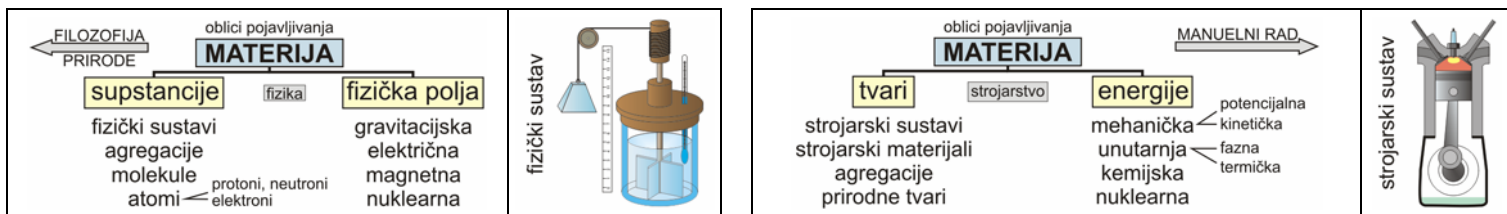


1.1 Materija, fizika, matematika i strojarstvo

Materijom se naziva sve što formira objektivnu stvarnost prirode, koja istinski postoji, neovisno o ljudskoj spoznaji. Posebni oblici pojavljivanja materije (sustavi) imaju brojna različita svojstva, a zajedničko im je svojstvo stalnost različitih oblika **gibanja** (proces). Materija i njena gibanja se ne izučavaju kao jedinstvena cjelina. Pojedine znanosti (fizika, kemija, fizikalna kemija, strojarstvo, biologija, medicina), sukladno postavljenom cilju i zadacima, razvile su parcijalne pristupe izučavanju posebnih oblika pojavljivanja materije i njihovih gibanja.



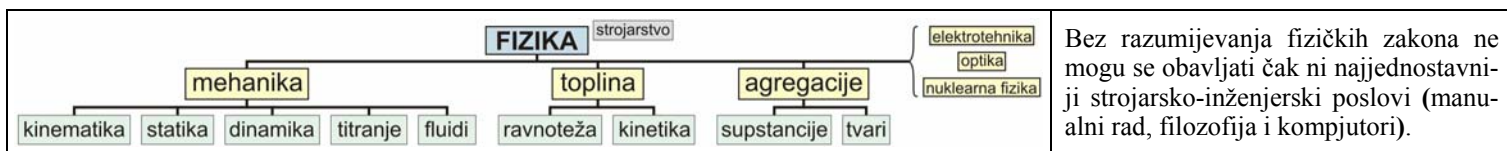
Supstancije i tvari su nazivi skupina čestica (atoma). Korištenje termina nije jedinstveno – u pravilu se naglašava značaj:

1. **supstancija** – jedinstvenost kemijskog sastava skupine čestica (“Željezni(III)-oksid, Fe₂O₃, sadrži 40 mol % Fe.”),
2. **tvar** – jedinstvenost svojstava skupine čestica (“Ruda **hematit**, Fe₃O₄ + prateće supstancije, sirovina je za dobivanje željeza.”).

Fizika je temeljna prirodna znanost. 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). 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).

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 najsadržetije iskazuju matematičkim formulama – matematičkim modelima. Pri formiranju matematičkih modela fizičkih sustava i procesa (opisi ne i objašnjenja), zbog složenosti prirodnih i tehničkih sustava i procesa ($X = f(t)$) mora se u analizama razlučiti bitno i nebitno, usredotočiti na bitno, zanemariti nebitno.

Strojarstvo je grana tehnike koja doprinosi razvoju društva konstruiranjem, proizvodnjom, ugradnjom i održavanjem strojarskih dijelova (greda, vijak i navrtka, zupčanik, spremnik), te projektiranjem, izgradnjom i pogonom strojarskih sustava (pumpa, motor s unutarnjim izgaranjem, vozilo, kotlovnica). Dominantnu ulogu u strojarstvu imaju zakonitosti fizike, prije svega mehanike i topline (ekologija i ekonomija).



1.2 Fizičke veličine, mjerenja i pokusi

Fizičke veličine su pokazatelji kojima se opisuju stanja (svojstva) fizičkih sustava i procesi (gibanja) koji se u njima odvijaju.

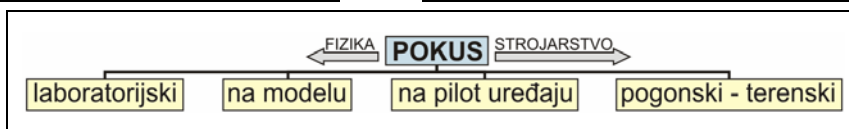
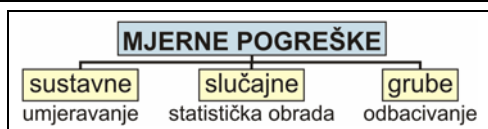
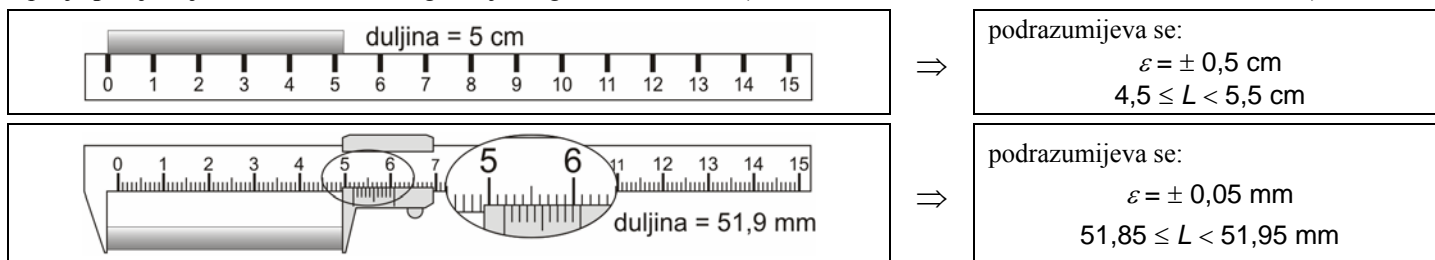
- položaj razmak put vrijeme brzina ubrzanje masa obujam gustoća sila površina tlak rad toplina energija snaga

Vrijednost fizičke veličine se: (a) **nalazi** u literaturi (priručnici, monografije, članci) ili (b) **izračunava**, ako se ne može se naći u literaturi ili (c) **izmjeri** ako za izračunavanja nedostaju potrebni podaci ili je postupak izračunavanja nepoznat ili previše složen/opsežan.

