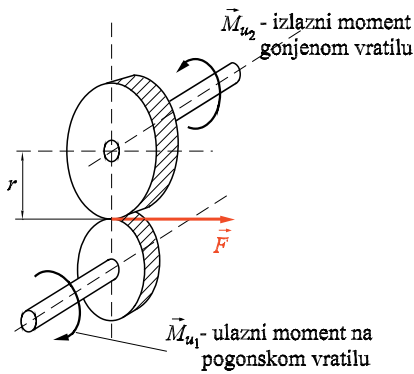
moment rotacije ili rotacijski moment.

Na slici 0.10 djelovanje momenta uvjetuje uvijanje (sukanje) vratila, pa je to

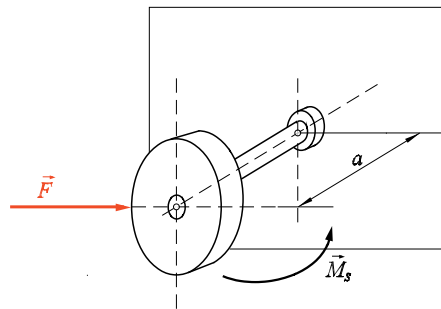
moment uvijanja ili moment torzije¹.

Na slici 0.11 položaj sile F je takav da ne vrši rotaciju kotača, već na kraku a želi savinuti vratilo, pa je to:

moment savijanja ili moment fleksije².

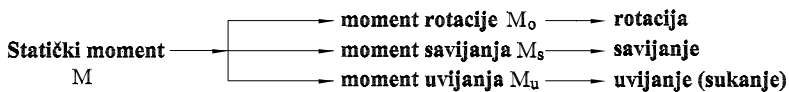


Sl. 0.10. Momenti uvijanja ili torzije, M_u



Sl. 0.11. Moment savijanja ili fleksije, M_s

Prema rečenom može se napisati sažetak vrste momenata i njihovog djelovanja:



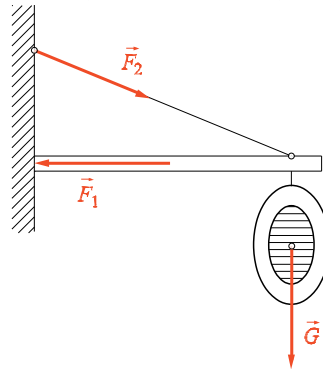
Sl. 0.12.

¹ lat. torzija — zavrtnanje, sukanje

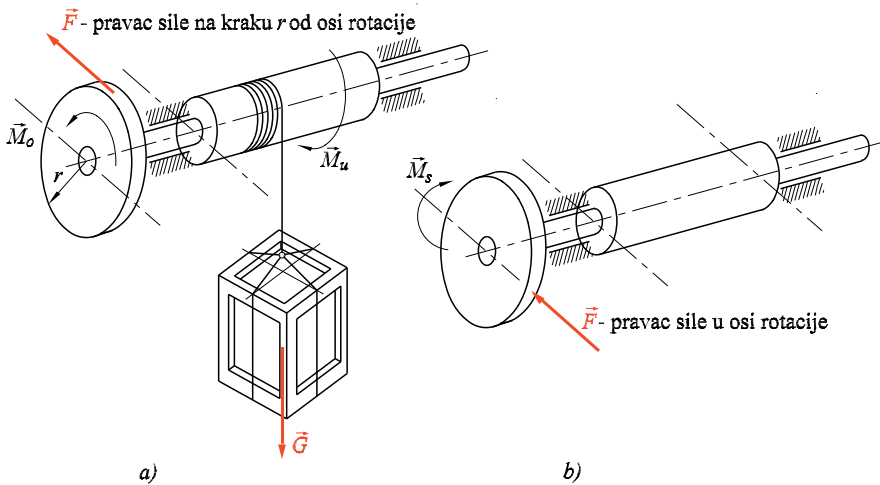
² lat. mn. fleksija — savijati, pregibati

0.6. Djelovanje sile na tijelo

Sva tijela su podložna djelovanju sile. One mogu imati različitu *veličinu*, *pravac* i *smjer* djelovanja (slika 0.13). Jako je važan pravac djelovanja sile.



