Mechanika II
Kinematika

PTE, MŰSZAKI ÉS INFORMATIKAI KAR

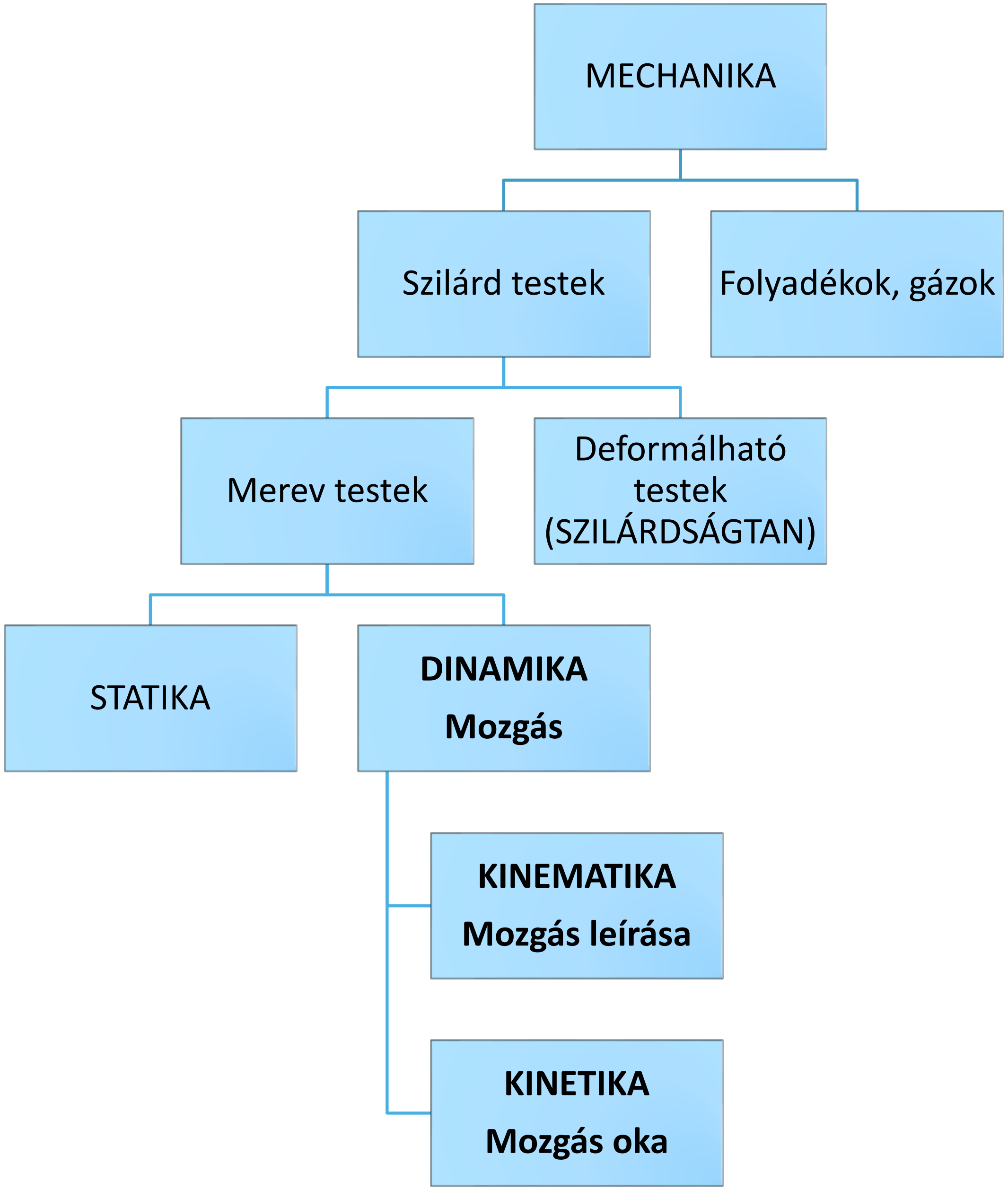
ÉPÍTŐMÉRNÖKI BSc

2018-2019 őszi szemeszter

KINEMATIKA

Anyagi pont kinematikája	Anyagi pont, Mozgástörvény, Példák speciális mozgásokra (egyenes vonalú egyenletes, egyenes vonalú nem egyenletes, körpályán való mozgás, csavarvonalú mozgás), Sebesség (közepes, pillanatnyi), Gyorsulás (normál és tangenciális), Hodográf, Befutási törvény, Egyenletesen gyorsuló mozgás
Merev test kinematikája	Merev test szabadsági fokainak száma, Szögsebesség, Szöggyorsulás, Mozgások kategorizálása, Pillanatnyi mozgások: Pillanatnyi nyugalom, Elemi haladómozgás, Elemi forgómozgás, Elemi csavarmozgás, Véges mozgások: Tartós nyugalom, Véges haladómozgás, Véges forgómozgás, Gömbi mozgás, Síkmozgás, Sebességpólus, Gyorsuláspólus, Pólusgörbék, Pólusvándorlás sebessége, Gördülés

Anyagi pont kinematikája Összefoglaló


MECHANIKA
Szilárd testek
Folyadékok, gázok
Merev testek
Deformálható testek (SZILÁRDSÁGTAN)
STATIKA
DINAMIKA
Mozgás
KINEMATIKA
Mozgás leírása
KINETIKA
Mozgás oka

Anyagi pont kinematikája	Kinematika: a mozgás leírása
Anyagi pont	Anyagi pont a térben, mely fizikai jellemzőkkel bír (hőmérséklet, sebesség, gyorsulás…). Úgy definiáljuk, hogy megadjuk a helyzetét térben (vektor) és időben.
Mozgástörvény	$\underline{r}(t) = \begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \\ z(t) \end{bmatrix} = x\underline{i} + y\underline{j} + z\underline{k}$
Szabadsági fok (DoF)	Független skalárfüggvények száma, amelyekkel egyértelműen meghatározható az anyagi pont mozgása