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 ⇒ **vrijednost veličine** = **brojčani iznos** (±mjerna pogreška) • **jedinica**

Mjerna pogreška ($\pm \epsilon$) – odstupanje rezultata mjerenja od **istinite vrijednosti** veličine ovisi o korištenoj mjernoj opremi i provedenom postupku mjerenja (norme). Često se u fizici navodi u skraćenom zapisu – u zagradi, zajedno s brojčanim iznosom, npr. univerzalna molskoj konstanta idealnih plinova $R = 8,314510(70) \text{ J}\cdot\text{K}\cdot\text{mol}^{-1} = 8,314510 \pm 0,000070 \text{ J}\cdot\text{K}\cdot\text{mol}^{-1}$. Bez posebne se napomene podrazumijeva odstupanje **posljednje** znamenke aktualnoga brojčanog iznosa za $\pm 0,5$ (1 km = 0,5 ÷ 1,5 km; 1000 m = 999,5 ÷ 1000,5 m).

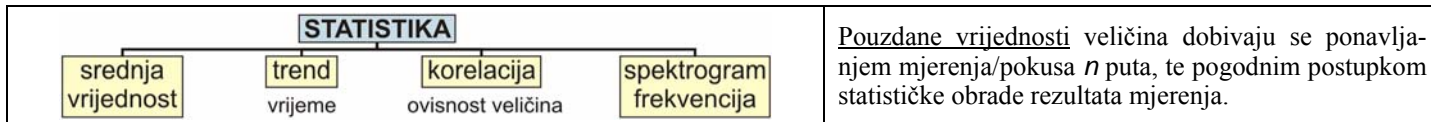


Pokus (eksperiment) – izazivanje fizičke pojave (stanja/procesa) radi izučavanja detalja i/ili pojave kao cjeline. U pravilu, pokusi uključuju veći broj mjerenja (ponavljanje pokusa) i statističku obradu rezultata mjerenja.

Na temelju rezultata mjerenja i pokusa utvrđuju se fizičke teorije, koje opisuju stanja i promjene u fizičkim sustavima. Sažeti opisi (matematičke formule) utvrđenih / provjerenih / često korištenih / temeljnih fizičkih teorija nazivaju se **fizički zakoni**.

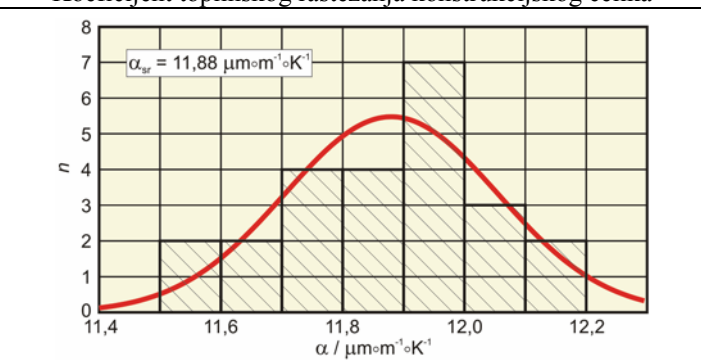
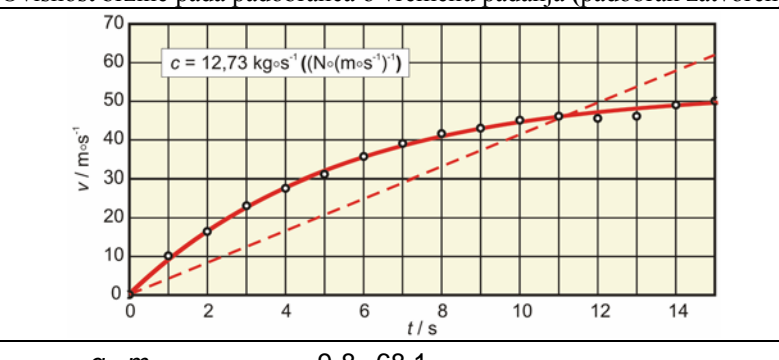
1.3 Statistička obrada rezultata mjerenja

Statistika je grana primijenjene matematike koja proučava prije svega masovne pojave/procese (kinetička teorija plinova, statistička fizika). Ona utvrđuje postupke prikupljanja, sistematizacije, obrade i prikazivanja veličina koje opisuju proučavanu pojavu/proces.



U fizici se statistika najčešće koristi u fazi:

- (a) planiranja pokusa – određivanje potrebnog broja mjerenja (n) za dobivanje dovoljno pouzdanih rezultata,
- (b) obrade rezultata mjerenja – određivanje statističkih vrijednosti mjerenih veličina i raspršenja rezultata mjerenja.

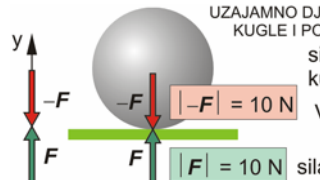
Srednja vrijednost mjerene veličine x_{sr} (najbliža istinitoj vrijednosti): $x_{sr} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$	Korelacijska jednadžba (korelacijska uzajamna ovisnost mjerenih veličina): $y_k = f(x)$ $(z_k = f(x, y))$
Standardno odstupanje (devijacija) mjerene veličine x (pokazatelj raspršenja rezultata mjerenja): $\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{sr})^2}{n - 1}}$	Koeficijent korelacija (pokazatelj relativne raspršenosti rezultata mjerenja – raspršenja oko korelacijske krivulje, y_k u odnosu na raspršenja oko srednje vrijednosti y_{sr}): $R = \sqrt{\frac{\sigma_y - \sigma_k}{\sigma_y}}$
Koeficijent toplinskog rastezanja konstrukcijskog čelika  <p style="text-align: center;">$\alpha_{sr} = 11,88 \mu\text{m}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$</p>	Ovisnost brzine pada padobranca o vremenu padanja (padobran zatvoren)  <p style="text-align: center;">$c = 12,73 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1} ((\text{N}\cdot(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})^{-1}))$</p>
$n = 24 \quad \sigma_\alpha = 0,18 \mu\text{m}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	$v = \frac{g \circ m}{c} [1 - e^{-(c/m)\cdot t}] = \frac{9,8 \circ 68,1}{c} [1 - e^{-(c/68,1)\cdot t}] \quad R = 0,99856$

