

08. Mehanizmi

08. Mehanizmi	1
8.1 Osnove mehanizama	2
8.1.1 Uvod	2
8.1.2 Klipni mehanizam i spojevi elemenata mehanizama	4
8.1.3 Zglobni mehanizmi	6
8.1.4 Bregasti mehanizmi	8
8.1.5 Ostali mehanizmi	9
8.1.6 Mehanizmi i materijali	10
8.2 Usvajanje mehanizama	11
8.2.1 Geometrija mehanizama	11
8.2.2 Kinematika mehanizama	16
8.2.3 Dimenzioniranje elemenata mehanizama	17
8.2.4 Računalna podrška	17
8.3 Primjeri mehanizama	17
8.3.1 Primjeri jednostavnijih mehanizama	17
8.3.2 Primjeri složenijih mehanizama	18
8.3.3 Primjeri mehanizama vozila	19
8.3.4 Primjeri mehanizmi u kućanstvu	21
8.4 Primjena mehanizama	21
8.4.1 Izrada mehanizama	22
8.4.2 Montaža i pogon mehanizama	24
8.4.3 Održavanje i odlaganje mehanizama	24
8.4.4 Prednosti, nedostaci i greške mehanizama	24
8.5 Mehatronika	24
8.5.1 Osnove mehatronike	24
8.5.2 Senzori i aktuatori	24
8.5.3 Elektromotori	24
8.5.4 Mili-elektro-mehanički sustavi	25
Dodatak	56
Literatura	66

Ishodi učenja:

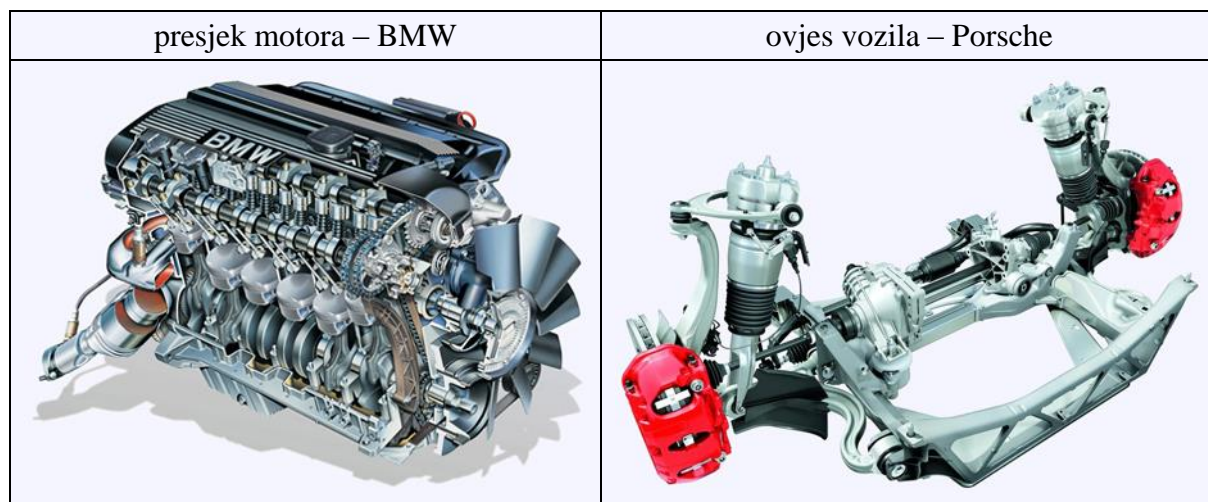
1. **Razumijevanje osnova zupčanih prijenosnika** (*strojevi, prijenosnici, veličine gibanja*).
2. **Umjeti nacrtati zupčani par** (*geometrije zuba i zupčanih parova*)
3. **Usvojena znanja iz zupčanih parova** (*vrste/svojstva, proračun zupčanog para čelnika*).
4. **Usvojena znanja iz primjene zupčanih prijenosnika** (*montaža/demontaža, pogon/održavanje*).

8.1 Osnove mehanizama

8.1.1 Uvod

Struktura i nazivlje mehanizama

Široko su poznate primjene mehanizama u motorima s unutarnjim izgaranjem i motornim vozilima – (a) primjeri su: klipni mehanizam motora SUI, (b) bregasto vratilo s klackalicama za otvaranje ventila motora SUI te (c) dijelovi ovjesa automobila.

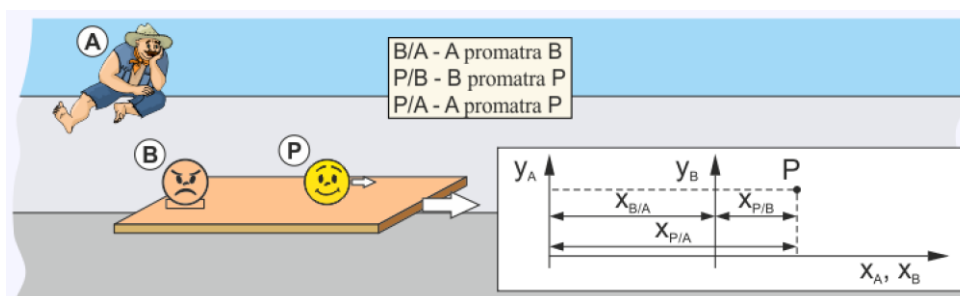


Relativno gibanje

Mehanizmi su mehanički sustavi namijenjeni prijenosima i/ili promjenama gibanja i/ili sila (*okretnih momenata*). Grade ih minimalno tri elementa (*od kojih se jedan usvaja kao temeljni*) koji se uzajamno gibaju te je prije analize dobro podsjetiti se osnovnih postavki kinetike relativnih gibanja.

Ako se dva promatrača uzajamno gibaju i analiziraju gibanje trećeg objekta dobiti će različite rezultate promatranja (*položaj, razmak/pomak, putanja/put, brzina pomaka / putna brzina, ubrzanje pomaka/ putno ubrzanje*).

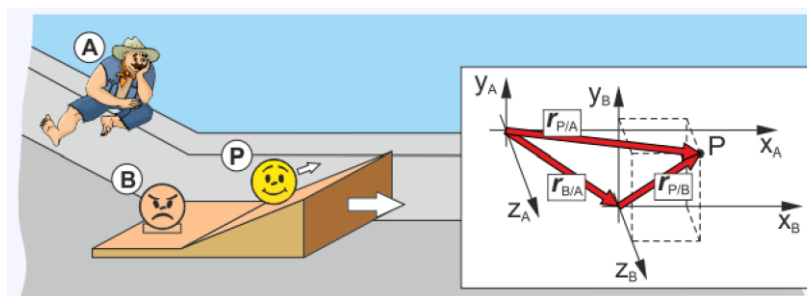
Svaki promatrač (*opremljen sa: štopericom i mjernom trakom za duljinu*) formira osobni **referentni sustav** promatranja, a dobivene veličine gibanja se nazivaju **relativnim veličinama**, na primjer : $x_{P/A}$ – relativna koordinata položaja objekta P u odnosu na promatrača A, $v_{P/A}$ – relativna brzina objekta (*S-08.01, S-08.02, S-08.03.*).



Slika S-08.01 Relativno 2D gibanje – objekt P miruje na podlozi

vektori	komponente
$\mathbf{x}_{P/A} = \mathbf{x}_{B/A} + \mathbf{x}_{P/B}$	$x_{P/A} = x_{B/A} + x_{P/B}$

Kratice $x_{P/A}$ (S-08.01) označava položaj objekta P u sustavu promatrača A (položaj objekta P kako ga vidi promatrač A). Prema tome, $x_{B/A}$ označava položaj objekta B (koji je fiksiran na podlozi) u sustavu promatrača A, a $x_{P/B}$ označava položaj objekta P u sustavu promatrača B.

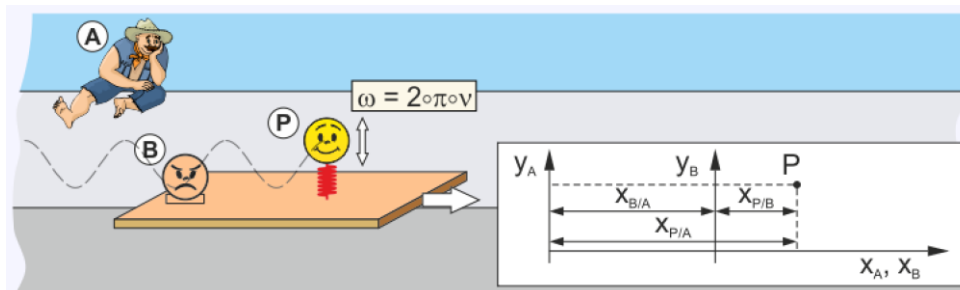


Slika S-08.02 Relativno 3D gibanje – objekt P u pravocrtном gibanju po podlozi

Vektorska jednadžba koja vektorima položaja (r) opisuje položaj objekta P u sustavu promatrača A (S-08.02):

$$\mathbf{r}_{P/A} = \mathbf{r}_{B/A} + \mathbf{r}_{P/B}$$

kratka je, jasna i egzaktna, ali daleka od konkretnih rješenja (razlaganje vektora na komponente zbrajanje po komponentama, izračunavanje rezultante).



Slika S-08.03 Relativno 3D gibanje – objekt P titra na podlozi

Na S-08.03 promatrač B vidi kako se objekt P na vrhu opruge giba gore-dole dok promatrač A vidi gibanje objekta B po sinusoidi (kosinusoidi). Vektorske su jednadžbe opisa gibanja:

$$\mathbf{r}_{P/A} = \mathbf{r}_{B/A} + \mathbf{r}_{P/B}$$

$$\mathbf{v}_{P/A} = \mathbf{v}_{B/A} + \mathbf{v}_{P/B}$$

$$\mathbf{a}_{P/A} = \mathbf{a}_{B/A} + \mathbf{a}_{P/B}$$

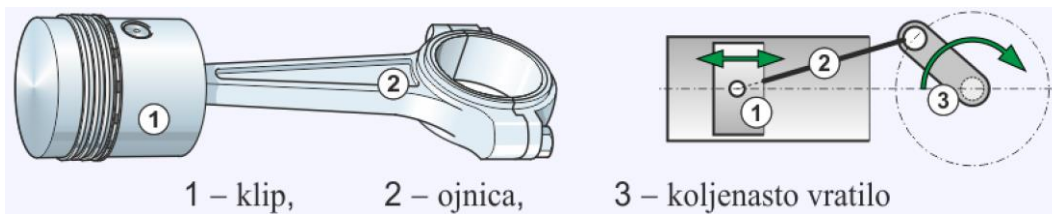
ali, kao i u prethodnom slučaju, daleko su od konkretnih rješenja. U rješavanju konkretnih problema provodi se rutinski postupak:

- (a) razlažu se definirani vektori na komponente (npr. $r_{B/A} \Rightarrow r_{B/A,x}, r_{B/A,y}$ i $r_{B/A,z}$),
- (b) prikladnim algebarskim zbrajanjem komponenti određuju se komponente rezultante (npr. $r_{P/A,x} =, r_{B/A,x} + r_{P/B,x}$)
- (c) prikladnim izračunavanje se na temelju komponenti određuje rezultanta.

8.1.2 Klipni mehanizam i spojevi elemenata mehanizama

Klipni mehanizam

Klipni mehanizam namijenjen je pretvaranju pravocrtnog gibanja klipa motora s unutar-njim izgaranjem (u cilindru) u kružno gibanje koljenastog vratila. (zamašnjak, spojka, mjenjač, diferencijal, kotači).



Slika S-08.04 Klipni mehanizam

Spojevi elemenata mehanizama

Pokretljivost mehaničkog sustava se opisuje **brojem stupanja slobode (BSS)** koji je jednak minimalnom broju neovisnih veličina dovoljnih za opisivanje položaja u prostoru referentnog sustava promatranja.

Ovisno o geometriji, spojevi mogu biti [Norton 2003, str. 27]:

SPOJEVI ELEMENATA						
	obrtni	prizmastični	zavojni	cilindrični	sferni	planarni
oznaka	O	P	Z	C	S	R
BSS	1	1	1	2	3	3

Osnovni spojevi elemenata mehanizama prikazani su u T-08.01 gdje su date njihove skice, oznake i brojevi stupanja slobode. Treba uočiti da cilindrični spoj elemenata (C) ima dva stupnja slobode gibanja dok samo jedan stupanj slobode gibanja imaju obrtni spoj elemenata (O) – može se samo obrtati, i zavojni spoj elemenata (Z) imaju – obrtanje određuje i aksijalno pomicanje (jedan obrt \Rightarrow jedan korak navoja).

Tablica T-08.01 Osnovni spojevi elemenata mehanizama

obrtni	prizmastični	zavojni
--------	--------------	---------

<p>O</p> <p>1</p>	<p>P</p> <p>1</p>	<p>Z</p> <p>1</p>
<p>cilindrični</p>	<p>sferni</p>	<p>zavojni</p>
<p>C</p> <p>2</p>	<p>S</p> <p>3</p>	<p>R</p> <p>3</p>

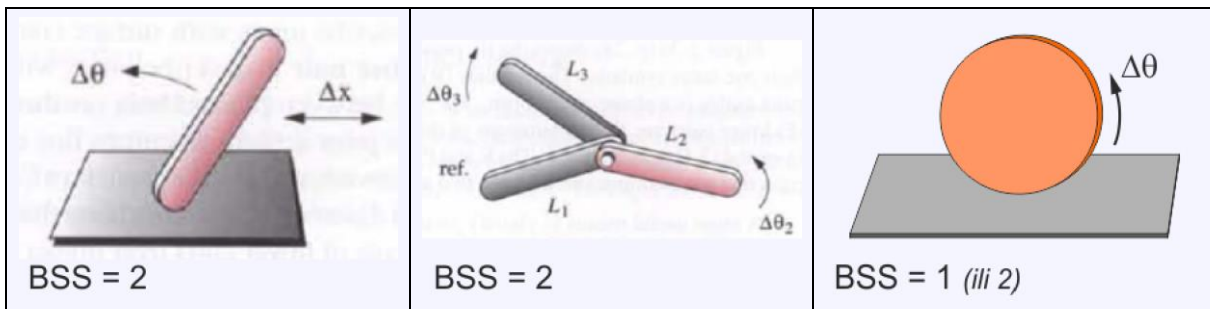
Prema broju spojeva mogu se razlikovati spojni elementi [Norton 2003, str. 26]:

dvospojni (<i>minimum</i>)	trospojni	četvorospojni	...
			<p>...</p>

Spojni elementi mehanizama

Na sljedećim primjerima često sretanih spojenih elemenata mehanizma u ravnini temeljni je element, koji je u stanju relativnog mirovanja (*ne giba se u odnosu na referentni sustav*) označen sivom bojom [Norton 2003, str. 28].

dva elementa i O spoj	dva elementa i P spoj	dva elementa
<p>BSS = 1</p>	<p>BSS = 1</p>	<p>BSS = 2</p>
<p>cilindrični</p>	<p>sferni</p>	<p>planarni</p>



Kinematički lanac – sklop elemenata i spojeva povezanih u cilju postizanja zahtijevanog izlaznog gibanja kao rezultata određenog ulaznog gibanja.

Mehanizam – kinematički lanac s minimalno jednim temeljnim elementom, nepokretnim u odnosu na referentni sustav promatranja (koji se može gibati zajedno s referentnim sustavom).

Broj stupanja slobode

Broj stupanja slobode mehanizama u ravnini jednak je [Norton 2003, str. 31]:

$$BSS = 3 \cdot (L - 1) - 2 \cdot J_1 - J_2$$

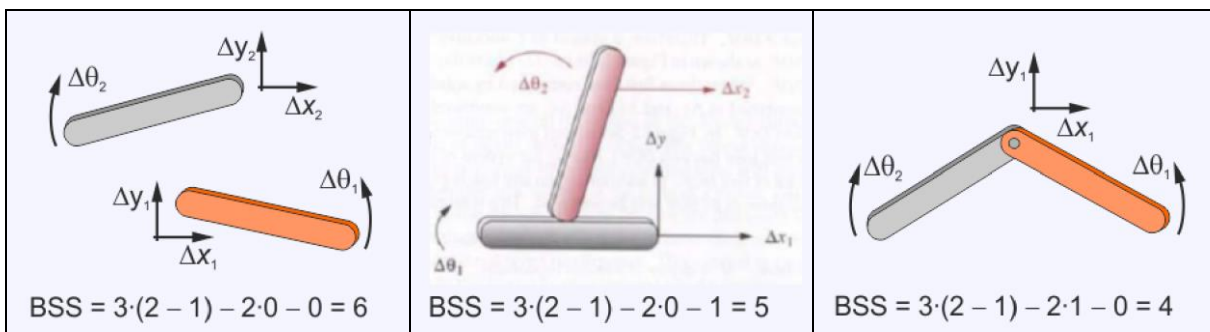
F-08-01

gdje je: L – broj elemenata ,

J_1 – broj spojeva sa $BSS = 1$,

J_2 – broj spojeva sa $BSS = 2$.

Prema tome, povezivanjem se smanjuje broj stupanja slobode [Norton 2003, str. 32].



8.1.3 Zglobni mehanizmi

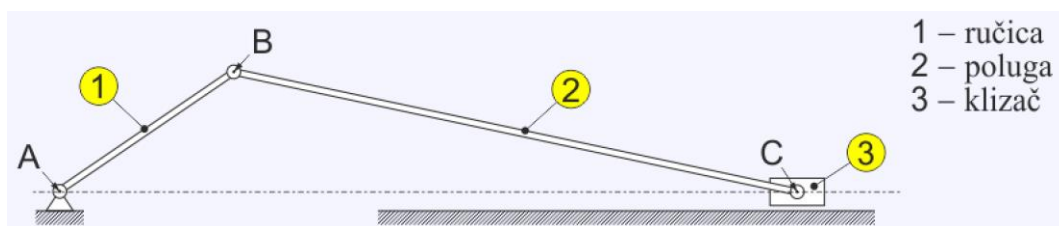
Primjeri su tri jednostavna zglobna mehanizma:

1. mehanizam ručica klizač (klipni mehanizam),
2. mehanizam za brzi povratni hod,
3. mehanizam s četiri poluge.

Mehanizam ručica-klizač

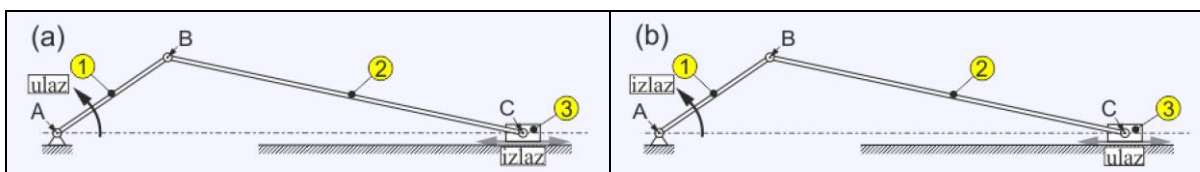
Broj je stupanja slobode (F-08-01) mehanizma ručica-klizač, prikazanog na S-08.05 [Brown 2005, str. 429]:

$$BSS = 3 \cdot (L - 1) - 2 \cdot J_1 - J_2 = 3 \cdot (2 - 1) - 2 \cdot 1 - 0 = 1$$



Slika S-08.05 Mehanizam ručica-klizač

Zbog mogućnosti različitih prilagodbi, mehanizam ručica-klizač je jedan od najčešće korištenih mehanizama. Naime, moguće su dvije osnovne varijante – S-08.06:



Slika S-08.06 Dvije varijante mehanizma ručica-klizač

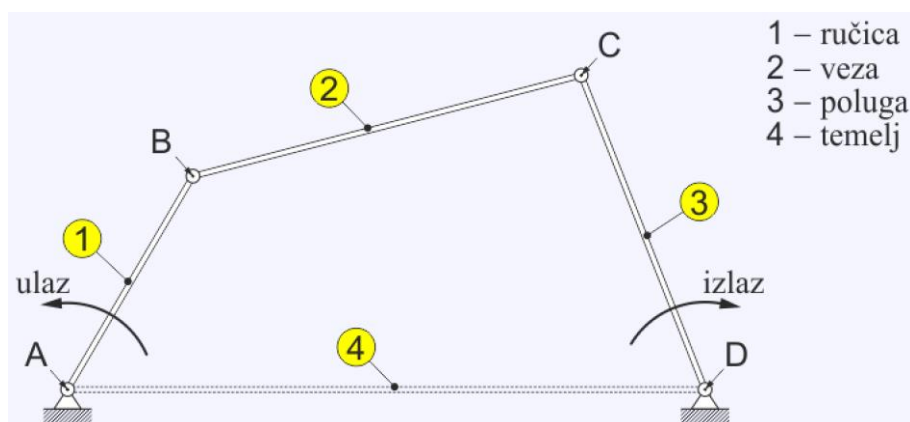
Kod varijante (a) (S-08.06), koja se koristi u konstrukciji kompresora, ručica 1 (*koljenasto vratilo*) je pogonski dio (*ulaz*), a klizač 3 gonjeni dio (*izlaz*). Obrnuto, kod varijante (b), koja se koristi kod motora s unutarnjim izgaranjem, ručica 1 (*koljenasto vratilo*) je gonjeni dio (*izlaz*), a klizač 3 pogonski dio (*ulaz*).

Pored toga, točka C, koja je na S-08.05 (te S-08.06 – (a) i (b)) na istoj visini s točkom A, može biti po potrebi iznad ili ispod točke A. Mehanizam ručica-klizač pored horizontalne orijentacije može biti orijentiran pod bilo kojim kutom u odnosu na horizontalu.

Mehanizam s četiri poluge

Broj je stupanja slobode (F-08-01) mehanizma s četiri poluge, prikazanog na S-08.06 [Brown 2005, str. 428]:

$$BSS = 3 \cdot (L - 1) - 2 \cdot J_1 - J_2 = 3 \cdot (4 - 1) - 2 \cdot 4 - 0 = 1$$



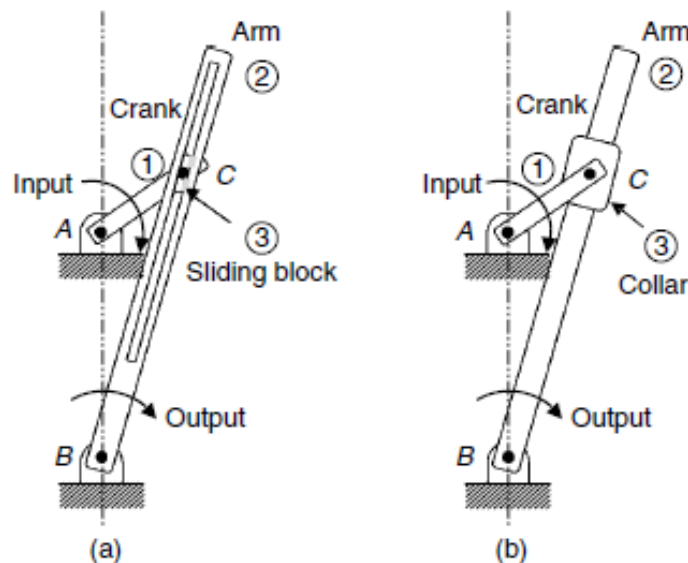
Slika S-08.07 Mehanizam s četiri poluge

Ovisno o duljinama elemenata (*S-08.07* – 1, 2, 3, 4) mogu se postići različiti odnosi dinamika gibanja ručice 1 i poluge 3. Zbog mogućnosti postizanja preciznih odnosa dinamika gibanja ručice i poluge, ovaj se mehanizam široko koristi u vojnim i industrijskim kompjutorski podržanim sustavima, te kod motornih vozila.

Mehanizam za brzi povratni hod

Broj je stupanja slobode (*F-08-01*) mehanizma za brzi povratni hod, prikazanog na **S-08.06** [*Brown 2005, str. 429*]:

$$BSS = 3 \cdot (L - 1) - 2 \cdot J_1 - J_2 = 3 \cdot (3 - 1) - 2 \cdot 2 - 1 = 1$$



Slika **S-08.08** Mehanizam za brzi povratni hod

Na **S-08.06** su prikazane dvije varijante mehanizma za brzi povratni hod – (a) i (b). U obje varijante se kod klizača koristi kombinacija cilindričnog i prizmatičnog spoja. Kod varijante (a) klizač giba u kanalu ruke 2 a kod varijante (b) se giba duž ruke punog profila.

Ručica mehanizma za brzi povratni hod vrti se konstantnom brzinom, ali je prikladnom geometrijom mehanizma postignuto sporije gibanje ruke *u radnom hodu* kada se u odnosu na točku A (*S-08.08*) klizač 3 i točka B nalaze na suprotnim stranama. Kada se klizač nalazi između točaka A i B gibanje ruke je brže – povratni hod. Ovaj se mehanizam često koristi kod automatiziranih alatnih strojeva kada se tijekom radnog hoda komad obrađuje odvajanjem strugotine dok se povratnim hodom alat vraća u početni položaj.

8.1.4 Bregasti mehanizmi

Bregasti mehanizmi obuhvaćaju dva osnovna elementa:

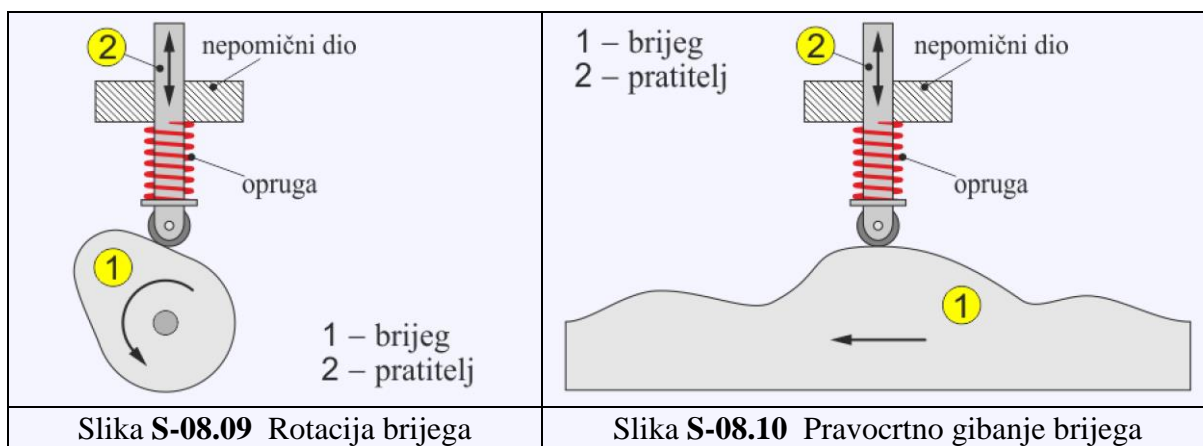


Brijeg rotira (S-08.09), npr. kod motora s unutarnjim izgaranjem, ili se pak giba pravocrtno (S-08.10), npr. kod kopirnog tokarenja, dok pratitelj najčešće oscilira uslijed izmjeničnih pritiska brijega/opruga [Dorf 2005, Gl. 20 – str 5].

Broj je stupanja slobode bregastog mehanizma:

$$BSS = 3 \cdot (L - 1) - 2 \cdot J_1 - J_2 = 3 \cdot (2 - 1) - 2 \cdot 1 - 0 = 1$$

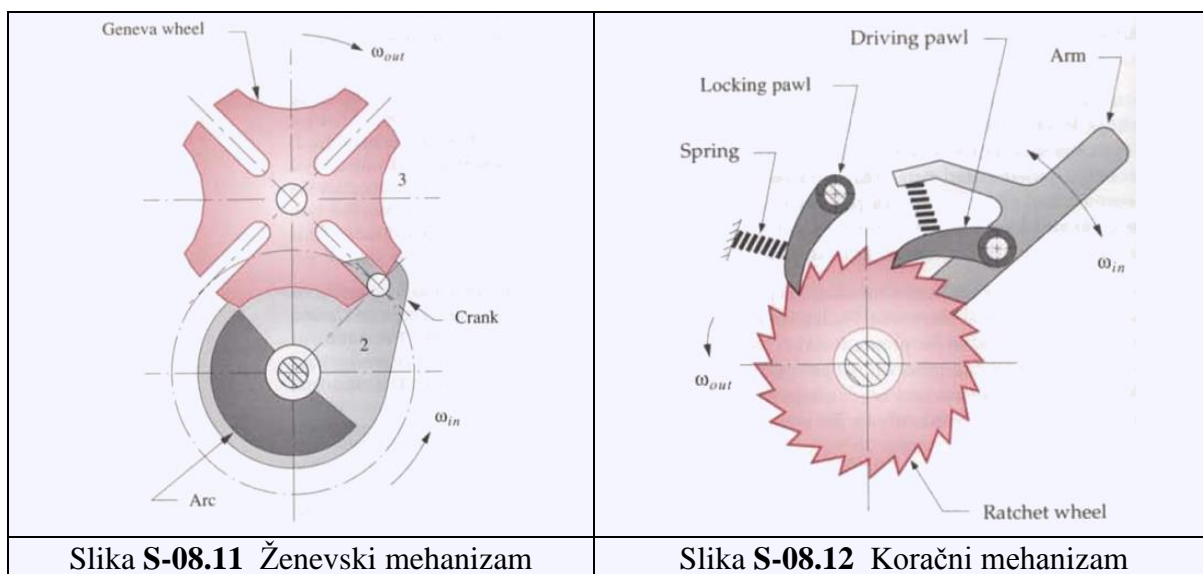
Bregasti mehanizam je jednostavan, kompaktan i robusan te se često koristi u rješavanju specifičnih konstrukcija.