Sl. 0.13. Različita veličina, pravac i smjer djelovanja sile



Sl. 0.14. Promjena pravca djelovanja sile — promijenjeno je njezino djelovanje: a) moment rotacije; b) moment savijanja

Na slici 0.14a je vreteno pomoću kojeg se diže teret težine G . Sila na kotaču (slika 0.14a) čini okretni moment M_0 koji je potreban za namatanje užeta i dizanje tereta.

Na slici 0.14b) je premješten pravac djelovanja sile tako da ona prolazi kroz os rotacije vretena. U tom je slučaju njezino djelovanje promijenjeno. Sila sad čini moment savijanja M_s koji savija vratilo vretena.

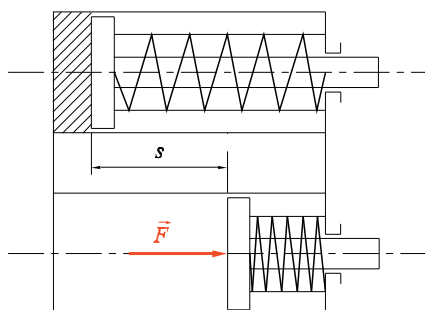
Na slici 0.14a) vidi se da se okretnom momentu M_0 suprotstavlja moment tereta, pa je ovdje krajnji rezultat djelovanja sile moment uvijanja M_u . On će nastojati uviti (usukati) vratilo vretena.

Iz toga proizlazi da

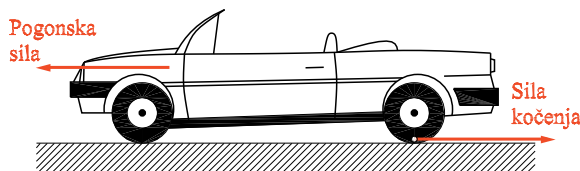
djelovanje sile ovisi o njezinom položaju (pravcu).

Posljedica djelovanja sile na tijelo može biti:

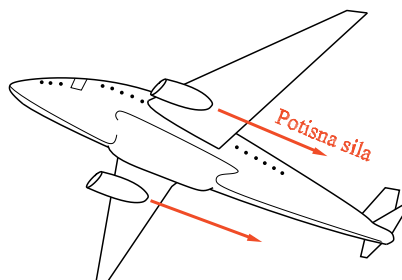
- deformacija tijela (slika 0.15),
- promjena stanja (gibanja ili mirovanja) (slika 0.16).



Sl. 0.15. Deformacija opruge uslijed djelovanja sile F



Sl. 0.16. Sila ubrzava i usporava automobil



Sl. 0.17. Sila potiska je važna za let (gibanje) zrakoplova

Sila može deformirati tijelo, pa je na slici 0.15 sabila oprugu, a na sl. 0.14a) nastoji usukati, a na sl. 0.14b) savinuti vratilo. Za deformaciju se sila koristi kod plastične obrade metala i nemetala (kovanje, valjanje, prešanje, duboko izvlačenje) kao i kod obrade metala skidanjem strugotine.

Prema pokazanim djelovanjima sile na tijelo, pored njezine definicije prema 2. Newtonovom zakonu može se zaključiti:

sila je uzrok deformacije tijela.

Da bi se automobil na slici 0.16 pokrenuo iz stanja mirovanja i stavio u stanje gibanja, potrebna je pogonska sila. Isto tako da se zaustavi iz stanja gibanja, potrebna je sila kočnja.

Potisna sila je važna za let aviona kao i za plov broda (slika 0.17).

Zadaci za 1. vježbu

1. U kojem se području tehničke mehanike primjenjuju zakoni tehničke fizike?
2. Na koja je područja podijeljena tehnička mehanika?
3. Od kojih osnovnih pretpostavki treba poći pri razmatranju ravnoteže tijela u statici?
4. Koja je razlika između kinematike i kinetike?
5. U tehničkoj je mehanici uobičajeno da se pojave gibanja izučavaju zajedno. Zašto se gibanja promatraju u cjelini?
6. Kako se rješenja statike primjenjuju u nauci o čvrstoći?
7. Navedite razliku između statike i čvrstoće.
8. Što se postiže dimenzioniranjem strojnih dijelova?
9. Na koja dva osnovna gibanja se mogu svesti gibanja tijela? Definirajte ta gibanja.
10. Koje se grupe veličina prema SI sustavu jedinica koriste u tehničkoj fizici?
11. Navedite koje su osnovne veličine značajne za tehničku mehaniku.
12. Prikažite silu 1 N u osnovnim jedinicama.
13. Koliku težinu ima masa od 2.6t (1t= 1 tona= 1000kg)?
14. Što znače simboli M_0 , M_s i M_u ? Kakvo djelovanje oni imaju na tijelo?
15. Opišite fizikalnu veličinu momenta sile.
16. Definirajte krak sile!
17. Navedite koje su posljedice djelovanja sile na tijelo.
18. O čemu ovisi način djelovanja sile na tijelo?

