

MEHANIZMI UN 3. letnik, 2005/06

Rezultati kolokvija, režim ocenjevanja in opravljanje izpita:

- ocena kolokvija predstavlja izhodišče za oceno teoretičnega dela izpita;
- ocena vaj je pridobljena s seminarji in mora biti pozitivna, sicer izpita ni možno opraviti;
- kot pozitivna ocena kolokvija, izpita ali vaj se šteje 5.0 ali več,
- v primeru pozitivno ocenjenih kolokvijev in seminarjev je potrebna prijava na 2. izpitni rok (gl. spodaj), datum vpisa ocen bo javljen naknadno,
- negativno ocenjeni kolokvij je možno popraviti z visoko oceno seminarja ali hkratnim zagovorom teoretičnega dela izpita, sicer pa z normalnim opravljanjem izpita,
- pisni del izpita predstavlja vsebina vaj, teoretični del pa se zagovarja ustno.

Ogled kolokvijev:

- ponedeljek 12.06.2006 ob 8.00 v sobi 508 (kabinet prof. Prebila).

Zagovori seminarских nalog:

- sreda 21.06.2006, ura in predavalnica bo javljena naknadno.

Izpitni rok v letnem semestru:

- 1. izpitni rok: petek 09.06.2006 ob 8.00 v predavalnici V/8,
- 2. izpitni rok: petek 23.06.2006 ob 10.00 v predavalnici V/8.

Po naročilu prof. Prebila,

Ljubljana, 05.06.2006

asist. Simon Krašna

Vprašanja

- 25.4.06 1) Postopki snovanja mehanizma (mehanski krmilni softverski del, razvoj za vse 3 komponente)
- 14.2.06 P2 2) Kaj je mehanizem, stroj, motor, napiši razliko, kaj kdo dela.
- 14.2.; 21.2 P1 3) Sestavni deli različnih tipov mehanizmov (kaj je člen, kaj je sprega) opiši različne tipe mehanizmov, (malteški križ, kaj je in kaj z njim delamo, razni različni mehanizmi)
- 14.2 P2, P3, P1 4) Kinematične pare znati narisat, popisat, (določiti prostorsko stopnjo) (nižji kinematični pari, sprememba konstrukcije iz nižjega v višji kinematični par), *linije, točke (princip posila)*
- 8.3.06 P2 5) Prostostne stopnje mehanizmov, Gruberjeva pravila, kaj je treba upoštevati in kako
- 8.3.06 P2 6) Kinematične verige (odprte zaprte)
- 5 ← 7) Stopnja gibljivosti mehanizma (Krajsuo) (Somo)
- 21.3.06 8) Določitev pola gibanja okoli katerega sistem rotira (je treba narisati)
44. 21.3.06/28.3.06 9) Kinematične točke (pot, hitrost, pospešek, grafično 3 metode)
- 4.4.06 10) Relativno gibanje (hitrost točke + pospeški, kartezijev in polarni K.S.)
- 4.4.06 11) Metode mehanizmov v kompleksni ravnini !!
- 18.4.6.4. 12) Štiri-zgibni mehanizem (če poznamo geometrijo, kako določamo gibanje ostalih) **HRKZM !!**
- 18.4. + km1 13) Preslikovanje s pomočjo matrik iz enega K.S. v drugega.!!
- 25.4. 1→ 14) Sinteza mehanizmov (mala modifikacija štiri-zgibnega mehanizma [rotiranje nihanje ročic])
- 18.4.06 15) Dinamična analiza štiri-zgibnega mehanizma (statika, dinamika, opis, ni potrebno izpeljevati)
- 18.4.06 16) Uravnoteženje mehanizma
- 25.4.06 P1 17) Kaj so prednosti osnovnih tipov mehanizmov ročičnih in krivuljnih mehanizmov, slabosti, uporaba v praksi
- 9.5.06 P1 18) Kinematika mehanizmov holonomne in anholonomne vezi
- P4 19) Krivuljni mehanizem, problem glede konstantne hitrosti /Cikloidna - leonardova *glava*
- P4 20) Zakoni gibanja krivuljnih mehanizmov (parabola, cikloidna gibanja)
- P1 21) Analiza *uhov*
- P1 22) Abs-rel posilki /.../ točke, togo telo

Kolokvij Skupina A

- 1 → 1) Predstavite postopke konstruiranja pri oblikovanju mehanizmov.
- 4 → 2) Prikažite tipične primere nižjih kinematičnih parov. [Skica in označi prostostne stopnje]
- 11 → 3) Določite hitrost gibanja mehanizmov v kompleksni ravnini. !!
- 16 → 4) Zapišite potek uravnoteženja ročičnih mehanizmov.
- P4 5) Zapišite odvisnost odmika slednika od rotacije odmične gredi. (dinamika) [Homogena in partikularna rešitev]

• Postopki snovanja mehanizma / Sintezo

- za izdelavo gibljive sestavine sklope in podsklope
- Sintezo :
 - o STRUKTURNA (določi najbolj primeren obliko mehanizma glede na dane zahteve)
 - o DIMENZIJSKA (dimenzijsko opredelimo koncept pri čemer določimo togost, odzračnost, kinematičen pov. odzračnost optimizirano, kontrolirano kinematično kinetiko)

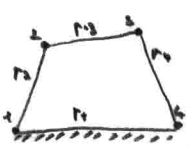
- Teorinsko funkcijo (zagotoviti predpisano odzračnost gibljive)



- Tir (dosežet želene oblike gibljive, trajektorija in točka)

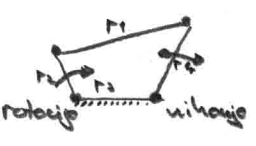


- Mehanski del - izvajanje gibljive (fizično komunikacija)



- katero količnico napraviš → spremeni način gibanja
- relativno gibanje ostane nespremenjeno

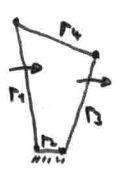
I. MODIFIKACIJA



- Uvedekosti
 - $r_1 + r_2 < r_3 + r_4$
 - $r_2 + r_3 < r_1 + r_4$
 - $r_2 + r_4 < r_1 + r_3$
- ročica r2 mora biti najkrajša

- vsak mehanizem je bolj ali manj odličen s postopnim dobajanjem kinematične velikosti pogonskega člena in postrojbe
- imeti mora 2 skupne svobode
- po formuli za izračunaje skupne svobode

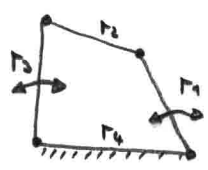
II. MODIFIKACIJA



- Ročici r1 in r3 opremljena s parnim vrtilom
- Najkrajša r2

III. MODIFIKACIJA

- Če ni izpolnjen Grashofov pogoj dajmo r2 = III, drugo r2 = 1, 2.



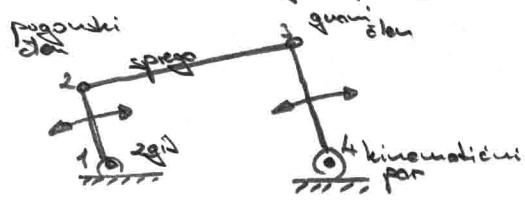
- $r_2 + r_3 < r_1 + r_4$
- $r_2 + r_3 < r_4 < r_1$
- r1 ... najdaljša ročica
- r2 ... najkrajša ročica
- r3, r4 vrtljivo

• Kaj je mehanizem, stroj, motor in razlika v delu

KONSTRUKCIJA - skupino nepomirno povezanih teles

MEHANIZEM - skupino pomirno in nepomirno povezanih teles za izvajanje željenega gibanja. Zaskledjens v, ω, s

- je zaprta kinematična veriga pri kateri ima vsaj ena točka drugega od elementov verige točno določeno pozicijo. Tak el. je izločeni element. Glede na njegovo opozujeno gibanje ustolik teles (elementu)



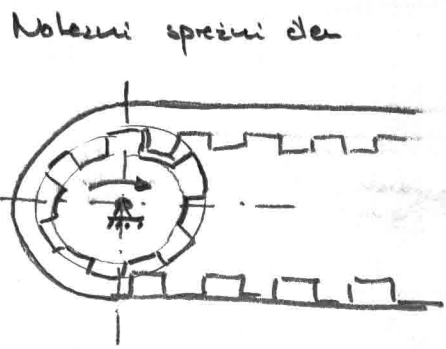
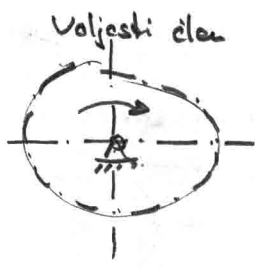
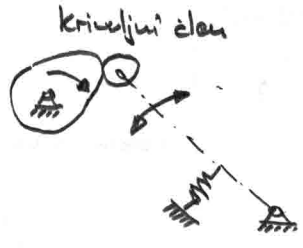
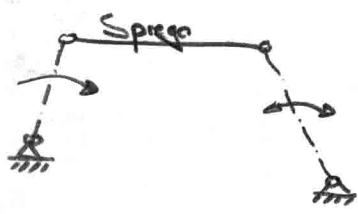
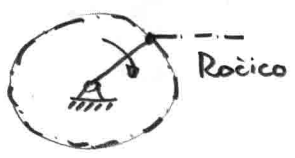
STROJ - skupino pomirno in nepomirno povezanih teles za opravljanje določene delo

