FORGÓSZÁRNYAS REPÜLŐGÉPEK

06

Gausz Tamás

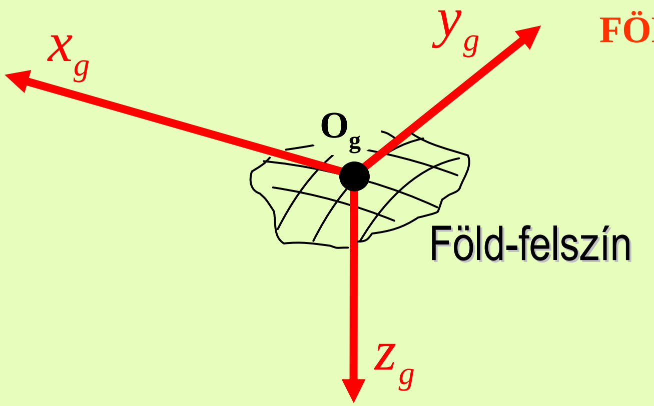
Budapest, 2014

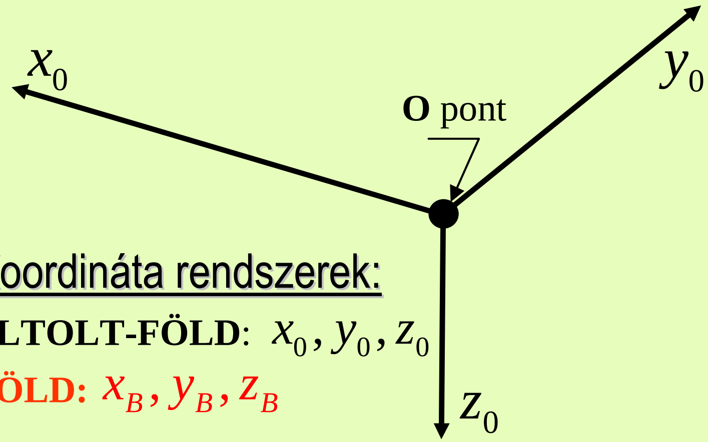
Figyelem:

A következő képeken közölt ismeretek az előadásokon elhangzottakkal együtt képeznek érthető és tanulható egységet!

Koordináta rendszerek

A „FÖLD” koordináta rendszer (nekünk) inercia rendszer:



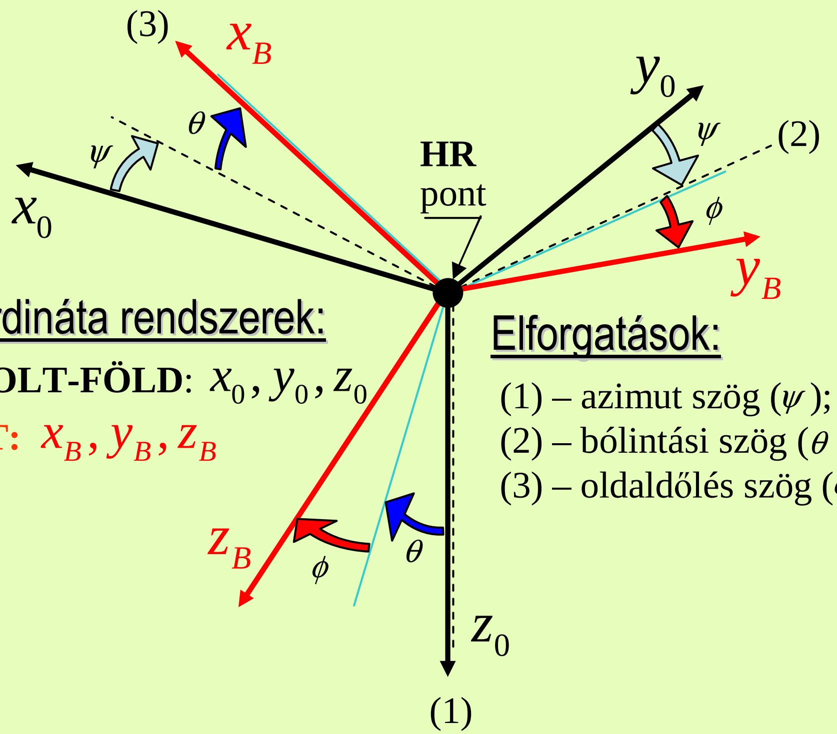


Koordináta rendszerek:

ELTOLT-FÖLD: x_0, y_0, z_0

FÖLD: x_B, y_B, z_B

Az „ELTOLT-FÖLD” koordináta rendszer tengelyei párhuzamosak a „FÖLD” kr. tengelyekkel, az „O” azonos lesz a „HR” (helikopterhez rögzített) ponttal:



Koordináta rendszerek:

ELTOLT-FÖLD: x_0, y_0, z_0

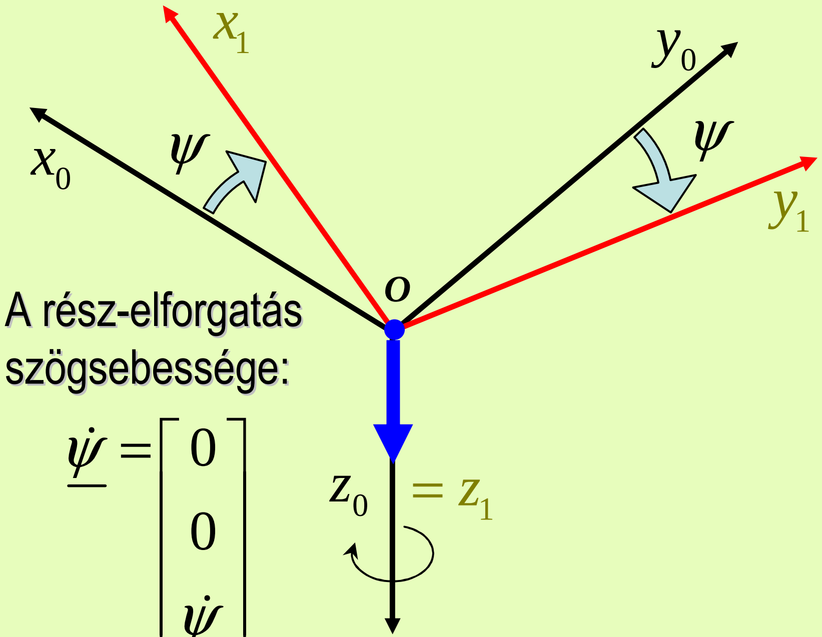
TEST: x_B, y_B, z_B

Elforgatások:

(1) – azimut szög (ψ);
(2) – bólintási szög (θ);
(3) – oldaldőlés szög (ϕ).