Egyenes vonalú, egyenletes	Egyenes vonalú: 1D Egyenletes: nincs gyorsulás, sebesség: állandó $\underline{r} = \underline{r}_0 + \underline{v}_0(t - t_0)$
Egyenes vonalú, nem egyenletes	Változó sebesség **Példa:** $\boldsymbol{\underline{r}(t) = \underline{b} + \underline{c}\sin(\omega t)}$

Egyenes vonalú, egyenletesen változó (a – állandó)	$$\underline{v} = \underline{v}_0 + \underline{a}(t - t_0)$$ $$\underline{r} = \underline{r}_0 + \underline{v}_0\,(t - t_0) + \frac{\underline{a}(t - t_0)^2}{2}$$
Körmozgás: egyenletes, nem egyenletes	Pálya: R sugarú kör φ(t) – szög
Csavarvonalú mozgás	Körmozgás és egyenes vonalú mozgás összetétele

Közepes sebesség	$\underline{v}_k = \frac{\underline{r}(t_2)-\underline{r}(t_1)}{t_2-t_1}$ vektor!, iránya: húrmenti
Pillanatnyi sebesség	$\underline{v}(t) = \frac{d\underline{r}}{dt} = \underline{\dot{r}}(t)$ vektor!, iránya: érintő a pályához
Gyorsulás	$\underline{a}(t) = \frac{d\underline{v}}{dt} = \underline{\ddot{r}}(t)$
Befutási törvény, egységvektorok, görbület	$s(t)$ - ívhossz, skalár! $\underline{e}_t$ - tangenciális egységvektor $\underline{e}_n$ - normális egységvektor $\underline{e}_b$ - binormális egységvektor $(\underline{e}_t, \underline{e}_n)$ – simulósík $(\underline{e}_t, \underline{e}_n, \underline{e}_b)$ – kísérő triéder (természetes koordinátarendszer) ρ – görbületi sugár $\frac{1}{\rho}$ - görbület $\frac{d\underline{r}}{ds} = \underline{e}_t \qquad \frac{d\underline{e}_t}{ds} = \frac{1}{\rho}\underline{e}_n$

