

Modelowanie w Projektowaniu Maszyn

Sprawozdanie: Model dynamiczny przenośnika wibracyjnego

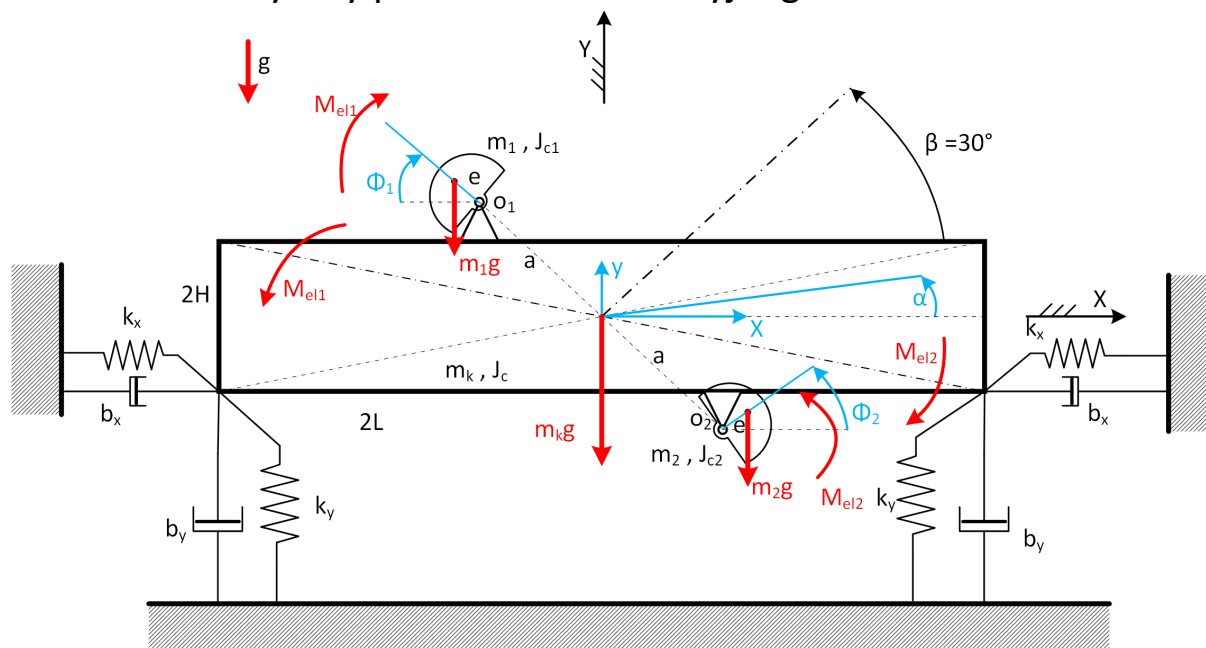
Grupa I-02

Mateusz Krupnik

Andrzej Leśniak

Jakub Lewandowski

1. Model fizyczny przenośnika wibracyjnego.



Rysunek 1. Model fizyczny przenośnika wibracyjnego

Na rysunku 1 przedstawiono model dynamiczny przenośnika wibracyjnego, składającego się z rynny (indeks k) zamocowanej na czterech pakietach sprężyn oraz dwóch wibratorów (indeks 1 i 2). W modelu zastosowano uproszczenie w postaci zamodelowaniu dwóch sprężyn, każda traktowana jako równoległe połączenie. Jest to związane z założeniem, że wszystkie elementy poruszają się ruchem płaskim. Nieruchomy układ współrzędnych został zlokalizowany w położeniu początkowym środka ciężkości rynny. Rysunek nie zawiera nadawy, która zostanie przedstawiona w dalszej części.

Objaśnienie symboli:

m_k – masa korpusu

$m_{1,2}$ – masa niewyważona wibratorów 1 i 2

$M_{el1,el2}$ – moment obrotowy silnika elektrycznego

J_c – moment bezwładności rynny

$J_{c1,c2}$ – moment bezwładności wirnika silnika wibratorów 1 i 2

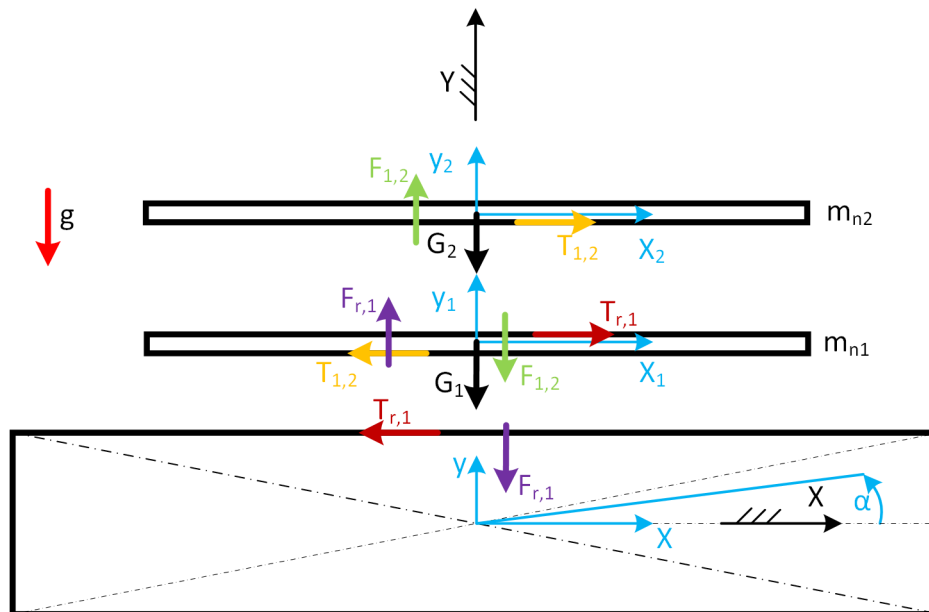
$k_{x,y}$ – Sztywność sprężyn na kierunku x i y

$b_{x,y}$ – Tłumienie na kierunku x i y

e – Długość ramienia masy niewyważonej

a – Odległość środków obrotu wibratorów od środka ciężkości rynny

H,L – Wysokość i długość rynny



Rysunek 2 Model nadawy

Na rysunku ~~numer dwa~~ przedstawiono model nadawy składający się z dwóch warstw. Przeszyczenia na kierunku X oraz Y obu warstw są liczone względem tego samego nieruchomego układu współrzędnych co na poprzedniej pierwszej ilustracji.

Objaśnienia symboli:

$m_{n1,n2}$ – masa nadawy pierwszej i drugiej

$G_{1,2}$ – Siła ciężkości warstw nadawy

$T_{r,1}$ – Siła tarcia między rynną a pierwszą warstwą nadawy

$T_{1,2}$ – Siła tarcia między pierwszą warstwą nadawy a drugą

$F_{r,1}$ – Siła kontaktowa między rynną a pierwszą warstwą nadawy

$F_{1,2}$ – Siła kontaktowa między pierwszą a drugą warstwą nadawy

$x_{1,2}$ – Przeszyczenia na kierunku X pierwszej i drugiej nadawy

$y_{1,2}$ – Przeszyczenia na kierunku Y pierwszej i drugiej nadawy

Założono, że środki ciężkości obu warstw znajdują się w środku ciężkości rynny, przez co siły generowane przez nie na rynne nie wpływają na współrzędną alfa.

2. Wyprowadzenie równań Lagrange'a

Równania zostały zapisane i rozwiązane w programie Mathcad.