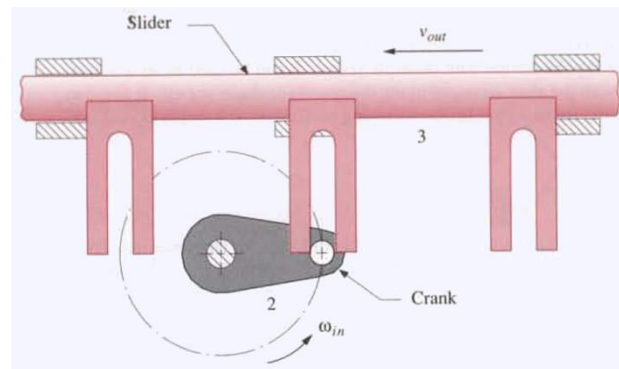


8.1.5 Ostali mehanizmi

Pored zglobnih i bregastih mehanizama koristi se veći broj različitih manje ili više složenih mehanizama, na primjer [Norton 2003, str. 46]:

1. ženevski mehanizam (S-08.11),
2. koračni mehanizam (S-08.12),
3. linearni koračni mehanizam (S-08.13).





Slika S-08.13 Linearni ženevski mehanizam

8.1.6 Mehanizmi i materijali

Dug vijek trajanja spojeva elemenata osigurava se izborom prikladnog materijala i dovoljno kvalitetnim podmazivanjem.

Pri usvajanju elemenata mehanizama mora se izabrati optimalni (*maksimalno mogući*) omjer čvrstoća/gustoća materijala. Što je materijal manje gustoće to će biti manja masa elementa te time i manje dinamičke (*inercijalne*) sile koje se javljaju pri radnim ubrzanjima/usporenjima.

Svojstva i karakteristike materijala koji se koriste u izradi mehanizama su date u TD-08.01, TD-08.02, TD-08.03, TD-08.04 i TD-08.05.

Na primjer, klipni mehanizmi su izloženi djelovanjima velikih dinamičkih sila izazvanih: (a) eksplozivnim opterećivanjem/rasterećenjem (*npr. detonantno izgaranje u benzinskim motorima*) i (b) tromošću pokretnih dijelova. U uvjetima neizbježnih velikih ubrzanja s jedne strane treba usvojiti što je moguće manje mase pokretnih dijelova dok s druge strane dimenzije elemenata moraju biti dovoljno velike kako bi oni mogli podnijeti aktualna opterećenja. Prema tome, usvajaju se materijali s velikim omjerom čvrstoća/gustoća. Za izradu elemenata klipnog mehanizma se usvaja [Norton 2003, str. 677]:

- (a) klip – ljevačka ili kovačka legura aluminija,
- (b) ojnica – nodularni lijev ili kovački čelik, legura aluminij za mali motor SUI (*npr. kosilica, motorna lančana pila, motorcikli*) te titan za visoko zahtijevni motor s unutarnjim izgaranjem (*npr. Acura NSX, Corvette, Porsche GT3*),
- (c) koljenasto vratilo – kovački čelik ili nodularni lijev,
- (d) svornjak klipa – toplinski obrađeni čelik,
- (e) ležaj radilice – neželjezna legura babit (*kositar, bakar, antimon*),
- (f) klipni prsteni – kromirani čelik,
- (g) blok motora – ljevačko željezo ili ljevački aluminij.



Slika S-08.14 Ojnica od titana

Kako bi se postigla dovoljna čvrstoća i tvrdoća, za izradu brjegova bregastih mehanizama se usvaja ugljični čelik ili nodularni lijev te prikladna toplinska obrada. Treba imati u vidu da ovi materijali, ovisno o sastavu, mogu biti teški do vrlo teški za obradu odvajanjem strugotine (*npr. glodanje*). Za morske uvjete, manja opterećenja i manje brzine za izradu brjegova se usvaja bronca, a za brjegove programatora strojeva za pranje rublja usvaja se prikladna plastika.

8.2 Usvajanje mehanizama

Pri usvajanju mehanizama, na temelju zahtjeva treba odrediti:

1. geometriju – karakteristične dimenzije,
2. kinematiku – putanje, brzine i ubrzanja,
3. dimenzije elemenata – sile i inercijalne sile (*iterativni postupak dimenzioniranja elemenata mehanizma*),

8.2.1 Geometrija mehanizama

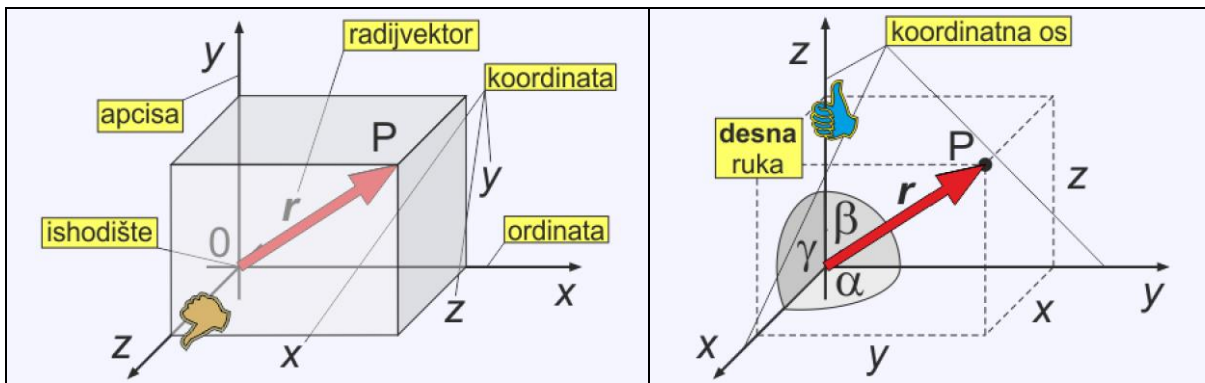
Ovisno o prirodi mehanizma odabiru se i koordinatni sustavi u kojima se provodi analiza.

Koordinatni sustavi

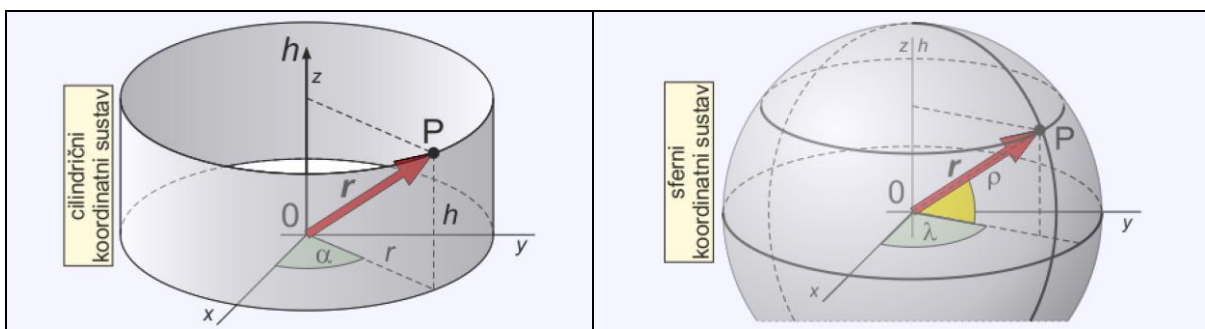
Razlikuju se:



Najčešće se odabira ravninski pravokutni koordinatni sustav: $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$. Kosokutni ravninski koordinatni sustav: α i/ili β i/ili $\gamma = 90^\circ$. Raspored osi može biti po pravilu desne ruke i po pravilu lijeve ruke (*rijetko se koristi*).



Slika S-08.14 Ravninski pravokutni koordinatni sustav



Slika S-08.15 Cilindrični i sferni koordinatni sustavi

Koordinate cilindričnog i ravninskog pravokutnog koordinatnog sustava povezane su jednadžbama:

$$x = r \cdot \cos \alpha \quad y = r \cdot \sin \alpha \quad z = h \quad \text{F-08-02}$$

Koordinate sfernog i ravninskog pravokutnog koordinatnog sustava povezane su jednadžbama:

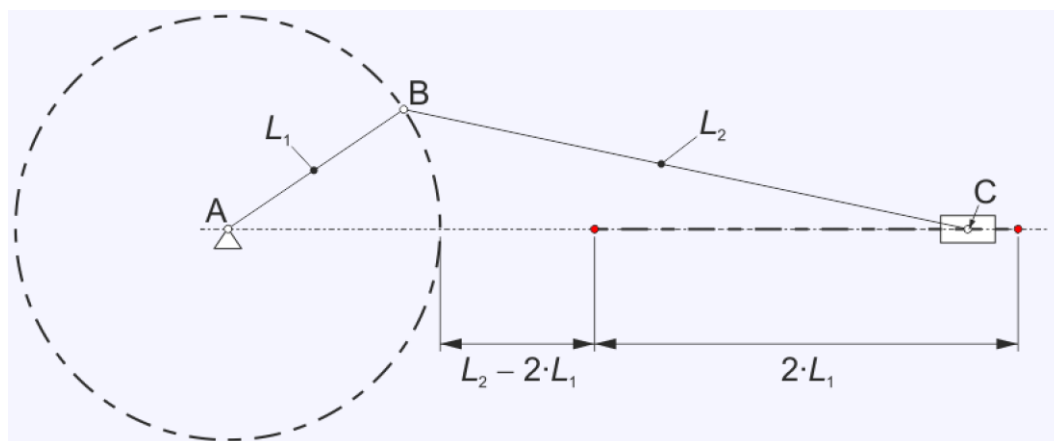
$$x = \rho \cdot \cos \varphi \cdot \cos \lambda \quad y = \rho \cdot \cos \varphi \cdot \sin \lambda \quad z = \rho \cdot \sin \varphi \quad \text{F-08-03}$$

Ovo nisu opće važeće formule za preračunavanje – ako se osi i/ili kutovi postave/označe na drugi način slijede i druge formule.

Klipni mehanizam

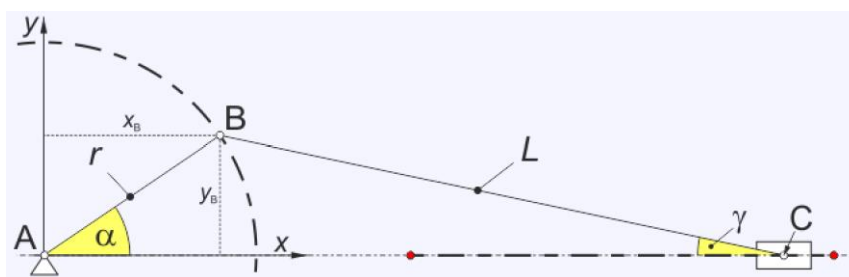
Na temelju postavljenih zahtijeva određuju se duljine:

- (a) kraka ručice L_1 (S-08.15) i
- (b) poluge L_2 .



Slika S-08.16 Geometrija klipnog mehanizma

Za analizu apsolutnih položaja točaka A, B i C pogodno je odabrati ravninski referentni koordinatni sustav s ishodištem u točki A, dok je u analizi relativnih položaja pogodno odabrati: (a) točke A i B – cilindrični koordinatni sustav s ishodištem u točki A te (b) točke A i C – ravninski koordinatni sustav s ishodištem u točki A.



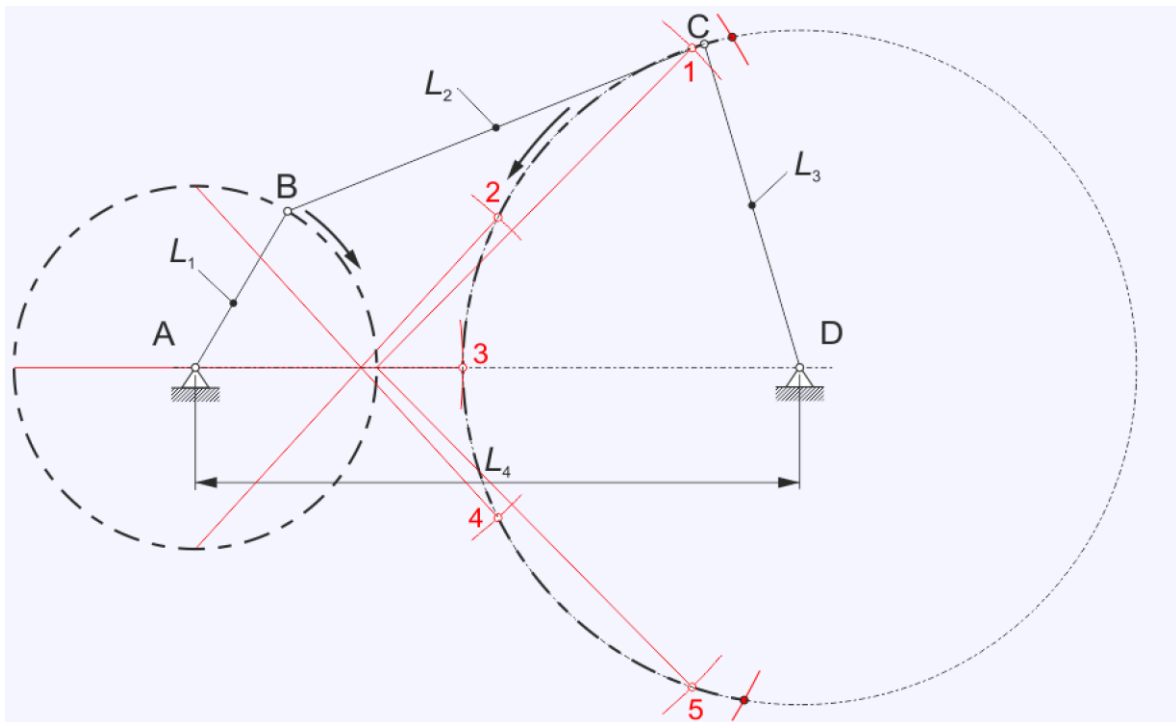
$$x_B = r \cdot \cos \alpha \quad y_B = r \cdot \sin \alpha \quad z_C = 0 \quad (F-08-02)$$

$$x_C = x_B + L \cdot \cos \gamma \quad \gamma = \arctan\left(\frac{r \cdot \sin \alpha}{L}\right) \quad y_C = 0 \quad z_C = 0$$

Mehanizam s četiri poluge

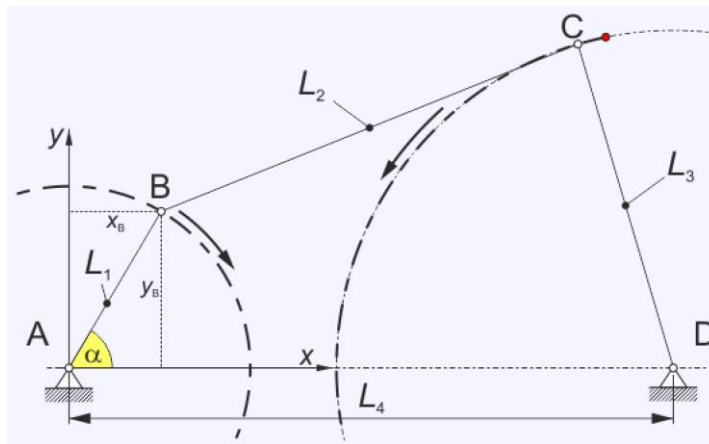
Na temelju postavljenih zahtijeva određuju se duljine:

- kraka poluge L_1 (S-08.16) i
- poluge L_2 ,
- poluge L_3 i
- poluge L_4 ,



Slika S-08.16 Geometrija mehanizma s četiri poluge

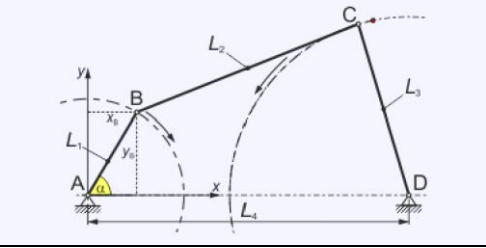
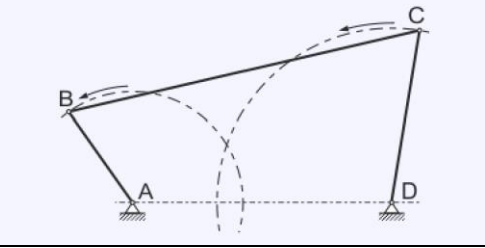
Za analizu apsolutnih položaja točkaka A, B, C i D pogodno je odabrati ravninski referentni koordinatni sustav s ishodištem u točki A, dok je u analizi relativnih položaja pogodno odabrati: (a) točke A i B – cilindrični koordinatni sustav s ishodištem u točki A te (b) točke C i D – cilindrični koordinatni sustav s ishodištem u točki D.

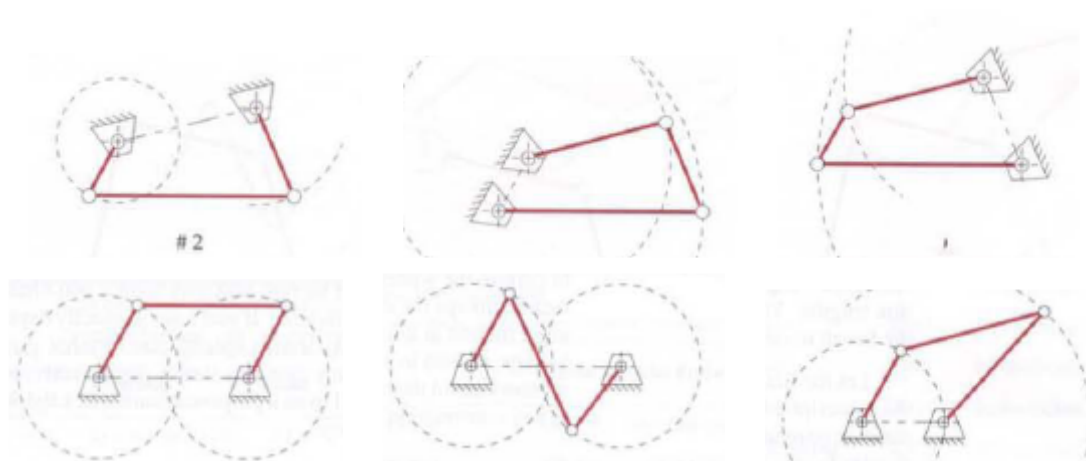


Gibanja elemenata mehanizama s četiri poluge ovisi o geometriji – duljinama poluga i položajima obrtnih spojeva u točkama A i D [Norton 2003, str. 49÷51].

We will now define a **crank** as a link that makes a complete revolution and is pivoted to ground, a **rocker** as a link that has oscillatory (back and forth) rotation and is pivoted to ground, and a **coupler** (or connecting rod) as a link that has complex motion and is not pivoted to ground. **Ground** is defined as any link or links that are fixed (nonmoving) with respect to the reference frame. Note that the reference frame may in fact itself be in motion.

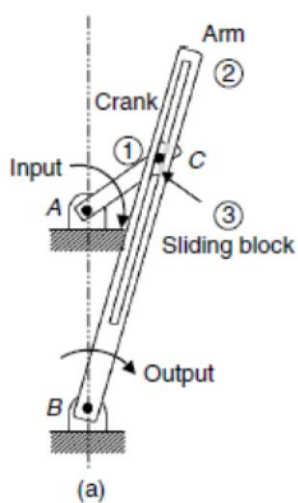
[Norton 2003, str. 49÷51]

		dva elementa
		
cilindrični	sferni	planarni



Mehanizam za brzi povratni hod

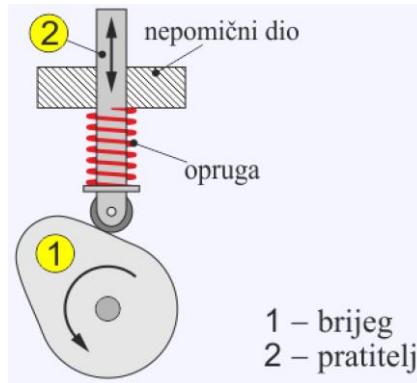
Na temelju postavljenih zahtjeva određuju se duljina kraka ručice L (S-08.15) i razmak L_1 položaja točaka: B –granični desni i C –granični lijevi.



Slika S-08.17 Geometrija mehanizma za brzi povratni hod

Bregasti mehanizam s rotirajućim brijegom

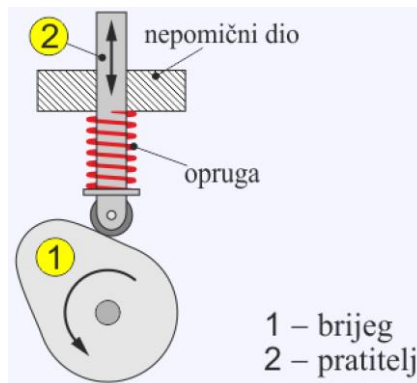
Na temelju postavljenih zahtijeva određuju se duljina kraka ručice L (S-08.15) i razmak L_1 položaja točaka: B –granični desni i C – granični lijevi.



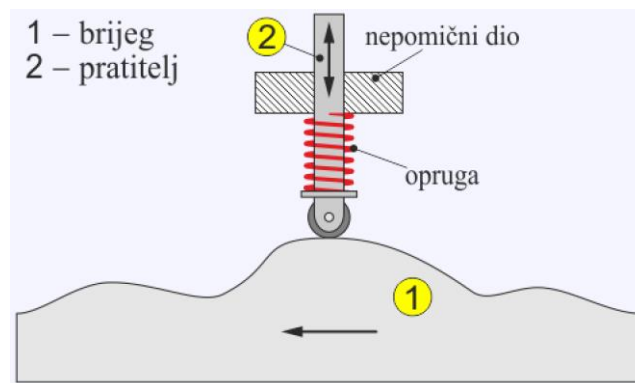
Slika S-08.18 Geometrija bregastog mehanizma s rotirajućim brijegom

Bregasti mehanizam s pravocrtним gibanjem brijega

Na temelju postavljenih zahtijeva određuju se duljina kraka ručice L (S-08.15) i razmak L_1 položaja točaka: B –granični desni i C – granični lijevi.



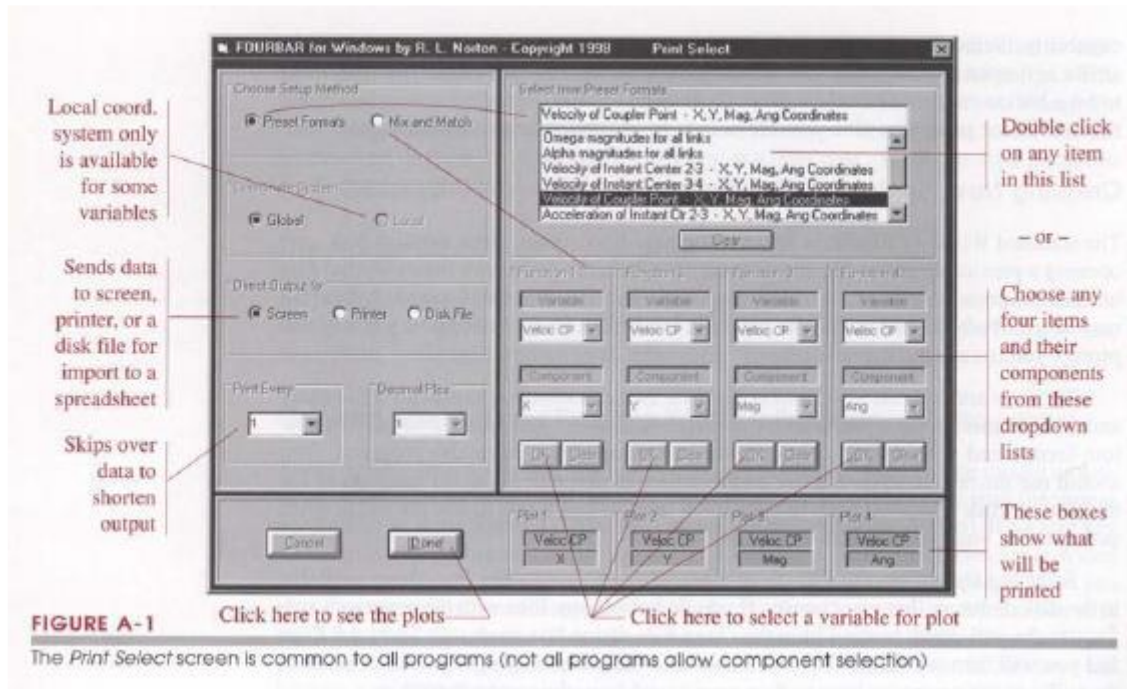
Slika S-08.18 Geometrija bregastog mehanizma s pravocrtним gibanjem brijega



8.2.2 Kinematika mehanizama

8.2.3 Dimenzioniranje elemenata mehanizama

8.2.4 Računalna podrška



Norton2003/377÷384, Avallone2006/638÷640, **Dorf2005/Ch20-5÷9**(glosar), Grote2007/564÷566, **Mabie1987/42÷43**,

Brown2005/429÷442, Grote2007/566÷572, Margithu2001/201÷241, Margithu2009/23÷278, Mabie1987/17÷70,130÷315,323÷325, McCarthy 2010, Norton1999/93÷448,507÷910(duplo Ch: 12, 13, 14), Norton2003/3÷461,525÷768,816÷837,838÷840, Sacks2010/81÷120, Shigley1980,

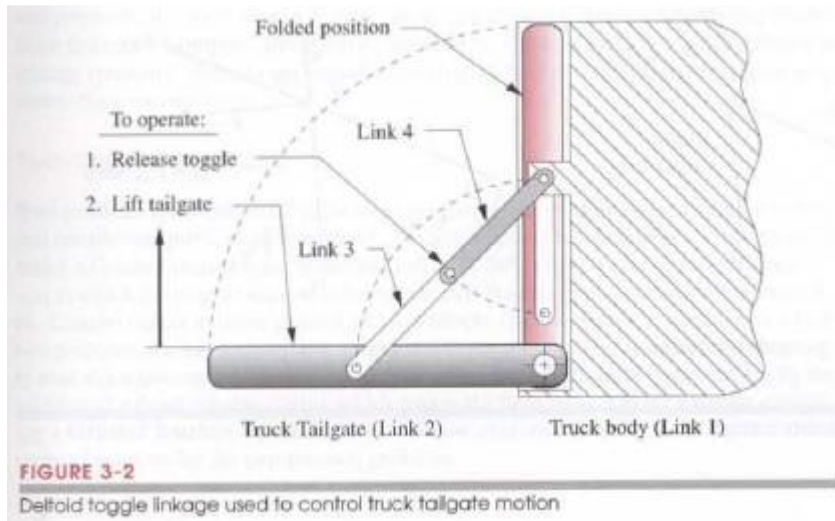
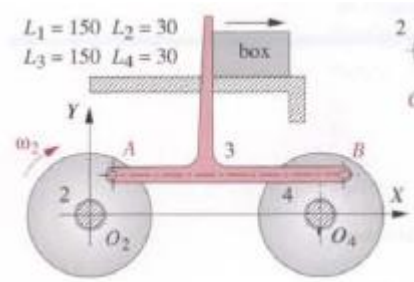
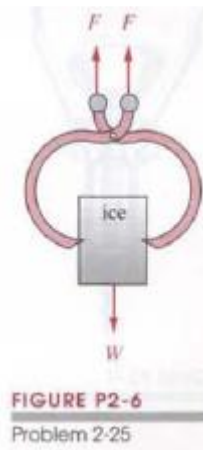
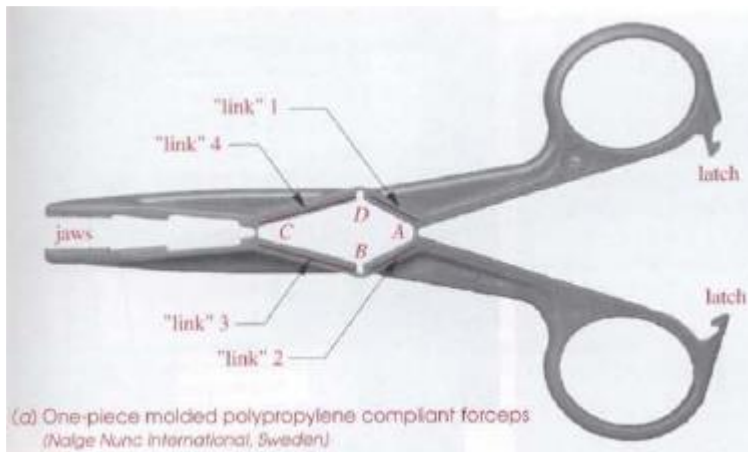
8.2.1 *Geometrija mehanizama* – Avallone2006/637÷643,