(Földhöz rögzített helikopter)

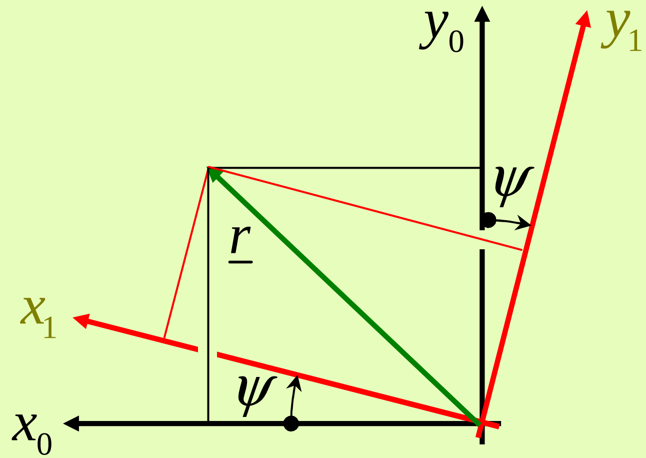
Általános átáramlás – elforgatások – első rész elforgatás



A rész-elforgatás szögsebessége:

$$\underline{\dot\psi} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot\psi \end{bmatrix}$$

ψ - azimút szöggel, a $z_0 = z_1$ tengely körül:



$$\underline{r}^0 = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

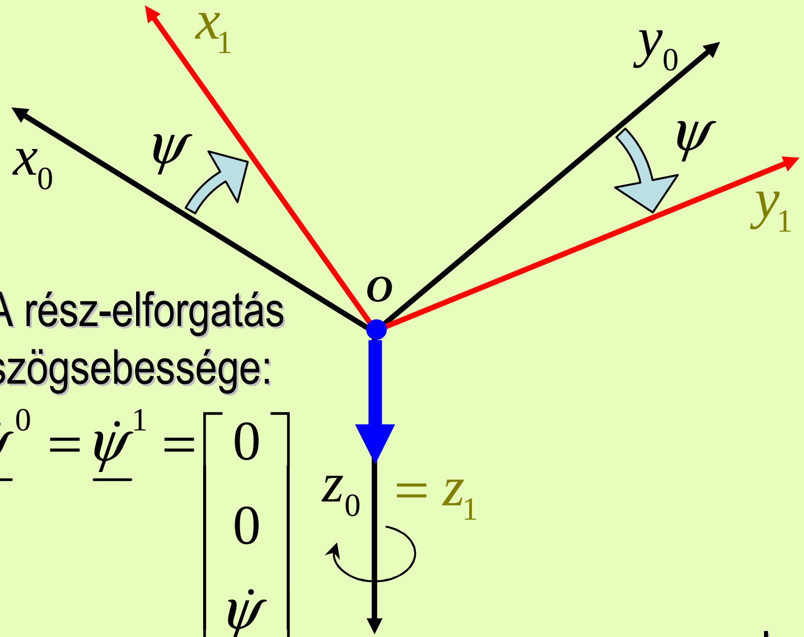
$$\underline{r}^1 = \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\left.\begin{aligned} x_1 &= x_0\cos\psi + y_0\sin\psi + z_0\cdot 0 \\ y_1 &= -x_0\sin\psi + y_0\cos\psi + z_0\cdot 0 \\ z_1 &= x_0\cdot 0 + y_0\cdot 0 + z_0\cdot 1 \end{aligned}\right\} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\psi & \sin\psi & 0 \\ -\sin\psi & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\boxed{\underline{r}^1 = \underline{\underline{A}}_{1,0}\,\underline{r}^0}$$

Forgatási mátrix – (valós elemű) unitér mátrix – ortogonális mátrix.
A forgatási mátrixok szorzata is forgatási mátrix!

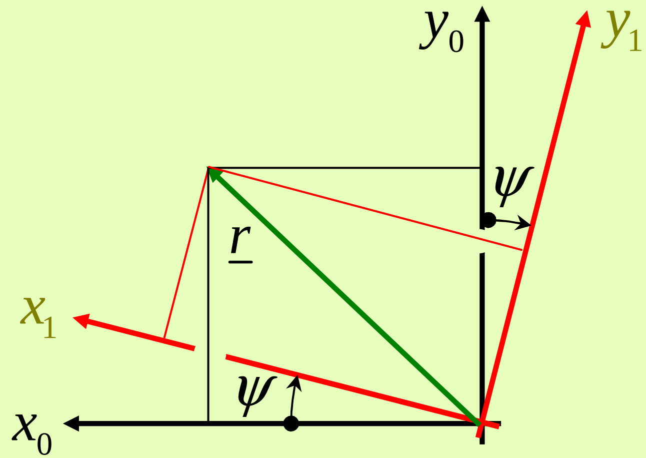
Elforgatások – első rész elforgatás és inverz



A rész-elforgatás szögsebessége:

$$\underline{\dot\psi}^0 = \underline{\dot\psi}^1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot\psi \end{bmatrix}$$

ψ - azimút szöggel, a $z_0 = z_1$ tengely körül:



$$\underline{r}^0 = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} \qquad \underline{r}^1 = \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix}$$

Inverz transzformáció:

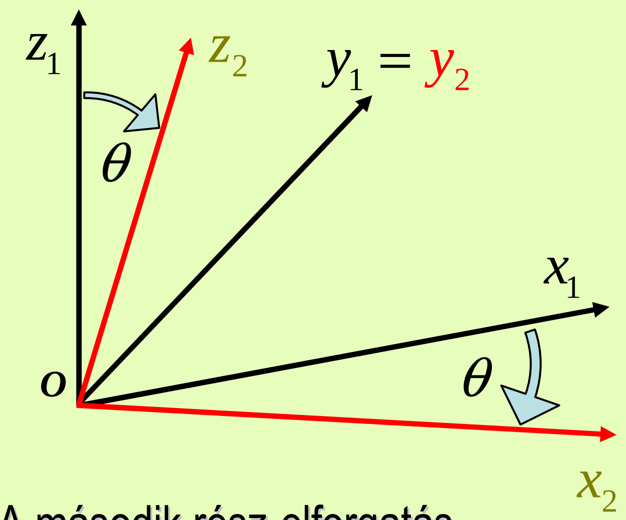
$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\psi & \sin\psi & 0 \\ -\sin\psi & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\psi & -\sin\psi & 0 \\ \sin\psi & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix}$$

$$\underline{r}^1 = \underline{\underline{A}}_{1,0}\, \underline{r}^0 \qquad \underline{r}^0 = \underline{\underline{A}}^T_{1,0}\, \underline{r}^1$$

Forgatási mátrix – (valós elemű) unitér mátrix – ortogonális mátrix:

$$\underline{\underline{A}}^{-1}_{1,0} = \underline{\underline{A}}^T_{1,0} \quad \left(\det \underline{\underline{A}} = 1, \operatorname{adj} \underline{\underline{A}} = \underline{\underline{A}}^T\right) \qquad \underline{\underline{A}}_{1,0} \underline{\underline{A}}^T_{1,0} = \underline{\underline{E}} \qquad \underline{\underline{A}}^{-1}_{1,0} = \underline{\underline{A}}_{1,0}(-\psi)$$

Elforgatások – második rész elforgatás és a szögsebességek



θ - hosszdőlés szöggel, az $y_1 = y_2$ tengely körül:

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & -\sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix}$$

$$\underline{r}^2 = \underline{\underline{A}}_{2,1}\underline{r}^1 \qquad \left(\underline{r}^1 = \underline{\underline{A}}_{2,1}^T \underline{r}^2\right)$$

$$\underline{r}^1 = \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} \qquad \underline{r}^2 = \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix}$$