Współrzędne uogólnione:

$$q = \{x, y, \alpha, \phi_1, \phi_2, y_1, y_2, x_1, x_2\}$$

gdzie:

$x_{1,2}$ – Przesunięcie poziome nadawcy

$y_{1,2}$ – Przesunięcie pionowe nadawcy

Przesunięcia środków ciężkości wibratorów można zapisać jako:

Wibrator 1: Pozmieniaj na elektrowibrator

$$x_{c1} := (-a \cdot \cos(\beta - \alpha) - e_1 \cdot \cos(\phi_1) + x)$$

$$y_{c1} := a \cdot \sin(\beta - \alpha) + e_1 \cdot \sin(\phi_1) + y$$

Wibrator 2:

$$x_{c2} := (a \cdot \cos(\beta - \alpha) + e_2 \cdot \cos(\phi_2) + x)$$

$$y_{c2} := -a \cdot \sin(\beta - \alpha) + e_2 \cdot \sin(\phi_2) + y$$

Natomiast prędkości po zróźniczkowaniu można zapisać jako:

Wibrator 1:

$$v_{xc1} := v_x + e_1 \cdot \omega_{\phi_1} \cdot \sin(\phi_1) - a \cdot \omega_{\alpha} \cdot \sin(\beta - \alpha)$$

$$v_{yc1} := v_y + e_1 \cdot \omega_{\phi_1} \cdot \cos(\phi_1) - a \cdot \omega_{\alpha} \cdot \cos(\beta - \alpha)$$

Wibrator 2:

$$v_{xc2} := v_x - e_2 \cdot \omega_{\phi_2} \cdot \sin(\phi_2) + a \cdot \omega_{\alpha} \cdot \sin(\beta - \alpha)$$

$$v_{yc2} := v_y - e_2 \cdot \omega_{\phi_2} \cdot \cos(\phi_2) + a \cdot \omega_{\alpha} \cdot \cos(\beta - \alpha)$$

Mając już określone współrzędne uogólnione wraz z obliczonymi wartościami przesunięć i prędkości środków obrotu wibratorów można zapisać:

Lagranżjan:

$$L = E_k - E_p$$

Energia kinetyczna:

$$E_k := \frac{m_k \cdot v_x^2}{2} + \frac{m_k \cdot v_y^2}{2} + \frac{J_c \cdot \omega_{\alpha}^2}{2} + \frac{(J_{c1} + J_{w1} + J_{s1}) \cdot \omega_{\phi_1}^2}{2} + \frac{(J_{c2} + J_{w2} + J_{s2}) \cdot \omega_{\phi_2}^2}{2} + \dots$$

$$+ m_1 \cdot \frac{(v_{xc1})^2}{2} + m_1 \cdot \frac{(v_{yc1})^2}{2} + m_2 \cdot \frac{(v_{xc2})^2}{2} + m_2 \cdot \frac{(v_{yc2})^2}{2}$$

Energia potencjalna:

$$E_p := k_x \cdot (x + H \cdot \alpha)^2 + \frac{k_y \cdot (y + \alpha \cdot l)^2}{2} + \frac{k_y \cdot (y - \alpha \cdot l)^2}{2} + g \cdot m_k \cdot y + g \cdot m_1 \cdot y_{c1} + g \cdot m_2 \cdot y_{c2}$$

$$\begin{aligned}
L := & \frac{m_k \cdot \left(\frac{d}{dt}x\right)^2}{2} + \frac{m_k \cdot \left(\frac{d}{dt}y\right)^2}{2} + \frac{J_c \cdot \left(\frac{d}{dt}\alpha\right)^2}{2} + \frac{(J_{c1} + J_{w1} + J_{s1}) \cdot \left(\frac{d}{dt}\phi_1\right)^2}{2} + \frac{(J_{c2} + J_{w2} + J_{s2}) \cdot \left(\frac{d}{dt}\phi_2\right)^2}{2} + \blacksquare \dots \\
& + m_1 \cdot \frac{\left(\frac{d}{dt}x_{c1}\right)^2}{2} + m_1 \cdot \frac{\left(\frac{d}{dt}y_{c1}\right)^2}{2} + m_2 \cdot \frac{\left(\frac{d}{dt}x_{c2}\right)^2}{2} + m_2 \cdot \frac{\left(\frac{d}{dt}y_{c2}\right)^2}{2} - m_k \cdot g \cdot y - m_1 \cdot g \cdot y_{c1} - m_2 \cdot g \cdot y_{c2} \dots \\
& + \blacksquare - \frac{k_y \cdot (y + l \cdot \alpha)^2}{2} - \frac{k_y \cdot (y - l \cdot \alpha)^2}{2} - \frac{k_x \cdot (x + H \cdot \alpha)^2}{2} - \frac{k_x \cdot (-x - H \cdot \alpha)^2}{2}
\end{aligned}$$

Moc strat liniowych:

$$D := \frac{b_y \cdot \left[\frac{d}{dt}y + l \cdot \left(\frac{d}{dt}\alpha\right)\right]^2}{2} + \frac{b_y \cdot \left[\frac{d}{dt}y - l \cdot \left(\frac{d}{dt}\alpha\right)\right]^2}{2} + \frac{b_x \cdot \left[\frac{d}{dt}x - H \cdot \left(\frac{d}{dt}\alpha\right)\right]^2}{2} + \frac{b_x \cdot \left[\frac{d}{dt}x + H \cdot \left(\frac{d}{dt}\alpha\right)\right]^2}{2}$$

Równanie Lagrange'a dla współrzędnej uogólnionej x

$$\begin{aligned}
Q_x := & m_1 \cdot e \cdot \cos(\phi_1) \cdot \left(\frac{d}{dt}\phi_1\right)^2 - m_1 \cdot e \cdot \cos(\phi_2) \cdot \left(\frac{d}{dt}\phi_2\right)^2 + 2 \cdot b_x \cdot \left(\frac{d}{dt}x\right) + 2 \cdot k_x \cdot x + 2 \cdot m_1 \cdot \frac{d^2}{dt^2}x + \blacksquare \dots \\
& + m_k \cdot \frac{d^2}{dt^2}x + 2 \cdot H \cdot \alpha \cdot k_x + 2 \cdot H \cdot b_x \cdot \left(\frac{d}{dt}\alpha\right) + m_1 \cdot \frac{d^2}{dt^2}\phi_1 \cdot e \cdot \sin(\phi_1) - m_1 \cdot \frac{d^2}{dt^2}\phi_2 \cdot e \cdot \sin(\phi_2)
\end{aligned}$$

Równanie Lagrange'a dla współrzędnej uogólnionej y

$$\begin{aligned}
Q_y := & 2 \cdot g \cdot m_1 - m_1 \cdot e \cdot \sin(\phi_2) \cdot \left(\frac{d}{dt}\phi_2\right)^2 - m_1 \cdot e \cdot \sin(\phi_1) \cdot \left(\frac{d}{dt}\phi_1\right)^2 + g \cdot m_k + 2 \cdot b_y \cdot \left(\frac{d}{dt}y\right) + 2 \cdot m_1 \cdot \frac{d^2}{dt^2}y + \blacksquare \dots \\
& + m_k \cdot \frac{d^2}{dt^2}y + 2 \cdot k_y \cdot y + m_1 \cdot \frac{d^2}{dt^2}\phi_1 \cdot e \cdot \cos(\phi_1) + m_1 \cdot \frac{d^2}{dt^2}\phi_2 \cdot e \cdot \cos(\phi_2)
\end{aligned}$$

Równanie Lagrange'a dla współrzędnej uogólnionej α

$$\begin{aligned}
Q_\alpha := & J_c \cdot \frac{d^2}{dt^2}\alpha + 2 \cdot H \cdot b_x \cdot \left(\frac{d}{dt}x\right) + 2 \cdot H \cdot k_x \cdot x + 2 \cdot H^2 \cdot \alpha \cdot k_x + 2 \cdot H^2 \cdot b_x \cdot \left(\frac{d}{dt}\alpha\right) + 2 \cdot \alpha \cdot k_y \cdot l^2 + 2 \cdot b_y \cdot l^2 \cdot \left(\frac{d}{dt}\alpha\right) + \blacksquare \dots \\
& + 2 \cdot a^2 \cdot m_1 \cdot \frac{d^2}{dt^2}\alpha - a \cdot m_1 \cdot \left(\frac{d}{dt}\phi_1\right)^2 \cdot \sin(\beta - \alpha - \phi_1) \cdot e + a \cdot m_1 \cdot \frac{d^2}{dt^2}\phi_2 \cdot e \cdot \cos(\beta - \alpha + \phi_2) - \blacksquare \dots \\
& + a \cdot m_1 \cdot \frac{d^2}{dt^2}\phi_1 \cdot \cos(\beta - \alpha - \phi_1) \cdot e - a \cdot m_1 \cdot \left[\left(\frac{d}{dt}\phi\right)_2\right]^2 \cdot e \cdot \sin(\beta - \alpha + \phi_2)
\end{aligned}$$

Równanie Lagrange'a dla współrzędnej uogólnionej ϕ_1

$$Q_{\phi_1} := J_{c1} \cdot \frac{d^2}{dt^2} \phi_1 + J_{s1} \cdot \frac{d^2}{dt^2} \phi_1 + J_{w1} \cdot \frac{d^2}{dt^2} \phi_1 + m_1 \cdot \frac{d^2}{dt^2} \phi_1 \cdot e^2 + g \cdot m_1 \cdot e \cdot \cos(\phi_1) + m_1 \cdot \frac{d^2}{dt^2} y \cdot e \cdot \cos(\phi_1) + \dots$$

$$+ m_1 \cdot \frac{d^2}{dt^2} x \cdot e \cdot \sin(\phi_1) - a \cdot m_1 \cdot \left(\frac{d}{dt} \alpha \right) \cdot \cos(\beta - \alpha - \phi_1) \cdot e - a \cdot \alpha \cdot m_1 \cdot \left(\frac{d}{dt} \alpha \right) \cdot \sin(\beta - \alpha - \phi_1) \cdot e - \dots$$

$$+ a \cdot \alpha \cdot m_1 \cdot \left(\frac{d}{dt} \phi_1 \right) \cdot \sin(\beta - \alpha - \phi_1) \cdot e + a \cdot m_1 \cdot \left(\frac{d}{dt} \alpha \right) \cdot \left(\frac{d}{dt} \phi_1 \right) \cdot \sin(\beta - \alpha - \phi_1) \cdot e$$