STATIKA KRUTOG TIJELA

1.

Opći pojmovi

1.1. Podjela statike

Prema metodama proučavanja uvjeta ravnoteže statika se dijeli na:
grafostatiku i analitičku statiku.

U grafostatici zadaci se rješavaju *geometrijskom ili grafičkom metodom*, a u analitičkoj statici *računskom metodom*.

Grafostatika je preglednija jer na zoran način prikazuje ravnotežu sila koja se traži, ali zbog netočnosti crtanja dobivaju se manje točni rezultati. Potpuno točni rezultati dobiju se primjenom analitičke ili računске metode.

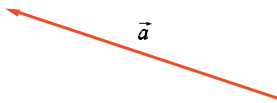
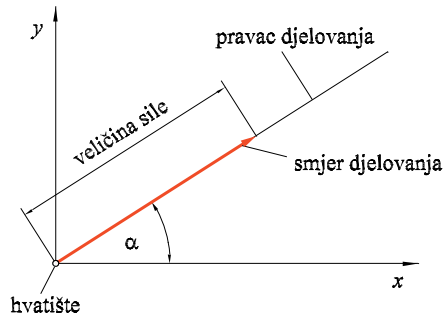
1.2. Sila kao vektor

U fizici postoje dvije osnovne fizikalne veličine:
skalari i vektori.

Skalarne veličine su u potpunosti određene *brojem*, a to su npr.: vrijeme, temperatura, volumen itd.

Vektori¹ su veličine koje su pored svoje *brojevne vrijednosti (veličine)*, određene *hvatištem, pravcem i smjerom djelovanja*. U fizici su vektorske veličine: sila, put, brzina i ubrzanje.

¹ vektori se označavaju slovnom oznakom iznad koje se crta strelica. U ovom će udžbeniku strelice biti izostavljene, a vektorske veličine, osim za silu F i težinu G , bit će otisnute podebljenim slovima.

Sl. 1.1. Vektor a 

Sl. 1.2. Sila kao vektor

Vektor se prikazuje kao dužina sa strelicom (slika 1.1). Na slici 1.2 prikazana je sila $F = 300 \text{ N}$ kao vektor. Pravac sile F u odnosu na koordinatnu os x zauzima kut $\alpha = 30^\circ$.

Vektor sile F crta se u određenom mjerilu, npr.:

$$M_F = \frac{100 \text{ N}}{1 \text{ cm}}.$$

To znači da će 100 N biti predstavljeno dužinom 1 cm .

Veličina sile (vektora) dobije se djeljenjem brojevnje vrijednosti sile s mjerilom:

$$|F| = \frac{F}{M_F} = \frac{300 \text{ N}}{\frac{100 \text{ N}}{1 \text{ cm}}} = \frac{300 \text{ N} \cdot 1 \text{ cm}}{100 \text{ N}} = 3 \text{ cm},$$

pa je dužina vektora sile F tri centimetra.

Prema rečenom slijedi:

sila je u potpunosti određena hvatištem, veličinom, pravcem i smjerom djelovanja.

Hvatište je točka u kojoj se djelovanje sile prenosi na tijelo. Veličina sile je njezina brojevnja vrijednost.

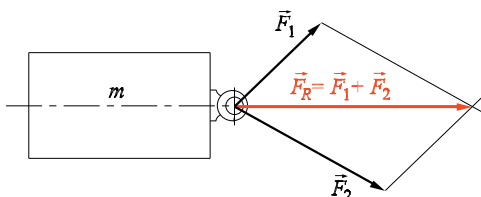
Pravac i smjer djelovanja je pravac i smjer gibanja kojim bi se gibalo *slobodno tijelo uslijed* djelovanja dotične sile.