- upravlja z prosti P, M in transformacija A
- prisotnost F
- vsak stroj je mehanizem

MOTOR - toplotno v mehaniko delo

KINEMATIČNA VERIGA - členi povezani med seboj
 - med seboj gibljiva telesa

• Sestavni deli različnih tipov melonizmov in različni tipi



Moljski križ (prekinjena gibanja za dolžem čas)

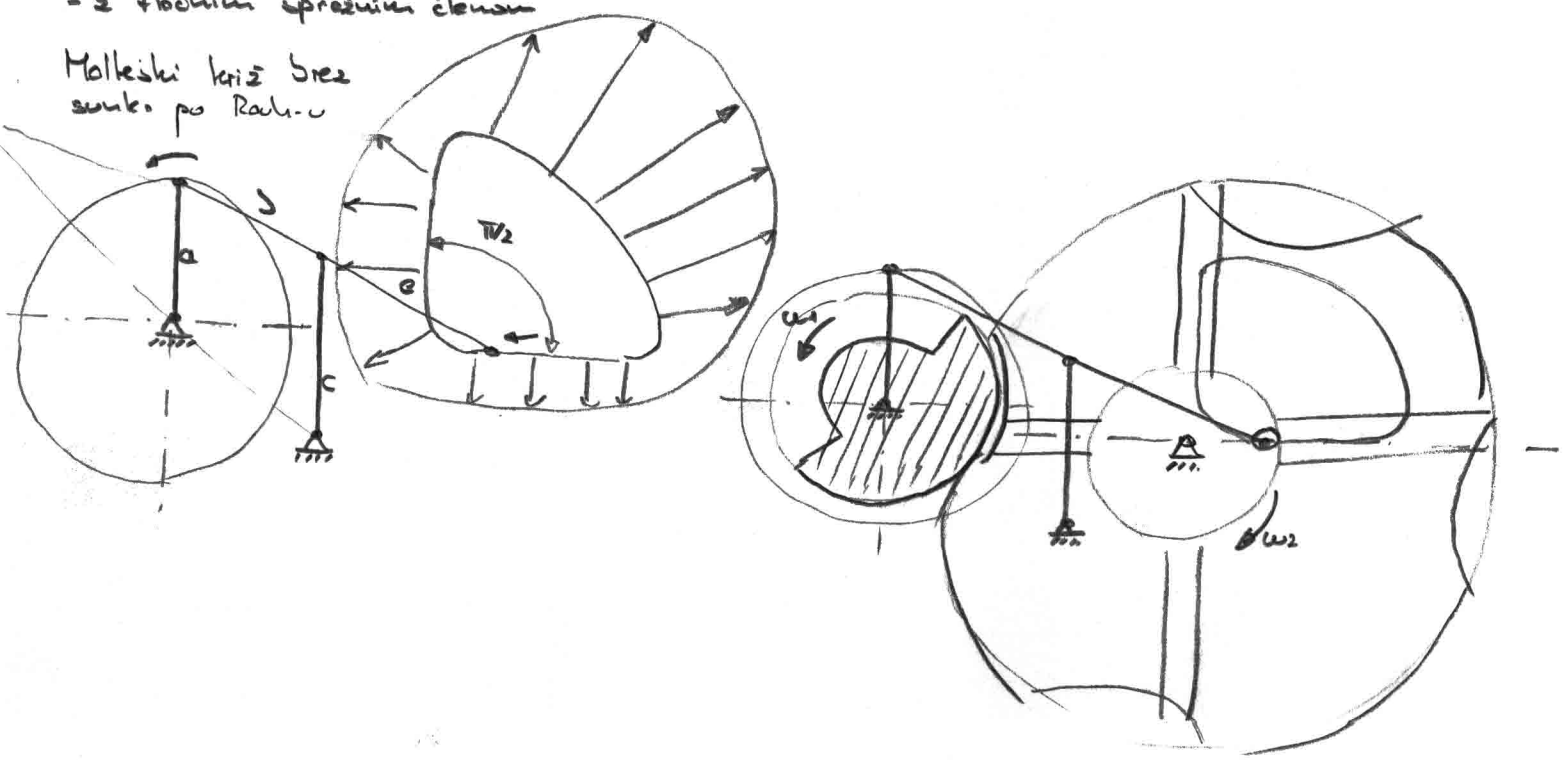
Kinematični člen je uradni sklep sprega - tega vez, "ročico"

- Evrazijski čl. Fazonni
- Dvojinski čl. Binorni
- Trojinski čl. Trinorni

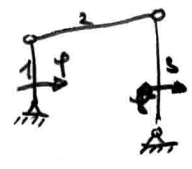
Melonizmi:

- ročični
- krivuljni
- zaporni in kuročni
- vijolični
- kolesni
- z kolesnim sprežnim členom
- z točnim sprežnim členom

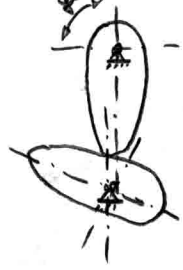
Moljski križ brez sunko po Rabi-u



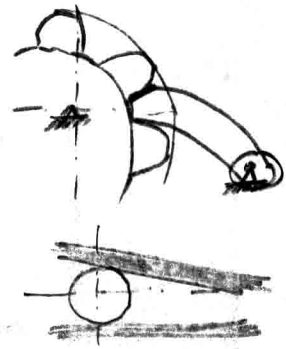
- Ročnici



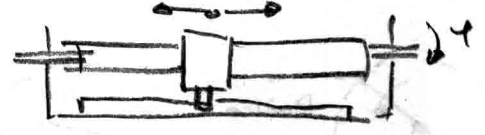
- križaljci



- zaptuni, kosočci

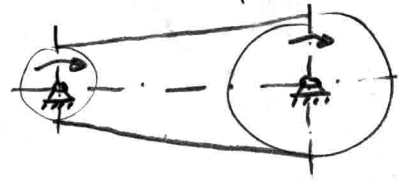


- vijčani

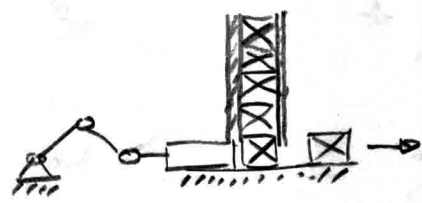


- kolosni
2 osi

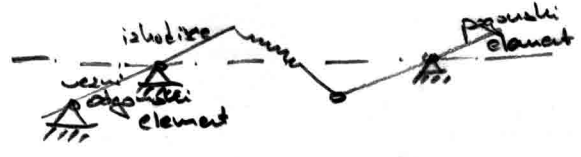
- 2 uokazni središnji deon



- s spremenljivo gibanje



- preklapani

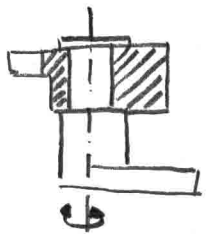


- Razdelitev udarcev:

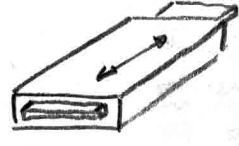
- Ravninski
 - vse točke opisujejo ravninske krivulje v prostoru
 - paralelne ravnine
- Krogelni
 - točke se gibljejo po krogelni plosčini
- Prostorski
 - ni gibljivih omejitev

• Kinematični pari (povezava dva zveša, členu) [višji redi - velika trojka]

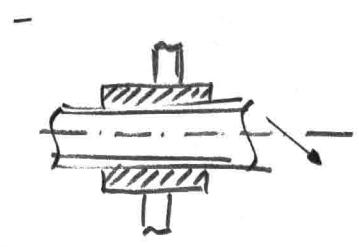
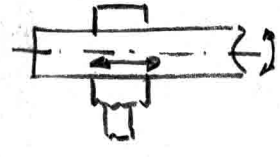
- Ponični zgib



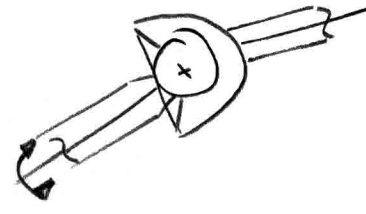
- Uzdolžni zgib



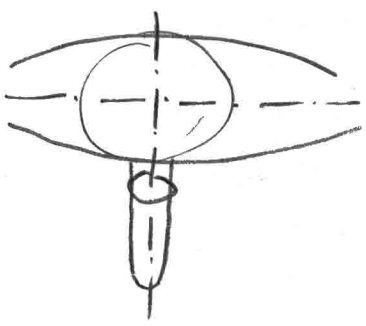
- kombinacija



- krogelni



- Visji red kinematičnih parov



- M21
- delujejo na površini
- valjasti
- točkasti, linijski stik
- ležaj
- velike obrabne
- obrobo, zračnost