Pályasebesség	$v(t) = \dot{s}$ - skalár! Pályasebesség (sebességmérő autókban)
Sebesség	$\underline{v}(t) = \dot{s}\underline{e}_t$ - vektor
Tangenciális és normálgyorsulás	$\underline{a}(t) = \ddot{s}\underline{e}_t + \frac{\dot{s}^2}{\rho}\underline{e}_n$ $\underline{a}_t = \ddot{s}\underline{e}_t$ $a_t = \ddot{s}$ irány: érintőmenti $\underline{a}_n = \frac{\dot{s}^2}{\rho}\underline{e}_n = \frac{v^2}{\rho}\underline{e}_n$ $a_n = \frac{\dot{s}^2}{\rho}$ irány: görbületi középpont felé $\underline{a}(t) = \underline{a}_t + \underline{a}_n$
Foronómiai görbék	s(t), v(t), a_t(t) Példa: egyenes + félkör + egyenes
Példák	Hullámvasút Monzai Forma1 pálya

Az emberek a simulósíkban ülnek, fejük a normális gyorsulás irányába mutat.

FORMULA 1
Italy
GENERAL ADMISSION
GIANT SCREEN
10
9
12
13
14
15
16
18
19
20
21e
21d
21c
21b
21a
22
6c
6b
6a
VIP
23b
23a
8b
8a
5
3f
2e
4
1
27d
28c
29b
30a
26a
26b
26c
25
24

Merev test kinematikája
Összefoglaló

Merev test kinematikája	
Merev test szabadság fokainak száma	DoF=6 A szabadsági fokok száma megadja a független skalárfüggvények számát, amelyekkel a mozgás egyértelműen leírható.
Szögsebesség (ω)	A szögsebesség megadja azt, hogy a merev test pontjai mekkora sebességgel (ugyanakkora) forognak egymás körül. **! A merev test minden pontjának azonos a szögsebessége !**
Kinematikai vektorkettős	$\left[\underline{\boldsymbol{\omega}}, \underline{\boldsymbol{v}}_{\boldsymbol{A}}\right]_{\boldsymbol{A}}$ **-** leírja a merev test mozgását (3+3 komponens, DoF=6)
Redukált képlet $\left[\underline{\boldsymbol{\omega}}, \underline{\boldsymbol{v}}_{\boldsymbol{A}}\right]_{\boldsymbol{A}}$ **->** $\left[\underline{\boldsymbol{\omega}}, \underline{\boldsymbol{v}}_{\boldsymbol{B}}\right]_{\boldsymbol{B}}$	$\underline{\boldsymbol{v}}_{\boldsymbol{B}} = \underline{\boldsymbol{v}}_{\boldsymbol{A}} + \underline{\boldsymbol{\omega}} \times \underline{\boldsymbol{r}}_{\boldsymbol{AB}}$ $\left(\underline{v}_B - \underline{v}_A\right) \perp \left(\underline{\omega} \times \underline{r}_{AB}\right)$

Szöggyorsulás (ε) – térben	$\underline{\varepsilon} = \frac{d\underline{\underline{\omega}}}{dt}$ $\underline{a}_B = \underline{a}_A + \underline{\varepsilon} \times \underline{r}_{AB} + \underline{\omega} \times (\underline{\omega} \times \underline{r}_{AB})$
Szögsebesség – síkmozgás	$\underline{\omega} \perp \underline{r}_{AB}$, and $\underline{\omega}^2 = \omega^2$ $\underline{a}_B = \underline{a}_A + \underline{\varepsilon} \times \underline{r}_{AB} - \omega^2 \underline{r}_{AB}$
Szögvektor $\underline{\boldsymbol{\varphi}}(\boldsymbol{t})$	**Térben NINCS olyan szögvektor, amiből az $\underline{\omega}$ származtatható lenne!!!**
Szögvektor $\underline{\boldsymbol{\varphi}}(\boldsymbol{t})$ – síkmozgás, rögzített tengely körüli forgásnál vektoriálisan is igaz	$\underline{\omega} = \frac{d\underline{\underline{\varphi}}}{dt}$ and $\underline{\varepsilon} = \frac{d\underline{\underline{\omega}}}{dt}$