Równanie Lagrange'a dla współrzędnej uogólnionej ϕ_2

$$Q_{\phi_2} := J_{c1} \cdot \frac{d^2}{dt^2} \phi_2 + J_{s1} \cdot \frac{d^2}{dt^2} \phi_2 + J_{w1} \cdot \frac{d^2}{dt^2} \phi_2 + m_1 \cdot \frac{d^2}{dt^2} \phi_2 \cdot e^2 + g \cdot m_1 \cdot e \cdot \cos(\phi_2) + m_1 \cdot \frac{d^2}{dt^2} y \cdot e \cdot \cos(\phi_2) - \dots$$

$$+ m_1 \cdot \frac{d^2}{dt^2} x \cdot e \cdot \sin(\phi_2) + a \cdot m_1 \cdot \left(\frac{d}{dt} \alpha \right) \cdot e \cdot \cos(\beta - \alpha + \phi_2) + a \cdot \alpha \cdot m_1 \cdot \left(\frac{d}{dt} \alpha \right) \cdot e \cdot \sin(\beta - \alpha + \phi_2) - \dots$$

$$+ a \cdot \alpha \cdot m_1 \cdot \left(\frac{d}{dt} \phi_2 \right) \cdot e \cdot \sin(\beta - \alpha + \phi_2) + a \cdot m_1 \cdot \left(\frac{d}{dt} \alpha \right) \cdot \left(\frac{d}{dt} \phi_2 \right) \cdot e \cdot \sin(\beta - \alpha + \phi_2)$$

Wartości sił uogólnionych Q_{qi} dla równań z nadawą:

Dla równań bez nadawy

$$Q_x := 0$$

$$Q_y := 0$$

$$Q_\alpha := M_{el1} - M_{el2}$$

$$Q_{\phi_1} := M_{el1}$$

$$Q_{\phi_2} := M_{el2}$$

Wartości sił uogólnionych Q_{qi} dla równań z nadawą:

$$Q_x := -T_{r,1}$$

$$Q_y := -F_{r,1}$$

$$Q_\alpha := M_{el1} - M_{el2}$$

$$Q_{\phi_1} := M_{el1}$$

$$Q_{\phi_2} := M_{el2}$$

Dla których wartości momentów elektrycznych M_{el1} oraz M_{el2} wyrażane są zależnością funkcyjną ze zmienną prędkością kątową wirnika silnika:

$$M_{el1} := 2 \cdot M_{ut} \cdot \left(\omega_s - \omega_{ut} \right) \cdot \frac{\left(\omega_s - \frac{d}{dt} \phi_1 \right)}{\left(\omega_s - \omega_{ut} \right)^2 + \left(\omega_s - \frac{d}{dt} \phi_1 \right)^2}$$

$$M_{el2} := 2 \cdot M_{ut} \cdot (\omega_s - \omega_{ut}) \cdot \frac{\left(\omega_s - \frac{d}{dt} \phi_2 \right)}{\left(\omega_s - \omega_{ut} \right)^2 + \left(\omega_s - \frac{d}{dt} \phi_2 \right)^2}$$

gdzie:

M_{ut} – Moment utyku silnika

ω_s - prędkość kątowa wirnika synchroniczna

ω_{ut} – prędkość kątowa wirnika utyku

Ruch nadawy może zostać opisany równaniami Newtona:

$$m_{n1} \cdot \frac{d^2}{dt^2} x_1 = (T_{r,1} - T_{1,2})$$

$$m_{n1} \cdot \frac{d^2}{dt^2} y_1 = (F_{r,1} - F_{1,2} - m_{n1} \cdot g)$$

$$m_{n2} \cdot \frac{d^2}{dt^2} x_2 = (T_{1,2})$$

$$m_{n2} \cdot \frac{d^2}{dt^2} y_2 = (F_{1,2} - m_{n2} \cdot g)$$

$$F_{j,(j-1,k)} = (y_{j-1,k} - y_{j,k})^p \cdot k \cdot \left[1 - \frac{(1 - R^2)}{2} \cdot \left[1 - \operatorname{sgn}(y_{j-1,k} - y_{j,k}) \cdot \operatorname{sgn} \left[\left(\frac{d}{dt} x \right)_{j-1,k} - \left(\frac{d}{dt} x \right)_{j,k} \right] \right] \right]$$

$$F_{t(j,j-1,k)} = -\mu \cdot F_{j(j-1,k)} \cdot \operatorname{sgn} \left[\left(\frac{d}{dt} x \right)_{j,k} - \left(\frac{d}{dt} x \right)_{j-1,k} \right]$$

gdzie:

m_{n1} – Masa nadawy pierwszej

m_{n2} – Masa nadawy drugiej

$T_{r,1}(\dots)$ – Siła tarcia

$F_{r,1}(\dots)$ - Siła kontaktowa

R – Współczynnik restytucji

p – Wykładnik Hertza Sztajermana

μ – współczynnik tarcia rynny i nadawy

μ_2 – współczynnik tarcia między nadawami

k – stała sprężystości kontaktowej brył

Ostatecznie można uzyskać następujące macierze:

$$\begin{pmatrix} \omega_\alpha & v_x & v_y & \omega_\phi 1 & \omega_\phi 2 & \alpha & x & y & \phi 1 & \phi 2 & v_{x1} & v_{y1} & v_{x2} & v_{y2} & x_1 & y_1 & x_2 & y_2 \end{pmatrix} Q :=$$

Czy dasz radę przenieść macierze nadawy jako drugie, bo to bez sensu jak jest najpierw z nadawą a potem bez

[illegible]