- Število prostorskih stopenj

RAVNIŠKI MEHANIZMI

$$u = 3(u-1) - 2j_1 - j_2$$

$u = 0$ konstrukcija
 $u > 0$ u pogona
 $u < 0$ nedoločeno konstrukcija

PRUSTORSKI MEHANIZMI

$$u = 6(u-1) - 5j_1 - 4j_2 - 3j_3 - 2j_4 - j_5$$

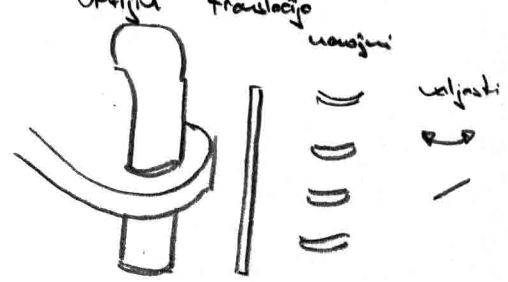
u ... št. p.s
 u ... št. elementov
 j_1 ... št. povezav z eno p.s
 j_2 ... št. povezav z dvema p.s

Primer:



$$u = 3(3-1) - 2 \cdot 3 = 6 - 6 = 0 \dots$$

Osnovni kinematični pari: (spoji - povezave)



Stopnja neodolo gibanja kinematičnega para - možnost relativnega gibanja obeh členov upraju drugemu

razred kp	Usta gibanja	stopnja neodolo	št. kin. pari upan
1	RT	1	5
2	R2 RT	2	4
3	R3 R2T RT2	3	3
4	R4T R2T2	4	2
5	R5 T2	5	1

• Prastastna stopnje, Gruberjevo pravilo

- RAVNINSKI MEHANIZMI

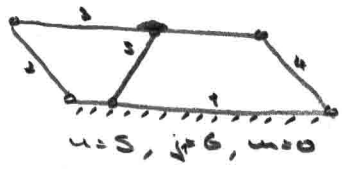
$$m = 3(n-1) - 2j_1 - j_2 \quad ; \quad m \geq 0, m > 0, m < 0$$

- PROSTORSKI MEHANIZEM

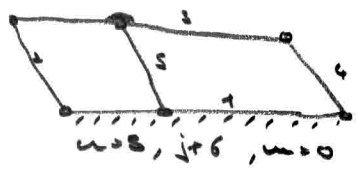
$$m = (n-1) - 5j_1 - 4j_2 - 3j_3 - 2j_4 - j_5$$

- NEUENAKOST GP

konstrukcije

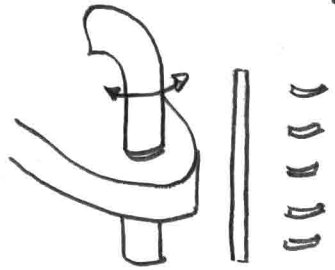


udalženem = 1 ps



- Prastastne stopnje (*kinemotični par)

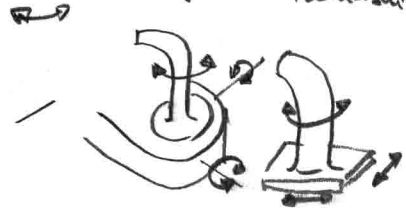
utrljivi transl. uoglni



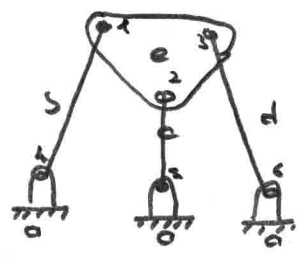
valjasti

krogelni

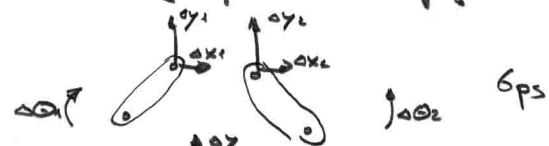
ravninski



- Posledni primer:



- Zmagnjenje prastastnih stopaj

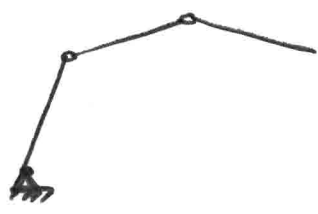


• kinematične verige

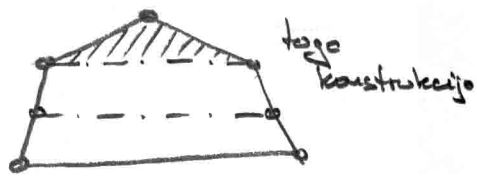
Kinematične verige - med seboj gibljivo položeno telesa

ZAPRTA - vsak element. kin. verige je povezan z vsaj še drugo drugima elementoma verige

ODPRTA VERIGA



ZAPRTA VERIGA

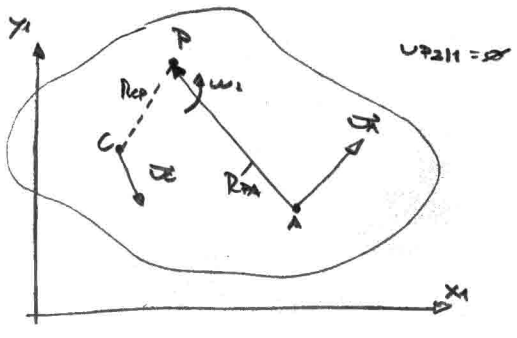


- Stopnje gibljivosti mehanizma → 5
- 7 → 5.

Določitev pol gibanja okoli katerega sistem rotira

POD HITRASTI - točka v prostoru, ki v danem trenutku miruje in okoli katere rotirajo vse točke telesa

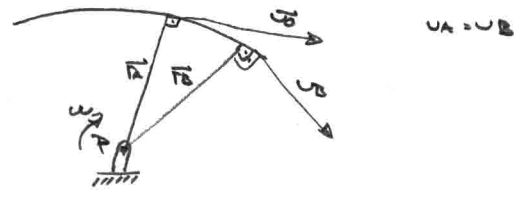
POD HITRASTI MEHANIZMA - točka v prostoru, v kateri je relativna hitrost med dvema elementarno mehanskima enotama σ (absolutni hitrosti obeh rotic mehanskega sistema)



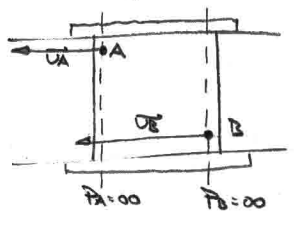
Vsako ravninsko gibanje telesa lahko ločimo na translacijo okoli trenutnega pola hitrosti:

$$\begin{aligned} u_A &= u_2 + \omega \times R_{PA} \\ u_B &= u_2 + \omega \times R_{PB} \end{aligned} \quad \left\{ \begin{aligned} |u_A| &= |R_{PA}| \cdot \omega \\ |u_B| &= |R_{PB}| \cdot \omega \end{aligned} \right. \quad R_{PA} = \frac{u_B \times u_A}{\omega^2}$$

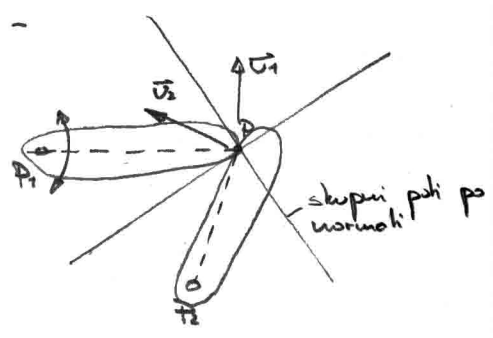
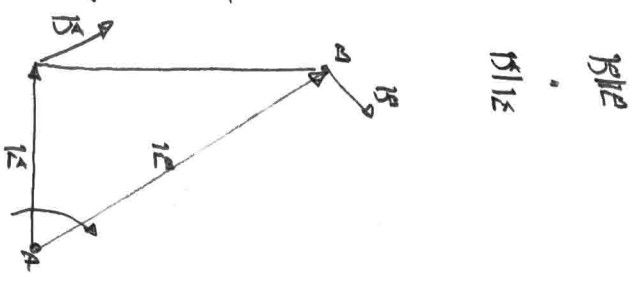
- Rotiranje



- Translacija

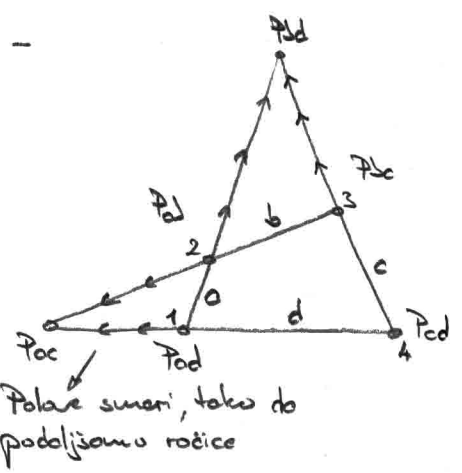
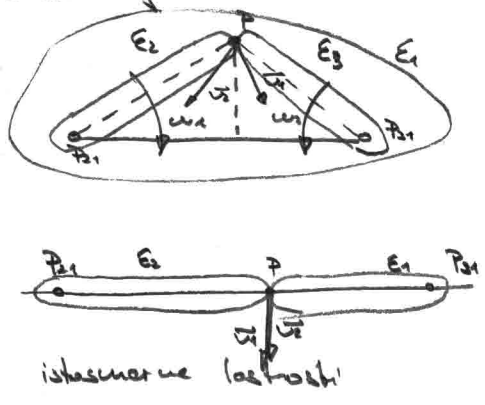