Mozgások kategorizálása $[\underline{\omega}, \underline{v}_A]_A$ szerint (DoF=6)	**A. Pillanatnyi (elemi) mozgások** *1.* $\underline{\omega}\ \underline{v}_A = 0$ 1.1 pillanatnyi nyugalom 1.2 elemi haladómozgás 1.3 elemi forgómozgás 1 1.4 elemi forgómozgás 2 *2.* $\underline{\omega}\ \underline{v}_A \neq 0$ Elemi csavarmozgás **B. Véges mozgások** 1. Tartós nyugalom 2. Véges haladómozgás 3. Véges forgómozgás (álló tengely) 4. Gömbi mozgás 5. Síkmozgás
1.1 Pillanatnyi nyugalom	$\underline{\omega} = 0$ $\underline{v}_A = 0$ Pl. varrógéptű két szélső helyzete
1.2 Elemi haladómozgás	$\underline{\omega} = 0$ $\underline{v}_A \neq 0$ $\underline{v}_B = \underline{v}_A + \underline{\omega} \times \underline{r}_{AB}$, de $\underline{\omega} = 0$ $\underline{v}_B = \underline{v}_A$, a merev test minden pontjára igaz, így a merev test minden pontjának azonos a sebessége

1.3 Elemi forgómozgás 1	$\underline{\omega} \neq 0$ $\underline{v}_A = 0$ Van egy olyan pontja a merev testnek, amelynek a sebessége 0, de a szögsebessége nem 0. Ez rajta van a **centrális egyenesen**, ami körül forog a test. $\underline{\boldsymbol{v}}_{\boldsymbol{B}} = \underline{\boldsymbol{v}}_{\boldsymbol{A}} + \underline{\boldsymbol{\omega}} \times \underline{\boldsymbol{r}}_{\boldsymbol{AB}}$ **,** $\underline{v}_A = 0$ $\underline{\boldsymbol{v}}_{\boldsymbol{B}} = \underline{\boldsymbol{\omega}} \times \underline{\boldsymbol{r}}_{\boldsymbol{AB}}$, B pont A körül forog $\underline{\boldsymbol{\omega}}$-val
1.4 Elemi forgómozgás 2	$\underline{\omega} \neq 0$ $\underline{v}_A \neq 0$ $\underline{\omega} \perp \underline{v}_A$ $[\underline{\boldsymbol{\omega}}, \underline{\boldsymbol{v}}_{\boldsymbol{A}}]_{\boldsymbol{A}}$ - val ekvivalens $[\underline{\boldsymbol{\omega}}, \underline{\boldsymbol{v}}_{\boldsymbol{P}}]_{\boldsymbol{P}}$ **P- sebességpólus, $\underline{\boldsymbol{v}}_{\boldsymbol{P}}$ = 0** STATIKA: $\underline{r}_{AP} = \frac{\underline{\omega} \times \underline{v}_A}{\omega^2}$, de $\underline{\omega} \perp \underline{v}_A$ $\lvert \underline{\omega} \times \underline{v}_A \rvert = \omega\, v_A \sin\frac{\pi}{2} = \omega\, v_A$ $r_{AP} = AP = \frac{v_A}{\omega}$ Olyan, mintha P körül forogna AP sugarú körön, ω-val. **Tehát:** $\underline{\omega} \perp \underline{v}_A \perp \underline{r}_{AP}$

1.4 Elemi forgómozgás 2	Hasonlóan található: $[\underline{\boldsymbol{\omega}}, \underline{\boldsymbol{v}}_{\boldsymbol{G}}]_{\boldsymbol{G}}$

G- gyorsuláspólus, $\underline{\boldsymbol{a}}_{\boldsymbol{G}}$ = 0

$$\underline{r}_{AG} = \frac{\underline{\varepsilon}\times\underline{a}_A+\omega^2\underline{a}_A}{\varepsilon^2+\omega^4}$$

$\underline{r}_{AG}$ **- nek két komponense lesz:**

$\underline{a}_A$ - ra merőleges: $\frac{\underline{\varepsilon}\times\underline{a}_A}{\varepsilon^2+\omega^4}$

$\underline{a}_A$ - val párhuzamos: $\frac{\omega^2\underline{a}_A}{\varepsilon^2+\omega^4}$

Ha:

$\underline{\varepsilon} \perp \underline{a}_A$, Pitagorasz tételéből megkapjuk az $\overline{AG}$ nagyságát: $\overline{AG} = r_{AG} = \frac{a_A}{\sqrt{\varepsilon^2+\omega^4}}$

$$a_A = r_{AG}\sqrt{\varepsilon^2 + \omega^4}$$

$\underline{r}_{AG}$ és $\underline{a}_A$ közti α szögre: $tg\,\alpha = \frac{\varepsilon}{\omega^2}$

2. Elemi csavarmozgás	$\underline{\omega}\ \underline{v}_A \neq 0$ **és** $\underline{\omega}$ $\mathbf{nem\ merőleges}\ \underline{\mathrm{v}}_\mathrm{A}$ **Általános térbeli eset** Van egy olyan B pont, amire igaz: $\underline{r}_{AB} = \frac{\underline{\omega} \times \underline{v}_B}{\omega^2}$ **és** $\underline{\omega} \| \underline{v}_B$ A test halad is és forog is ugyanabba az irányba.