A második rész-elforgatás szögsebessége:

$$\underline{\dot{\theta}}^1 = \underline{\dot{\theta}}^2 = \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{\theta} \\ 0 \end{bmatrix}$$

Az első rész-elforgatás szögsebessége:

$$\underline{\dot{\psi}}^2 = \underline{\underline{A}}_{2,1}\underline{\dot{\psi}}^1 = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & -\sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\dot{\psi}\sin\theta \\ 0 \\ \dot{\psi}\cos\theta \end{bmatrix}$$

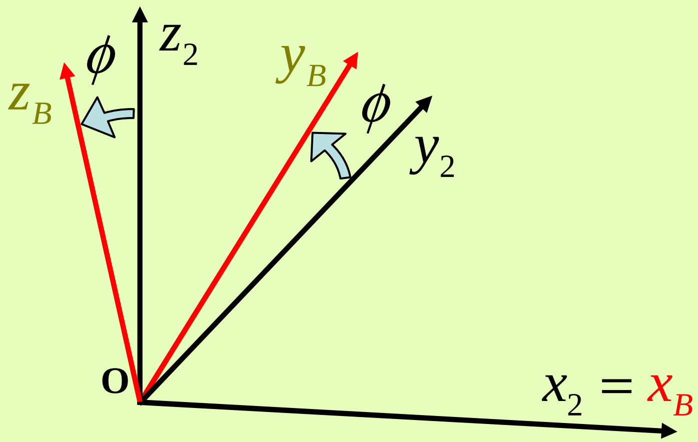
$$\left(\underline{\dot{\psi}}^1 = \underline{\dot{\psi}}^0\right)$$

Az eredő szögsebesség: $$\underline{\omega}^2 = \underline{\dot{\psi}}^2 + \underline{\dot{\theta}}^2 = \begin{bmatrix} -\dot{\psi}\sin\theta \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi}\cos\theta \end{bmatrix}$$

Az eredő elforgatás:

$$\underline{r}^2 = \underline{\underline{A}}_{2,1}\underline{r}^1 = \left(\underline{\underline{A}}_{2,1}\underline{\underline{A}}_{1,0}\right)\underline{r}^0$$

Elforgatások – harmadik rész elforgatás



ϕ - oldaldőlés szöggel, az $x_2 = x_B$ tengely körül

$$\begin{bmatrix} x_B \\ y_B \\ z_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\phi & \sin\phi \\ 0 & -\sin\phi & \cos\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix}$$

$$\underline{r}^2 = \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix} \qquad \underline{r}^B = \begin{bmatrix} x_B \\ y_B \\ z_B \end{bmatrix}$$

$$\underline{r}^B = \underline{\underline{A}}_{B,2}\,\underline{r}^2 \qquad \left(\underline{r}^2 = \underline{\underline{A}}_{B,2}^T\,\underline{r}^B\right)$$

A harmadik rész-elforgatás szögsebessége:

$$\underline{\dot{\phi}}^2 = \underline{\dot{\phi}}^B = \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Az eredő szögsebesség:

$$\underline{\omega}^B = \underline{\dot{\phi}}^B + \underline{\underline{A}}_{B,2}\,\underline{\dot{\theta}}^2 + \underline{\underline{A}}_{B,2}\,\underline{\underline{A}}_{2,1}\,\underline{\dot{\psi}}^1 = \begin{bmatrix} \dot{\phi} - \dot{\psi}\sin\theta \\ \dot{\theta}\cos\phi + \dot{\psi}\cos\theta\sin\phi \\ -\dot{\theta}\sin\phi + \dot{\psi}\cos\theta\cos\phi \end{bmatrix}$$

Az eredő elforgatás:

$$\underline{r}^B = \underline{\underline{A}}_{B,2}\,\underline{r}^2 = \underline{\underline{A}}_{B,2}\,\underline{\underline{A}}_{2,1}\,\underline{r}^1 = \left(\underline{\underline{A}}_{B,2}\,\underline{\underline{A}}_{2,1}\,\underline{\underline{A}}_{1,0}\right)\underline{r}^0 = \underline{\underline{A}}_{B,0}\,\underline{r}^0$$

(A transzformációs mátrixok szorzata is transzformációs [ortogonális] mátrix, az inverz a transzponált!)

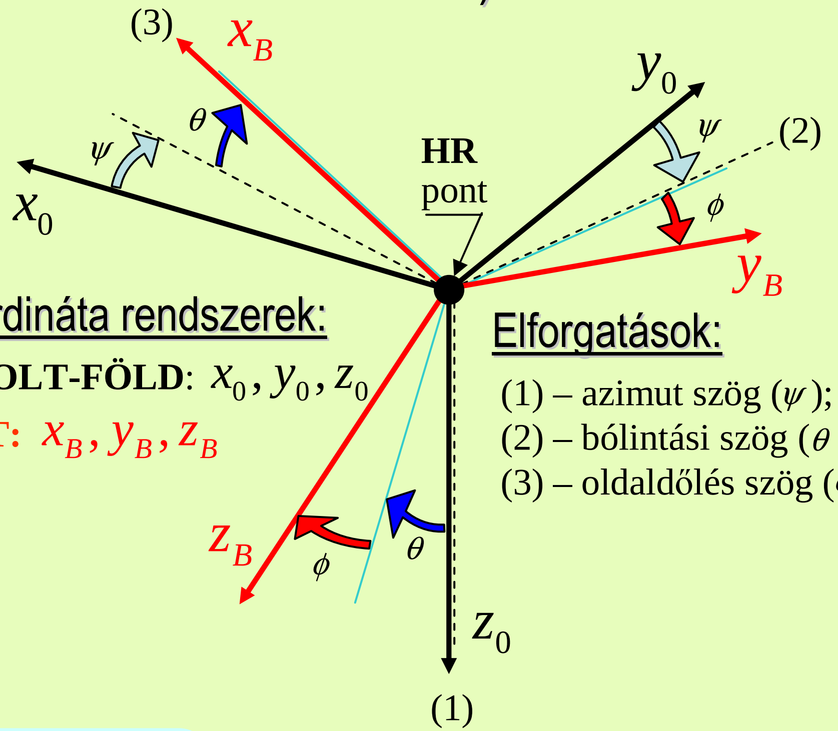
Eredő elforgatás („ELTOLT-FÖLD” és „TEST” koordináta rendszer)

$$\underline{\underline{A}}_{B,0} = \begin{bmatrix} c\theta c\psi & c\theta s\psi & -s\theta \\ -c\phi s\psi + s\phi s\theta c\psi & c\phi c\psi + s\phi s\theta s\psi & s\phi c\theta \\ s\phi s\psi + c\phi s\theta c\psi & -s\phi c\psi + c\phi s\theta s\psi & c\phi c\theta \end{bmatrix}$$

$\sin\phi := s\phi,\ \cos\phi := c\phi,$

$\sin\theta := s\theta,\ \cos\theta := c\theta$

$\sin\psi := s\psi,\ \cos\psi := c\psi$



Koordináta rendszerek:

ELTOLT-FÖLD: x_0, y_0, z_0

TEST: x_B, y_B, z_B

Elforgatások:

(1) – azimut szög (ψ);
(2) – bólintási szög (θ);
(3) – oldaldőlés szög (ϕ).