- Rotacije okoli ponikne osi



P... trenutni pol
P1,2... fiksni polo

- Kennedijev teorem



a b c d
P12 P23 P34
Pac Pbd
Pcd

↳ Število trenutnih polov $4ZM = 6$

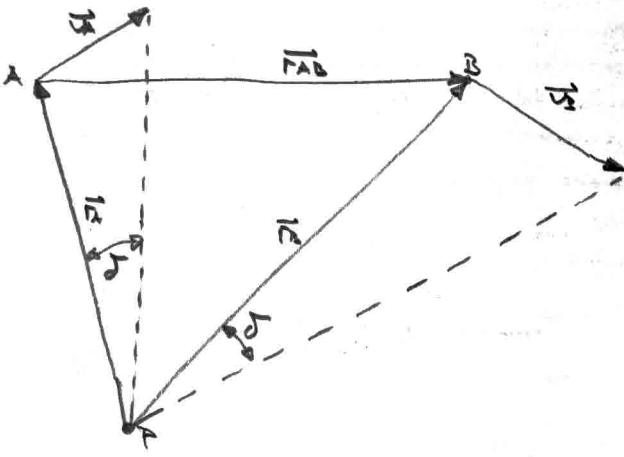
$p = \frac{n}{2} (n - 1)$; n... št. členov; p... št. polov; je... št. medsebojno gibanjih členov

↳ Število polovih smeri $4ZM = 4$

$q = \frac{n}{2} (n - 2)$

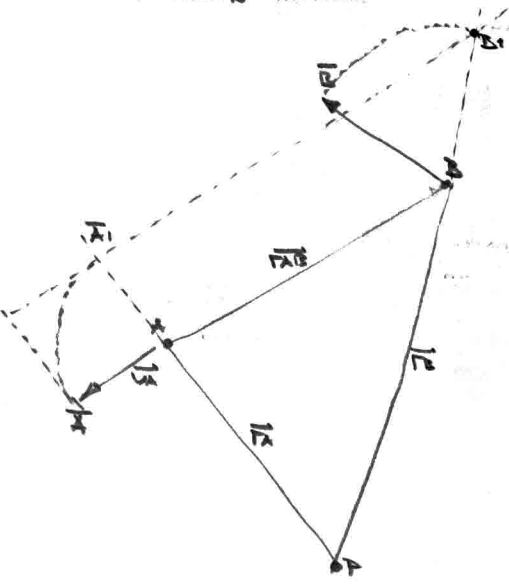
Kinematične točke

• METODA KOTA

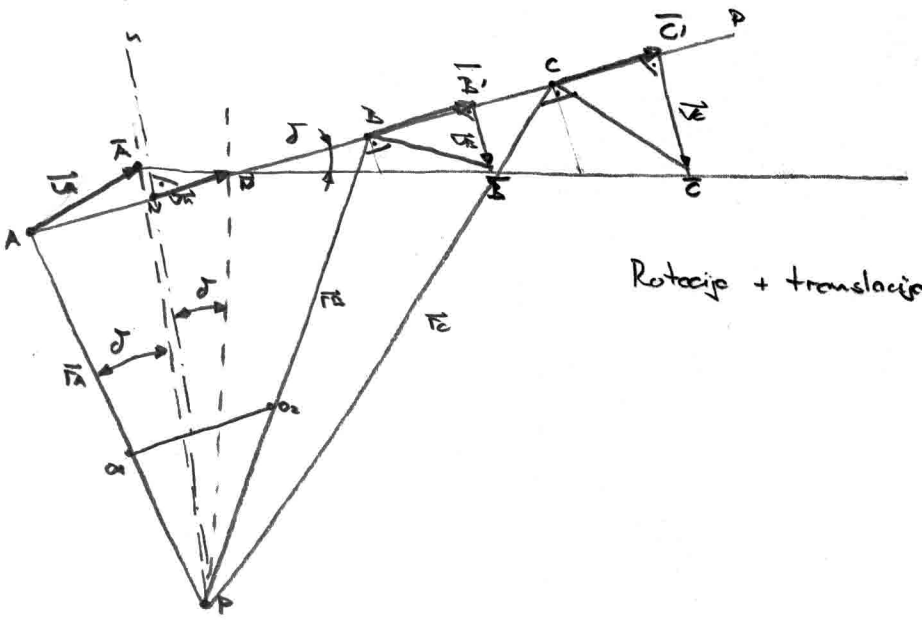


$\frac{v_B}{l_B} = \frac{v_A}{l_A}$
 - linearnost

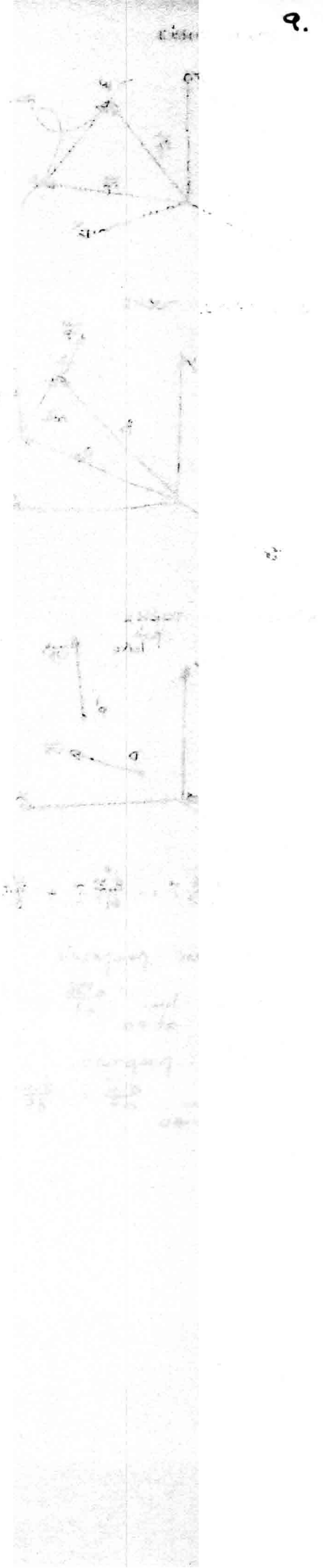
• METODA ORTOGONALNE HITROSTI



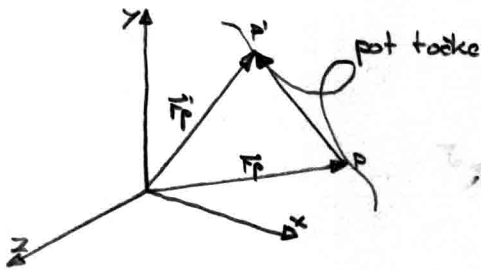
• METODA PROJEKCIJNE HITROSTI



Rotacije + translacije



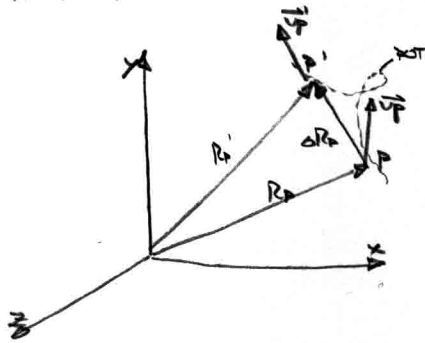
• POKREK TOČKE



$$\Delta R_P = R_{P'} - R_P$$

- Pomic točke v časovnem intervalu je enake položajni razliki točke na začetku in na koncu intervala, in v splošnem ni enake dolžini poti, ki jo točka opravi v tem časovnem intervalu.
- Lahko zagotovimo enake pospeške

• HITROST TOČKE



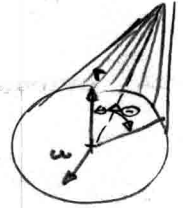
- Pomic $\Delta R_P = R_{P'} - R_P$
- SREDNJA HITROST $v_{\text{sr}} = \frac{\Delta R_P}{\Delta t}$

- Trenutna hitrost translacije

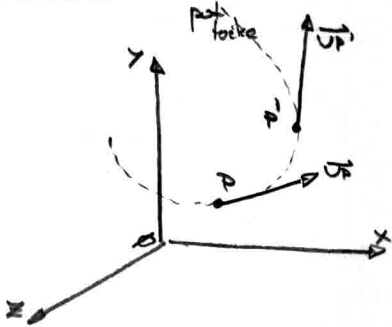
$$v_P = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta R_P}{\Delta t} = \frac{dR_P}{dt} = \frac{dx}{dt} \mathbf{i} + \frac{dy}{dt} \mathbf{j} + \frac{dz}{dt} \mathbf{k}$$

$$v_P = \dot{x} \mathbf{i} + \dot{y} \mathbf{j} + \dot{z} \mathbf{k}$$

- Trenutna kotna hitrost
- $$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt} \cdot \mathbf{e}$$



• POSPESEK TOČKE



- Razlika hitrosti $\Delta v_P = v_{P'} - v_P$
- Srednji pospešek $\Delta A_{\text{sr}} = \frac{\Delta v_P}{\Delta t}$

$$- A_P = \frac{d^2x}{dt^2} \mathbf{i} + \frac{d^2y}{dt^2} \mathbf{j} + \frac{d^2z}{dt^2} \mathbf{k} = \ddot{x} \mathbf{i} + \ddot{y} \mathbf{j} + \ddot{z} \mathbf{k}$$