$$\begin{aligned}
\mathbf{M}_{\text{el}11} - \mathbf{M}_{\text{el}12} - 2 \cdot \mathbf{H} \cdot \mathbf{b}_X \cdot \mathbf{v}_X - 2 \cdot \mathbf{K} \cdot \mathbf{k}_X \cdot \mathbf{x} - 2 \cdot \mathbf{H}^2 \mathbf{k}_X \cdot \alpha - 2 \cdot \mathbf{H}^2 \mathbf{b}_X \cdot \omega \alpha - 2 \cdot \mathbf{k}_Y \cdot \mathbf{l}^2 \cdot \alpha - 2 \cdot \mathbf{b}_Y \cdot \mathbf{l}^2 \cdot \omega \alpha + \mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{a} \cdot \mathbf{e} \cdot \sin(\beta - \alpha - \phi_1) \cdot (\omega \phi_1)^2 + \mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{a} \cdot \mathbf{e} \cdot \sin(\beta - \alpha + \phi_2) \cdot (\omega \phi_2)^2 \\
- \mathbf{T}_{r,1} - \mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{e} \cdot (\omega \phi_1)^2 \cdot \cos(\phi_1) + \mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{e} \cdot (\omega \phi_2)^2 \cdot \cos(\phi_2) - 2 \cdot \mathbf{b}_X \cdot \mathbf{v}_X - 2 \cdot \mathbf{k}_X \cdot \mathbf{x} - 2 \cdot \mathbf{H} \cdot \mathbf{k}_X \cdot \alpha - 2 \cdot \mathbf{H} \cdot \mathbf{b}_X \cdot \omega \alpha \\
- \mathbf{F}_{r,1} - \mathbf{g} \cdot (2 \cdot \mathbf{m}_1 + \mathbf{m}_k) + \mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{e} \cdot (\omega \phi_2)^2 \cdot \sin(\phi_2) + \mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{e} \cdot (\omega \phi_1)^2 \cdot \sin(\phi_1) - 2 \cdot \mathbf{b}_Y \cdot \mathbf{v}_Y - 2 \cdot \mathbf{k}_Y \cdot \mathbf{y} \\
\mathbf{M}_{\text{el}11} - \mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{e} \cdot \mathbf{g} \cdot \cos(\phi_1) - \mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{a} \cdot \mathbf{e} \cdot \cos(\beta - \alpha - \phi_1) \cdot \omega \alpha - \mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{a} \cdot \mathbf{e} \cdot \sin(\beta - \alpha - \phi_1) \cdot \alpha \cdot \omega \phi_1 + \mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{a} \cdot \mathbf{e} \cdot \sin(\beta - \alpha - \phi_1) \cdot \omega \alpha \cdot \omega \phi_1 \\
\mathbf{M}_{\text{el}12} - \mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{e} \cdot \mathbf{g} \cdot \cos(\phi_2) - \mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{a} \cdot \mathbf{e} \cdot \cos(\beta - \alpha + \phi_2) \cdot \omega \alpha - \mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{a} \cdot \mathbf{e} \cdot \sin(\beta - \alpha + \phi_2) \cdot \alpha \cdot \omega \phi_2 - \mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{a} \cdot \mathbf{e} \cdot \sin(\beta - \alpha + \phi_2) \cdot \omega \alpha \cdot \omega \phi_2 \\
\omega \alpha \\
\mathbf{v}_X \\
\mathbf{v}_Y \\
\omega \phi_1 \\
\omega \phi_2 \\
\mathbf{W} := \left[\begin{aligned}
& -\mu \cdot \left[(y - y_1) \cdot k \cdot \left[1 - \frac{(1 - R^2) \cdot [1 - \text{sgn} \cdot (y - y_1) \cdot \text{sgn} \cdot (v_y - v_{y1})]}{2} \right] \cdot \text{sgn}(v_{x1} - v_x) + \mu \cdot \left[(y_1 - y_2) \cdot k \cdot \left[1 - \frac{(1 - R^2) \cdot [1 - \text{sgn} \cdot (y_1 - y_2) \cdot \text{sgn} \cdot (v_{y1} - v_{y2})]}{2} \right] \cdot \text{sgn}(v_{x2} - v_{x1}) \right] \right. \\
& \left. - \mathbf{m}_{n1} \cdot \mathbf{g} + (y - y_1) \cdot k \cdot \left[1 - \frac{(1 - R^2) \cdot [1 - \text{sgn} \cdot (y - y_1) \cdot \text{sgn} \cdot (v_y - v_{y1})]}{2} \right] - (y_1 - y_2) \cdot k \cdot \left[1 - \frac{(1 - R^2) \cdot [1 - \text{sgn} \cdot (y_1 - y_2) \cdot \text{sgn} \cdot (v_{y1} - v_{y2})]}{2} \right] \right] \\
& \left. - \mu \cdot \left[(y_1 - y_2) \cdot k \cdot \left[1 - \frac{(1 - R^2) \cdot [1 - \text{sgn} \cdot (y_1 - y_2) \cdot \text{sgn} \cdot (v_{y1} - v_{y2})]}{2} \right] \cdot \text{sgn}(v_{x2} - v_{x1}) \right] \right. \\
& \left. - \mathbf{m}_{n2} \cdot \mathbf{g} + (y_1 - y_2) \cdot k \cdot \left[1 - \frac{(1 - R^2) \cdot [1 - \text{sgn} \cdot (y_1 - y_2) \cdot \text{sgn} \cdot (v_{y1} - v_{y2})]}{2} \right] \right] \\
& \mathbf{v}_{x1} \\
& \mathbf{v}_{y1} \\
& \mathbf{v}_{x2} \\
& \mathbf{v}_{y2}
\end{aligned} \right]
\end{aligned}$$

Analogicznie można wyprowadzić macierze dla przenośnika bez zamodelowanej nadawy:

$$\begin{aligned}
 M &:= \begin{pmatrix} J_c + 2 \cdot m_l \cdot a^2 & 0 & 0 & -a \cdot m_l \cdot e \cdot \cos(\beta - \alpha - \phi_1) & a \cdot m_l \cdot e \cdot \cos(\beta - \alpha + \phi_2) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2m_l + m_k & 0 & m_l \cdot e \cdot \sin(\phi_1) & -m_l \cdot e \cdot \sin(\phi_2) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \cdot m_l + m_k & m_l \cdot e \cdot \cos(\phi_1) & m_l \cdot e \cdot \cos(\phi_2) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_l \cdot e \cdot \sin(\phi_1) & m_l \cdot e \cdot \cos(\phi_1) & J_{c1} + J_{s1} + J_{w1} + m_l \cdot e^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -m_l \cdot e \cdot \sin(\phi_2) & m_l \cdot e \cdot \cos(\phi_2) & 0 & J_{c1} + J_{s1} + J_{w1} + m_l \cdot e^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\
 Q &:= \begin{pmatrix} \omega\alpha & vx & vy & \omega\phi_1 & \omega\phi_2 & \alpha & x & y & \phi_1 & \phi_2 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \left[\begin{aligned}
& \mathbf{M}_{\text{eI1}} - \mathbf{M}_{\text{eI2}} - 2 \cdot \mathbf{H} \cdot \mathbf{b}_X \cdot \mathbf{v}_X - 2 \cdot \mathbf{K} \cdot \mathbf{k}_X \cdot \mathbf{x} - 2 \cdot \mathbf{H}^2 \mathbf{k}_X \cdot \alpha - 2 \cdot \mathbf{H}^2 \mathbf{b}_X \cdot \omega \alpha - 2 \cdot \mathbf{k}_Y \cdot \mathbf{l} \cdot \alpha - 2 \cdot \mathbf{b}_Y \cdot \mathbf{l}^2 \cdot \omega \alpha + \mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{a} \cdot \mathbf{e} \cdot \sin(\beta - \alpha - \phi_1) \cdot (\omega \phi_1)^2 + \mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{a} \cdot \mathbf{e} \cdot \sin(\beta - \alpha + \phi_2) \cdot (\omega \phi_2)^2 \\
& - \mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{e} \cdot (\omega \phi_1)^2 \cdot \cos(\phi_1) + \mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{e} \cdot (\omega \phi_2)^2 \cdot \cos(\phi_2) - 2 \cdot \mathbf{b}_X \cdot \mathbf{v}_X - 2 \cdot \mathbf{k}_X \cdot \mathbf{x} - 2 \cdot \mathbf{H} \cdot \mathbf{k}_X \cdot \alpha - 2 \cdot \mathbf{H} \cdot \mathbf{b}_X \cdot \omega \alpha \\
& - \mathbf{g} \cdot (2 \cdot \mathbf{m}_1 + \mathbf{m}_K) + \mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{e} \cdot (\omega \phi_2)^2 \cdot \sin(\phi_2) + \mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{e} \cdot (\omega \phi_1)^2 \cdot \sin(\phi_1) - 2 \cdot \mathbf{b}_Y \cdot \mathbf{v}_Y - 2 \cdot \mathbf{k}_Y \cdot \mathbf{y} \\
& \mathbf{M}_{\text{eI1}} - \mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{e} \cdot \mathbf{g} \cdot \cos(\phi_1) - \mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{a} \cdot \mathbf{e} \cdot \cos(\beta - \alpha - \phi_1) \cdot \omega \alpha - \mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{a} \cdot \mathbf{e} \cdot \sin(\beta - \alpha - \phi_1) \cdot \alpha \cdot \omega \phi_1 + \mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{a} \cdot \mathbf{e} \cdot \sin(\beta - \alpha - \phi_1) \cdot \omega \alpha \cdot \omega \phi_1 \\
& \mathbf{M}_{\text{eI2}} - \mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{e} \cdot \mathbf{g} \cdot \cos(\phi_2) - \mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{a} \cdot \mathbf{e} \cdot \cos(\beta - \alpha + \phi_2) \cdot \omega \alpha - \mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{a} \cdot \mathbf{e} \cdot \sin(\beta - \alpha + \phi_2) \cdot \alpha \cdot \omega \phi_2 - \mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{a} \cdot \mathbf{e} \cdot \sin(\beta - \alpha + \phi_2) \cdot \omega \alpha \cdot \omega \phi_2 \\
& \omega \alpha \\
& \mathbf{v}_X \\
& \mathbf{v}_Y \\
& \omega \phi_1 \\
& \omega \phi_2
\end{aligned} \right]
\end{aligned}$$

W :=

3. Parametry przyjęte do obliczeń symulacyjnych. Obliczenia dodatkowe niezbędne do wykonania symulacji.

a) Wymiary przenośnika wibracyjnego

$$e = 0,02 \text{ cm}$$

$$a = 0,225 \text{ m}$$

$$H = 0,15 \text{ m}$$

$$L = 0,5 \text{ m}$$

$$\beta = \frac{\pi}{6}$$

Jednostki w nawiasach

b) Parametry potrzebne do obliczeń sił kontaktowych i tarcia w nadawie

~~One albo były podane albo zerżnięte z jego inżynierki xD~~

wyjęb to xD

$$m_{n1} = 0,72 \text{ kg}$$

$$m_{n2} = 0,72 \text{ kg}$$

$$R = 0,01$$

$$p = 1$$

$$\mu = 0,4$$

$$\mu_2 = 0,7$$

$$k = 1,5 \cdot 10^8$$

Obliczenia masy nadawy pierwszej oraz drugiej

$$\rho = 1440 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] - \text{gęstość piasku}$$

$$h = 0,002 \text{ [m]} - \text{wysokość nadawy}$$

$$P = 0,25 \text{ [m}^2\text{]} - \text{pole powierzchni nadawy (odczytane z programu SOLIDWORKS)}$$

$$v = 0,25 \cdot 0,002 = 0,0005 \text{ [m}^3\text{]} - \text{objętość nadawy}$$

$$m = v \cdot \rho = 1440 \cdot 0,0005 = 0,72 \text{ [kg]} - \text{masa nadawy}$$

c) Obliczenia niezbędne dla uzyskania momentów elektrycznych

Część informacji dotyczących elektrowibratora została odczytana z katalogu firmy OLI (www.olivibra.com.pl) oraz tabliczki znamionowej znajdującej się na badanym obiekcie.