8.2.2 *Kinematika mehanizama* – Avallone2006/643,

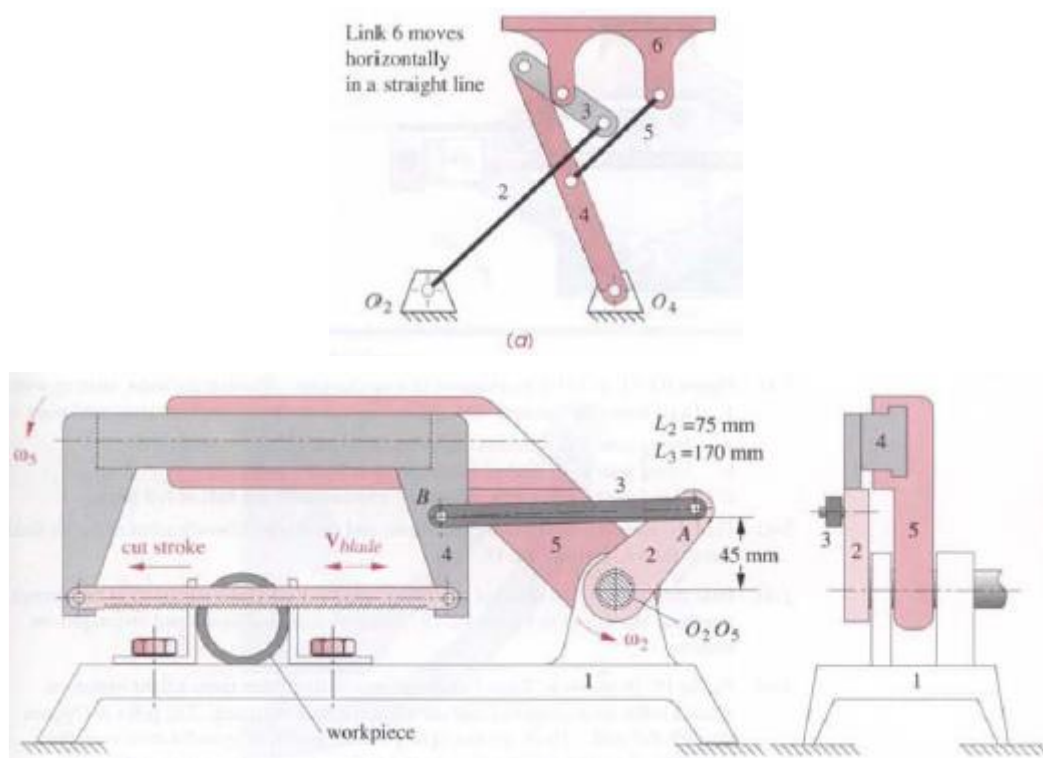
8.2.3 *Dinamika mehanizama* – Avallone2006/644,

8.3 Primjeri mehanizama

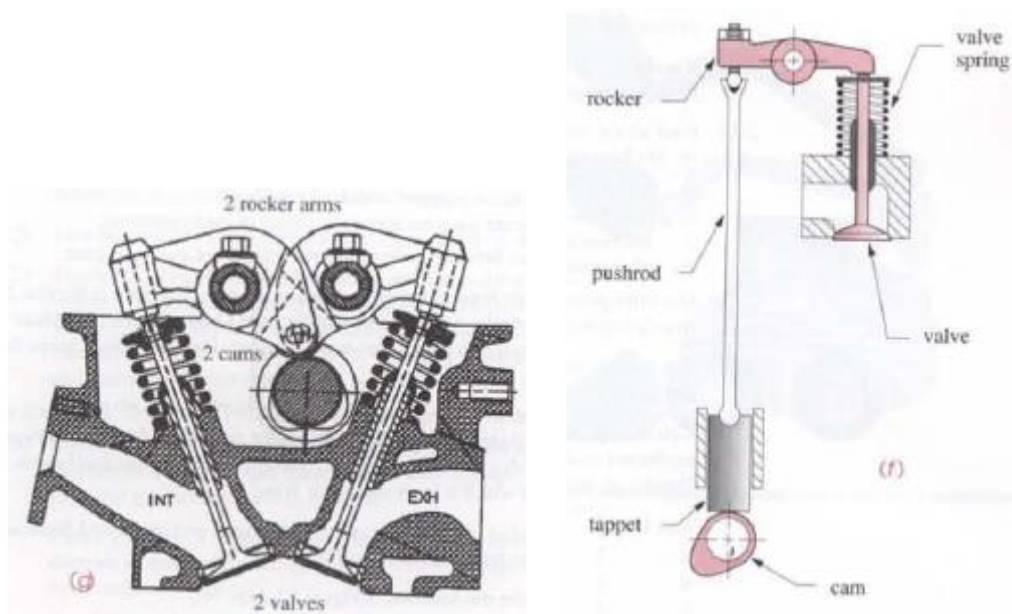
8.3.1 Primjeri jednostavnijih mehanizama



8.3.2 Primjeri složenijih mehanizama

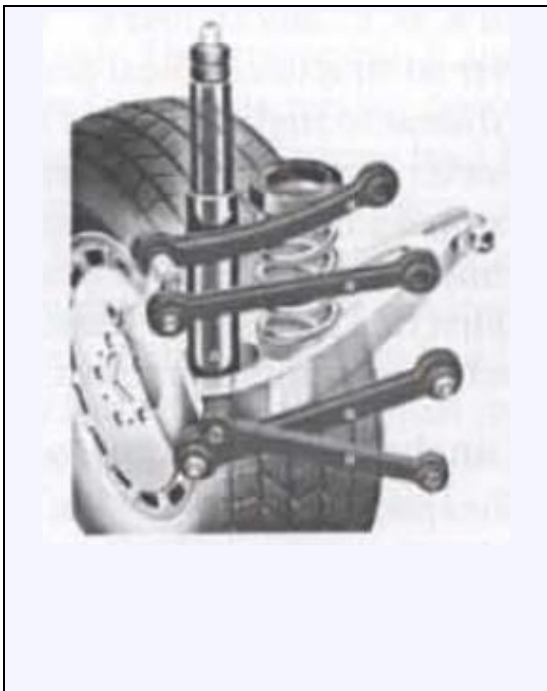


8.3.3 Primjeri mehanizama vozila



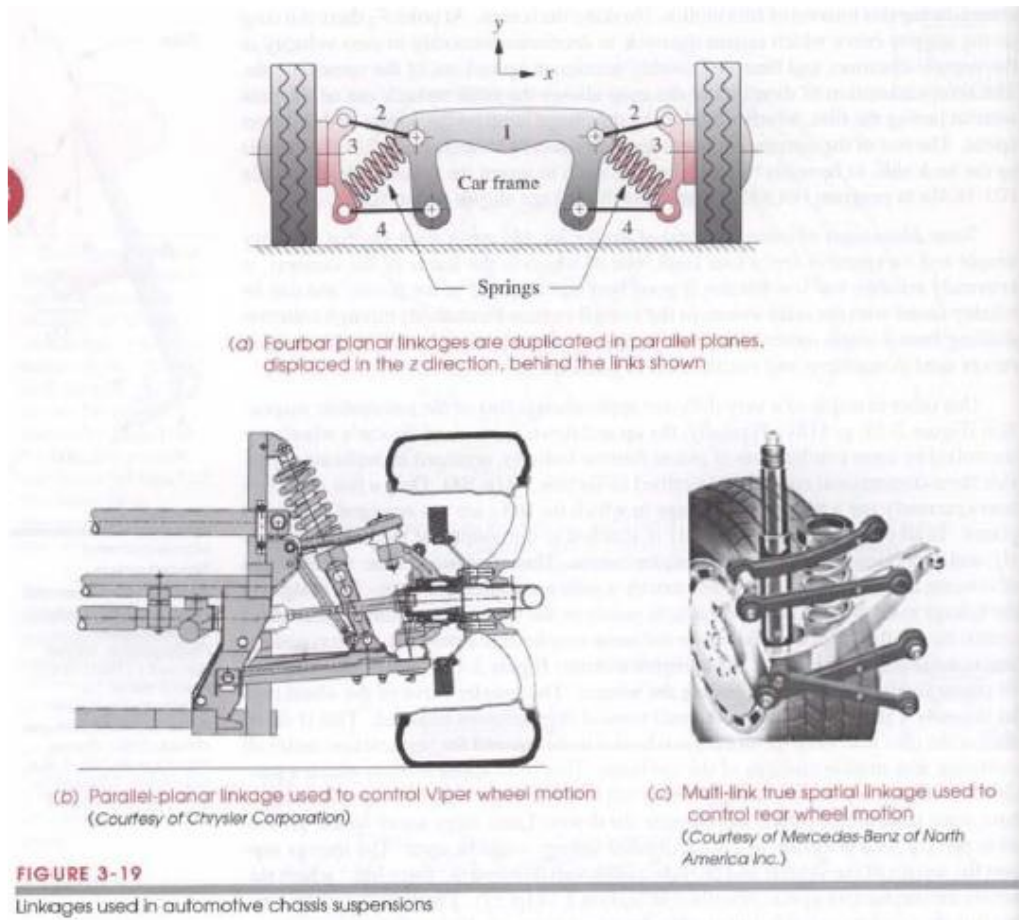
Prostorni zglobni mehanizmi

Prostorni zglobni mehanizam	Ravninski zglobni mehanizam
-----------------------------	-----------------------------



Slika S-08.XX Rear suspension – Daimler Benz [Norton2003/7]

Slika S-08.XX Utility tractor with backhoe, John Deere [Norton2003/7]



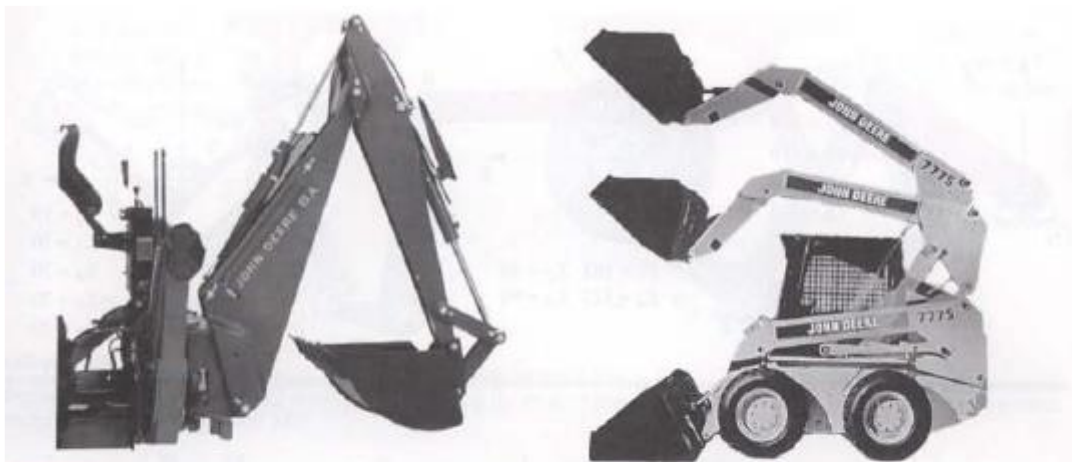
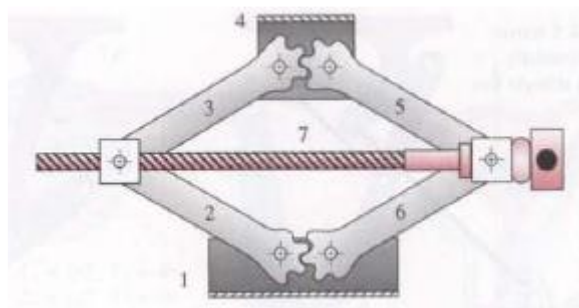


FIGURE P2-3

Problem 2-20 Backhoe and front-end loader. Courtesy of John Deere Co.



8.3.4 Primjeri mehanizmi u kućanstvu

Ravninski zglobni mehanizam	Ravninski zglobni mehanizam
<p>Slika S-08.XX Linkage-driven exercise machine – ICON Health and Fitness [Norton2003/7]</p>	<p>Slika S-08.XX A spring-balanced linkage mechanism [Norton2003/57]</p>

8.4 Primjena mehanizama

8.4.1 Izrada mehanizama

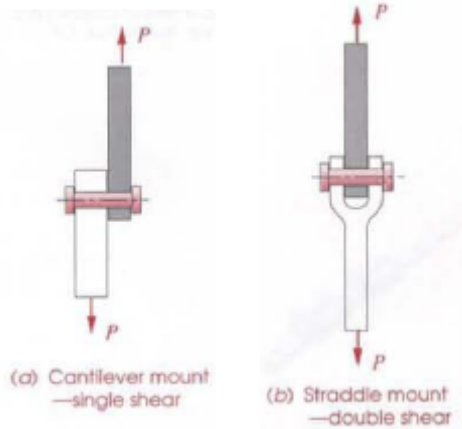


FIGURE 2-32
Cantilever, and straddle-mounted pin joints

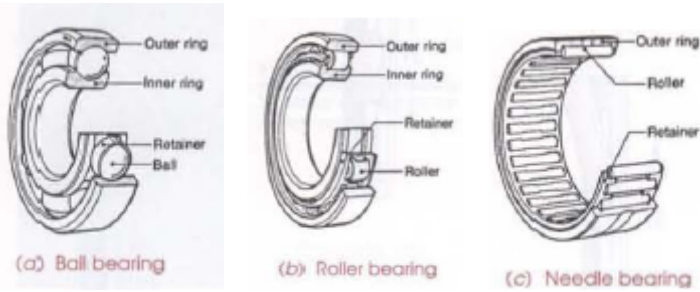
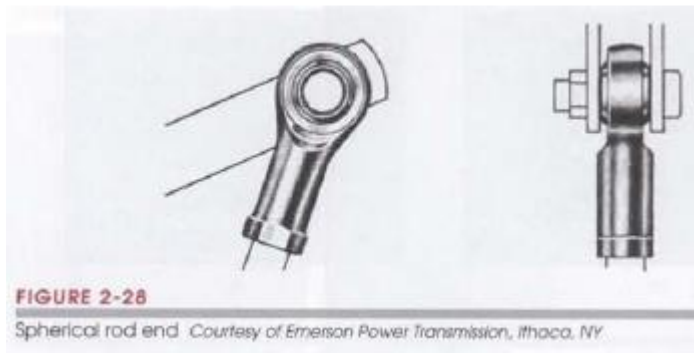


FIGURE 2-29
Ball, roller, and needle bearings for revolute joints. Courtesy of NTN Corporation, Japan



FIGURE 2-30
Pillow block and flange-mount bearing units. Courtesy of Emerson Power Transmission, Ithaca, NY.



FIGURE 2-31
Linear ball bushing
Courtesy of Thomson
Industries, Port Washington,
NY

Norton 2003

If the moving mass is small, then very large numerical values of acceleration are reasonable.

If the mass is large, the dynamic stresses which the materials can sustain may limit the allowable accelerations to low values. Unfortunately, the designer does not usually know how much acceleration is too much in a design until completing it to the point of calculating stresses in the parts. This usually requires a fairly complete and detailed design.

If the stresses turn out to be too high and are due to dynamic forces, then the only recourse is to iterate back through the design process and reduce the accelerations and/or masses in the design. This is one reason that the design process is a circular and not a linear one.

worn to a smoother contour by the unsustainable stresses generated in the materials.

A first estimate of your parts' masses can be obtained by assuming some reasonable shapes and sizes for all the parts and choosing appropriate materials. Then calculate the volume of each part and multiply its volume by the material's mass density (not weight density) to obtain a first approximation of its mass. These mass values can then be used in Newton's equation. The densities of some common engineering materials can be

found in Appendix B.

The machine designer often needs to remove mass (in the right places) from parts in order to reduce the stresses and deflections due to $F = ma$. Thus the designer needs to have a good understanding of both material properties and stress and deflection analysis to properly shape and size parts for minimum mass

while maximizing the strength and stiffness needed to withstand the dynamic forces.

Even if the link shapes and materials are completely defined at the outset of the force analysis process (as with the redesign of an existing system), it is a tedious exercise to calculate the dynamic properties of complicated shapes. Current solids modelling CAD systems make this step easy by computing these

parameters automatically for any part designed within them.

If, however, you are starting from scratch with your design, the *blank-paper syndrome* will inevitably rear its ugly head. A first approximation of link shapes and selection of materials must be made in order to create the dynamic parameters needed for a "first pass" force analysis. A stress analysis of those parts, based on the calculated dynamic forces, will invariably find problems that require changes to the part shapes, thus requiring recalculation of the dynamic properties and recomputation of the dynamic forces and stresses. This process will have to be repeated iteratively (iteratively - see Chapter 1, p. 8) until an acceptable design is reached. The advantages of using a computer to do these repetitive calculations is obvious and cannot be overstressed. An equation solver program such as *TKSolver* or *Mathcad* will be a useful aid in this process by

reducing the amount of computer programming necessary.

It is obvious that we must avoid driving this system at or near its natural frequency. One result of operation of an underdamped cam-follower system near ω_n can be follower jump. The system of follower mass and spring can oscillate violently at its natural frequency and leave contact with the cam. When it does reestablish contact, it may do so

with severe impact loads that can quickly fail the materials, Some thought and observation of equation 15.1d (p. 732) will show that we would like our system members to be both light (low nl) and stiff (high k) to get high values for co and thus low values for t . Unfortunately, the lightest materials are seldom also the stiffest. Aluminum is one-third the weight of steel but is also about a third as stiff. Titanium is about half the weight of steel but also about half as stiff. Some of the exotic composite materials such as carbon fiber/epoxy offer better stiffness-to-weight ratios but their cost is high and processing is difficult.

8.4.2 Montaža i pogon mehanizama

8.4.3 Održavanje i odlaganje mehanizama

8.4.4 Prednosti, nedostaci i greške mehanizama

8.5 Mehatronika

8.5.1 Osnove mehatronike

8.5.2 Senzori i aktuatori

8.5.3 Elektromotori

Norton2003/66-71,

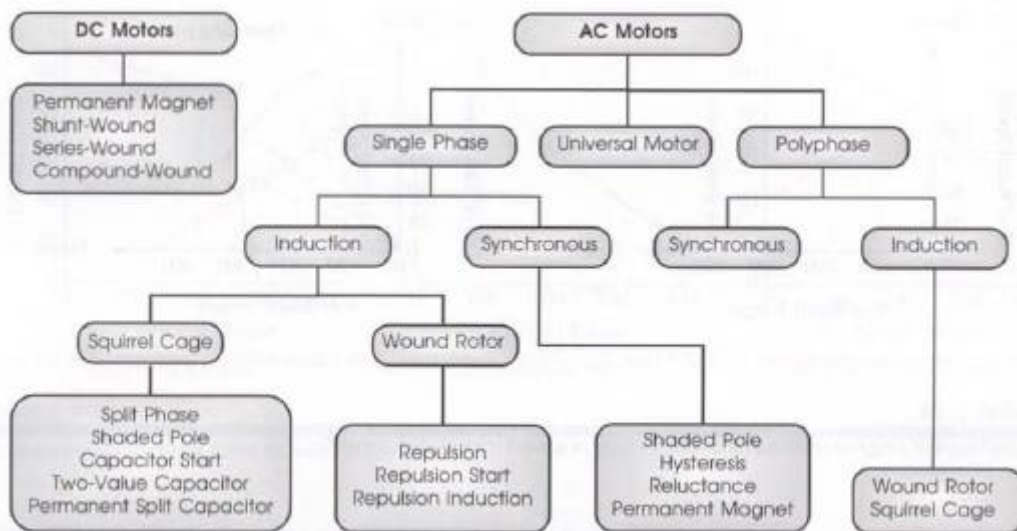


FIGURE 2-37
Types of electric motors. Source: Reference [14]

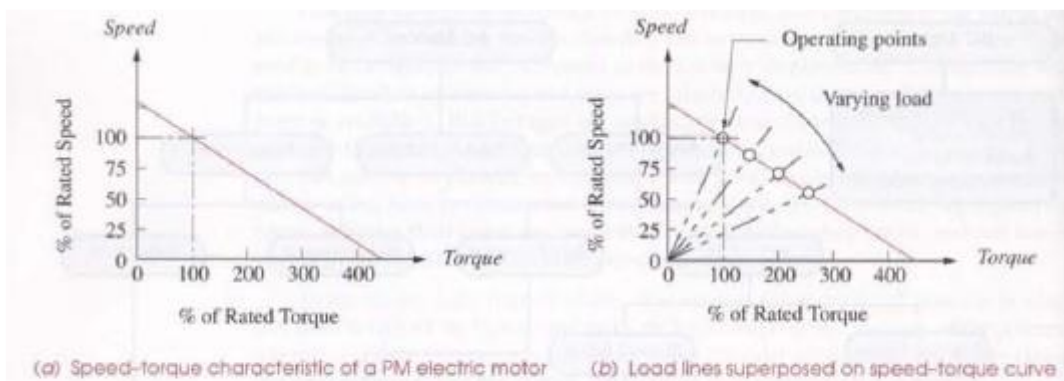


FIGURE 2-38
DC permanent magnet (PM) electric motor's typical speed-torque characteristic

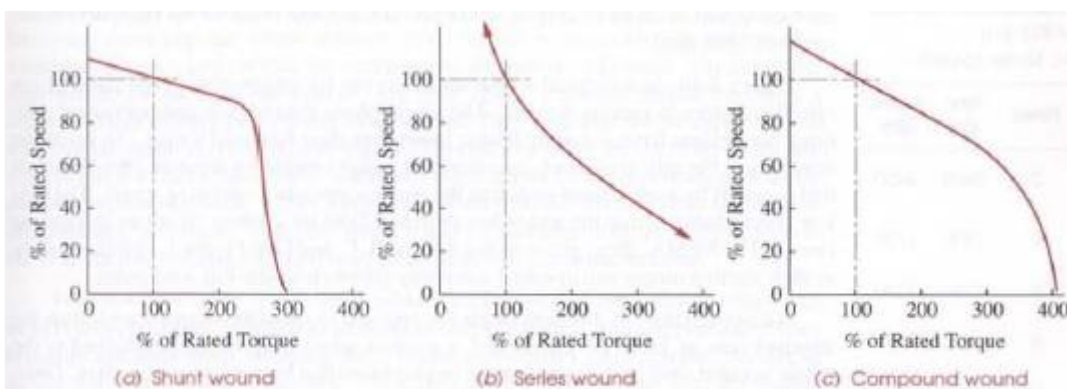
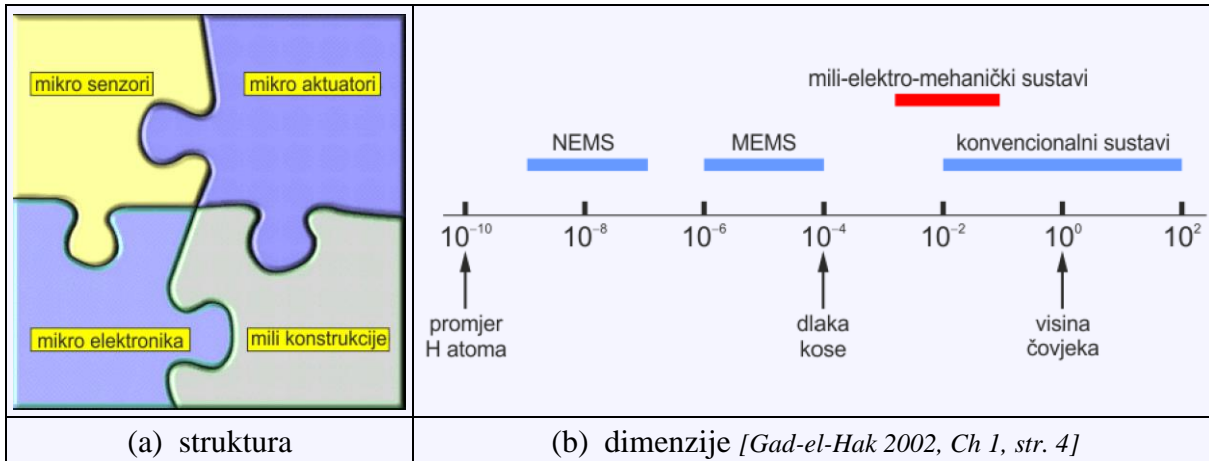


FIGURE 2-39
Torque-speed curves for three types of DC motor

8.5.4 Mili-elektro-mehanički sustavi

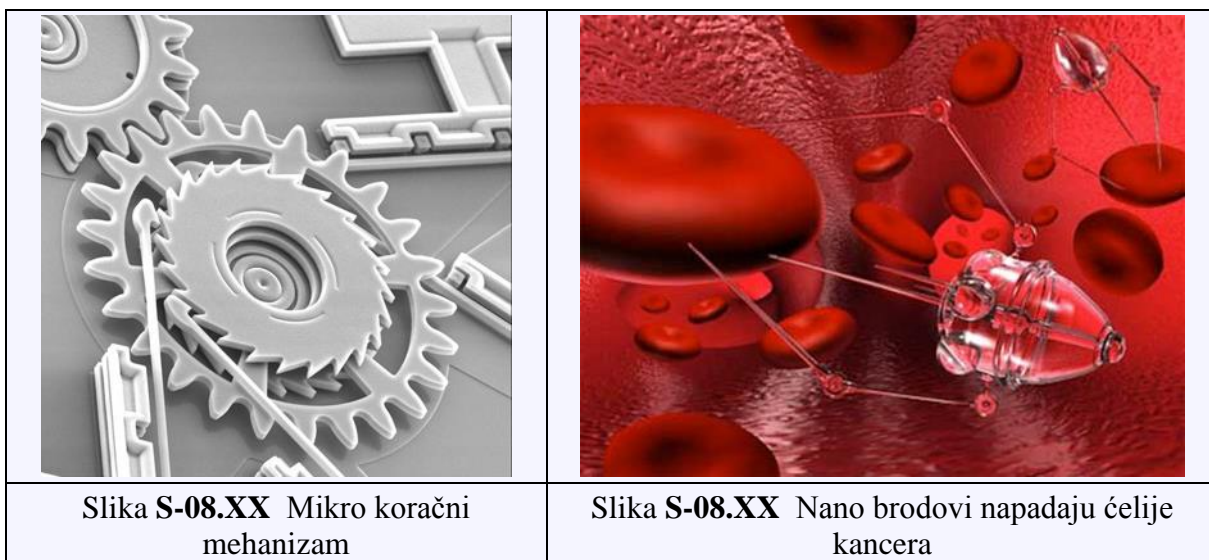
Pod mili elektro-mehaničkim sustavima (u okvirima predmeta *Elementi strojeva 2*), mems, može se podrazumijevati:

- **mili** – mali, dimenzije sustava su reda veličina 10 mm,
- **elektro** – obuhvaća električne komponente,
- **mehanički** – obuhvaća mehaničke komponente i
- **sustav** – komponente su integrirane u jedinstvenu cjelinu namijenjenu obavljanja postavljenog zadatka.



Slika S-08.XX Mili-elektro-mehanički sustava

Inače, u USA se pod MEMS (*Micro Electro Mechanical Systems – mikro-elektromehanički sustavi*) podrazumijevaju uređaji dimenzija reda veličina mikrometra, s jednim ili više senzora i aktuatora, u kojima centralno mjesto zauzima mikročip. U Europi se obično koristi termin mikro sistem (*e. – microsystem, d. – Mikrosystem*), u Japanu mikro stroj. Ako su dimenzije uređaja reda veličina nanometra koriste se termini NEMS (*Nano Electro Mechanical Systems – nano-elektromehanički sustavi*), nano sistemi, nano strojevi.