1. Tartós nyugalom (STATIKA)	$\underline{\omega}(t) = 0$ $\underline{v}_A(t) = 0$, $\underline{v}_B(t) = 0$, $\underline{v}_C(t) = 0$
2. Véges haladómozgás	$\underline{\omega}(t) = 0$ $\underline{v}_A(t)$ tetszőlegesen változhat DoF=3, nem feltétlenül egyenes vonalú Pl. óriáskerék kabinja
3. Álló tengely körüli forgás	$\underline{\omega}(t) \parallel \underline{k}$ Van egy P pont, aminek tartósan 0 a sebessége: $\underline{v}_P(t) = 0$ $\underline{\boldsymbol{v}}_{\boldsymbol{A}} = \underline{\boldsymbol{v}}_{\boldsymbol{P}} + \underline{\boldsymbol{\omega}} \times \underline{\boldsymbol{r}}_{\boldsymbol{PA}}$, $\underline{\omega}(t) = 0$, $\underline{v}_P(t) = 0$ $\underline{\boldsymbol{v}}_{\boldsymbol{A}} = \underline{\boldsymbol{\omega}} \times \underline{\boldsymbol{r}}_{\boldsymbol{PA}}$ Álló tengely → a P pont gyorsulása is 0 lesz, $\underline{a}_P(t) = 0$ **P≡G** Az A pont a P pont körül forog → $\underline{\omega} \perp r_{GA}$ $\underline{a}_A = \underline{\varepsilon} \times \underline{r}_{GA} - \omega^2 \underline{r}_{GA}$ $\underline{a}(t) = \underline{a}_t + \underline{a}_n$ $a_A = r_{AG}\sqrt{\varepsilon^2 + \omega^4}$ Minden körpályán mozog

!!! ha minden körpályán mozog (álló tengely körüli forgás)	**Van szögvektor** $s(t) = r_{AP}\varphi(t) = R\varphi(t)$ $\dot{s}(t) = R\dot{\varphi}(t)$ $v(t) = R\omega(t)$ $\omega(t) = \dot{\varphi}(t)$ $\underline{\omega} = \underline{\dot{\varphi}}$! Csak álló tengely körüli forgásnál!
Szögvektor φ(t) – rögzített tengely körüli forgás	$\underline{\omega} = \frac{d\underline{\varphi}}{dt}$ és $\underline{\varepsilon} = \frac{d\underline{\omega}}{dt}$
Ha ε állandó:	$\underline{\omega} = \underline{\omega}_0 + \underline{\varepsilon}(t - t_0)$ $\underline{\varphi} = \underline{\varphi}_0 + \underline{\omega}_0\,(t - t_0) + \frac{\underline{\varepsilon}(t-t_0)^2}{2}$
4. Gömbi mozgás	$\underline{\omega}$(t) – tetszőleges P≡G=0, $\underline{v}_P(t) = 0$, $\underline{a}_P(t) = 0$ DoF=0, 3 tengely körüli forgás Pl. kardáncsukló

Véges haladómozgás

5. Síkmozgás

Akkor beszélünk síkmozgásról, ha:

$\underline{\boldsymbol{\omega}}(\boldsymbol{t}) \| \underline{\boldsymbol{k}}$ tartósan párhuzamos, és $\underline{\boldsymbol{v}}_{\boldsymbol{A}} \perp \underline{\boldsymbol{k}}$

Tehát: $\underline{\boldsymbol{v}}_{\boldsymbol{A}} \perp \underline{\boldsymbol{\omega}}$

Klb. az álló tengely körüli forgástól: nem egy pontjának a sebessége 0, hanem legyen egy pontja, melynek a sebessége tartósan merőleges k vektorra.