1.4 Skalarni i vektorske veličine

Skalarni veličine (put, vrijeme, obujam, gustoća, masa, rad, energija, snaga) – vrijednosti skalarnih veličina se opisuju (zapisuju): oznacom skalarni veličine (s, t, 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). Neke skalarni veličine imaju samo pozitivne vrijednosti veličina (masa, vrijeme, “termodinamička” ili “apsolutna” temperatura), dok druge mogu imati i negativne vrijednosti (temperatura, rad, toplina).

vrijednost skalarni veličine	=	brojčani iznos	o	jedinica	
X	=	$\{X\}$	o	$[X]$	\Rightarrow
m	=	$\{m\}$	o	$[m]$	
		$\{m\} = 2,00$	o	$[m] = \text{kg}$	

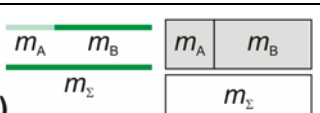
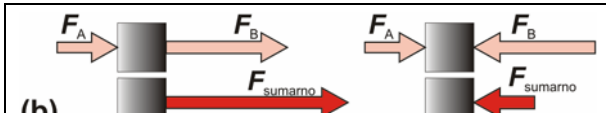
Ispravnim označavanjem izbjegavaju se moguće zabune: $[s] = m, [t] = s, [m] = g$. Uobičajeno se ne navode i podrazumijevaju znakovi množenja (\circ) između brojčanog iznosa i jedinice (2 kg , a ne $2\circ\text{kg}$), između jedinica ($4 \text{ kg}\circ\text{m}$ je ipak bolje od 4 kg m), između decimalnih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

<p>STANJE TVARI – gustoća</p> <p style="background-color: #ffcc99; padding: 2px;">$\rho = 7,85 \text{ kg}/\text{dm}^3$</p> <p>SKALARNE VELIČINE</p> <p style="background-color: #ffcc99; padding: 2px;">$m = 1,00 \text{ kg}$</p> <p>KOLIČINA TVARI – masa</p>	<p>UZAJAMNO DJELOVANJE KUGLE I PODLOGE</p>  <p>VEKTORSKE VELIČINE</p> <p>sila pritiska kugle na stol</p> <p>sila pritiska stola na kuglu</p>	<p style="text-align: center; background-color: #e0e0e0;">VEKTORI</p> <p>vezani za točku vezani za pravac slobodni</p> <p>Sila pritiska kugle na stol – težina kugle, vektor je vezan za pravac koji prolazi kroz središta kugle i Zemlje, a djeluje u točki dodira kugle i podloge.</p>
--	---	--

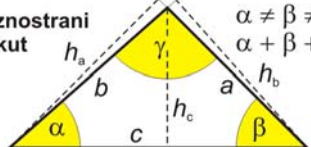
Vektorske veličine (položaj, brzina, ubrzanje, sila) – vrijednosti veličina se ne mogu opisati samo: oznacom (r, v, a, F – koso i podebljano, ili sa strjelicom iznad kose oznake, $\vec{r}, \vec{v}, \vec{a}, \vec{F}$, što je pogodnije kod rukopisa), brojčanim iznosom (s predznakom – uspravno) i jedinicom ($m, \text{m}\cdot\text{s}^{-1}, \text{m}\cdot\text{s}^{-2}, \text{N}$), nego je potrebna i informacija o pravcu djelovanja. Određivanje predznaka podrazumijeva i određen pozitivan smjer pravca, što se najčešće opisuje strjelicom na pravcu u pozitivnom smjeru (y os), ili s jediničnim vektorom – “ortom” (r_0, v_0, a_0, F_0).

Geometrijski se opisuju: (a) skalarni veličine dužinom (geometrijskim likom), (b) vektorske veličine usmjerenom dužinom (sa strjelicom).

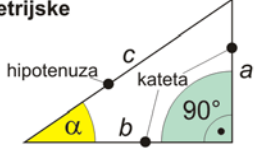
Sa skalarnim veličinama se računaju po načelima opće algebre, a vektorima vektorske algebre:

<p>(a)</p> 	<p>(b)</p> 	<p style="text-align: center;">$\Sigma F_i = F_{\text{sumarno}}$</p> <p>Oprez! U izračunavanjima s vektorima je prisutna opasnost dvostrukog predznaka: $F_{\text{sumarno}} - F_A - F_B = 0$ znak nije uzet u obzir!</p>
---	---	--

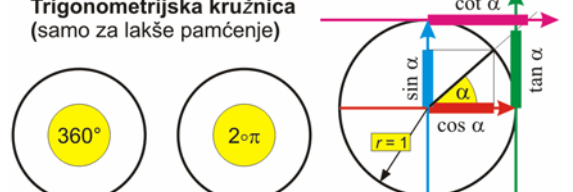
1.7 Trokut i trigonometrija u ravni

 <p>Raznostrani trokut $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ = \pi/2$ (rad) $\alpha + \beta + \gamma = 180^\circ = \pi$ (rad)</p>	<p>Opseg: $O = a + b + c$</p> <p>Ploština: $P = \frac{c \cdot h_c}{2} = \frac{a \cdot h_a}{2} = \frac{b \cdot h_b}{2}$</p>	<p>Ploština: $P = \sqrt{s \cdot (s-a) \cdot (s-b) \cdot (s-c)}$ gdje je: $s = \frac{a+b+c}{2}$</p>
--	--	--


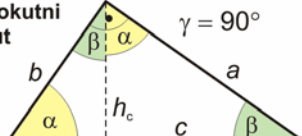
Trigonometrijske funkcije: sinus ξ (sin ξ), kosinus ξ (cos ξ), tangens ξ (tan ξ , tg ξ) i kotangens ξ (cot ξ , ctg ξ):