Danas se intenzivno istražuju primjene ili se već primjenjuju mems-i, MEMS-i, NEMS-i. U tom redosljedu (*od mems k NEMS*) opada obim primjene i raste obim istraživanja. Naime, s smanjivanjem dimenzija elemenata ovih sustava povećavaju se problemi i u teorijskim i u eksperimentalnim istraživanja. Na primjer, kod usvajanja elemenata nano brodova u izraču-

navanja su uključene međuatomske sile (*atomska fizika i kemija*) a kod pokusa s nano brodovima će uvijek biti prisutna opasnost gubljenja nano broda, u početnim fazama vrlo vjerojatno ekstremno skupog.

Tri su primjera ovih sustava:

- sustav za aktivaciju zračnih jastuka automobila pri sudaru (*najjednostavniji*),
- sustav za sprječavanje blokade kotača automobila pri kočenju,
- sustav za ciljano doziranje lijeka (*još uvijek između znanstvene fantastike i primjene*).

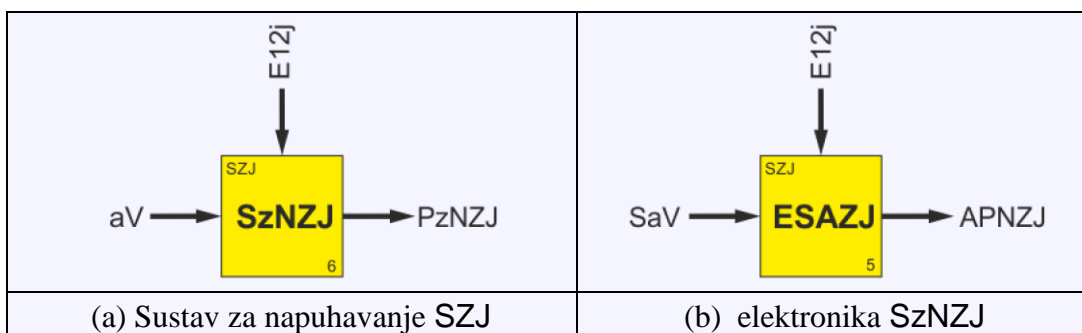
Sustav za aktivaciju zračnih jastuka automobila pri sudaru

Problem: sudar izaziva nagli prestanak gibanja vozila (*vrlo veliko usporenje*) dok se tijelo vozača (*putnika*) nastavlja gibati (*brzinom kojom se gibalo vozilo neposredno prije sudara*) te udara u čvrste dijelove vozila (*prije svega, volan i vjetrobransko staklo*).

Koncepcija rješenja: kada se prikladnim senzorom utvrdi usporenje (*negativno ubrzanje*) veće od kritičnog prikladnim se aktuatorom aktivira naglo napuhavanje zračnog jastuka.

Blok shema:

- (a) dijela (*nije obuhvaćen sam zračni jastuk*) sustava zračnog jastuka (SZJ) i
 (b) jednog od podsustava SZJ prikazana je:



Slika S-08.xx Sustav za aktivaciju zračnih jastuka automobila pri sudaru

U razradi rješenja SZJ slijedi kompletiranje i povezivanje svih blok shema, projektiranje sustava te konstruiranje elemenata SZJ.

Sustav za sprječavanje blokade kotača automobila pri kočenju

Problem: prestanak okretanja kotača, pod djelovanjem kočnice, rezultira: (a) poteškoćama u kontroli putanje vozila i (b) produžavanjem zaustavnog puta vozila.

Koncepcija rješenja:

1. kada senzor uoči senzorom prestanak okretanja kotača te prikladnim aktuatorom prekinuti kočenje
- 2.

Blok shema:

Slika S-08.xx Sustav za sprječavanje blokade kotača automobila pri kočenju

Sustav za ciljano doziranje lijeka

Problem:

Koncepcija rješenja:




Blok shema:

Slika S-08.xx Sustav za ciljano doziranje lijeka

1. Mehanizmi – definicija i vrste

Mehanizmi – mehanički sustavi (*sklopovi – naprave ili dijelovi strojeva*) namijenjeni prijenosi-
ma i/ili promjenama mehaničkih veličina (*prenose sile, okretne momente, gibanja ili mijenjaju vrste gi-
banja*). Za razliku od strojeva, kod mehanizama se prijenosi i promjene odvijaju uz male sile
(*okretne momente*) i snage potrebne prije svega za savladavanje trenja. Mehanizmi obuhvaćaju
najmanje tri elementa, od kojih je jedan spojni element.

Primjeri su primjene mehanizama:

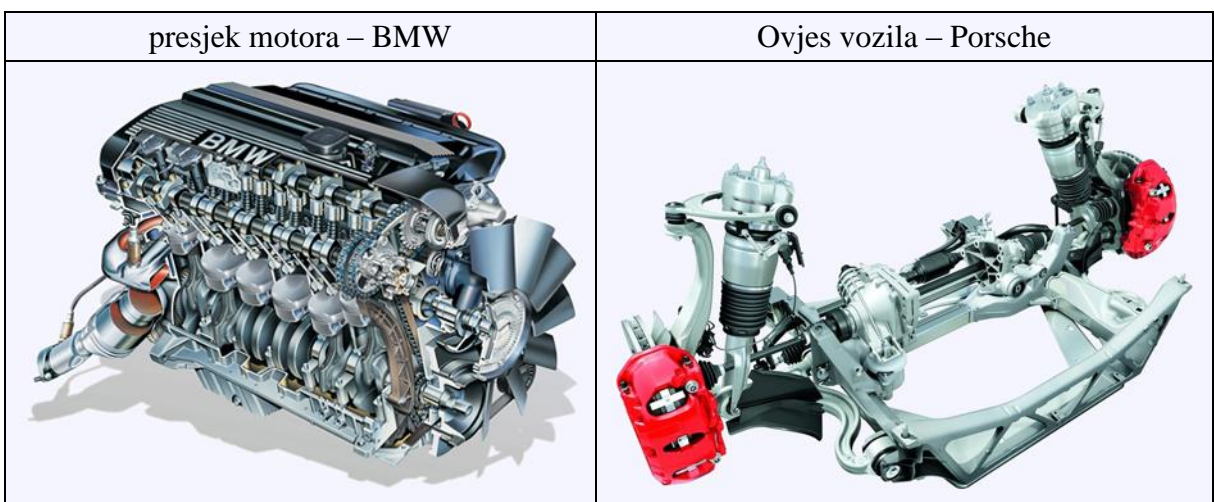
Sklopiva stolica	Suncobran	Ploča za tehničko crtanje
		
Stolna lampa	Analogni sat	Dio fotoaparata



Mehanizam brisača vjetrobranskog stakla autobusa



Različiti mehanizmi se široko primjenjuju u izvedbi motornih vozila – primjeri su: (a) klipni mehanizam motora SUI, (b) bregasto vratilo s klackalicama za otvaranje ventila motora SUI, i (c) dijelovi ovjesa automobila. Kod ovih su mehanizama prateće sile i snage značajno veće od potrebnih za savladavanje trenja.



Klipni mehanizam (*S-8.01*) namijenjen je pretvaranju pravocrtnog gibanja klipa motora s unutarnjim izgaranjem (*u cilindru*) u kružno gibanje koljenastog vratila. (*zamašnjak, spojka, mjenjač, diferencijal, kotači*).



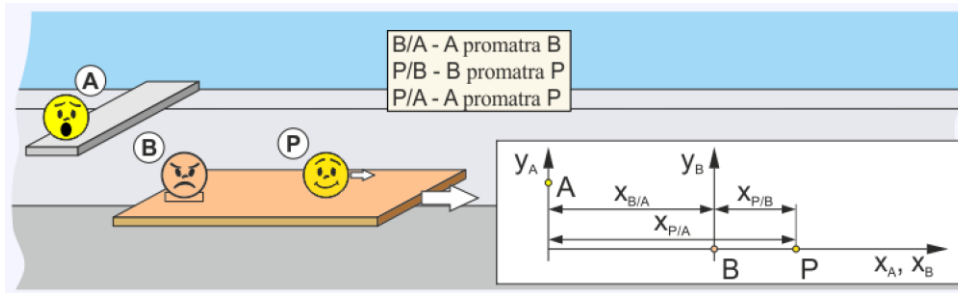
Slika 8.01 Klipni mehanizam

2. **Relativno gibanje**

Tijekom rada dijelovi mehanizama uzajamno se gibaju. Jedan od elementa mehanizma se usvaju kao temeljni i u odnosu na njega promatra gibanje ostalih elemenata. Prema tome, prije analize kinematike složenijih mehanizama (*mehanizam brisača vjetrobranskog stakla automobila*) dobro je podsjetiti se osnovnih postavki kinetike relativnih gibanja. Kod primjene postavki u analizi mehanizama zamišlja se da na pojedinim elementima mehanizama stoje promatrači.

Ako se dva promatrača uzajamno gibaju i analiziraju gibanje trećeg objekta dobiti će različite rezultate promatranja (*položaj, razmak/pomak, putanja/put, brzina pomaka / putna brzina, ubrzanje pomaka/ putno ubrzanje*).

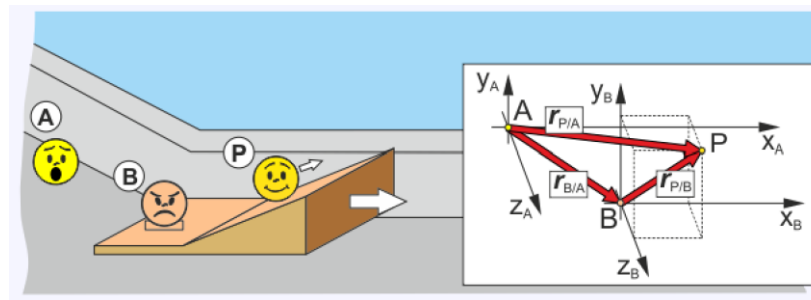
Svaki promatrač (*opremljen sa: štopericom i mjernom trakom za duljinu*) formira osobni **referentni sustav** promatranja, a dobivene veličine gibanja se nazivaju **relativnim veličinama**, na primjer : $x_{P/A}$ – relativna koordinata položaja objekta P u odnosu na promatrača A (*položaj objekta P kako ga vidi promatrač A*), $v_{P/B}$ – relativna brzina objekta P u odnosu na promatrača B (*S-8.02, S-8.03, S-8.04*).



Slika S-8.01 Relativno 2D gibanje – A, P, B i pravac gibanja u istoj ravnini

Vektori	Komponente
$\mathbf{x}_{P/A} = \mathbf{x}_{B/A} + \mathbf{x}_{P/B}$	$x_{P/A} = x_{B/A} + x_{P/B}$

$x_{P/A}$ (*S-08.01*) označava koordinatu objekta P u koordinatnom sustavu promatrača A. Ova se koordinata dobiva zbrajanjem: (a) koordinate objekta B u koordinatnom sustavu promatrača A, $x_{B/A}$, i koordinate objekta P u koordinatnom sustavu promatrača B, $x_{P/B}$.



Slika S-8.02 Relativno 3D gibanje – A, P, B i pravac gibanja nisu u istoj ravnini

Vektorskim se jednadžbama, vektorima položaja (r), brzina (v) i ubrzanja opisuje gibanje objekta P u sustavu promatrača A (S-8.02):

$$\mathbf{r}_{P/A} = \mathbf{r}_{B/A} + \mathbf{r}_{P/B} \quad \mathbf{v}_{P/A} = \mathbf{v}_{B/A} + \mathbf{v}_{P/B} \quad \mathbf{a}_{P/A} = \mathbf{a}_{B/A} + \mathbf{a}_{P/B}$$

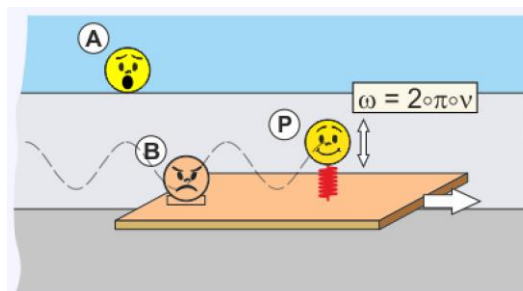
Ova su jednadžbe kratke, jasne i egzaktne, ali daleke od konkretnih rješenja. U rješavanju konkretnih problema provodi se rutinski postupak:

(d) razlažu se definirani vektori na komponente (npr. $\mathbf{r}_{B/A} \Rightarrow r_{B/A,x}, r_{B/A,y}$ i $r_{B/A,z}$),

(e) prikladnim algebarskim zbrajanjem komponenti određuju se komponente rezultante

(npr. $r_{P/A,x} = r_{B/A,x} + r_{P/B,x}$)

prikladnim izračunavanjem se na temelju komponenti određuje rezultanta (npr. $\mathbf{r}_{P/A}$).



Slika S-8.03 Relativno 3D gibanje – objekt P titra na podlozi

Na S-08.03 promatrač B vidi kako se objekt P na vrhu opruge giba gore-dole dok promatrač A vidi gibanje objekta B po sinusoidi (kosinusoidi). Vektorske su jednadžbe opisa gibanja:

$$\mathbf{r}_{P/A} = \mathbf{r}_{B/A} + \mathbf{r}_{P/B}$$

(f) ali, kao i u prethodnom slučaju, daleko su od konkretnih rješenja.

3. Spojevi elemenata mehanizama – definicija i vrste

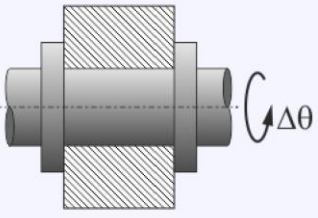
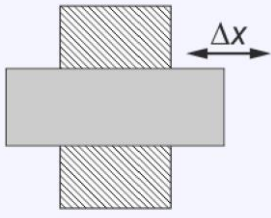
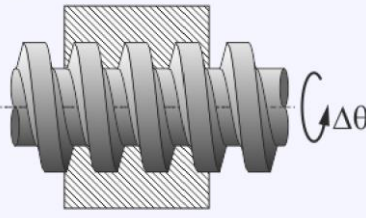
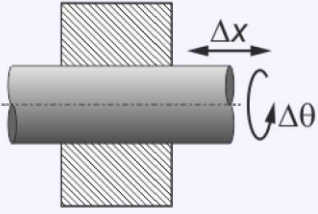
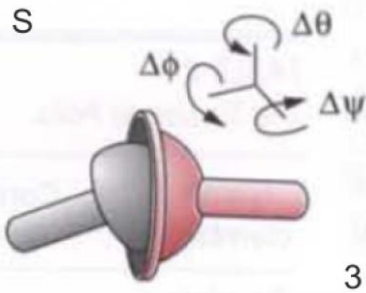
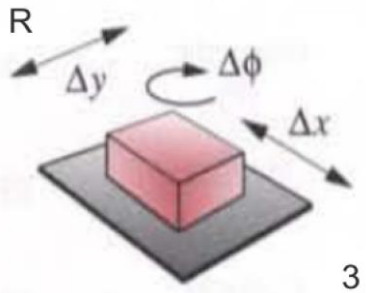
Pokretljivost mehaničkog sustava se opisuje **brojem stupanja slobode** (BSS) koji je jednak minimalnom broju neovisnih veličina dovoljnih za opisivanje položaja u prostoru referentnog sustava promatranja.

Ovisno o geometriji, spojevi mogu biti [Norton 2003, str. 27]:


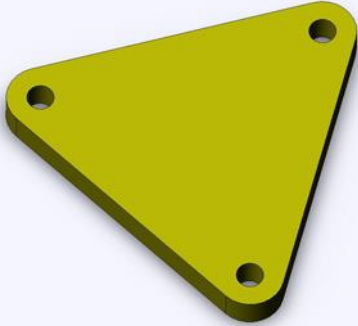
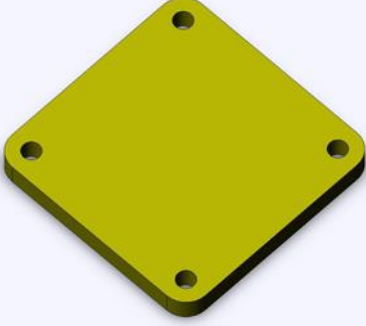
SPOJEVI ELEMENATA						
	obrtni	prizmastični	zavojni	cilindrični	sferni	planarni
oznaka	O	P	Z	C	S	R
BSS	1	1	1	2	3	3

Osnovni spojevi elemenata mehanizama prikazani su u **T-08.01** gdje su date njihove skice, oznake i brojevi stupanja slobode. Treba uočiti da cilindrični spoj elemenata (C) ima dva stupnja slobode gibanja dok samo jedan stupanj slobode gibanja imaju obrtni spoj elemenata (O) – može se samo obrtati, i zavojni spoj elemenata (Z) imaju – obrtanje određuje i aksijalno pomicanje (*jedan obrt ⇒ jedan korak navoja*).

Tablica **T-08.01** Osnovni spojevi elemenata mehanizama

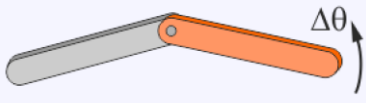
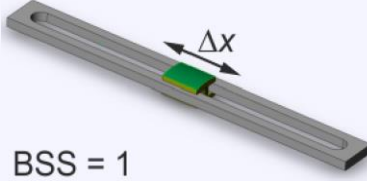
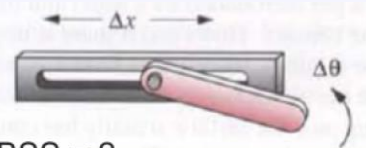
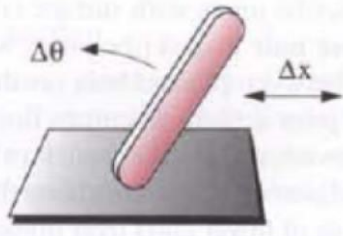
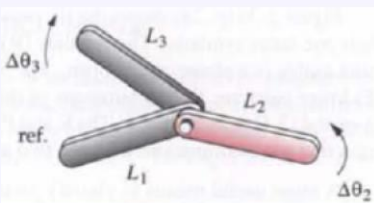
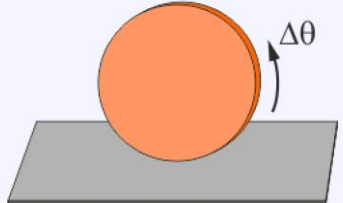
obrtni	prizmastični	zavojni
O  1	P  1	Z  1
cilindrični	sferni	zavojni
C  2	S  3	R  3

Prema broju spojeva mogu se razlikovati spojni elementi [Norton 2003, str. 26]:

dvospojni (<i>minimum</i>)	trospojni	četvorospojni	...
			...

4. **Spojni elementi mehanizama – definicija i vrste**

Na sljedećim primjerima često sretanih spojenih elemenata mehanizma u ravni temeljni je element, koji je u stanju relativnog mirovanja (*ne giba se u odnosu na referentni sustav*) označen sivom bojom [Norton 2003, str. 28].

<p>dva elementa i O spoj</p>  <p>BSS = 1</p>	<p>dva elementa i P spoj</p>  <p>BSS = 1</p>	<p>dva elementa</p>  <p>BSS = 2</p>
<p>cilindrični</p>  <p>BSS = 2</p>	<p>sferni</p>  <p>BSS = 2</p>	<p>planarni</p>  <p>BSS = 1 (ili 2)</p>

Kinematički lanac – sklop elemenata i spojeva povezanih u cilju postizanja zahtijevanog izlaznog gibanje kao rezultata određenog ulaznog gibanja.

Mehanizam – kinematički lanac s minimalno jednim temeljnim elementom, nepokretnim u odnosu na referentni sustav promatranja (*koji se može gibati zajedno s referentnim sustavom*).

5. **Broj stupanja slobode**

Broj stupanja slobode mehanizama u ravni jednak je [Norton 2003, str. 31]:

$$BSS = 3 \cdot (L - 1) - 2 \cdot J_1 - J_2$$

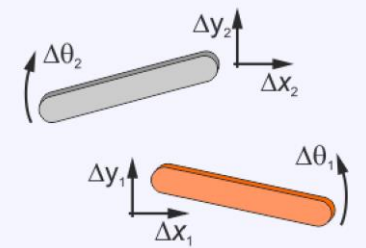
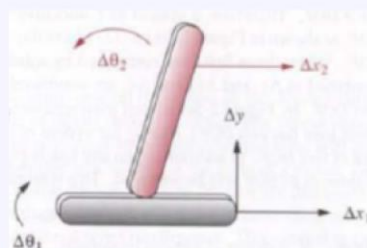
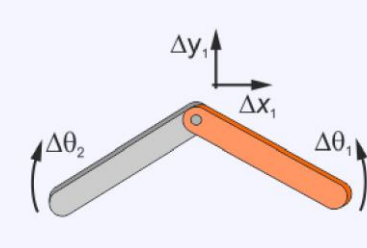
F-08-01

gdje je: L – broj elemenata ,

J_1 – broj spojeva sa $BSS = 1$,

J_2 – broj spojeva sa $BSS = 2$.

Prema tome, povezivanjem se smanjuje broj stupanja slobode [Norton 2003, str. 32].

 <p>BSS = 3 · (2 - 1) - 2 · 0 - 0 = 6</p>	 <p>BSS = 3 · (2 - 1) - 2 · 0 - 1 = 5</p>	 <p>BSS = 3 · (2 - 1) - 2 · 1 - 0 = 4</p>
--	---	--

6. Zglobni mehanizmi – definicija i vrste

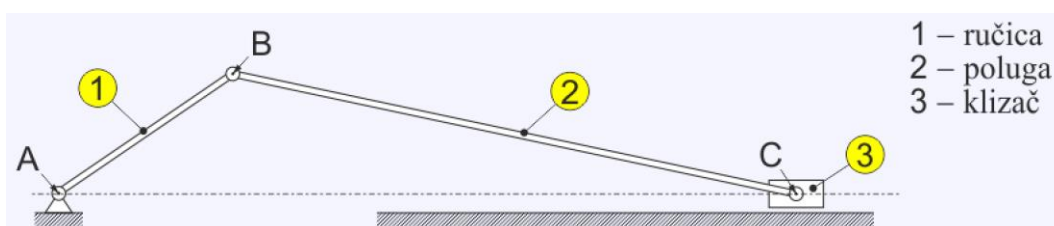
Primjeri su tri jednostavna zglobna mehanizma:

4. mehanizam ručica klizač (klipni mehanizam),
5. mehanizam za brzi povratni hod,
6. mehanizam s četiri poluge.

7. Mehanizam ručica klizač

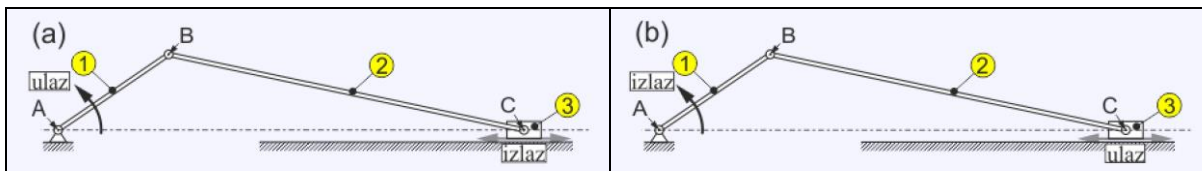
Broj je stupanja slobode (*F-08-01*) mehanizma ručica-klizač, prikazanog na **S-08.05** [Brown 2005, str. 429]:

$$BSS = 3 \cdot (L - 1) - 2 \cdot J_1 - J_2 = 3 \cdot (2 - 1) - 2 \cdot 1 - 0 = 1$$



Slika S-08.05 Mehanizam ručica-klizač

Zbog mogućnosti različitih prilagodbi, mehanizam ručica-klizač je jedan od najčešće korištenih mehanizama. Naime, moguće su dvije osnovne varijante – **S-08.06**:



Slika S-08.06 Dvije varijante mehanizma ručica-klizač

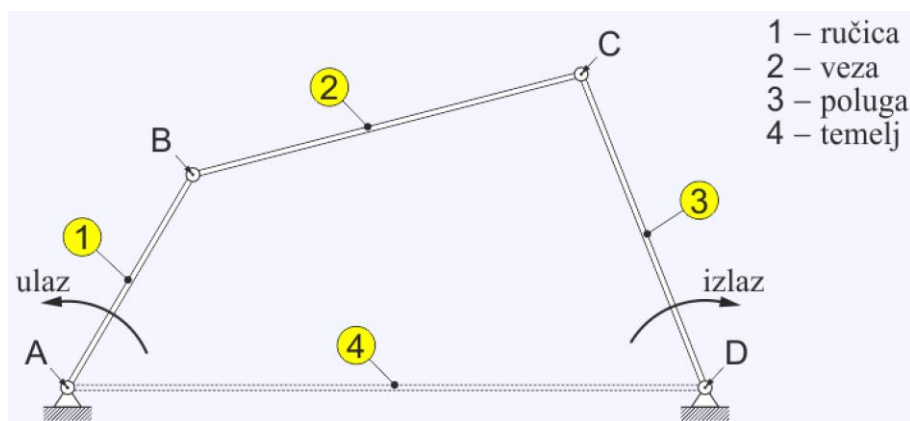
Kod varijante (a) (*S-08.06*), koja se koristi u konstrukciji kompresora, ručica 1 (*koljenasto vratilo*) je pogonski dio (*ulaz*), a klizač 3 gonjeni dio (*izlaz*). Obrnuto, kod varijante (b), koja se koristi kod motora s unutarnjim izgaranjem, ručica 1 (*koljenasto vratilo*) je gonjeni dio (*izlaz*), a klizač 3 pogonski dio (*ulaz*).

Pored toga, točka C, koja je na **S-08.05** (te *S-08.06 – (a) i (b)*) na istoj visini s točkom A, može biti po potrebi iznad ili ispod točke A. Mehanizam ručica-klizač pored horizontalne orijentacije može biti orijentirana pod bilo kojim kutom u odnosu na horizontalu.

8. Mehanizam četiri poluge

Broj je stupanja slobode (*F-08-01*) mehanizma s četiri poluge, prikazanog na **S-08.06** [Brown 2005, str. 428]:

$$BSS = 3 \cdot (L - 1) - 2 \cdot J_1 - J_2 = 3 \cdot (4 - 1) - 2 \cdot 4 - 0 = 1$$



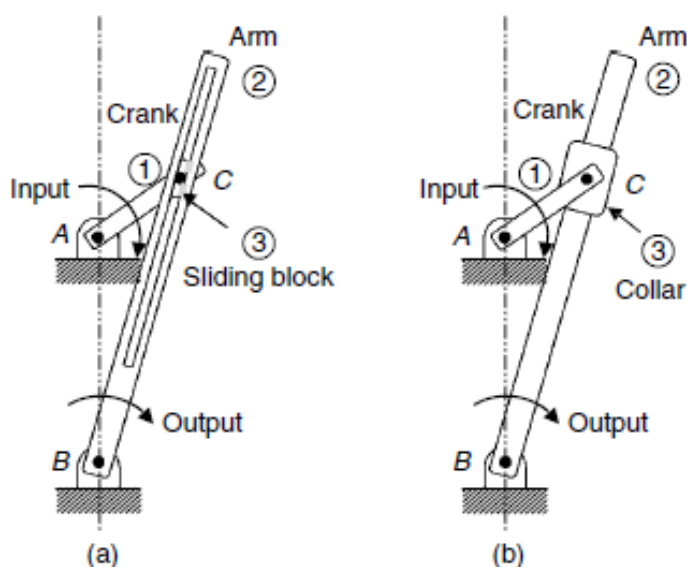
Slika S-08.07 Mehanizam s četiri poluge

Ovisno o duljinama elemenata (S-08.07 – 1, 2, 3, 4) mogu se postići različiti odnosi dinamika gibanja ručice 1 i poluge 3. Zbog mogućnosti postizanja preciznih odnosa dinamika gibanja ručice i poluge, ovaj se mehanizam široko koristi u vojnim i industrijskim kompjutorski podržanim sustavima, te kod motornih vozila.

9. Mehanizam za brzi povratni hod

Broj je stupanja slobode (F-08-01) mehanizma za brzi povratni hod, prikazanog na S-08.06 [Brown 2005, str. 429]:

$$BSS = 3 \cdot (L - 1) - 2 \cdot J_1 - J_2 = 3 \cdot (3 - 1) - 2 \cdot 2 - 1 = 1$$



Slika S-08.08 Mehanizam za brzi povratni hod

Na S-08.06 su prikazane dvije varijante mehanizma za brzi povratni hod – (a) i (b). U obje varijante se kod klizača koristi kombinacija cilindričnog i prizmatičnog spoja. Kod varijante (a) klizač giba u kanalu ruke 2 a kod varijante (b) se giba duž ruke punog profila.

