

# 1. Uvod

<b>1.1 Strojtarstvo, strojarski sustavi i strojevi .....</b>	<b>2</b>
1.1.1 Strojtarstvo i strojarski sustavi .....	2
1.1.2 Strojevi i energije .....	4
1.1.3 Sistemska analiza i blok sheme .....	6
1.1.4 Izvedba strojarskih sustava .....	7
<b>1.2 Elementi strojeva .....</b>	<b>9</b>
1.2.1 Definicija i klasifikacija elemenata strojeva .....	9
1.2.2 Zahtjevi, skice i specifikacije elemenata .....	12
1.2.3 Konstruiranje elemenata .....	16
1.2.4 Izrada elemenata .....	17
1.2.5 Vijek trajanja elemenata .....	21
1.2.6 Patentiranje .....	22
<b>1.3 Podloge iz fizike i matematike .....</b>	<b>23</b>
1.3.1 Fizika i fizičke veličine .....	23
1.3.2 Newtonovi zakoni i mehanička ravnoteža .....	27
1.3.3 Mehanička energija, rad i snaga .....	29
1.3.4 Korisnost i učinkovitost .....	31
1.3.5 Matematika i bročani iznosi .....	33
1.3.6 Trokut i trigonometrija u ravnini .....	35
1.3.7 Dimenzijska analiza .....	36
1.3.8 Infinitesimalni račun .....	37
1.3.9 Rješavanje zadataka .....	40
<b>1.4 Korištenje računala .....</b>	<b>41</b>
1.4.1 Osnove korištenja računala .....	41
1.4.2 Izračunavanje i crtanje .....	44
1.4.3 Računalno podržano oblikovanje .....	50
1.4.4 Presentacija .....	52
1.4.5 Internet .....	54
<b>Dodaci .....</b>	<b>58</b>
<b>Literatura .....</b>	<b>75</b>

## Ishodi učenja:

- Razumijevanje sadržaja pojmova: strojarstvo** (definicija i poslovi), **strojarski sustavi** (definicija, primjeri, vrste i nazivlje) i **sistemska analiza** (definicija i metodologija, blok sheme).
- Razumijevanje sadržaja pojmova: elementi strojeva** (definicija, klasifikacije i specifikacija), **konstruiranje/oblikovanje** (definicija i metodologija), **izrada** (tehnologija), **vijek trajanja** (definicija), **patentiranje** (tehnologija).
- Obnovljena odabrana znanja iz fizike.**
- Obnovljena odabrana znanja iz matematike.**
- Uspješnije korištenje računala** (pisanje teksta, izračunavanje, crtanje, računalno podržano oblikovanje, presentacije, internet).

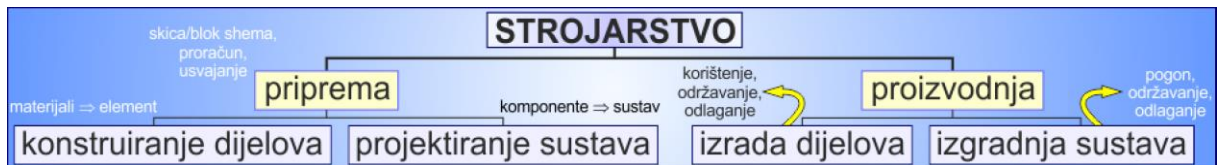
# 1.1 Strojarstvo, strojarski sustavi i strojevi

## 1.1.1 Strojarstvo i strojarski sustavi

Strojarstvo je područje tehnike (*tehničkih znanosti i inženjerstva*) koje doprinosi razvoju društva i povećanju kvalitete života pojedinaca istraživanjem i razvojem te primjenom dobivenih rezultata u:


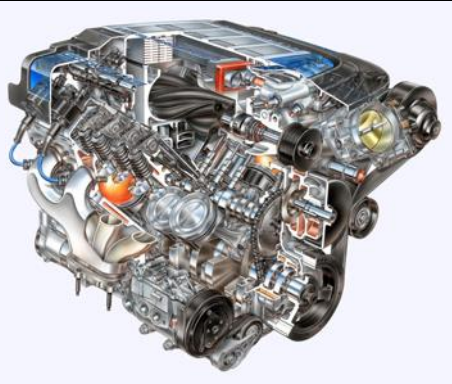

- (a) konstruiranju, izradi (*ugradnji*), korištenju, održavanju i odlaganju elemenata strojeva (*greda, vijak i matica, vratilo, zupčanik, spremnik*),
- (b) projektiranju, izgradnji (*montaži*), pogonu, održavanju i odlaganju strojarskih sustava (*crpna stanica, motorno vozilo, kotlovnica s turbinom i generatorom*).

Pri tome se osobita pozornost posvećuje racionalnom korištenju prirodnih dobara (*obnovljiva i neobnovljiva prirodna dobra*).



**Strojarski sustavi** obuhvaćaju određeni broj komponenata koje obavljajući različite funkcije omogućavaju funkcioniranje sustava kao cjeline. Funkcioniranje sustava prate složena dinamička uzajamna djelovanja komponenti te uzajamna djelovanja komponenti (*sustava*) s okolinom. Složeniji se sustavi u sistemskoj analizi razlažu na jednostavnije podsustave.

Primjeri su strojarskih sustava:

Robotska ruka	Motor s unutarnjim izgaranjem	Energana
		

Prema namjeni razlikuju se:



Primarne su zadaće:

- **konstrukcija** – prihvat opterećenja (*most*),

- **strojeva** – pretvorba energija (*motor s unutarnjim izgaranjem*),
- **aparata** – pretvorba tvari (*destilator*),
- **instalacija** – opskrbu korisnika fluidima (*sustav za centralno grijanje*),
- **uređaja** – pretvorba signala (*kontroler temperature vode*).

Primjer je iznimno složenog strojarskog sustava kruzer (*S-01.01*) – brod koji obuhvaća brojne strojarske podsustave: konstrukcije, strojeve, aparate, instalacije i uređaje.

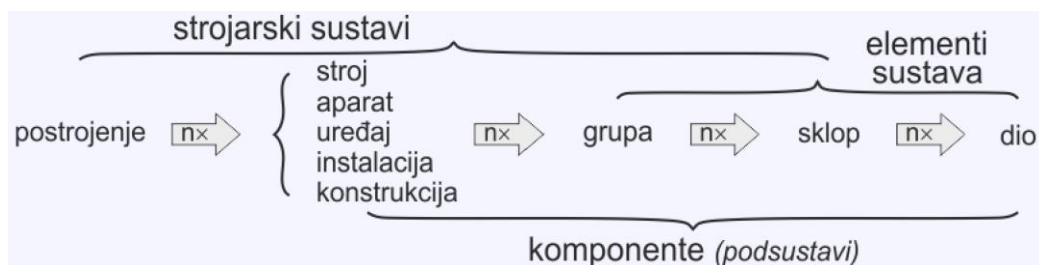


**Slika 01.01** Kruzer MS Oasis of the Sea (*norveško-američki brod, izgrađen 2009.*)

Strojarski sustavi u pravilu obuhvaćaju velik broj dijelova. Na primjer:

Sustav		
kosilica za travu	automobil	zrakoplov Boing 747-400
		
Broj dijelova		
~ 300	~ 15 000	> 6 000 000

Prema stupnju složenosti mogu se razlikovati.



**Dio** je osnovna jedinka strojarskog sustava koja obavlja određenu funkciju (*vijak, matica, cijev, vratilo, opruga, zupčanik*). Nije ga moguće rastaviti na jednostavnije dijelove.

**Sklop** je povezani skup više dijelova koji obavlja određenu funkciju u strojarskom sustavu (*zakovica, ventil, mehanizam za brisanje vjetrobranskog stakla automobila*).

## 4 Elementi strojeva 1

**Grupa** je povezani skup više dijelova/sklopova, koji u strojarskom sustavu obavlja određenu funkciju (*motor, kompresor, crpka, reduktor, diferencijal automobila*).

**Element** kod različitih strojarskih sustava obavlja određenu elementarnu (*jednostavnu*) funkciju. Može biti dio (*vijak, matica, osovina, vratilo*), sklop (*klipnjača, kotrljajući ležaj*) ili grupa (*spojka, kočnica*).

**Komponenta** (*podstav*) određena je funkcionalna cjelina strojarskog sustava.

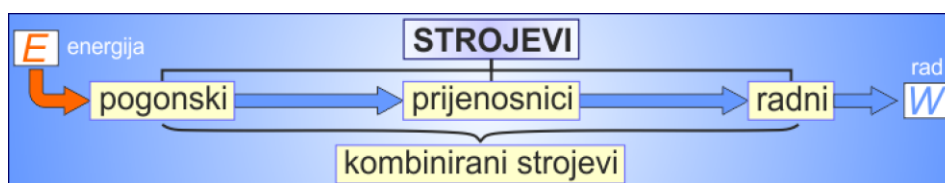
**Postrojenje** – skup strojeva, aparata, uređaja, instalacija i konstrukcija, koji su za obavljanje postavljenog zadatka uzajamno povezani u jednu cjelinu.

Navedeno nazivlje se često koristi ali nije egzaktno utvrđeno niti opće prihvaćeno.

### 1.1.2 Strojevi i energije

**Stroj** obuhvaća skup prikladno oblikovanih krutih/elastičnih dijelova, namijenjen korištenju energije za obavljanje postavljenog zadatka, prije svega, obavljanja mehaničkog rada. Svaki dio stroja obavlja točno određenu funkciju a svi su dijelovi stroja skladno povezani u cjelinu.

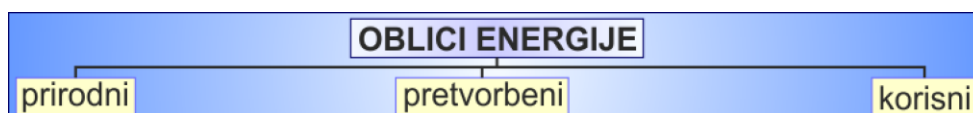
Uobičajena je podjela u tri osnovna tipa strojeva:



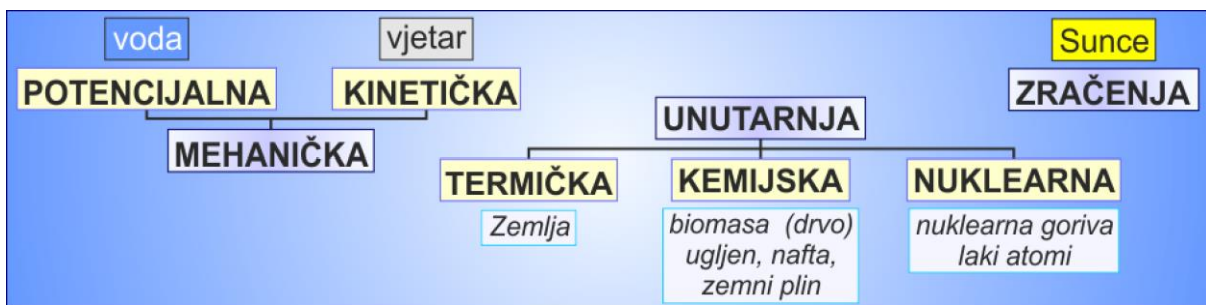
**Pogonski strojevi** pretvaraju različite oblike pojavljivanja energije (*kemijska, unutarnja, mehanička*) u mehaničku energiju, potrebnu za obavljanje mehaničkog rada ili nekog drugog korisnog oblika pojavljivanja energije. Ovdje spadaju:

- motori s unutarnjim izgaranjem,
- parni stapni strojevi,
- turbine,
- hidraulički i pneumatski motori,
- elektromotori (*elektropokretač motora su unutarnjim izgaranjem*).

**Energija** – sposobnost obavljanja rada (*u užem smislu*), odnosno pretvorbi (*u širem smislu*). Različiti se oblici svrstavaju u tri grupe:

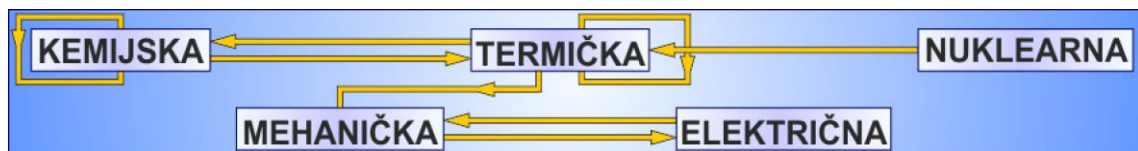


**Prirodni oblici pojavljivanja energije** (*oblici pojavljivanja u prirodi*):



Korištenje pojedinih prirodnih oblika energije može biti ograničeno nedostatkom pogodnih ili neekonomičnošću mogućih tehničkih rješenja. Treba razlikovati obnovljive i neobnovljive, koje bi trebalo osobito brižljivo čuvati.

**Pretvorbeni oblici pojavljivanja energije** – prirodne oblike energije potrošači rijetko mogu direktno upotrijebiti bez pretvorbi (npr. kemijska energija sirove nafte  $\Rightarrow$  kemijska energija benzina BMB EURO BS 95). Najčešće su pretvorbe:



Pretvorbe oblika energije se odvijaju uz manje ili veće gubitke koji se moraju imati na umu pri bilanciranju ( $\eta_{\text{motora s unutarnjim izgaranjem}} = 20 \div 40 \%$ ).

Korisni oblici pojavljivanja energije (oblici energije u kojima je koriste krajnji potrošači):



Termičkom energijom (vatra, voda, sunce) osigurava se grijanje, mehaničkom zamjena ljudskog rada (strojevi transport), svjetlosnom se produžava dan (rasvjeta), kemijskom akumulacija (goriva, baterije, akumulatori), električnom učinkovita razmjena informacija.

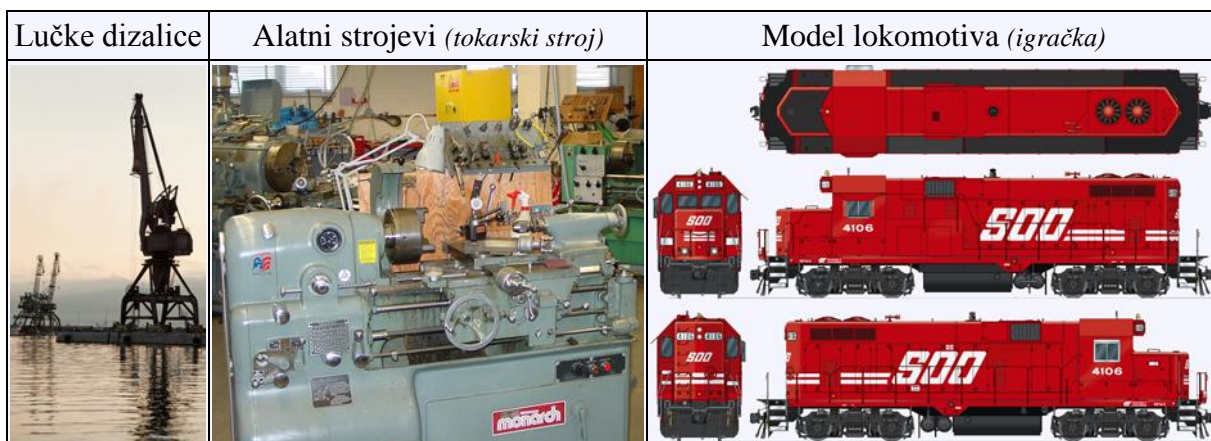
**Radni strojevi** koriste mehaničke energije pogonskog stroja za obavljanje mehaničkog rada ili dobivanje nekog drugog oblika pojavljivanja energije. Tipičan je radni stroj generator električne struje (npr. alternator motornog vozila).

**Prijenosnici** se upotrebljavaju kao posrednici između pogonskih i radnih strojeva, pri čemu korištenu mehaničku energiju i dinamiku gibanja pogonskog stroja prilagođavaju potrebama radnog stroja. Tipičan je prijenosnik reduktor (npr. mijenjač motornog vozila).

**Kombinirani strojevi** – pogonski strojevi, prijenosnici i radni strojevi povezani su često u jednu cjelinu. Ovdje spadaju:

- dizala i transporteri,
- alatni strojevi,
- motorna vozila,
- pumpe, ventilatori i kompresori,
- agregati za struju.





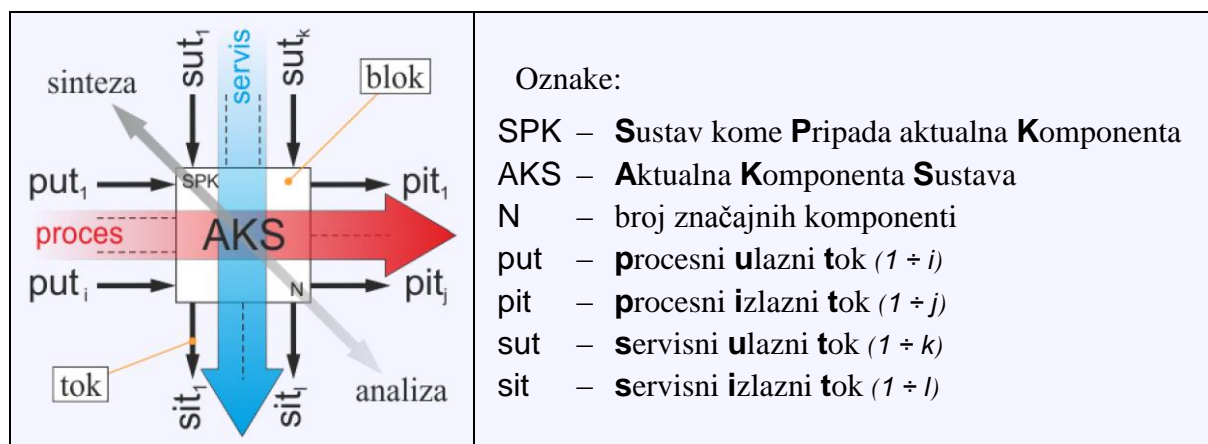
### 1.1.3 Sistemska analiza i blok sheme

Temelj suvremenog izučavanja strojarskih sustava je sistemska analiza za koju su najpogodnije podloge sheme koje obuhvaćaju sve značajne:

- blokove** – generalizirani izmjenjivači energija i/ili tvari (*S-01.02*) i
- tokove** – kojima blokovi razmjenjuju uzajamno i/ili s okolinom energije i/ili tvari,

aktualnog sustava.

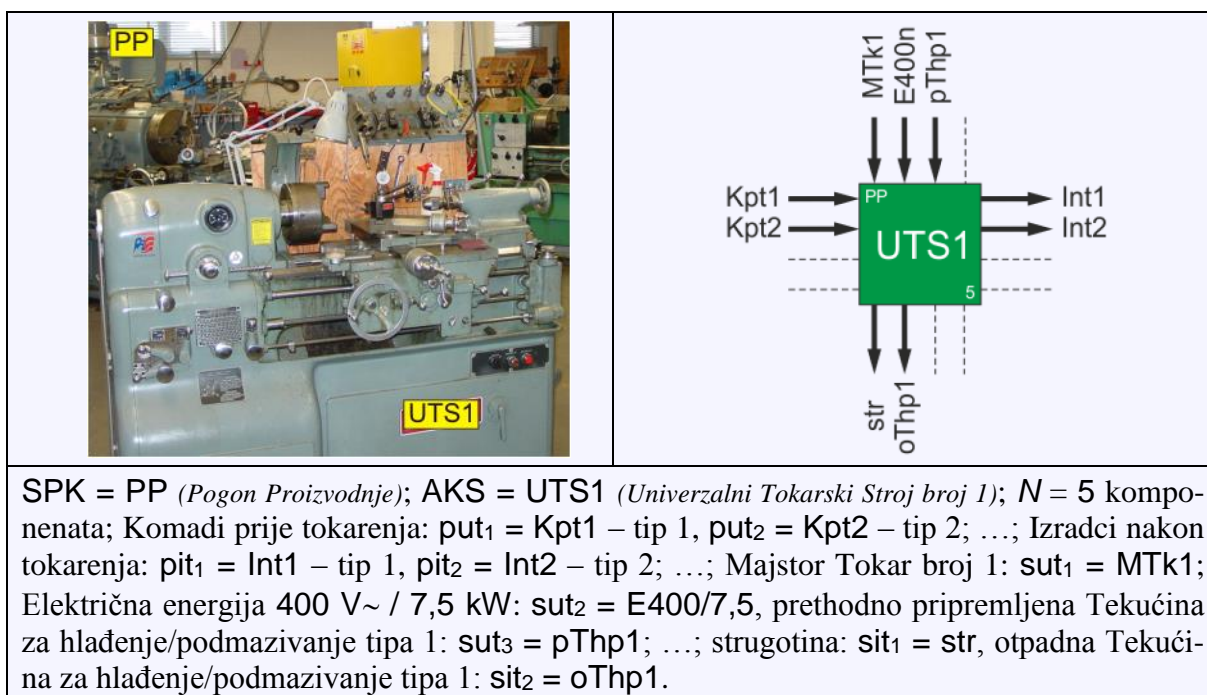
Svi blokovi, te ulazni/izlazni i spojni tokovi sustava, označavaju se identifikacijskim oznakama koje moraju biti asocijativne i uzajamno različite.



Slika 01.02 Blok shema

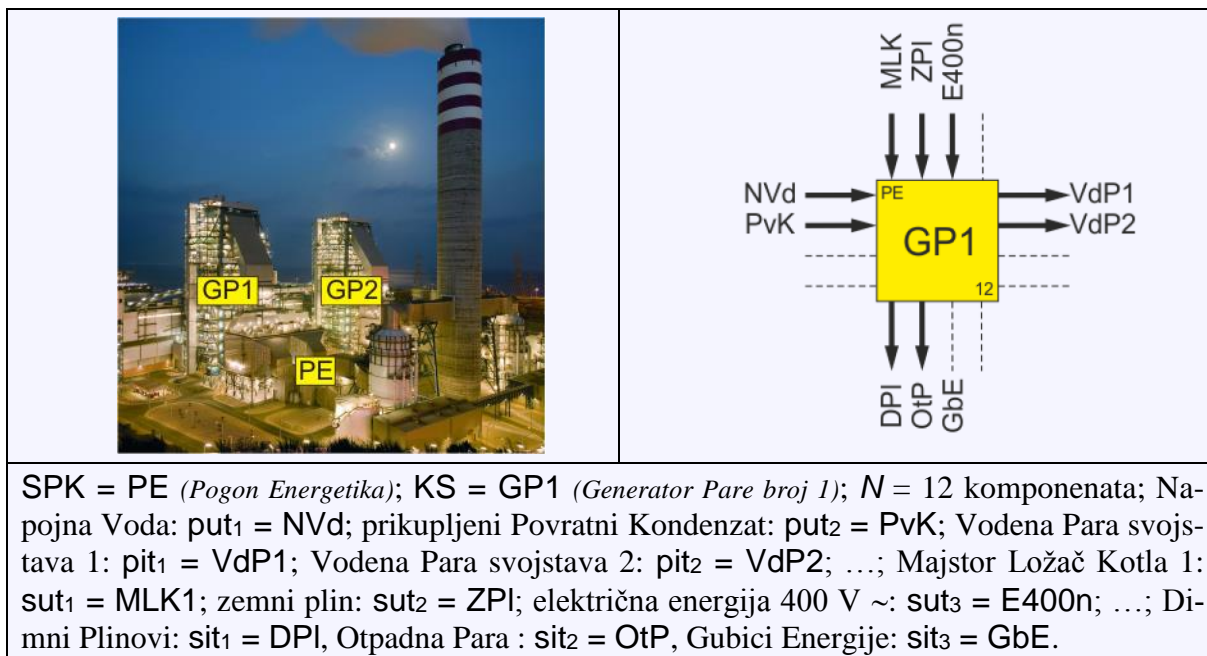
Kod kvalitativne analize složenih sustava dolaze do punog izražaja prednosti blok shema (*prikazani blok i ulazno/izlazni tokovi su dovoljni da članovi tima formiraju jasnu sliku aktualnog podsustava*) u odnosu na slikovite sheme i tehničke crteže (*i kod jednostavnijih sustava se na temelju tehničkih crteža teško formira jasna slika cjeline te lako gubi u manje značajnim detaljima*).

Blok može predstavljati, na primjer, tokarski stroj (*S-01.03*) ili generator pare (*S-01.04*).



**Slika 01.03** Univerzalni tokarski stroj u pogonu proizvodnje i blok shema tokarskog stroja

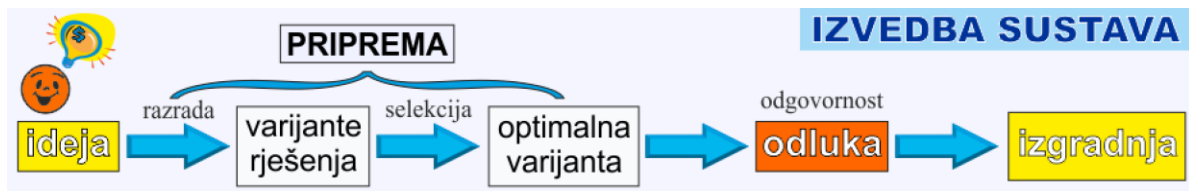
**Procesom** obrade materijala tokarenjem dobivaju se od različitih komada prije tokarenja različiti izradci nakon tokarenja. Sve ostalo spada u neophodni **servis** koji prati proizvodnju izradaka.



**Slika 01.04** Energana i blok shema generatora pare

### 1.1.4 Izvedba strojarskih sustava

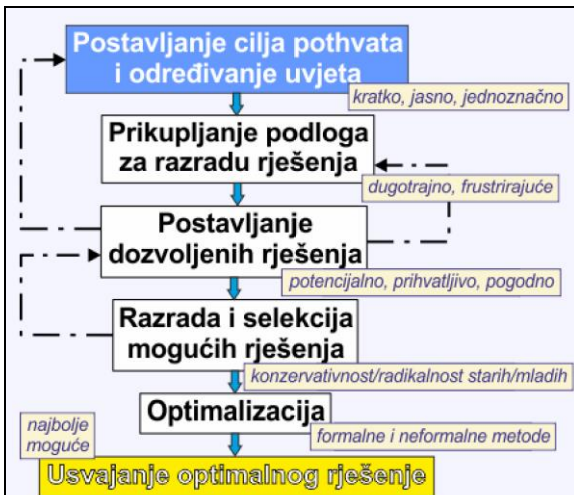
Uhodanom pogonu strojarskog sustava prethodi njegova izvedba:



U prvom koraku, na temelju često maglovite ideje, postavlja se kratko, jasno i jednoznačno utvrđen cilj izvedbe strojarskog sustava (*S-01.05*) i određuju uvjeti njegovog ostvarivanja (*vizija cilja + kvalitativna i semikvantitativna sistemska analiza*).

Dalji tijek pripreme (*S-01.05*) koračne je prirode uz vraćanje na prethodno obavljene korake kako bi se dobilo kvalitetnije rješenje (*nesmiljena konkurencija*). Pri tom se stalno moraju imati u vidu različita zadana ograničenja (*S-01.06*).

Jedan dio ograničenja (*S-01.06*), koje sudionici u izvedbi sustava ne mogu mijenjati (*npr. prirodni resursi, ekonomske zakonitosti, norme*), naziva se **vanjskim ograničenjima** – ona obuhvaćaju skupinu dozvoljenih rješenja. Drugi dio ograničenja manje je krut (*npr. raspoložive tehnologije, financijski resursi, suradnici*) i sudionici u izvedbi sustava ih mogu u izvjesnoj mjeri promijeniti. Ova se ograničenja nazivaju **unutarnjim ograničenjima** i obuhvaćaju skupinu mogućih rješenja. U pravilu, samo jedno od mogućih je i optimalno rješenje – predstavlja najbolji mogući način ostvarivanja utvrđenog cilja. Utvrđeno optimalno rješenje sijedi konačna odluka, temeljena na tehno-ekonomskim kvantitativnim ili bar semi-kvantitativnim podlogama.



Slika 01.05 Tijek faze pripreme izgradnje



Slika 01.06 Ograničenja u izvedbi sustava

Nakon donošenja odluke o izgradnji:

- investitor utvrđuje projektni zadatak te
- odabrani projektant izrađuje:
  - (a) idejni projekt
  - (b) glavni projekt i
  - (c) izvedbeni projekt sustava.



Svakako treba pokušati izbjeći rad na projektu prije nego što investitor potpiše projektni zadatak jer time glavni i odgovorni projektant preuzima odgovornost za zahtjeve utvrđene u projektnom zadatku na koje praktično nema nikakvog utjecaja (*npr. dinamika proizvodnje*).

Glavni projekt obuhvaća usvajanje (*određivanje i konačno prihvaćanje*):

- glavnih karakteristika i funkcija sustava,
- strukture sustava s obuhvaćenim komponentama,
- prostornog rasporeda i uzajamne ovisnosti komponenti,
- glavnih karakteristika i funkcija komponenti.

Pored toga, glavni projekt obuhvaća upute za rad, uključivo mjere sigurnosti, te predmjer ( *popis komponenti i radova*) i predračun (*cijene komponenti i radova*).

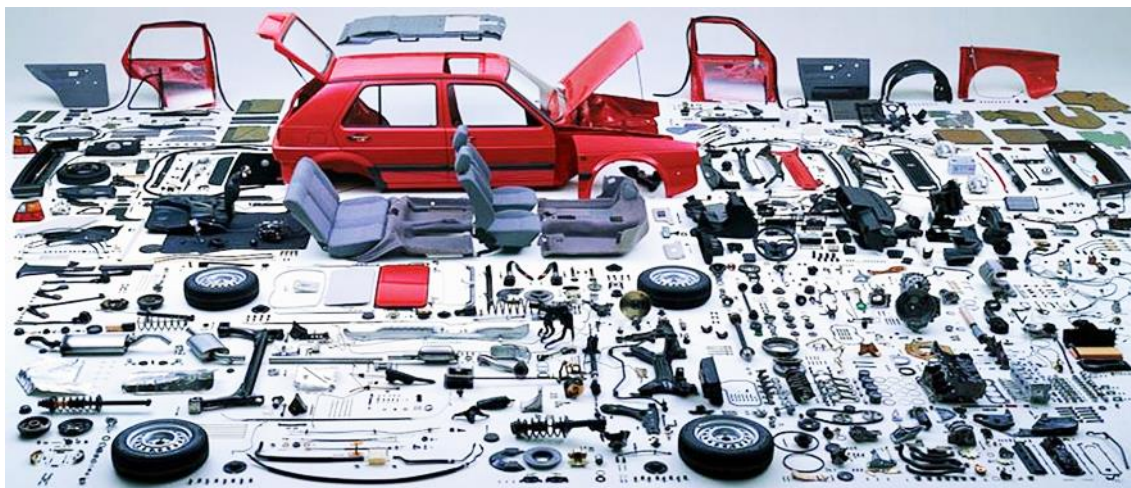
Na temelju predmjera i predračuna glavnog projekta zainteresirane tvrtke dostavljaju investitoru ponude za izgradnju koje se u pravilu otvaraju na licitaciji u prisutnosti svih zainteresiranih. Po završenoj izgradnji provodi se probni rad komponenti i sustava u cjelini te po tehničkom prijemu sustav pušta u pogon.

## 1.2 Elementi strojeva

### 1.2.1 Definicija i klasifikacija elemenata strojeva

Strojarski sustavi, ovisno o složenosti, obuhvaćaju manji ili veći broj komponenti koje obavljaju različite parcijalne funkcije omogućavajući time funkcioniranje (*obavljanje postavljenog zadatka*) strojarskog sustava kao cjeline.