Typ MVE 200/15

$$\text{Moc } P_{rob\ nom} = 0,16 \text{ [kW]}$$

$$\text{Masa elektrowibratora: } 11,8 \text{ [kg]}$$

$$\text{Moment statyczny: } 2,985 \text{ [Kgcm]}$$

Stałe silnika asynchronicznego:

$$\omega_{znam} = \frac{\pi \cdot n_{nom}}{30} = \frac{\pi \cdot 1400}{30} = 146,61 \left[\frac{1}{s} \right]$$

$$\omega_{synch} = \frac{\pi \cdot n_{synch}}{30} = \frac{\pi \cdot 1500}{30} = 157,08 \left[\frac{1}{s} \right]$$

$$M_{rob\ el} = \frac{P_{rob\ nom}}{\omega_{synch}} = \frac{0,16 \cdot 1000}{157,08} = 1,019 [Nm]$$

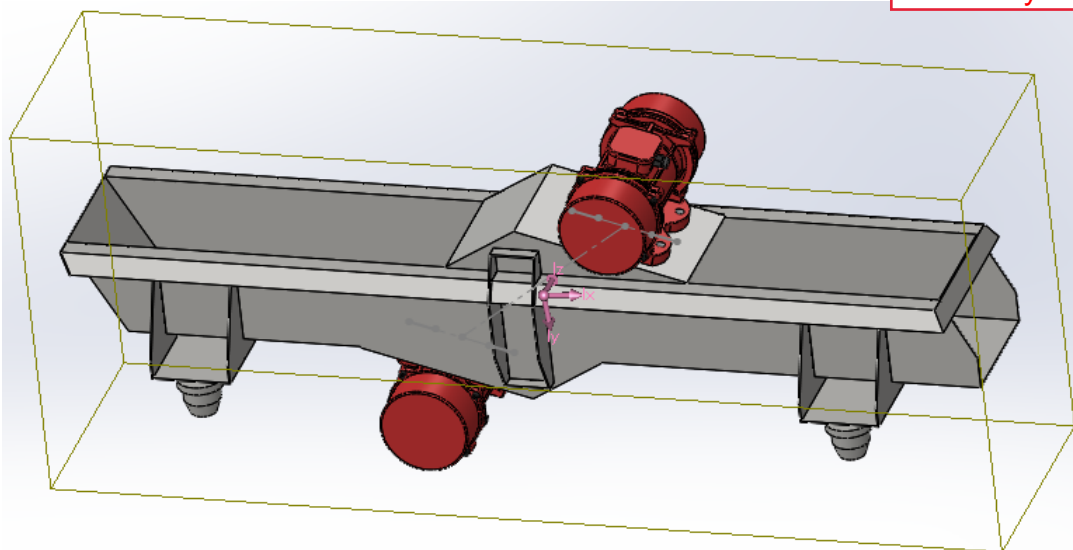
$$M_{rob\ ut} = M_{rob\ el} \cdot p = 1,019 \cdot p = 2,547 [Nm]$$

$$s_{rob\ nom} = \frac{n_{synchr} - n_{rob\ nom}}{n_{synchr}} = \frac{1500 - 1400}{1500} = 0,067$$

$$s_{rob\ ut} = s_{rob\ nom} \cdot (p + \sqrt{p^2 - 1}) = 0,067 \cdot (2,5 + \sqrt{2,5^2 - 1}) = 0,321$$

d) Masy i momenty bezwładności

Ten rysunek
poprosze na sam
początek, przed
model fizyczny



Rysunek 3 model geometryczny wibratora z układem współrzędnych względem którego liczone moment bezwładności

Masa silnika wynosi 12 kg, natomiast masa niewyważona 3,86 kg (oznaczona jako $m_{1,2}$). Masa korpusu i stojana wynosi zatem 8,14 kg. Wartości te wraz z masą całej rynny (38,95 kg) są masami oznaczonymi w równaniach wcześniej jako m_k , czyli poruszającymi się ruchem płaskim (współrzędne uogólnione x , y i α). Na rysunku trzecim przedstawiono zdjęcie z programu SOLIDWORKS wraz z układem współrzędnych względem którego liczone moment bezwładności (I_{zz}). Wartości bezwładności $J_{S1,S2}$ oraz $J_{W1,W2}$ były odczytane z katalogu OMEC Motors dla silnika podobnej wielkości.

$$m_{1,2} = 3,86 [kg]$$

$$m_k = 55,2323 [kg]$$

$$J_C = 1,3336 kg \cdot m^2$$

$$J_{C1,C2} = 4,8403 \cdot 10^{-5} [kg \cdot m^2]$$

$$J_{S1,S2} = 0,0075 [kg \cdot m^2]$$

$$J_{W1,W2} = 0,0075 [kg \cdot m^2]$$

e) Sztywność i tłumienie sprężyn

Obliczenia sztywności i tłumienia zostały wykonane na podstawie danych pomiarowych:

Sygnal 1 – kierunek pionowy bez dodatkowej masy

Odczytana amplituda i czas w punkcie pierwszym:

$$x_1 = 1,969 [s], y_1 = 2,695 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

Drugi punkt odczytany po 10 okresach:

$$x_2 = 5,474 [s], y_2 = 2,734 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

Okres drgań T:

$$T_1 = 1,701 - 1,351 = 0,35 [s]$$

Częstość ω :

$$\omega_1 = \frac{2\pi}{T_1} = 17,952 \left[\frac{rad}{s} \right]$$

Sygnal 2 – kierunek pionowy z dodatkową masą

Odczytana amplituda i czas w punkcie pierwszym:

$$x_1 = 0,195 [s], y_1 = 2,734 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

Drugi punkt odczytany po 15 okresach:

$$x_2 = 5,740 [s], y_2 = 1,883 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

Okres drgań T:

$$T_2 = 1,393 - 1,023 = 0,37 [s]$$

Częstość ω :

$$\omega_2 = \frac{2\pi}{T_2} = 16,982 \left[\frac{rad}{s} \right]$$

Sygnal 3 – kierunek poziomy

Odczytana amplituda i czas w punkcie pierwszym:

$$x_1 = 0,198 [s], y_1 = 0,759 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

Drugi punkt odczytany po 6 okresach:

$$x_2 = 5,324 [s], y_2 = 0,434 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

Okres drgań T:

$$T_3 = 1,694 - 0,844 = 0,85 [s]$$

Częstość ω :

$$\omega_3 = \frac{2\pi}{T_3} = 7,392 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

Na podstawie logarytmicznego dekrementu tłumienia

$$\beta_1 = \frac{-\ln\left(\frac{y_1}{y_2}\right)}{n_1 T_1} = 0,0676, \beta_2 = 0,0672, \beta_3 = 0,1094$$

Przekształcając układ równań:

$$\omega_{t_2} = \sqrt{\frac{k_z}{m + m_d} - \beta_2^2}, \quad \omega_{t_1} = \sqrt{\frac{k_z}{m} - \beta_1^2}$$

Otrzymano wyrażenie na zastępczy współczynnik sprężystości na kierunku pionowym, masę układu oraz zastępczy współczynnik tłumienia:

$$k_{zy} = m_d \frac{(\beta_1^2 + \omega_1^2)(\beta_2^2 + \omega_2^2)}{(\beta_1^2 + \omega_1^2) - (\beta_2^2 + \omega_2^2)} = 20288 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}} \right]$$

$$m = k \frac{1}{\beta_1^2 + \omega_1^2} = 62,9523 [\text{kg}]$$

$$b_{zy} = \beta_1 \cdot 2m = 8,5142 \left[\frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}} \right]$$

Otrzymano wyrażenie na zastępczy współczynnik sprężystości na kierunku poziomym oraz zastępczy współczynnik tłumienia:

$$k_{zx} = m \cdot (\beta_3^2 + \omega_3^2) = 25428 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}} \right]$$

$$b_{zx} = \beta_3 \cdot 2m = 13,7763 \left[\frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}} \right]$$