Az eredő elforgatás:

LAPÁT ← FORGÓ ← FŐROTOR ← TEST ← ELTOLT-FÖLD

$$\underline{r}^B = \underline{\underline{A}}_{B,2}\underline{r}^2 = \underline{\underline{A}}_{B,2}\underline{\underline{A}}_{2,1}\underline{r}^1 = \left(\underline{\underline{A}}_{B,2}\underline{\underline{A}}_{2,1}\underline{\underline{A}}_{1,0}\right)\underline{r}^0 = \underline{\underline{A}}_{B,0}\underline{r}^0$$

$$\underline{\underline{A}}_{B,2} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\phi & \sin\phi \\ 0 & -\sin\phi & \cos\phi \end{bmatrix} \quad \underline{\underline{A}}_{2,1} = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & -\sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix} \quad \underline{\underline{A}}_{1,0} = \begin{bmatrix} \cos\psi & \sin\psi & 0 \\ -\sin\psi & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Quaternio

W. R. Hamilton (1843): $\underline{i}^2 = \underline{j}^2 = \underline{k}^2 = \underline{i}\,\underline{j}\,\underline{k} = -1$

$$q = q_0 + \underline{q} = q_0 + \underline{i}q_1 + \underline{j}q_2 + \underline{k}q_3$$

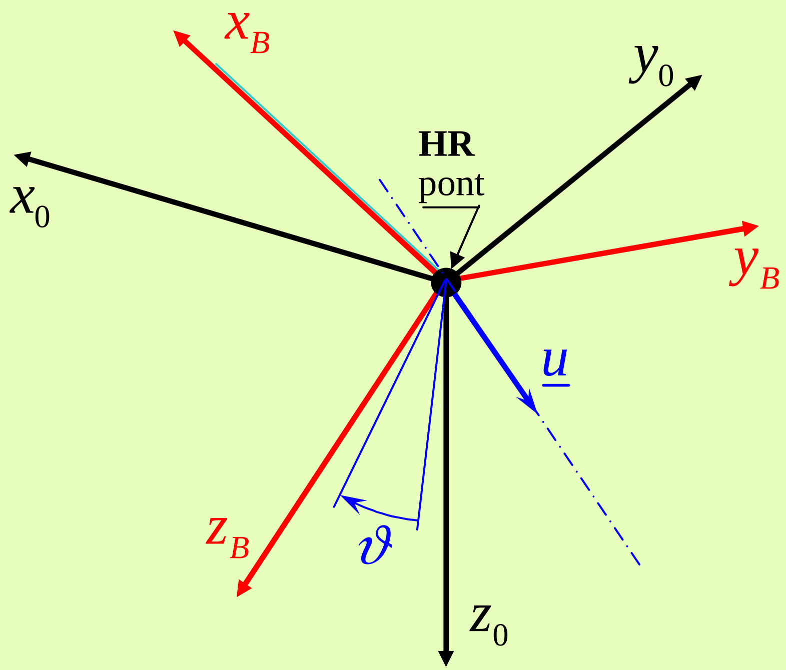
a konjugáltja:

$$q^* = q_0 - \underline{q} = q_0 - \underline{i}q_1 - \underline{j}q_2 - \underline{k}q_3$$

illetve (legyen $\underline{u}$ a forgástengelyt kijelölő egységvektor és ϑ az elforgatás szöge:

akkor a $q = \cos\frac{\vartheta}{2} + \underline{u}\sin\frac{\vartheta}{2}$ quaternioval

definiált $L_{q*}(\underline{\mathrm{v}}) = q^*\underline{\mathrm{v}}\,q$ leképezés a



TEST ← ELTOLT-FÖLD

a koordináta rendszer elforgatását jelenti. Átjárás a hagyományos transzformációk felé → $\underline{r}^B = \underline{\underline{A}}_{B,0}\,\underline{r}^0$

Alkalmazások: modern repülésmechanika (pl. mérési hibával terhelt pályaadatok legjobb feldolgozása);
robottechnika;
kvantummechanika, modern relativitáselmélet;
jelfeldolgozás (QFT – quaternio-Fourier-transzformáció)
hang- és képazonosítás (QWT – quaternio-Wavelet-transzformáció)

Koordináta rendszerek („AËRODINAMIKAI” v. „SZÉL” és „TEST” rendszer)

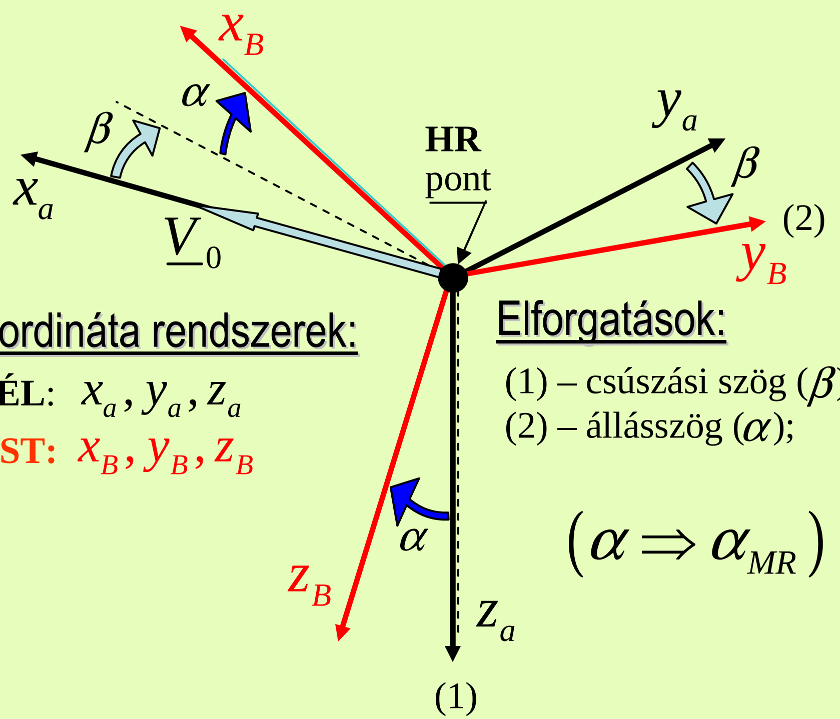
A repülési sebesség a TEST kr.-ben:

$$\underline{V}_0^B = \underline{\underline{A}}_{B,a}\,\underline{V}_0^a$$

Általános esetben:

$$\underline{V}_0^B = \begin{bmatrix} c\alpha_{MR}c\beta & c\alpha_{MR}s\beta & -s\alpha_{MR} \\ -s\beta & c\beta & 0 \\ s\alpha_{MR}c\beta & s\alpha_{MR}s\beta & c\alpha_{MR} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\underline{V}_0^B = \begin{bmatrix} V_0 c\alpha_{MR}c\beta \\ -V_0 s\beta \\ V_0 s\alpha_{MR}c\beta \end{bmatrix}$$



Koordináta rendszerek:

SZÉL: x_a, y_a, z_a

TEST: x_B, y_B, z_B

Elforgatások:

(1) – csúszási szög (β);
(2) – állásszög (α);

$$(\alpha \Rightarrow \alpha_{MR})$$

LAPÁT ← FORGÓ ← FŐROTOR ← TEST ← AËRODINAMIKAI

Szorítkozzunk csúszásmentes repülésre:

$$\underline{V}_0^B = \begin{bmatrix} c\alpha_{MR} & 0 & -s\alpha_{MR} \\ 0 & 1 & 0 \\ s\alpha_{MR} & 0 & c\alpha_{MR} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_0 c\alpha_{MR} \\ 0 \\ V_0 s\alpha_{MR} \end{bmatrix}$$

Általánosan:

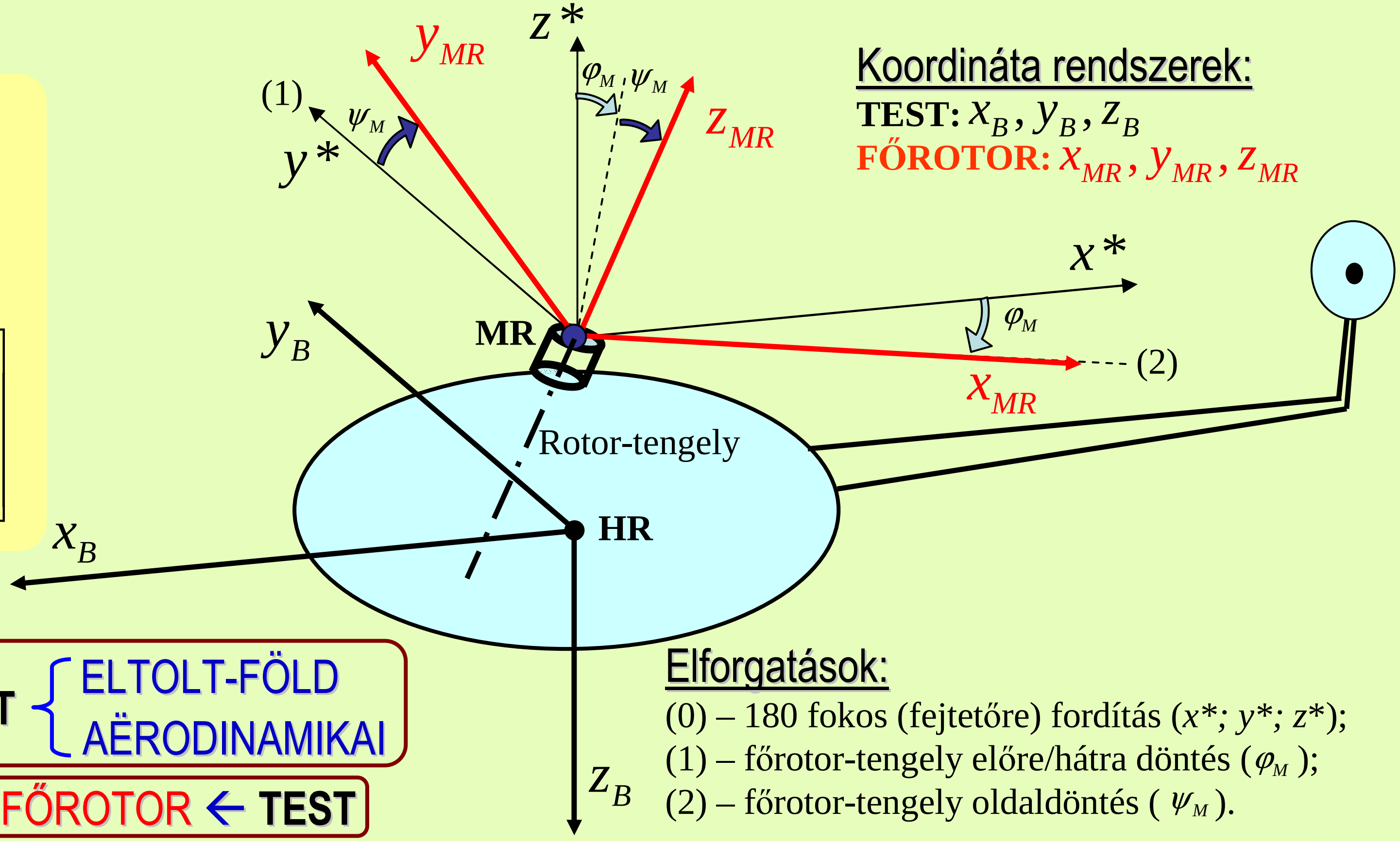
$$\underline{\underline{A}}_{B,a} = \begin{bmatrix} c\alpha_{MR}c\beta & c\alpha_{MR}s\beta & -s\alpha_{MR} \\ -s\beta & c\beta & 0 \\ s\alpha_{MR}c\beta & s\alpha_{MR}s\beta & c\alpha_{MR} \end{bmatrix}$$

Koordináta rendszerek („TEST” és „FŐROTOR” rendszer, általában)

$$\underline{r}^{MR} = \underline{\underline{A}}_{MR,B}\,\underline{r}^{B}$$

A legegyszerűbb esetben:

$$\underline{\underline{A}}_{MR,B} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$



Koordináta rendszerek:

TEST: x_B, y_B, z_B

FŐROTOR: x_{MR}, y_{MR}, z_{MR}

← TEST { ELTOLT-FÖLD / AËRODINAMIKAI

LAPÁT ← FORGÓ ← FŐROTOR ← TEST

Elforgatások:

(0) – 180 fokos (fejtetőre) fordítás ($x^*; y^*; z^*$);

(1) – főrotor-tengely előre/hátra döntés (φ_M);

(2) – főrotor-tengely oldaldöntés (ψ_M).

Általánosan:

$$\underline{\underline{A}}_{MR,B} = \begin{bmatrix} -\mathrm{c}\varphi_M & 0 & \mathrm{s}\varphi_M \\ -\mathrm{s}\psi_M \mathrm{s}\varphi_M & \mathrm{c}\psi_M & -\mathrm{s}\psi_M \mathrm{c}\varphi_M \\ -\mathrm{c}\psi_M \mathrm{s}\varphi_M & -\mathrm{s}\psi_M & -\mathrm{c}\psi_M \mathrm{c}\varphi_M \end{bmatrix}$$

Koordináta rendszerek („TEST" és „FŐROTOR" rendszer)

A repülési sebesség a TEST kr.-ben:

$$\underline{V}_0^B = \left[V_0 \mathrm{c}\alpha_{MR} \quad 0 \quad V_0 \mathrm{s}\alpha_{MR} \right]$$