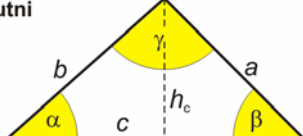
<p>Trigonometrijske funkcije</p>  <p>hipotenuza c, kateta a, b</p> <p> $\sin \alpha \equiv \frac{a}{c}$ $\tan \alpha \equiv \frac{a}{b}$ $\cos \alpha \equiv \frac{b}{c}$ $\cot \alpha \equiv \frac{b}{a}$ </p>	<p>Pitagorin poučak: $c^2 = a^2 + b^2$</p> <p>Identitet (Pitagorin poučak + trigonometrijski krug): $\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$</p>
--	---

Trigonometrijska kružnica (samo za lakše pamćenje)



$\sin \alpha = \frac{a}{1} = a$ $\cos \alpha = \frac{b}{1} = b$
 $\tan \alpha = \frac{a}{1} = a$ $\cot \alpha = \frac{b}{1} = b$

 <p>r - polumjer, m L - luk, m α - kut, rad</p> <p> $\alpha = \frac{L}{r}$ rad za $L = r$ $\alpha = 1$ rad </p>	<p>Pravokutni trokut $\gamma = 90^\circ$</p> 	$\frac{a}{c} = \sin \alpha = \cos \beta = \frac{h_c}{b}$ $\frac{b}{c} = \cos \alpha = \sin \beta = \frac{h_c}{a}$	$\frac{a}{b} = \tan \alpha = \cot \beta$ $\frac{b}{a} = \cot \alpha = \tan \beta$
--	---	--	--

<p>Kosokutni trokut</p> 	visina	$h_c = a \cdot \sin \beta = b \cdot \sin \alpha$
	sinusni poučak	$a / \sin \alpha = b / \sin \beta = c / \sin \gamma$
	kosinusni poučak	$c^2 = a^2 + b^2 - 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos \gamma$
	projekcijski poučak	$c = b \cdot \cos \alpha + a \cdot \cos \beta$

1.8 Brojčani iznosi i načini zapisa

Brojčani iznosi vrijednosti veličina mogu biti:

Brzina svjetlosti (konvencija): $2,99792458 \cdot 10^8$ m/s	<p>BROJČANI IZNOSI</p> <p>← potpuni - točni nepotpuni - približni →</p>	Broj jedinki u molu: $6,0221367(36) \cdot 10^{23}$
--	---	---

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.

MNOŽINA - BROJ JEDINKI -

par tuce milijarda mol

2 valjka 12 kugli $1 \cdot 10^9$ zrna $6,022... \cdot 10^{23}$ atoma

bez eksponencijalnog faktora i prefiksa **NAČINI ZAPISA** samo jedna znamenka različita od nule ispred decimalnog zareza

decimalni inženjerski znanstveni

eksponenti faktora dijeljivi s 3

Zapisivanje rezultata: na sumarnom kilometar-satu vozila ($\epsilon = \pm 0,5$ km) očitani su brojčani iznos i jedinica 40000 km:

decimalni zapis	inženjerski zapis	znanstveni zapis
$s = 40000$ km	$s = 40000$ km $\Rightarrow 40 \cdot 10^6$ m (40 Mm?)	$s = 40000$ km $\Rightarrow 4,0000 \cdot 10^7$ m

Decimalni je zapis originalan, inženjerski praktičan, a znanstveni precizan (obuhvaća sve značajne znamenke).

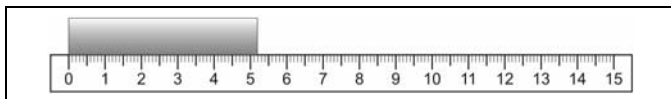
množenje s 10^n – zarez se pomiče n mjesta udesno	množenje s 10^n (dijeljenje s 10^n) – zarez se pomiče n mjesta ulijevo
$4,00 \cdot 10^5 = 4,00000$, = 400000	$40000 \cdot 10^{-5} = 4,00000$, = 4,00000

Formule koje se koriste pri promjenama eksponentnog faktora: (eksponent 1 se ne zapisuje i podrazumijeva se: $1000^1 = 1000$)

Formula	Primjeri	Formula	Primjeri
$a^0 = 1$ (za $a \neq 0$)	$8^0 = 1$ $1000^0 = 1$	$a^{n/m} = \sqrt[m]{a^n}$ (za $a > 0$)	$8^{2/3} = \sqrt[3]{8^2}$ $1000^{3/2} = \sqrt[2]{1000^3}$
$a^{-n} = \frac{1}{a^n}$	$8^{-2} = \frac{1}{8^2}$ $1000^{-3} = \frac{1}{1000^3}$	$a^n \cdot a^m = a^{n+m}$ $(a^n)^m = a^{n \cdot m}$	$8^3 \cdot 8^2 = 8^5$ $1000^3 \cdot 1000^{-2} = 1000$ $(8^3)^2 = 8^6$ $(1000^3)^{-2} = 1000^{-6}$

1.9 Značajne znamenke i zaokruživanje

Značajne 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.



⇒

duljina: $L = 52 \text{ mm}$
 podrazumijeva se: $\varepsilon = \pm 0,5 \text{ mm}$
 $51,5 \leq L < 52,5 \text{ mm}$

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 ($s = 400000 \text{ m}$), te takve zapise treba izbjegavati. Točnu prosudbu o broju značajnih znamenki uvijek osigurava samo znanstveni način zapisa ($s = 4,00 \cdot 10^5 \text{ m}$).

Izračunavanje – broj značajnih znamenki rezultata računskih operacija određuje:

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

Primjer P-1.1: Dva tijela imaju mase: $m_1 = 5,8 \text{ kg}$ i $m_2 = 0,028 \text{ kg}$. Kolika im je ukupna masa:

$$m_u = m_1 + m_2 = [5,8 (5,75 \div 5,85) + 0,028 (0,0275 \div 0,0285)] \text{ kg} = 5,828 (5,8275 \div 5,8285 - \text{“pretočno”}) \text{ kg} = 5,8 \text{ kg}$$

(b) **množenje/dijeljenje** – operand s najmanjim brojem značajnih znamenki:

Primjer P-1.2: Opseg kruga polumjera $r = 0,52 \text{ m}$:

$$O = 2 \cdot r \cdot \pi = 2 \cdot 0,52 (0,515 \div 0,525) \cdot 3,141592654 = 3,267256360 (\text{“pretočno”}) \text{ m} = 3,3 \text{ m}$$

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.

pravilo	na primjer:
pri odbacivanju znamenke 5 ÷ 9 prethodna znamenka se povećava za 1	$1,535 \Rightarrow 1,54$
pri odbacivanju znamenki 0 ÷ 4 prethodna znamenka ostaje nepromijenjena	$1,54 \Rightarrow 1,5 \Rightarrow 2$

1.10 SI jedinice i Zakonom dopuštene jedinice izvan SI-a

Od 1971. godine **Međunarodni sustav** mjernih jedinica, **SI** (kratica francuskog naziva – *Système International d’Unites*), obuhvaća **sedam osnovnih** mjernih jedinica i **dvije dopunske**. Primjena SI jedinica je u Hrvatskoj obvezna po **Zakonu**.