Za razliku od termina „element stroja“ termini „strojarski sustav“ i „strojarska komponenta“ nisu jasno definiranog sadržaja na što se mora obratiti posebna pažnja kako ne bi dolazilo do nesporazuma. Na primjer, kod jednog motornog vozila je sustav samo vozilo čije su komponente motor SUI (*S Unutarnjim Izgaranjem*), sustav za upravljanje, .... U detaljnim analizama motor SUI se često promatra kao sustav (*pod sustav*) čije su komponente klip, glava motora, ....



## 10 Elementi strojeva 1

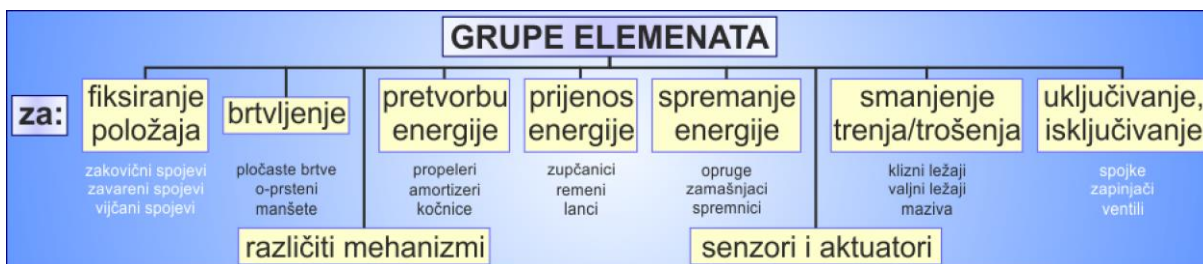
**Elementi strojeva** (*skraćeno, elementi*) osnovni su gradbeni dijelovi strojeva. Jednako su ili sličnog oblika i u različitim strojevima obavljaju jednake ili slične funkcije.

Svi izgrađeni strojarski sustavi obuhvaćaju brojne elemente koji imaju točno definirane funkcije, podređene efikasnom funkcioniranju sustava. Nije rijedak slučaj da otkaz samo jednog elementa dovede do zastoja u radu, čak i havarije cijelog strojarskog sustava, te svakom elementu treba posvetiti posebnu pažnju kako u fazi projektiranja tako i u fazi pogona.

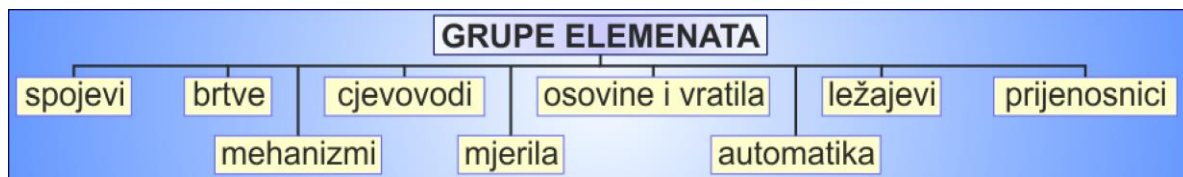
Paralelno s dugogodišnjom uporabom elementi su normirani – pored oblika utvrđeni su im i nizovi dimenzija.



Elementi se razvrstavaju u grupe na temeljima više različitih kriterija. Na primjer, prema funkciji, mogu se razlikovati grupe elemenata:



U predmetu Elementi strojeva 1 i 2 obrađeni su elementi po namjenskim grupama:



U Elementima strojeva 1 obrađene su grupe: spojevi, brtve i cjevovodi, dok su ostale grupe obrađene u Elementima strojeva 2.

Prema režimu rada razlikuju se:



Tipični su statički elementi: klin, svornjak, vijak s navrtkom, a tipični dinamički elementi: opruga, vratilo, kotrljajni ležaj, zupčani par.

Prema broju gradbenih dijelova razlikuju se:



Primjeri su jednodijelnih i višedijelnih elemenata:

Jednodijelni elementi			
vratilo	svornjak	klin	opruga
			
Višedijelni elementi			
vijak/navrtka	kotrljajni ležaj	ventil	zupčani par
			

Prema obimu primjene mogu se razlikovati:



Elementi opće namjene su elementi koji se upotrebljavaju kod niza različitih strojeva te šire i kod drugih strojarških sustava (*vijci, zakovice, pera, klinovi, vratila, osovine, opruge, zupčanici, ležajevi*). Elementi specijalne namjene su elementi koji se upotrebljavaju za obavljanje specifičnih zadataka kod određenih vrsta strojeva (*elementi motornih vozila, elementi dizaličnih mehanizama, elementi alatnih strojeva, elementi motora s unutarnjim izgaranjem, elementi parnih ili plinskih turbina, elementi hidrauličkih strojeva*). Strojarške se konstrukcije (*most, stup dalekovod*) izvode od dijelova opće namjene.

Elementi opće namjene su elementi koji se upotrebljavaju kod niza različitih strojeva te šire i kod drugih strojarških sustava:

Elementi za spajanje	Elementi za prijenos	Ostali elementi opće namjene
<ul style="list-style-type: none"> <li>• zavareni spojevi</li> <li>• lemljeni spojevi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• osovine i vratila</li> <li>• ležajevi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• opruge</li> <li>• amortizeri</li> </ul>



## 12 Elementi strojeva 1

<ul style="list-style-type: none"><li>• vijčani spojevi</li><li>• zakovični spojevi</li><li>• stezni spojevi</li><li>• oblikovni spojevi</li><li>• spojevi klinovima</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• spojke</li><li>• tarni prijenosnici</li><li>• remenski prijenosnici</li><li>• zupčani prijenosnici</li><li>• lančani prijenosnici</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• cijevi</li><li>• spojni elementi cijevi</li><li>• mjerila</li><li>• senzori</li><li>• aktuatori</li></ul>
--	---	---

Predmeti Elementi strojeva 1 i 2 obuhvaćaju za elemente opće namjene:

- osnove – definiciju, strukturu i nazivlje, funkcije, vrste i oznake te primjene;
- usvajanje – geometrijsko oblikovanje prikladno strukturi i funkciji, proračun s izborom materijala i konačno usvajanje u skladu s propisima i preporukama;
- primjenu – postupci izrade, primjeri, održavanje, odlaganje, pogreške, prednosti i nedostatci.

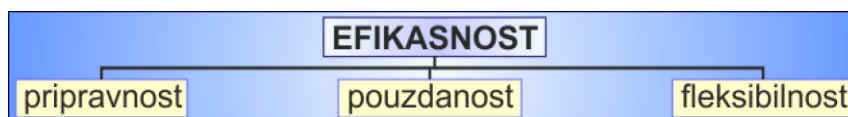
### 1.2.2 Zahtjevi, skice i specifikacije elemenata

U danas aktualnim uvjetima nesmiljene konkurencije posebna se pažnja mora posvetiti izboru optimalnog elementa koji ispunjava postavljene zahtjeve:



**Zahtjev funkcionalnosti** – element mora besprijekorno obavljati postavljeni zadatak.

**Zahtjev efikasnosti** obuhvaća:



- **Pripravnost** – element u svakom trenutku faze zastoja mora biti pripravan za obavljanje postavljenog zadatka pri ponovnom puštanju u rad (*npr. elementi agregata za dobivanje električne struje u bolnicama, elementi sustava sigurnosti alatnih strojeva, sigurnosni ventil električnog grijača vode, elementi crpki vatrogasnih vozila*),
- **Pouzdanost** – element mora obavljati postavljeni zadatak bez pojave nedozvoljenih odstupanja i kvarova (*npr. elementi sustava za gibanje robotske ruke, elektromotorni ventil za automatsku regulaciju režima rada generatora pare, elementi sustava za kočenje i upravljanje motornih vozila*) i
- **Fleksibilnost** – element mora obavljati postavljeni zadatak i u slučaju pojave poremećaja (*npr. elementi motora SUI, pneumatik motornog vozila*).

**Zahtjev tehnologičnosti** – element mora biti dovoljno jednostavan za izradu raspoloživim/dostupnim strojarskim tehnologijama.

**Zahtjev kvalitete** – svojstva proizvedenih elemenata smiju varirati samo u okvirima dozvoljenih granica.

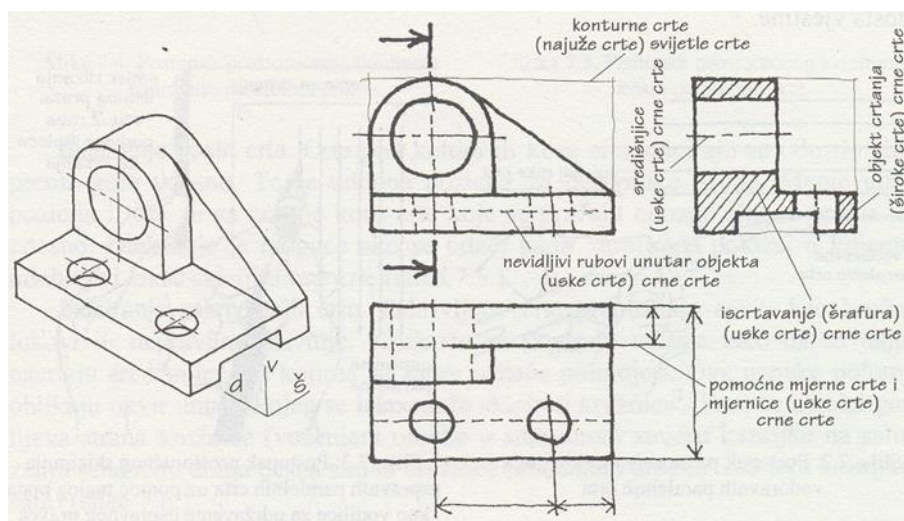
**Zahtjev rentabilnosti** – proizvodnja elemenata mora donositi dobit.



**Zahtjev ekoložnosti** – elementa tijekom skladištenja i korištenja, kao i po odlaganju nakon isteka njegovog vijeka trajanja ne smije štetno djelovati na okolinu.

## Skice i specifikacije elemenata

Skicama (*S-01.07*) se geometrije elemenata grafički opisuju u cilju olakšavanja komunikacije tijekom koncipiranja, razvoja, razrada, izrada, montaža, održavanja ili popravaka elementa. Osobito se često skice elemenata koriste u fazi koncipiranja i razvoja idejnih rješenja (*grafički opisi ideja*), nakon čega se izrađuju točni tehnički crteži.



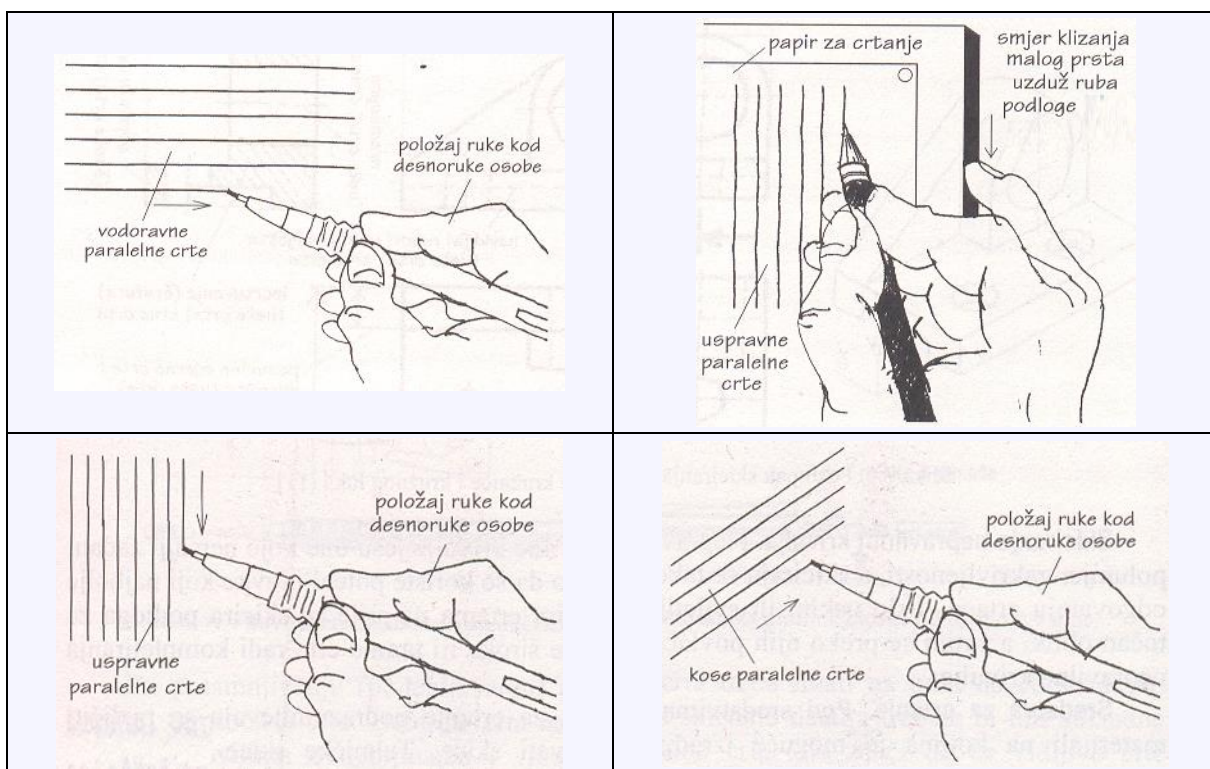
**Slika 01.07** Skica elementa [Kljajin (2010), str. 209]

Na skicama su najšire vidljive crte elemenata, srednje su široke skrivene crte, a najjuže su središnjice, mjernice i pomoćne mjerne crte te šrafura.

U pravilu, skice se izrađuju prostoručno, po pravilima tehničkog crtanja, bez korištenja pomoćnog pribora za izradu tehničkih crteža i računala. Za izradu skice potrebni su samo papir i olovka (*gumica za brisanje*). Slično pisanju, skiciranje je vještina koja se razvija vježbanjem.

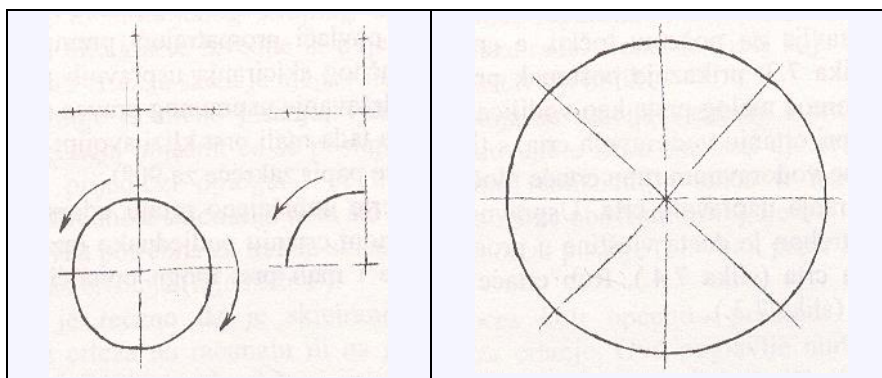
Skice se često koriste u razmjeni tehničkih informacija tijekom poslovnih sastanaka, u konstrukcijskim biroima, radionicama ili gradilištima. Koristi ih konstruktor za predstavljanje ideje, tehničar pri snimanju istrošenog/slomljenog elementa, stručnjak pri tumačenju detalja oblika ili izrade/montaže.

Pri crtanju ravnih crta (*S-01.08*), cijela ruka, zajedno s laktom, giba se slijeva udesno (*desnoruki*). Duge ravne crte mogu se točnije skicirati s više kraćih crta spojenih krajeva. Ako je položaj ravne crte nezgodan za skiciranje može se papir zaokrenuti. Za crtanje paralelnih linija se kao vodilica može koristiti rub podloge.



**Slika 01.08** Ispravno crtanje ravnih crta [Kljajin (2010), str. 209÷211]

Prije crtanja kružnice (*S-01.09*) nacrtaju se središnjice (*dvije ili više za veće kružnice*) i na njima se označe polumjeri te time dobiva okvir unutar kojeg se skicira kružnica. Prvo se skicira gornja lijeva strana kružnice uz gibanje olovke u suprotnom smjeru od kazaljke na satu, potom se crta donja desna strana uz gibanje olovke u smjeru kazaljke na satu. Potom se papir zaokreće i ponavlja postupak.



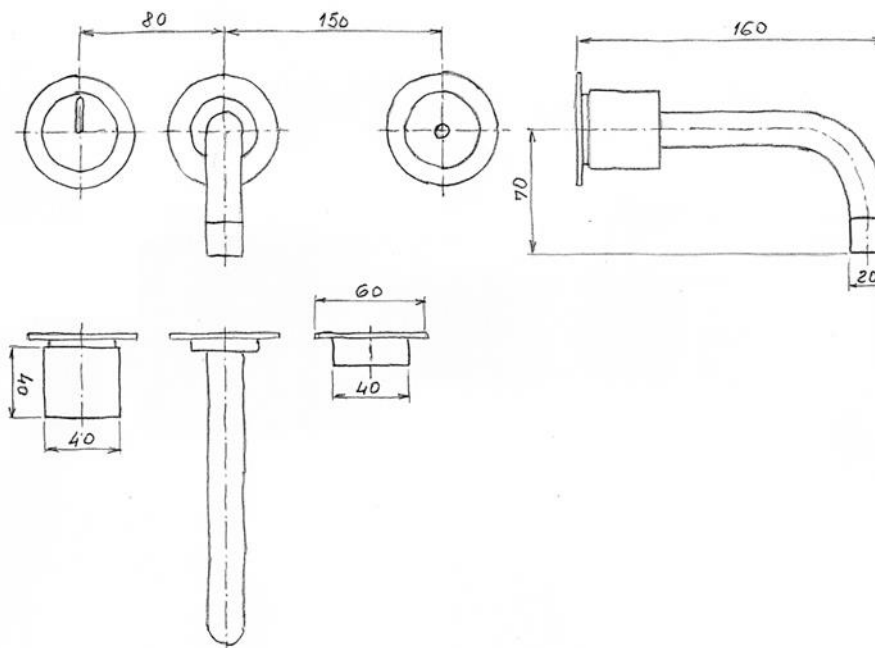
**Slika 01.09** Ispravno crtanje kružnica [Kljajin (2010), str. 212]

Nepravilne krivulje skiciraju se potezima olovke koji najbolje odgovaraju crtaču. Pri tom se prvo užim svjetlijim crtama skiciraju podloge za točne oblike preko kojih se potom povlače deblje tamne crte.

Detaljnije skiciranje obrađuje Kljajin [2010, str. 209÷232].

Skicama se prilažu specifikacije u kojima su napisane najvažnije opaske koje određuju element (*materijal, tehnologija izrade/montaže/demontaže*).

Kao primjer korištenja skice i specifikacije u razvoju elementa (*slavina za vodu*), na **S-01.10** je prikazana skica „električne“ slavine, po izgledu slične jednoj od slavina iz proizvodnog belgijske tvrtke VOLA (<http://www.vola.com/Gb/Home>), .



**Slika 01.10** Skica jednoručne miješaone slavine za kupaonu (*precrtati i dopuniti*)

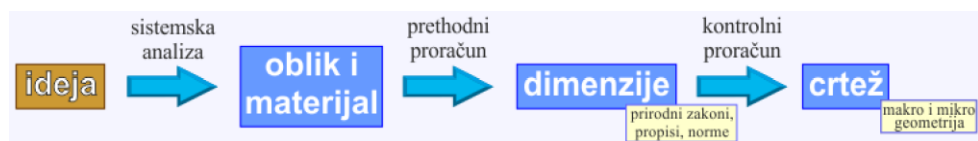
**Tablica 01.01** Specifikacija jednoručne miješaone slavine za kupaonu (*N – neophodno, P – poželjno*)

N	1	Izlaz je miješana topla/hladna voda, max. 10 L/min, pri 2 bar.
N	2	Normalna izlazna temperatura vode 60 °C, kratkotrajno je dozvoljeno 100 °C.
N	3	Hladna/topla voda se miješaju u mješaču s električnom regulacijom.
N	4	Izlazna temperatura vode se postavlja regulacijskim diskom ( <i>lijevo od ispusne cijevi</i> ).
N	5	Izlazni protok postavlja se regulacijskim diskom ( <i>desno od ispusne cijevi</i> ).
N	6	Protok vode se uspostavlja približavanjem ruke senzoru ( <i>desno od ispusne cijevi</i> ).
N	7	Maksimalni dozvoljeni tlak na ulazu u mješač je 10 bar.
N	8	Ventili mješača zatvoreni tijekom prekida napajanja električnom strujom.
P	9	Ispusna cijev je povezana s mješačem elastičnom cijevi D = 16 mm.
P	10	Mješač je povezan s toplom/hladnom vodom elastičnim cijevima D = 10 mm.
P	11	Izlazna temperatura vode se pri promjenama tlakova ne mijenja preko $\pm 2$ °C.
P	12	Ispusna cijev se može zamijeniti s drugom cijevi ( <i>dimenzije po narudžbi</i> ).
P	13	Mjerenje temperature.
P	14	Koristiti normirane ili komercijalno dostupne dijelove.
P	15	Diskove regulatora ( <i>uključivo senzor</i> ) i ispusnu cijev postaviti na zajedničku ploču.
P	16	Vijek trajanja 10 godina tijekom kojih je provedeno 300 000 operacija.
<i>analiza – sinteza – dopuna (S-01.05 i S-01.05)</i>		

### 1.2.3 Konstruiranje elemenata

U glavnom projektu sustava su utvrđene glavne karakteristike i funkcije komponenti što određuje podloge (*usvojeni zahtjevi*) za konstruiranje elemenata (*ako se komponenta ne kupuje na tržištu i ugrađuje u sustav*). – I/8-17,

Konstruiranje elementa temelji na usvojenim zahtjevima i obuhvaća geometrijsko oblikovanje i izbor materijala te utvrđivanje dimenzija na osnovu proračuna (*zakoni prirode, propisi i preporuke te stečena iskustva*), a konačni je rezultat konstruiranja usvojen element – crtež sa svim podacima potrebnim za njegovu izradu.



Po konstruiranju slijedi razrada tehnologije izrade, proizvodnja, kontrola te ugradnja i/ili prodaja elemenata.

Što se u procesima od ideja do odlaganje elementa kasnije uoči pogreška to je njeno otklanjanje složenije, dugotrajnije i skuplje. Imajući ovo u vidu, na samom početku konstruiranja dobro je izraditi idejno rješenje elementa temeljeno na sistenskoj analizi koje sadrži:

1. definiciju elementa – naziv, namjena, cilj, zadaci;
2. opis geometrije dijelova – skica s približnim osnovnim dimenzijama;
3. strukturu elementa – popis dijelova/područja s određenim funkcijama;
4. materijal – osnovni/prilagodbe;
5. tehnologija izrade dijelova – popis tehnoloških postupaka;
6. primjena elementa – montaža, sigurnost, održavanje, popravci, odlaganje.

Izrada kvalitetnog idejnog rješenja značajno olakšava dalje konstruiranje (*sa ili bez računalne podrške*) i na samom startu smanjuje vjerojatnost kasnijeg uočavanja grešaka.

Kako su usvojeni zahtjevi uzajamno ovisni, često i u suprotnosti, zadaća je konstruktora nalaženje najboljeg rješenja uz osobito fokusiranje na dva najvažnija zahtjeva:

- funkcionalnosti i
- rentabilnosti.

**Zahtjev funkcionalnosti** određuje oblik, materijal i dimenzije koji omogućavaju besprijekorno i dugotrajno funkcioniranje elemenata.

Oblici elemenata su određeni različitim specifičnim zahtjevima funkcionalnosti, a najčešće načinima gibanja elemenata (*npr. pravocrtno gibanje – ravne oblici, kružno gibanje – cilindrični oblici*). te uvjetima njihove montaže u sklopove i demontaže. Na primjer, oblici:

- elemenata cjevovoda su određeni zahtijevanim hidrodinamičkim otporima,
- opruga su određeni zahtijevanim dinamikama deformiranja,
- elemenata mehanizama određeni su zahtijevanom kinematikom gibanja,



- elementa koji se brzo gibaju u zraku (*karoserija motornog vozila*) određeni su zahtijevanim aerodinamičkim otporima.

Za aktualno opterećenje dimenzije su elementa određene izabranim materijalom i obrnuto – izbor materijala je određen aktualnim dimenzijama.

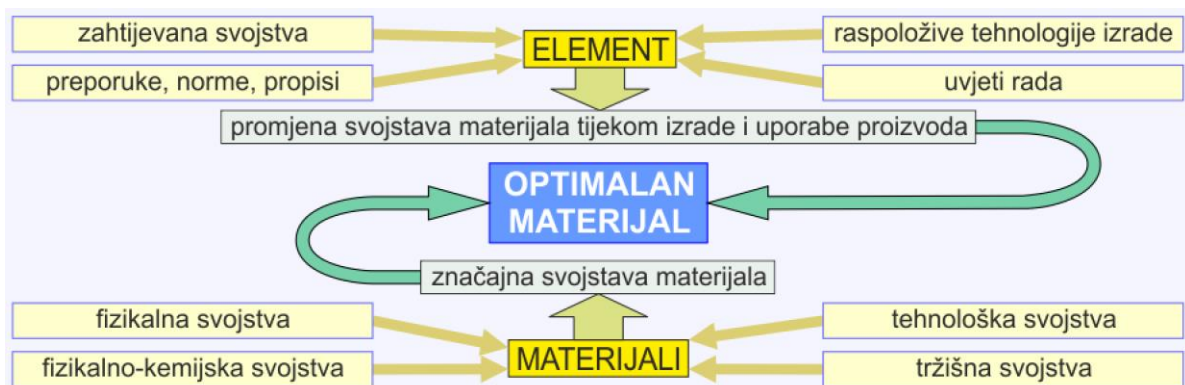
**Zahtjevi rentabilnosti** određuje oblik, materijal i dimenzije koji omogućavaju uspješnu prodaju elementa na tržištu. Danas tržište dugoročno prihvaća samo one elemente koji ispunjavaju brojne tehničke te estetske i ekološke zahtjeve potrošača, koji su visoke kvalitete, a pored toga su i jeftini.

## Izbor materijala

Izbor optimalnog materijala započinje s kvalitativnom analizom temeljenom na popisu zahtijevanih svojstava elementa i popisu raspoloživih materijala poznatih svojstava.

Sve jača konkurencija na tržištu nameće sve složenije zahtjeve konstruktorima koje je nemoguće ispuniti bez sustavnog pristupa izboru konstrukcijskog optimalnog materijala za izradu konstruiranog elementa. U sistemskoj analizi uzimaju se u obzir (*S 01.07*):

- svi značajni podaci o izrađivanom/izgrađivanom dijelu/sustavu (*npr. zahtijevana svojstva, tehnologija izrade, uvjeti rada*) i
- sva značajna svojstva raspoloživih materijala (*fizikalna, fizikalno-kemijska, tehnološka, tržišna*).



Slika 01.07 Sustavni izbor materijala

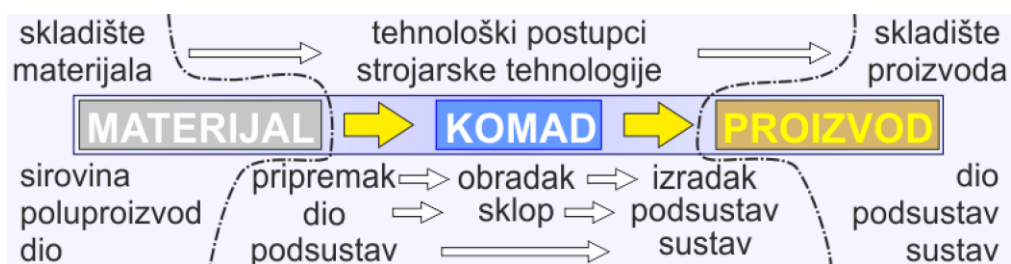
### 1.2.4 Izrada elemenata

Po usvajanju elementa (*konstruiranje* ⇒ *utvrđen oblik, materijal i dimenzije*) razrađuje se tehnološka lista s popisom niza tehnoloških postupaka potrebnih za izradu proizvoda.



Nazivlje strojarske tehnologije nije opće prihvaćeno u Hrvatskoj:

## 18 Elementi strojeva 1

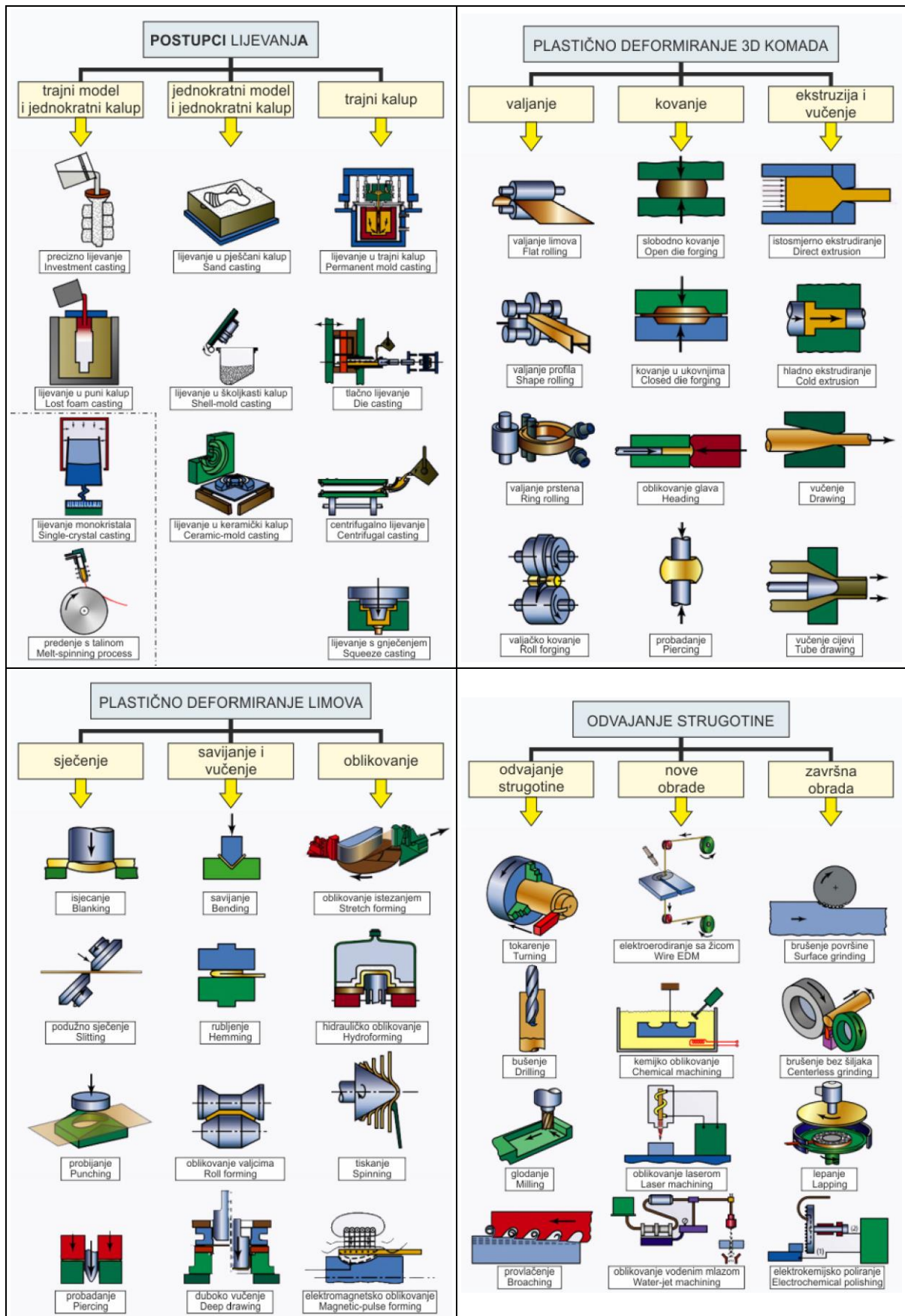


Prema DIN-u 8580 strojarski tehnološki postupci se dijele u tri razine, u glavne grupe, grupe i podgrupe. Šest su glavnih grupa (*s obzirom na stvaranje oblika, promjene oblika i promjene svojstva materijala*):

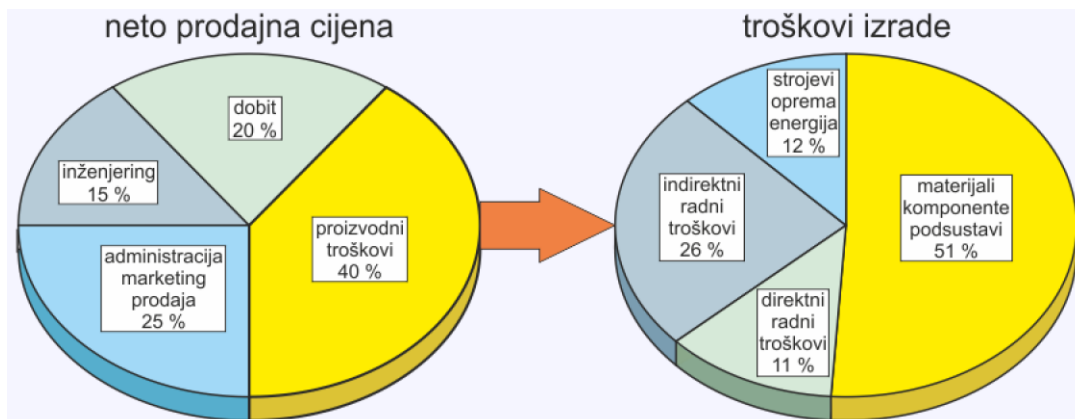
Broj	Postupak	Opis
1	Praoblikovanje	oblikovanje krutog tijela iz bezoblične tvari
2	Preoblikovanje	promjena oblika krutog tijela plastičnom deformacijom
3	Odvajanje	promjena oblika krutog tijela odvajanjem dijelova
4	Spajanje	spajanje komada
5	Prevlačenje	nanošenje čvrsto prionulog sloja
6	Promjena svojstva materijala	mijenjanje svojstva fizičko-kemijskim postupcima

Elementi se mogu izraditi različitim postupcima strojarske tehnologije (*nizovima postupaka*), a optimalni postupak za izradu aktualnog elementa se bira s kriterijem minimuma troškove izrada. Pri tom treba imati u vidu da o izboru postupka u velikoj mjeri ovise i svojstva elementa.