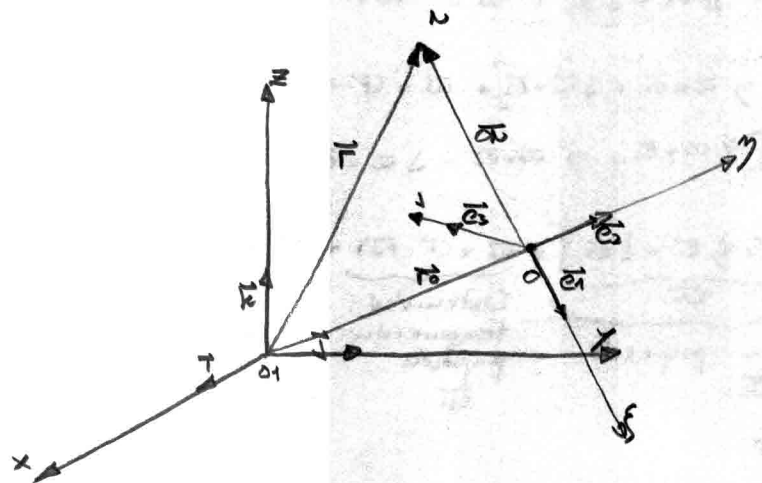
- Trenutni pospešek

$$A_P = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v_P}{\Delta t} = \frac{dv_P}{dt} = \frac{d^2R_P}{dt^2}$$

- kotni pospešek

$$\alpha = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt} = \dot{\omega} = \ddot{\theta} \cdot \mathbf{e}$$

• Rotaciona gibanje

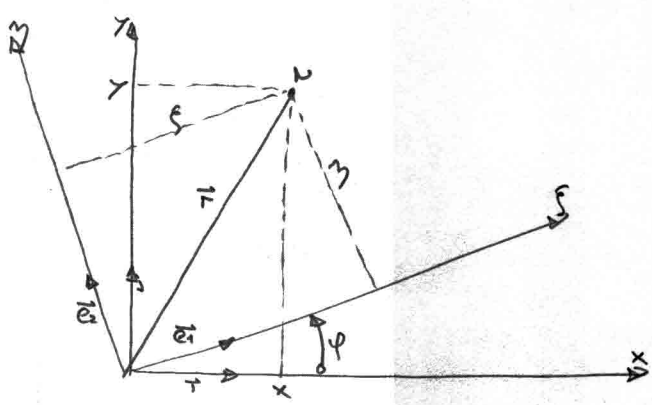


ξ, η, \dots ... gibanje u k.s.
 ω_1, \dots ... enotni vektori sa koeficijentima u osnovne konstante

- Absolutna hitrost v ω
- Relativna hitrost v_0 ω_0
- Sistemska hitrost v_s ω_s

Zapis = kojarani vektori
 $r = \{x, y, z\}^T$
 $r_0 = \{x_0, y_0, z_0\}^T$
 $or = \xi e_1 + \eta e_2 + \lambda e_3$
 $r = r_0 + or$
 $v = \frac{d}{dt}(r_0 + or) = \frac{dr_0}{dt} + \frac{d}{dt}[\xi e_1 + \eta e_2 + \lambda e_3]$
 $v = \frac{dx_0}{dt} i + \frac{dy_0}{dt} j + \frac{dz_0}{dt} k + \frac{d\xi}{dt} e_1 + \xi \frac{de_1}{dt} + \frac{d\eta}{dt} e_2 + \eta \frac{de_2}{dt} + \frac{d\lambda}{dt} e_3 + \lambda \frac{de_3}{dt}$

- Zasuk k.s.



$e_1 = e_2 \times e_3$
 $e_2 = e_3 \times e_1$
 $\frac{d(e_1)}{dt} = \omega \times e_1$
 $\frac{d(e_2)}{dt} = \omega \times e_2$
 $\frac{d(e_3)}{dt} = \omega \times e_3$

- $i e_1 = \cos \varphi$
 $j e_1 = \cos(\pi/2 - \varphi) = \sin \varphi$
 $e_1 e_2 = \cos \pi/2 = 0$
 - $i e_2 = \cos(\pi/2 + \varphi) = -\sin \varphi$
 $j e_2 = \cos \varphi$
 $r = \xi e_1 + \eta e_2 = x i + y j$
 - $\xi = x i e_1 + y j e_1$; $\eta = x i e_2 + y j e_2$
 $\xi = x \cos \varphi + y \sin \varphi$; $\eta = -x \sin \varphi + y \cos \varphi$

- Rotaciona matrica $x, y \rightarrow \xi, \eta$ - Ortogonalna rot M [R]
 $\begin{Bmatrix} \xi \\ \eta \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi \\ -\sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x \\ y \end{Bmatrix}$
 $\begin{Bmatrix} \xi \\ \eta \end{Bmatrix} = [R] \begin{Bmatrix} x \\ y \end{Bmatrix}$

- $e_1 = \cos \varphi i + \sin \varphi j$
 $e_2 = -\sin \varphi i + \cos \varphi j$
 $\frac{de_1}{dt} = \omega \times e_1$
 $\frac{de_2}{dt} = \omega \times e_2$

$\frac{dr}{dt} = \omega \times r$
 $v = \omega \times r = \omega \times (\xi e_1 + \eta e_2 + \lambda e_3) = \omega \times (\xi e_1 + \eta e_2) + \lambda \omega \times e_3$
 $\frac{dr}{dt} = \omega \times r + \frac{dr_0}{dt}$
 $v = \omega \times r + v_0$
 $v = \omega \times (r - r_0) + v_0$

$\omega = \frac{d\varphi}{dt} \rightarrow v = \xi e_1 + \eta e_2 + \lambda e_3$ Rel.V
 $v_s = \omega \times (r - r_0)$ Sist.V = Tangencijalna hitrost

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \dot{r}\vec{e}_r + r\dot{\theta}\vec{e}_\theta + \dot{z}\vec{e}_z + r\dot{\phi}\vec{e}_\phi + \dot{r}\dot{\phi}\vec{e}_\theta - r\dot{\phi}\dot{\theta}\vec{e}_r + \dot{z}\dot{\phi}\vec{e}_\phi + \dot{r}\dot{\phi}\dot{\theta}\vec{e}_\theta + \dot{z}\dot{\phi}\dot{\theta}\vec{e}_r + \dot{z}\dot{\phi}\dot{\theta}\vec{e}_\phi + \dot{z}\dot{\phi}\dot{\theta}\vec{e}_r + \dot{z}\dot{\phi}\dot{\theta}\vec{e}_\theta + \dot{z}\dot{\phi}\dot{\theta}\vec{e}_\phi + \dots$$

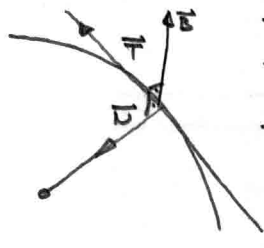
$$\vec{v} = \dot{r}\vec{e}_r + r\dot{\theta}\vec{e}_\theta + \dot{z}\vec{e}_z + [r\dot{\phi}\vec{e}_\theta + \dot{r}\dot{\phi}\vec{e}_\theta + \dot{z}\dot{\phi}\vec{e}_\phi] + \dot{z}\dot{\phi}\dot{\theta}\vec{e}_r + \dot{z}\dot{\phi}\dot{\theta}\vec{e}_\theta + \dot{z}\dot{\phi}\dot{\theta}\vec{e}_\phi + \dot{z}\dot{\phi}\dot{\theta}\vec{e}_r + \dot{z}\dot{\phi}\dot{\theta}\vec{e}_\theta + \dot{z}\dot{\phi}\dot{\theta}\vec{e}_\phi$$

$$\vec{v} = \dot{r}\vec{e}_r + \underbrace{[r\dot{\theta}\vec{e}_\theta + \dot{z}\dot{\phi}\vec{e}_\phi]}_{\text{Relativni poposelek } \vec{v}_R} + \underbrace{2\dot{z}\dot{\phi}\vec{e}_\theta + \dot{r}\dot{\phi}\vec{e}_\theta + \dot{z}\dot{\phi}\vec{e}_\phi}_{\text{Coriolisov poposelek } \vec{v}_C} + \underbrace{\dot{z}\dot{\phi}\dot{\theta}\vec{e}_r + \dot{z}\dot{\phi}\dot{\theta}\vec{e}_\theta + \dot{z}\dot{\phi}\dot{\theta}\vec{e}_\phi}_{\text{Sistemski tangencialni poposelek } \vec{v}_T} + \underbrace{\dot{z}\dot{\phi}\dot{\theta}\vec{e}_r + \dot{z}\dot{\phi}\dot{\theta}\vec{e}_\theta + \dot{z}\dot{\phi}\dot{\theta}\vec{e}_\phi}_{\text{Sistemski normalni poposelek } \vec{v}_N}$$