1.3. Aksiomi statike

Pored triju Newtonovih aksioma koji su osnova proučavanja gibanja, u statici su za proučavanje ravnoteže mirnog tijela važna još tri aksioma.

I. aksiom: *Pravilo paralelograma*

Dvije sile istog hvatišta mogu se zamijeniti jednom koja je njihova rezultanta.

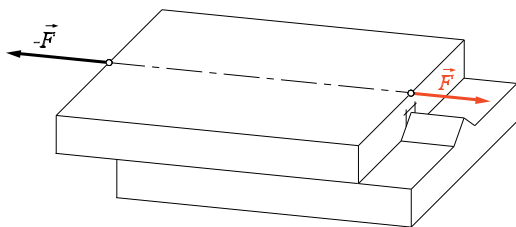


Sl. 1.3. Djelovanje dviju sila isto je kao i jedne njihove rezultante

Tijelo mase m na slici 1.3 gibalo bi se u pravcu i smjeru rezultante. S obzirom da je rezultanta F_R dijagonala paralelograma čije stranice tvore sile F_1 i F_2 , aksiom je nazvan pravilo paralelograma.

II. aksiom: *Pravilo ravnoteže dviju sila*

Dvije sile koje djeluju na istom pravcu, iste su veličine, a suprotnog smjera, poništavaju se.



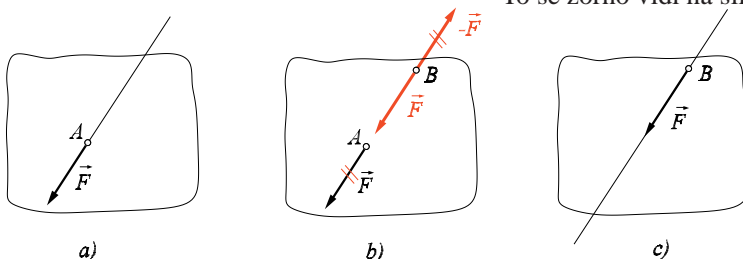
Sl. 1.4. Sile na istom pravcu, iste veličine, a suprotnog smjera na krutom tijelu se poništavaju

Prema tom aksiomu klizač na slici 1.4 će mirovati, odnosno biti u ravnoteži, jer se sile $+F$ i $-F$ poništavaju pa je:

$$F_R = F - F = 0.$$

Prema tom aksiomu hvatište sile može se pomicati duž pravca njezinog djelovanja bez ikakvog utjecaja na stanje tijela — gibanja ili mirovanja.

To se zorno vidi na slici 1.5.



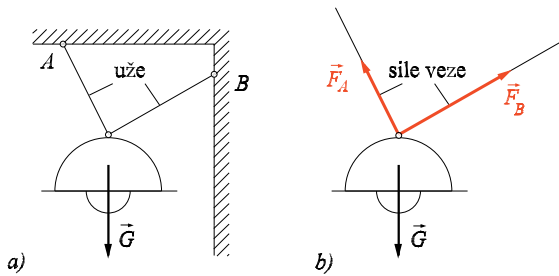
Sl. 1.5. Sila je klizni vektor i može se pomicati duž pravca djelovanja

Hvatište A sile F na slici 1.5a) premješteno je u točku B na slici 1.5c) na način da su u točki B dodane dvije sile veličine sile F suprotnog smjera (slika 1.5b)). Precrtane sile se poništavaju, a sila F ostaje u novom hvatištu, točki B .

Stoga je vektor sile *klizni vektor* koji se može pomicati duž pravca na kojem djeluje.

III. aksiom: *Veze i sile veza*

Svako vezano (neslobodno) tijelo moguće je razmatrati kao slobodno ako odstranimo sve veze, a njih zamijenimo silama veza.