Element	Praoblikovanje ( <i>lijevanje</i> )	Preoblikovanje ( <i>prešanje</i> )	Odvajanje ( <i>tokarenje</i> )	Spajanje ( <i>zavarivanje</i> )
( <i>crtano SolidWorkom</i> )	(crtano CorelDrawom)			



Troškovi su izrade proizvoda:



Proizvodnja – proces pretvorbe ideje u gotov proizvod uz stvaranje viška vrijednosti.

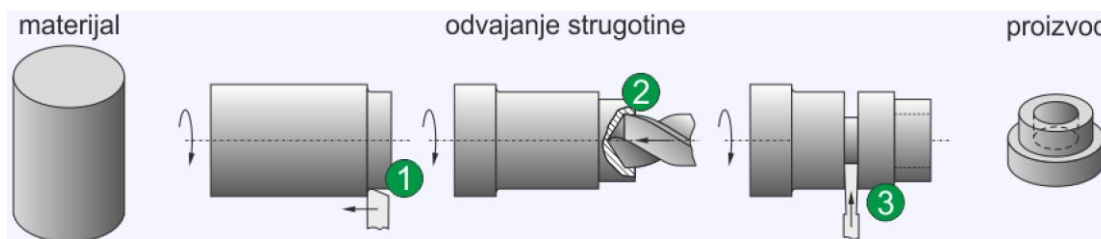
Strojarska tehnologija (proizvodna) – znanstvena i inženjerska disciplina koja obrađuje postupke prerade (fizičke, kemijske) materijala u proizvode.

Tehnološki proces – u širem smislu, odvijanje skupa tehnoloških postupaka kojima se tijekom proizvodnje materijalu/komadu mijenjaju: oblik i/ili dimenzije i/ili svojstva (fizička, kemijska) kako bi se izradio željeni proizvod.

Tehnološki proces – u užem smislu, odvijanje tehnološke operacije.

Tehnološki postupak – cjelovit skup tehnoloških operacija na jednom radnom mjestu (na primjer, obrada komada odvajanjem strugotine na tokarskom stroju).

Tehnološka operacija – osnovna jedinica tehnološkog procesa kod koje se aktivnosti odvijaju u kontinuitetu. Na primjer:

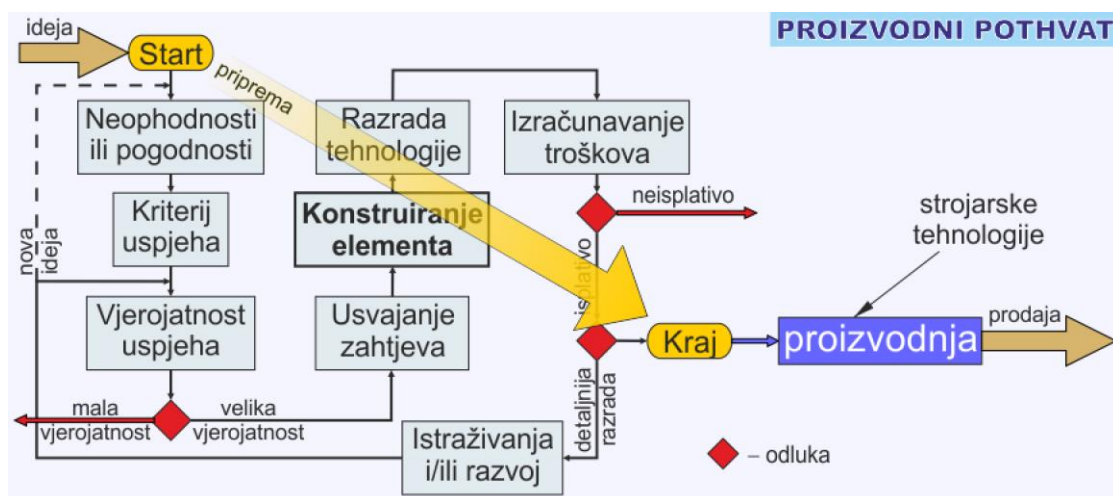


1. operacija: uzdužno tokarenje komada,
2. operacija: bušenje provrta u komadu,
3. operacija: odsijecanje komada.

## Proizvodni pothvat

**Proizvodni pothvat** – skup različitih aktivnosti u ostvarenju postavljenog cilja – provedbi ideje u djelo. Rezultat je uspješnog proizvodnog pothvata uhodana proizvodnja ugrađivanog i/ili prodavanog elementa.





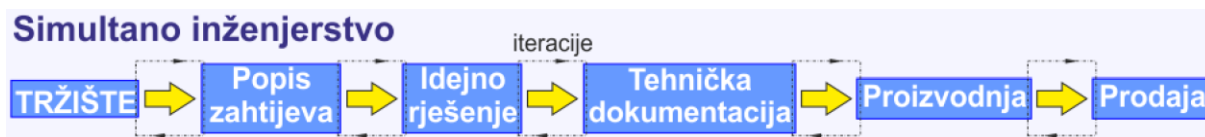
Složenim terminom "proizvodni pothvat", umjesto jednostavnim "proizvodnja", želi se ukazati na potrebnu hrabrost u radu usmjerenom na značajna djela. Teško je uspjeti, ali svakako treba stalno pokušavati riješiti uočeni značajni problem razrađenim i proizvedenim novim originalnim elementom. Do toga se svakako neće doći bez stjecanja temeljitih znanja iz konvencionalnih elemenata.

Za provedbu uspješnog pothvata od svega je najvažnija **dobra ideja**. Međutim, dalek je put od dobre ideje do njene uspješne provedbe u djelo. U pravilu je priprema opsežna i mukotrpna, ali proizvođače na temeljitu pripremu tjera nesmiljena konkurencija na tržištu. Morfologija proizvodnog pothvata ne razlikuje se bitno od morfologije izvedbe sustava.

Pri usvajanju zahtjeva svakako treba razlikovati utvrđene **neophodnosti** i **pogodnosti** koje se tijekom pripreme pothvata ipak u izvjesnoj mjeri mogu obrazloženo izmijeniti.

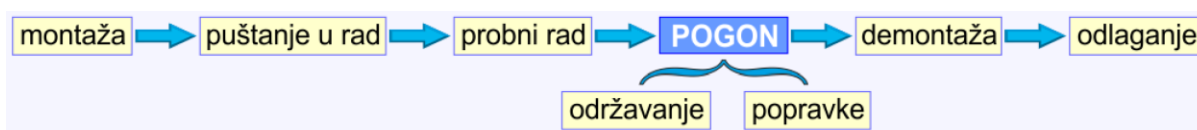


Razvoj proizvodnog pothvata ne završava s uhodanom proizvodnjom. Stabilna tvrtka se danas temelji na primjeni metoda "simultanog inženjerstva":



### 1.2.5 Vijek trajanja elemenata

Vijek trajanja elementa obuhvaća faze:



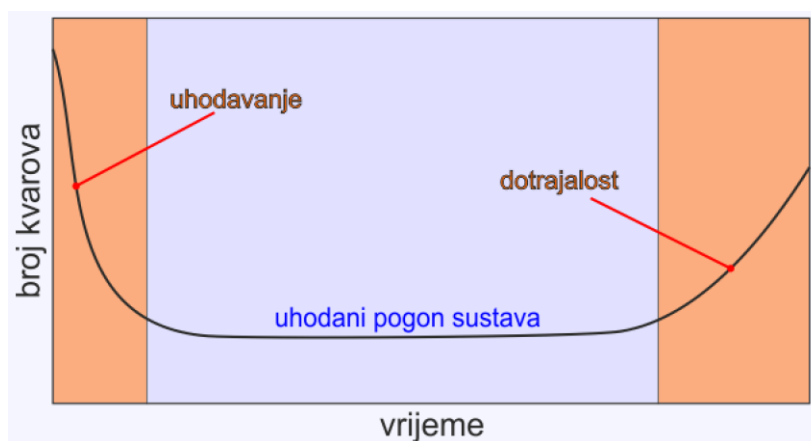
Tijekom pogona smjenjuju se:

- (a) faza rada i
- (b) faza zastoja.

Kvalitetnim preventivnim održavanjem teži se u najvećoj mogućoj mjeri izbjeći faze zastoja koje su rezultati kvarova a ne odsustva potreba. U krajnjoj liniji, kvar samo jednog elementa može dovesti do zastoja veoma složenog sustava te uzrokovati štete koje daleko premašuju vrijednost elementa. Prema tome, tijekom korištenja treba posvetiti punu pažnju preventivnom održavanju.

Učestalost kvarova tijekom korištenja elementa može se prikazati slijedećim dijagramom (S 01.08). Bilo bi idealno kada bi svi elementi sustava dotrajali za približno isto vrijeme, ali se to vrlo rijetko može postići. Tome se može u izvjesnoj mjeri približiti zamjenom pojedinih elemenata nakon određenog vremena pogona sustava. (*npr. pneumatici motornih vozila*).

Po isteku vijeka trajanja u sustavu često je prisutan veći broj elemenata koji bi se još dugo vremena mogli koristiti. Takve bi elemente po demontaži trebalo prikupiti i ponovo koristiti. Elemente koji su dotrajali treba prikupiti i reciklirati, a tek ako to nije moguće odložiti ih na način koji će biti najmanje štetan po okolinu.



**Slika 01.08** Učestalost kvarova tijekom korištenja elementa

Primjeri su vjekova trajanja:

Proizvod	Trajanja, god	Proizvod	Trajanja, god
automobilski akumulator	4	plinski grijač vode ( <i>bojler</i> )	12
stolno računalo	4	perilica za rublje	13
sušilica za kosu	5	električni grijač vode ( <i>bojler</i> )	14
putnički automobil	8	uređaj za klimatizaciju	15
perilica za suđe	10	hladnjak	17
usisač za prašinu	10	kotao za centralno grijanje – plinski	18

### 1.2.6 Patentiranje

**Patent** – pravna isprava kojom se štiti neki izum (*novo, originalno tehničko rješenje nekog problema*): (a) prostorno (*u zemljama u kojima je prijava prihvaćena*) i (b) vremenski (*do dvadesetak godina*).

Detaljnije patentiranje obrađuje Alfirević [1996, str. 1053–1060].

U Hrvatskoj je patentiranje u nadležnosti Državnog zavoda za intelektualno vlasništvo Republike Hrvatske <http://www.dziv.hr/>.

### *Patent*

[http://www.dziv.hr/files/File/obrasci/patent/brosura\\_patent.pdf](http://www.dziv.hr/files/File/obrasci/patent/brosura_patent.pdf)

### **Što je patent?**

Patent je isključivo pravo priznato za **izum** koji se odnosi na proizvod, postupak ili primjenu u bilo kojem području tehnike ili tehnologije te nudi novo rješenje nekog tehničkog problema. ...

### **Kako se priznaje patent?**

Prvi korak u postupku za priznanje patenta je podnošenje **prijave patenta**. Prijava patenta općenito sadrži naziv izuma kao i naznaku tehničkog područja izuma, mora sadržavati opis prethodnog stanja tehnike i jasan opis rješenja prema izumu s dostatnim pojedinostima kako bi se stručna osoba s prosječnim poznavanjem tog tehničkog područja mogla koristiti tim izumom ili ga izraditi. Uobičajeno je opis izuma popraćen crtežima, planovima ili dijagramima, ...

### **Koji se izumi mogu štititi?**

... Izum mora biti **praktički (industrijski) primjenljiv**, to jest ne smije biti isključivo teorijske prirode, i mora imati element novosti, to jest neku **novu karakteristiku** koja u vrijeme podnošenja prijave patenta nije poznata prema postojećem znanju tehničkog područja kojem pripada. ... Izum, nadalje, mora imati inventivnu razinu do koje logičkim zaključivanjem ne bi mogla doći osoba s prosječnim stručnim poznavanjem toga tehničkog područja. ...

### *Žig*

[http://www.dziv.hr/files/File/obrasci/zig/brosura\\_zig.pdf](http://www.dziv.hr/files/File/obrasci/zig/brosura_zig.pdf)

### **Industrijski dizajn**

[http://www.dziv.hr/files/File/obrasci/industrijski/brosura\\_dizajn.pdf](http://www.dziv.hr/files/File/obrasci/industrijski/brosura_dizajn.pdf)

## **1.3 Podloge iz fizike i matematike**

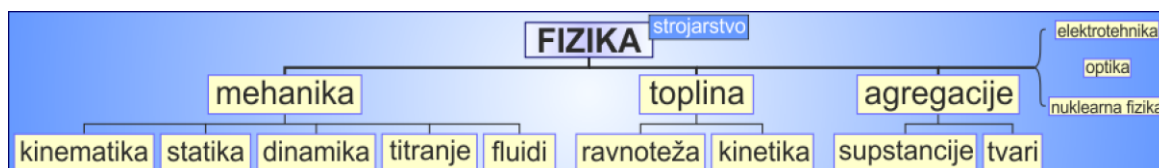
### **1.3.1 Fizika i fizičke veličine**

**Fizika** je temeljna prirodna znanost koja prije svega eksperimentalno istražuje i opisuje zakonitosti najjednostavnijih oblika:

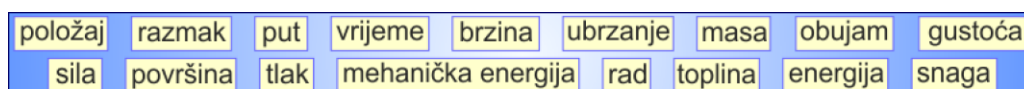
- (a) pojavljivanja materije (*fizički sustavi*) i
- (b) gibanja materije (*fizički procesi – mikro/makro pristup*).

Eksperimentalna istraživanja se provode na prirodnim i/ili umjetnim fizičkim sustavima (*laboratorijski pokusi*). Fizika formira temelje za analizu svih drugih složenijih sustava i oblika

gibanja materije u prirodi (*kemija, biologija*) i temelje za razvoj tehničkih znanosti (*strojarstvo, elektrotehnika, građevinarstvo, kemijske tehnologije*).



Fizičke veličine su pokazatelji kojima se opisuju stanja fizičkih sustava i procesa koji se u njima odvijaju.



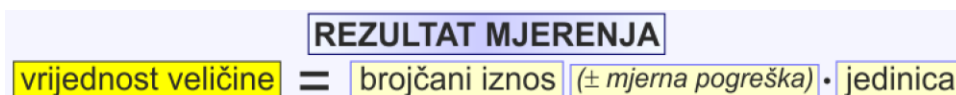
Izvori su vrijednosti fizičkih veličina:



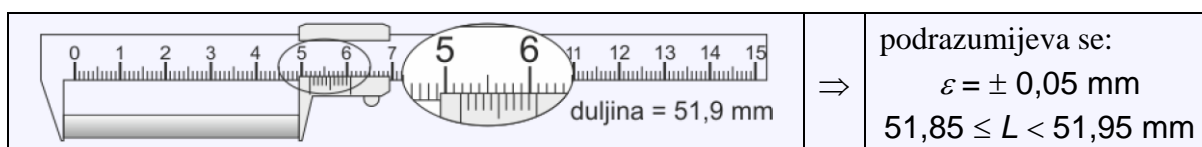
Mjerenja se obavljaju ako za izračunavanja nedostaju potrebni podaci te ako je postupak izračunavanja nepoznat previše kompliciran.

**Mjerenje** je neposredno ili posredno određivanje brojčanih iznosa koji pokazuju koliko puta mjerena veličina sadrži u sebi istovrsnu jediničnu veličinu, dogovorom utvrđenu kao mjernu jedinicu (*metar, sekunda, kilogram, njutn...*). Na primjer, 3,2 m znači da je izmjerena duljina 3,2 puta veća od duljine međunarodnog standarda za 1 metar. Provedba brojnih mjerenja je detaljno opisana u odgovarajućim normama.

Rezultat mjerenja skalarne veličine obuhvaća:



**Mjerna pogreška** ( $\pm \varepsilon$ ) – odstupanje rezultata mjerenja od istinite vrijednosti veličine ovisi o korištenoj mornoj opremi i provedenom postupku mjerenja (*norme*). Bez posebne napomene podrazumijeva se odstupanje posljednje znamenke aktualnoga brojčanog iznosa za  $\pm 0,5$  (*npr. 1 km = 0,5 ± 1,5 km; 1000 m = 999,5 ± 1000,5 m*).

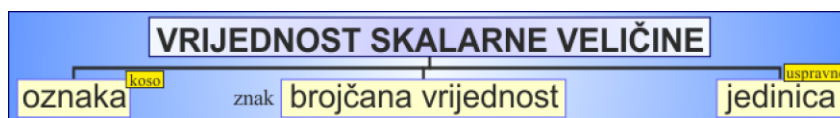


## Skalarne i vektorske veličine

**Skalarne veličine** (*dimenzije, obujam, gustoća, masa, rad, energija, snaga*) – vrijednosti skalarne veličine se opisuju (*zapisuju*): oznacom skalarne veličine ( $a \times b \times h$ ,  $V$ ,  $\rho$ ,  $m$ ,  $W$ ,  $E$ ,  $P$  – *kosa slova*),



brojčanim iznosom (uključujući predznak, npr.  $-0,54$  – uspravno;  $+$  se ne navodi i podrazumijeva se) i jedinicom ( $m, s, kg, J, W$  – uspravna slova).



Na primjere:

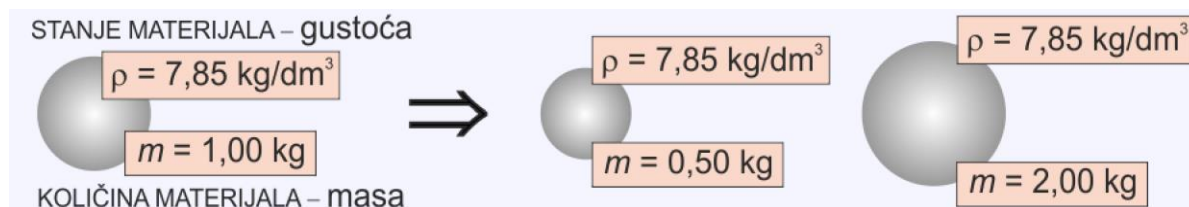
vrijednost skalarne veličine	=	brojčani iznos	·	jedinica	$m =$	$2,00$	·	$kg$
$X$	=	$\{X\}$	·	$[X]$	$\Rightarrow m =$	$2,00$	·	$kg$
$m$	=	$\{m\}$	·	$[m]$		$\{m\} = 2,00$		$[m] = kg$

Uobičajeni je opis količine: masa (*vrijednost veličine*) je dva kilograma.

Ispravnim se označavanjem izbjegavaju moguće zabune:  $[s] = m$ ,  $[t] = s$ ,  $[m] = g$ . Uobičajeno se ne navode i podrazumijevaju znakovi množenja ( $\cdot$ ) između brojčanog iznosa i jedinice ( $2\text{ kg}$ , a ne  $2\cdot\text{kg}$ ), između jedinica ( $4\text{ kg}\cdot\text{m}$  je ipak bolje od  $4\text{ kgm}$ ), između decimalnih višekratnika i jedinica ( $2\cdot 10^3\text{ g}$ , a ne  $2\cdot 10^3\text{ g}$ ), te između kratica decimalnih višekratnika i jedinica ( $2\text{ kg}$ , a ne  $2\text{ k}\cdot\text{g}$ ).

Jedan dio skalarnih veličina ima samo pozitivne vrijednosti veličina (*dužina, širina, visina, masa, snaga, "apsolutna" temperatura*), drugi i negativne (*temperatura, rad, toplina*).

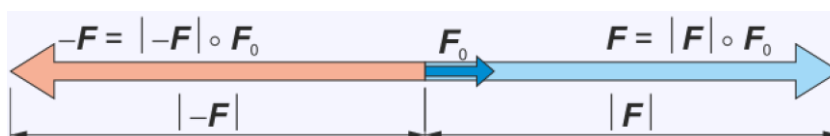
Primjeri su skalarnih veličina gustoća (*svojstvo materijala*) i masa (*svojstva tijela*):



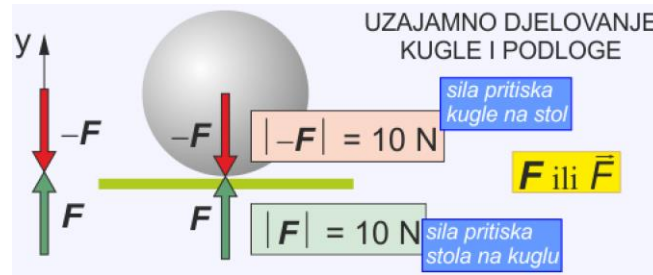
**Vektorske veličine** (*položaj, brzina, ubrzanje, sila*) – nisu dovoljne (*kao kod skalarnih*): oznaka ( $v, a, F$  – *debla kosa slova, ili strelice iznad kosih slova,  $\vec{v}, \vec{a}, \vec{F}$  što je pogodnije kod rukopisa*), brojčani iznos ( $s$  predznakom) i jedinica ( $m, m\cdot s^{-2}, N$ ). Potrebna je i informacija o pravcu djelovanja.



Određivanje predznaka podrazumijeva prethodno određen pozitivan smjer pravca djelovanja, što se na skicama najčešće opisuje strelicom na pravcu u pozitivnom smjeru ( $y os$ ), ili s jediničnim vektorom – “ortom” ( $r_0, a_0, F_0$ ).



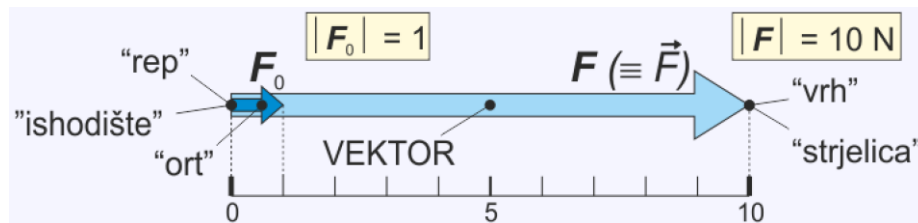
Na primjer, vektorska je veličina sila kojom se opisuje uzajamno djelovanje kugle i stola (sila kojom kugla djeluje na stol – akcija, odnosno, sila kojom stol djeluje na kuglu – reakcija):



Određivanje predznaka podrazumijeva prethodno određen pozitivan smjer pravca djelovanja, koji se označava strjelicom, ili s jediničnim vektorom – "ortom".

### Nazivlje i zbrajanje vektora

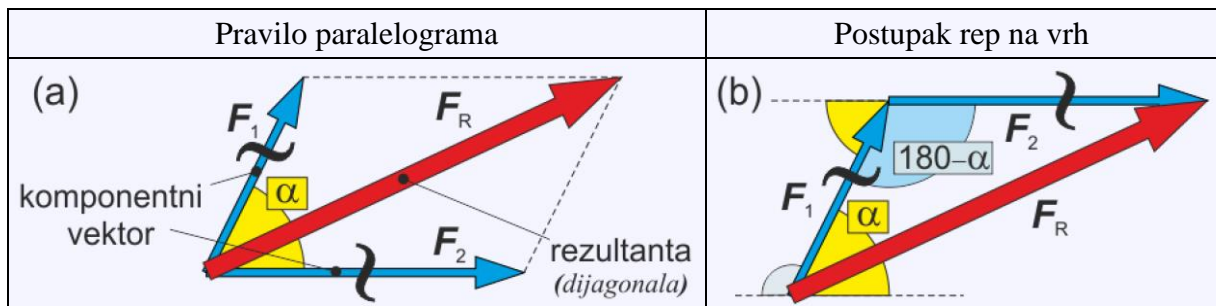
Vektori se u pravilu crtaju u prikladnom omjeru:



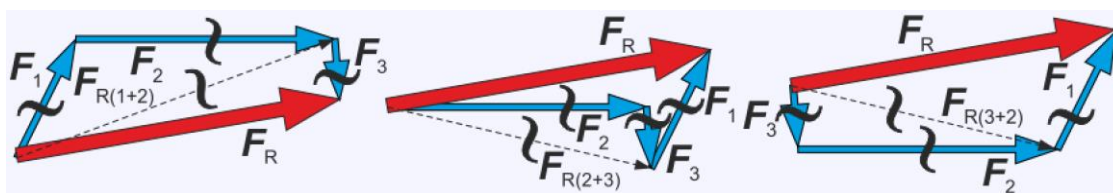
**Geometrijski** se vektori zbrajaju:

- (a) prema pravilu paralelograma ili
- (b) postupkom "rep na vrh".

Kod postupka rep na vrh redosljed zbrajanja nije bitan, a rezultanta zatvara poligon i ima suprotan smjer (spojeni su: rep rezultante i rep prvog vektora, te vrh rezultante i vrh posljednjeg vektora). Rezultanta zamjenjuje zbrojene komponentne vektore, te je treba prekrižiti, zbog smanjenja vjerojatnosti pojave grubih pogrešaka (djeluje ili rezultanta ili komponentni vektori, ne rezultanta i komponentni vektori).

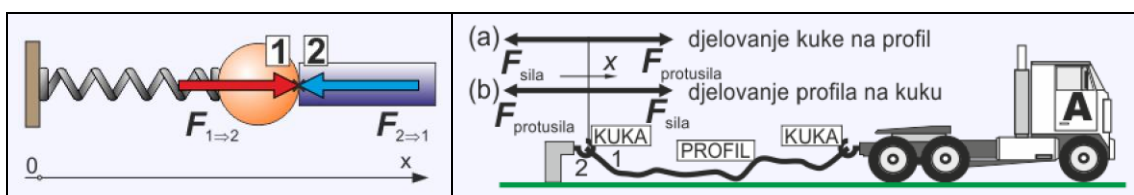


Geometrijski se mogu zbrojiti i tri ili više vektora, pri čemu dolazi do izražaja prednost postupka rep na vrh.



### 1.3.2 Newtonovi zakoni i mehanička ravnoteža

**Zakon sile i protusile** (treći Newtonov zakon): sila (akcija) i protusila (reakcija) imaju jednake pravce djelovanja, a različite smjerove te jednake intenzitete (uvijek pozitivan):



Izraz je ravnoteže **vektora sile**:

$$\mathbf{F}_{1 \rightarrow 2} + \mathbf{F}_{2 \rightarrow 1} = 0 \quad \mathbf{F}_{1 \rightarrow 2} = -\mathbf{F}_{2 \rightarrow 1}$$

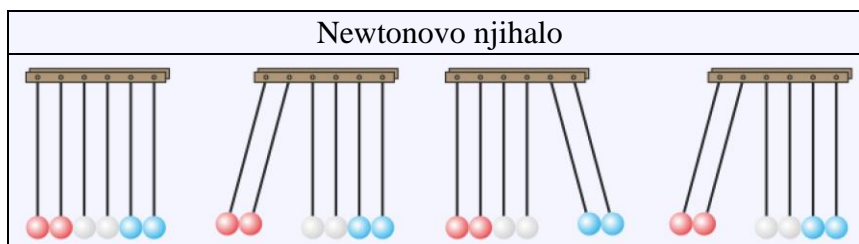
Kada su **intenziteti sile** ( $|F|$ ) jednaki:

$$|\mathbf{F}_{1 \rightarrow 2}| = -|\mathbf{F}_{2 \rightarrow 1}| \quad [|\mathbf{F}|] = \text{N}$$

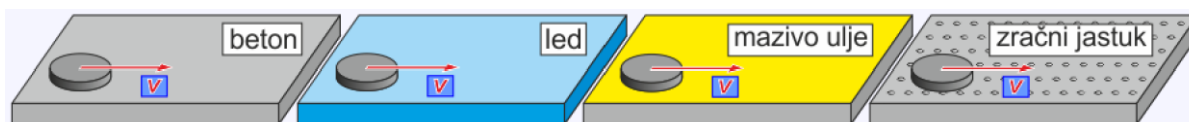
Ako sile djeluju duž istog pravca mogu se koristiti komponente sile ( $F$ ):

$$F_{1 \rightarrow 2} + F_{2 \rightarrow 1} = 0 \quad F_{1 \rightarrow 2} = -F_{2 \rightarrow 1}$$

**Zakon inercije** (prvi Newtonov zakon): stanje gibanja se ne mijenja (vlada ravnoteža) ako je rezultanta sile koje djeluju na tijelo jednaka nuli. (tijelo miruje ili se giba jednoliko pravocrtno):



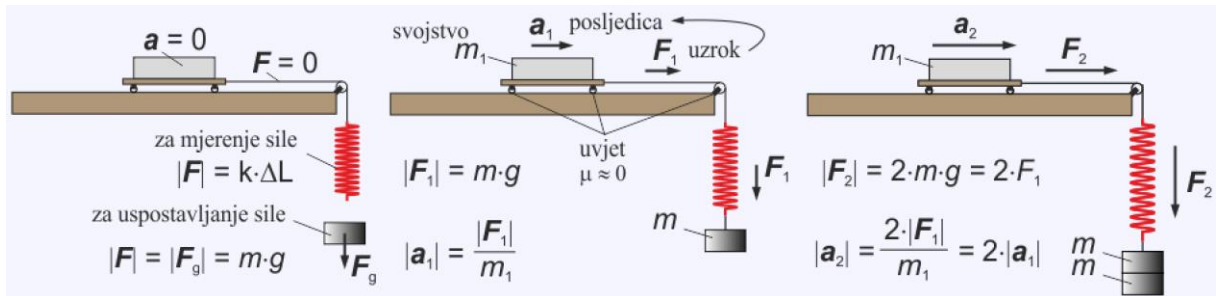
Najčešći je uzrok zaustavljanja tijela koje se giba trenje.