Broj	VELIČINA		JEDINICA		Broj	DECIMALNI VIŠEKRAKATNIK		Broj	DECIMALNI VIŠEKRAKATNIK	
	naziv	kratica	naziv	kratica		prefiks	faktor		prefiks	faktor
1	duljina	$L, (l)$	metar	m	1	deca (deka)	da 10^{-1}	11	yocto (jokto)	y 10^{-24}
2	masa	m	kilogram	kg	2	hecto (hekto)	h 10^{-2}	12	zepto	z 10^{-21}
3	vrijeme	t	sekunda	s	3	kilo	k 10^{-3}	13	atto (ato)	a 10^{-18}
4	električna struja	I	amper	A	4	mega	M 10^{-6}	14	femto	f 10^{-15}
5	termodinamička temperatura	T	kelvin	K	5	giga	G 10^{-9}	15	pico (piko)	p 10^{-12}
6	množina tvari	n	mol	mol	6	tera	T 10^{-12}	16	nano	n 10^{-9}
7	jakost svjetlosti	I_v	kandela	cd	7	peta	P 10^{-15}	17	micro (mikro)	μ 10^{-6}
1. dopunska	kut (u ravnini)	$\alpha, \beta, \gamma, \dots$	radijan	rad	8	exa (eksa)	E 10^{-18}	18	milli (mili)	m 10^{-3}
2. dopunska	ugao (u prostoru)	Ω	steradian	sr	9	zetta (zeta)	Z 10^{-21}	19	centi	c 10^{-2}
					10	yotta (jota)	Y 10^{-24}	20	deci	d 10^{-1}

(Ako brojčani iznos sadrži višekratnik π , kratica rad se izostavlja.)

U zapisima vrlo velikih i vrlo malih vrijednosti veličina koriste se decimalni višekratnici s kojima se računa kao i s brojčanim iznosima (uključivo kratice). Promjene decimalnog višekratnika:

$$\text{znanstveni zapis } 4,0000 \cdot 10^7 \text{ m} = 4,0000 \cdot 10^4 \cdot 10^{-4} \cdot 10^7 \text{ m} = 40000 \cdot 10^3 \text{ m} = 40000 \cdot \text{k} \cdot \text{m} = 40000 \text{ km} \text{ inženjerski zapis}$$

U strojarstvu se često susreću **izvedene SI jedinice**:

VELIČINA		JEDINICA	
naziv	kratica	naziv	kratica
ploština (površina)	A	četvorni metar	m^2
obujam (volumen)	V	kubični metar	m^3
gustoća	ρ	kilogram po kubičnom metru	kg/m^3
brzina	v	metar u sekundi	m/s
ubrzanje	a	metar u sekundi na kvadrat	m/s^2
sila	F	newton (njutn)	$\text{kg} \cdot (\text{m}/\text{s}^2) = \text{N}$
tlak, napetost	p, σ	pascal (paskal)	$\text{N}/\text{m}^2 = \text{Pa}$
energija, rad, toplina	E, W, Q	joule (džul)	$\text{N} \cdot \text{m} = \text{J}$
snaga	P	watt (vat)	$\text{J}/\text{s} = \text{W}$
frekvencija (učestalost)	f	hertz (herc)	$1/\text{s} = \text{Hz}$

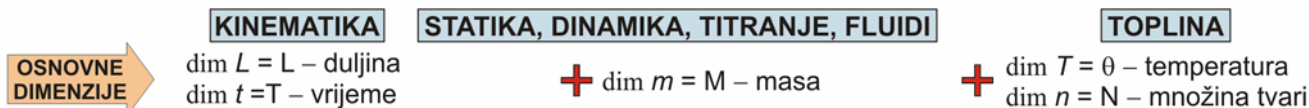
Zakon dopušta korištenje jedinica van SI-a:

VELIČINA	JEDINICA	
naziv	naziv	kratica
obujam (volumen)	litra	L(l)
vrijeme	minuta	min
	sat	h
	dan	d
	tjedan	–
	mjesec	–
	godina	god
masa	tona	t
tlak, napetost	bar	bar
temperaturni interval	Celzijev stupanj	$^{\circ}\text{C}$

1.11 Dimenzije i dimenzijska analiza

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

Izbor osnovnih dimenzija u svakom području fizike mora biti dovoljan za razradu svih ostalih izvedenih dimenzija.



Neovisno mjeri li se duljina u milimetrima, metrima ili kilometrima, dimenzija joj je L.

Izvedene dimenzije slijede iz definicija veličina. Na primjer, za srednju putnu brzinu između točaka 1 i 2 ($v_{s,1/2}$), te potrebnu silu (F) za ubrzanje (a) tijela mase (m):

$v_{s,1/2} \equiv \frac{s_{1/2}}{t_{1/2}} \Rightarrow \dim v = \frac{L}{T} \Rightarrow \dim v = L \cdot T^{-1}$	gdje je: $\dim s = L$ – dimenzija za duljine (put), $\dim t = T$ – dimenzija za vrijeme.
$F \equiv m \cdot a \Rightarrow \dim F = M \cdot L \cdot T^{-2}$	gdje je: M – dimenzija za masu.