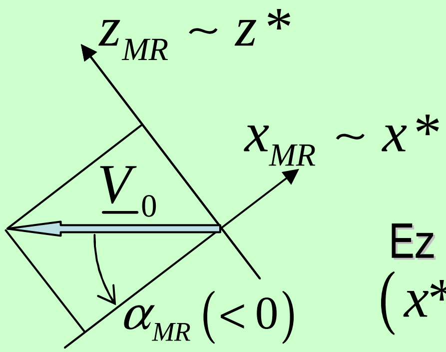
Transzformáljunk a „FŐROTOR" rendszerbe:

$$\underline{V}_0^{MR} = \underline{\underline{A}}_{MR,B} \underline{V}_0^B$$

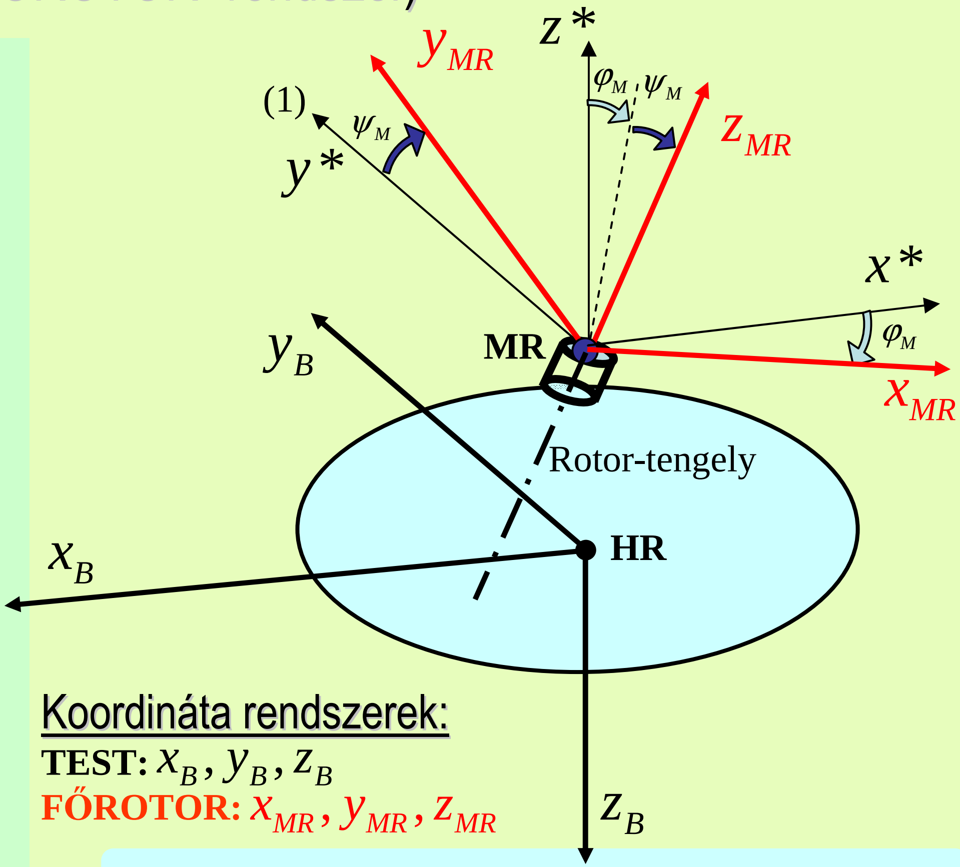
A legegyszerűbb esetben:

$$\underline{V}_0^{MR} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_0 \mathrm{c}\alpha_{MR} \\ 0 \\ V_0 \mathrm{s}\alpha_{MR} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -V_0 \mathrm{c}\alpha_{MR} \\ 0 \\ -V_0 \mathrm{s}\alpha_{MR} \end{bmatrix}$$

LAPÁT ← FORGÓ ← FŐROTOR ← TEST



Ez tulajdonképpen az (x^*, y^*, z^*) rendszer



Koordináta rendszerek:

TEST: x_B, y_B, z_B

FŐROTOR: x_{MR}, y_{MR}, z_{MR}

Általánosan:

$$\underline{\underline{A}}_{MR,B} = \begin{bmatrix} -\mathrm{c}\varphi_M & 0 & \mathrm{s}\varphi_M \\ -\mathrm{s}\psi_M \mathrm{s}\varphi_M & \mathrm{c}\psi_M & -\mathrm{s}\psi_M \mathrm{c}\varphi_M \\ -\mathrm{c}\psi_M \mathrm{s}\varphi_M & -\mathrm{s}\psi_M & -\mathrm{c}\psi_M \mathrm{c}\varphi_M \end{bmatrix}$$

Koordináta rendszerek („FŐROTOR” és „FORGÓ” rendszer)

A repülési sebesség a FORGÓ kr.-ben:

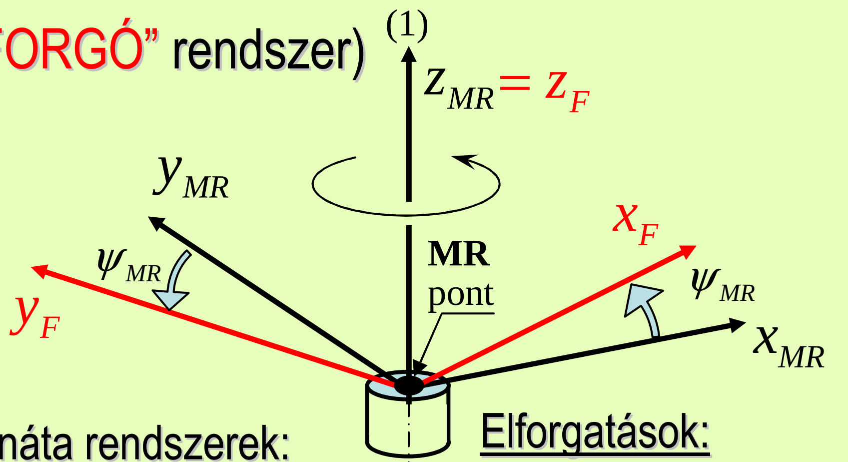
$$\underline{V}_0^F = \underline{\underline{A}}_{F,MR}\underline{V}_0^{MR} = \underline{\underline{A}}_{F,MR}\underline{\underline{A}}_{MR,B}\underline{V}_0^{B}$$

$$= \underline{\underline{A}}_{F,MR}\underline{\underline{A}}_{MR,B}\underline{\underline{A}}_{B,a}\underline{V}_0^{a}$$

$$\left(\underline{V}_0^a\right)^T = \begin{bmatrix} V_0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$ (csúszásmentes repülés)

$$\underline{V}_0^B = \begin{bmatrix} c\alpha_{MR} & 0 & -s\alpha_{MR} \\ 0 & 1 & 0 \\ s\alpha_{MR} & 0 & c\alpha_{MR} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_0 c\alpha_{MR} \\ 0 \\ V_0 s\alpha_{MR} \end{bmatrix}$$

$$\underline{V}_0^{MR} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_0 c\alpha_{MR} \\ 0 \\ V_0 s\alpha_{MR} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -V_0 c\alpha_{MR} \\ 0 \\ -V_0 s\alpha_{MR} \end{bmatrix}$$



Koordináta rendszerek:

FŐROTOR: x_{MR}, y_{MR}, z_{MR}

FORGÓ: x_F, y_F, z_F

Elforgatások:

(1) – azimút szög (ψ_{MR});

Főrotor-tengely

Ahol:

$$\underline{\underline{A}}_{F,MR} = \begin{bmatrix} c\psi_{MR} & s\psi_{MR} & 0 \\ -s\psi_{MR} & c\psi_{MR} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

A végeredmény a legegyszerűbb esetben:

$$\underline{V}_0^F = \begin{bmatrix} c\psi_{MR} & s\psi_{MR} & 0 \\ -s\psi_{MR} & c\psi_{MR} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -V_0 c\alpha_{MR} \\ 0 \\ -V_0 s\alpha_{MR} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -V_0 c\alpha_{MR} c\psi_{MR} \\ V_0 c\alpha_{MR} s\psi_{MR} \\ -V_0 s\alpha_{MR} \end{bmatrix}$$