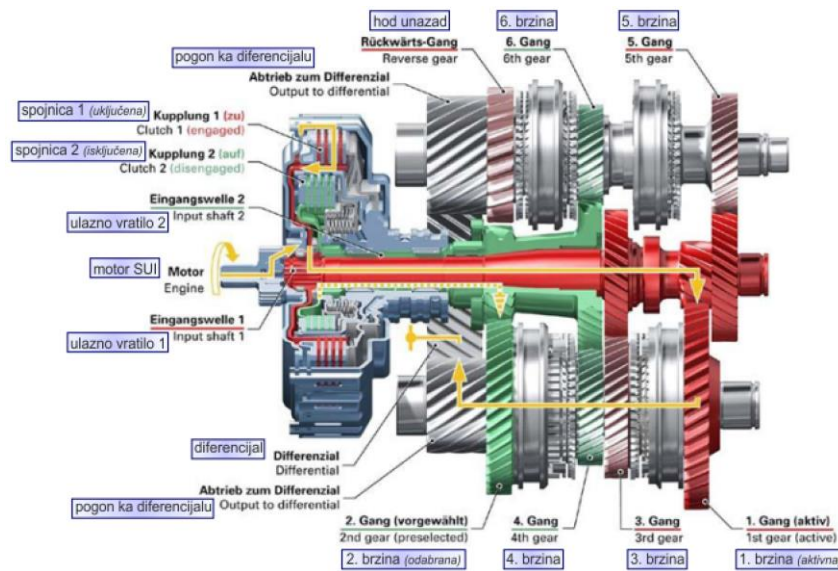
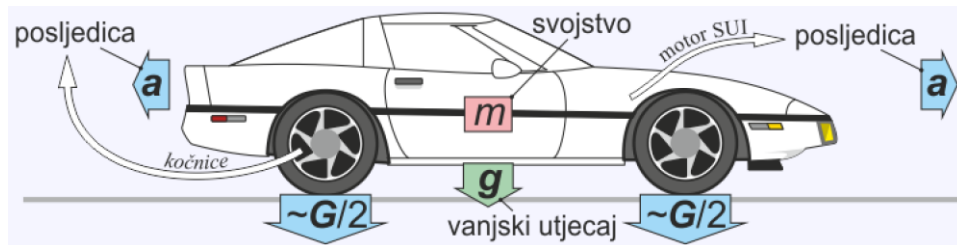
**Zakon gibanja** (drugi Newtonov zakon): ubrzanje tijela (vektor) izravno je razmjerno sili (rezultanta) koja djeluje na tijelo, a obrnuto je razmjerna masi tijela (skalarni pokazatelj otpornosti tijela promjeni stanja gibanja). Pravac i smjer ubrzanja se uvijek poklapaju s pravcem i smjerom sile koja ga uzrokuje.

Vektorski je izraz zakona gibanja:

$$a_R = \frac{F_R}{m} \quad \left[ a \right] = \frac{N}{kg} = \frac{kg \cdot m \cdot s^{-2}}{kg} = m \cdot s^{-2}$$



Bez razumijevanja Newtonovih zakona nije moguće razumijevanje strojarških sustava, na primjer, motornog vozila (što se zbiva pri ubrzanju a što pri usporavanju) ili mjenjača (što se zbiva sa zupčanicima kada se vozilo zaustavi bez gašenja motora, a što se motor ugasi a vozilo nastavi gibati), te ni konstruiranje ugrađenih elemenata.



### Mehanička ravnoteža

Tijelo u stanju ravnoteže sila miruje – rezultanta sila koje djeluju na tijelo jednaka je nuli. Vektorski se stanje ravnoteže opisuje jednažbom:

$$F_R = \sum F_i = 0$$

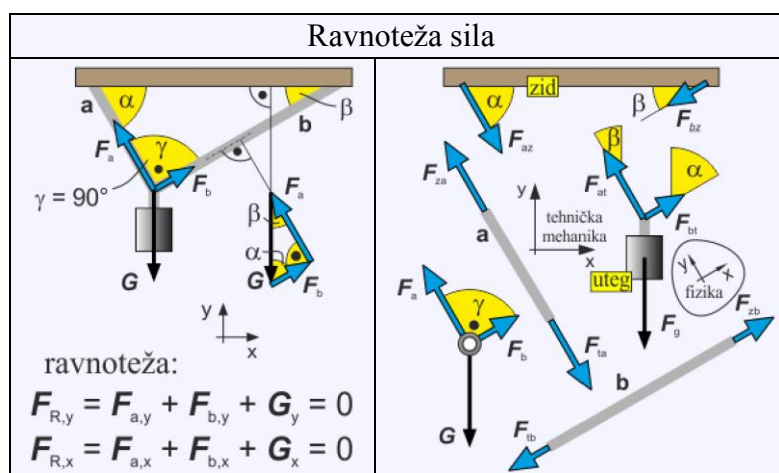
U tehničkoj se mehanici vektori u pravilu vektori prije početka izračunavanja razlažu na vektorske komponente na pravcima paralelnim s koordinatnim osima.

$$\mathbf{F}_{R,x} = \sum \mathbf{F}_{i,x} = 0 \quad \mathbf{F}_{R,y} = \sum \mathbf{F}_{i,y} = 0 \quad \mathbf{F}_{R,z} = \sum \mathbf{F}_{i,z} = 0$$

Pri rješavanju problema ravnoteže treba:

1. postaviti pogodan **koordinatni sustav**,
2. odrediti aktualno tijelo i
3. formirati **dijagram sila slobodnog tijela** za aktualno tijelo.

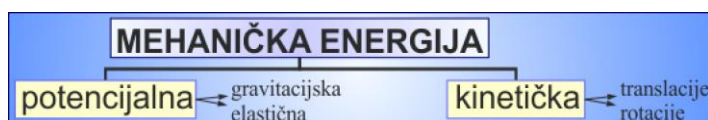
**Dijagram sila slobodnog tijela** – grafički prikaz tijela u kome su djelovanja okoline na tijelo zamijenjena vektorima sila.



### 1.3.3 Mehanička energija, rad i snaga

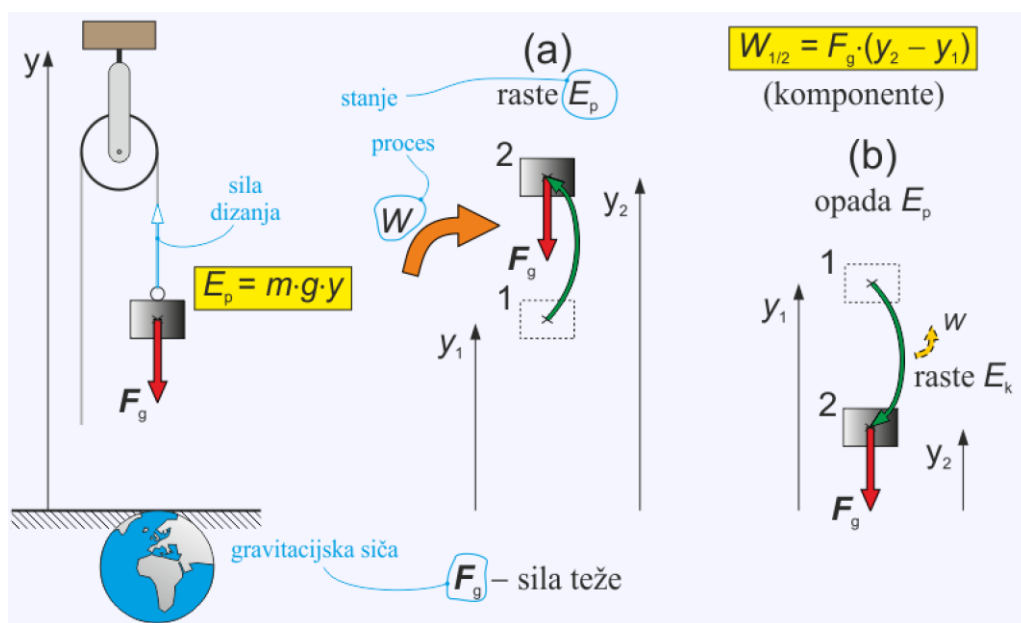
Generalizirano, **energija**,  $J$  – skalarna veličina kojom se opisuje sposobnost sustava da izvrši promjene u okolini.

**Mehanička energija**  $E_m$ ,  $J$  – skalarna veličina kojom se opisuje sposobnost tijela za obavljanje mehaničkog rada. Mehanička energija se razmjenjuje između sustava pri čemu može mijenjati oblik pojavljivanja.



**Potencijalna energija**  $E_p$ ,  $J$  – skalarna veličina kojom se opisuje energija određena položajem tijela.





Slika 01.09 Potencijalna energija i promjene potencijalne energije

Potencijalnom energijom se opisuje stanje tijela, pri čemu je prisutan izvjestan stupanj neodređenosti – neophodno je utvrditi referentni sustav. Na S 01.09 je to jednostavno površina tla u odnosu na koju se mjeri visina. Prema tome, ako se mijenja referentna površina mijenja se i potencijalna se energija (*referenti nadmorska visina 0 ili centar Zemlje nisu praktični*).

**Rad** (*skalarna veličina kojom se opisuje razmjena mehaničke energije između sustava i okoline*) – skalar- ni proizvod sile i pomaka:

$$W = \mathbf{F} \circ \Delta \mathbf{r}$$

(a) ako se pravac sile i pravac pomaka poklapaju:

$$\Delta \mathbf{r} = s \quad W = F \cdot s \quad [W] = [F \cdot s] = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J}$$

(b) ako su pravac sile i pravac pomaka pod kutom  $\alpha$ :

$$W = F \cdot s \cdot \cos \alpha$$

(c) u infinitezimalnom obliku:

$$W_{1/2} = \int_1^2 \mathbf{F} \circ d\mathbf{r}$$

<p>skalar <math>m = 10 \text{ kg}</math></p> <p>komponenta <math>G = 100 \text{ N}</math></p> <p><math>1 \text{ m}</math></p> <p><math>\alpha = 180^\circ</math></p> <p><math>F_g</math></p> <p><math> F_g  = 100 \text{ N}</math></p> <p>intenzitet</p>	<p><math>2 \text{ m}</math></p> <p><math>G = 100 \text{ N}</math></p>	<p><math>2 \text{ m}</math></p> <p><math>G_1 = G_2 = 100 \text{ N}</math></p>
$W = F \cdot s = 100 \cdot \text{N} \cdot 1 \cdot \text{m} \cdot (-1)$ $W = -100 \text{ J}$	$W = 100 \cdot \text{N} \cdot 2 \cdot \text{m} \cdot (-1)$ $W = -200 \text{ J}$	$W = 200 \cdot \text{N} \cdot 2 \cdot \text{m} \cdot (-1)$ $W = -400 \text{ J}$

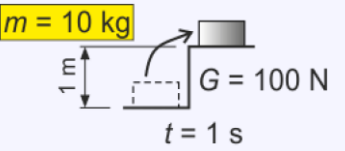
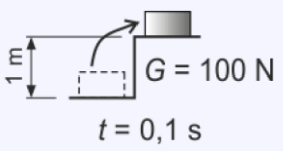
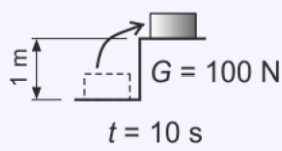
Radom se opisuje razmjena energije između dva sustava (*npr. tereta i dizalice*) ili sustava i okoline (*npr. deformiranje podloge pri spuštanju tereta*).

**Snaga** (skalarna veličina kojom se opisuje razmjena mehaničke energije između sustava i okoline) – skalarna veličina kojom se opisuje brzinu obavljanja rada:

$$P = \left| \frac{W}{t} \right| \quad [P] = \left[ \left| \frac{W}{t} \right| \right] = \frac{J}{s} = W$$

U infinitezimalnom obliku:

$$P = \left| \frac{dW}{dt} \right| \quad \Rightarrow \quad W_{1/2} = \int_1^2 P \cdot dt$$

 <p><math>m = 10 \text{ kg}</math> <math>G = 100 \text{ N}</math> <math>t = 1 \text{ s}</math></p>	 <p><math>G = 100 \text{ N}</math> <math>t = 0,1 \text{ s}</math></p>	 <p><math>G = 100 \text{ N}</math> <math>t = 10 \text{ s}</math></p>
$P = \left  \frac{W}{t} \right  = \frac{100 \cdot J}{1 \cdot s}$ $P = 100 \text{ W}$	$P = \frac{100 \cdot J}{0,1 \cdot s}$ $P = 1\,000 \text{ W} = 1 \text{ kW}$	$P = \frac{100 \cdot J}{10 \cdot s}$ $P = 10 \text{ W}$

**Kinetička energija**  $E_k$ , J – skalarna veličina kojom se opisuje energija određena masom i brzinom tijela.

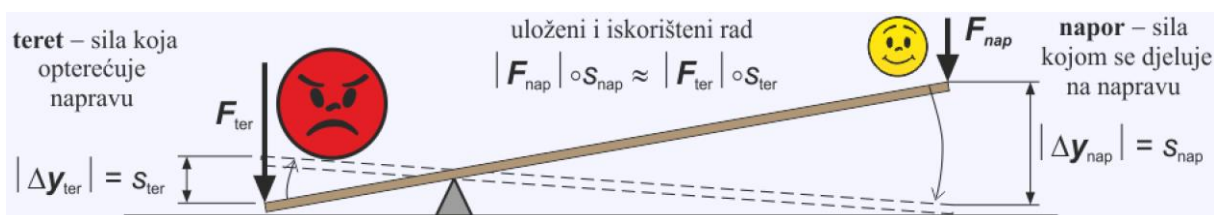
$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad [E_k] = \text{kg} \cdot (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})^2 = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m} = \text{J} \cdot \text{m} = \text{W}$$

Prema tome, ako tijelo miruje ( $v = 0$ ) kinetička mu je energija tijela, međutim, potencijalna je energija tijela jednaka nuli samo ako mu se težište nalazi u referentnoj ravnini. Kao i u slučaju potencijalne energije, za jasnu analizu mora biti utvrđen referentni sustav.

### 1.3.4 Korisnost i učinkovitost

Korištenjem **mehaničkih naprava** (najjednostavniji mehanički strojevi) smanjuje se sila potrebna za obavljanje rada.

Najčešće korištena mehanička naprava je **poluga**, koja omogućava dizanje tereta ( $F_{\text{ter}}$ ) sa značajno manjim naporom ( $F_{\text{nap}}$ ). Bez korištenja poluge, ili neke druge prikladne naprave, nije moguće podizanje tereta silom koja je manja od njegove težine.



Za uspješno obavljanje rada naprava (poluga) mora imati prikladna svojstva. Kod elastične poluge javljaju se određeni gubici – može se obaviti manje rada dizanja nego s idealiziranom krutom polugom, odnosno, teret se može podići na manju visinu jer je dio rada uložen u elas-

tičnu deformaciju poluge. S prekomjerno elastičnom polugom ne može se teret niti odvojiti od tla.

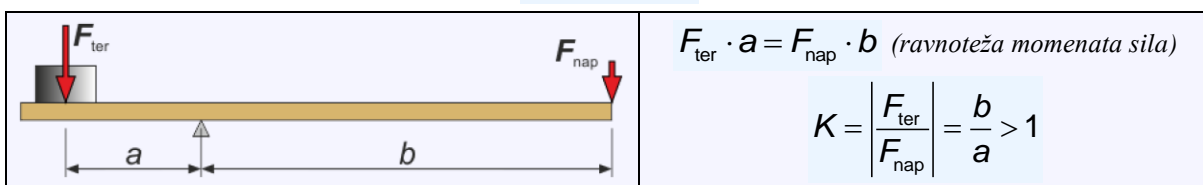


**Korisnost** – veličina kojom se opisuje u kojoj je mjeri smanjena potrebna sila:

$$K = \frac{|F_{\text{tereta}}|}{|F_{\text{napora}}|} \quad [K] = 1$$

**Korisnost** mehaničke naprave opisuje smanjenje sile potrebne za obavljanje rada:

$$K = \frac{|F_{\text{ter}}|}{|F_{\text{nap}}|} > 1$$



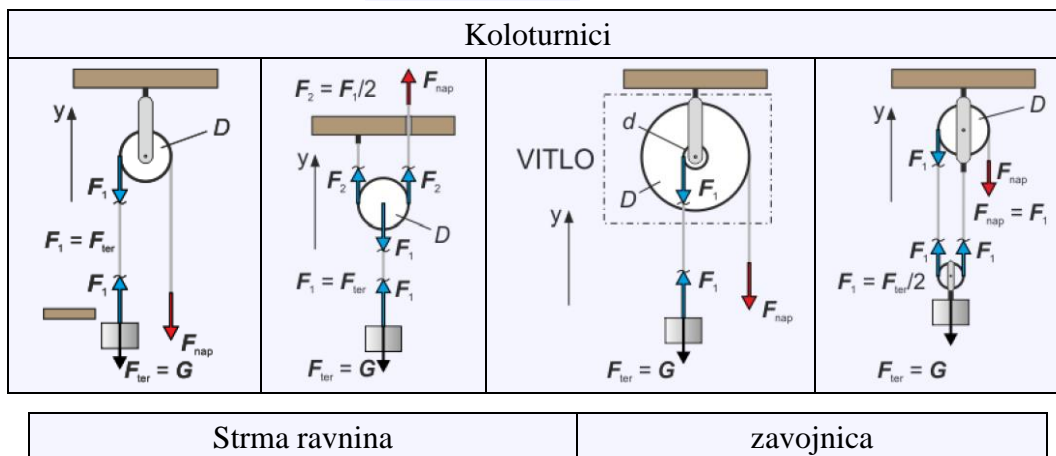
$$K = \frac{|F_{\text{ter}}|}{|F_{\text{nap}}|} \approx \frac{s_{\text{nap}}}{s_{\text{ter}}} \quad (\text{što je veća korisnost mehaničke naprave to je dulji put})$$

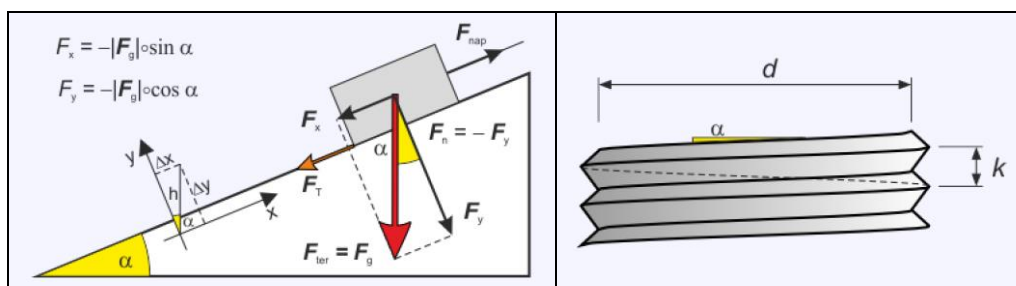
**Učinkovitost** mehaničke naprave je pokazatelj mjere korištenja uloženog rada ( $rad = umnoz\acute{a}k\ sile\ i\ puta$ ):

$$\eta = \frac{|W_{\text{iz}}|}{|W_{\text{ul}}|} = \frac{|F_{\text{ter}} \cdot s_{\text{ter}}|}{|F_{\text{nap}} \cdot s_{\text{nap}}|} < 1$$

**Učinkovitost** mehaničke naprave je pokazatelj mjere korištenja uloženog rada:

$$\eta = \frac{|W_{\text{uloženo}}|}{|W_{\text{izvršeno}}|} \leq 1 \quad [\eta] = 1$$





### 1.3.5 Matematika i brojčani iznosi

**Matematika** je teorijska znanost koja proučava brojčane odnose (*aritmetika, algebra, infinitezimalni račun*) i prostorne oblike (*geometrija*). Nerazrješivo je srasla s fizikom – teško se može utemeljiti mimo/bez fizičkih sustava, a fizički se zakoni najsazetije iskazuju matematičkim formulama – matematičkim modelima (*opisi ne i objašnjenja*).

Pri postavljanju matematičkih modela u strojarstvu (*npr.  $W = f(t)$* ), zbog složenosti, mora se u analizama razlučiti bitno i nebitno, usredotočiti na bitno te zanemariti nebitno.

Dobro je podsjetiti se nekih detalja iz matematike, s kojima studenti, prema stečenim iskustvima, imaju problema pri proračunima elemenata. Po potrebi, studenti trebaju poboljšati svoja znanja iz matematike uz korištenje literature [1, 3, 4, 5, 6].

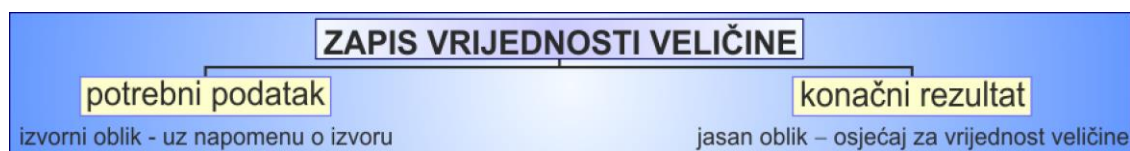
Bitno je razumjeti matematiku i umjeti matematički opisati aktualni problem u proračunu elemenata. Dalje, u proračunu treba koristiti računalnu podršku: MS Calculator (*jednostavne matematičke operacije*), Ms Excel (*tablična matematička izračunavanja*) te prikladan matematički program, npr MATLAB (*složenija matematička izračunavanja*) [7].

**Brojčani iznosi** vrijednosti veličina mogu biti:

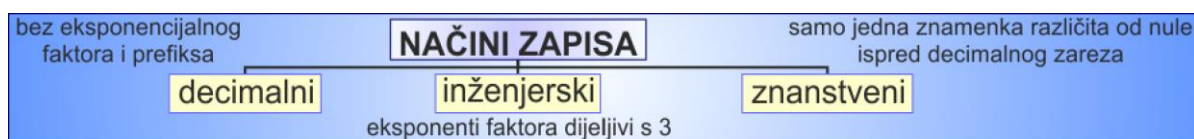
Brzina svjetlosti: $2,99792458 \cdot 10^8$ m/s	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> <b>BROJČANI IZNOSI</b> </div>	Broj jedinki u molu: $6,0221367(36) \cdot 10^{23}$
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">potpuni - točni</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">nepotpuni - približni</div> </div>	

**Potpuni** (*točni*) brojčani iznosi – poznate su sve znamenke (*brzina je svjetlosti, prema međunarodnoj konvenciji, temelj za definiciju jedinice duljine – metra, te je po toj logici njena vrijednost točna*).

**Nepotpuni** (*približni*) brojčani iznosi – poznat je samo dio znamenaka.



Tri su osnovna načina zapisa brojčanih iznosa:



Decimalni je zapis originalan (iz literature, rezultat izračunavanja li mjerenja), inženjerski praktičan (eksponencijalni množitelj  $\Leftrightarrow$  SI kratice), a znanstveni precizan (nije moguća zabuna o broju značajnih znamenki).

**Potrebni podatak** o vrijednosti veličine (literatura, rezultat mjerenja) prepíše se u izvornom obliku, na primjer, specifična toplina aktualnoga materijala:  $c = 4,2 \text{ Btu}/(\text{lb}\cdot^\circ\text{F})$ , te potom preračunava u vrijednost veličine izraženu s SI jedinicom.

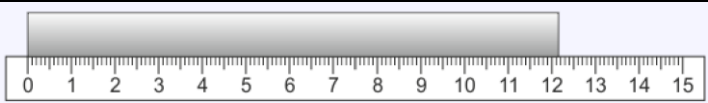
**Konačni rezultat** treba izraziti u najjasnijem obliku, ali, obavezno s SI jedinicom, na primjer, dopušteno naprezanje aktualnoga čelika je:  $\sigma_{\text{dop}} = 248 \text{ N}/\text{mm}^2$  (teret mase 25 kg visi na žici presjeka  $1 \text{ mm}^2$ ), što je jasnije od  $\sigma_{\text{dop}} = 248 \cdot 10^6 \text{ N}/\text{m}^2$  ili od  $\sigma_{\text{dop}} = 248 \text{ MPa}$ .

Osnovna ideja preračunavanja je: vrijednosti fizičke veličine se izražava s dvije različite jedinice, te formira i rješava jednadžba. Na primjer, pri preračunavanju vrijednosti veličine metara u kilometre (uzet je namjerno iznimno jednostavan primjer):

$L = 1450 \text{ m}$ $L = ? \text{ km}$	$1 \cdot \text{km} = 1 \cdot 1000 \cdot \text{m}$
$L = 1450 \cdot \text{m} = 1450 \cdot \frac{1000}{1000} \cdot \text{m} = \frac{1450}{1000} \cdot 1000 \cdot \text{m} = 1,450 \cdot \text{k} \cdot \text{m} = 1,450 \cdot \text{km}$	
$L = 1,450 \text{ km}$ (ili 1,45 km ?)	

Nepažnjom pri preračunavanju mogu se pojaviti grube greške. Posljedice su u strojarstvu od beznačajnih šteta do gubitaka ljudskih života.

**Značajne znamenke** su one znamenke brojčanih iznosa (nepotpuni – približni brojčani iznosi) koje imaju fizički (tehnički) smisao, odnosno, one su rezultat mjerenja s opremom određene točnosti i/ili izračunavanja temeljenih na brojčanim iznosima poznate točnosti. Često se može procijeniti još jedna dodatna znamenka (npr. kazaljka između dvije crtice), ali se na taj način nameće utisak da je korištena oprema veće točnosti.

	$\Rightarrow$	duljina: $L = 121 \text{ mm}$ $120,5 \leq L < 121,5 \text{ mm}$
---	---------------	--

s mjernom trakom u gornjem primjeru mogla bi se očitati dužina 121,5 mm, ali će takav rezultat kasnije navoditi na zaključak kako je mjerenje obavljeno s povlačnim mjerilom.

U zapisima brojčanih iznosa u značajne znamenke spadaju:

značajne znamenke:	na primjer:
znamenke $\neq 0$	$s = 297 \text{ m}$
nule između znamenki $\neq 0$	$t = 102 \text{ s}$
nule iza decimalnog zareza i posljednje znamenke $\neq 0$	$m = 5,80 \text{ kg}$

**Brojčani iznosi  $< 1$**  – u značajne znamenke ne spadaju nule ispred prve znamenke različite od nule ( $t = 0,0350 \text{ s}$ ).



Kod **cijelih brojeva** se ne može prosuditi o značajnosti nula iza posljednje znamenke različite od nule ( $s = 400000 m$ ), te takve zapise treba izbjegavati. Točnu prosudbu o broju značajnih znamenki uvijek osigurava samo znanstveni način zapisa ( $s = 4,00 \cdot 10^5 m$ ).