$\underline{\boldsymbol{v}}_{\boldsymbol{B}} = \underline{\boldsymbol{v}}_{\boldsymbol{A}} + \underline{\boldsymbol{\omega}} \times \underline{\boldsymbol{r}}_{\boldsymbol{AB}}$, de $\underline{v}_A \perp \underline{k}$ és $(\underline{\omega} \times \underline{r}_{AB}) \perp \underline{k}$

Tehát:

$\underline{\boldsymbol{v}}_{\boldsymbol{B}} \perp \underline{\boldsymbol{k}}$

Vagyis: minden pontja a k-ra merőleges síkban mozog.

Az elemi mozgásoknál látottak szerint, itt is van egy P sebességpólus és egy G gyorsuláspólus.

Ugyanazok a képletek érvényesek, csak itt időben tartós.

$\underline{r}_{AP} = \frac{\underline{\omega} \times \underline{v}_A}{\omega^2}$, de $\underline{\omega} \perp \underline{v}_A$

$\left|\underline{\omega} \times \underline{v}_A\right| = \omega\, v_A\, sin\frac{\pi}{2} = \omega\, v_A$

$r_{AP} = AP = \frac{v_A}{\omega}$

Olyan, mintha P körül forogna AP sugarú körön, ω-val.

Tehát:

$\underline{\omega} \perp \underline{v}_A \perp \underline{r}_{AP}$

Bármely másik B pontra is igaz.

5. Síkmozgás	Gyorsulásokra is igazak az elemi forgómozgásnál felírt képletek. $\underline{r}_{AG} = \frac{\underline{\varepsilon} \times \underline{a}_A + \omega^2 \underline{a}_A}{\varepsilon^2 + \omega^4}$ **De:** $\underline{\varepsilon} \perp \underline{a}_A$, Pitagorasz tételéből megkapjuk az $\overline{AG}$ nagyságát: $\overline{AG} = r_{AG} = \frac{a_A}{\sqrt{\varepsilon^2+\omega^4}}$ $a_A = r_{AG}\sqrt{\varepsilon^2 + \omega^4}$ $\underline{r}_{AG}$ és $\underline{a}_A$ közti α szögre: $tg\ \alpha = \frac{\varepsilon}{\omega^2}$! Itt a G és P pontok nem esnek egybe!!! A sebességek szempontjából olyan, mintha minden a P körül forogna, a gyorsulások szempontjából olyan, mintha minden a G körül forogna. Egy B pontra: $\underline{a}_B = \underline{a}_A + \underline{\varepsilon} \times \underline{r}_{AB} + \underline{\omega} \times (\underline{\omega} \times \underline{r}_{AB})$**, de** $\underline{\omega} \perp \underline{r}_{AB}$, tehát: $\underline{a}_B = \underline{a}_A + \underline{\varepsilon} \times \underline{r}_{BA} - \omega^2 \underline{r}_{AB}$ **Vagy** $\underline{a}_B = \underline{a}_G + \underline{\varepsilon} \times \underline{r}_{GB} - \omega^2 \underline{r}_{GB}$ $\underline{a}_B = \underline{\varepsilon} \times \underline{r}_{GB} - \omega^2 \underline{r}_{GB}$ **és** $a_B = r_{GB}\sqrt{\varepsilon^2 + \omega^4}$ **, és** $tg\ \alpha = \frac{\varepsilon}{\omega^2}$

	DE!!! Itt a gyorsulás két komponense nem az $\boldsymbol{a_n}$ és $\boldsymbol{a_t}$, mert az $\boldsymbol{a_t}$-t a sebességhez képest kell mérni. Az A pont $\boldsymbol{a_{nA}}$-t rá kell vetíteni a v_A –ra merőleges irányra. Tehát az $\boldsymbol{a_n}$nem a G, hanem a P felé mutat. **Görbületi középpont:** A simulókör középpontja se nem a P, se nem a G irányába mutat, hanem: ⊥ $\mathbf{v_A}$ –ra és az $\mathbf{a_{An}}$ – irányába mutat. $\varphi = \frac{v^2}{a_n}$, nagysága Álló tengely körüli forgásnál P, G, O_A egybeestek, de itt **NEM** esnek egybe.
Mozgó pólusgörbe	$\underline{\boldsymbol{r}}_{\boldsymbol{AP}}(\boldsymbol{t})$ meghatározásával a testhez képest meghatározhatjuk a P pontok mértani helyét. Ez lesz a mozgó pólusgörbe. Időben kirajzolva: olyan, mintha a P pont vándorolna ezen a görbén. Ez a görbe hozzá van csatolva a testhez.