← TEST { ELTOLT-FÖLD / AËRODINAMIKAI

LAPÁT ← FORGÓ ← **FŐROTOR** ← TEST

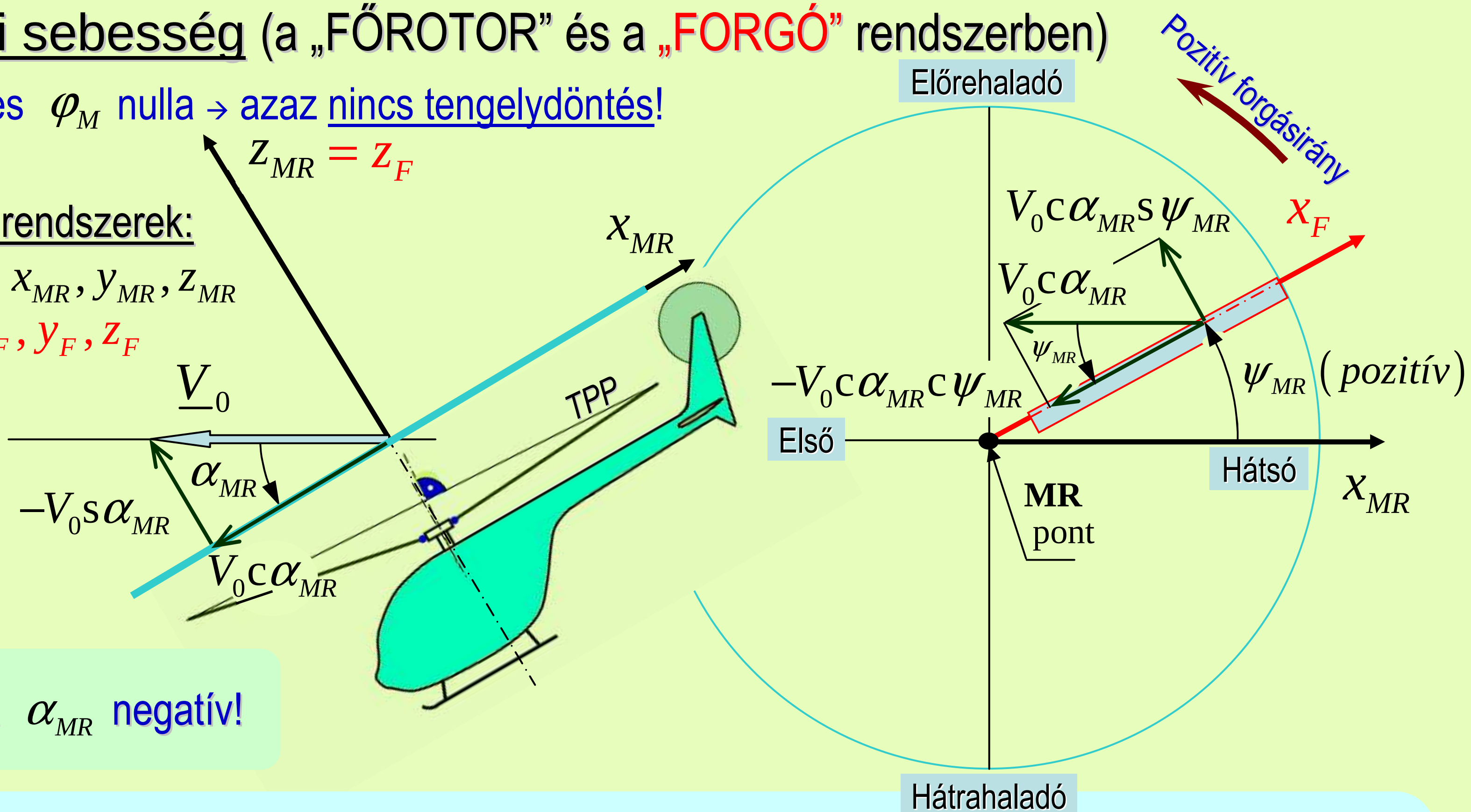
A repülési sebesség (a „FŐROTOR" és a „FORGÓ" rendszerben)

Legyen ψ_M és φ_M nulla → azaz nincs tengelydöntés!

Koordináta rendszerek:

FŐROTOR: x_{MR}, y_{MR}, z_{MR}

FORGÓ: x_F, y_F, z_F



Az itt ábrázolt α_{MR} negatív!

$$\underline{V}_0^F = \begin{bmatrix} -V_0 c\alpha_{MR} c\psi_{MR} \\ V_0 c\alpha_{MR} s\psi_{MR} \\ -V_0 s\alpha_{MR} \end{bmatrix}$$

~ nagyjából a rotorlapát hossztengely irányába mutató sebesség-összetevő

~ nagyjából a rotorlapátra merőleges sebesség-összetevő

~ rotor-forgástengely irányú sebesség-összetevő

← TEST { ELTOLT-FÖLD
AËRODINAMIKAI

LAPÁT← FORGÓ← FŐROTOR← TEST

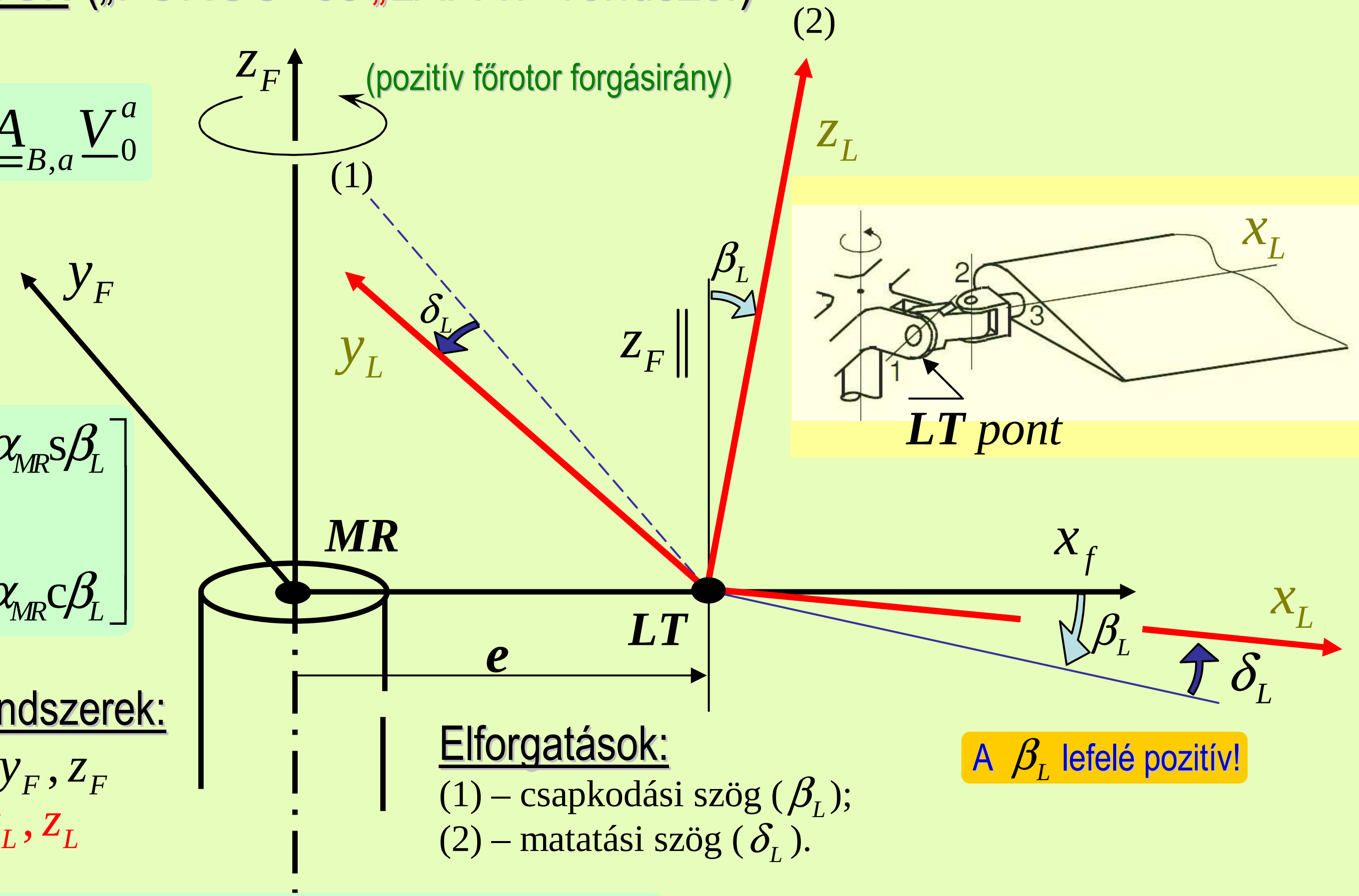
Koordináta rendszerek („FORGÓ” és „LAPÁT” rendszer)