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

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

Primjer P-1.4: Odrediti ubrzanje a točke koja se giba jednoliko brzinom v duž kružnice polumjera r .
 prisjeća se: $a = f(v, r)$ $\dim a = L \cdot T^{-2}$ $\dim v = L \cdot T^{-1}$ $\dim r = L$ pretpostavlja se: $a = k \cdot v^m \cdot r^n$ (postupak dimenzijske analize)

na temelju prisjećanja i pretpostavke slijedi: $L \cdot T^{-2} = L^m \cdot T^{-m} \cdot L^n$ (izostavljena je konstanta k) postupak dimenzijske analize: za L: $1 = m + n$ za T: $-2 = -m \Rightarrow m = 2, n = -1$	\Rightarrow	$a = k \cdot \frac{v^2}{r}$
--	---------------	-----------------------------

Primjer P-1.5: Priprema se eksperimentalno određivanje ovisnosti pada tlaka o brzini fluida koji struji kroz cijev. ($\Delta p = \xi \cdot [v^2 / (2 \cdot g)]$)

Na temelju kvalitativne analize procesa strujanja fluida kroz cijev, pretpostavlja se: $\xi = f(L, D, e, \rho, \mu, v, g)$

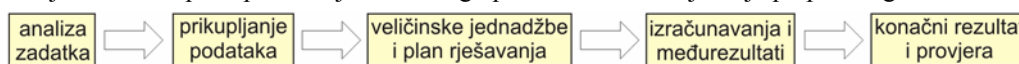
Prema tome, eksperimentalne su varijable: L, D, e – duljina, promjer i hrapavost cijevi, ρ, μ, v – gustoća, dinamička viskoznost i brzina strujanja fluida, te g – ubrzanje Zemljine teže. Za 5 nivoa i 6 promjenljivih potrebno je $5^6 = 15\ 625$ pokusa (g je konstantne vrijednosti).

Dimenzijskom se analizom (Buckinghamov postupak) utvrđuje formula s tri bezdimenzijske promjenljive, ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 :

$$\Delta p = f_1 \left(\phi_1 = \frac{L}{D}, \phi_2 = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu}, \phi_3 = \frac{e}{D} \right) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad \text{Za 5 nivoa i 3 promjenljive potrebno je } 5^3 = 125 \text{ pokusa.}$$

1.12 Rješavanje numeričkih/računskih primjera (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 fizički problem, ne razmišljajući o postupku rješavanja, te ako je moguće procijeniti traženi rezultat), te uredno zapisati što je zadatak i što se traži. U ovom koraku nacrtati skicu ili shemu koja nam pomaže u jasnijoj predodžbi fizičkog 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 i dijagramima), te (b) mjerenjima. Prepisuju se uvijek izvorni brojevi i jedinice.

U tablicama/dijagramima je čest prilagođeni zapis vrijednosti veličina: $X/[X] = \{X\}$, na primjer, promjene gustoće vode s temperaturom pri 1 atm: (podaci su nađeni kao takvi u literaturi i prepisuju se – ne preračunava se $\rho = 1 \text{ atm}$ u Pa)

$t/^\circ\text{C}$	0 (led)	0 (tekućina)	5	10	100 (tekućina)	100 (para)
$\rho/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	917	999,8395	999,9638	999,6996	958,3637	0,590

Očitava se za tekuću vodu pri: $0^\circ\text{C}, 1 \text{ atm}$ $\frac{\rho}{\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}} = 999,8395 \Rightarrow \rho = 999,8395 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} = 999,8395 \text{ kg/m}^3$

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 brojeve i jedinice fizičkih veličina (imati na umu ili pisati znak množenja između brojčanog 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. Brojčani iznosi međurezultata mogu sadržati jednu do dvije znamenke više od broja značajnih znamenki.

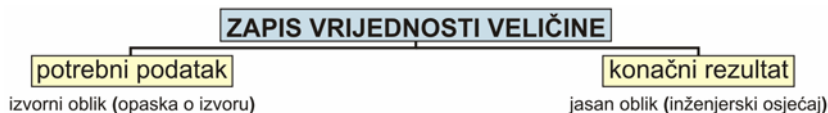
Primjer P-1.3: Pri $0^\circ\text{C}, 1 \text{ atm}$ je gustoća tekuće vode $\rho = 999,8395 \text{ kg/m}^3$ (iz tablice). Kolika je masa 1,5 L vode? ($1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3$)

$$m = \rho \cdot V = 999,8395 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot 1,5 \cdot \text{dm}^3 = 1499,75925 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \left(\frac{\text{m}}{10}\right)^3 = 1499,8 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{m}^3 \cdot \frac{1}{1000} \Rightarrow 1,5 \text{ kg}$$

Pogreška je zadatog obujma: $\epsilon = \pm 0,05 \text{ L} \therefore 1,45 \text{ L} < V < 1,55 \text{ L}$, te je rezultat s preko dvije značajne znamenke pretočan.

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.

1.13 Preračunavanje podataka/rezultata izračunavanja



Potrební 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 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:

Primjer P-1.6: Izraziti duljinu od 1450 metara u kilometrima.

$$\frac{L = 1450 \text{ m}}{L = ? \text{ km}} \qquad 1 \text{ km} = 1\cdot 1000 \text{ m}$$

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

Nepažnja pri preračunavanju može imati za posljedicu grube pogreške (u strojarstvu, od beznačajnih šteta do gubitaka ljudskih života). Primjer je ispravnog/pogrešnog korištenja usporednih tablica iz strojarskog priručnika pri preračunavanju tlaka:

Primjer P-1.7: Koliki je tlak od $p = 0,25 \text{ MPa}$ izražen u barima?