**Izračunavanje** – broj značajnih znamenki rezultata računskih operacija određuje:

- **zbrajanje/oduzimanje** – najmanji broj značajnih znamenki iza decimalnog zareza: (iste jedinice)

Na primjer, dva tijela imaju mase:  $m_1 = 5,8 \text{ kg}$  i  $m_2 = 0,028 \text{ kg}$ . Treba izračunati kolika im je ukupna masa:

$$m_u = m_1 + m_2 = [5,8 (5,75 \div 5,85) + 0,028 (0,0275 \div 0,0285)] \text{ kg} =$$

$$m_u = 5,828 (5,8275 \div 5,8285 - \text{“pretočno”}) \text{ kg} = 5,8 \text{ kg}$$

- **množenje/dijeljenje** – operand s najmanjim brojem značajnih znamenki:

Na primjer, opseg je kružnice  $r = 0,52 \text{ m}$ . Treba izračunati koliki je opseg kružnice.

$$O = 2 \cdot r \cdot \pi = 2 \cdot 0,52 \cdot (0,515 \div 0,525) \cdot \pi = 3,141592654 =$$

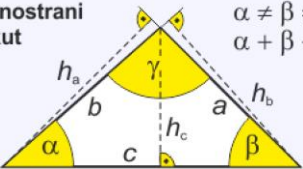
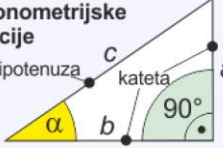
$$3,267256360 (\text{“pretočno”}) \text{ m} = 3,3 \text{ m}$$

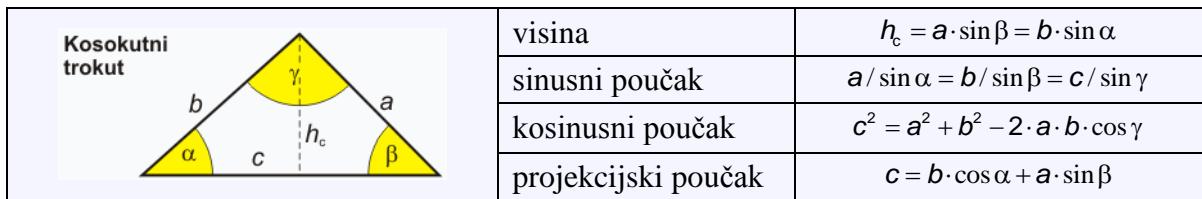
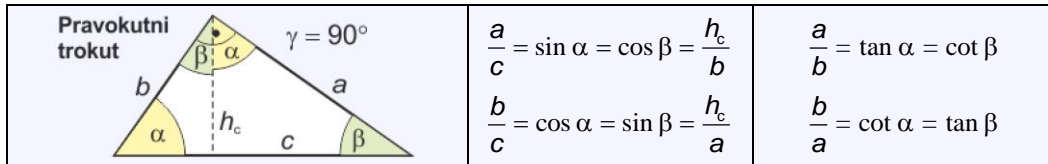
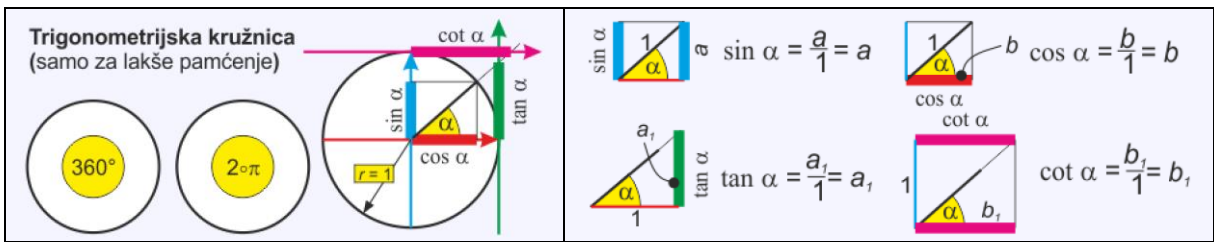
U izrazu za opseg kruga brojčani iznos 2 je točan i ne ograničava broj značajnih mjesta (*u protivnom bi rezultat bio:  $O = 3 \text{ m}$* ). Točni brojevi imaju beskonačan broj značajnih znamenki – u prethodnom slučaju se podrazumijeva  $2 = 2,00000000 \dots$

**Zaokruživanje** – kada rezultat izračunavanja sadrži veći broj znamenki od broja značajnih znamenki primjenjuju se dva pravila:

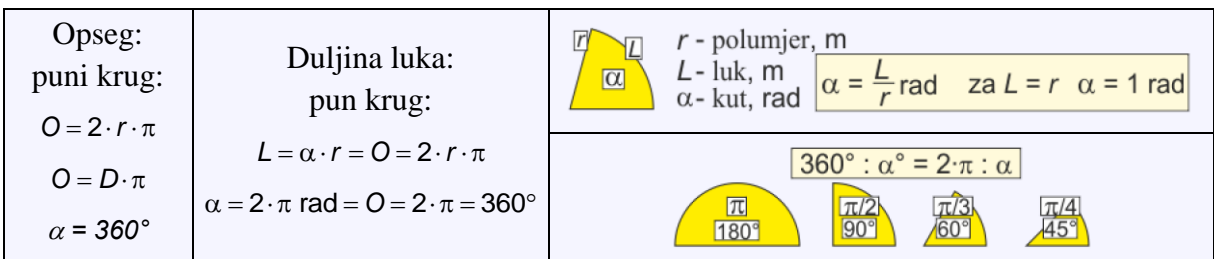
pravilo – pri odbacivanju znamenki, u slučaju:	na primjer:
znamenki 5 ÷ 9 prethodna znamenka se povećava za 1	1,535 ⇒ 1,54
znamenki 0 ÷ 4 prethodna znamenka ostaje nepromijenjena	1,54 ⇒ 1,5 ⇒ 2

### 1.3.6 Trokut i trigonometrija u ravnini

<p><b>Raznostrani trokut</b></p>  <p><math>\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ = \pi/2 \text{ (rad)}</math>  <math>\alpha + \beta + \gamma = 180^\circ = \pi \text{ (rad)}</math></p>	<p>Opseg: <math>O = a + b + c</math></p> <p>Površina: <math>P = \frac{c \cdot h_c}{2} = \frac{a \cdot h_a}{2} = \frac{b \cdot h_b}{2}</math></p> <p><math>P = \sqrt{s \cdot (s-a) \cdot (s-b) \cdot (s-c)}</math>    <math>s = \frac{a+b+c}{2}</math></p>
<p><b>Trigonometrijske funkcije</b></p>  <p>hipotenuza <math>c</math>, kateta <math>a</math>, <math>b</math></p> <p><math>\sin \alpha \equiv \frac{a}{c}</math>    <math>\tan \alpha \equiv \frac{a}{b}</math>  <math>\cos \alpha \equiv \frac{b}{c}</math>    <math>\cot \alpha \equiv \frac{b}{a}</math></p>	<p>Pitagorin poučak: <math>c^2 = a^2 + b^2</math></p> <p>Identitet (Pitagorin poučak + trigonometrijski krug):  <math>\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1</math></p>

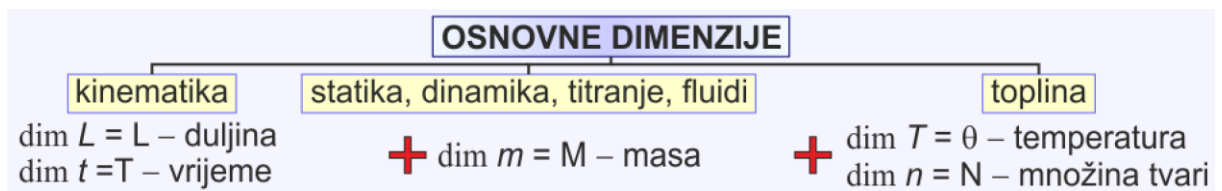


U fizici i strojarstvu se često preračunavaju mjere za kutove radijan/stupanj (*uobičajeno se nakon  $\pi$  ne piše i podrazumijeva jedinica rad*):



### 1.3.7 Dimenzijska analiza

**Dimenzije** su u fizici jedan od način opisa prirode fizičkih veličina.



Prema tome, neovisno mjeri li se duljina u milimetrima, metrima ili kilometrima, dimenzija joj je  $L$ .

Izvedene dimenzije slijede iz definicija veličina. Na primjer, dimenzija je brzine (*srednje između dvije točke, ali i svake druge osim kutne*):

$$v_{s,1/2} \equiv \frac{s_{1/2}}{t_{1/2}} \Rightarrow \dim v = \frac{L}{T} \Rightarrow \dim v = L \cdot T^{-1}, \quad [v] = m \cdot s^{-1}$$

a dimenzija sile:

$$F \equiv m \cdot a \quad \Rightarrow \quad \dim F = M \cdot L \cdot T^{-1} \quad , \quad [F] = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

**Dimenzijska analiza** se često podcjenjuje, čak osporava, ali, neosporno je korisna u:

- prisjećanju na zaboravljene formule (*na temelju postavke da svaka formula mora biti dimenzijski homogena*) te
- planiranju pokusa i uopćavanju dobivenih rezultata (*smanjenje broja promjenljivih veličina – varijabli*).

Na primjer, odrediti ubrzanje  $a$  točke koja se giba jednoliko brzinom  $v$  (*intenzitet se brzine ne mijenja s vremenom*) po opsegu kružnice polumjera  $r$ , kada se zna da je  $a = f(v, r)$  ali se ne može sjetiti točnog izraza.

$$a = k \cdot v^m \cdot r^n$$

Dimenzije su ubrzanja, brzine i promjera:

$$\dim a = L \cdot T^{-2} \quad , \quad \dim v = L \cdot T^{-1} \quad , \quad \dim r = L$$

Na temelju dvojnog izraza za ubrzanje postavlja se izraz jednakosti dimenzija:

$$L \cdot T^{-2} = k \cdot (L \cdot T^{-1})^m \cdot L^n = k \cdot L^m \cdot T^{-m} \cdot L^n = k \cdot L^{(m+n)} \cdot T^{-m}$$

Kako eksponenti istih dimenzija moraju biti jednaki s obje strane znaka jednakosti slijedi:

- za L:  $1 = m + n$
- za T:  $-2 = -m$

dobiva se:  $m = 2$ ,  $n = -1$ . Prema tome, točan je izraz:

$$a = k \cdot \frac{v^2}{r} \quad \Rightarrow \quad a = \frac{v^2}{r}$$

Ako netko nije siguran da je  $k = 1$  mora pronaći izraz u literaturi ili provesti pogodan pokus.

### 1.3.8 Infinitesimalni račun

#### Diferencijalni račun

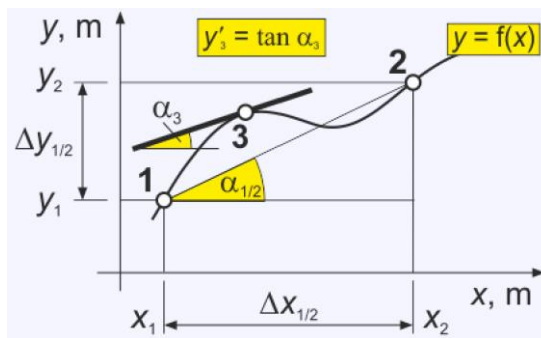
**Diferencijalni račun** – dio infinitezimalnoga računa (*s beskonačno malim vrijednostima veličina*) koji se u fizici i tehnici koristi za opisivanje stanja i promjena fizičkih veličina. Na primjer, ako se brzina mijenja s vremenom, trenutno je ubrzanje:

$$a = \frac{dv}{dt}$$

#### Derivacija skalarne veličine

**Geometrija** – prvom derivacijom (*po duljini*) – derivacijom jednadžbe krivulje  $y = f(x)$  dobivaju se kutovi tangenti krivulje u točkama.

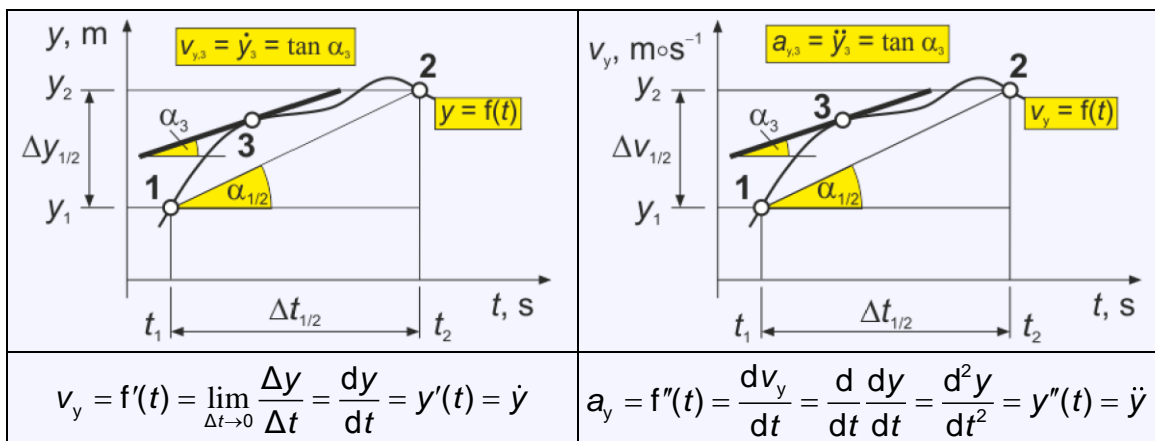
$$y' = f'(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{dy}{dx} = \text{tg} \alpha$$



Kako bi se dobio kut tangente u aktualnoj točki uvrštavaju se njene koordinate  $(x_i, y_i)$  u jednadžbu  $y' = f_1(x)$  dobivenu prvom derivacijom jednadžbe krivulje.

**Kinematika:**

- prvom derivacijom (po vremenu) – derivacijom jednadžbe krivulje  $y = f(t)$  dobivaju se trenutne brzine u točkama,
- drugom derivacijom (po vremenu) – derivacijom jednadžbe  $y' = f_1(t)$  dobivaju se trenutna ubrzanja u točkama.



Brzine i ubrzanja u aktualnoj točki dobivaju se uvrštavanjem njenih koordinata u jednadžbe  $y' = f_1(t)$  i  $y'' = f_2(t)$ .

Derivacije su često sretanih elementarnih funkcija i osnovna pravila deriviranja:

$y =$	C	$x^n$	$\sin x$	$\cos x$	$a^x$	$e^x$	$\ln x$
$y' =$	0	$n \cdot x^{n-1}$	$\cos x$	$-\sin x$	$a^x \cdot \ln a$	$e^x$	$1/x$

1.	$y = u \pm v$	$\Rightarrow y' = u' \pm v'$
3.	$y = \frac{u}{v}$	$\Rightarrow y' = \frac{v \cdot u' - u \cdot v'}{v^2}$

2.	$y = u \cdot v$	$\Rightarrow y' = u' \cdot v + v \cdot u'$
4.	$y = f[v(x)]$	$\Rightarrow y' = \frac{dy}{dv} \cdot \frac{dv}{dx}$

Primjer je derivacije:

$$y = \tan x = \frac{\sin x}{\cos x} \Rightarrow y' = \frac{\cos x \cdot \cos x + \sin x \cdot \sin x}{\cos^2 x} \Rightarrow y' = 1 + \tan^2 x$$



## Integralni račun

**Integralni račun** – dio infinitezimalnog računa koji se u fizici i tehnici često koristi za opisivanje stanja i promjena fizičkih veličina. Na primjer, ako se ubrzanje mijenja s vremenom, srednja je brzina:

$$v = \int a \cdot dt$$

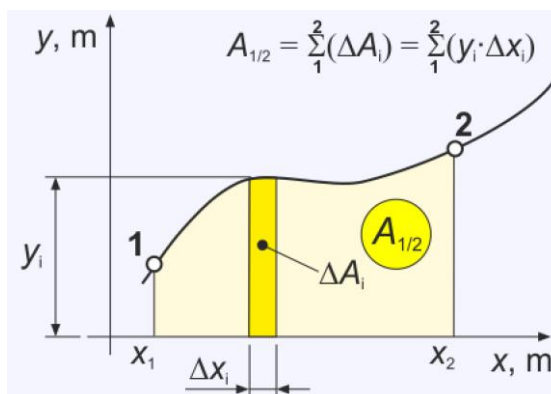
**Integriranje** – matematička operacija suprotna deriviranju.

Razlikuju se neodređeni i određeni integrali:

Neodređeni integral	Određeni integral
$f(x) = \int f'(x) \circ dx$	$\int_a^b f(x) \circ dx = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \sum_a^b [f(x_i) \circ \Delta x]$

**Geometrija** – integriranjem (po duljini) jednadžbe krivulje  $y = f(x)$  dobivaju se površine između krivulje i osi  $x$ .

$$\int_1^2 y \circ dx = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \left[ \sum_1^2 (y_i \circ \Delta x_i) \right] = A_{1/2}$$



**Neodređeni integrali** često korištenih elementarnih funkcija su:

$f_1(x) \Rightarrow$	1	$x^n$	$\sin x$	$\cos x$	$a^x, \text{ za } 0 < a \neq 1$	$1/x$	$e^x$
$\int f_1(x) \Rightarrow$	$x + C$	$x^{n+1}/(n+1) + C$	$-\cos x + C$	$\sin x + C$	$a^x/\ln a + C$	$\ln x + C$	$e + C^x$

Vrijednosti konstante  $C$  se određuju iz dodatnih uvjeta određenih u postavljenim konkretnim problemima.

Dva su često korištena pravila integriranja:

1.	$\int k \cdot f_1(x) \cdot dx = k \cdot \int f_1(x) \cdot dx$	2.	$\int [u(x) + v(x)] \cdot dx = \int u(x) \cdot dx + \int v(x) \cdot dx$
----	---	----	---

Ako je na primjer:

$$y = 4 \cdot x^3 + 104$$

diferenciranjem se dobiva:

$$y' = 0 \cdot x^3 + 4 \cdot 3 \cdot x^2 + 0 \quad y' = 12 \cdot x^2$$

a potom integriranjem:

$$y = \int 12 \cdot x^2 \cdot dx = 12 \int x^2 \cdot dx \quad y = 12 \cdot \frac{x^{2+1}}{2+1} + C \quad y = 4 \cdot x^3 + C$$

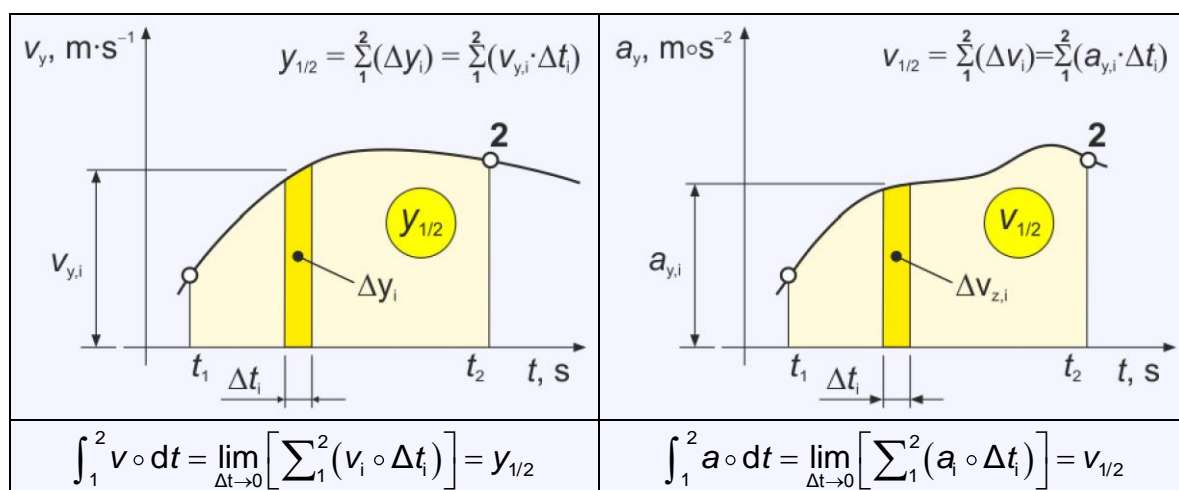
**Određeni integrali** u rezultatu ne sadrže konstantu  $C$ :

$$y = \int_a^b f_1(x) \circ dx = \left| f_2(x) + C \right|_a^b = (f_2(x=b) + C) - (f_2(x=a) + C)$$

$$y = f_2(x=b) - f_2(x=a)$$

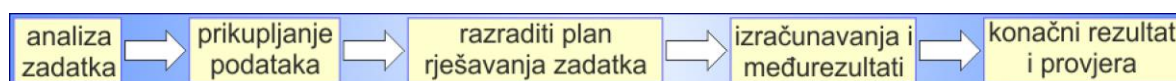
**Kinematika:**

- integracijom jednadžbe krivulje  $v = f(t)$  dobivaju se pređeni put,
- integracijom jednadžbe krivulje  $a = f(t)$  dobivaju se srednja brzina.



### 1.3.9 Rješavanje zadataka

U pravilu se zadaci rješavaju koraknim postupkom koji treba strogo poštovati sve do stjecanja potpune sigurnosti u izračunavanjima:



**Analiza zadatka** – analizom treba formirati jasnu predodžbu o zadatku (*uživjeti se u problem, ne razmišljajući o postupku rješavanja*), te uredno zapisati što je zadato i što se traži (*ako je moguće procijeniti traženi rezultat*). U ovom koraku nacrtati skicu ili shemu koja nam pomaže u jasnijoj predodžbi problema. Po potrebi, zadatak pročitati više puta, jer ako se prerano prijeđe na sljedeće korake rješavanja (*zadatak još uvijek nije potpuno jasan*), za dobivanje traženih rezultata je potrebno imati i dosta sreće.

**Prikupljanje podataka** – ako u zadatku nisu navedeni svi potrebni podaci, prikupljaju se:

- (a) iz literature (*u kojoj se objavljuju kao pojedinačne informacije, u tablicama ili u dijagramima*),

(b) mjerenjima.

Zapisuju se uvijek izvorni brožčani iznosi i jedinice (*dobro je zabilježiti izvor podataka*).

Zapisati sve **veličinske jednadžbe** potrebne za rješenje zadatka. **Plan rješavanja** obuhvaća sve potrebne veličinske jednadžbe i vrijednosti konstante, te okvire, strjelice i opaske kojima se utvrđuje slijed postupka izračunavanja.

**Izračunavanje i međurezultati** – sve do stjecanja potpune sigurnosti treba u veličinske jednadžbe uvrštavati brožčane iznose i jedinice fizičkih veličina (*imati na umu ili pisati znak množenja između brožčanog iznosa i jedinice*). Ako se u veličinske jednadžbe uvrste vrijednosti fizičkih veličina izražene samo u SI jedinicama (*nije obavezno*) dobivaju se u SI jedinicama međurezultati i konačni rezultati. Brožčani iznosi međurezultata mogu sadržati jednu do dvije znamenke više od broja značajnih znamenki.

**Konačni rezultat** – (*po eventualnom preračunavanju*) prikazuje se u obliku ( $X = [X] \{X\}$ ) koji daje najjasniju predodžbu o izračunatoj vrijednosti veličine. Konačni rezultat treba: (a) sadržati korektan broj značajnih znamenki, (b) obuhvaćati samo Zakonom dopuštene jedinice. Obavezna je **provjera** – usporedba dobivenog rezultata s procjenom u prvom koraku rješavanja zadatka.

## 1.4 Korištenje računala

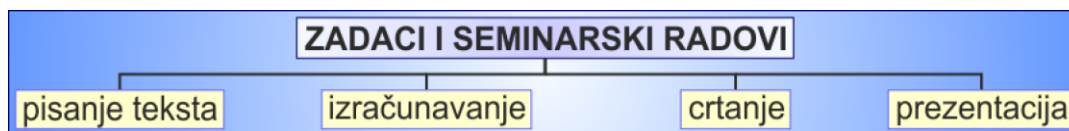
### 1.4.1 Osnove korištenja računala

Razvoj i širenje korištenja suvremenih kompjutera u biti je izmijenilo prirodu stručnog rada tako što kompjutor:

- (a) **rasterećuje od memoriranja** brojnih informacija koje se rijetko koriste,
- (b) **rasterećuje od zamornih izračunavanja** podložnih greškama, te
- (c) **pomaže u stjecanju sigurnosti**.

Uz malo pažnje u potpunosti se izbjegavaju greške u složenim dugotrajnim proračunima, koji pri korištenju pogodnih programa u pravilu traju nekoliko sekundi.

Studenti tijekom nastave izrađuju zadatke i seminarske radove koji obuhvaćaju:

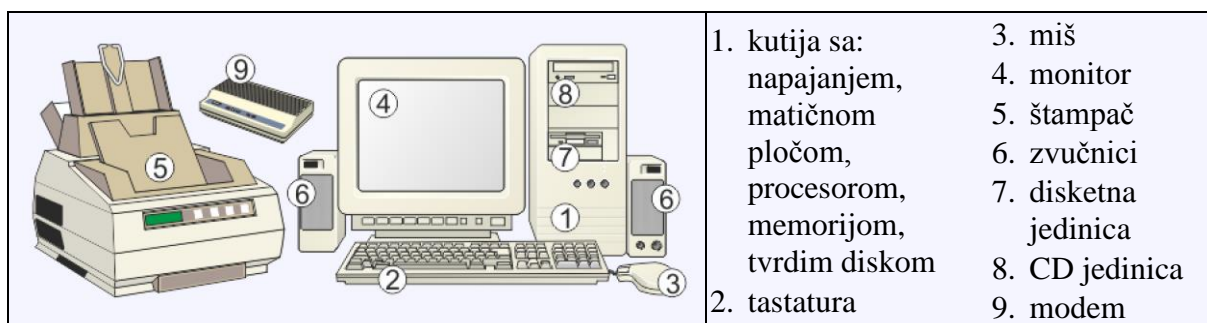


U izradi zadataka i seminarskih radova često treba potražiti i skinuti podatke s Interneta (*pri tome se ne smiju s interneta kopirati sadržaji za koje je naglašena zabrana kopiranja – copyright zaštita*). Zbog toga ima smisla navesti nekoliko korisnih sugestija o korištenju softvera i Internetu.

## Hardver

Na tržištu hardvera vlada izuzetno velika ponuda, a cijene komponenti i računala kao cjelina rastu s kapacitetom/kvalitetom. Posljedica je oštre konkurencije stalni značajni pad specifičnih cijena komponenti. S druge strane, već je dugo vremena cijena računala s kojim se može uspješno obavljati većina rutinskih poslova vezanih za elemente strojeva negdje oko 500 €.

Prije dobave računala treba konzultirati iskusne korisnike i poslušati njihove savjete jer je vrlo teško valjano procijeniti osobne potrebe u pogledu kapaciteta i kvalitete, te realnost cijena. U pravilu, treba kupiti računalo kao cjelinu – svakako izbjeci sklapanje računala od samostalno, manje ili više nasumično, odabranih komponenti.



## Softver

Pogrešnim (*svjesnim ili nesvjesnim*) korištenjem računala, odnosno softvera (*sve ono što se koristi a mehanički je nedodirljivo*), relativno se lako formira utisak intenzivnog rada (*sebi i/ili okolini*), uz dobivanje rezultata slabije kvalitete od rezultata koji bi se dobili bez korištenja računala ili se rezultati dobivaju uz veći utrošak vremena. Klasični su primjeri razrada koncepcija tekstova uz korištenje programa za pisanje tekstova (*s nekim od tekst procesora*), razrada softvera (*na nekom od programskih jezika*) za jednokratna relativno jednostavna izračunavanja, izrada tehničkih crteža u fazi postavljanja mogućih rješenja, te razrada koncepcije Internet strane uz korištenje programa za izradu stranica.

Osnovna su tri uvjeta racionalnog korištenja nekog programa:



Ukoliko nije ispunjen bar jedan od ova dva uvjeta korištenje programa spada u "igrice" ili besmisleno gubljenje vremena.

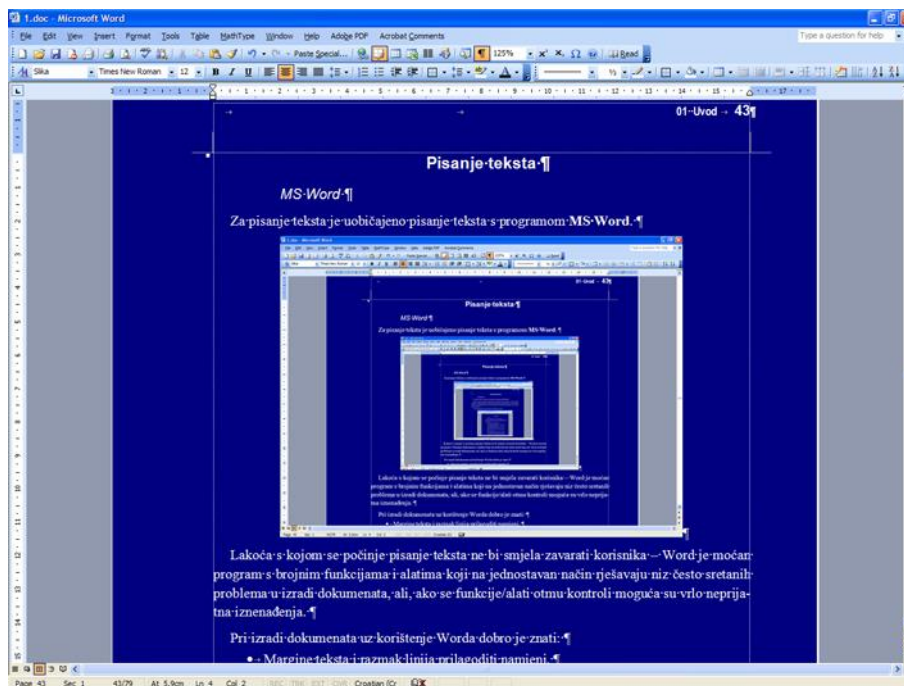
Korištenje programa se najlakše savladava uz pogodan priručnik. Uloženi novac u literaturu biće ubrzo nadoknađen uštedama u vremenu, boljim kvalitetom rezultata i/ili smanjenim frustracijama. Kad god se to može, učenje treba odvojiti od korištenja. Ako korištenju ne prethodi učenje često se u početku posao ne završi na vrijeme, a neke korisne mogućnosti aktualnog programa nikad se ni ne nauče.



## Pisanje teksta

### MS Word

Za pisanje teksta je uobičajeno pisanje teksta s programom **MS Word**.



Lakoća s kojom se počinje pisanje teksta ne bi smjela zavarati korisnika – Word je moćan program s brojnim funkcijama i alatima koji na jednostavan način rješavaju niz često sretanih problema u izradi dokumenata, ali, ako se funkcije/alati otmu kontroli moguća su vrlo neprijetna iznenađenja.

Pri izradi dokumenata uz korištenje Worda dobro je znati:

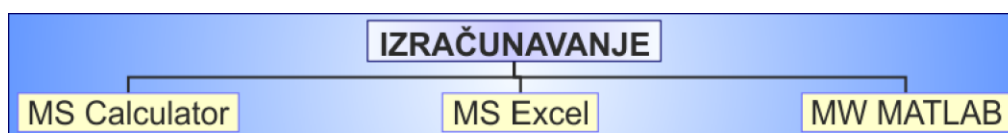
- Margine teksta i razmak linija prilagoditi namjeni.
- Ne koristiti "egzotične" – danas se najčešće sreću tekstovi s laku čitljivim slovima – Font: Times New Roman i naslovi s Font: Arial. Za tekstove na A4 formatu najpogodnija je veličina fontova "12".
- Ako se tekst piše s jednostrukim proredom paragrafi se naglašavaju odvajanjem s dvostrukim proredom i/ili uvlačenjem prvog reda teksta paragrafa. Tekst paragrafa treba poravnati s obje strane.
- Ne koristiti za poravnavanje redova tipku za prazna mjesta, jer se na taj način ne može dobiti besprijekorno poravnanje. Za poravnavanje koristiti tabulatore a ne
- Dijelovi se teksta naglašavaju slovima koja su iskošena (*Italic*), podvučena (*Underline*) ili podebljana (*Bold*).
- Citati se ističu iskošenim slovima, a ako su duži od dva reda treba ih odvojiti i uvući u odnosu na bočne margine ostalog teksta te poravnati ih s obje strane.
- Naslovi i podnaslovi naglašavaju pisanjem slovima nešto većim od ostatka teksta i/ili podebljanim slovima, bez podvlačenja i ne sa svim velikim slovima.

- Povećanim prostorom u dnu stranice treba izbjegavati paragrafe koji počinju jednom linijom na dnu stranice ili završavaju jednom linijom na početku stranice.
- Treba koristiti automatsko označavanje broja stranica na željenom mjestu zaglavlja ili podnožja stranice.
- Neatraktivno i odbojno djeluju stranice ispunjene samo tekstom – u tekstove treba ubacivati skice klasifikacija, slike, crteže, dijagrame, tablice.

## 1.4.2 Izračunavanje i crtanje

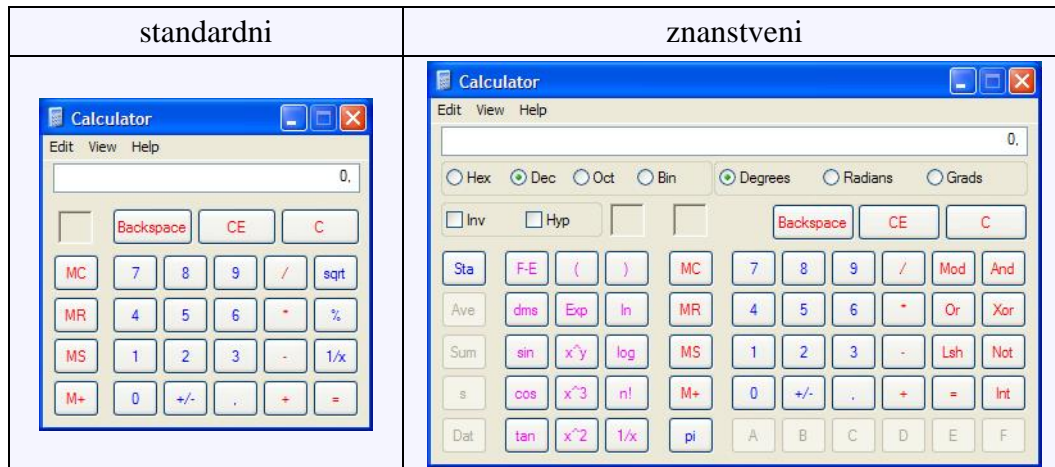
### Izračunavanje

Ovisno o vrsti i obimu potrebnog izračunavanja se mogu koristiti programi:



#### MS Calculator

**MS Calculator** je zgodan "digitron" za najjednostavnija izračunavanja. Kada se aktivira, ovisno o izboru ima izgled:



Manjkavost je programa što se ne mogu kopirati brojučane vrijednosti u/iz prozora.

#### MS Excel

**MS Excel** koristi se prije svega za tablična izračunavanja.

Danas je Excel vrlo razvijeni program s brojnim funkcijama i alatima kojima se na jednostavan način rješavaju i vrlo složeni problemi.