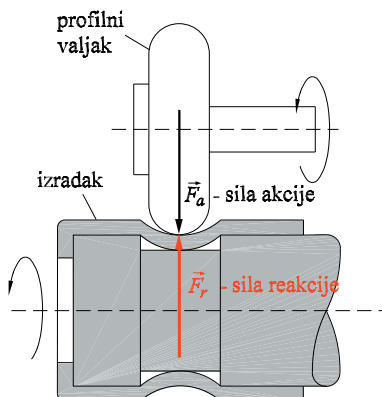


Sl. 1.6. a) Vezano tijelo; b) slobodno tijelo

Na slici 1.6a) prikazana je svjetiljka vezana užetima za strop u točki A i zid u točki B . Na slici 1.6 svjetiljka je oslobođena veza te bi zbog svoje težine pala prema dolje. Da bi ostala u ravnoteži, dodane su sile veza F_A i F_B . Njihov smjer je prema gore jer sile veza uvijek imaju *suprotan smjer od mogućeg gibanja tijela kada se uklone veze*.

Sile veza nazivaju se sile reakcije ili kraće reakcije.

1.4. Zakon akcije i reakcije



Sl. 1.7. Sili akcije suprotstavlja se sila reakcije

Na slici 1.7 prikazana je shema izrade elemenata iz lima valjanjem. Profilni valjak djeluje silom akcije F_a na lim koji se suprotstavlja silom reakcije F_r . Te dvije sile se nalaze na istom pravcu, iste su veličine, a suprotnog smjera.

Iz toga proizlazi zakon akcije i reakcije:

Djeluje li jedno tijelo silom na drugo tijelo, tada će to drugo tijelo djelovati na prvo istom silom u suprotnom smjeru.

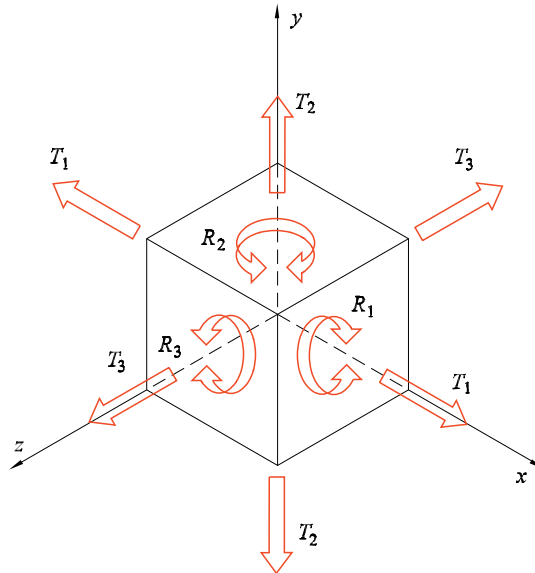
Pritom sila (akcije) i protusila (reakcija) *imaju isti pravac djelovanja*.

Na osnovi rečenog proizlaze sljedeće jednakosti:

pravac	=	protupravac,
sila	=	sila,
akcija	=	reakcija,
sila akcije	=	sila reakcije.

1.5. Stupnjevi slobode tijela

Slika 1.8 prikazuje kocku postavljenu u prostorni koordinatni sustav. Budući da nije ničim vezana, kocka može ostvariti 3 translatorsna gibanja i 3 rotacijska gibanja.



Sl. 1.8. Svako slobodno tijelo ima 6 stupnjeva slobode

Iz toga slijedi zaključak :

Svako slobodno tijelo ima šest stupnjeva slobode — 3 translacije i 3 rotacije.

Prema slici 1.8, gibanja kocke su:

a) translacije:

T_1 — u smjeru osi x ,

T_2 — u smjeru osi y ,

T_3 — u smjeru osi z ;

b) rotacije:

R_1 — u smjeru osi x ,

R_2 — u smjeru osi y ,

R_3 — u smjeru osi z .

1.6. Veze i njihove reakcije

Statika ne proučava slobodna tijela. Njezin su sadržaj
vezana ili neslobodna tijela.

Vezana ili neslobodna tijela su tijela kojima je oduzet jedan ili svih 6 stupnjeva slobode.

Veza je mjesto gdje se dva ili više tijela međusobno dodiruju.

Za rješavanje zadataka u statici potrebno je prema III. aksiomu vezano tijelo osloboditi veza, a djelovanje veze zamijeniti reakcijama veze. Kako se slobodnom tijelu dodaju reakcije veza, određeno je pravilima. Ta su pravila zajedno s primjerima prikazana u tablici 2.