Ručica mehanizma za brzi povratni hod vrti se konstantnom brzinom, ali je prikladnom geometrijom mehanizma postignuto sporije gibanje ruke u radnom hodu kada se u odnosu na

točku A (S-08.08) klizač 3 i točka B nalaze na suprotnim stranama. Kada se klizač nalazi između točaka A i B gibanje ruke je brže – povratni hod. Ovaj se mehanizam često koristi kod automatiziranih alatnih strojeva kada se tijekom radnog hoda komad obrađuje odvajanjem strugotine dok se povratnim hodom alat vraća u početni položaj.

10. **Bregasti mehanizam – definicija i vrste**

Bregasti mehanizmi obuhvaćaju dva osnovna elementa:

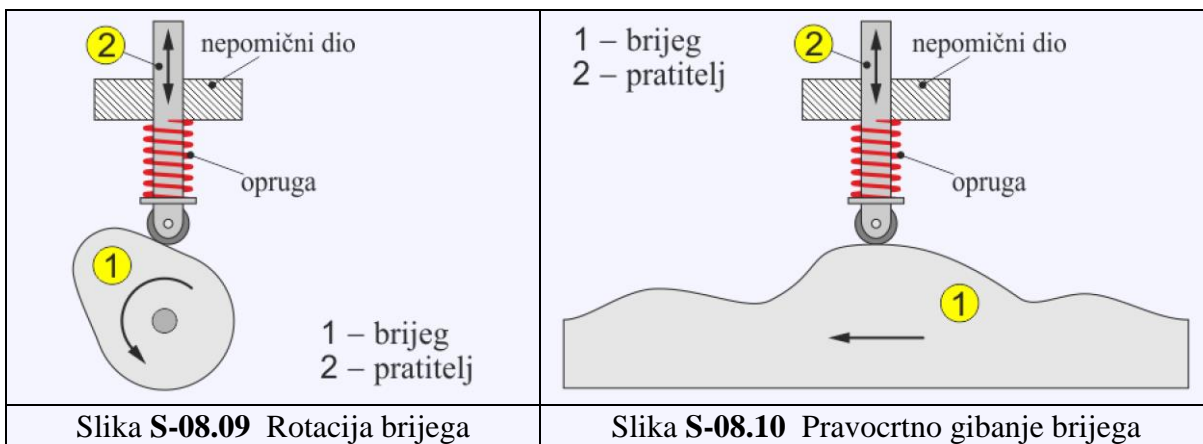


Brijeg rotira (S-08.09), npr. kod motora s unutarnjim izgaranjem, ili se pak giba pravocrtno (S-08.10), npr. kod kopirnog tokarenja, dok pratitelj najčešće oscilira uslijed izmjeničnih pritiska brijega/opruga [Dorf 2005, Gl. 20 – str 5].

Broj je stupanja slobode bregastog mehanizma:

$$BSS = 3 \cdot (L - 1) - 2 \cdot J_1 - J_2 = 3 \cdot (2 - 1) - 2 \cdot 1 - 0 = 1$$

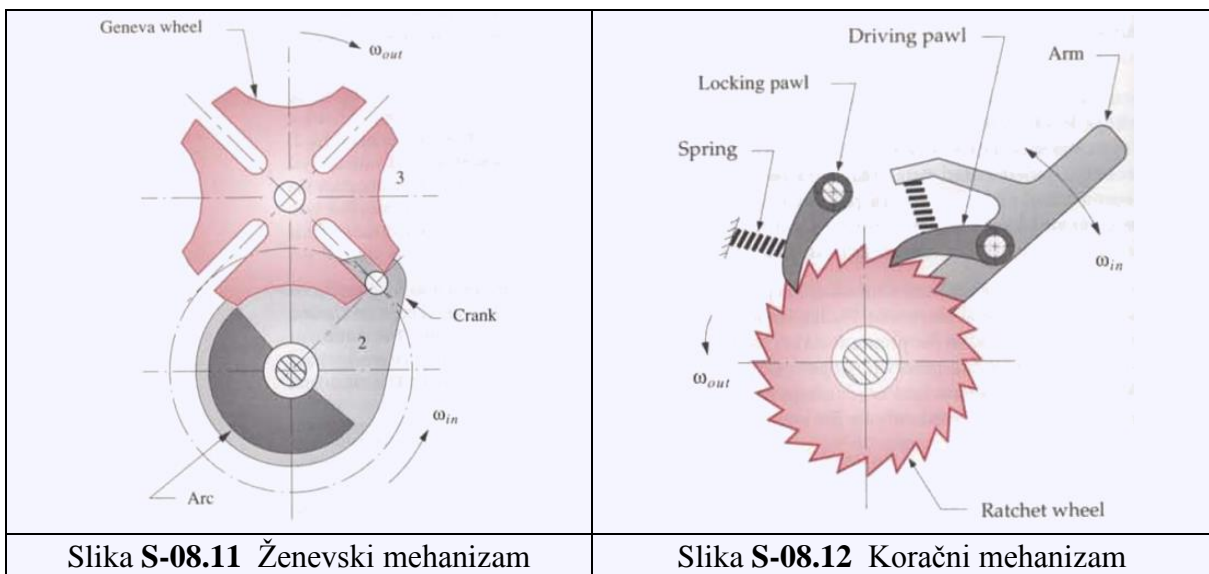
Bregasti mehanizam je jednostavan, kompaktan i robusan te se često se koristi u rješavanju specifičnih konstrukcija.



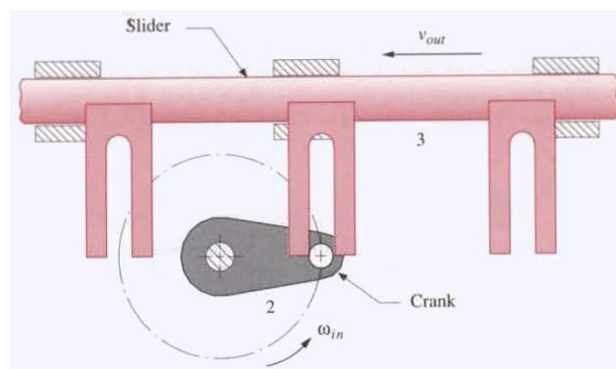
11. **Ženevski mehanizam**

Pored zglobnih i bregastih mehanizama koristi se veći broj različitih manje ili više složenih mehanizama, na primjer [Norton 2003, str. 46]:

4. ženevski mehanizam (S-08.11),
5. koračni mehanizam (S-08.12),
6. linearni koračni mehanizam (S-08.13).



12. Koračni mehanizam



13. Materijali mehanizama

Dug vijek trajanja spojeva elemenata osigurava se izborom prikladnog materijala i dovoljno kvalitetnim podmazivanjem.

Pri usvajanju elemenata mehanizama mora se izabrati optimalni (*maksimalno mogući*) omjer čvrstoća/gustoća materijala. Što je materijal manje gustoće to će biti manja masa elementa te time i manje dinamičke (*inercijalne*) sile koje se javljaju pri radnim ubrzanjima/usporenjima.

Svojstva i karakteristike materijala koji se koriste u izradi mehanizama su date u TD-08.01, TD-08.02, TD-08.03, TD-08.04 i TD-08.05.

Na primjer, klipni mehanizmi su izloženi djelovanjima velikih dinamičkih sila izazvanih: (a) eksplozivnim opterećivanjem/rasterećenjem (*npr. detonantno izgaranje u benzinskim motorima*) i (b) tromašću pokretnih dijelova. U uvjetima neizbježnih velikih ubrzanja s jedne strane treba usvojiti što je moguće manje mase pokretnih dijelova dok s druge strane dimenzije elemenata moraju biti dovoljno velike kako bi oni mogli podnijeti aktualna opterećenja. Prema tome, usvajaju se materijali s velikim omjerom čvrstoća/gustoća. Za izradu elemenata klipnog mehanizma se usvaja [Norton 2003, str. 677]:

- (h) klip – ljevačka ili kovačka legura aluminija,
- (i) ojnica – nodularni lijev ili kovački čelik, legura aluminij za mali motor SUI (*npr. kosilica, motorna lančana pila, motorcikli*) te titan za visoko zahtijevni motor s unutarnjim izgaranjem (*npr. Acura NSX, Corvette, Porsche GT3*),
- (j) koljenasto vratilo – kovački čelik ili nodularni lijev,
- (k) svornjak klipa – toplinski obrađeni čelik,
- (l) ležaj radilice – neželjezna legura babit (*kositar, bakar, antimon*),
- (m) klipni prsteni – kromirani čelik,
- (n) blok motora – ljevačko željezo ili ljevački aluminij.



Slika S-08.14 Ojnica od titana

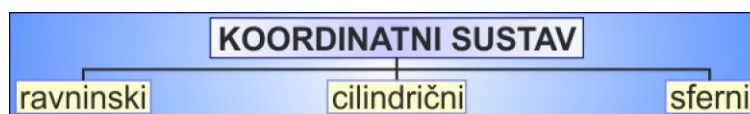
Kako bi se postigla dovoljna čvrstoća i tvrdoća, za izradu brjegova bregastih mehanizama se usvaja ugljični čelik ili nodularni lijev te prikladna toplinska obrada. Treba imati u vidu da ovi materijali, ovisno o sastavu, mogu biti teški do vrlo teški za obradu odvajanjem strugotine (*npr. glodanje*). Za morske uvjete, manja opterećenja i manje brzine za izradu brjegova se usvaja bronca, a za brjegove programatora strojeva za pranje rublja usvaja se prikladna plastika.

14. Usvajanje mehanizama i koordinatni sustavi

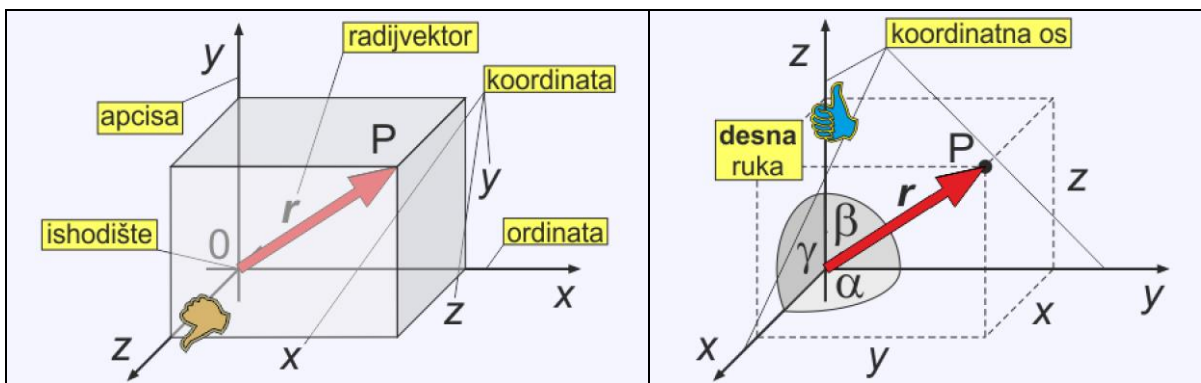
Pri usvajanju mehanizama, na temelju zahtijeva treba odrediti:

- 4. geometriju – karakteristične dimenzije,
- 5. kinematiku – putanje, brzine i ubrzanja,
- 6. dimenzije elemenata – sile i inercijalne sile (*iterativni postupak dimenzioniranja elemenata mehanizma*),

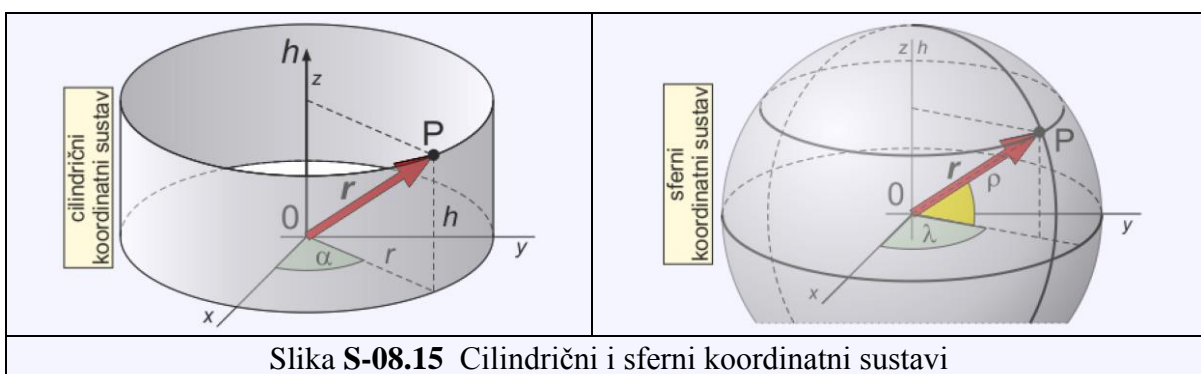
Razlikuju se:



Najčešće se odabira ravninski pravokutni koordinatni sustav: $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$. Kosokutni ravninski koordinatni sustav: α i/ili β i/ili $\gamma = 90^\circ$. Raspored osi može biti po pravilu desne ruke i po pravilu lijeve ruke (*rijetko se koristi*).



Slika S-08.14 Ravninski pravokutni koordinatni sustav



Slika S-08.15 Cilindrični i sferni koordinatni sustavi

Koordinate cilindričnog i ravninskog pravokutnog koordinatnog sustava povezane su jednadžbama:

$$x = r \cdot \cos \alpha \quad y = r \cdot \sin \alpha \quad z = h \quad \mathbf{F-08-02}$$

Koordinate sfernog i ravninskog pravokutnog koordinatnog sustava povezane su jednadžbama:

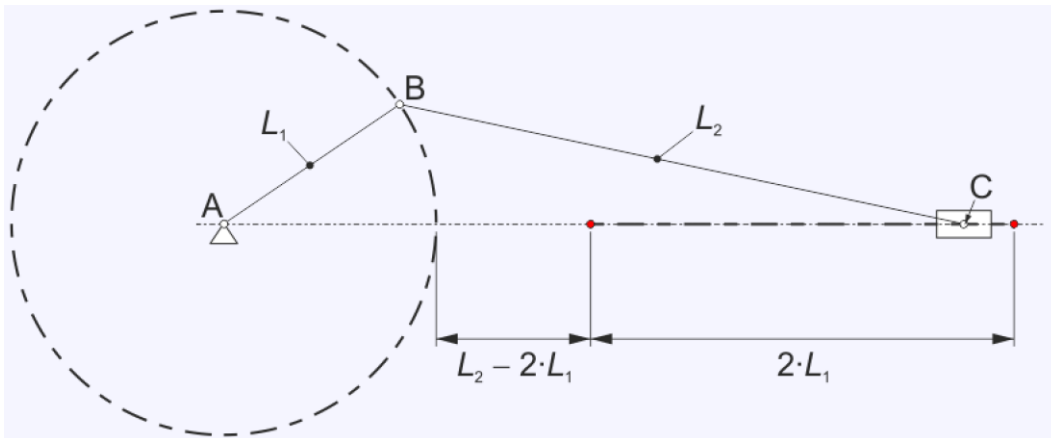
$$x = \rho \cdot \cos \varphi \cdot \cos \lambda \quad y = \rho \cdot \cos \varphi \cdot \sin \lambda \quad z = \rho \cdot \sin \varphi \quad \mathbf{F-08-03}$$

Ovo nisu opće važeće formule za preračunavanje – ako se osi i/ili kutovi postave/označe na drugi način slijede i druge formule.

15. Usvajanje klipnog mehanizma – geometrija i kinematika

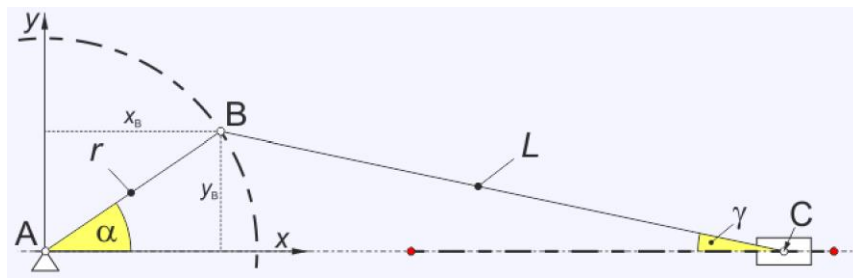
Na temelju postavljenih zahtijeva određuju se duljine:

- (c) kraka ručice L_1 (S-08.15) i
- (d) poluge L_2 .



Slika S-08.16 Geometrija klipnog mehanizma

Za analizu apsolutnih položaja točaka A, B i C pogodno je odabrati ravninski referentni koordinatni sustav s ishodištem u točki A, dok je u analizi relativnih položaja pogodno odabrati: (a) točke A i B – cilindrični koordinatni sustav s ishodištem u točki A te (b) točke A i C – ravninski koordinatni sustav s ishodištem u točki A.



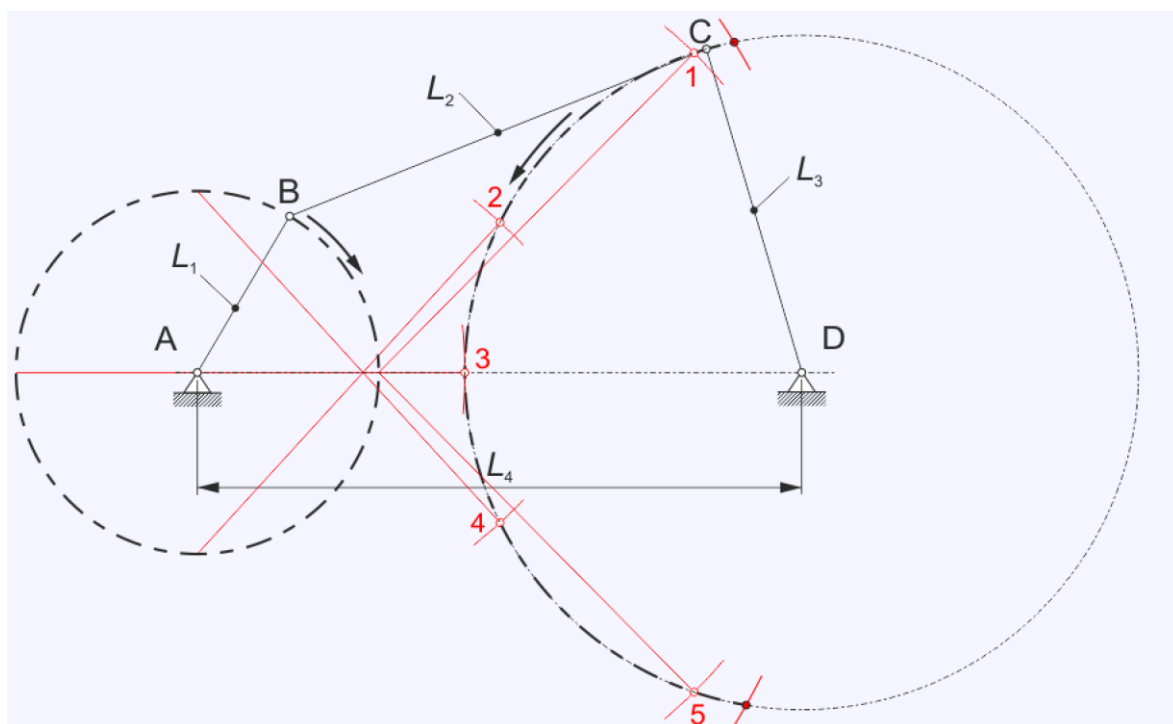
$$x_B = r \cdot \cos \alpha \quad y_B = r \cdot \sin \alpha \quad z_C = 0 \quad (F-08-02)$$

$$x_C = x_B + L \cdot \cos \gamma \quad \gamma = \arctan\left(\frac{r \cdot \sin \alpha}{L}\right) \quad y_C = 0 \quad z_C = 0$$

16. Usvajanje mehanizma s četiri poluge – geometrija i kinematika

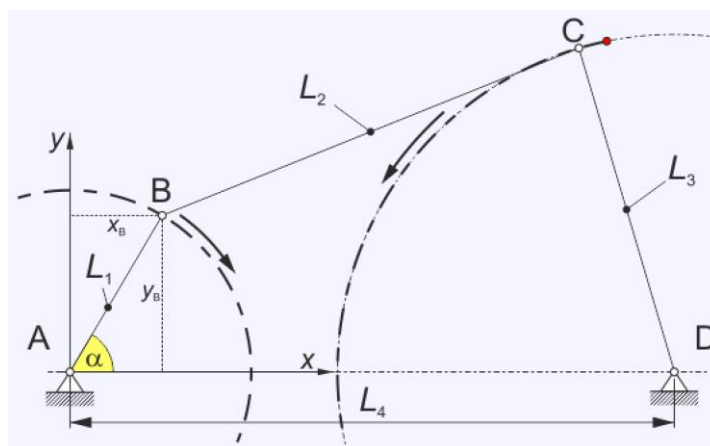
Na temelju postavljenih zahtijeva određuju se duljine:

- (e) kraka poluge L_1 (S-08.16) i
- (f) poluge L_2 ,
- (g) poluge L_3 i
- (h) poluge L_4 ,



Slika S-08.16 Geometrija mehanizma s četiri poluge

Za analizu apsolutnih položaja točaka A, B, C i D pogodno je odabrati ravninski referentni koordinatni sustav s ishodištem u točki A, dok je u analizi relativnih položaja pogodno odabrati: (a) točke A i B – cilindrični koordinatni sustav s ishodištem u točki A te (b) točke C i D – cilindrični koordinatni sustav s ishodištem u točki D.

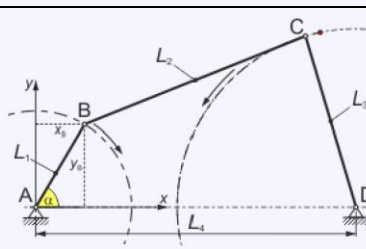
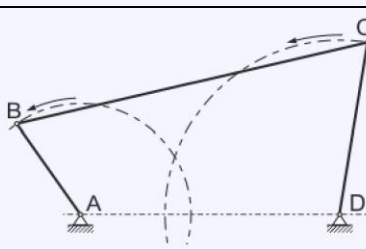


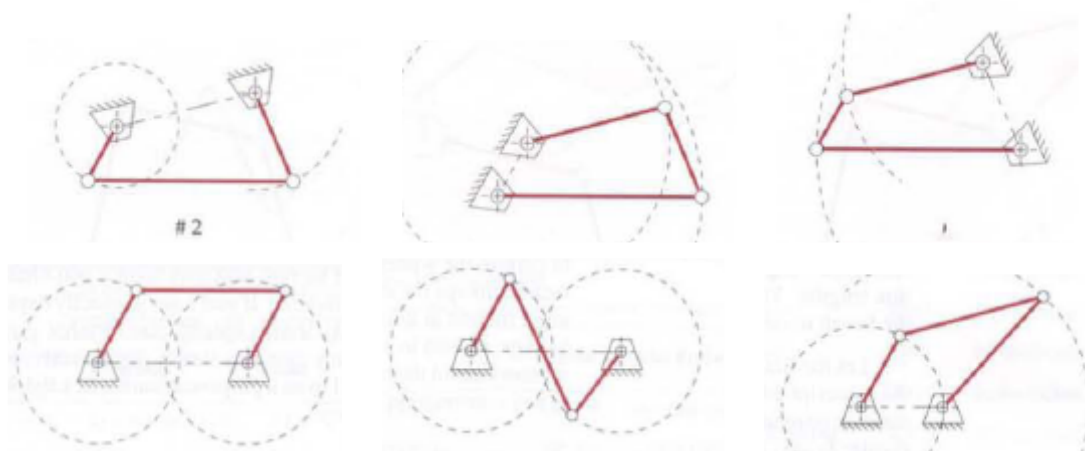
Gibanja elemenata mehanizama s četiri poluge ovisi o geometriji – duljinama poluga i položajima obrtnih spojeva u točkama A i D [Norton 2003, str. 49÷51].

We will now define a **crank** as a link that makes a complete revolution and is pivoted to ground, a **rocker** as a link that has oscillatory (back and forth) rotation and is pivoted to ground, and a **coupler** (or connecting rod) as a link that has complex motion and is not pivoted to ground. **Ground** is defined as any link or links that are fixed (nonmoving) with respect to the reference frame. Note that the reference frame may in fact itself be in motion.

[Norton 2003, str. 49÷51]

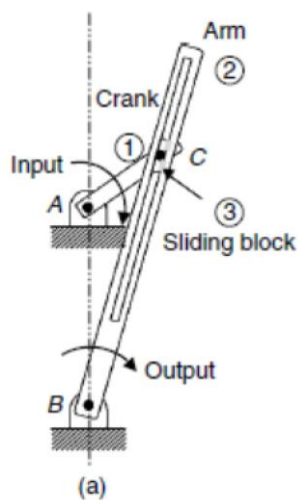
42 Elementi strojeva 2

		dva elementa
cilindrični	sferni	planarni



17. Usvajanje mehanizma za brzi povratni hod – geometrija i kinematika

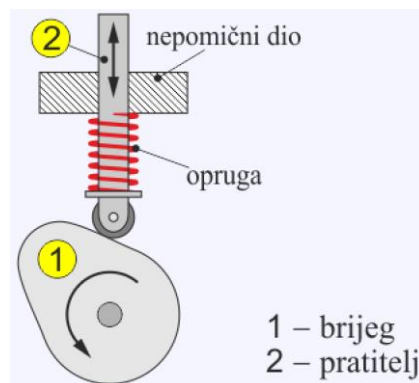
Na temelju postavljenih zahtijeva određuju se duljina kraka ručice L (S-08.15) i razmak L_1 položaja točaka: B –granični desni i C – granični lijevi.



Slika S-08.17 Geometrija mehanizma za brzi povratni hod

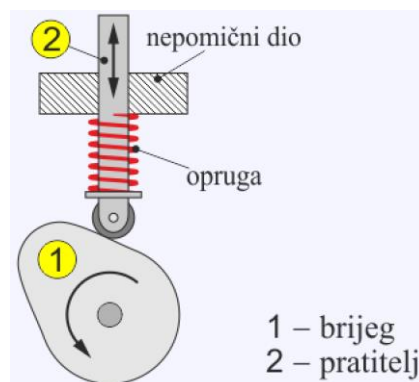
18. Usvajanje bregastog mehanizma – geometrija i kinematika

Na temelju postavljenih zahtjeva određuju se duljina kraka ručice L (S-08.15) i razmak L_1 položaja točaka: B –granični desni i C – granični lijevi.

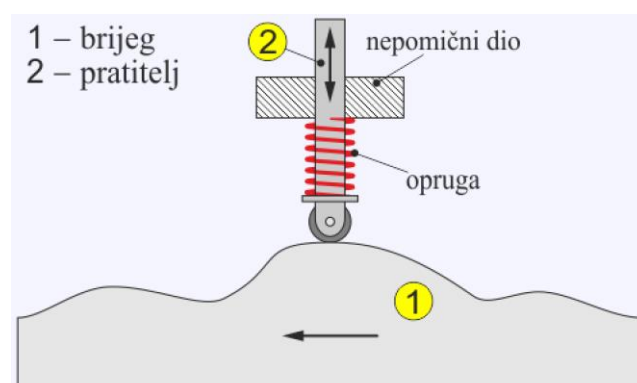


Slika S-08.18 Geometrija bregastog mehanizma s rotirajućim brijegom

Na temelju postavljenih zahtjeva određuju se duljina kraka ručice L (S-08.15) i razmak L_1 položaja točaka: B –granični desni i C – granični lijevi.