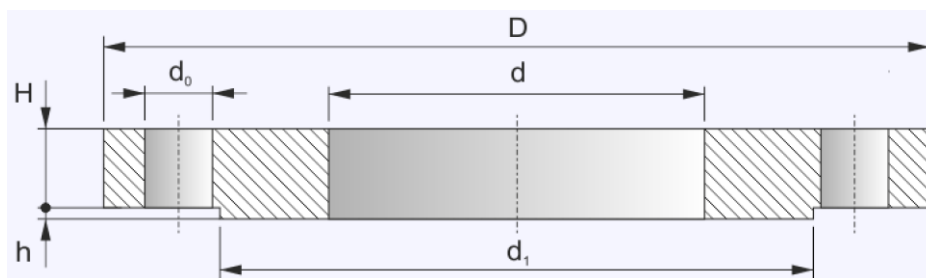
Excel nije namijenjen obradama baza podataka, ali ako se posebno ne orijentira na obrade baza podataka, što je rijedak slučaj, nema smisla učiti relativno složeni MS Access. Uz sve manjkavosti može se u te svrhe koristiti Excel.

U sljedećem primjeru se analiziraju gubici materijala pri izradi prirubnica za navarivanje uz korištenje Excela.

Primjer je prikladnog korištenja programa Excela izrada podloga za projektiranje cjevovoda – serija čeličnih ravnih prirubnica za navarivanje.

DN	d/mm	D/mm	d <sub>1</sub> /mm	d <sub>0</sub> /mm	H/mm	h/mm	n	V <sub>0</sub> /dm <sup>3</sup>	m <sub>0</sub> /kg	V/dm <sup>3</sup>	m/kg	p/%
10	14,5	90	40	14	12	2	4	0,137	1,077	0,069	0,543	49,6
15	20,5	95	45	14	12	2	4	0,151	1,189	0,076	0,598	49,7
20	25,5	105	58	14	14	2	4	0,208	1,632	0,110	0,861	47,2
25	30,5	115	68	14	16	2	4	0,277	2,173	0,150	1,181	45,6
32	38,5	140	78	14	16	2	4	0,400	3,137	0,225	1,767	43,7
40	45,0	150	88	18	17	3	4	0,506	3,969	0,270	2,116	46,7
50	57,5	165	102	18	19	3	4	0,666	5,229	0,354	2,781	46,8
65	76,6	185	122	18	21	3	4	0,903	7,091	0,468	3,670	48,2
80	89,4	200	138	18	21	3	8	1,048	8,230	0,511	4,013	51,2
100	108,5	220	158	18	23	3	8	1,363	10,703	0,646	5,070	52,6

Standardne čelične prirubnice za navarivanje izrađuju se isijecanjem na pantografu i obradom na tokarskom stroju. Koliki su gubici materijala ako su limovi iz kojih se isijecaju prirubnice pravokutni, a širina reza pantografa  $\delta_p = 5$  mm? Dodaci za radijalnu obradu prirubnica na tokarskom stroju su  $\delta_s = 2$  mm. Gustoća je čelika  $7,85$  kg·dm<sup>-3</sup>.



(crtež izrađen s programom Auto CAD – isječak iz crteža Prirubnica.dwg).

I. Volumen kvadratne ploče s dodacima za obradu na tokarskom stroju (ovdje nije analizirana mogućnost uštede materijala s najgušćim mogućim pakiranjem – slaganjem opisanih šesterokutnika):

$$V_0 = \frac{[(D + 2 \cdot 2 + 5)^2 \cdot (H + h)]}{10^6} \text{ dm}^3$$

Prema tome, s aktiviranim poljem I2 tablice, u Excelu se u traku formula upisuje:

I2  $f_x = (((C2+9)^2)*(F2+G2))/1000000$

Dalje se koriste formule:

$$m_0 = V_0 \cdot \rho_{\text{c}} \quad \text{kg}$$

$$V_p = \frac{\left[ \left( \frac{D^2 \cdot \pi}{4} \right) \cdot H + \left( \frac{d_1^2 \cdot \pi}{4} \right) \cdot h - \left( \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \right) \cdot (H + h) - \left( \frac{d_0^2 \cdot \pi}{4} \right) \cdot H \cdot n \right]}{10^{-6}} \quad \text{dm}^3$$

$$m_p = V_p \cdot \rho_{\text{c}} \quad \text{kg}$$

$$p = \left( \frac{m_0 - m_p}{m_0} \right) \cdot 100 \quad \%$$

Iako program Excel prati unose formula u trake (*na primjer, program upozorava ako broj zatvorenih zagrada nije jednak broju otvorenih*), pri unosu formula treba biti pažljiv kako se ne bi pojavile grube greške.

Tablica rezultata iz Excela se jednostavno kopira u Word tekst (<Ctrl>c + <Ctrl>v):

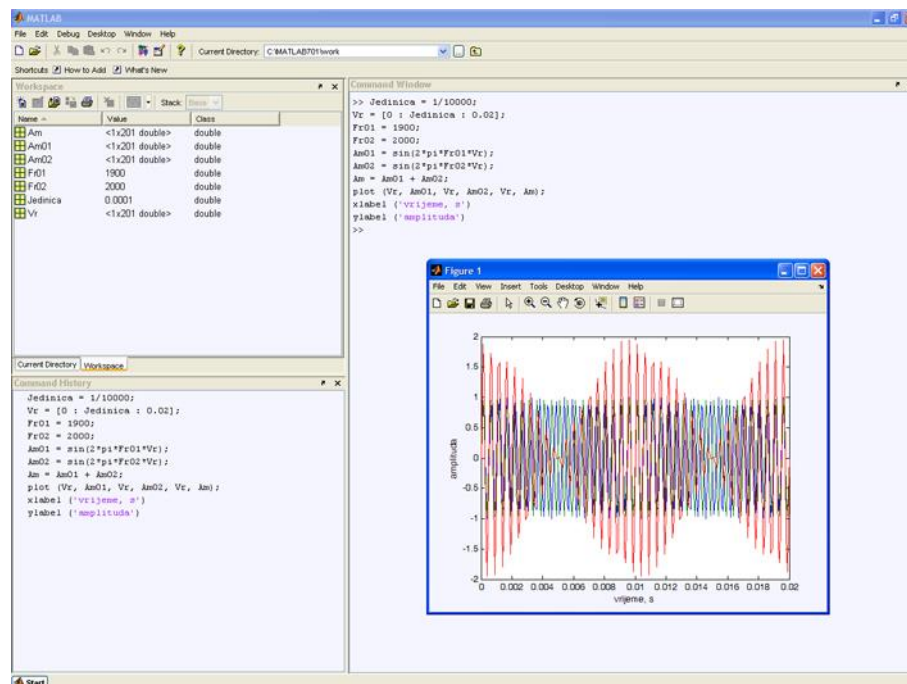
DN	d/mm	D/mm	d <sub>1</sub> /mm	d <sub>0</sub> /mm	H/mm	h/mm	n	V <sub>p</sub> /dm <sup>3</sup>	m <sub>0</sub> /kg	V/dm <sup>3</sup>	m <sub>p</sub> /kg	p/%
10	14,5	90	40	14	12	2	4	0,137	1,077	0,069	0,543	49,6
15	20,5	95	45	14	12	2	4	0,151	1,189	0,076	0,598	49,7
20	25,5	105	58	14	14	2	4	0,208	1,632	0,110	0,861	47,2
25	30,5	115	68	14	16	2	4	0,277	2,173	0,150	1,181	45,6
32	38,5	140	78	14	16	2	4	0,400	3,137	0,225	1,767	43,7
40	45,0	150	88	18	17	3	4	0,506	3,969	0,270	2,116	46,7
50	57,5	165	102	18	19	3	4	0,666	5,229	0,354	2,781	46,8
65	76,6	185	122	18	21	3	4	0,903	7,091	0,468	3,670	48,2
80	89,4	200	138	18	21	3	8	1,048	8,230	0,511	4,013	51,2
100	108,5	220	158	18	23	3	8	1,363	10,703	0,646	5,070	52,6

### MATLAB

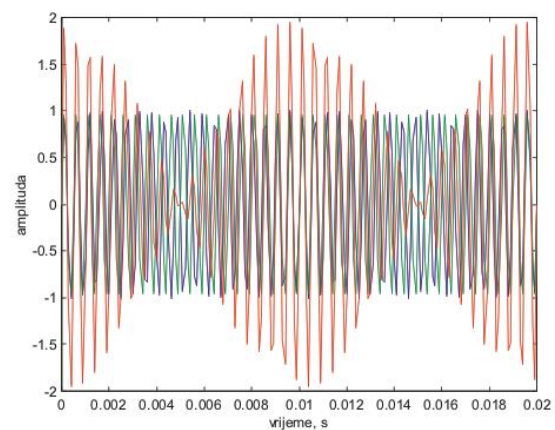
Programski paket **MATLAB** je proizvod tvrtke MathWorks (<http://www.mathworks.com>), a naziv je skraćenica od engleskih riječi **Matrix Laboratory**. Programom MATLAB se relativno lako rješavaju čak i vrlo složeni matematički (*inženjerski i znanstveni*) problemi (*izračunavanje, crtanje dijagrama*). Svi podaci uneseni u MATLAB pohranjuju se u obliku matrica – tako je skalar zapravo matrica dimenzija 1×1, vektor matricu 1×n ili m×1.

Kada u pogonu mehanički povezani strojevi titraju frekvencijama bliskih vrijednosti dolazi do pojave udara. Analizirati slučaj pojave udara pri superponiranju titranja dva stroja s pogonima frekvencija 1900 i 2000 Hz, te s pogonima frekvencija 1800 i 2000 Hz.

Nizovi programskih komandi s lijeve strane dijagrama kopirani su u komandni prozor MATLAB-a, a po izvršenju programa u MATLAB-u dijagrami kopirani u MS Word.

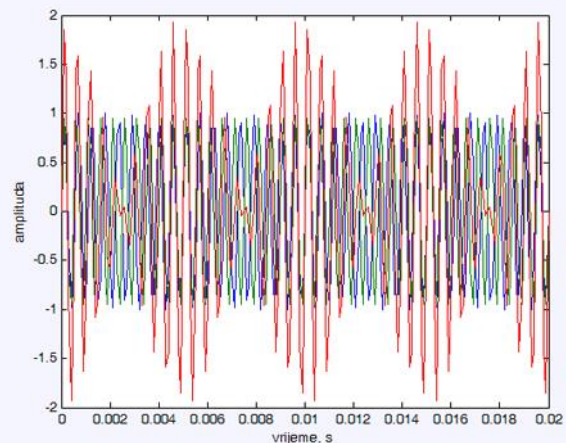


$Jedinica = 1/10000;$   
 $Vr = [0 : Jedinica : 0.02];$   
 $Fr01 = 1900;$   
 $Fr02 = 2000;$   
 $Am01 = \sin(2*\pi*Fr01*Vr);$   
 $Am02 = \sin(2*\pi*Fr02*Vr);$   
 $Am = Am01 + Am02;$   
 $plot (Vr, Am01, Vr, Am02, Vr, Am);$   
 $xlabel ('vrijeme, s')$   
 $ylabel ('amplituda')$



Superponiranjem frekvencija titranja od 1900 i 2000 Hz  $\Rightarrow$  frekvencija udara = 100 Hz

$Jedinica = 1/10000;$   
 $Vr = [0 : Jedinica : 0.02];$   
 $Fr01 = 1800;$   
 $Fr02 = 2000;$   
 $Am01 = \sin(2*\pi*Fr01*Vr);$   
 $Am02 = \sin(2*\pi*Fr02*Vr);$   
 $Am = Am01 + Am02;$   
 $plot (Vr, Am01, Vr, Am02, Vr, Am);$   
 $xlabel ('vrijeme, s')$   
 $ylabel ('amplituda')$

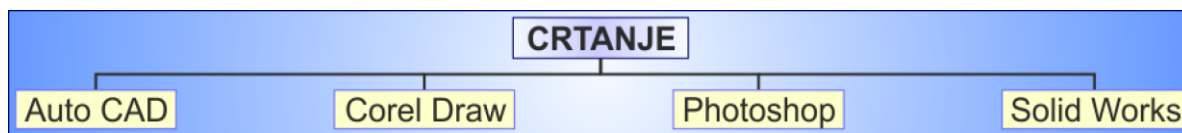


Superponiranjem frekvencija titranja od 1900 i 2000 Hz  $\Rightarrow$  frekvencija udara = 100 Hz



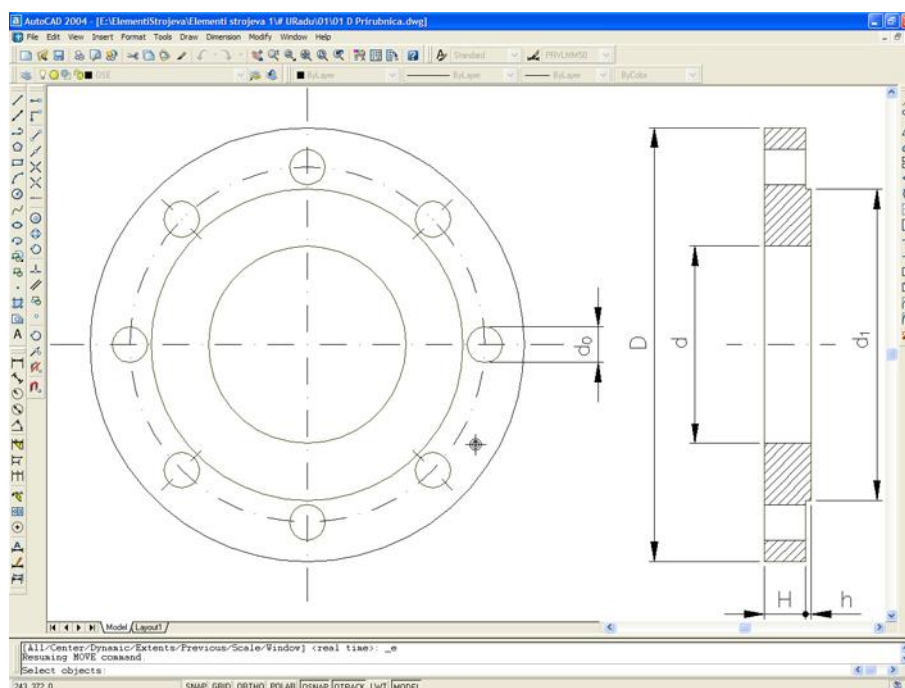
## Crtanje

Ovisno o potrebi, za crtanje se mogu koristiti programi:



### AutoCAD

**AutoCAD** je vektorski grafički program tvrtke Autodesk za izradu tehničkih crteža.



Kod vektorske su grafike točke crteža, kao i kod rasterske, određene s koordinatama i bojom, ali su linije određene karakterističnim točkama, dimenzijama, bojom i jednadžbama – na primjer, kružnica je određena sa: (a) centrom, (b) polumjerom, (c) bojom te (d) jednadžbom kružnice. Crteži u AutoCAD-u su tro-dimenzijski (3D), ali se u pravilu crtaju 2D crteži.

Za dobivanje besprijekornih tehničkih crteža svakako treba utrošiti puno vremena (*koje se često u velikoj mjeri podcijeni*). Vješti korisnici AutoCADa izrađuju vrlo brzo i relativno složene tehničke crteže (*koristeći već razrađene detalje*), sa svim potrebnim projekcijama, presjecima i pogledima, dimenzijama s tolerancijama, zaglavljem i sastavnicama. Međutim, nevještom crtaču i crtež obične ravne priрубnice može oduzeti po jedan-dva sata vremena.

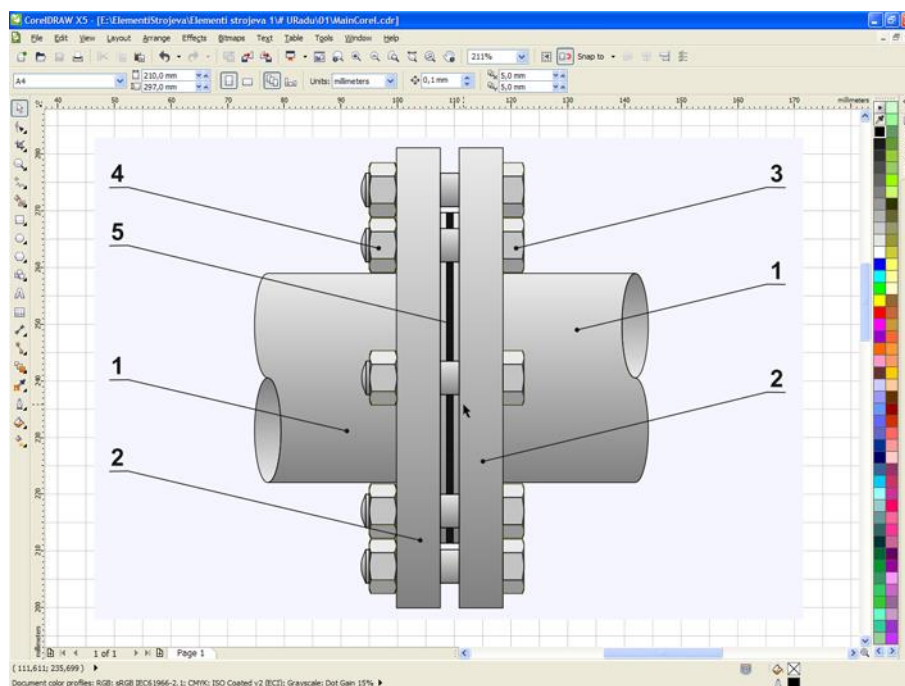
Prilagodba AutoCAD-a izradi tehničkih crteža očituje se skupinom pogodnih komandi, na primjer, za precizno crtanje linija, za automatizirano kotiranje, šrafitiranje. AutoCAD za precizno postavljanje točke početka/kraja linije nudi petnaest pomagala (*npr. kraj linije, dodir tangente*).

Kombinacija AutoCAD-a i programa paketa MS Office prate izvjesne poteškoće (*debljine linija*). Neke od njih mogu se otkloniti posredstvom Corel Drawa (*crtež se iz AutoCAD-a u Corel-*

*DRAW kopira u wmf formatu*). Kombiniranjem AutoCAD-a (*precizno crtanje*) i Corel Drawa (*grafička prilagodba*) mogu se relativno brzo dobiti efektni crteži strojarskih dijelova.

### Corel Draw

**Corel Draw** je vektorski program tvrtke Corel, namijenjen nespecializiranom crtanju. Crteži u Corel Drawu su dvo-dimenzijski (2D), a s pogodnim sjenčenjem se dobivaju tro-dimenzijski (3D) efekti.



Corel Draw se u radu može uspješno kombinirati s programima paketa MS Office. Najčešće se crteži iz Corel Drawa kopiraju u Word, a najmanja je vjerojatnost pojave komplikacija ako se crtež prije kopiranja rasterizira u samom Corel Drawu. Postupak je: označava se dio koji se kopira,  $\langle \text{Ctrl} + c \rangle \Rightarrow \langle \text{Ctrl} + v \rangle \Rightarrow \text{Bitmaps} \Rightarrow \text{Convert to Bitmap}$  (bira se rezolucija, npr. 150 dpi)  $\Rightarrow \langle \text{Ctrl} + x \rangle \Rightarrow$  prelazi se u Word i odabire mjesto na koje se kopira dio  $\Rightarrow \text{Paste Special} \Rightarrow \text{Device Independent Bitmap}$ .

Kombinacija Corel Drawa s Photoshopom nije jednostavna – u Corel Drawu se izmjene slika kopiranih iz Photoshopa svodi na ubacivanje „naljepaka“, a u Photoshopu se linije crteža kopiranih iz Corel Drawa mijenjaju „točka po točka“.

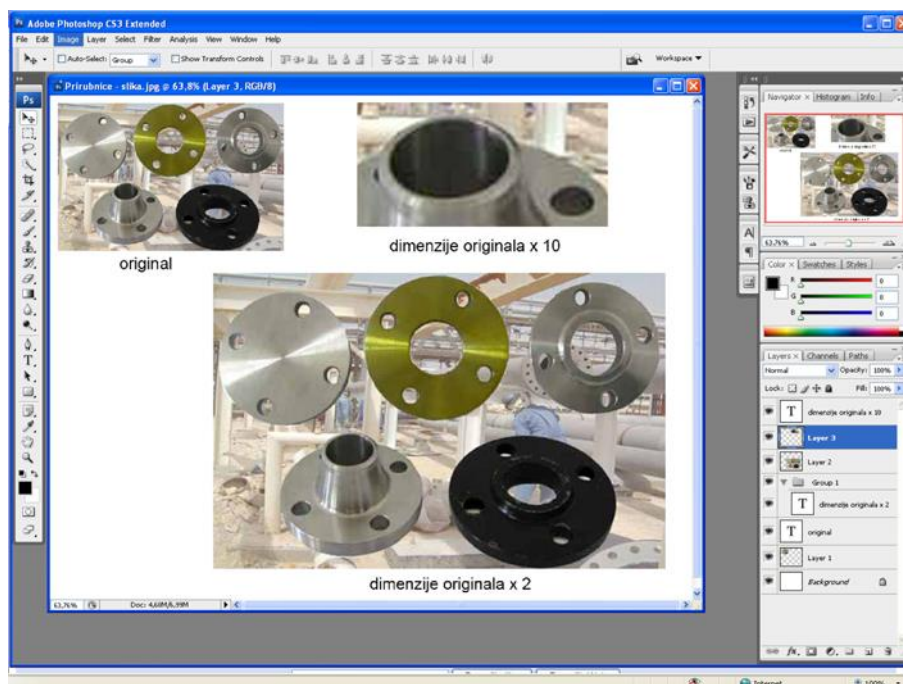
Kombiniranjem AutoCAD-a i Corel Drawa mogu se relativno brzo dobiti efektni crteži strojarskih dijelova.

### Photoshop

**Photoshop** je rasterski program tvrtke Adobe Systems Incorporated, namijenjen obradi digitalnih slika (*slike i crteži iz literature digitaliziraju se skenerom*). Kod rastera je svaka točka slike određena s koordinatama i bojom, što ima za posljedicu poteškoće pri uvećavanju slika.

Pored jednostavnog isijecanja ili odsijecanja dijelova slike moguće je nešto složenijim postupcima u velikoj mjeri prilagoditi sliku željama – svjetlije/tamnije, jači/slabiji intenzitet boja. Međutim, od malih slika niskih rezolucija (*često sretanih na Internetu*) praktično nije moguće dobivanje kvalitetno odštampanih slika većih dimenzija (*npr. 10 × 10 cm*).

Slikanje u Photoshopu (*kistovi*) nije jednostavno, kao što nisu jednostavne ni izmjene detalja slika (*npr. potrebno je prevesti i zamijeniti nazive dijelova ispisane na slici*). S druge strane, Photoshop se može u radu uspješno kombinirati s drugim programima (*MS Office*).

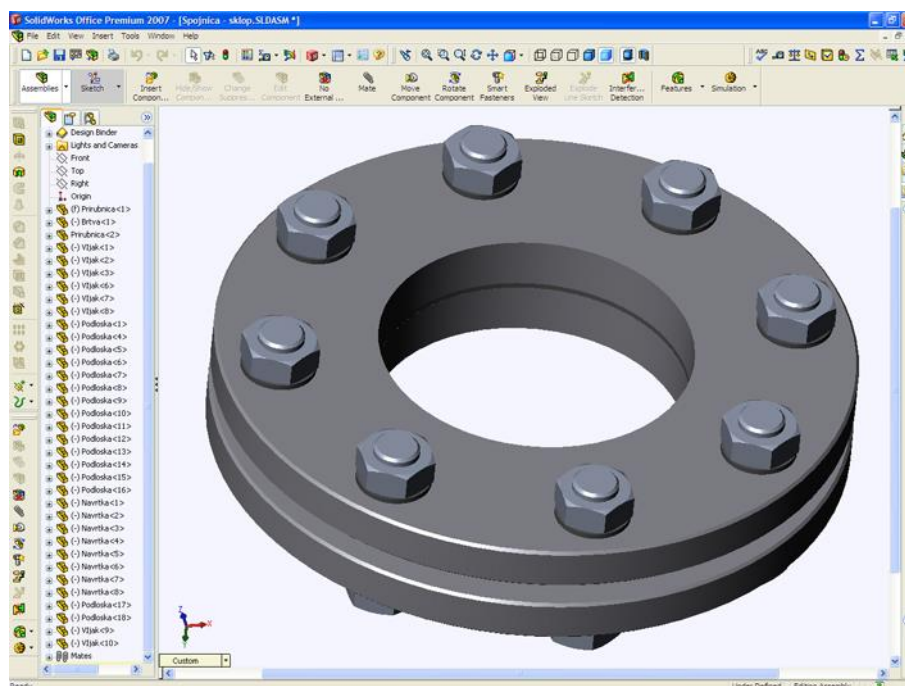


Kombinacija Corel Drawa s Photoshopom nije jednostavna – u Corel Drawu se izmjene slika kopiranih iz Photoshopa svodi na ubacivanje "naljepaka", a u Photoshopu se linije crteža kopiranih iz Corel Drawa često moraju mijenjati "točku po točku".

### 1.4.3 Računalno podržano oblikovanje

#### *SolidWorks*

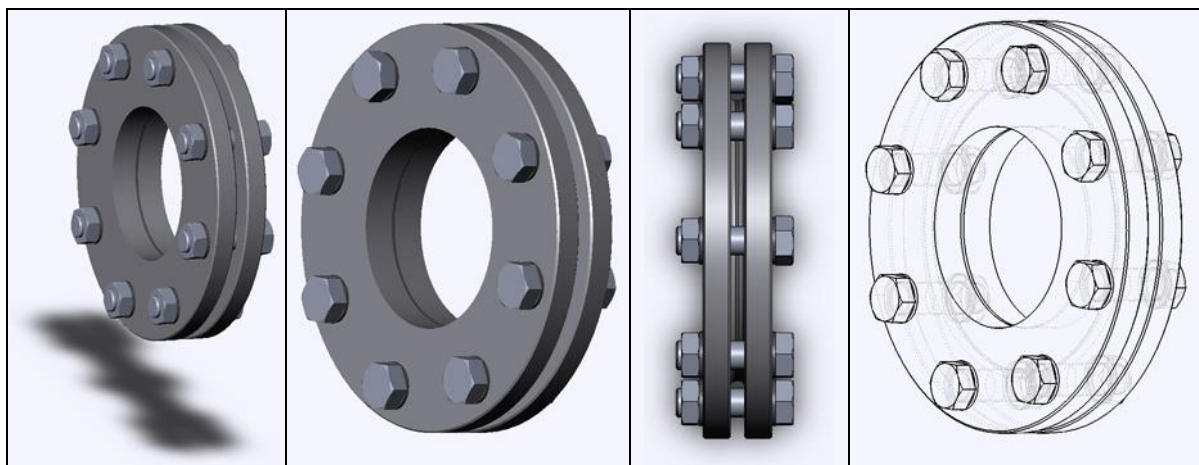
**SolidWorks** je vektorski program koji je razvila tvrtka SolidWorks Corporation, danas u vlasništvu tvrtke Dassault Systèmes Autodesk, namijenjen 3D strojarskom računalno podržanom konstruiranju.



Modeliranje u SolidWorksu može se brzo naučiti uz korištenje vodiča za učenje i već nakon dan-dva učenja izrađuju se jednostavniji modeli strojarskih dijelova. Međutim, za savladavanje korištenja svih mogućnosti SolidWorksa treba dugo vremena.

Kada se izrade modeli dijelova, na jednostavan se način može izraditi normirani tehnički crtež strojarskog dijela ili se pak od više modela dijelova može izraditi model sklopa. Na primjer, u slučaju prirubnice, izrade se modeli prirubnice, brtve, zavrtnja, navrtke i podloške te se potom od izrađenih modela izradi sklop prirubnice.

Za izradu modela strojarskog dijela u SolidWorksu potrebno je više vremena nego za izradu crteža u AutoCAD-u ili CorelDrawu, ali, kada se model izradi može se lako gledati na različite načine, s različitih strana.

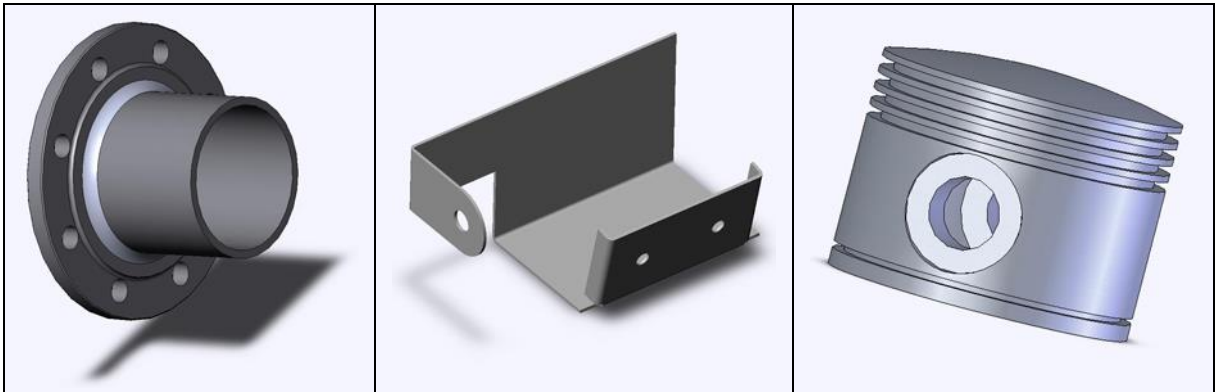


Za strojarsku tehnologiju osobito su korisni alati SolidWorksa za izradu kalupa za lijevanje dijelova, dimenzioniranje ravnih limova (*pripremake*) potrebnih za izradu dijelova plastičnom



## 52 Elementi strojeva 1

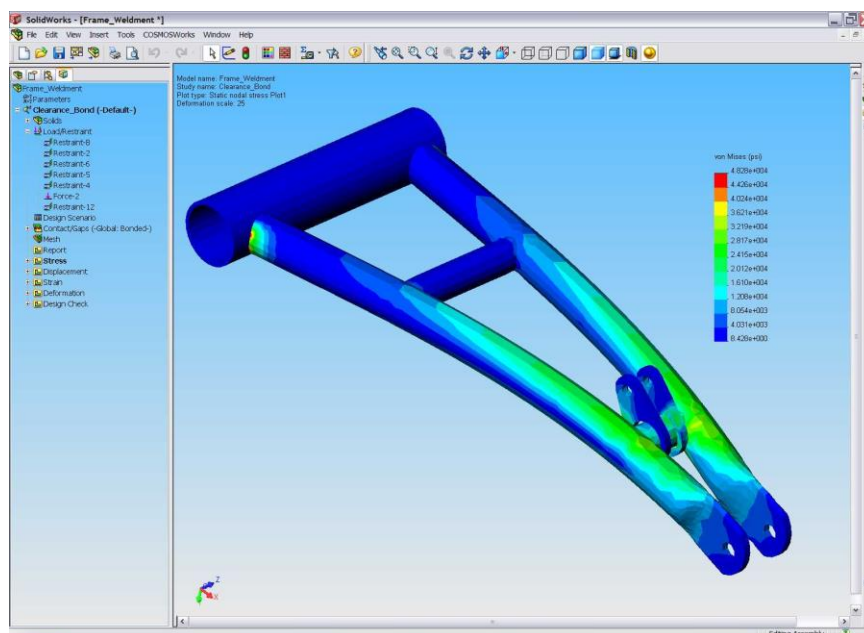
deformacijom (*pri savijanju limova dolazi i do promjena dimenzija uslijed lokalnih deformacija*), te izradu sklopova zavarivanjem.



Mogućnosti se značajno proširuju dodacima:

- (a) COSMOSWorks (*analiza napreznja, temperatura, ..., optimizacija*),
- (b) COSMOSFloWorks (*dinamika fluida*),
- (c) COSMOSMotion (*simulacija gibanja*).