Például:

$$\underline{V}_0^L = \underline{\underline{A}}_{L,F}\,\underline{\underline{A}}_{F,MR}\,\underline{\underline{A}}_{MR,B}\,\underline{\underline{A}}_{B,a}\,\underline{V}_0^a$$

Például:

$$\underline{V}_0^L = \begin{bmatrix} -V_0 c\alpha_{MR} c\psi_{MR} c\beta_L + V_0 s\alpha_{MR} s\beta_L \\ V_0 c\alpha_{MR} s\psi_{MR} \\ -V_0 c\alpha_{MR} c\psi_{MR} s\beta_L - V_0 s\alpha_{MR} c\beta_L \end{bmatrix}$$



Koordináta rendszerek:

FORGÓ: x_F, y_F, z_F

LAPÁT: x_L, y_L, z_L

Elforgatások:

(1) – csapkodási szög (β_L);

(2) – matatási szög (δ_L).

$$\underline{\underline{A}}_{L,F} = \begin{bmatrix} c\delta_L c\beta_L & s\delta_L & -c\delta_L s\beta_L \\ -s\delta_L c\beta_L & c\delta_L & s\delta_L s\beta_L \\ s\beta_L & 0 & c\beta_L \end{bmatrix} \underset{\delta_L \approx 0}{\overset{ha}{\Rightarrow}} \begin{bmatrix} c\beta_L & 0 & -s\beta_L \\ 0 & 1 & 0 \\ s\beta_L & 0 & c\beta_L \end{bmatrix}$$

← TEST { ELTOLT-FÖLD, AËRODINAMIKAI }

LAPÁT ← **FORGÓ** ← FŐROTOR ← TEST

Transzformációk – összefoglaló

A repülési sebességből származó sebességek például:

$$\underline{V}_0^L = \underline{\underline{A}}_{L,F}\,\underline{\underline{A}}_{F,MR}\,\underline{\underline{A}}_{MR,B}\,\underline{\underline{A}}_{B,a}\,\underline{V}_0^a$$

LAPÁT ← FORGÓ ← FŐROTOR ← TEST ← AËRODINAMIKAI

$$\underline{V}_0^L = \begin{bmatrix} -V_0 c\alpha_{MR} c\psi_{MR} c\beta_L + V_0 s\alpha_{MR} s\beta_L \\ V_0 c\alpha_{MR} s\psi_{MR} \\ -V_0 c\alpha_{MR} c\psi_{MR} s\beta_L - V_0 s\alpha_{MR} c\beta_L \end{bmatrix}$$

z_L

$-V_0 c\alpha_{MR} c\psi_{MR} s\beta_L - V_0 s\alpha_{MR} c\beta_L$

$-V_0 s\alpha_{MR} c\beta_L$

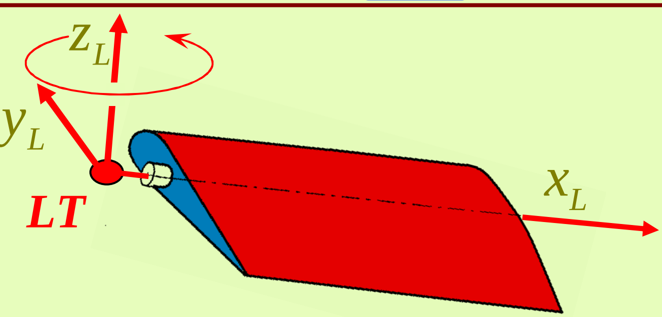
Rendszerint ezzel az összetevővel számolunk → $-V_0 s\alpha_{MR}$
(de akár 10~20% hibát is elkövethetünk)

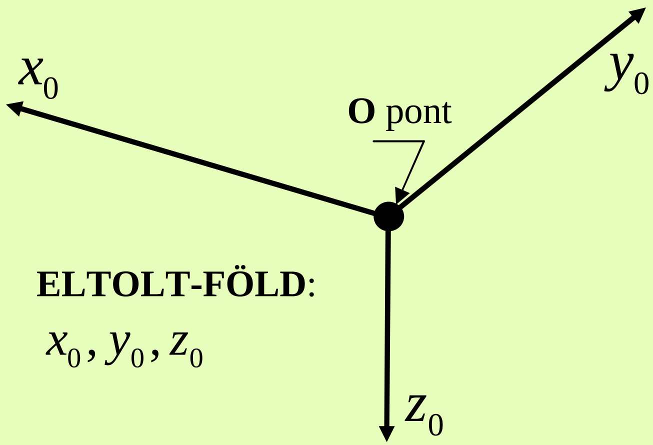
Csúszásmentes repülés, illetve nem bedöntött főtengely esetén!

A rotorlapát súlyereje például:

$$\underline{W}^L_{RotorLapát} = \underline{\underline{A}}_{L,F}\,\underline{\underline{A}}_{F,MR}\,\underline{\underline{A}}_{MR,B}\,\underline{\underline{A}}_{B,0}\,\underline{W}^0_{RotorLapát}$$

LAPÁT ← FORGÓ ← FŐROTOR ← TEST ← ELTOLT-FÖLD





← TEST { ELTOLT-FÖLD / AËRODINAMIKAI

LAPÁT ← **FORGÓ** ← FŐROTOR ← TEST

Köszönöm a figyelmet!