Ostatecznie sztywności i tłumienia sprężyn ~~wyrażają~~ się następująco:

$$k_x = \frac{1}{2} k_{zx} = 1,2714$$

$$k_y = \frac{1}{2} k_{zy} = 1,0144$$

$$b_x = 6,882$$

$$b_y = 4,2571$$

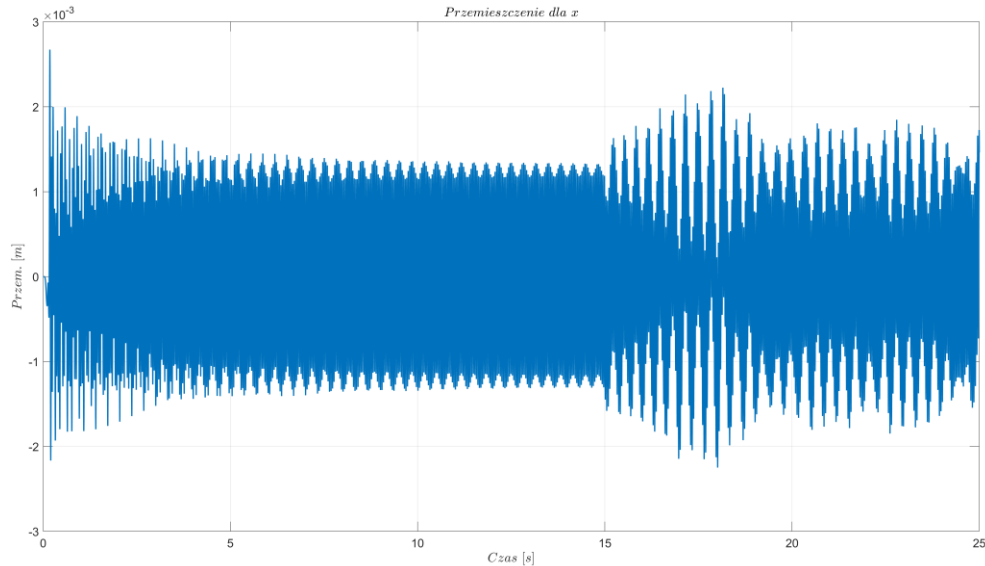
nie wyrażają, tylko wynoszą

Przebiegi przemieszczeń na
współrzędnych X Y alfa fi1 fi2

4. Wyniki

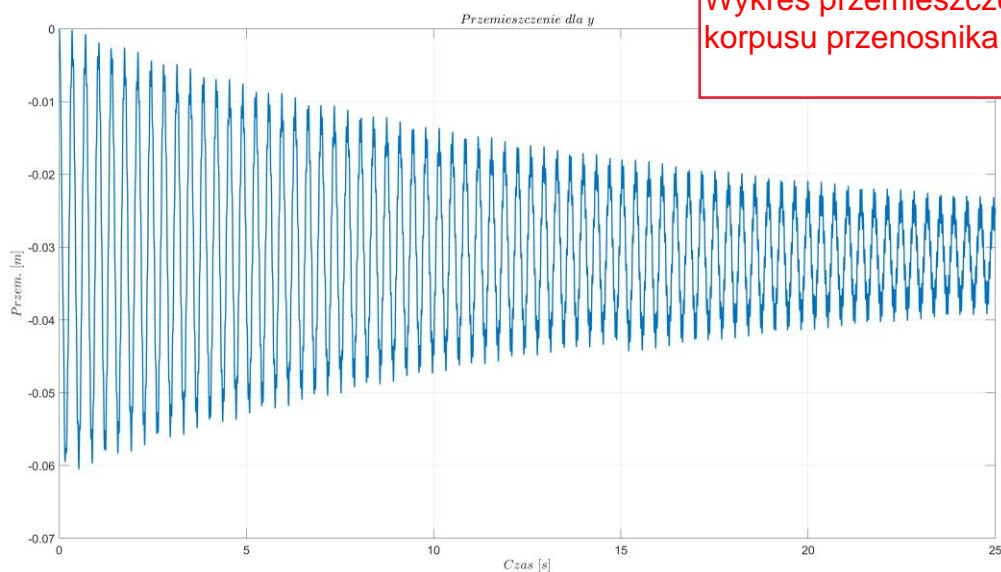
a) ~~Przemieszczenia korpusu na kierunku X, Y i obrót α , obroty wałów silników ϕ_1, ϕ_2~~

nie musisz
pisać obrot



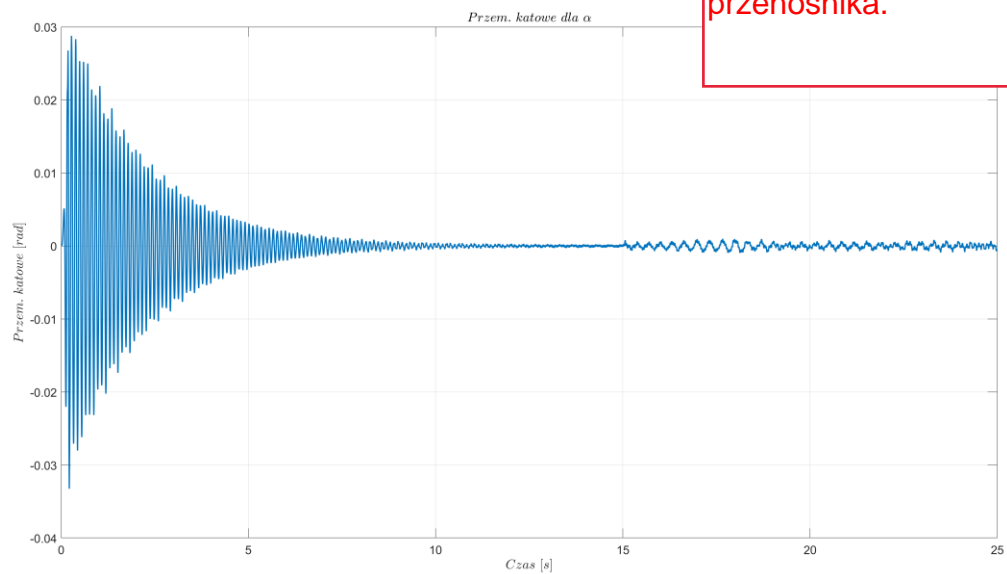
Rysunek 4 Przemieszczenie na X korpusu

co to kurwa jest xD?
Powinno być:
Wykres przemieszczenia współrzędnej X
korpusu przenośnika.



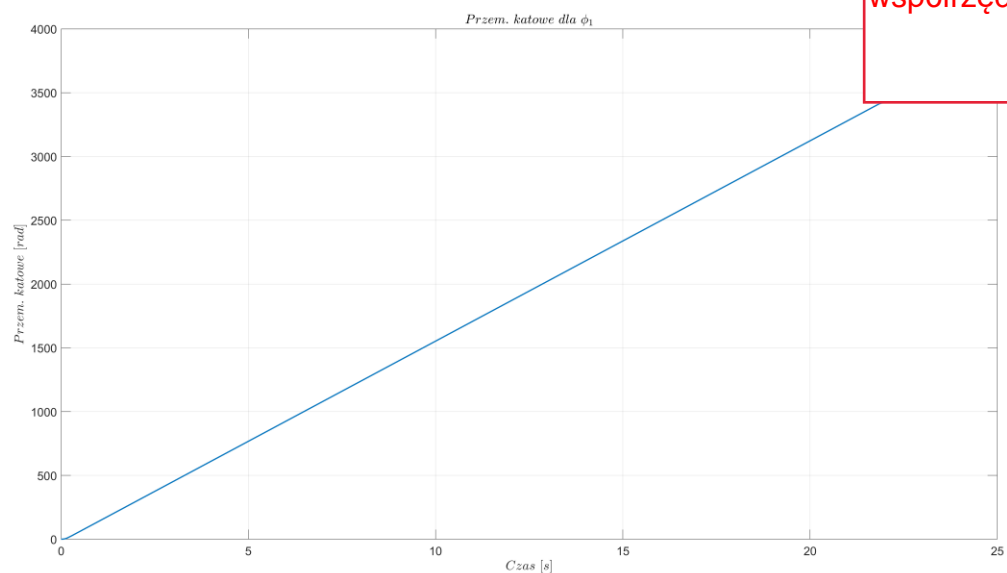
Rysunek 5 Przemieszczenie na Y korpusu

Wykres przemieszczenia
współrzędnej Y korpusu
przenośnika.



Wykres przemieszczenia współrzędnej alfa korpusu przenosiaka.