Prijepis dijela tablice iz strojarskog priručnika:

	Pa	bar
1 Pa	1	10^{-5}
1 N/mm ²	10^6	10

$$p = 0,25 \text{ MPa} = 0,25\cdot 10^6 \text{ Pa} = 0,25\cdot 10^6\cdot 10^{-5} \text{ bar} = 0,25\cdot 10 \text{ bar}$$

$$p = 2,5 \text{ bar}$$

Provjera uz pogrešno očitani podatak iz tablice:

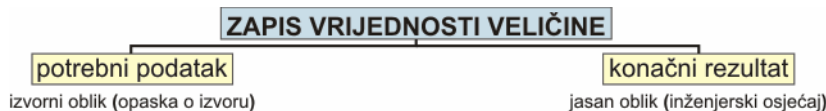
$$p = 2,5 \text{ bar} = 2,5\cdot 10^{-5} \text{ Pa} = 25 \mu\text{Pa}$$

Zbog greške je dobivena 10^{10} puta manja vrijednost od izvorne

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

Opseg punog kruga: $O = 2\cdot r\cdot \pi$ ($\alpha = 360^\circ$)	Duljina luka punoga kruga: $L = \alpha\cdot r = O = 2\cdot r\cdot \pi$ (α u radijanima) $\alpha = 2\cdot \pi \text{ rad} = 2\cdot \pi = 360^\circ$	$360^\circ : \alpha^\circ = 2\cdot \pi : \alpha$
---	--	--

1.14 Vrste zadataka



Procjene – procijenjene vrijednosti veličina mogu biti višestruko (dvostruko, trostruko, ...) veće ili manje od stvarnih vrijednosti veličina (nedostatak podataka i/ili presložen proračun). U procjenama se često koristi i **red veličine** kada se broičani iznos izražava u obliku potencije 10^n . Eksponentu se dodaje jedinica (10^{n+1}) ako je vrijednost decimalnog faktora $> 3,16227766$ ($\sqrt{10}$).

Primjer P-1.8: Kada će brzina imati veći broičani iznos ako se izrazi u m/s ili u km/h? (primjer kvalitativnog zadatka)

$v = a \text{ m/s}$ $v = b \text{ km/h}$ $a > \text{ ili } < b \quad ?$	$1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$ $1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$
$v = a \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} = a \cdot \frac{1 \text{ km}}{1000} \cdot \left(\frac{1 \text{ h}}{3600}\right)^{-1} = a \cdot \frac{3600}{1000} \text{ km}\cdot\text{h}^{-1} = a \cdot 3,6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1} = a \cdot 3,6 \text{ km/h} = b \text{ km/h} \Rightarrow \{v\} \text{ m/s} = \{v\} \cdot 3,6 \text{ km/h}$	
Veći se broičani iznos dobiva ako se brzina izrazi u km/h nego u m/s. (za lakše pamćenje: veća jedinica – veći broičani iznos)	

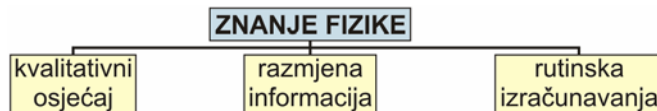
Primjer P-1.9: Koliko ljudi može stati na postolje dimenzija $8 \times 12 \text{ m}$? (primjer procjene)

$a = 8 \text{ m}$ $b = 12 \text{ m}$ $n = ?$	$P = a\cdot b = 8\cdot 12 \text{ m} = 96 \text{ m}^2$ procjena: $n_1 = 8 \text{ ljudi}/\text{m}^2 \Rightarrow$ na 1 m^2 može stati osmero ljudi ($0,5 \times 0,25 \text{ m}$)
$n = P\cdot n_1 = 96\cdot \text{m}^2\cdot 8\cdot \text{ljudi}\cdot \text{m}^{-2} = 768 \text{ ljudi} = 750 \text{ ljudi}$	

Primjer P-1.10: Polumjer ekvatora Zemlje, 6380 km, izraziti u m, inženjerskim i znanstvenim zapisom, te kao red veličina u km?

$R_Z = 6380 \text{ km}$ $R_Z = ?$ u m, ing, sci, r.v.	
$R_{Z,m} = 6380 \text{ km} = 6380\cdot 1000 \text{ m} = 6380000 \text{ m}$ $R_{Z,ing} = 6380 \text{ km} = 6380\cdot 10^{-3}\cdot 10^3\cdot 10^3 \text{ m} = 6,380\cdot 10^6 \text{ m} = 6,380 \text{ Mm}$ $R_{Z,sci} = 6,380\cdot 10^6 \text{ m}$ $R_{Z,r.v.} = 6380 \text{ km} = 6380\cdot 10^{-4}\cdot 10^4 \text{ km} = 0,6380\cdot 10^4 \text{ km} \Rightarrow 10^4 \text{ km} \quad (0,6380 < 3,16227766)$	

1.15 Učenje fizike



Bez **kvalitativnog osjećaja** za fizičke veličine, odnosno pojave (stanja/procesi: sila \Rightarrow deformacija/gibanje), nije moguće ozbiljnije bavljenje niti jednom granom tehnike (strojarstvo, elektrotehnika, građevinarstvo), te niti jednom tehničkom disciplinom (materijali, obrada metala).

Kako pri **razmjenoj informaciji** ne bi dolazilo do nesporazuma (diskusije/zadaci iz pojedinih dijelova fizike, ali i iz drugih strojarstvenih predmeta), posebnu pažnju treba posvetiti razumijevanju definicija termina (temperatura/toplina), koje nisu generalno usvojene (brzina/ubrzanje) i razumijevanju korištenih formula ($v_{s,1/2} = s_{1/2}/t_{1/2}$, $v_1 = dx/dt$). S izgrađenim kvalitativnim osjećajem, nesporazumi se lako rješavaju.

Rutinska izračunavanja (zadaci) obuhvaćaju provjeru temeljnih postavki dijelova gradiva iz Fizike – podloge za studij strojarstva.

Brzina savladavanja gradiva ovisi o znanju stečenom u srednjoj školi i stupnju zainteresiranosti (sport i znanost). Za utvrđivanje najučinkovitijeg načina savladavanja gradiva (sposobnost studenta, način učenja i količina uloženog rada) potrebno je odgovoriti na sljedeća pitanja:

- \Rightarrow Umijem li koristiti temeljne postupke matematike (algebra, geometrija, trigonometrija)? Za uspješno studiranje strojarstva moraju se nedostaci što je prije moguće otkloniti. Dio potrebnih znanja iz matematike je obrađen u Fizici.
- \Rightarrow U kojem ću se dijelu Fizike sresti s najvećim poteškoćama? Za dijelove koji nisu savladani u srednjoj školi treba dobiti srednjoškolsku literaturu.
- \Rightarrow Jesam li spreman utrošiti bar po oko dva sata učenja po jednom satu predavanja (stimulirajući startni uspjeh)? Po pola sata prije predavanja (priprema pitanja unaprijed) i po sat i pol sata poslije predavanja (priprema pitanja unatrag).
- \Rightarrow Kada ću učiti Fiziku prije i poslije predavanja (tjedni/dnevni raspored)? Odluku treba dosljedno provoditi, i kontinuirano učenje prihvatiti kao obvezni dio studija. (mora li se ići na predavanja?)
- \Rightarrow Na kojem ću mjestu učiti Fiziku? Na urednom, tihom i prijatnom mjestu se lakše i brže savladava gradivo.
- \Rightarrow Hoću li Fiziku učiti sam ili u grupi? Članovi grupa s jasno određenim ciljem i zadacima lakše i brže savladavaju gradivo.
- \Rightarrow Što ako mene Fizika uopće ne interesira? Kako je obuhvaćeno gradivo iz Fizike temelj strojarstva nameće se logičan zaključak da me ne interesira ni strojarstvo, bez čega studij strojarstva nije moguće učinkovito završiti.