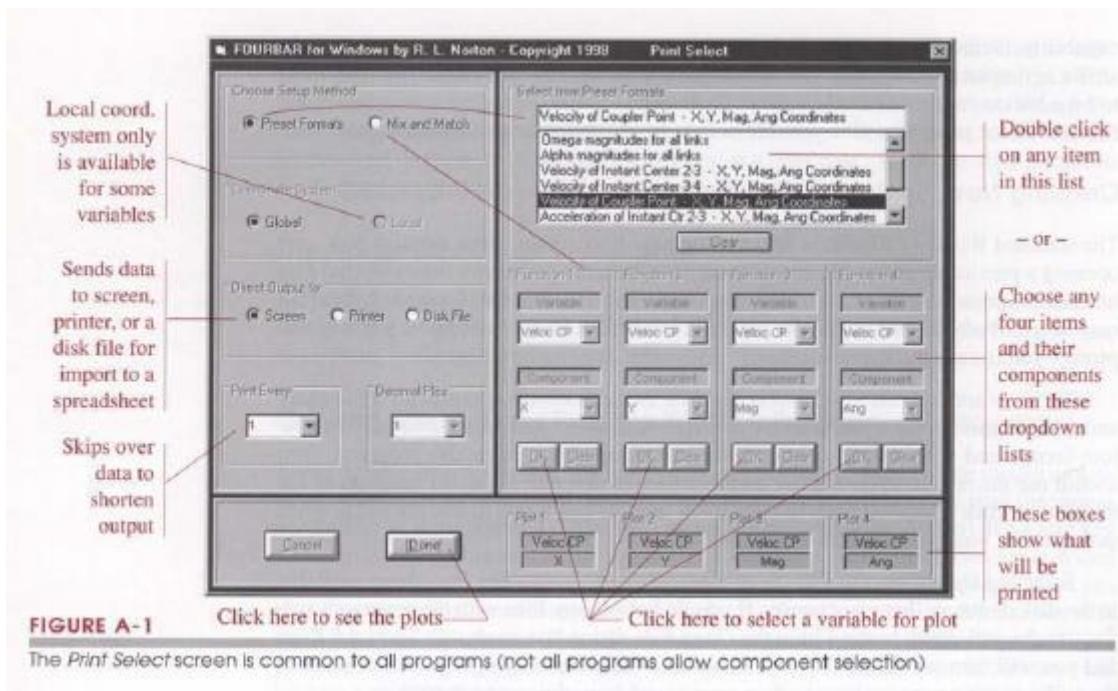
Slika S-08.18 Geometrija bregastog mehanizma s pravocrtnim gibanjem brijega



19. Dimenzioniranje elemenata mehanizama

20. Računalna podrška usvajanju mehanizama

44 Elementi strojeva 2



[Norton2003/377÷384](#), [Avallone2006/638÷640](#), [Dorf2005/Ch20-5÷9\(glosar\)](#), [Grote2007/564÷566](#), [Mabie1987/42÷43](#),

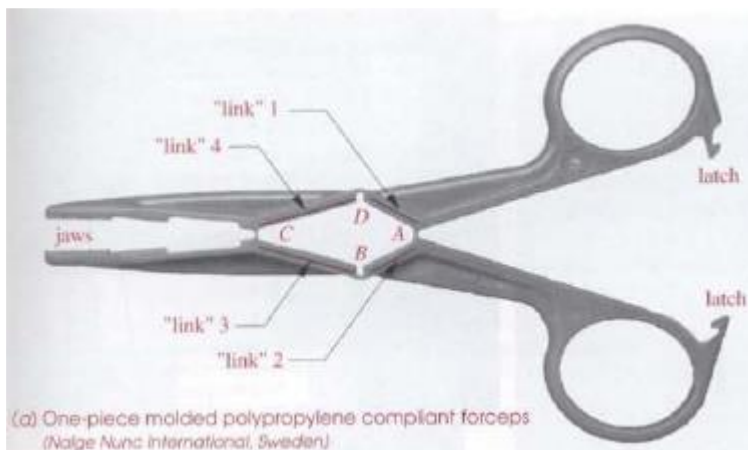
[Brown2005/429÷442](#), [Grote2007/566÷572](#), [Margithu2001/201÷241](#), [Margithu2009/23÷278](#), [Mabie1987/17÷70,130÷315,323÷325](#), [McCarthy 2010](#), [Norton1999/93÷448,507÷910\(duplo Ch: 12, 13, 14 \)](#), [Norton2003/3÷461,525÷768,816÷837,838÷840](#), [Sacks2010/81÷120](#), [Shigley1980](#),

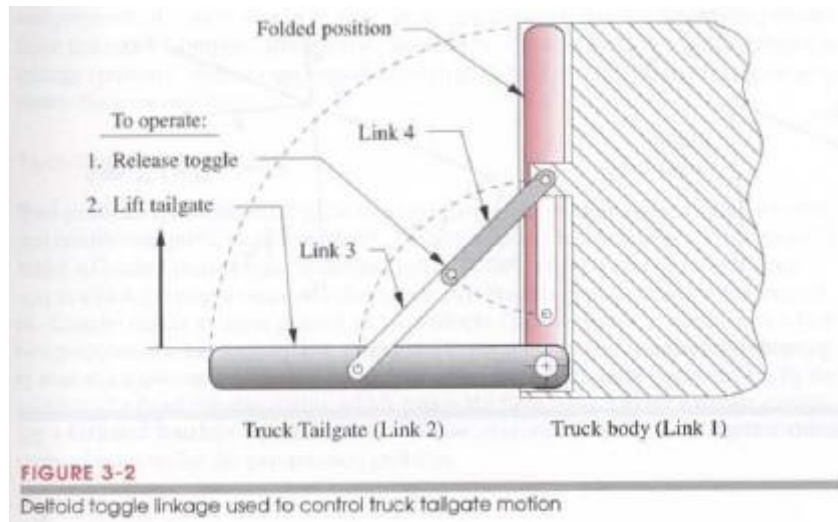
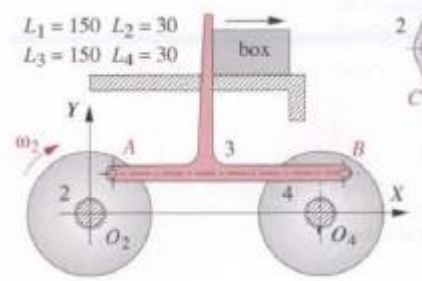
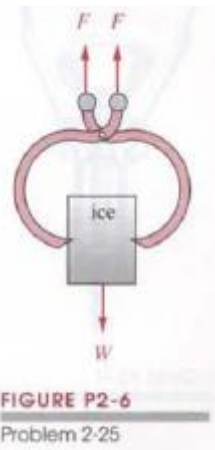
8.2.1 *Geometrija mehanizama* – [Avallone2006/637÷643](#),

8.2.2 *Kinematika mehanizama* – [Avallone2006/643](#),

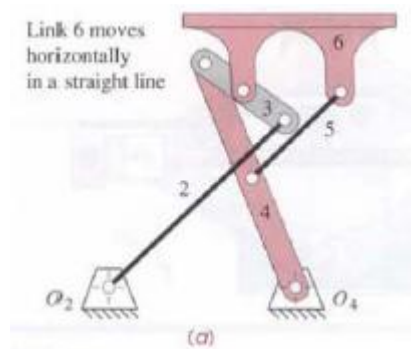
8.2.3 *Dinamika mehanizama* – [Avallone2006/644](#),

21. **Primjeri jednostavnih mehanizama**

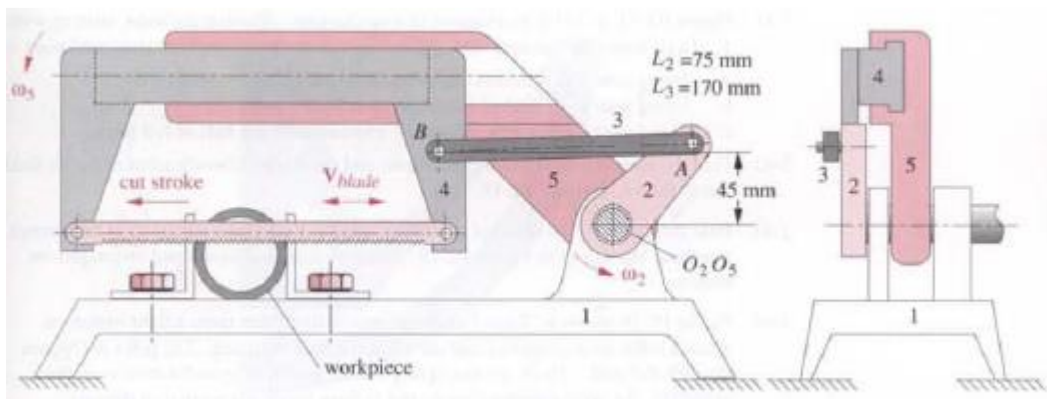




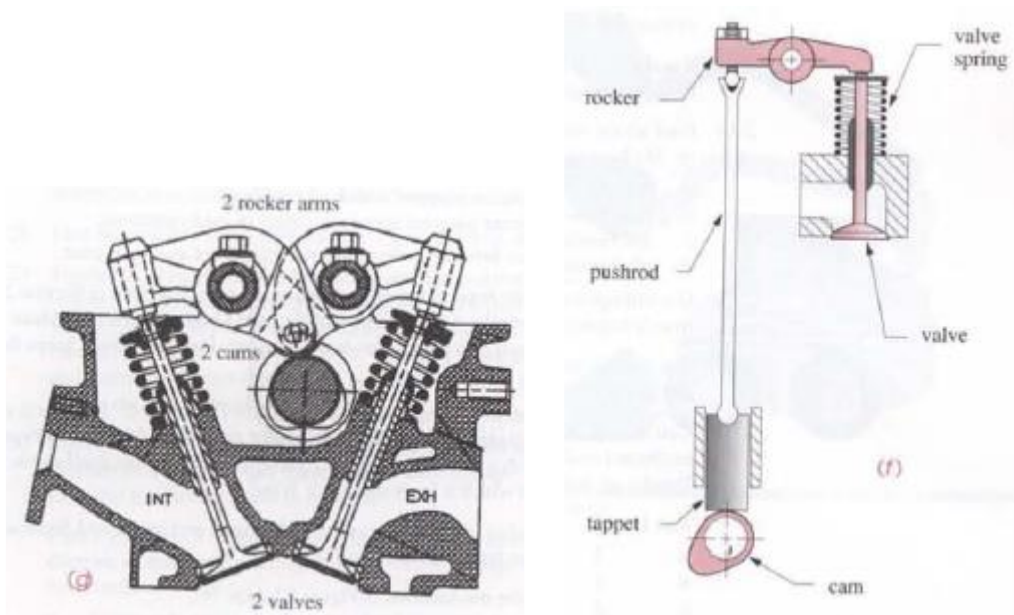
22. **Primjeri slozenih mehanizama**



46 Elementi strojeva 2

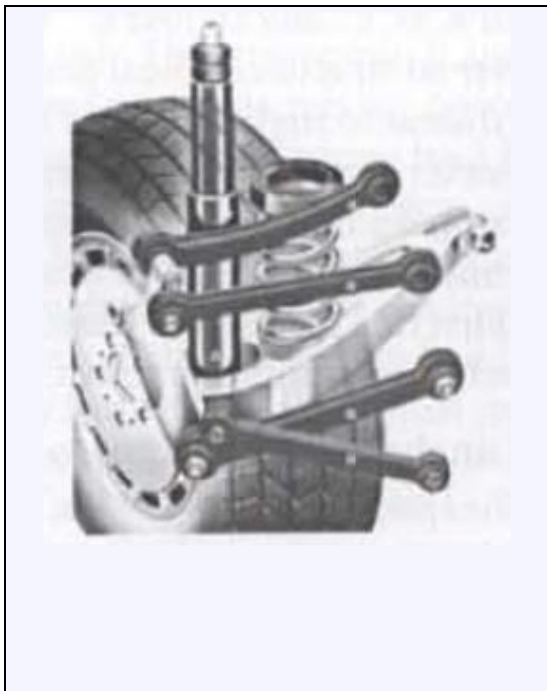


23. **Primjeri mehanizama motora s unutarjim izgaranjem**



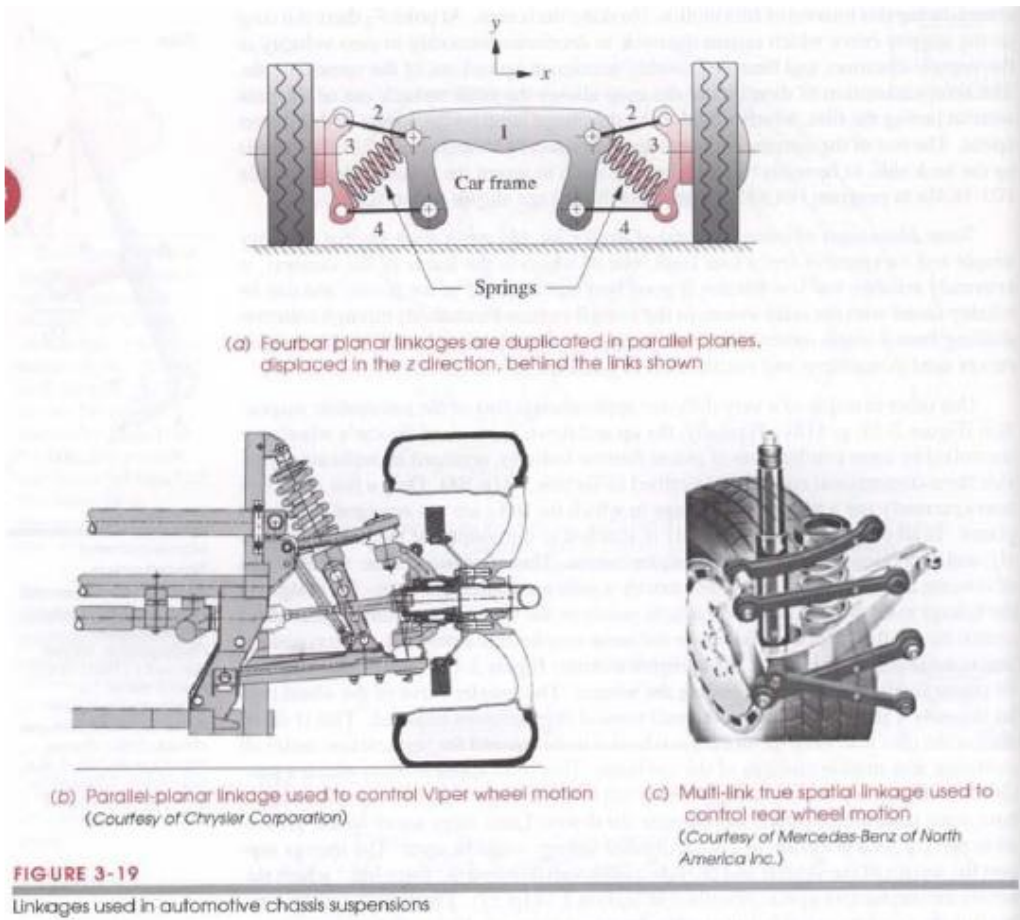
24. **Primjeri mehanizama radnih vozila**

Prostorni zglobovi mehanizam	Ravninski zglobovi mehanizam
------------------------------	------------------------------



Slika S-08.XX Rear suspension – Daimler Benz [Norton2003/7]

Slika S-08.XX Utility tractor with backhoe, John Deere [Norton2003/7]



48 Elementi strojeva 2

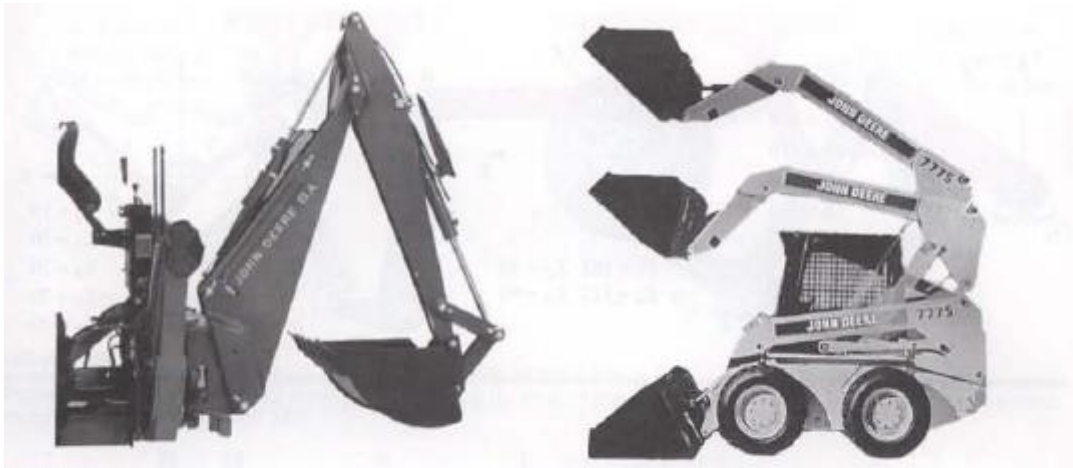
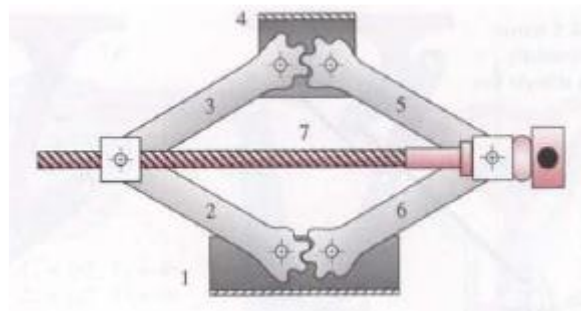


FIGURE P2-3

Problem 2-20 Backhoe and front-end loader. Courtesy of John Deere Co.



25. **Primjeri mehanizama u kućanstvu**

Ravninski zglobni mehanizam	Ravninski zglobni mehanizam
<p>Slika S-08.XX Linkage-driven exercise machine – ICON Health and Fitness [Norton2003/7]</p>	<p>Slika S-08.XX A spring-balanced linkage mechanism [Norton2003/57]</p>

26. **Primjena mehanizama**

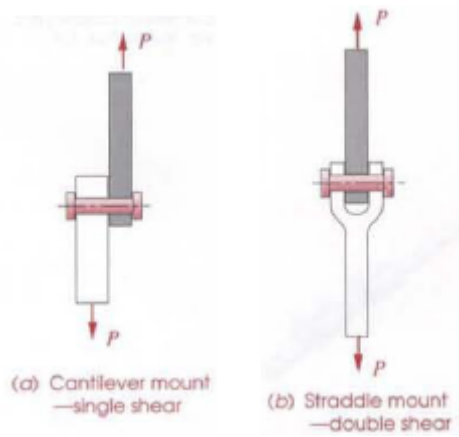


FIGURE 2-32
Cantilever, and straddle-mounted pin joints



FIGURE 2-28
Spherical rod end. *Courtesy of Emerson Power Transmission, Ithaca, NY.*

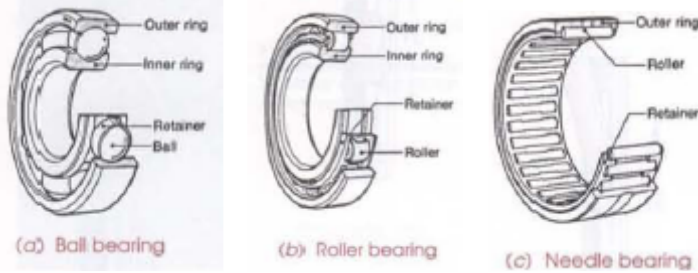


FIGURE 2-29
Ball, roller, and needle bearings for revolute joints. *Courtesy of NTN Corporation, Japan*



FIGURE 2-30
Pillow block and flange-mount bearing units. *Courtesy of Emerson Power Transmission, Ithaca, NY.*



FIGURE 2-31
Linear ball bushing
Courtesy of Thomson
Industries, Port Washington,
NY

27. **Mehatronika – definicija i struktura mehatroničkih sustava**

28. **Senzori i aktuatori**

29. **Elektromotori**

Norton2003/66÷71.

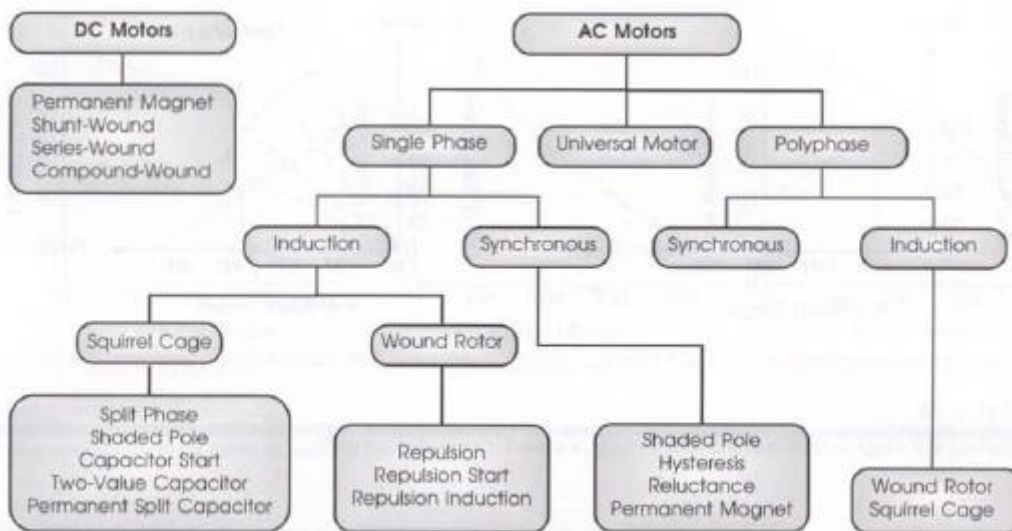
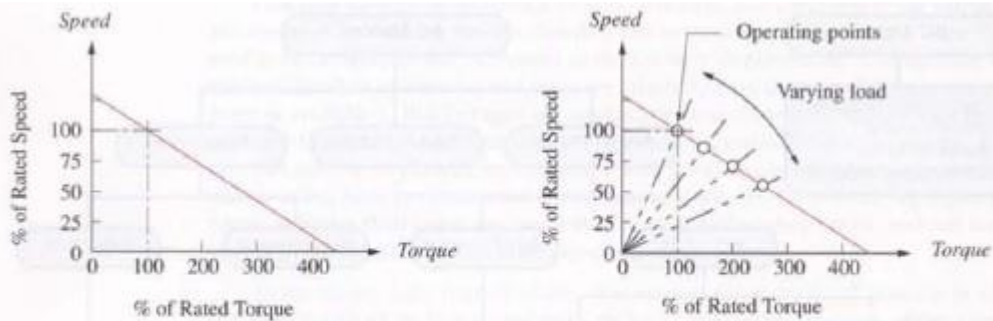
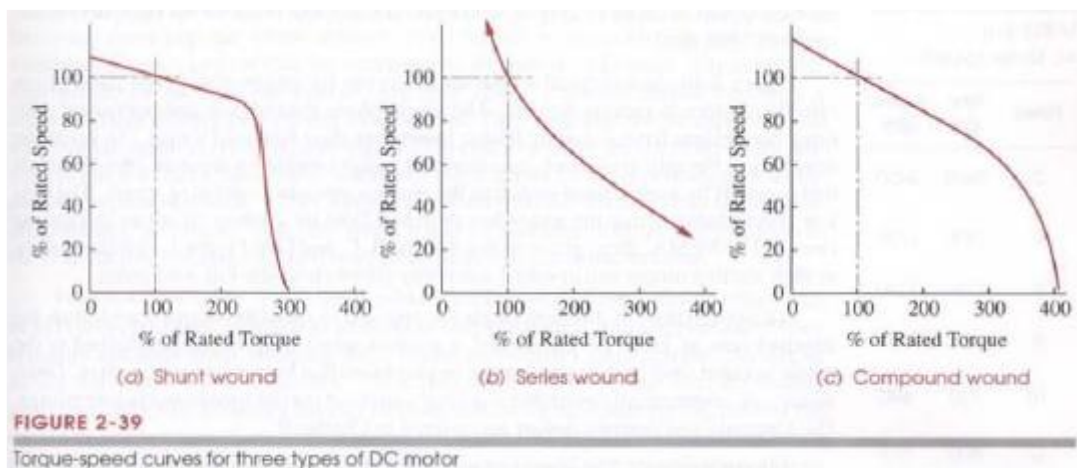


FIGURE 2-37
Types of electric motors. Source: Reference (14)



(a) Speed-torque characteristic of a PM electric motor (b) Load lines superposed on speed-torque curve

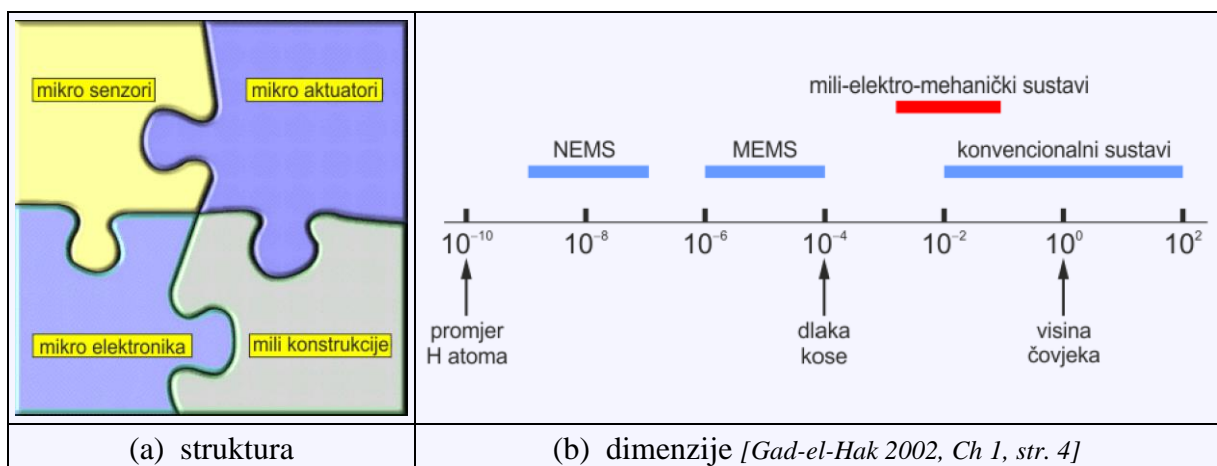
FIGURE 2-38
DC permanent magnet (PM) electric motor's typical speed-torque characteristic



30. Mili-elektro-mehanički sustavi

Pod mili elektro-mehaničkim sustavima (u okvirima predmeta *Elementi strojeva 2*), mems, može se podrazumijevati:

- **mili** – mali, dimenzije sustava su reda veličina 10 mm,
- **elektro** – obuhvaća električke komponente,
- **mehanički** – obuhvaća mehaničke komponente i
- **sustav** – komponente su integrirane u jedinstvenu cjelinu namijenjenu obavljanja postavljenog zadatka.

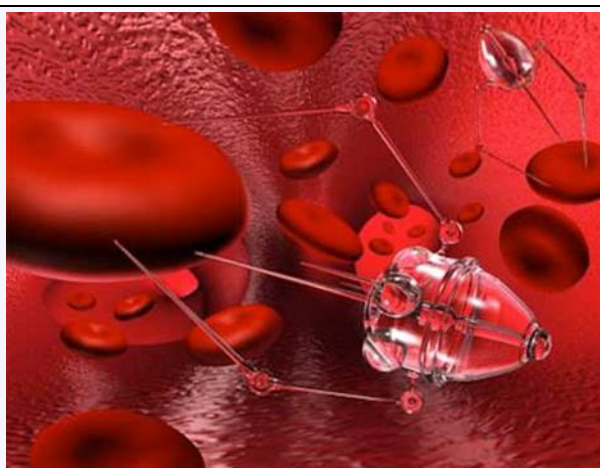


Slika S-08.XX Mili-elektro-mehanički sustava

Inače, u USA se pod MEMS (*Micro Electro Mechanical Systems – mikro-elektromehanički sustavi*) podrazumijevaju uređaji dimenzija reda veličina mikrometra, s jednim ili više senzora i aktuatora, u kojima centralno mjesto zauzima mikročip. U Europi se obično koristi termin mikro sistem (*e. – microsystem, d. – Mikrosystem*), u Japanu mikro stroj. Ako su dimenzije uređaja reda veličina nanometra koriste se termini NEMS (*Nano Electro Mechanical Systems – nano-elektromehanički sustavi*), nano sistemi, nano strojevi.



Slika S-08.XX Mikro koračni mehanizam



Slika S-08.XX Nano brodovi napadaju ćelije kancera

Danas se intenzivno istražuju primjene ili se već primjenjuju mems-i, MEMS-i, NEMS-i. U tom redosljedu (*od mems k NEMS*) opada obim primjene i raste obim istraživanja. Naime, s smanjivanjem dimenzija elemenata ovih sustava povećavaju se problemi i u teorijskim i u eksperimentalnim istraživanja. Na primjer, kod usvajanja elemenata nano brodova u izračunavanja su uključene međuatomske sile (*atomska fizika i kemija*) a kod pokusa s nano brodovima će uvijek biti prisutna opasnost gubljenja nano broda, u početnim fazama vrlo vjerojatno ekstremno skupog.

Tri su primjera ovih sustava:

- sustav za aktivaciju zračnih jastuka automobila pri sudaru (*najjednostavniji*),
- sustav za sprječavanje blokade kotača automobila pri kočenju,
- sustav za ciljano doziranje lijeka (*još uvijek između znanstvene fantastike i primjene*).