$$\vec{a}_0 = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

$$2\vec{\omega} \times \vec{v}_R$$

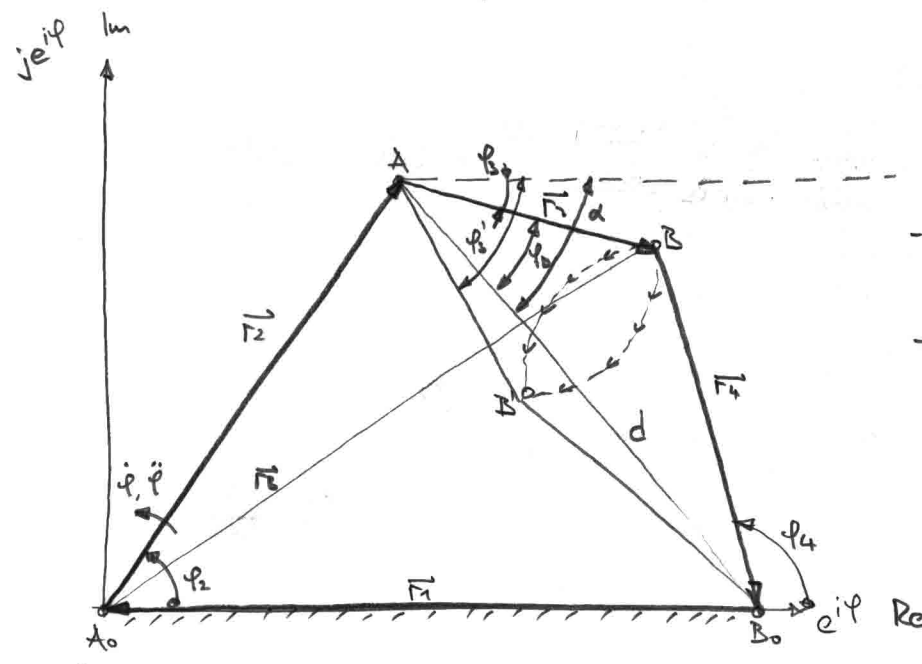
- PRITESAVNA OSKULACIJSKA PRAVINA



- $v = v \vec{T}$
- radius torite tangento in normalo
- poposele leži enotraj

- Vredno krivostno gibanje ima poposele
- $\vec{v}_R = \frac{d\vec{v}}{dt}$ $\vec{a}_0 = \frac{d\vec{v}}{dt}$
- Sistem rotira in ima relativno hitrost
 - ↳ Coriolisov poposelek
 - ↳ vel. kotne in relativne hitrosti količimo, da se \vec{a}_0 ne pojavi pri rel. g'.

• Hitrost in pospežkovne razmere pri 4 zglednem mehanizmu v kompleksni ravnini



- Fazne: $\vec{r}_1, \vec{r}_2, \vec{r}_3, \vec{r}_4$
- Lige: φ_2, φ_3 ali φ_4

- $e^{i\varphi} = \cos\varphi + i\sin\varphi$
- $\vec{a} = a \cdot e^{i\varphi} = a\cos\varphi + ai\sin\varphi = a\vec{x} + a\vec{y}$
- $e^{i\varphi} \circ e^{i\psi} = e^{i(\varphi+\psi)}$
- $i = \sqrt{-1} \rightarrow \text{za } \pi/2; i e^{i\varphi} = i(\cos\varphi + i\sin\varphi) = i\cos\varphi - \sin\varphi = e^{i(\varphi+\pi/2)}$
- $\cos(\pi/2 + \varphi) = -\sin\varphi; \sin(\pi/2 + \varphi) = \cos\varphi; i(i e^{i\varphi}) = i^2 e^{i\varphi} = -e^{i\varphi} = e^{i(\varphi+\pi)}$
- $e^{i\varphi} \cdot e^{-i\varphi} = 1$

$\vec{r} = r e^{i\varphi}$

- Hitrost

$\vec{v} = \frac{d}{dt}(r e^{i\varphi}) = \dot{r} e^{i\varphi} + r i \dot{\varphi} e^{i\varphi}$

- Pospešek

$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d}{dt}(\dot{r} e^{i\varphi} + r i \dot{\varphi} e^{i\varphi}) = \ddot{r} e^{i\varphi} + \dot{r} i \dot{\varphi} e^{i\varphi} + \dot{r} i \dot{\varphi} e^{i\varphi} + r i \ddot{\varphi} e^{i\varphi} + r i \dot{\varphi} i \dot{\varphi} e^{i\varphi} = e^{i\varphi}(\ddot{r} - r \dot{\varphi}^2) + i e^{i\varphi}(2\dot{r}\dot{\varphi} + r\ddot{\varphi})$

$\vec{a} = \vec{a}_r + \vec{a}_c = [\text{radialni} + \text{kompleksni}] del$

- kot φ_2 odprava Δ

lokogami vektor \vec{B} opiše elipso

$\vec{B} = r_2 e^{i\varphi_2} + r_3 e^{i\varphi_3} = \vec{r}_1 + r_4 e^{i\varphi}$

↳ Diagonala Δ

$\vec{r}_1 = r_2 e^{i\varphi_2} + d e^{i\varphi}$

$d e^{i\varphi} = \vec{r}_1 - r_2 e^{i\varphi_2}; (d e^{i\varphi})(d e^{-i\varphi}) = (\vec{r}_1 - r_2 e^{i\varphi_2})(\vec{r}_1 - r_2 e^{-i\varphi_2})$

$d = \sqrt{r_1^2 + r_2^2 - 2 r_1 r_2 \cos\varphi_2}$

$$-r_2 e^{i\phi_2} = r_1 - d e^{i\phi_1}$$

$$r_2 (\cos \phi_2 + i \sin \phi_2) = r_1 - d (\cos \phi_1 + i \sin \phi_1)$$

$$r_2 \cos \phi_2 = r_1 - d \cos \phi_1 \quad \text{Re}$$

$$r_2 \sin \phi_2 = -d \sin \phi_1 \quad \text{Im}$$

$$\rightarrow \cos \phi_1 = \frac{-r_2 \cos \phi_2 - r_1}{d}$$

$$\rightarrow \sin \phi_1 = \frac{-r_2 \sin \phi_2}{d}$$

$$\phi_1 = \arctan \left(\frac{-r_2 \sin \phi_2}{-r_2 \cos \phi_2 - r_1} \right)$$

$$-r_2 e^{i\phi_2} = d e^{i\phi_1} + r_4 e^{i\phi_4}$$

$$r_2 (\cos \phi_2 - i \sin \phi_2) = d (\cos \phi_1 - i \sin \phi_1) + r_4 (\cos \phi_4 - i \sin \phi_4)$$

$$r_2 \cos \phi_2 = d \cos \phi_1 + r_4 \cos \phi_4 \quad \text{Re}$$

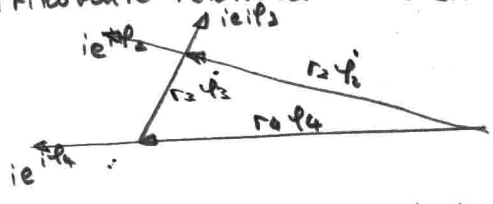
$$-r_2 \sin \phi_2 = -d \sin \phi_1 - r_4 \sin \phi_4 \quad \text{Im}$$

Positiv system erford! $\frac{AD}{AB} = \frac{AD'}{A'B'}$

• Hitrostne razmere 4 - zgidnega mehhanizma

$\frac{d}{dt}(r e^{i\varphi}) = \dot{r} e^{i\varphi} + r i \dot{\varphi} e^{i\varphi}$

- Trikotnik relativnosti hitrosti



$r_2 \dot{\varphi}_2 e^{i\varphi_2} + r_3 \dot{\varphi}_3 e^{i\varphi_3} = r_4 \dot{\varphi}_4 e^{i\varphi_4}$

$r_2 \dot{\varphi}_2 i (\cos \varphi_2 - i \sin \varphi_2) + r_3 \dot{\varphi}_3 i (\cos \varphi_3 - i \sin \varphi_3) = r_4 \dot{\varphi}_4 i (\cos \varphi_4 - i \sin \varphi_4)$

$r_2 \dot{\varphi}_2 \sin \varphi_2 + r_3 \dot{\varphi}_3 \sin \varphi_3 = r_4 \dot{\varphi}_4 \sin \varphi_4$

$r_2 \dot{\varphi}_2 \cos \varphi_2 + r_3 \dot{\varphi}_3 \cos \varphi_3 = r_4 \dot{\varphi}_4 \cos \varphi_4$

Re $\rightarrow \dot{\varphi}_3 = \dot{\varphi}_2 \frac{r_4 r_2}{r_3 r_4} \frac{\sin(\varphi_4 - \varphi_2)}{\sin(\varphi_4 - \varphi_3)}$
Im

PODPISKI

$r_2 \ddot{\varphi}_2 (i e^{i\varphi_2}) + r_2 \dot{\varphi}_2^2 (-e^{i\varphi_2}) + r_3 \ddot{\varphi}_3 (i e^{i\varphi_3}) + r_3 \dot{\varphi}_3^2 (-e^{i\varphi_3}) = r_4 \dot{\varphi}_4 (i \dot{\varphi}_4) + r_4 \dot{\varphi}_4^2 (-e^{i\varphi_4})$