Álló pólusgörbe	Álló koordinátarendszerben van egy $\underline{r}_A(t)$ vektor. Az $\underline{r}_A + \underline{r}_{AP}$ megadja a P pont helyét ehhez a koordinátarendszerhez képest. Ez lesz az álló pólusgörbe. $\boldsymbol{\underline{r}_P(t) = \underline{r}_A + \underline{r}_{AP}}$
	Mivel a $\boldsymbol{\underline{v}_P = 0}$ minden pontban, ezért a P-ben az álló és mozgó pólusgörbéknek találkozniuk kell. Vagyis minden síkmozgást vissza lehet vezetni gördülésre.
Ciklois videó	$\boldsymbol{\underline{v}_P = 0}$ álló pólusgörbe: síkfelület, a sebesség pillanatnyilag 0, de a P pontnak van gyorsulása. A talajjal érintkező pontban rendelkezik gyorsulással.
Pólusvándorlás sebessége	A póluspont, mint anyagi pont 0 sebességű minden pillanatban, de mint **mértani pont** fog vándorolni. $\underline{u}_P = \frac{\underline{\omega} \times \underline{a}_P}{\omega^2}$, síkban vannak, ezért: $\underline{u} \perp \underline{a}_P$ $\underline{u} \perp \underline{\omega}$ $u = \frac{a_P}{\omega}$ skalárisan Az $\underline{u}_P$ a két pólusgörbe érintőjében lesz. Pl. fogaskerekes mechanizmusok

Pólusvándorlás sebessége	A póluspont, mint anyagi pont 0 sebességű, de mint mértani pont a helye változik, vagyis vándorol. $\underline{u}_P = \dot{\underline{r}}_P = \dot{\underline{r}}_A + \dot{\underline{r}}_{AP} = \dot{\underline{r}}_A + \frac{d}{dt}\left(\frac{\underline{\omega}\times\underline{v}_A}{\omega^2}\right)$ $\underline{u}_P = \frac{\underline{\omega}\times\underline{a}_P}{\omega^2}$, skalárisan: $u_P = \frac{a_P}{\omega}$ és $a_P = u_P\omega$ Pl. sár leverődés az autó kerekéről egymáson gördülő kerekek
Bolygóművek. Gördülés	Talajjal érintkező pontnak mindig 0 lesz a sebessége: **P pont , $\underline{\boldsymbol{v}}_{\boldsymbol{P}} = \mathbf{0}$** Talaj: álló pólusgörbe, S – súlypont, $\underline{v}_S$ - állandó S pont pályája egyenes, görbületi sugara végtelen. Nincs normális gyorsulás. Csak tangenciális gyorsulás van, ami 0. **a_S = 0, tehát: S≡G** P pont mindig S alatt van, egyszerre mozognak, a P pont pólusvándorlás sebessége ugyanakkora, mint az S pont sebessége. **$\underline{\boldsymbol{v}}_{\boldsymbol{s}} = \underline{\boldsymbol{u}}_{\boldsymbol{P}}$ és $\boldsymbol{v}_{\boldsymbol{s}} = \boldsymbol{R\omega}$, R – a korong sugara** **$\boldsymbol{a}_{\boldsymbol{P}} = \boldsymbol{u}_{\boldsymbol{P}}\boldsymbol{\omega}$, iránya pedig az ($\underline{\boldsymbol{u}}_{\boldsymbol{P}} \times \underline{\boldsymbol{\omega}}$) iránya.** $\underline{a}_P \perp \underline{u}_P \perp \underline{\omega}$

Gördülés	$\underline{v}_s$ állandó, tehát az $\underline{\omega}$ is állandó, tehát $\underline{\varepsilon} = 0$ nincs szöggyorsulás. A gyorsulás szempontjából úgy néz ki, mintha az S körül forogna, a sebességek szempontjából pedig mintha a P körül forogna.