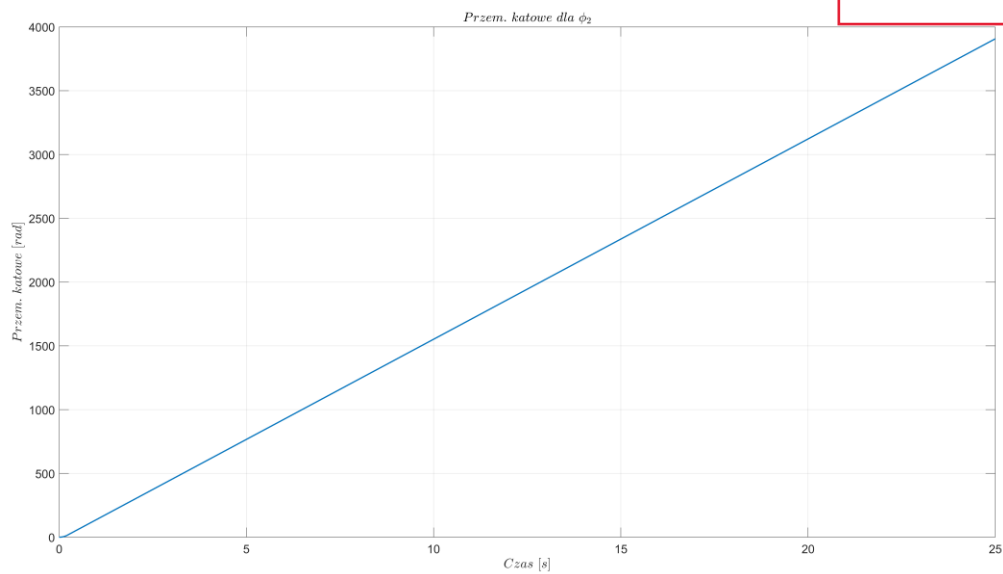
Rysunek 6 Obrót korpusu α



Wykres przemieszczenia współrzędnej ϕ_1 .

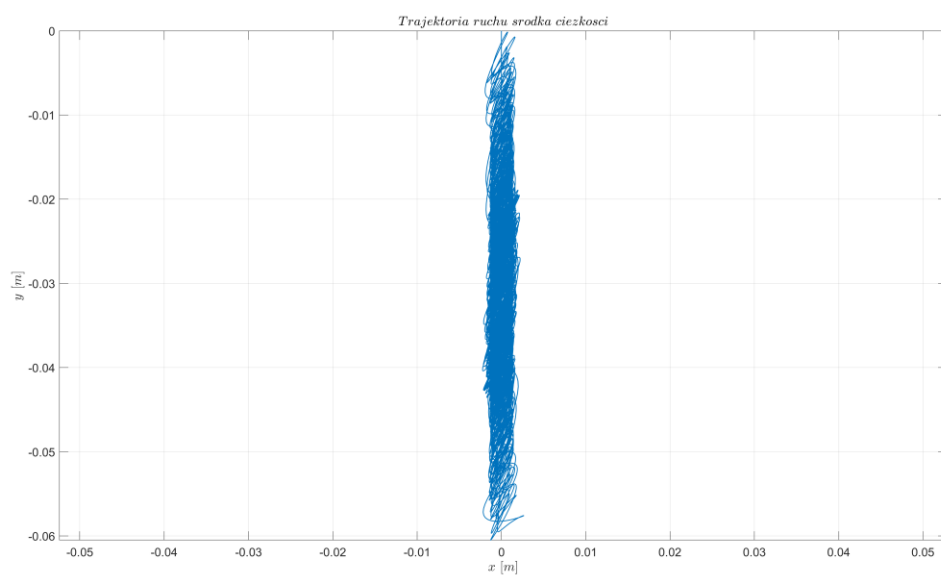
Rysunek 7 Obrót wału pierwszego silnika

Wykres przemieszczenia
współrzędnej φ_2 .



Rysunek 8 Obrót wału drugiego silnika

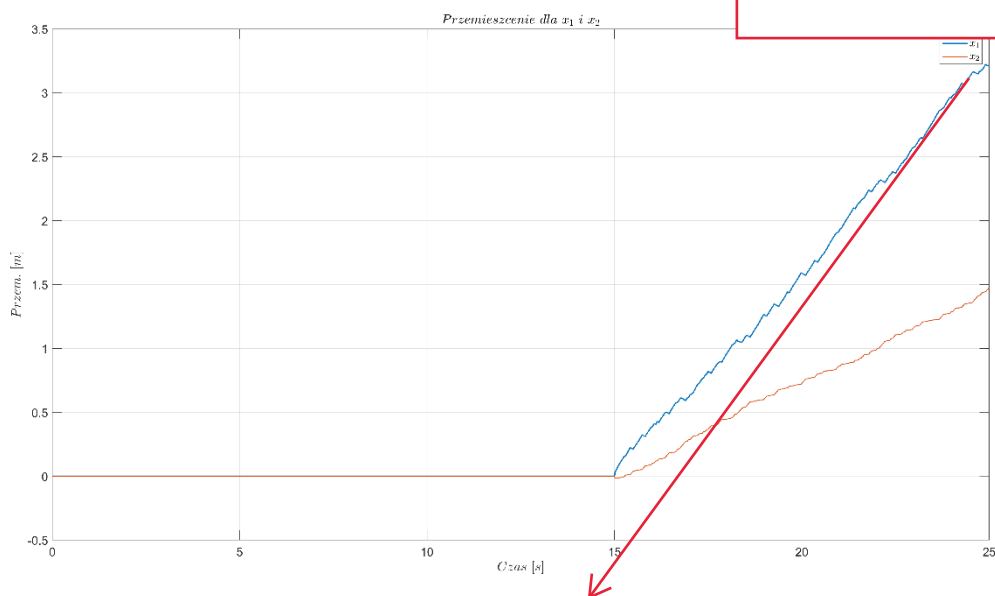
b) Przemieszczenie środka ciężkości



Rysunek 9 Trajektoria ruchu środka ciężkości

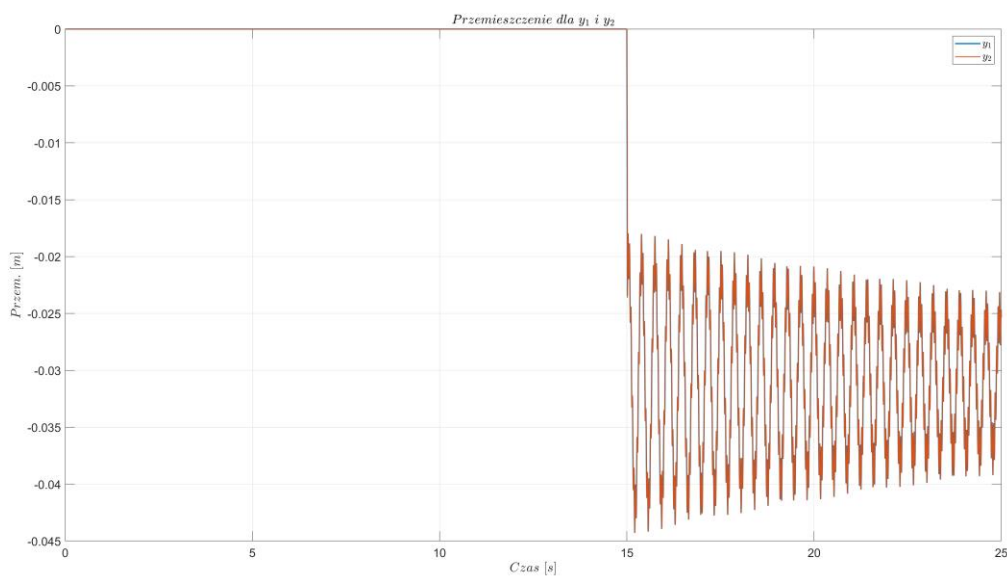
c) Przeszyczenia nadawy na kierunku poziomym