↳ Re B
↳ Im A

$\dot{\varphi}_3 = -\frac{1}{r_3} \frac{A \cos \varphi_4 + B \sin \varphi_4}{\sin(\varphi_3 - \varphi_4)}$

Usi elementi so tega kolesa in je zato prvi odred u robni hitrosti

• Pristopovaje s pomočjo matrik / Matrične metode

- Prostorski uvelovitev = rotat
- 2 pristopa rotativnega gibanja:

I. - ortogonalne rotacijske matrike (Eulerovi koti)

II. - homogeno transformacijske matrike po Denavit - Hartenbergu

I. φ rotacijski
 ψ precesijski
 α rotacijski

- 3 x zankino ravni

$$\begin{Bmatrix} x \\ y \\ z \end{Bmatrix} = [R_x] [R_y] [R_z] \begin{Bmatrix} x \\ y \\ z \end{Bmatrix}$$

↔ matrična transformacija ↔

$[R]^{-1} = [R]^T$; Produkt upisemo slike

- Baze rotacijske matrike opisajo rotacijo katerekoli vektorja združenega s togih telesu
- Z ujnimi koraki ne ostale končne rotacije

- Primer: $\begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \end{Bmatrix}$

- končni položaji vektorjev so matrični produkti

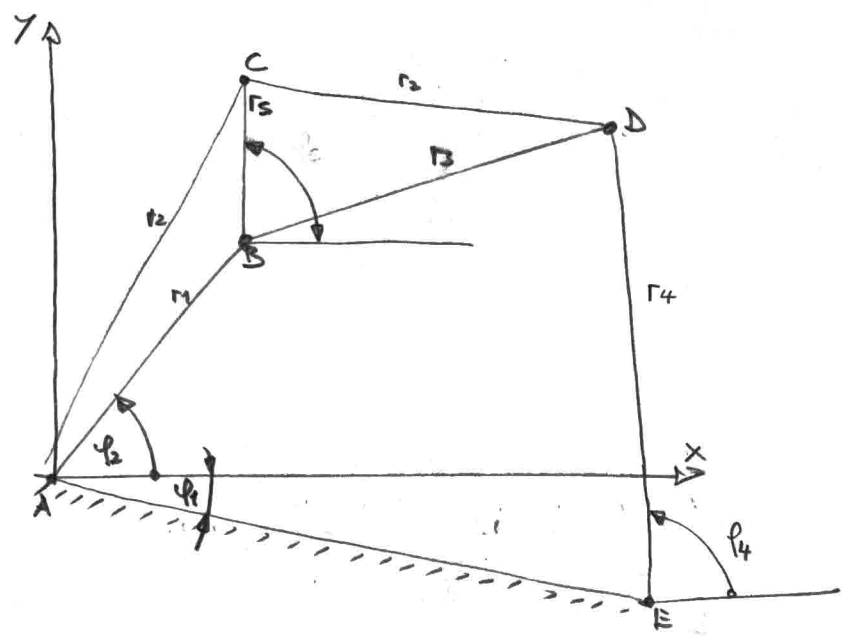
II. Homogeno transformacijske matrike - ravninske matrike pomilek

$$\begin{Bmatrix} q_x \\ q_y \\ 1 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [R_\varphi] & \{p\} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} q_{1x} \\ q_{1y} \\ 1 \end{Bmatrix}$$

→ Primer

$$\hookrightarrow \begin{Bmatrix} \{q\} \\ 1 \end{Bmatrix} = [D] \begin{Bmatrix} \{q_1\} \\ 1 \end{Bmatrix}$$

• Dinamično analizo štiričlunega mehanizma



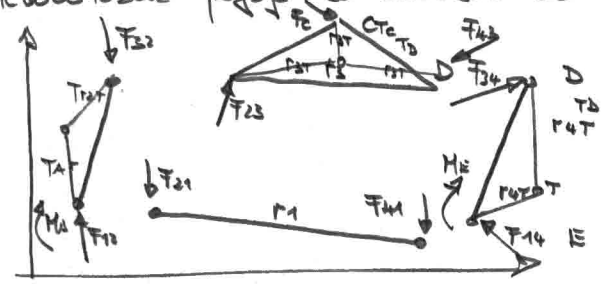
Podano: $l_1, l_2, r_1, r_2, r_3, r_4, r_5; r_5 = r_2 + l_2$
 Določimo: $\dot{\phi}_3, \dot{\phi}_4, \dot{\phi}_5 = \dot{\phi}_3 + \dot{\phi}_4$

NEWTON - EULERJEVA METODA

$$\sum F_i = m_i a_i \quad R_{sil}$$

$$\sum r_{ij} \dot{\omega}^j \times F_j + \sum M_k = \dot{L}_i + \alpha_i \quad R_{momenti}$$

Ravnokotno gibanje, če uveljavimo na kolesce kolo



ROČICA 2

Obravnava: $M_A, F_{12}, F_{32}, F_{32}$

Vektorsko odlika: $F_{12} + F_{32} + F_{32} = m_2 a_{2T}$
 $F_{32} = -F_{23}; F_{32} = m_2 g$

Momentna en: $r_{2T} \times F_{12} + r_{2T} \times F_{32} + M_A = J_{2T} \alpha_2$

Skalarne odlika: $F_{12} x - F_{32} x - m_2 g = m_2 a_{2T}$
 $F_{12} y_A - F_{32} y - m_2 g = m_2 a_{2T} y$
 $(r_{2T} x F_{12} y - r_{2T} y F_{12} x) - (r_{2T} x F_{32} y - r_{2T} y F_{32} x) + M_A = J_{2T} \dot{\phi}_2$

ROČICA 3

O₃: $F_{23}, F_{43}, F_C, F_{33}$

vekt. odlika: $F_{23} + F_{43} + F_C + F_{33} = m_3 a_{3T}$
 $r_{3T} \times F_{23} + r_{3T} \times F_C + r_{3T} \times F_{43} = J_{3T} \alpha_3$
 $F_{43} = -F_{34}; F_{33} = m_3 g$

Skal. odlika: $F_{23} x - F_C x + F_{34} x = m_3 a_{3T} x$
 $F_{23} y - F_C y + m_3 g - F_{34} = m_3 a_{3T} y$
 $(r_{3T} x F_{23} y - r_{3T} y F_{23} x) = J_{3T} \dot{\phi}_3$

ROČICA 4

O: $M_E, F_{14}, F_{34}, F_{34}$

U: $F_{14} + F_{34} + F_{34} = m_4 a_{4T}$
 $r_{4T} \times F_{14} + r_{4T} \times F_{34} + M_E = J_{4T} \alpha_4$
 $F_{34} = m_4 g; F_{14} = -F_{41}$

S0: $-F_{41} x + F_{34} x = m_4 a_{4T} x$
 $-F_{41} y + F_{34} y - m_4 g = m_4 a_{4T} y$
 $-(r_{4T} x F_{41} y - r_{4T} y F_{41} x) + (r_{4T} x F_{34} y - r_{4T} y F_{34} x) + M_E = J_{4T} \dot{\phi}_4$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{12} \\ F_{27} \\ F_{23} \\ F_{23} y \\ F_{34} x \\ F_{34} y \\ F_{41} x \\ F_{41} y \\ M_E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_2 a_{2T} \\ m_2 (a_{2T} y + g) \\ \dots \\ \dots \end{bmatrix}$$

Uramotzavanje mehazimov ročičnih

① - Pri rot. gđ. teleso ali sistema teles lahko pride do neujemaje simetrijske in trenutke osi
 - To povzroči dodatne sile (notenje) oziroma odtrenutke. Cilj je minimiziranje teh odtrenutkov

② - Pri ravniškem gibanju se notenje sile pojavijo zaradi nesoupadajo težišče telesa z osjo rotacije.
 - Pojav se odstrani sli pospešeno težišče

③ - Če so rot. telesa povezana v nek sistem rotirajočih teles, potem vsako telo katerega težišče ne ustrepa z rotacijsko osjo rotirajočih tela pripisemo k nastanku tela sil

- skupno težišče naj se ne premika
- 2 stat. ravnotežna pogoja

$$\sum F_i = 0; \sum M_i = 0$$

- Lega težišče rotirajočih teles (se)

$$r_{2T} = r_{2T}^{TA} e^{i(\varphi_2 + \varphi_{2T})}$$

$$r_{3T} = r_2 e^{i\varphi_2} + r_{3T}^{TB} e^{i(\varphi_3 + \varphi_{3T})}$$

$$r_{4T} = r_1 e^{i\varphi_1} + r_{4T}^{TE} e^{i(\varphi_4 + \varphi_{4T})}$$

- Celotni masni moment obli izhodišča nepomičnega k.s.