Kada se naiđe na poteškoće bitno je razlučiti uzroke:

- (a) nerazumijevanje prirode stanja ili procesa (odsustvo osjećaja) ili
- (b) poteškoće u opisivanju stanja/procesa (razmjena informacija).

Svakako konzultirati nastavnika (ne postoje glupa pitanja) na početku/kraju predavanja (pokazani interes je nagrada nastavniku).

Ako je odluka kontinuirani rad, zadaci, kolokviji i ispit su samo formalnosti, osigurava se dobra ocjena iz predmeta, te se formiraju kvalitetne podloge za sve lakše i brže savladavanje niza tehničkih disciplina s kojima se sreće tijekom studija strojarstva.

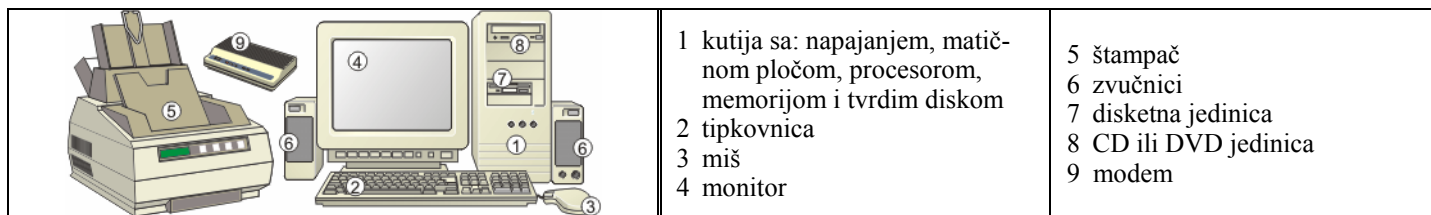
1.16 Korištenje kompjutera (računala)

Za tridesetak godina (oko 2040.) današnji studenti strojarstva biti će oko vrhunca karijere, duboko u dobu primjene IT tehnologije. (prije tridesetak godina – 1980.) Inženjerima danas suvremeni stolni kompjutor pruža dragocjenu pomoć u:

- (c) oslobađanju od pamćenja nebitnog – na jedan DVD stanu milijuni informacija (definicije, formule, vrijednosti veličina),
- (d) brzini obavljanja poslova – obimni (složeni, zamorni) proračuni traju nekoliko djelića sekundi (proračun parnog kotla),
- (e) sigurnosti – s malo pažnje se u potpunosti izbjegavaju pogreške u tekstovima i složenim proračunima (grube greške).

Rad na kompjutoru, koji ne povećava brzinu dobivanja i/ili kvalitetu rezultata, u biti je učenje i/ili igra (odvojiti vrijeme za učenje).

Hardver – cijene komponenata rastu s kapacitetom i kvalitetom, a realne potrebe je teško procijeniti. (sastavljanje vozila iz dijelova)



Dvije osnovne komponente hardvera su procesor (processor) i memorija (memory). Brzina rada procesora se iskazuje u hercima (Hz, kHz, MHz, GHz), a kapacitet memorije u bajtima (B, kB, MB, GB). Procesor i memorija su postavljeni na matičnoj ploči (motherboard) koja se nalazi u kućištu. Preko ulaznih komponenata [tipkovnica (keyboard), miš (mouse)] unose se informacije u kompjutor i izdaju naredbe za obavljanje operacije, a preko izlaznih komponenata [monitor, štampač (printer)] kompjutor izdaje potrebne informacije. Osnovne su ulazno/izlazne komponente: (a) disketna jedinica (floppy disk), (b) tvrdi disk (hard disk), (c) CD/DVD jedinica i (d) USB memorijski stick, a često se sreću i (e) ethernet kartica za povezivanje s lokalnom mrežom te (f) modem za povezivanje s globalnom mrežom – Internetom.

Softver (programi, ne može se dodirnuti) – Cijene legalnog opće korištenog softvera su usporedive s cijenama uobičajenih komponenata hardvera, dok su cijene specijaliziranoga softvera često i višestruko veće. Posebno treba spomenuti:

MS WINDOWS – učinkovito korištenje komponenata kompjutera bez upuštanja u njihovu strukturu, svojstva i uzajamne veze.

MS OFFICE – zbirka nespecijaliziranih programa koji se često koriste u obavljanju različitih poslova. Najčešće se koristi WORD za pisanje teksta, rjeđe EXCEL za tablična izračunavanja i POWER POINT za prezentacije, te rijetko ACCESS za rad s bazama podataka.

COREL DRAW – nespecijalizirani je program za crtanje, a AutoCAD – specijalizirani program za izradu tehničkih nacrti.

MATLAB – relativno jednostavno rješavanje čak i vrlo složenih matematskih problema. (SCIENTIFIC WORKPLACE)

STATISTICA – relativno jednostavan način rješavanja čak i vrlo složenih problema statističke obrade podataka. (SPSS)

Internet – skupina kompjutorskih mreža na koju se osobni kompjutori najčešće povezuju telefonskom linijom. Preko Interneta se uspostavlja učinkovita komunikacija udaljenih korisnika i može se doći do brojnih korisnih informacija iz fizike (<http://www.fizika.org/>, <http://eskola.hfd.hr/>, <http://nippur.irb.hr/hrv/fizika/fizika.html>, <http://www.physlink.com/>, <http://www.stanford.edu/dept/physics/>, <http://www.physics.cornell.edu/>).