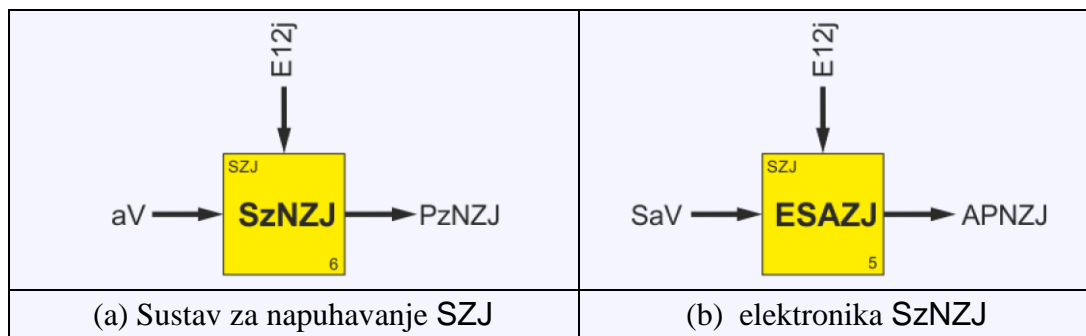
31. Sustav za aktivaciju zračnih jastuka vozila pri sudaru

Problem: sudar izaziva nagli prestanak gibanja vozila (*vrlo veliko usporenje*) dok se tijelo vozača (*putnika*) nastavlja gibati (*brzinom kojom se gibalo vozilo neposredno prije sudara*) te udara u čvrste dijelove vozila (*prije svega, volan i vjetrobransko staklo*).

Koncepcija rješenja: kada se prikladnim senzorom utvrdi usporenje (*negativno ubrzanje*) veće od kritičnog prikladnim se aktuatorom aktivira naglo napuhavanje zračnog jastuka.

Blok shema:

- (a) dijela (*nije obuhvaćen sam zračni jastuk*) sustava zračnog jastuka (*SZJ*) i
- (b) jednog od podsustava SZJ prikazana je:



Slika S-08.xx Sustav za aktivaciju zračnih jastuka automobila pri sudaru

U razradi rješenja SZJ slijedi kompletiranje i povezivanje svih blok shema, projektiranje sustava te konstruiranje elemenata SZJ.

32. Sustav za sprječavanje blokade kotača vozila pri kočenju

Problem: prestanak okretanja kotača, pod djelovanjem kočnice, rezultira: (a) poteškoćama u kontroli putanje vozila i (b) produžavanjem zaustavnog puta vozila.

Koncepcija rješenja:

3. kada senzor uoči prestanak okretanja kotača te prikladnim aktuatorom prekinuti kočenje
- 4.

Blok shema:

Slika S-08.xx Sustav za sprječavanje blokade kotača automobila pri kočenju

33. Sustav za ciljano doziranje lijeka

Problem:

Koncepcija rješenja:

Blok shema:

Slika S-08.xx Sustav za ciljano doziranje lijeka

Relativno gibanje

8.1 Osnove mehanizama – Grote2007/562÷566, Margithu2001/190÷201, Margithu2009/10÷22, Norton1999/20÷92, Norton2003/3÷85,

8.1.1 Klipni mehanizam i kinematički parovi – Brown2005/427, Elčić1973/668÷717(klipni mehanizam), Mabie1987/7÷16,322, Vepa2009/1÷61, Vinogradov2000/1÷14,

8.1.2 Zglobni mehanizmi – Avallone2006/637÷638, Brown2005/428÷429, Dorf2005/Ch20-2÷5,8(glosar),

8.1.3 Krivuljni mehanizmi – Avallone2006/638÷640, Dorf2005/Ch20-5÷9(glosar),

8.1.4 Ostali mehanizmi – Avallone2006/640÷643,

8.1.5 Mehanizmi i materijali – Norton2003/809÷812,

54 Elementi strojeva 2

8.2 Usvajanje mehanizama – Brown2005/429÷442, Grote2007/566÷572, **Margithu2001/201÷241**, **Margithu2009/23÷278**, **Mabie1987/17÷70,130÷315,323÷325**, McCarthy 2010, Norton1999/93÷448,507÷910(duplo Ch: 12, 13, 14), **Norton2003/3÷461,525÷768,816÷837,838÷840**, Sacks2010/81÷120, Shigley1980,

8.2.1 *Geometrija mehanizama* – Avallone2006/637÷643,

8.2.2 *Kinematika mehanizama* – Avallone2006/643,

8.2.3 *Dinamika mehanizama* – Avallone2006/644,

8.2.4 *Računalna podrška* – **Norton2003/769÷808**,

8.3 Primjeri mehanizama – Parmley2005, Sobey2009, Sobey2006, Bonnick2011, Sacks2010/138÷173, Sandin2003, Sclater2006, Shigley1996/1292÷1318, Shigley2004/11÷90,

8.3.1 Primjeri jednostavnijih mehanizama

8.3.2 Primjeri složenijih mehanizama

8.3.3 Primjeri mehanizama vozila

8.3.4 Primjeri mehanizmi u kućanstvu

8.4 Primjena mehanizama

8.4.1 Izrada mehanizama

8.4.2 Montaža i pogon mehanizama

8.4.3 Održavanje i odlaganje mehanizama

8.4.4 Prednosti, nedostaci i greške mehanizama

8.5 Mehatronika – Beeby2004, Bishop2008,

8.5.1 Osnove mehatronike

8.5.2 Senzori i aktuatori

8.5.3 Elektromotori

8.5.4 Mikro-elektro-mehanički sustavi

dijelovi za podešavanje: DIN2008/490÷495,

finamehanika: Pandžić2008/238÷242,

bregaste krivulje: Parmley2005/D14(12-16), Shigley1996/1319÷1346/

lopte: Parmley2005/D19(1-18),

ingeniozni mehanizmi: Parmley2005/D1(1-18),

spojevi: Brown2005/427÷443, Parmley2005/D3(1-23), Shigley1996/1347÷1369,

roboti: Shigley1996/1509÷1547, Timings2005/712÷717,

Dodaci: Margithu2001/712÷843,

Literatura (obrada, rječnik)

Avallone2006/1796÷1821(biomehanika),1835÷1849(robotika,mehatronika,inteligentna automatika), Brown1871(sheme), Chang2008(kosmos), Elliot2007(elektromehanika), Garrett2001(vozilo), Golovin2008(sheme), Grote2007/562÷572, Jones1930, Kato2008, Künne2008/277÷323(klipnjača i koljenasto vratilo – detaljno),325÷336, Lingaiah2004/208÷222,1043÷1051, Lobontiu2002(elastični mehanizmi), Parmley2005/1,2,3,4,5,14,15,19(sheme), Paz2010(povijest), Pislac2010(clanci), Ramesh2009(nanomaterijali), Roberts2010(popularno i ideje), Rothbart2004(detaljno), Sacks2010(glosar), Sandin2003(mehanizmi robota), Sclater2006(sheme), Shigley1980(teorija), Vepa2009(biomimetika), Vinogradov2000(teorija), Walsh2000(priručnik, glosar), Whitney2004(sklopovi),

Podloge (kratice, norme, internet, razno) – **Margithu2009/304÷477(MATLAB)**, **Mabie1987/316÷321**, **Norton2003/813÷814(veličine tijela)**,

Provjere znanja (teme, pitanja, zadaci) – **Margithu2009/279÷303**,

Literatura: Dorf2005/Ch20-9,

mehanizam	mechanism	Getriebe
-----------	-----------	----------

Dodatak

Literatura

Relativno gibanje

- 8.1 Osnove mehanizama** – Grote2007/562÷566, [Margithu2001/190÷201](#), [Margithu2009/10÷22](#), Norton1999/20÷92, [Norton2003/3÷85](#),
- 8.1.1 *Klipni mehanizam i kinematički parovi* – Brown2005/427, Elčić1973/668÷717(klipni mehanizam), Mabie1987/7÷16,322, Vepa2009/1÷61, Vinogradov2000/1÷14,
- 8.1.2 *Zglobni mehanizmi* – Avallone2006/637÷638, Brown2005/428÷429, Dorf2005/Ch20-2÷5,8(glosar),
- 8.1.3 *Krivuljni mehanizmi* – Avallone2006/638÷640, Dorf2005/Ch20-5÷9(glosar),
- 8.1.4 *Ostali mehanizmi* – Avallone2006/640÷643,
- 8.1.5 *Mehanizmi i materijali* – [Norton2003/809÷812](#),
- 8.2 Usvajanje mehanizama** – Brown2005/429÷442, Grote2007/566÷572, [Margithu2001/201÷241](#), [Margithu2009/23÷278](#), Mabie1987/17÷70,130÷315,323÷325, McCarthy 2010, Norton1999/93÷448,507÷910(duplo Ch: 12, 13, 14), [Norton2003/3÷461,525÷768,816÷837,838÷840](#), Sacks2010/81÷120, Shigley1980,
- 8.2.1 *Geometrija mehanizama* – Avallone2006/637÷643,
- 8.2.2 *Kinematika mehanizama* – Avallone2006/643,
- 8.2.3 *Dinamika mehanizama* – Avallone2006/644,
- 8.2.4 *Računalna podrška* – [Norton2003/769÷808](#),
- 8.3 Primjeri mehanizama** – Parmley2005, Sobey2009, Sobey2006, Bonnick2011, Sacks2010/138÷173, Sandin2003, Sclater2006, Shigley1996/1292÷1318, Shigley2004/11÷90,
- 8.3.1 Primjeri jednostavnijih mehanizama
- 8.3.2 Primjeri složenijih mehanizama
- 8.3.3 Primjeri mehanizama vozila
- 8.3.4 Primjeri mehanizmi u kućanstvu
- 8.4 Primjena mehanizama**
- 8.4.1 Izrada mehanizama
- 8.4.2 Montaža i pogon mehanizama
- 8.4.3 Održavanje i odlaganje mehanizama
- 8.4.4 Prednosti, nedostaci i greške mehanizama
- 8.5 Mehatronika** – Beeby2004, Bishop2008,
- 8.5.1 Osnove mehatronike
- 8.5.2 Senzori i aktuatori
- 8.5.3 Elektromotori
- 8.5.4 Mikro-elektro-mehanički sustavi
- dijelovi za podešavanje**: DIN2008/490÷495,
- finamehanika**: Pandžić2008/238÷242,
- bregaste krivulje**: Parmley2005/D14(12-16), Shigley1996/1319÷1346/,
- lopte**: Parmley2005/D19(1-18),
- ingeniozni mehanizmi**: Parmley2005/D1(1-18),
- spojevi**: Brown2005/427÷443, Parmley2005/D3(1-23), Shigley1996/1347÷1369,
- roboti**: Shigley1996/1509÷1547, Timings2005/712÷717,
- Dodaci**: [Margithu2001/712÷843](#),
- Literatura* (obrada, rječnik) – Avallone2006/1796÷1821(biomehanika),1835÷1849(robotika,mehatronika,inteligentna automati-ka), Brown1871(sheme), Chang2008(kosmos), Elliot2007(elektromehanika), Garrett2001(vozilo), Golovin2008(sheme), Grote2007/562÷572, Jones1930, Kato2008, Künne22008/277÷323(klipnjača i koljenasto vratilo – detaljno),325÷336, Lingaiah2004/208÷222,1043÷1051, Lobontiu2002(elastični mehanizmi), Parmley2005/1,2,3,4,5,14,15,19(sheme), Paz2010(povijest), Pisla2010(clanci), Ramesh2009(nanomaterijali), Roberts2010(popularno i ideje), Rothbart2004(detaljno), Sacks2010(glosar), Sandin2003(mehanizmi robota), Sclater2006(sheme), Shigley1980(teorija), Vepa2009(biomimetika), Vinogradov2000(teorija), Walsh2000(priručnik, glosar), Whitney2004(sklopovi),
- Podloge* (kratice, norme, internet, razno) – [Margithu2009/304÷477\(MATLAB\)](#), Mabie1987/316÷321, Norton2003/813÷814(veliĉine tijela),
- Provjere znanja* (teme, pitanja, zadaci) – [Margithu2009/279÷303](#),
- Literatura**: Dorf2005/Ch20-9,

- Mehanizmi i mikro-sustavi
 - Mehanizmi [50/1292-1318](#),
 - Elektrotehnika [6/518-583](#), [15/737-931](#), [23/586](#),
 - Mehatronika [6/586-621](#),
 - Dijelovi za podešavanje [15/490-495](#),
 - Mikromehanika [43/238-242](#).

Bregaste krivulje 46/D14(12-16), 50/1319-1346.
 Lopte 46/D19(1-18).
 Ingeniozni mehanizmi 46/D1(1-18).
 Spojevi 7/427-442, 46/D3(1-23), 50/1347-1369.
 Roboti 50/1509-1547.

Internet

Childs2004/288, Mott2004/743÷744, Wittel2009/392, Bickford 2007/530÷531,

Some useful web sites for design, product, and manufacturing information:

<http://www.machinedesign.com>

Machine Design magazine's site with articles and reference information for design (searchable).

<http://www.motionsystemdesign.com>

Motion System Design magazine's site with articles and reference information for design and data on motors, bearing, etc. (searchable).

<http://www.thomasregister.com>

Thomas Register is essentially a national listing of companies by product or service offered (searchable).

<http://www.howstuffworks.com>

Much useful information on a variety of engineering devices (searchable).

<http://www.manufacturing.net/dn/index.asp>

Design News magazine's site with articles and information for design (searchable).

<http://icel.ucdavis.edu/design/>

University of California Davis Integration Engineering Laboratory site with applets that animate various mechanisms.

Suggested keywords for searching the web for more information:

"machine design"

"linkage design"

"kinematics"

"cam design"

Podloge

Glosar

Rječnik Childs2004/268, Bickford 2007/522÷529,

Rječnik

hrvatski	engleski	njemački
spoj	joint, connection	Verbindung
vijak	screw	Schraube
matica	nut	Mutter
navoj	thread	Gewinde
podloška	washer	Scheibe
osigurač		Sicherung

Oznake

Childs2004/288, Künne12008/284÷285, Lingaiah2004/510÷512, Muhs2006/77÷79, Niemann2005/410÷411, Shigley2004/671÷674, Bickford 2007/514÷520,

Formule

Norme

Künne12008/282÷284, Muhs2006/93÷105, Niemann2005/483÷487, Steinhilper12008/378÷387,

EN 24032/3/5. *ISO metric hexagon bolts, screws and nuts.*

EN ISO 2009. *Slotted head bolts.*

EN ISO 7046-1. *Recessed head set screws.*

Podaci

Svojstva i karakteristike materijala – Norton2003/809÷812.

Materijal	E , GPa	G^{*1} , GPa	ν , 1	ρ , kg/dm ³
legure aluminija	71,7	26,8	0,34	2,8
berilij bakar	127,6	49,4	0,29	8,3
mjed bronca	110,3	41,5	0,33	8,6
bakar	120,7	44,7	0,35	8,9
sivo lijevano željezo	103,4	40,4	0,28	7,2
nodularni lijev	168,9	65,0	0,30	6,9
kovki lijev	172,4	66,3	0,30	7,3
legure magnezija	44,8	16,8	0,33	1,8
legure nikla	206,8	79,6	0,30	8,3
ugljični čelik	206,8	80,8	0,28	7,8
legirani čelik	206,8	80,8	0,28	7,8
nehrđajući čelik	189,6	74,1	0,28	7,8
legure titana	113,8	42,4	0,34	4,4
legure cinka	82,7	31,1	0,33	6,6

*¹ modul smicanja

Kovački aluminij	Uvjeti	$R_{e,0.2}$	R_m	R_d^{*1}	A_{5cm}^{*2}	HB
		Pa	Pa	Pa	%	
1100	žareni lim	34	90		35	23
	hladno valjan	152	165		5	44
2024	žareni lim	76	179		20	
	toplinski obrađen	290	441	138	19	
3003	žareni lim	41	110		30	28
	hladno valjan	186	200		4	55
5052	žareni lim	90	193		25	47
	hladno valjan	255	290		7	77
6061	žareni lim	55	124		25	30
	toplinski obrađen	276	310	97	12	95
7075	žarena šipka	103	228		16	60
	toplinski obrađen	503	572	97	11	150

*¹ $500 \cdot 10^6$ ciklusa

*² materijal je duktila ako mu je istežljivost ispitana na uzorku duljine 5 cm veća od 5 % .

26	179-	47	324	28	95
44	303	53	365	20	105
30	207	55	379	25	111
57	393	68	469	15	131

60 Elementi strojeva 2

38	259	68	469	20	137
50	345	75	517	32	149
64	441	76	524	12	149
75	517	97	669	28	255
84	579	106	731	23	302
94	648	123	848	17	495
40	276	72	496	18	143
67	462	80	552	12	163
42	290	76	524	18	149
54	372	86	503	28	170
71	490	85	586	12	170
63	434	92	634	29	192
80	552	110	758	21	241
86	593	113	779	19	262
45	310	82	565	16	163
77	531	91	627	12	179
50	345	90	621	15	179
62	427	108	745	20	217
84	579	100	689	10	197
78	538	104	717	28	235
115	793	158	1 089	13	444
117	807	163	1 124	9	514
54	372	98	676	12	200
61	421	112	772	18	229
76	524	116	800	23	229
97	669	140	965	17	277
111	765	156	1 076	14	311
66	455	120	827	10	248
72	496	147	1 014	9	13
80	552	130	896	21	269
112	772	176	1213	12	363
118	814	183	1 262	10	375

SAE / AISI Number	Condition	Tensile Yield Strength (2% offset)		Ultimate Tensile Strength		Elongation over 2 in	Brinell Hardness
		kpsi	MPa	kpsi	MPa	%	-HB
1010	Hot rolled	26	179	47	324	28	95
	Cold rolled	44	303	53	365	20	105
1020	Hot rolled	30	207	55	379	25	111
	Cold rolled	57	393	68	469	15	131
1030	Hot rolled	38	259	68	469	20	137
	Normalized @ 1650°F	50	345	75	517	32	149
	Cold rolled	64	441	76	524	12	149
	Q&T @ 1000°F	75	517	97	669	28	255
	Q&T @ 800°F	84	579	106	731	23	302
	Q&T @ 400°F	94	648	123	848	17	495
1035	Hot rolled	40	276	72	496	18	143
	Cold rolled	67	462	80	552	12	163
1040	Hot rolled	42	290	76	524	18	149
	Normalized @ 1650°F	54	372	86	593	28	170
	Cold rolled	71	490	85	586	12	170
	Q&T @ 1200°F	63	434	92	634	29	192
	Q&T @ 800°F	80	552	110	758	21	241
	Q&T @ 400°F	86	593	113	779	19	262
1045	Hot rolled	45	310	82	565	16	163
	Cold rolled	77	531	91	627	12	179
1050	Hot rolled	50	345	90	621	15	179
	Normalized @ 1650°F	62	427	108	745	20	217
	Cold rolled	84	579	100	689	10	197
	Q&T @ 1200°F	78	538	104	717	28	235
	Q&T @ 800°F	115	793	158	1 089	13	444
	Q&T @ 400°F	117	807	163	1 124	9	514
1060	Hot rolled	54	372	98	676	12	200
	Normalized @ 1650°F	61	421	112	772	18	229
	Q&T @ 1200°F	76	524	116	800	23	229
	Q&T @ 1000°F	97	669	140	965	17	277
	Q&T @ 800°F	111	765	156	1 076	14	311
1095	Hot rolled	66	455	120	827	10	248
	Normalized @ 1650°F	72	496	147	1 014	9	13
	Q&T @ 1200°F	80	552	130	896	21	269
	Q&T @ 800°F	112	772	176	1 213	12	363
	Q&T @ 600°F	118	814	183	1 262	10	375

-	-	22	152	83	572	156
-	-	32	221	109	752	210
-	-	42	290	140	965	235
-	-	52	359	164	1 131	262
-	-	62	427	187	1 289	302
47	324	65	448	52	359	160
48	331	67	462	53	365	174
53	365	82	565	56	386	228
120	827	140	965	134	924	325

62 Elementi strojeva 2

Cast-Iron Alloy	Condition	Tensile Yield Strength (2% offset)		Ultimate Tensile Strength		Compressive Strength		Brinell Hardness
		kpsi	MPa	kpsi	MPa	kpsi	MPa	HB
Gray Cast Iron—Class 20	As cast	—	—	22	152	83	572	156
Gray Cast Iron—Class 30	As cast	—	—	32	221	109	752	210
Gray Cast Iron—Class 40	As cast	—	—	42	290	140	965	235
Gray Cast Iron—Class 50	As cast	—	—	52	359	164	1 131	262
Gray Cast Iron—Class 60	As cast	—	—	62	427	187	1 289	302
Ductile Iron 60-40-18	Annealed	47	324	65	448	52	359	160
Ductile Iron 65-45-12	Annealed	48	331	67	462	53	365	174
Ductile Iron 80-55-06	Annealed	53	365	82	565	56	386	228
Ductile Iron 120-90-02	Q & T	120	827	140	965	134	924	325

¹ Properties of Some Metals and Alloys. International Nickel Co., Inc., NY; Metals Handbook, American Society for Metals, Materials Park, OH.

0,3	i 2,1	6,0	41,4	10,0	68,9	5-25	160-200	1,05
0,6	4,1	10,0	68,9	12,0	82,7	3	200-230	1,30
0,5	3,4	8,8	60,7	18,0	124,1	60	220	1,41
1,0	6,9	10,0	68,9	18,0	124,1	7	185-220	1,56
0,4	2,8	10,0	68,9	15,0	103,4	5	140-190	1,18
0,2	1,4	5,0	34,5	6,0	41,4	100	350-330	2,10
0,2	1,4	10,0	68,9	10,0	68,9	60	180-300	1,14
0,2	1,3	8,0	55,2	8,0	55,2	300	180-300	1,04
0,4	2,5	12,8	88,3	12,8	88,3	4	250-340	1,26
0,4	2,4	9,0	62,1	12,0	82,7	100	250	1,20
1,0	6,9	17,0	117,2	17,0	117,2	2	275	1,35
0,1	0,7	2,5	17,2	-	-	525	-	0,94
0,4	2,4	9,6	66,2	16,4	113,1	20	212	1,06
1,1	7,8	15,5	106,9	17,5	120,7	5	260	1,23
0,2	1,4	5,0	34,5	7,0	48,3	500	250-320	0,90
0,7	4,8	7,5	51,7	6,2	42,7	2	300-320	1,10
0,3	2,1	4,0	27,6	6,0	41,4	2-80	140-175	1,07
0,1	0,7	12,0	82,7	16,0	110,3	1	180-200	1,25
0,4	2,5	10,2	70,3	13,9	95,8	50	300-345	1,24

Data from Various Sources.* Approximate Values. Consult Manufacturers for More Accurate Information

Material	Approximate Modulus of Elasticity E †		Ultimate Tensile Strength		Ultimate Compressive Strength		Elongation over 2 in %	Max Temp °F	Specific Gravity
	Mpsi	GPa	kpsi	MPa	kpsi	MPa			
ABS	0.3	2.1	6.0	41.4	10.0	68.9	5-25	160-200	1.05
20-40% glass filled	0.6	4.1	10.0	68.9	12.0	82.7	3	200-230	1.30
Acetal	0.5	3.4	8.8	60.7	18.0	124.1	60	220	1.41
20-30% glass filled	1.0	6.9	10.0	68.9	18.0	124.1	7	185-220	1.56
Acrylic	0.4	2.8	10.0	68.9	15.0	103.4	5	140-190	1.18
Fluoroplastic (PTFE)	0.2	1.4	5.0	34.5	6.0	41.4	100	350-330	2.10
Nylon 6/6	0.2	1.4	10.0	68.9	10.0	68.9	60	180-300	1.14
Nylon 11	0.2	1.3	8.0	55.2	8.0	55.2	300	180-300	1.04
20-30% glass filled	0.4	2.5	12.8	88.3	12.8	88.3	4	250-340	1.26
Polycarbonate	0.4	2.4	9.0	62.1	12.0	82.7	100	250	1.20
10-40% glass filled	1.0	6.9	17.0	117.2	17.0	117.2	2	275	1.35
HMW Polyethylene	0.1	0.7	2.5	17.2	—	—	525	—	0.94
Polyphenylene Oxide	0.4	2.4	9.6	66.2	16.4	113.1	20	212	1.06
20-30% glass filled	1.1	7.8	15.5	106.9	17.5	120.7	5	260	1.23
Polypropylene	0.2	1.4	5.0	34.5	7.0	48.3	500	250-320	0.90
20-30% glass filled	0.7	4.8	7.5	51.7	6.2	42.7	2	300-320	1.10
Impact Polystyrene	0.3	2.1	4.0	27.6	6.0	41.4	2-80	140-175	1.07
20-30% glass filled	0.1	0.7	12.0	82.7	16.0	110.3	1	180-200	1.25
Polysulfone	0.4	2.5	10.2	70.3	13.9	95.8	50	300-345	1.24

* Modern Plastics Encyclopedia. McGraw-Hill, New York; Machine Design Materials Reference Issue, Penton Publishing, Cleveland, OH.

† Most plastics do not obey Hooke's Law. These apparent moduli of elasticity vary with time and temperature.

Razno

Teme

1. **Mehanizmi**

1. Relativno gibanje
2. Klipni mehanizam
3. Spojevi elemenata mehanizama – definicija i vrste
4. Spojni elementi mehanizama – definicija i vrste
5. Broj stupanja slobode
6. Zglobni mehanizmi – definicija i vrste
7. Mehanizam ručica klizač
8. Mehanizam četiri poluge
9. Mehanizam za brzi povratni hod
10. Bregasti mehanizam – definicija i vrste
11. Ženevski mehanizam
12. Koračni mehanizam
13. Materijali mehanizama
14. Koordinatni sustavi
15. Usvajanje klipnog mehanizma – geometrija i kinematika
16. Usvajanje mehanizma s četiri poluge – geometrija i kinematika
17. Usvajanje mehanizma za brzi povratni hod – geometrija i kinematika
18. Usvajanje bregastog mehanizma – geometrija i kinematika
19. Dimenzioniranje elemenata mehanizama
20. Računalna podrška usvajanju mehanizama
21. Primjeri jednostavnih mehanizama
22. Primjeri složenih mehanizama
23. Primjeri mehanizama motora s unutarjim izgaranjem
24. Primjeri mehanizama radnih vozila
25. Primjeri mehanizama u kućanstvu
26. Primjena mehanizama
27. Mehatronika – definicija i struktura mehatroničkih sustava
28. Senzori i aktuatori
29. Elektromotori
30. Mili-elektro-mehanički sustavi
31. Sustav za aktivaciju zračnih jastuka vozila pri sudaru
32. Sustav za sprječavanje blokade kotača vozila pri kočenju
33. Sustav za ciljano doziranje lijeka

Izvodi

Provjera znanja

Pitanja

Zadaci

Literatura

1. Albertos P., Mareels I.: Feedback and Control for Everyone; Springer, 2010.
2. Alfirevic I., Sikic Z., Budin I.: Inzinjerski prirucnik IP 1 – temelji inzenjerskih znanja; Skolska knjiga, 1996.
3. Ashby M. F., Johnson K.: Materials and Design – Engineering Materials and Processes Desk Reference; Butterworth-Heinemann, 2009.
4. Ashby M. F., Johnson K.: Materials and Design – The Art and Science of Material Selection in Product Design; Butterworth-Heinemann, 2002.
5. Ashby M. F., Shercliff H., Cebon D.: Materials – Engineering, Science, Processing and Design; Butterworth-Heinemann, 2007.
6. Ashby M. F.: Materials Selection in Mechanical Design, 3rd Edition; Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005.
7. Astrom K. J., Murray R. M.: Feedback Systems - An Introduction for Scientists and Engineers; Princeton University 2008.
8. Avallone E. A., Baumeister T. Sadegh A.: Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers 11th Edition; McGraw-Hill Professional 2006.
9. Bachman V.: Sizing Up Measurement – Activities for Grades K-2 Classrooms; Math Solutions, 2007.
10. Baker R. C.: Flow Measurement Handbook – Industrial Designs, Operating Principles, Performance, and Applications; Cambridge University, 2000.
11. Battikha N. E.: The Condensed Handbook of Measurement and Control, 3rd Edition; ISA 2007.
12. Bau H. H., deRooy N. F., Kloeck B.: Sensors – A Comprehensive Survey – Volume 7 Mechanical Sensors; VCH, 2004.
13. Bauer W.: Hydropneumatic Suspension Systems; Springer VDI, 2010.
14. Beeby S., Ensell G., Kraft M., White N.: MEMS Mechanical Sensors; Artech House 2004.
15. Berger H.: Automatisieren Mit SIMATIC – Controller, Software, Programmierung, Datenkommunikation, Bedienen Und Beobachten, 4. Auflage; Publics 2010.
16. Berger J.: Klausurentrainer Technische Mechanik, 2. Auflage; Vieweg+Teubner, 2005.
17. Bishop R. H.: Mechatronic Systems, Sensors, and Actuators - Fundamentals and Modeling, 2nd Edition; CRC, 2008.
18. Blake A.: Design of Curved Members for Machines; Robert E. Krieger, 1979.
19. Böge A., Schlemmer W.: Aufgabensammlung Technische Mechanik, 20. Auflage; Vieweg+Teubner, 2011.
20. Böge A., Schlemmer W.: Lösungen zur Aufgabensammlung Technische Mechanik, 14. Auflage; Vieweg+Teubner, 2011.
21. Böge A.: Formeln und Tabellen zur Technischen Mechanik, 22. Auflage; Vieweg+Teubner, 2011.
22. Böge A.: Handbuch Maschinenbau – Grundlagen und Anwendungen der Maschinenbau-Technik, 20. Auflage; Vieweg+Teubner, 2011.
23. Böge A.: Technische Mechanik: Statik – Dynamik – Fluidmechanik – Festigkeitslehre, 29. Auflage; Vieweg+Teubner, 2011.
24. Böge A.: Vieweg Handbuch Maschinenbau – Grundlagen und Anwendungen der Maschinenbau-Technik, 18. Auflage; Vieweg, 2007.
25. Boll R., Overshott K. J.: Magnetic Sensors, Volume 5, Sensors - A Comprehensive Survey; Wiley-VCH, 1989.
26. Bonnick A., Newbold D.: A Practical Approach to Motor Vehicle Engineering and Maintenance, 3rd Edition; Butterworth-Heinemann 2011.
27. Boyes W.: Instrumentation Reference Book, 3rd Edition; Butterworth-Heinemann, 2003.
28. Brandt S., Dahmen H. D.: Mechanik - Eine Einführung in Experiment und Theorie, 4. Auflage; Springer 2005.
29. Brown H. T.: Five Hundred and Seven Mechanical Movements - Embracing All Those Which Are Most Important; Brown, Coombs & Co., 1871.
30. Brown T. H. Jr.: Mark's Calculations For Machine Design; McGraw-Hill, 2005.