S dodatkom COSMOSWorks dobiva se moćan alat za 3D konstruiranje dijelova složenih oblika, s grafičkim prikazima numeričkim metodama izračunatih vrijednosti napreznja u dijelovima.

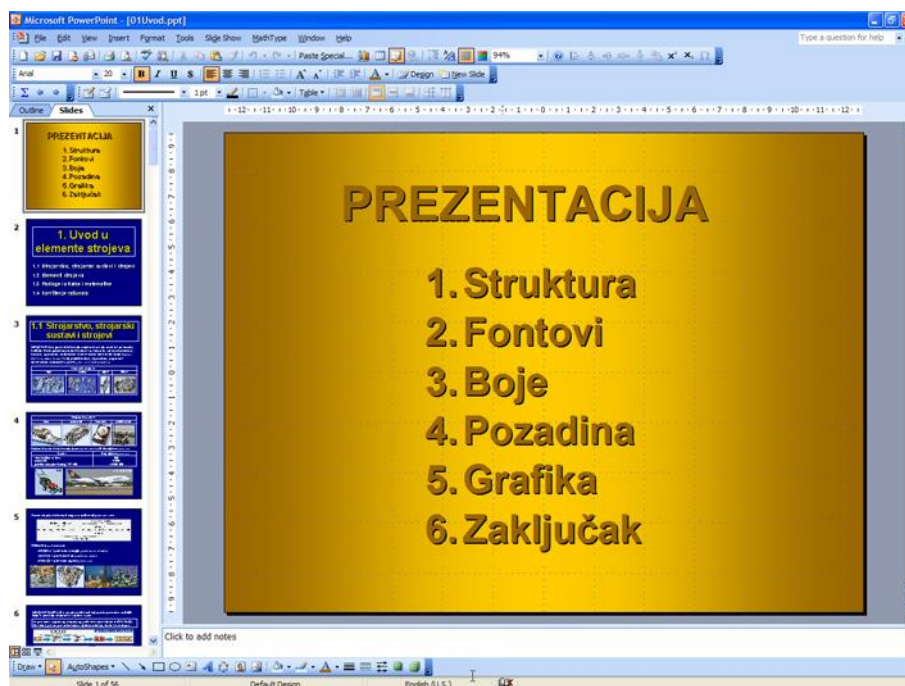


### 1.4.4 Prezentacija

*MS PowerPoint*

**PowerPoint** je danas najčešće korišteni program za izradu prezentacija.





Lako se uči i već nakon dan-dva učenja mogu se izrađivati prezentacije koje u velikoj mjeri pomažu u usmenom izlaganju i čine ga zanimljivijim. Međutim, treba imati na umu da će i manje pažljivi slušatelji pažljivo pratiti par rečenica na samom početku izlaganja te s tim rečenicama treba pokušati pobuditi njihovo zanimanje.

Pri oblikovanju prezentacija s PowerPointom treba se pridržavati preporuka:

- Na početku prezentacije prikazati njen sadržaj.
- Sadržaj svakog slajda treba biti usklađen s vremenom koje će mu se posveti:



- **Elementarni slajdovi** namijenjeni su kontinuiranim izlaganjima sadržaja i na svakom slajdu se zadržava oko jednog minuta.
  - Navodi se oko pet natuknica na slajdu, s naglašenim ključnim riječima. Više natuknica, osobito cijelih rečenica navodi slušatelje na čitanje.
  - Izbjegavaju se animacije kojima se odvlači pozornost slušatelja. Što je slajd jednostavniji slušatelji će se više koncentrirati na usmeno izlaganje.
- **Složeni slajdovi** namijenjeni su diskusijama sa slušateljima i na svakom se slajdu zadržava oko pet minuta.
  - Slajdom se obuhvaća cjelina s definicijama, formulama i/ili dijagrame.
  - Izbjegava se pisanje objašnjenja te skakanje sa slajda na slajd jer se time ometa praćenje usmenog izlaganja.

- Odmah se izloži strukturu slajda i s dvije tri rečenice objasne sadržaji. Potom se otvara diskusija fokusirajući se na sadržaje slajda.
- **Fontovi** – koriste se uobičajeni, Arial i Times New Roman fontovi u veličinama 14 do 72. Zbog otežanog čitanja treba izbjegavati pisanje riječi s VELIKIM SLOVIMA i dimenzije slova manje od 12.
- **Pozadina** treba biti jednostavna i ne treba ju mijenjati tijekom prezentacije kako se ne bi odvlačila pozornost slušatelja. Različite se pozadine mogu koristiti za prvi slajd sa sadržajem prezentacije i zadnji slajd sa zaključkom. Boja pozadine treba što manje umarati oči i biti u kontrastu s bojom fontova kako bi se tekst lakše čitao. Prikladne boje koristiti za naglašavanje ali izbjegavati šarene slajdove.
- **Grafika** – treba koristiti skice, crteže, slike i dijagrame koje pomažu u shvaćanju detalja izlaganja. Veće tablice treba izbjegavati jer samo odvlače pozornost slušatelja. Previše detalja odvlači pozornost slušatelja.
  - Skice i crteži ne smiju biti komplicirani i moraju sadržati legendu. Ako su slušatelji prethodno dobro informirani o temi izlaganja treba koristiti blok sheme, a ako nisu dobro informirani slikovite sheme.
  - Slike trebaju biti atraktivne, ali fokusirane na detalj izlaganja koji se želi naglasiti.
  - Dijagramima se semikvantitativno opisuju stanja i procesi a moraju sadržati oznake osi i legendu.
  - Vrijednosti veličina moraju sadržati oznaku veličine, znak jednakosti, brojčanu vrijednost i jedinicu.
- **Zaključak** – treba naglasiti odakle se pošlo, što je tijekom prezentacije obrađeno i što slijedi u slijedećoj prezentaciji. Imati na umu da i manje pažljivi slušatelji zapamte par rečenica nakon što im se stavi do znanja da je to zaključak i kraj prezentacije.

### 1.4.5 Internet

**Internet** je skupina mreža kompjutora na koju se osobni kompjutori u pravilu povezuju telefonskom linijom. Preko interneta se uspostavlja učinkovita komunikacija mnogobrojnih kompjutora raspoređenih po cijelom svijetu, te brzo dolazi do brojnih korisnih informacija.

Globalna mreža koja obuhvaća milijune manjih ili većih računala (*ogroman broj različitih, velikim dijelom i besplatnih, baza podataka i programa*) i njihovih korisnika.

Svaki element Interneta ima svoj URL (*Uniform Resource Locator – jedinstveni lokator resursa*) preko koga mu se pristupa (*ako je element Interneta: (a) aktivan i (b) pristup slobodan*).



U **pretragama interneta** treba biti racionalan. Tijekom obavezne faze pripreme dobro razmisliti o cilju pretrage i razini potrebnih informacija:

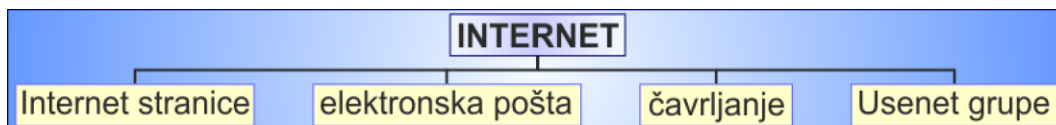
- (a) osnove ,
- (b) za učenje,
- (c) stručni ili
- (d) znanstveni,

te pažljivo odrediti ključne riječi. Bez promišljene pretrage ubrzo se dolazi do neuređene hrpe podataka i informacija za čiji je samo pregled i uređivanje potrebno utrošiti sate rada.

Adresa je predmeta Elementi strojeva 1:

<http://www.ffri.uniri.hr/~zvonimir/> (stranica je u fazi izrade)

Informacije se razmjenjuju preko Interneta:



## Internet stranice

Preko hrvatskog Centra za online baze podataka namijenjenih istraživačkim i akademskim zajednicama može se pristupiti brojnim zanimljivim bazama podataka. Internet adresa centra je: <http://www.online-baze.hr/baze>.

Korisne se informacije za rad na elementima strojeva mogu naći u bazama podataka:

<http://www.wlw.hr> (proizvodi – Hrvatska)

<http://www.europages.com> (proizvodi – Europa)

<http://www.industrialproductsfinder.com> (proizvodi – Indija)

<http://www.kellysearch.com> (proizvodi – Engleska)

<http://www.1stindustrialdirectory.com> (poduzetništvo)

<http://www.brd-klee.dk> (proizvodi Danska)

<http://mfg.asiaep.com> (Azija – proizvodi)

<http://www.hpceurope.com> (proizvodi – Francuska)

<http://www.globalspec.com> (proizvodi – SAD)

<http://www.mmonline.com> (proizvodnja – USA)

<http://www.memsnets.org> (mikro-elektromehanički sustavi – USA)

<http://www.olympic-controls.com> (automatika – USA)

<http://www.hzn.hr> (norme – Hrvatska)

<http://www.din.de> (norme – Njemačka)

<http://www.iso.org> (norme – svijet)

<http://www.bsigroup.com> (norme – Engleska)  
<http://www.ansi.org/> (norme – USA)  
<http://www.astm.org> (materijali, norme – USA)  
<http://www.kub.it/dir/117693> (norme – svijet)  
<http://www.matweb.com> (baza podataka – materijali)  
<http://www.webelements.com> (baza podataka – kemijski elementi)  
<http://gigapedia.com> (knjige – svijet)  
<http://www.nap.edu> (knjige – USA)  
<http://www.eevl.ac.uk> (baza podataka – Engleska)  
<http://www.tms.org> (materijali – USA)  
<http://en.wikipedia.org> (baza podataka – enciklopedija)  
<http://old.iupac.org> (baza podataka – svijet)  
<http://www.nist.gov> (baza podataka – USA)  
<http://www.nsk.hr> (sveučilišna knjižnica – Hrvatska)

## Elektronska pošta

Elektronska pošta je namijenjena off line razmjena tekstualnih poruka (+ fajlovi) – uz korištenje pogodnog programa (npr. Outlook Express).

Poslovnu e-poštu treba pažljivo pripremiti, s engleskom kraticom "5w":

who (tko) – tko je primalac (uzeti u obzir: odnos s primaocem, njegovu informiranost, eventualne predrasude, što bi ga potaklo da odgovori na e-poštu, eventualno s njim stečena iskustva u razmjeni e-pošte),

what (što) – cilj upućene poruke (razmjena informacija ili dogovor),

when (kada) – rok u kome je neophodno razmijeniti informacije ili predloženi termin sastanka,

where (gdje) – adresa mjesta na kome se predlaže sastanak,

why (zašto) – koje su pogodnosti/posljedice razmjene informacija ili sastanka za pošiljaoca i primaoca.

Poslovni e-mail treba sadržati:

Subject	obavezni kratak opis biti poruke (vidi se u Inbox-u)
Pozdrav	poštovani + titula + prezime ili zdravo + ime ili ime (odnos s primaocem)
Tekst	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sažet, jasan, interesantan tekst (osobito su važne prve tri rečenice)</li> <li>• u slijedu od najvažnije k najmanje važnoj informaciji</li> <li>• jednostavne riječi, kratke rečenice i pasusi; jedna stranica</li> </ul>
Zaključak	željena akcija + rok ili ljubazan zaključak ili zahvala
Potpis	titula + ime i prezime + radno mjesto + tvrtka + poštanska adresa + broj telefona/mobitela/faksa + e-mail adresa + adresa Web stranice

Poslovni e-mail ne treba sadržati:

- znakove emocija [ :) = ☺, :( = ☹ ] i kratica (LOL – smijem se glasno)
- uvredljive i svađalačke izraze, naprotiv, poželjna je duhovitost (oprezno)
- tekst pisan velikim slovima (tumači se kao vikanje a i teško se čita)

- pitanja na koja nije moguće dati sažet odgovor
- priložene velike fajlove, ali treba u tekstu napisati što se prilaže

Adresa je profesora Elemenata strojeva 1: zvonimir.kolumbić@ri.t-com.hr.

## Čavrljanje

Internet stranice za čavrljanje (*en. chat*) namijenjene su on line razmjeni podataka (*glas, tekst, slika, fajlovi*) – uz korištenje pogodnog programa (*npr. Skype*).

## Usenet grupe

Usenet (*USEer NETwork – mreža korisnika*) predstavlja sustav servera namijenjenih razmjeni poruka. Do brojnih grupa, na kojima se raspravlja o različitim temama (*postavljanje pitanja i davanje odgovora*), može se doći preko polazne adrese <http://groups.google.com/>. S te se adrese, na primjer, preko linkova Browse all group categories ... (*otvara se mogućnost pristupa nekoj od preko 10000 grupa*) ⇒ Science and Technology otvara strana s grupama iz oblasti znanost i tehnologija, sistematiziranim u tablicu po temama, geografskim područjima, jezicima, aktivnosti i broju članova. Ispod tablice se nalazi popis linkova s kratkim opisima tema te podacima o oblasti, jeziku, aktivnosti i broju članova. Iznad tablice se nalazi prozor za pretragu (*Search for a group*).

Prva je grupa u popisu:

[sci.math](#) (*link grupe*)  
 Mathematical discussions and pursuits.  
 Category: [Science and Technology > Math](#), Language: [English](#)  
 High activity, 6509 subscribers, Usenet

Aktiviranjem ovog linka se otvara grupa s preko 150 000 postavljenih problema. Dalje je moguće po ključnim riječima pretražiti ovu grupu (*Search this group*) ili potražiti druge grupe (*Search groups*). Na primjer, pretraga ove grupe s "cubic spline" (*kubični splajn – dvije riječi zajedno*) rezultira s mogućnosti uključivanja u raspravu o preko 90 postavljenih problema u kojima se spominje kubični splajn. Pretraga ove grupe s "quantitative methods" (*kvantitativne metode*) rezultira sa samo desetak postavljenih problema, ali pretraga po drugim grupama rezultira s preko 7 700 postavljenih problema.

Ako se problem jasno formulira na odgovarajućoj Usenet grupi, velika je vjerojatnost da se za dan-dva (*osobito brzim odgovorima se ne treba nadati*) nađe netko tko zna rješenje i ima vremena opisati ga. U raspravi o postavljenim problemima u pravilu sudjeluju učesnici koji se uzajamno ne poznaju – oni iznose i brane svoja stajališta te pobijaju suprotna. Međutim, kako je Usenet vrlo slabo nadzirana mreža (*sve je na Internetu ipak pod manjom ili većom kontrolom*), u raspravama se mogu očekivati i grube uvrede.

Adrese zanimljivih internet stranica date su u daljem tekstu uz pojedine vrste elemenata.



# Dodaci

## Literatura

### 1.1 Strojarstvo, strojarski sustavi i strojevi

Benhabib2003/Ch2+Ch5, Childs2004/16÷53,322÷364, Cross1997, Cross2005, Cross2006, Grote2009, Grote2007/H,I,K,L,M,N,P,Q,R,T,U,V, Haberhauer2011, Jelaska2005, König2008, Kreith2005, Kutz22005, Kutz42005, Kutz1998, Pandžić2008, Podhorsky1963-1997, Smith2000,

#### 1.1.1 Strojarstvo i strojarski sustavi

Whitney2004,

#### 1.1.2 Strojevi i energije

#### 1.1.3 Sistemska analiza i blok sheme

#### 1.1.4 Izvedba strojarskih sustava

Lawson2005, Sobey2006, Sobey2009, Trzesniowski2010,

### 1.2 Elementi strojeva

#### 1.2.1 Definicija i klasifikacija elemenata strojeva

#### 1.2.2 Zahtjevi, skice i specifikacije elemenata

#### 1.2.3 Konstruiranje elemenata

Ashby2002, Ashby2007/29÷46, Ashby2005/23÷38, Böge/2007, Böge/2011, Braess2007, Budynas2008/13÷36, Budynas2011/3÷29, Czichos2008/K,Q, Ehrlenspiel2011, Glegg1972, Grote2009, Grote2007/F, Haberhauer2009, Hering2004/412÷445, Kreith2005, Künne2008, Kutz12005, Kutz1998, Lawson2005, Lindemann2007, Mott2004, Niemann2005, Norton1999, Norton2006, O'Sullivan2002, Pahl2007, Pahl1988, Ponn2008, Shigley1996, Shigley1996, Smith2000, Steinhilper2008, Ullman2010,

#### 1.2.4 Izrada elemenata

Benhabib2003, Czichos2008/L,M,N, Grote2009, Grote2007/S, Kalweit2006, Kraut1988, Kutz32005, Kutz1998, Lotter2006, Carvill2003/183÷228, Fritz2008, Nagyszalanczy2006,

#### 1.2.5 Vijek trajanja elemenata

Manzini2009, Mobley2004, Palmer2005, Smith203, Smith2004, Smith2007,

#### 1.2.6 Patentiranje

### 1.3 Podloge iz fizike i matematike

Böge/2007, Böge/2011, Czichos2008/A,B,E,F,G, Grote2009, Kraut1988,

#### 1.3.1 Fizika i fizičke veličine

Alfirevic1996/106÷123,369÷483, Avallone2006/185÷273, Benenson2006, Böge/2008, Browne/1998, Harten/2009, Hering/2007, Hsu/2004, Serway/2004, Woan/2000, Grote2007/D, Kolumbić2010, Levi2009, Marghitu2001, Singh2007, Smith2000,

#### 1.3.2 Newtonovi zakoni i mehanička ravnoteža

Alfirevic1996/197÷369, Avallone2006/106÷184, Bassin1979/13÷148, Berger/2005, 4xBöge2011, Dankert2011, Grote2007/B, Hauger2008, Hibbeler2004, Mack2006, Marghitu2001, Oberg2008, Oberg2004, Rašković1965, Schier2011, Singh2007, Smith2000, Timings2005,

#### 1.3.3 Mehanička energija, rad i snaga

#### 1.3.4 Korisnost i učinkovitost

#### 1.3.5 Matematika i brojevi iznosi

Alfirevic1996/10÷106, Avallone2006/19÷105, Grote2007/A, Kreith2005, Levi2009, Lidsky1973, Marghitu2001, Norton2006/926÷959, Oberg2008, Oberg2004, Polyani2006, Schier2011, Shakarchi1997, Shigley1996, Smith2000, Timings2005, Timings2000, Turtur2006,

#### 1.3.6 Trokut i trigonometrija u ravnini

#### 1.3.7 Dimenzijska analiza

#### 1.3.8 Infinitesimalni račun

#### 1.3.9 Rješavanje zadataka

### 1.4 Korištenje računala

Shigley1996, Smith2000, Timings2005,

#### 1.4.1 Osnove korištenja računala

Alfirevic1996/145÷161 (hardver), Alfirevic1996/161÷165, Czichos2008/J, Foster2006, Kolumbić2005, Nahrstedt2005, Protić2002,

#### 1.4.2 Izračunavanje i crtanje

MATLAB – Attaway/2009, Chapra/2006, Davis/2011, Gekeler/2006, Gilat/2004, Hahn/2007, Higham/2005, Hunt/2006, Knight/1999, Lyshevski/2003, Marchand/2003, 6xMathWorks/2001, McMahon/2001, Moore/2008, Pietruszka/2006  
CorelDRAW – Bouton/2008, Bouton/2011, Corel/2006  
AutoCAD – Ambrosius/2008, Finkelstein/2003, Finkelstein/2006, Frey/2003, McFarlane/2004, Middlebrook/2005

- 1.4.3 Računalno podružano oblikovanje  
SolidWorks – Lombard/2007, Planchard/2005, Planchard/2001, 4xSolidWorks/2006,  
Chang2008,
- 1.4.4 Prezentacija
- 1.4.5 Internet  
Dodaci  
Mott2004/948,  
Literatura  
Haberhauer2011/639=643,

*Internet*

## Oznake

Carvill2003/299÷300, Haberhauer2011/637, Shigley1996/A.2,

$A$	–	površina, $\text{mm}^2$
$D/d$	–	vanjski/unutarnji promjer, mm
$F$	–	sila, N
$m$	–	masa, kg
$L/B/H$	–	duljina/širina/visina, mm
$p$	–	tlak, $\text{N}/\text{mm}^2$
$t$	–	vrijeme, s
$T$	–	apsolutna temperatura, K
$V$	–	volumen, $\text{m}^3$
$v$	–	brzina, m/s
$W$	–	rad, J
$\vartheta$	–	temperatura, $^{\circ}\text{C}$
$\eta$	–	koeficijent gubitaka energije, 1 ; dinamička viskoznost, $\text{Pa}\cdot\text{s}$
$\rho$	–	gustoća, $\text{kg}/\text{dm}^3$ ; električna otpornost, $\mu\Omega\cdot\text{cm}$

## Rječnik

Carvill2003/322÷340,

hrvatski	engleski	njemački
strojarstvo	mechanical engineering	Maschinenbau
sustav	system	System
stroj	machine	Maschine
element stroja	machine element	Maschinenelement
matematika	mathematics	Mathematik
fizika	physics	Physik
razmak	distance	Abstand
put	way	Weg
vrijeme	time	Zeit
masa	mass	Masse
sila	force	Kraft
površina	area	Fläche
tlak	pressure	Druck
energija	energy	Energie
rad	work	Arbeit

## Podloge

### *Idejno rješenje elemenata*

Idejno rješenje treba sadržati:

1. definiciju elementa – naziv, namjena, cilj, zadaci;
2. opis geometrije dijelova – skica s osnovnim približnim dimenzijama;
3. strukturu elementa – popis dijelova/područja s određenim funkcijama;
4. materijal – osnovni/prilagodbe;
5. tehnologija izrade dijelova – popis tehnoloških postupaka;
6. primjena elementa – montaža, sigurnost, održavanje, popravci, odlaganje.

Cross [2005, str. 26]

From studies of a number of engineering designers, of varying degrees of experience and with varying exposures to education in systematic design processes, Fricke (1996) found that designers following a 'flexible-methodical procedure' tended to produce good solutions. These designers worked reasonably efficiently and followed a fairly logical procedure, whether or not they had been educated in a systematic approach. In comparison, designers either with a too-rigid adherence to a systematic procedure (behaving 'unreasonably' methodically), or with very unsystematic approaches, produced mediocre or poor design solutions. Successful designers (ones producing better quality solutions) tended to be those who:

- clarified requirements, by asking sets of related questions which focused on the problem structure
- actively searched for information, and critically checked given requirements
- summarised information on the problem formulation into requirements and partially prioritised them
- did not suppress first solution ideas; they held on to them, but returned to clarifying the problem rather than pursuing initial
- solution concepts in depth
- detached themselves during conceptual design stages from fixation on early solution concepts
- produced variants but limited the production and kept an overview by periodically assessing and evaluating in order to reduce the number of possible variants.

The key to successful design therefore seems to be the effective management of the dual exploration of both the 'problem space' and the 'solution space'.

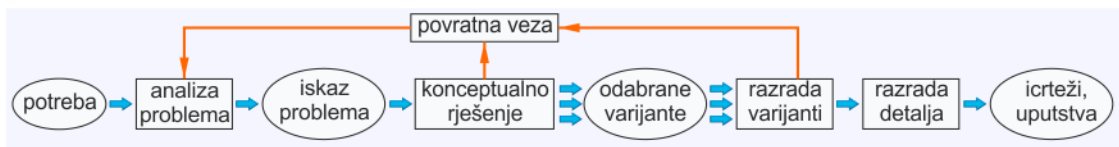
Cross [2005, str. 30]

The process begins with an initial statement of a need, and the first design activity is analysis of the problem. French suggests that the analysis of the problem is a small but important



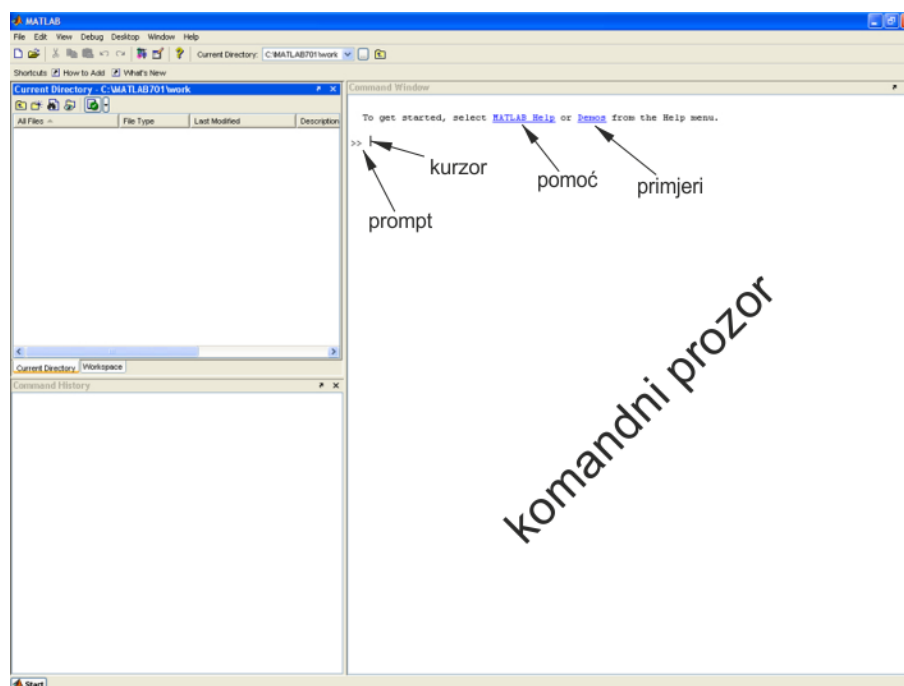
part of the overall process. The output is a statement of the problem, and this can have three elements:

- *a statement of the design problem proper*
- *limitations placed upon the solution, e.g. codes of practice, statutory requirements, customers' standards, date of completion, etc.*
- *the criterion of excellence to be worked to.*



## MATLAB

U okvirima prvog zadatka, koji se radi po grupama kod kuće, treba u MATLAB-u napisati tri programa (*format: \*.m*) za rješavanje (*izračunavanje*) tipičnih zadataka iz matematike, fizike i čvrstoće. Tekst zadatka i rješenja treba napisati u Word-u (*formule s MathType-om*), a skice nacrtati s CorelDRAW-om te ih potom unijeti u tekst Worda. Pri izračunavanjima se tekst programa iz Word-a kopira u Matlab u kome s program izvršava (*tipka ↵*).



S radom u MATLAB-u može se početi klikom na:

- klikom na MATLAB Help – otvara se mogućnost pristupa detaljnim uputama za korištenje MATLAB-a s brojnim primjerim;
- klikom na Demos – otvara se mogućnost pristupa sustavno uređenim brojnim primjerima;
- upisivanjem naredbi iza prompta na jednostavan se način obavljaju izračunavanja.

Uz svaki je primjer, pored rješenja, dat ispis programa što omogućava eksperimentiranje sa zamjenom originalnih podataka ili dijelova programa.

Varijablama se dodjeljuju vrijednosti znakom =, nakon čega se ona koristi i/ili ispisuje.

```
>> Promjer = 10;
>> promjer
??? Undefined function or variable 'promjer'.
>> Promjer
Promjer =
    10
```

Aritmetički su operatori:

- zbrajanje:  $+$   $4 + 2 = 4 + 2 = 6$
- oduzimanje:  $-$   $4 - 2 = 4 - 2 = 2$
- množenje:  $*$   $4 * 2 = 4 * 2 = 8$
- dijeljenje:  $/$   $4 / 2 = 4 / 2 = 2$
- potencija:  $^$   $4 ^ 2 = 4^2 = 16$

>> 634 + 522 + 42 ans = 1198	>> 13452 - 6458 ans = 6994	>> 45320/584 ans = 77.6027	>> 1.8^2.4 ans = 4.0988
------------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	-------------------------------

Redoslijed je izvršavanja operacija:

1. zgrade – od unutarnje k vanjskoj,
2. potencije,
3. množenje i dijeljenje,
4. zbrajanje i oduzimanje

Rezultat se ne ispisi u sljedećem redu ako se na kraju reda unese znak `;`.

Komandni prozor se briše s `clc` (iza prompta `>>` upisuje se naredba `clc` te izvršava s tipkom `↵`).

### Rad s programima formata `*.m`

Jedan je od načina pisanja/izvršavanja MATLAB programa:

1. napisati program u Editoru MATLAB-a (otvara se u MATLAB-u s `File` ⇒ `New` ⇒ `M-File`); alternativa je pisanje programa u tekst procesuru (npr. Word-u ili MS Notepadu),
2. spremiti program (`Save As`) u formatu `ImePrograma.m` (ekstenzija `m` umjesto `txt`),
3. u padajućim menijima MATLAB-a odabrati opciju: `File, Open...`,
4. u otvorenom prozoru naći i otvoriti program `ImePrograma.m`,
5. u otvorenom prozoru MATLAB-a (`Editor`) u padajućim menijima odabrati opciju: `Debug` ⇒ `Run`.

Rezultat izvršenja programa je ispisan u komandnom prozoru MATLAB-a.

Po potrebi, u otvorenom prozoru Editora MATLAB-a program se može promijeniti, nakon čega se u padajućim menijima Editora MATLAB-a bira opcija `Debug` ⇒ `Save and Run`. Kako će izvorni program (`ImePrograma.m`) pri tom biti izmijenjen, a ako je to potrebno, prethodno ga treba kopirati i dodijeliti drugo `ImePrograma1.m`.

Program ne izvršava redove ako započinju znakom `%` (komentari – važni detalji o programu).

**PD 01.01:** Napisati semiprograma za izračunavanje površine kružnice.

**Rješenje:**

Površina kružnice ( $A$ ,  $mm^2$ ): 
$$A = \frac{D^2 \cdot \pi}{4}$$

Program u Editoru MATLAB-a (*PovrsinaKruznice01.m*):

```
clc
'*****IZRACUNAVANJE POVRSINE KRUZNICE*****'
D = 7 % mm
A = D^2*(pi)/4 % mm^2
```

Pri izvršenju, u komandnom prozoru MATLAB-a ispisuje se:

```
ans =
*****IZRACUNAVANJE POVRSINE KRUZNICE*****
D =
    7
A =
  38.4845
```

U radu s MATLAB-om su česti problemi sa znakovima (*npr. ' nije isto što i '*). Rješava se nalaženjem odgovarajućeg znaka u WORD-u i kopiranjem (<Ctrl>+c) u tekst editor (<Ctrl>+v).

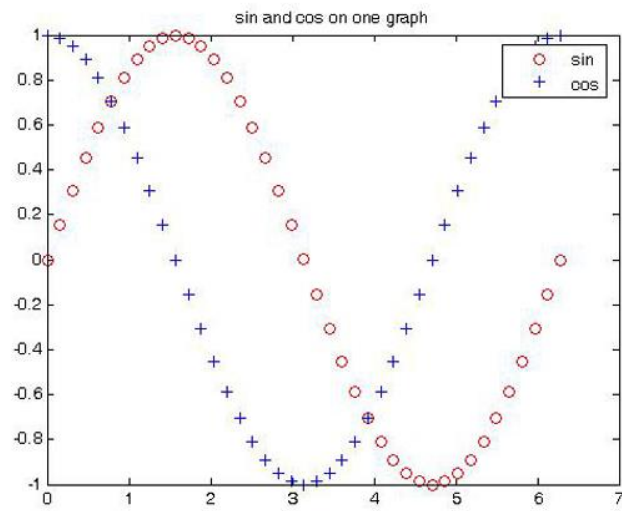
**PD 01.02** Nacrtati funkcije trigonometrijske funkcije: sin x i cos x.