Przeszyczenie warstw nadawy na kierunku X



Rysunek 10 Przeszyczenia nadawy pierwszej i drugiej na kierunku X

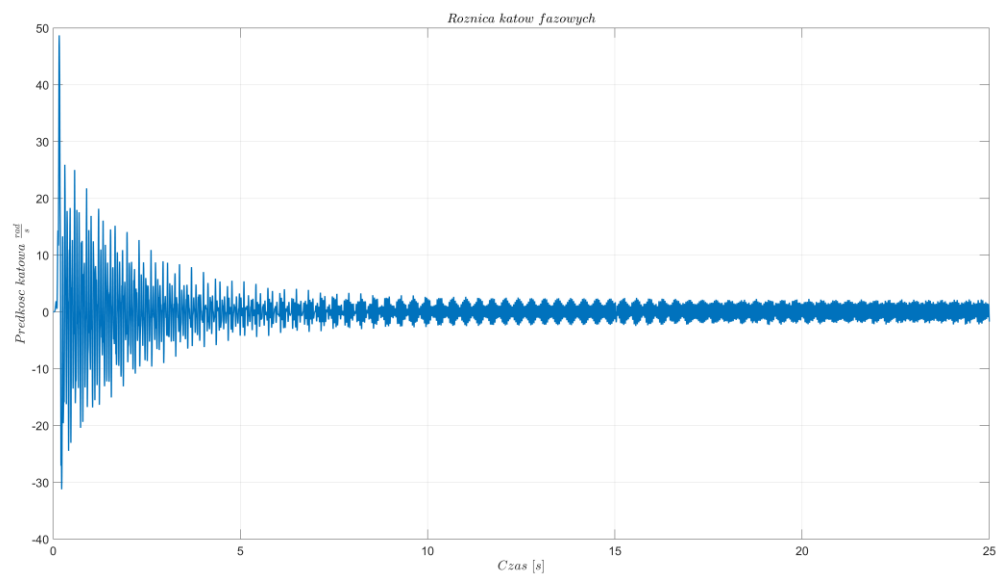
d) Przeszyczenia nadawy na kierunku pionowym



Rysunek 11 przeszczenie nadawy pierwszej i drugiej na kierunku Y

Przeszyczenie warstw nadawy na kierunku Y

e) Różnica kątów fazowych ϕ_1, ϕ_2



Rysunek 12 Różnica kątów fazowych

Zastanawiam się czy nie da się ich rozciągnąć tak aby były takiej wielkości jak zaznaczyłem, czyli jakbyś dobrał tak żeby były od krawędzi do krawędzi, bo wykres ma kawałek białego więc marginesy zostaną

5. Współczynnik podrzutu

a) Obliczenie współczynnika podrzutu bez nadawy

$$A_R = (f(t) + x(t) \cdot \cos\beta + y(t) \cdot \sin\beta)_{max}$$

$$x = 0,00125$$

$$y = -0,0269$$

$$A_R = (f(t) + 0,00125 \cdot \cos(30^\circ) + 0,004 \cdot \sin(30^\circ)) = 3,08 \cdot 10^{-3} [m]$$

$$k_p = \frac{A_r \cdot \omega^2 \cdot \sin\beta}{g \cdot \cos\delta} = \frac{3,08 \cdot 10^3 \cdot 157,08^2 \cdot \sin(30^\circ)}{9,81 \cdot \cos(0^\circ)} = 3,874$$

b) Obliczenie współczynnika podrzutu z nadawą

$$A_R = (f(t) + x(t) \cdot \cos\beta + y(t) \cdot \sin\beta)_{max}$$

$$x \cong 7,94 \cdot 10^{-3}$$

$$y = 1,38 \cdot 10^{-3}$$

$$A_R = (f(t) + 7,94 \cdot 10^{-3} \cdot \cos(30^\circ) + 1,38 \cdot 10^{-3} \cdot \sin(30^\circ)) = 5,16 \cdot 10^{-3} [m]$$

$$k_p = \frac{A_r \cdot \omega^2 \cdot \sin\beta}{g \cdot \cos\delta} = \frac{5,16 \cdot 10^3 \cdot 157,08^2 \cdot \sin(30^\circ)}{9,81 \cdot \cos(0^\circ)} = 6,496$$

Obliczenie współczynnika podrzutu dla modelu bez nadawy.

analogicznie

6. Wnioski

Analiza ruchu przenośnika wibracyjnego potwierdza wiele teoretycznych założeń. Ruch w początkowej fazie jest niestabilizowany - jest to doskonale widoczne w przemieszczeniach w osi x. Największa amplituda drgań notowana jest na początku ruchu, gdy przenośnik jest włączany, a dwa wibratory rozpoczynają niezależną pracę. Następnie, wraz ze wzrostem prędkości wibratorów ruch się stabilizuje, a amplituda przyjmuje praktycznie stałą wartość. Ponownie notujemy spore wahania amplitudy od 15. sekundy – w tym momencie w symulacji uwzględniono wrzucenie nadawy – zrozumiałe jest zakłócenie pracy obiektu, który dotychczas nie transportował żadnego materiału.

Wykres ruchu w osi y obrazuje zjawisko, które można było zaobserwować na zajęciach – wraz ze wzrostem prędkości elektrowibratorów przemieszczenie pionowe przyjmowało coraz mniejsze, ale bardziej ustabilizowane na powierzchni rynny, wartości. Tu również w 15. sekundzie widoczne jest zakłócenie będące wynikiem spadku nadawy na powierzchnię rynny – jest ono jednak wyraźnie mniej zaznaczone, niż w przypadku osi x.

Stabilizację drgań rynny dobrze ukazuje wykres przemieszczeń kątowych α . Należy zauważyć, że początek ruchu, gdy wibratory zaczynają pracę w sposób niezależny, to duże rozbieżności w wartości kąta – rynna się obraca. Wraz z postępującą prędkością elektrowibratorów kąt alfa stabilizuje swoją wartość – niemalże zanika obrót rynny, która od tego momentu drga w osi x oraz y. Ponownie w 15. sekundzie zauważamy zmianę dotychczasowych wartości przemieszczeń związaną z wrzuceniem nadawy. Naturalnym zjawiskiem jest kołysanie rynny, na którą wrzucany zostaje materiał. Obrót ten, jest jednak znacznie mniejszy (co do wartości kąta) aniżeli ten zarejestrowany na początku ruchu, podczas transportu warstw nadawy jest również znacznie bardziej ustabilizowany.

Przemieszczenia kątowe φ_1 oraz φ_2 na przestrzeni symulacji swoją wartość zwiększają niemalże identycznie. Z wykresów różnicy kątów fazowych możemy zauważyć, że zaszło bardzo pożądane w symulacji zjawisko. Analizowany przenośnik wibracyjny składa się z czterech sprężyn i dwóch niezależnych elektrowibratorów, które generują jego ruch – brak jest mechanicznych elementów konstrukcji zapewniających synchroniczne drgania dwóch elementów napędowych. Bardzo istotnym zjawiskiem jest więc samosynchronizacja wibratorów. Zauważmy, że początek ruchu przenośnika obrazuje duże wartości tych rozbieżności (zarówno obrazowanych jako różnice w przemieszczeniach, czy prędkościach dwóch elektrowibratorów). Ich rozpędzanie na przestrzeni symulacji powoduje znaczny spadek amplitudy drgań ww. wartości. Zauważamy stabilizację wartości różnic – możemy przyjąć, że doszło do zjawiska samosynchronizacji (choć wartość różnicy kątów jako przemieszczeń nie zbiegła się w wartości 0) – potwierdzeniem tego są omawiane wcześniej wykresy, z których jasno wynika, że ruch podajnika wibracyjnego po każdej interesującej nas współrzędnej sprowadzał się do pewnej wartości ustalonej (w formie wartości przemieszczeń, czy też amplitudy drgań).

Wykres zachowania środka ciężkości jest złożeniem wniosków wypływających z analizy wykresów ruchu w osi x oraz y – ruch z płaszczyźnie pionowej charakteryzuje się większymi przesunięciami aniżeli w płaszczyźnie poziomej. Interesujące wnioski wypływają również z analizy ruchu dwóch warstw nadawy, których umieszczenie na urządzeniu w symulacji przyjęto w 15. sekundzie. Przemieszczenie obu warstw w osi x różni się – pierwsza warstwa nadawy odbiera od rynny energię, której część jest w stanie przekazać na skutek uderzenia warstwie drugiej. Taka wymiana energii obarczona jest stratami. Należy również zauważyć, że współczynniki tarcia pomiędzy pierwszą warstwą nadawy i rynną, a obiema warstwami nadawy różnią się na niekorzyść drugiego przypadku. Z tym przede wszystkim związane jest większe przemieszczenie warstwy pierwszej w osi x. Analiza ruchu pionowego potwierdziła ważne założenie – warstwy nadawy nie mieszają się między sobą. Należy zauważyć, że amplituda drgań względem osi y dla obu warstw jest praktycznie identyczna – maleje wraz z czasem upływającym od wrzucenia ich na rynnę.

W sprawozdaniu obliczono również współczynnik podrzutu – jego wartość wyniosła w przybliżeniu 3,87. Najbardziej pożądana w punktu widzenia jednotaktowości ruchu nadawy jest wartość 3,3. Należy jednak stwierdzić, że mimo tej rozbieżności (na którą wpływ mogą mieć również błędy zaokrągleń lub odczytu wartości danych) zachowano ruch pionowy zgodny z oczekiwanym.