31. Budynas R. G., Nisbett J. K.: Shigley's Mechanical Engineering Design, 9th Edition; McGraw-Hill, 2011.
32. Budynas R. G., Nisbett J. K.: Shigley's Mechanical Engineering Design, 8th Edition; McGraw-Hill, 2007.
33. Carvill J.: Mechanical Engineer's Data Handbook; Butterworth-Heinemann, 2003.
34. Chandsekar V. C.: Rubber Seals for Fluid and Hydraulic Systems; Elsevier, 2010.
35. Chang K.-H.: Motion Simulation and Mechanism Design with COSMOSMotion 2007; Schroff Development Corporation, 2008.
36. Childs P.: Mechanical Design, 2nd Edition; Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004.
37. Childs R. N.: Practical Temperature Measurement; Butterworth-Heinemann, 2001.
38. Czichos H., Habig K.-H.: Tribologie - Handbuch Tribometrie, Tribomaterialien, Tribotechnik, 3. Auflage - Studium; Vieweg+Teubner, 2010.
39. Czichos H., Hennecke M.: Hütte – Das Ingenieurwissen 33. Auflage; Springer, 2008.
40. Czichos H., Saito T., Smith L.: Springer Handbook of Materials Measurement Methods; Springer, 2006.
41. Czichos H.: Tribology - A Systems Approach to the Science and Technology of Friction Lubrication and Wear; Elsevier, 1978.
42. Dankert J., Dankert H.: Statik, Festigkeitslehre, Kinematik / Kinetik, 6. Auflage; Vieweg+Teubner, 2011.
43. Dapkunas S. J.: Surface Engineering Measurement Standards for Inorganic Materials; NIST, 2005.
44. Davis C. S.: Statistical Methods for the Analysis of Repeated Measurements; Springer, 2002.
45. Decker K.-H.: Elementi strojeva, 2. izdanje; Tehnička knjiga, 1987.
46. Decker K.-H.: Elementi strojeva, 3. izdanje; Golden marketing - Tehnička knjiga, 2006.
47. Demtröder W.: Experimentalphysik 1 - Mechanik und Wärme, 4. Auflage; Springer, 2006.
48. DIN – Deutsches Institut für Normung: Klein Einführung in die DIN-Normen, 14. Auflage; B.G.Teubner – Beuth, 2008.
49. DiStefano J. J., Stubberud A. R., Williams I. J.: Schaum's Outline of Feedback and Control Systems, 2nd Edition; McGraw-Hill 1994.
50. Dixon J.: The Shock Absorber Handbook, 2nd Edition; Wiley & Sons - Professional Engineering, 2007.
51. Dorf C.: The Engineering Handbook, 2nd Edition; CRC, 2004.
52. Dorf R. C., Bishop R. H.: Modern Control Systems, 12th Edition; Prentice Hall 2010.
53. Dresig H., Holzweißig F.: Maschinendynamik, 7. Auflage; Springer, 2006.
54. Dudas I.: The Theory and Practice of Worm Gear Drives; Penton 2004.
55. Dunn W. C.: Introduction to Instrumentation, Sensors, And Process Control; Artech House, 2005.
56. Elčić Z., Grubješić N., Kostelić A., Mađarević B., Oberšmit E., Račić V., Sentič B., Skalický B., Vojta D.: Praktičar 3 – Strojstvo 2; Školska knjiga, 1973.
57. Elliott B. S.: Electromechanical Devices & Components Illustrated Sourcebook; McGraw-Hill, 2007.
58. Erdmann M.: Experimentalphysik 1 - Kraft, Energie, Bewegung - Physik Denken; Springer 2011.
59. Erdmann M.: Experimentalphysik 2 - Kollision, Gravitation, Bezugssysteme - Physik Denken; AIP - Springer 2011.
60. Erdmann M.: Experimentalphysik 3 - Schwingungen, Wellen, Körperdrehung - Physik Denken; AIP - Springer 2011.
61. Eren E.: Wireless Sensors and Instruments Networks, Design, and Applications; CRC 2006.
62. Ferger J.: Messen, Steuern und Regeln mit USB und C# - Die Warriors von Code Mercenaries; Franzis, 2010.
63. Fijalkowski B. T.: Automotive Mechatronics - Operational and Practical Issues Volume II; Springer, 2011.
64. Fitney R.: Seals and Sealing Handbook, 5th Edition; Elsevier Butterworth-Heinemann, 2007.
65. Fleischer B., Theumert H.: Entwickeln Konstruieren Berechnen – Komplexe praxisnahe Beispiele mit Lösungsvarianten, 2. Auflage; Vieweg + Teubner, 2009.
66. Fraden J.: Handbook of Modern Sensors - Physics, Designs, and Applications 3rd Edition; Springer, 2004.
67. Fraden J.: Handbook of Modern Sensors - Physics, Designs, and Applications 4th Edition; Springer, 2010.
68. Frank R.: Understanding Smart Sensors, 2nd Edition; Artech House 2000.
69. Fritz A. H., Schulze G.: Fertigungstechnik; 8. Auflage; Springer, 2008.
70. Gad-el-Hak M.: The MEMS handbook; CRC, 2002.

71. Gao W.: Precision Nanometrology - Sensors and Measuring Systems for Nanomanufacturing; Springer, 2010.
72. Garrett T. K., Newton K., Steeds W.: Motor Vehicle, 13th Edition; Butterworth-Heinemann, 2001.
73. Gaura E., Newman R.: Smart MemS And Sensor Systems; ICP 2006.
74. Glegg G. L.: The Selection of Design; Cambridge University, 1972.
75. Godin B.: Measurement and Statistics on Science and Technology - 1920 to the Present; Routledge, 2005.
76. Golnaraghi F., Kuo B. C.: Automatic Control Systems, 9th Edition - Solutions Manual; 2009.
77. Golnaraghi F., Kuo B. C.: Automatic Control Systems, 9th Edition; John Wiley & Sons, 2010.
78. Golovin A., Tarabarin V.: Russian Models from the Mechanisms Collection of Bauman University; Springer, 2008.
79. Graham K. S.: Fundamentals of Mechanical Vibrations, 2nd Edition; McGraw-Hill, 2000.
80. Grote K.-H., Antonsson E. K.: Springer Handbook of Mechanical Engineering; Springer, 2009.
81. Grote K.-H., Feldhusen J.: Dubbel - Taschenbuch für den Maschinenbau, 22. Auflage; Springer, 2007.
82. Haberhauer H., Bodenstein F.: Maschinenelemente – Gestaltung Berechnung Anwendung, 16. Auflage; Springer, 2011.
83. Haberhauer H., Bodenstein F.: Maschinenelemente – Gestaltung, Berechnung, Anwendung, 15. Auflage; Springer, 2009.
84. Hall A. S., Holowenko A. R., Laughlin H. G.: Schaum's Outline of Theory and Problems of Machine Design; McGraw-Hill, 1968.
85. Harris C. M., Piersol A. G.: Harris' Shock and Vibration Handbook, 5th Edition; McGraw-Hill, 2001.
86. Hebra A. J.: The Physics of Metrology - All about Instruments - From Trundle Wheels to Atomic Clocks; Springer 2010.
87. Hering E., Schröder B.: Springer Ingenieurtabellen; Springer, 2004.
88. Hesse S., Schnell G.: Sensoren für die Prozess- und Fabrikautomation - Funktion - Ausführung - Anwendung - Praxis, 4. Auflage; Vieweg+Teubner, 2009.
89. Higuchi T., Suzunori K., Tadokoro S.: Next-Generation Actuators Leading Breakthroughs; Springer, 2010.
90. Hofmann P.: Hybridfahrzeuge - Ein alternatives Antriebskonzept für die Zukunft; Springer, 2010.
91. Jackson R. G.: Novel Sensors and Sensing; IOP, 2004.
92. James K.: PC Interfacing and Data Acquisition - Techniques for Measurement Instrumentation and Control; Newnes, 2000.
93. Jelaska D.: Elementi strojeva – skripta za studente Industrijskog inženjerstva; Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Splitu, 2005.
94. Jones F. D., Horton H. L., Newell J. A.: Ingenious Mechanisms for Designers and Inventors - Volume 1; Industrial Press, 1930.
95. Jones F. D., Horton H. L., Newell J. A.: Ingenious Mechanisms for Designers and Inventors - Volume 3; Industrial Press, 1930.
96. Jones F. D., Horton H. L., Newell J. A.: Ingenious Mechanisms for Designers and Inventors - Volume 4; Industrial Press, 1930.
97. Jones F. D., Horton H. L., Newell J. A.: Ingenious Mechanisms for Designers and Inventors - Volume 2; Industrial Press, 1930.
98. Kato N., Kamimura S.: Bio-mechanisms of swimming and flying: fluid dynamics, biomimetic robots, and sports science; Springer, 2008.
99. Kiencke U., Nielsen L.: Automotive Control Systems - For Engine, Driveline, and Vehicle, 2nd Edition; Springer, 2005.
100. Kilian C. T.: Modern Control Technology - Components and Systems, 2nd Edition; Delmar Thomson Learning, 2000.
101. Kirchner E.: Leistungübertragung in Fahrzeuggetrieben Grundlagen der Auslegung, Entwicklung und Validierung von Fahrzeuggetrieben und deren Komponenten; Springer, 2007.
102. Klebanov B. M., Barlam D. M., Nystrom F. E.: Machine Elements – Life and Design; CRC Taylor & Francis Group, 2008.

103. Kolumbić Z., Dunder M.: Materijali v2; Odsijek za politehniku Filozofskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, 2011. <http://www.ffri.uniri.hr/~zvonimir/Materijali>
104. 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/>
105. König H.: Maschinen im Baubetrieb – Grundlagen und Anwendung 2. Auflage; Vieweg+Teubner, 2008.
106. Kraut B.: Strojarski priručnik, 9. izdanje; Tehnička knjiga, 1988.
107. Kreith F., Goswami D. Y.: The CRC Handbook of Mechanical Engineering, 2nd Edition; CRC 2005.
108. Künne B.: Köhler Rognitz Maschinenteile Vol 1, 10. Auflage; Vieweg + Teubner, 2008.
109. Künne B.: Köhler Rognitz Maschinenteile Vol 2, 10. Auflage; Vieweg + Teubner, 2008.
110. Kutz M.: Mechanical Engineers' Handbook – Four Volume Set, 3rd Edition – Volume 1: Materials and Mechanical Design; Wiley, 2005.
111. Kutz M.: Mechanical Engineers' Handbook – Four Volume Set, 3rd Edition – Volume 2: Instrumentation, Systems, Controls, and MEMS; Wiley, 2005.
112. Kutz M.: Mechanical Engineers' Handbook – Four Volume Set, 3rd Edition – Volume 3: Manufacturing and Management; Wiley, 2005.
113. Kutz M.: Mechanical Engineers' Handbook – Four Volume Set, 3rd Edition – Volume 4: Energy and Power; Wiley, 2005.
114. LearningExpress: 501 Measurement and Conversion Questions; LearningExpress, 2004.
115. Leckie F. A., Dal Bello D. J.: Strength and Stiffness of Engineering Systems; Springer, 2009.
116. Lerch R.: Elektrische Messtechnik - Analoge, digitale und computergestützte Verfahren, 3. Auflage; Springer 2006.
117. Lerch R.: Elektrische Messtechnik - Analoge, digitale und computergestützte Verfahren; Springer-Lehrbuch, 2010.
118. Levine W. S.: The Control Handbook - Control System Fundamentals, 2nd Edition; CRC 2011.
119. Lingaiah K.: Machine Design Databook, 2nd Edition; McGraw-Hill, 2002.
120. Liptak B. G.: Instrument Engineers' Handbook - Volume 1 Process Measurement and Analysis, 4th Edition; CRC, 2003.
121. Lobontiu N.: Compliant Mechanisms - Design of Flexure Hinges; CRC, 2002.
122. Lotter B., Wiendahl H.-P.: Montage in der industriellen Produktion – Ein Handbuch für die Praxis; Springer, 2006.
123. Lunze J.: Regelungstechnik 1 - Systemtheoretische Grundlagen Analyse und Entwurf einschleifiger Regelungen, 8. Auflage; Springer, 2010.
124. Lunze J.: Regelungstechnik 2 - Mehrgrössensysteme, Digitale Regelung, 6. Auflage; Springer, 2010.
125. Lurie B. J., Enright P. J.: Classical Feedback Control - With MATLAB; Marcel Dekker, 2000.
126. Mabie H. H., Reinholtz C. F.: Mechanisms and dynamics of machinery, 4th Edition; John Wiley & Sons, 1987.
127. Mancuso J. R.: Couplings and Joints – Design, Selection and Application; Marcel Dekker, 1999.
128. Mandal A. K.: Introduction to Control Engineering - Modeling, Analysis, and Design; New Age International, 2006.
129. Marek J., Trah H.-P., Suzuki Y., Yokomori W.: Sensors Applications - Volume 4 Sensors for Automotive Technology; Wiley-VCH 2003.
130. Marghitu D. B.: Mechanical Engineer's Handbook; Academic Press, 2001.
131. Marghitu D. B.: Mechanisms and Robots Analysis with MATLAB; Springer, 2009.
132. McCarthy M. J., Soh G. S.: Geometric Design of Linkages, 2nd Edition; Springer 2010.
133. McGraw Hill: McGraw Hill – Encyclopedia of Science & Technology - 19 Volume set, 10th Edition; McGraw-Hill Professional, 2007.
134. Meissner M., Schorcht H.-J.: Metallfedern - Grundlagen, Werkstoffe, Berechnung, Gestaltung und Rechnerinsatz, 2. Auflage; Springer, 2007.
135. Meixner H.: Micro- and Nanosensor Technology-Trends in Sensor Markets, Volume 8, Sensors - A Comprehensive Survey; Wiley-VCH, 1995.
136. Mims F. M.: Engineer's Mini Notebook - Sensor Projects; Siliconcept, 1996.
137. Morris A. S.: Measurement and Instrumentation Principles, 3rd Edition; Butterworth-Heinemann, 2001.

138. Mott R. L.: Machine Elements in Mechanical Design, 4th Edition; Prentice Hall, 2004.
139. Mühl T.: Einführung in die elektrische Messtechnik - Grundlagen, Messverfahren, Geräte, 2. Auflage; Teubner Verlag, 2001.
140. Muhs D., Wittel H., Jannasch D., Becker M., Voßiek J.: Roloff/Matek Maschinenelemente – Interaktive Formelsammlung auf CD-ROM, 8. Auflage; Vieweg, 2006.
141. Nawrocki W.: Measurement Systems And Sensors; Artech House, 2005.
142. Neale M.: The Tribology Handbook, 2nd Edition; Butterworth-Heinemann, 1999.
143. Niemann G., Winter H., Höhn B.-R.: Maschinenelemente – Band 1 – Konstruktion und Berechnung von Verbindungen, Lagern, Wellen, 4. Auflage; Springer, 2005.
144. Norton R. L.: Design of Machinery – An Introduction to the Synthesis and Analysis of Mechanisms and Machines, 2nd Edition; WCB/McGraw-Hill, 1999.
145. Norton R. L.: Design of Machinery - An Introduction to the Synthesis and Analysis of Mechanisms and Machines, 3rd Edition; McGraw-Hill, 2003.
146. Norton R. L.: Machine Design – An Integrated Approach, 3rd Edition; Prentice Hall, 2006.
147. Nyce D. S.: Linear Position Sensors - Theory and Application; John Wiley & Sons, 2004.
148. Oberg E., Jones F. D., Horton H. L., Ryffel H. H.: Machinery's Handbook 28th Edition; Industrial Press, 2008.
149. Ogata K.: Modern Control Engineering, 4th Edition; Pearson Education International, 2002.
150. Orłowski P. F.: Praktische Regeltechnik - Anwendungsorientierte Einführung für Maschinenbauer und Elektrotechniker, 8. Auflage (VDI); Springer, 2009.
151. Orłowski P. F.: Praktische Regeltechnik - Anwendungsorientierte Einführung für Maschinenbauer und Elektrotechniker, 9. Auflage (VDI); Springer, 2011.
152. Pandžić J., Pasanović B.: Elementi strojeva – udžbenik s DVD-om za 2. razred tehničkih škola u području strojarstva i brodogradnje; Neodidacta, 2008.
153. Parmley R. O.: Machine Devices and Components Illustrated Sourcebook; McGraw-Hill, 2005.
154. Parthier R.: Messtechnik - Grundlagen und Anwendungen der elektrischen Messtechnik für alle technischen Fachrichtungen und Wirtschaftsingenieure, 4. Auflage; Vieweg & Sohn, 2008.
155. Pawlak A. M.: Sensors and Actuators in Mechatronics - Design and Applications; CRC, 2007.
156. Paz E. B., Ceccarelli M., Otero J. E., Sanz J. L. M.: A Brief Illustrated History of Machines and Mechanisms; Springer, 2010.
157. Pernerer R.: Handbuch Zahnriementchnik - Grundlagen, Berechnung, Anwendungen; Springer, 2009.
158. Petruzzellis T.: Electronics Sensors for the Evil Genius - 54 Electrifying Projects; McGraw-Hill 2006.
159. Pisla D., Ceccarelli M., Husty M., Corves B.: New Trends in Mechanism Science - Analysis and Design; Springer, 2010.
160. Placko D.: Fundamentals of Instrumentation and Measurement (Instrumentation and Measurement Series); ISTE, 2007.
161. Podrug S.: Elementi strojeva – predavanja za stručni i preddiplomski studij brodogradnje; Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Splitu, 2008.
162. Polak T. A., Pande C.: Engineering Measurements - Methods and Intrinsic Errors; Professional Engineering Publishing Limited 1999.
163. Pons J. L.: Emerging Actuator Technologies - A Micromechatronic Approach; John Wiley & Sons, 2005.
164. Ramesh K. T.: Nanomaterials - Mechanics and Mechanisms; Springer, 2009.
165. Regtien P. P. L., van der Heijden F., Korsten M. J., Otthius W.: Measurement Science for Engineers; Elsevier Science & Technology, 2004.
166. Reif K.: Bosch Autoelektrik und Autoelektronik - Bordnetze Sensoren und elektronische Systeme, 6. Auflage; Vieweg+Teubner, 2011.
167. Reif K.: Konventioneller Antriebsstrang und Hybridantriebe - mit Brennstoffzellen und alternativen Kraftstoffen; Vieweg+Teubner, 2010.
168. Reif K.: Sensoren im Kraftfahrzeug; Vieweg+Teubner, 2010.
169. Ripka P., Tipek A.: Modern Sensors Handbook; ISTE, 2007.
170. Roberts D.: Making Things Move DIY Mechanisms for Inventors, Hobbyists, and Artists; McGraw-Hill/TAB Electronics, 2010.

171. Rothbart H.: The CAM Design Handbook; McGraw-Hill, 2004.
172. Sacks E. Joskowicz L.: The Configuration Space Method for Kinematic Design of Mechanisms; MIT, 2010.
173. Salkind N. J., Rasmussen K.: Encyclopedia of Measurement and Statistics, 2 Volume Set; Sage, 2007.
174. Sandin P. E.: Robot Mechanisms and Mechanical Devices Illustrated; McGraw-Hill, 2003.
175. Sauter B.: Messen, Steuern, Regeln mit USB; Franzis, 2010.
176. Savaresi S. M., Poussot-Vassal C., Spelta C., Sename O., Dugard L.: Semi-Active Suspension Control Design for Vehicles; Butterworth-Heinemann, 2010.
177. Scholz J., Ricolfi T.: Thermal Sensors, Volume 4, Sensors: A Comprehensive Survey; Wiley-VCH, 1990.
178. Sclater N., Chironis N. P.: Mechanisms and Mechanical Devices Sourcebook, 4th Edition; McGraw-Hill Professional, 2006.
179. Scott D. M.: Industrial Process Sensors; CRC, 2008.
180. Shigley J. E., Mischke C. R.: Standard handbook of machine design, 2nd Edition; McGraw-Hill Professional, 1996.
181. Shigley J. E., Mischke C. R.: Standard handbook of machine design, 3rd Edition; McGraw-Hill Professional, 2004.
182. Shigley J. E., Uicker J. J.: Theory of Machines and Mechanisms, McGraw Hill Higher Education, 1980.
183. Sinclair I. R.: Sensors and Transducers, 3rd Edition; Newnes, 2001.
184. Singh U. K., Dwivedi M.: Problems and Solutions in Mechanical Engineering; New Age International, 2007.
185. Smith C. A., Corripio A. B.: Principles and Practice of Automatic Process Control, 2nd Edition; John Wiley & Sons, 1997.
186. Smith E. H.: Mechanical Engineer's Reference Book 12th Edition; Butterworth-Heinemann, 2000.
187. Sobey E.: A Field Guide to Automotive Technology; Chicago Review, 2009.
188. Sobey E.: A Field Guide to Household Technology; Chicago Review, 2006.
189. Society of Automotive Engineers: Spring Design Manual Ae-11; Society of Automotive Engineers 1970.
190. Soloman S.: Sensors and Control Systems in Manufacturing, 2nd Edition; McGraw-Hill, 2010.
191. Spotts M. F.: Design of Machine Elements; 3rd Edition; Prentice Hall, 1961.
192. Stachowiak G. W., Batchelor A. W.: Engineering Tribology, 2nd Edition; Butterworth-Heinemann, 2000.
193. Stachowiak G. W., Batchelor A. W.: Engineering Tribology, 3rd Edition; Elsevier - Butterworth-Heinemann, 2005.
194. Stachowiak G. W., Batchelor A. W.: Engineering Tribology; Elsevier, 1993.
195. Steinhilper W., Sauer B.: Konstruktionselemente des Maschinenbaus 1 – Grundlagen der Berechnung und Gestaltung von Maschinenelementen, 7. Auflage; Springer, 2008.
196. Steinhilper W., Sauer B.: Konstruktionselemente des Maschinenbaus 2 – Grundlagen von Maschinenelementen für Antriebsaufgaben, 6. Auflage; Springer, 2008.
197. Steyer R., Eid M.: Messen und Testen - Mit Übungen und Lösungen, 2. Auflage; Springer-Lehrbuch, 2000.
198. Stolarski T.A.: Tribology in Machine Design; Butterworth-Heinemann, 1990.
199. Strothman J.: ISA Handbook of Measurement Equations and Tables, 2nd Edition; ISA, 2006.
200. Šurina T.: Automatska regulacija, 3. izdanje; Školska knjiga, 1987.
201. Takadom J.: Materials and Surface Engineering in Tribology; ISTE, Wiley, 2008.
202. ten Hompel M., Büchter H., Franzke U.: Identifikationssysteme und Automatisierung (VDI); Springer, 2008.
203. Thomas M.: Einführung in die elektrische Messtechnik - Grundlagen, Messverfahren, Geräte, 2. Auflage; Teubner 2006.
204. Timings R.: Mechanical Engineer's Pocket Book, 3rd Edition; Newnes, 2005.
205. Tompkins - Interfacing Sensors to the IBM-PC 0134690818 1998
206. Tönshoff I. I.: Sensors Applications - Volume 1 Sensors in Manufacturing; Wiley-VCH 2001.
207. Totten G. E., Liang H.: Mechanical Tribology - Materials Characterization and Applications; Marcel Dekker, 2004.

208. Totten G. E.: Handbook of Lubrication and Tribology - Volume I Application and Maintenance, 2nd Edition; CRC, 2006.
209. Tremayne D.: The Science of F1 Race-Car Design - Expert Analysis of the Anatomy of the Modern Grand Prix Car; Heynes Publishing, 2004.
210. Trzesniowski M.: Rennwagentechnik – Grundlagen, Konstruktion, Komponenten, Systeme, 2. Auflage; Vieweg + Teubner, 2010.
211. Tumanski S.: Principles of Electrical Measurement; CRC, 2006.
212. Ulbrich H., Weidemann H.-J., Pfeiffer F.: Technische Mechanik in Formeln Aufgaben und Lösungen; Teubner, 2006.
213. van Basshuysen R.: Fahrzeugentwicklung im Wandel- Gedanken und Visionen im Spiegel der Zeit - Populär; Vieweg + Teubner, 2010.
214. Vepa R.: Biomimetic Robotics - Mechanisms and Control; Cambridge University, 2009.
215. Vinogradov O.: Fundamentals of Kinematics and Dynamics of Machines and Mechanisms; CRC, 2000.
216. Vitas D. J., Trbojevic M. D.: Masinski elementi I, 10. izdanje; Naucna knjiga, 1990.
217. Vitas D. J., Trbojevic M. D.: Masinski elementi II, 9. izdanje; Naucna knjiga, 1988.
218. Vitas D. J., Trbojevic M. D.: Masinski elementi III, 4. izdanje; Naucna knjiga, 1978.
219. Vöth S.: Maschinenelemente Aufgaben und Lösungen - Festigkeit, Verbindungen, Antriebe; Teubner, 2007.
220. Wagner E., Dändliker R., Spenner K.: Optical Sensors, Volume 6, Sensors - A Comprehensive Survey; Wiley-VCH, 1991.
221. Walsh R. A.: Electromechanical Design Handbook, 3rd Edition; McGraw-Hill, 2000.
222. Webster J. G.: The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook on CD-ROM; CRC, 1999.
223. Weck M., Brecher C.: Werkzeugmaschinen - 4 Automatisierung von Maschinen und Anlagen, 6. Auflage; Springer, 2006.
224. Whitney D. E.: Mechanical Assemblies: Their Design, Manufacture, and Role in Product Development; Oxford University Press, 2004.
225. Wilson J. S.: Sensor Technology Handbook; Elsevier - Newnes, 2005.
226. Wittel H., Muhs D., Jannasch D., Voßiek J.: Roloff/Matek Maschinenelemente – Aufgabensammlung – Aufgaben, Lösungshinweise, Ergebnisse, 14. Vieweg + Teubner, 2010.
227. Wittel H., Muhs D., Jannasch D., Voßiek J.: Roloff/Matek Maschinenelemente – Lehrbuch und Tabellenbuch – Normung, Berechnung, Gestaltung, 19. Auflage; Vieweg + Teubner, 2009.
228. Wittel H., Muhs D., Jannasch D., Voßiek J.: Roloff/Matek Maschinenelemente – Normung, Berechnung, Gestaltung, 20. Auflage; Vieweg + Teubner, 2011.
229. Xue D., Chen Y.-Q., Atherton D. P.: Linear Feedback Control - Analysis and Design with MATLAB; SIAM, 2001.
230. Yamasaki H.: Handbook of Sensors and Actuators - Volume 3 Intelligent Sensors; Elsevier, 1996.
231. Youden W. J.: Experimentation and Measurement; DoC, TA, NIST, 1997.
232. Yurish S. Y., Smart Sensors and MEMS; Kluwer, 2004.
233. Zacher S., Reuter M.: Regelungstechnik für Ingenieure - Analyse Simulation und Entwurf von Regelkreisen, 13. Auflage; Vieweg + Teubner, 2011.