**Rješenje:**

Prekopirati tekst programa (<Ctrl>+c) iz literature: Attaway (2009), 59. str. u *Notpad* tekst editor (<Ctrl>+v) te program izvršiti u MATLAB-u.

```
x = 0: 2*pi/40: 2*pi;
y = sin(x);
plot(x,y, 'ro')
hold on
y = cos(x);
plot(x,y, 'b+')
legend('sin', 'cos')
title('sin and cos on one graph')
```

Rezultat je grafik:



## Razno

Klasifikacije elemenata (1.2.2):

Childs [(2004), str. 17] opisuje višekriterijalnu klasifikaciju elemenata strojeva:

Energy conversion	Energy transmission	Energy storage	Locating	Friction reduction	Switching	Sealing	Sensors	Miscellaneous mechanisms
Turbomachinery Gas turbine engines Rotodynamic pumps and compressors fans propellers turbines	Gears spur helical bevel worm conformal Belts flat vee wedge round synchronous	Flywheel Springs helical leaf Belleville rubber spiral garter Fluid accumulator Gas spring Reservoir Pressure vessel Solid mass Chemical Charge Torsion bar	Threaded fasteners bolts nuts and lock nuts grub screws studs screws Washers Nails Pins Cylindrical taper spring Rivets Tolerance rings Expanding bolts Keys Flat, round profiled gib head Woodruff Splines Circlips Snap rings Clamps Retaining rings Shoulders Spacers Grooves Fits clearance transition interference Adhesives Welds	Rolling element bearings deep groove cylindrical roller needle roller taper roller sprag angular contact self aligning thrust recirculating ball Sliding bearings plain rubbing hydrodynamic hydrostatic hydrodynamic slideway Wheels and rollers Brushes	Clutches square jaw multiple serration sprag roller disk drum cone magnetic synchromesh Ratchet and pawl Geneva Mechanisms Valves Latches Bimetallic strips	Dynamic seals mechanical face lip ring bush labyrinth brush ferrofluidic rim seals O rings packings piston rings Static seals gaskets O rings gaskets sealants	Motion Dimensional Mass Force Torque Power Pressure pitot tubes static tappings manometers piezoelectric Sound Flow laser doppler hot wire ultrasonic Level Humidity Temperature thermocouples resistance thermometers pyrometers Heat flux thermopile Gardon gauges Strain and stress Time Chemical composition	Hinges, pivots Linkages Levers Tools cutters shears drills formers Grips Followers Guides Housings frames casings enclosures Sprayers Shutters Hooks Pulleys Handles Rollers and drums Centrifuges Filters

*Rotodynamic pumps helical helical nuts and lock deep groove multiple serration lip ring Mass Levers and compressors bevel leaf nuts cylindrical roller sprag bush Force Tools fans worm Belleville grub screws needle roller roller labyrinth Torque cutters propellers conformal rubber studs taper roller disk brush Power shears turbines Belts spiral screws angular contact drum ferrofluidic Pressure drills Internal combustion flat garter Washers self aligning cone rim seals pitot tubes formers engines vee Fluid accumulator Nails thrust magnetic O rings static tappings Grips rotary wedge Gas spring Pins recirculating ball synchromesh packings manometers Guides reciprocating round Reservoir Cylindrical Sliding bearings Ratchet and pawl piston rings piezoelectric Followers Boilers and combustors synchronous Pressure vessel taper plain rubbing Geneva Mechanisms Static seals Sound Housings Electric motors Chains Solid mass spring hydrodynamic Valves gaskets Flow frames Alternators and generators roller Chemical Rivets hydrostatic Latches O rings laser doppler casings Solenoids leaf Charge Tolerance rings hydrodynamic Triggers gaskets hot wire enclosures Pneumatic and hydraulic conveyor Torsion bar Expanding bolts slideway Bimetallic strips sealants ultrasonic Sprayers actuators silent Keys Wheels and rollers Level Shutters Brakes Cables and ropes Hooks disk Couplings profiled Temperature Pulleys drum and band rigid gib head thermocouples Handles Pumps flexible Woodruff resistance Rollers and Rockets universal Splines thermometers drums Heat exchangers Cranks Circlips pyrometers Centrifuges Guns Cams Snap rings Heat flux Filters Dampers and shock Power screws Clamps thermopile absorbers and threads Retaining rings Gardon gauges Fuel cells Levers and linkages Shoulders Strain and stress Pipes, hoses and Spacers Time ducts Grooves Chemical Ball screws Fits composition clearance transition interference Adhesives Welds*

Pretvaranje energije	Prijenos energije	Skladištenje energije
Odbojnici i amortizeri Klipe crpke i kompresori Kočnice sa: diskom bubnjem trakom Turbostrojevi: plinski turbinski strojevi centrifugalne crpke/kompresori puhala propeleri	Zupčanici : čelnici cilindrični s kosim zubima konusni pužni hipoidni Remeni: plosnati ve klinasti okrugli	Zamašnjak Opruge: zavojne lisnate tanjuraste gumene spiralne vrpčane Akumulator s fluidom Plinske opruge



turbine Ložišta i kotlovi Motori SUI: s pravocrtnim gibanjem klipa rotacijski Aktuatori: elektromagnetni pneumatski i hidraulični Električni motori Generatori električne struje: istosmjerne izmjenične Rakete Vatrena oružja Gorive ćelije	sinkroni Lanci: s tuljcima lisnati transportni zupčasti Kablovi i užad Spojke: krute elastične zglobne Koljenasto vratilo Brjegasto vratila Vijčani prijenosnici Poluge i zglobni prijenosnici Cijevi, crijeva, kanali Kuglično-vijčani prijenosnici Toplinski izmjenjivači	Spremnici Tlačne posude Kemijski spremnici Električni spremnici Torzijska šipka
--	--	---

Spajanje	Smanjenje trenja	Promjene
Spojevi sa zavojnicom vijci Podloške Čavli Zatici  Zakovice Tolerancijski prsteni Ekspanzijski vijci Klinovi	Kotlajni ležajevi	Spojke <i>square jaw</i>

Brtvljenje	Senzori	Mehanizmi
Dinamičke brtve <i>mechanical face</i>	Gibanja Dimenzija	Šarke s osovinicama <i>Linkages</i>

## Provjera znanja

Kod prezentacija i računskih zadataka ocjenjuje se: zanimljivost, sadržaj, obim, razina i estetika.

### *Prezentacija*

- Svaki student u grupi priprema prezentaciju uz korištenje programa: PowerPoint, CorelDraw i Photoshop;

### *Izračunavanja*

- Računske zadatke rade timovi od po 3 studenta (2 ili 4);
- Tekst se piše u Word-u s formulama pisanim uz korištenje MathType-a;
- Crteži se izrađuju u CorelDraw i/ili AutoCAD-u i/ili SolidWorks-u;
- Zadacima se prilažu MATLAB semi-programi (format \*.m);

### 1. Zadatak – **01 Uvod**: (50 bodova)

- (a) Izraditi prezentaciju odabrane teme iz Uvoda (20 bodova);
- (b) Izraditi blok shemu odabranog sustava s legendom (10 bodova);
- (c) Izraditi skicu sa specifikacijom elementa (10 bodova);
- (d) U MATLAB-u napisati tri semiprograma za rješavanje (izračunavanje) tipičnih zadataka iz:
  - matematike (10 bodova),
  - fizike (5 bodova) i
  - mehanike (5 bodova).

#### OBAVEZNO:

- svaki student po jednu prezentaciju (a),
- svaka grupa jedan zadatak po izboru (b) ili (c),
- svaka grupa po jedan zadatak (d).

**1. Zadatak – (a) Presentacija (20 bodova)**

Izraditi prezentaciju odabrane teme iz Uvoda.

Napomena: Naslov teme može biti jednak ili uži od sljedećih naslova tema:

*Teme* (prijedlozi naslova za prezentacije)

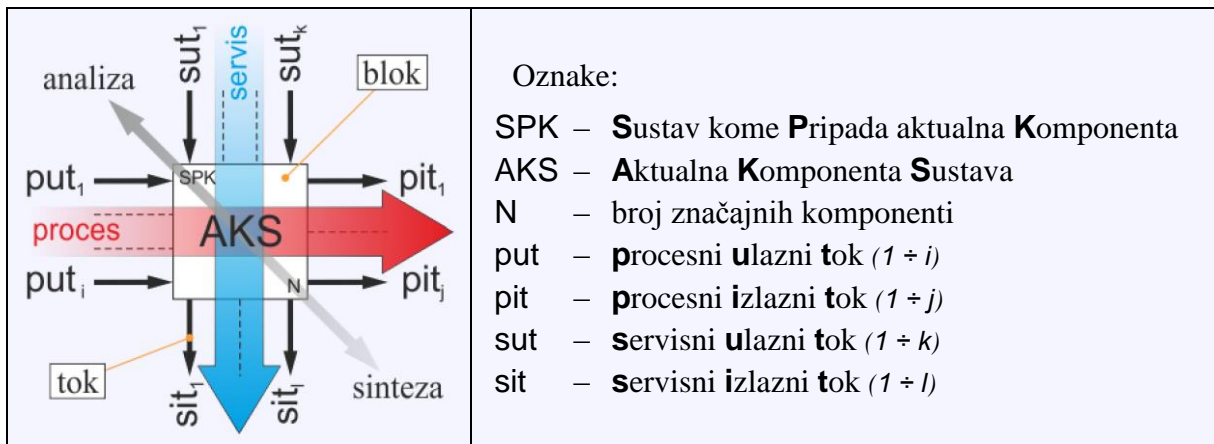
1. Strojstvo i strojarski sustavi
2. Strojevi i energije
3. Sistemska analiza i blok sheme
4. Izvedba strojarskih sustava
5. Definicija i klasifikacija elemenata strojeva
6. Zahtjevi, skice i specifikacije elemenata
7. Konstruiranje
8. Izrada elemenata
9. Vijek trajanja elemenata
10. Patentiranje
11. Fizika i fizičke veličine
12. Newtonovi zakoni i mehanička ravnoteža
13. Mehanička energija, rad i snaga
14. Korisnost i učinkovitost
15. Matematika i brojčani iznosi
16. Trokut i trigonometrija u ravnini
17. Dimenzijska analiza
18. Infinitesimalni račun
19. Rješavanje zadataka
20. Osnove korištenja računala
21. Izračunavanje i crtanje
22. Računalno podržano oblikovanje
23. Presentacije
24. Internet

1. Zadatak – (b) Blok shema sustava s legendom (15 bodova)

Izraditi blok shemu odabranog sustava s legendom.

Primjeri:

- Putničko motorno vozilo
- Etažno grijanje toplom vodom
- Perilica rublja



**1. Zadatak – (c) Skica i specifikacija elementa (15 bodova)**

Izraditi skicu sa specifikacijom elementa.

*Primjeri:*

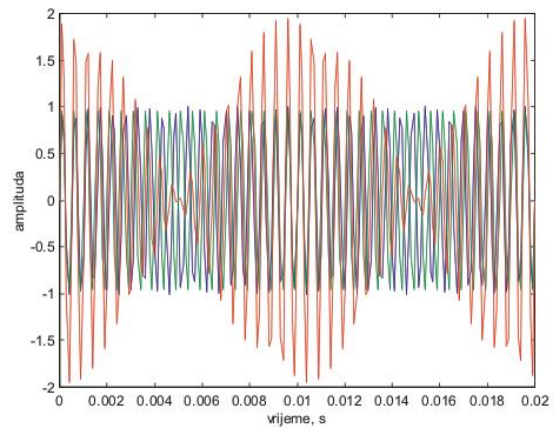
- *metalna traka za brtvljenje prozora/vrata*
- *mehanizam za podizanje kreveta*
- *vanjski sigurnosni ventil perilice*

**1. Zadatak – (d) MATLAB semiprogrami (20 bodova)**

Napisati tri semiprograma za rješavanje tipičnih zadataka iz:

- matematike (10 bodova),
- fizike (5 bodova) i
- mehanike (5 bodova).

```
Jedinica = 1/10000;  
Vr = [0 : Jedinica : 0.02];  
Fr01 = 1900;  
Fr02 = 2000;  
Am01 = sin(2*pi*Fr01*Vr);  
Am02 = sin(2*pi*Fr02*Vr);  
Am = Am01 + Am02;  
plot (Vr, Am01, Vr, Am02, Vr, Am);  
xlabel ('vrijeme, s')  
ylabel ('amplituda')
```





## Literatura

1. Alfrevic I., Sikic Z., Budin I.: Inzinjerski prirucnik IP 1 – temelji inzenjerskih znanja; Skolska knjiga, 1996.
2. Ambrosius L.: AutoCAD 2008 3D Modeling Workbook For Dummies; Wiley 2008.
3. Ashby M. F., Johnson K.: Materials and Design – The Art and Science of Material Selection in Product Design; Butterworth-Heinemann, 2002.
4. Ashby M. F., Shercliff H., Cebon D.: Materials – Engineering, Science, Processing and Design; Butterworth-Heinemann, 2007.
5. Ashby M. F.: Materials Selection in Mechanical Design, 3<sup>rd</sup> Edition; Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005.
6. Attaway S.: MATLAB – A Practical Introduction to Programming and Problem Solving; Butterworth-Heinemann, 2009.
7. Avallone E. A., Baumeister T. Sadegh A.: Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers 11th Edition; McGraw-Hill Professional 2006.
8. Bassin M.G., Brodsky S. M., Wolkoff H.: Statics and Strength of Materials 3rd Edition; McDraw-Hill, 1979.
9. Benenson W., Harris J. W., Stoecker H., Lutz L.: Handbook of Physics; Springer, 2006.
10. Benhabib B.: Manufacturing – Design, Production, Automation, and Integration; Marcel Dekker, 2003.
11. Berger J.: Klausurentrainer Technische Mechanik, 2. Auflage; Vieweg+Teubner, 2005.
12. Berman D. B.: Do Good Design: How Designers Can Change the World; New Rider, 2009.
13. Böge A., Eichler J.: Physik für technische Berufe: Grundlagen, Versuche, Aufgaben, Lösungen, 11. Auflage; Vieweg+Teubner, 2008.
14. Böge A., Schlemmer W.: Aufgabensammlung Technische Mechanik, 20. Auflage; Vieweg+Teubner, 2011.
15. Böge A., Schlemmer W.: Lösungen zur Aufgabensammlung Technische Mechanik, 14. Auflage; Vieweg+Teubner, 2011.
16. Böge A.: Formeln und Tabellen zur Technischen Mechanik, 22. Auflage; Vieweg+Teubner, 2011.
17. Böge A.: Handbuch Maschinenbau – Grundlagen und Anwendungen der Maschinenbau-Technik, 20. Auflage; Vieweg+Teubner, 2011.
18. Böge A.: Technische Mechanik: Statik – Dynamik – Fluidmechanik – Festigkeitslehre, 29. Auflage; Vieweg+Teubner, 2011.
19. Böge A.: Vieweg Handbuch Maschinenbau – Grundlagen und Anwendungen der Maschinenbau-Technik, 18. Auflage; Vieweg, 2007.
20. Bouton D. G.: CorelDraw X4 – The Official Guide; McGraw-Hill, 2008.
21. Bouton D. G.: CorelDraw X5 – The Official Guide; McGraw-Hill, 2011.
22. Braess H.-H., Seiffert U.: Automobildesign und Technik Formgebung, Funktionalität, Technik; Vieweg & Sohn, 2007.
23. Browne M. E.: Schaum's Outline Of Theory and Problems of Physics for Engineering and Science; McGraw-Hill, 1998.
24. Budynas R. G., Nisbett J. K.: Shigley's Mechanical Engineering Design, 9<sup>th</sup> Edition; McGraw-Hill, 2011.
25. Budynas R. G., Nisbett K. J.: Shigley's Mechanical Engineering Design, 8<sup>th</sup> Edition; McGraw-Hill, 2008.
26. Carvill J.: Mechanical Engineer's Data Handbook; Butterworth-Heinemann, 2003.
27. Chang K.-H.: Motion Simulation and Mechanism Design with COSMOSMotion 2007; Schroff Development Corporation, 2008.
28. Chapra S. C.: Applied Numerical Methods with MATLAB for Engineers and Scientists, 2nd Edition; McGraw-Hill, 2006.
29. Childs P.: Mechanical Design, 2<sup>nd</sup> Edition; Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004.
30. Corel: CorelDRAW Graphics Suite X3 – Benutzerhandbuch; Corel, 2006.
31. Cross A.: Coordinating Design and Technology Across the Primary School; Falmer, 1998.
32. Cross N.: Designerly Ways of Knowing; Springer, 2006.

33. Cross N.: Engineering Design Methods – Strategies for Product Design, 3<sup>rd</sup> Edition, John Wiley & Sons, 2005.
34. Czichos H., Hennecke M.: Hütte – Das Ingenieurwissen 33. Auflage; Springer, 2008.
35. Dankert J., Dankert H.: Statik, Festigkeitslehre, Kinematik / Kinetik, 6. Auflage; Vieweg+Teubner, 2011.
36. Davis T. A.: MATLAB Primer 8th Edition; CRC – Taylor & Francis Group, 2011.
37. Ehrlenspiel K., Kiewert A., Lindemann U.: Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung, 6. Auflage; Springer, 2007.
38. Finkelstein E.: AutoCAD 2004 Bible; Wiley, 2003.
39. Finkelstein E.: AutoCAD 2007 and AutoCAD LT 2007 Bible; Wiley, 2006.
40. Foster J.: After Effects and Photoshop – Animation and Production Effects for DV and Film, 2nd Edition; Wiley, 2006.
41. Frey D.: AutoCAD 2004 and AutoCAD LT 2004 – No Experience Required; SYBEX, 2003.
42. Fritz A. H., Schulze G.: Fertigungstechnik; 8. Auflage; Springer, 2008.
43. Gekeler E. W.: Mathematische Methoden zur Mechanik – Ein Handbuch mit MATLAB- Experimenten; Springer, 2006.
44. Gilat A.: MATLAB – An Introduction with Applications; John Wiley & Sons, 2004.
45. Glegg G. L.: The Selection of Design; Cambridge University, 1972.
46. Grote K.-H., Antonsson E. K.: Springer Handbook of Mechanical Engineering; Springer, 2009.
47. Grote K.-H., Feldhusen J.: Dubbel – Taschenbuch für den Maschinenbau, 22. Auflage; Springer, 2007.
48. Haberhauer H., Bodenstein F.: Maschinenelemente – Gestaltung Berechnung Anwendung, 16. Auflage; Springer, 2011.
49. Haberhauer H., Bodenstein F.: Maschinenelemente – Gestaltung, Berechnung, Anwendung, 15. Auflage; Springer, 2009.
50. Hahn B., Valentine D. T.: Essential MATLAB – For Engineers and Scientists, 3rd Edition; Butterworth-Heinemann / Elsevier, 2007.
51. Harten U.: Physik – Einführung für Ingenieure und Naturwissenschaftler, 4. Auflage; Springer 2009.
52. Hauger W., Mannl V., Wall W., Werner E.: Aufgaben zu Technische Mechanik 1 - 3 – Statik, Elastostatik, Kinetik, 6. Auflage; Springer, 2008.
53. Hering E., Martin R., Stohrer M.: Physik für Ingenieure, 10. Auflage; Springer, 2007.
54. Hering E., Schröder B.: Springer Ingenieurtabellen; Springer, 2004.
55. Hibbeler R. C.: Statics and Mechanics of Materials SI Edition; Prentice Hall, 2004.
56. Higham D. J., Higham N.J.: MATLAB Guide, 2nd Edition; Society for Industrial and Applied Mathematics, 2005.
57. Hsu T.C.: Foundations of Physics; CPO Science, 2004.
58. Hunt B. R., Lipsman R. L., Rosenberg J. M., Coombes K. R., Osborn J. E. , Stuck G. J.: A Guide to MATLAB – For Beginners and Experienced Users, 2nd Edition; Cambridge University, 2006.
59. Jelaska D.: Elementi strojeva – skripta za studente Industrijskog inženjerstva; Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Splitu, 2005.
60. Kalweit A., Paul C., Peters S., Wallbaum R.: Handbuch für Technisches Produktdesign – Material und Fertigung Entscheidungsgrundlagen für Designer und Ingenieure; Springer, 2006.
61. Karam F., Kleismit C.: Using Catia V5, Thomson Leaming, prevedeno na srpski; Svetlost, 2004.
62. Kljajin M., Opalić M.: Inženjerska grafika; Sveučilišni udžbenik; Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, 2010.
63. Knight A.: Basic of MATLAB and Beyond; Chapman & Hall / CRC, 1999.
64. Kolumbić Z., Kozak D.: Fizika – podloge za studij strojarstva; Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, 2010. <http://www.sfsb.hr/~zkolum/Fizika/>
65. Kolumbić Z., Tomac N.: Materijali – podloge za diskusiju; Odsijek za politehniku Filozofskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, 2005. <http://www.ffri.uniri.hr/~zvonimir/Materijali>
66. König H.: Maschinen im Baubetrieb – Grundlagen und Anwendung 2. Auflage; Vieweg+Teubner, 2008.
67. Kraut B.: Strojarski priručnik, 9. izdanje; Tehnička knjiga, 1988.
68. Kreith F., Goswami D. Y.: The CRC Handbook of Mechanical Engineering, 2<sup>nd</sup> Edition; CRC 2005.
69. Künne B.: Köhler Rognitz Maschinenteile Vol 1, 10. Auflage; Vieweg + Teubner, 2008.

70. Kutz M.: Mechanical Engineers' Handbook – Four Volume Set, 3rd Edition – Volume 1: Materials and Mechanical Design; Wiley, 2005.
71. Kutz M.: Mechanical Engineers' Handbook – Four Volume Set, 3rd Edition – Volume 2: Instrumentation, Systems, Controls, and MEMS; Wiley, 2005.
72. Kutz M.: Mechanical Engineers' Handbook – Four Volume Set, 3rd Edition – Volume 3: Manufacturing and Management; Wiley, 2005.
73. Kutz M.: Mechanical Engineers' Handbook – Four Volume Set, 3rd Edition – Volume 4: Energy and Power; Wiley, 2005.
74. Kutz M.: Mechanical Engineers' Handbook, 2nd Edition; Wiley, 1998.
75. Lawson B.: How Designers Think – The Design Process Demystified, 4th Edition; Architectural, 2005.
76. Letić D.: U Praksi – CAD Mašinskih elemenata i konstrukcija; Kompjuter biblioteka, 2004.
77. Levi M.: The Mathematical Mechanic – Using Physical Reasoning to Solve Problems; Princeton, 2009.
78. Lidsky V., Ovsyannikov L., Tulaikov A., Shabunin M.: Problems in Elementary Mathematics; Mir, 1973.
79. Lindemann U.: Methodische Entwicklung technischer Produkte – Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden, 2. Auflage; Springer, 2007.
80. Lombard M.: SolidWorks 2007 Bible; Wiley 2007.
81. Lotter B., Wiendahl H.-P.: Montage in der industriellen Produktion – Ein Handbuch für die Praxis; Springer, 2006.
82. Lyshevski S. E.: Engineering and Scientific Computations Using MATLAB; John Wiley & Sons, 2003.
83. Mack W., Lugner P., Plöchl M.: Angewandte Mechanik – Aufgaben und Lösungen aus Statik und Festigkeitslehre; Springer, 2006.
84. Manzini R., Regattieri A., Pham H., Ferrari E.: Maintenance for Industrial Systems; Springer, 2009.
85. Marchand P., Holland T. O.: Graphics and GUIs with MATLAB, 3rd Edition; Chapman & Hall / CRC, 2003.
86. Marghitu D. B.: Mechanical Engineer's Handbook; Academic Press, 2001.
87. MathWorks: MATLAB – The Language of Technical Computing – Getting started with MATLAB – Version 6; MathWorks, 2001.
88. MathWorks: MATLAB – The Language of Technical Computing – MATLAB Function Reference Volume 1 A-E – Version 6; MathWorks, 2001.
89. MathWorks: MATLAB – The Language of Technical Computing – MATLAB Function Reference Volume 2 F-O – Version 6; MathWorks, 2001.
90. MathWorks: MATLAB – The Language of Technical Computing – MATLAB Function Reference Volume 3 P-Z – Version 6; MathWorks, 2001.
91. MathWorks: MATLAB – The Language of Technical Computing – Using MATLAB – Version 6; MathWorks, 2001.
92. MathWorks: MATLAB – The Language of Technical Computing – Using MATLAB Graphics – Version 6; MathWorks, 2001.
93. McFarlane B.: Beginning AutoCAD 2004; Elsevier-Newnes, 2004.
94. McMahon D.: MATLAB Demystified; McGraw-Hill, 2007.
95. Middlebrook M.: AutoCAD 2005 For Dummies; Wiley, 2005.
96. Mobley R. K.: Maintenance Fundamentals, 2nd Edition; Butterworth-Heinemann, 2004.
97. Moore H.: MATLAB for Engineers, 2nd Edition; Pearson - Prentice Hall, 2008.
98. Mott R. L.: Machine Elements in Mechanical Design, 4<sup>th</sup> Edition; Prentice Hall, 2004.
99. Nagyszalanczy S.: Taunton's Complete Illustrated Guide to Jigs & Fixtures; The Taunton Press, 2006.
100. Nahrstedt H.: Algorithmen für Ingenieure – realisiert mit Visual Basic – Eine anwendungsorientierte Einführung – Problemanalyse und Lösungsweg anhand konkreter Beispiele; Vieweg & Sohn, 2005.
101. Niemann G., Winter H., Höhn B.-R.: Maschinenelemente – Band 1 – Konstruktion und Berechnung von Verbindungen, Lagern, Wellen, 4. Auflage; Springer, 2005.
102. Norton R. L.: Design of Machinery – An Introduction to the Synthesis and Analysis of Mechanisms and Machines, 2<sup>nd</sup> Edition; WCB/McGraw-Hill, 1999.
103. Norton R. L.: Machine Design – An Integrated Approach, 3<sup>rd</sup> Edition; Prentice Hall, 2006.

104. Oberg E., Jones F. D., Horton H. L., Ryffel H. H.: Machinery's Handbook 27<sup>th</sup> Edition; Industrial Press, 2004.
105. Oberg E., Jones F. D., Horton H. L., Ryffel H. H.: Machinery's Handbook 28<sup>th</sup> Edition; Industrial Press, 2008.
106. Onstott S.: Enhancing CAD Drawings with Photoshop; SYBEX, 2005.
107. O'Sullivan B.: Constraint-Aided Conceptual Design; Professional Engineering, 2002.
108. Pahl G., Beitz W., Feldhusen J., Grote K.-H.: Konstruktionslehre – Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung Methoden und Anwendung, 7. Auflage; Springer, 2007.
109. Pahl G., Beitz W.: Engineering Design – A Systematic Approach; Design Council 1988.
110. Palmer R.: Maintenance Planning and Scheduling Handbook, 2nd Edition; McGraw-Hill, 2005.
111. Pandžić J., Pasanović B.: Elementi strojeva – udžbenik s DVD-om za 2. razred tehničkih škola u području strojarstva i brodogradnje; Neodidacta, 2008.
112. Pietruszka W. D.: MATLAB und Simulink in der Ingenieurpraxis – Modellbildung, Berechnung und Simulation, 2. Auflage; Teubne, 2006.
113. Plancharde D. C., Plancharde M. P.: Drawing and Detailing with SolidWorks 2005; Schroff Development Corporatio, 2005.
114. Plancharde D. C., Plancharde M. P.: Engineering Design with SolidWorks 2001Plus – A Competency Project Based Approach Utilizing 3D Solid Modeling; Schroff Development Corporatio, 2001.
115. Podhorsky R.: Tehnička enciklopedija, sveske 1÷13; Leksikografski zavod, 1963÷1997.
116. Polyanin A. D., Manzhirov A. V.: Handbook of Mathematics for Engineers and Scientists; Chapman and Hall/CRC, 2006.
117. Ponn J., Lindemann U.: Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte Optimierte Produkte – systematisch von Anforderungen zu Konzepten; Springer, 2008.
118. Protić V., Filipović R., Marković M.: Autodesk Mechanical Desktop 6 – osnovni kurs – srpski (en. Autodesk Mechanical Desktop 6 Fundamentals Courseware); CET, 2002.
119. Rašković D.: Zbirka zadataka iz Mehanike I; Zavod za izdavanje udžbenika, 1965.
120. Schier K.: Finite Elemente Modelle der Statik und Festigkeitslehre – 101 Anwendungsfälle zur Modellbildung; Springer 2011.
121. Serway R. A., Jewett J. W.: Physics for Scientists and Engineers – with PhysicsNOW and InfoTrac, 6th Edition; Thomson Brooks/Cole, 2004.
122. Shakarchi R.: Problems and Solutions for Undergraduate Analysis; Springer, 1997.
123. Shigley J. E., Mischke C. R.: Standard handbook of machine design, 2<sup>nd</sup> Edition; McGraw-Hill Professional, 1996.
124. Shigley J. E., Mischke C. R.: Standard handbook of machine design, 3<sup>rd</sup> Edition; McGraw-Hill Professional, 2004.
125. Singh U. K., Dwivedi M.: Problems and Solutions in Mechanical Engineering; New Age International, 2007.
126. Smith E. H.: Mechanical Engineer's Reference Book 12th Edition; Butterworth-Heinemann, 2000.
127. Smith R., Hawkins B.: Lean Maintenance – Reduce Costs, Improve Quality, and Increase Market Share; Butterworth-Heinemann, 2004.
128. Smith R., Mobley R. K.: Industrial Machinery Repair – Best Maintenance Practices Pocket Guide; Butterworth-Heinemann, 2003.
129. Smith R., Mobley R. K.: Rules of Thumb for Maintenance and Reliability Engineers; Butterworth-Heinemann, 2007.
130. Sobey E.: A Field Guide to Automotive Technology; Chicago Review, 2009.
131. Sobey E.: A Field Guide to Household Technology; Chicago Review, 2006.
132. SolidWorks – SolidWorks 2006 Training Manual – Sheet Metal and Weldments; SolidWorks Corporation, 2006.
133. SolidWorks – SolidWorks 2006 Training Manual – SolidWorks Essentials – Drawings; SolidWorks Corporation, 2006.
134. SolidWorks – SolidWorks 2006 Training Manual – SolidWorks Essentials – Parts and Assemblies; SolidWorks Corporation, 2006.

135. SolidWorks – SolidWorks 2006 Training Manual – SolidWorks File Management; SolidWorks Corporation, 2006.
136. Steinhilper W., Sauer B.: Konstruktionselemente des Maschinenbaus 1 – Grundlagen der Berechnung und Gestaltung von Maschinenelementen, 7. Auflage; Springer, 2008.
137. Timings R.: Mechanical Engineer's Pocket Book, 3rd Edition; Newnes, 2005.
138. Timings R.: Newnes Workshop Engineer's Pocket Book; Newnes, 2000.
139. Trzesniowski M.: Rennwagentechnik – Grundlagen, Konstruktion, Komponenten, Systeme, 2. Auflage; Vieweg + Teubner, 2010.
140. Turtur C. W.: Prüfungstrainer Mathematik. Klausur- und Übungsaufgaben mit vollständigen Musterlösungen; Teubner, 2006.
141. Ullman D. G.: The Mechanical Design Process, 4<sup>th</sup> Edition; 2010.
142. Weißbach W.: Werkstoffkunde – Strukturen, Eigenschaften, Prüfung, 16. Auflage; Vieweg & Sohn, 2007.
143. Whitney D. E.: Mechanical Assemblies: Their Design, Manufacture, and Role in Product Development; Oxford University Press, 2004.
144. Woan G.: The Cambridge Handbook of Physics Formulas; Cambridge University, 2000.