$$M_{TT} = \sum_{i=2}^4 m_i r_{iT} = m_2 r_{2T} + m_3 r_{3T} + m_4 r_{4T}$$

$$r_T = \frac{\sum_{i=2}^4 m_i v_{iT}}{\sum_{i=2}^4 m_i}$$

- Skupna masa 4ZM

$$m_T = \sum_{i=2}^4 m_i = m_2 + m_3 + m_4$$

- Lega teile ustaino v celotno enoto in lahko spremljamo p +

$$M_{TT} = (m_4 r_1 e^{i\varphi_1}) + (m_2 r_{2T}^{TA} e^{i\varphi_{2T}} + m_3 r_2) e^{i\varphi_2} + (m_3 r_{3T}^{TB} e^{i\varphi_{3T}}) e^{i\varphi_3} + (m_4 r_{4T}^{TE} e^{i\varphi_{4T}}) e^{i\varphi_4}$$

iz zaključene vektorske zanke

$$r_2 e^{i\varphi_2} + r_3 e^{i\varphi_3} - r_4 e^{i\varphi_4} - r_1 e^{i\varphi_1} = 0$$

$$M_{TT} = (m_2 r_2^{TE} e^{i\varphi_{2T}} + m_2 v_2 - m_3 r_{3T}^{TB} \frac{r_2}{r_3} e^{i\varphi_{3T}}) e^{i\varphi_2} + (m_4 r_4^{TE} e^{i\varphi_{4T}} + m_3 r_{3T}^{TB} \frac{r_4}{r_3} e^{i\varphi_{3T}}) e^{i\varphi_4} + m_4 r_1 e^{i\varphi_1} + m_3 r_{3T}^{TB} \frac{r_1}{r_3} e^{i\varphi_{3T}} e^{i\varphi_1}$$

$$\rightarrow m_2 r_{2T}^{TA} e^{i\varphi_{2T}} = m_3 (r_2 - r_{3T}^{TB} \frac{r_2}{r_3} e^{i\varphi_{3T}})$$

$$m_4 r_{4T}^{TE} e^{i\varphi_{4T}} = m_3 r_3 \frac{r_4}{r_3} e^{i\varphi_{3T}}$$

Določimo da produkti, ki opredelijo rotacijske gibe

- Notenje odtrenutni moment 4ZM + konstanta lega težišče

$$M_H = -r_A + r_1 \times F_{41}$$

• Razlike rotični - krmiljni mehanizmi

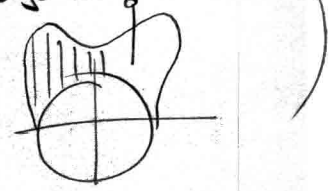
KRIVULJNI MEHANIZMI
PREDNOSTI

- imajo manj kin. parov
- z obliko krivulje blizu dosežemo vse možne oblike gibanja
- enostavni mehanizmi
- malo delov, univerzalni
- zadržujejo malo prostora
- prevažajo gibanje ne glede na vrsto transformacije (ultraš, poti, pospeško)
- racionalnejše izvedbe

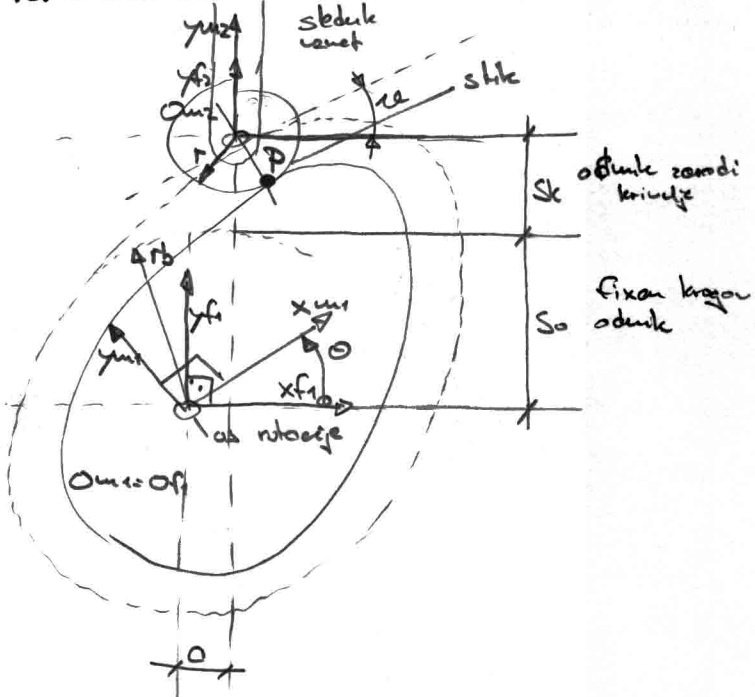
- regulacije (motorji)
- upravljanje
- pogone

SLABOSTI

- visji kinematični pari
- stiki so točkasti ali linijski (na površini) zato robino druge materialne in oblike
- običajno spremanj tiste gibanja in poveč. dimenzij
- za bolj usmerjene sisteme
- gibanje odvisno od dolžine člena



• Kinematika melonizovan



- konstantno kotno hitrost
 $\phi = \omega t$

- Holaravnino vez, vez hi je odvisno od koordinat točk in časa

$r^{u_2} = T_{21} r^{u_1}$

$T_{21} = \begin{pmatrix} c\phi & s\phi & 0 & c\phi + (s_k + s_o)\phi \\ -s\phi & c\phi & -\phi & s\phi + (s_k + s_o)\phi \\ 0 & 0 & -\phi & 1 \end{pmatrix}$ metrika transform.

- Aukuloborno vez, vez odvisna od koordinat točk, hitrosti, časa

$r_p^{u_1} \cdot v_r = (c\psi \ s\psi) \begin{vmatrix} -\omega (s_k + s_o + r s\psi) \\ \omega (r + r_0 c\psi - s_k) \end{vmatrix} = \dots$

$s_o^2 = r_b^2 + o^2$

- Če poznamo R_b, o, r definiramo koordinate točke

$x^{u_2} = r c(\psi - \phi) + o c\phi + (s_k + s_o) s\phi$

$y^{u_2} = r s(\psi - \phi) + o s\phi + (s_k + s_o) c\phi$

$s_k = x^{u_2} s\phi + y^{u_2} c\phi - r \sin \psi - s_o$

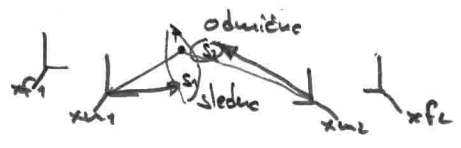
$r^{u_1} = [x^{u_1} \ y^{u_1} \ z^{u_1}]^T = f(\psi, \phi)$

$r^{u_2} = [x^{u_2} \ y^{u_2} \ z^{u_2}]^T = g(\psi, \phi)$

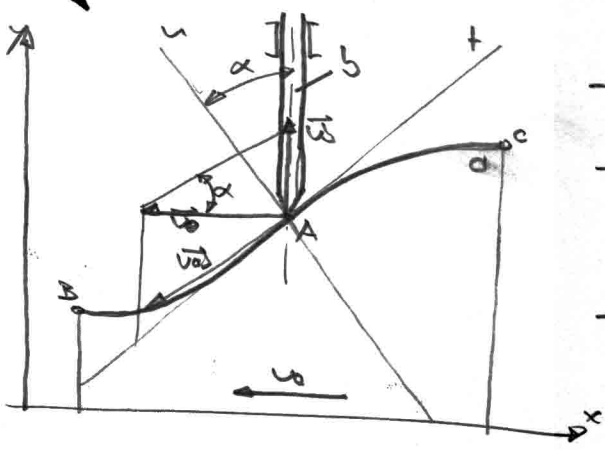
$r^{u_1} = f(\psi, \phi)$

$r^{u_2} = g(\psi, \phi) ; \psi, \phi \dots f(\psi)$

- vsak člen teke zohlevan stik



• Krivljini melonizovan - konstantno hitrost



$v_b = v_0 \tan \alpha$

- Kljub $v_0 = \text{konst}$ se v_b spreminja neenakomerno, ker se spreminja kot tangente v_0 odvisni zgoradi.

- Ukrepljenost dela lesane

• Zokoni gidoje kriuljeh motoriziro

- PARABOLIČNA OBLIKA

$y = A\theta^2 + B\theta + C$ kriuljo panko

$y' = 2A\theta + B$ strmino

$y'' = 2A$ ukrivljenost

$y''' = 0$ Δ ukrivljenosti

"put, hitrost, pospešek, smek"

- Redni pogoji

$0 = B/2$

$y(0) = y'(0) = 0$

$y(B/2) = L/2$

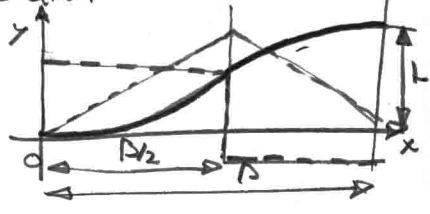
$B/2 = B$

$y'(B/2) = 2L/B$

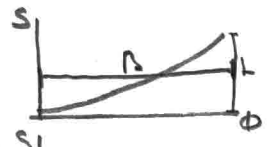
$y(B) = L$

- Eneče iz y in konstant

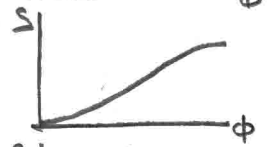
- Graf



- CIKLOIDNA OBLIKA



$S = L \left(\frac{\phi}{B} - \frac{1}{\pi} \sin \pi \frac{\phi}{B} \right)$



$v = \frac{L}{B} \left(1 - \cos \pi \frac{\phi}{B} \right)$



$A = \frac{\pi L}{B^2} \left(\sin \pi \frac{\phi}{B} \right)$