

Dr inż. Robert Piekarski  
Politechnika Warszawska  
WIP, IMiP, ZMiTU

# Mechanika energetyczna – problemy podstawowe i jej zastosowanie

Koncentracja słów – *Informacja*; Koncentracja informacji – *Energia*,  
Koncentracja energii – *Materia*; *Informacja + Energia + Materia = Życie*  
„*Wszystko było i jest gotowe, czeka tylko na zetknięcie z gotowym umysłem*” – Shakespeare  
„*Prawda nigdy nie triumfuje – wymierają tylko jej przeciwnicy*” – Max Planck

<b>Podstawy mechaniki energetycznej (Lucjan Łągiewka) – ENERGIA</b>	<b>Podstawy mechaniki Newtonowskiej (Izaak Newton) – SIŁY i MOMENTY</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– brak równania pędu (alternatywne równanie stosunku energii kinetycznych ruchu postępowego)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– równania pędu</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– brak równania krętu (alternatywne równanie stosunku energii kinetycznych ruchu obrotowego)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– równania krętu</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– postuluje się, że energia jest <u>wektorem!</u></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– energia jest <u>skalarem</u></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– potwierdza słuszność zasady zachowania pędu i krętu w obecnej postaci wyłącznie jako zredukowany opis rzeczywistości...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– pęd i kręt są podstawowymi równaniami w mechanice klasycznej (newtonowskiej)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– nie ma potrzeby stosowania równań więzów (ruch obrotowy)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– stosuje się równania więzów (kinematyczne) dla ruchu obrotowego</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– bilans energetyczny rozpatrywanego układu <u>jest zachowany</u></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– bilans energetyczny rozpatrywanego układu najczęściej <u>nie jest zachowany</u></li> </ul>

## Zasady dynamiki:

Klasycznej	Energetycznej
<p>– I zasada dynamiki newtonowskiej</p> <p>W inercjalnym układzie odniesienia, jeśli na ciało nie działa żadna siła lub siły działające równoważą się, to ciało pozostaje w spoczynku lub porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym.</p>	<p>– I zasada dynamiki energetycznej</p> <p><b>b.z.</b></p>
<p>– II zasada dynamiki newtonowskiej</p> <p>Jeśli siły działające na ciało nie równoważą się (czyli siła wypadkowa jest różna od zera), to ciało porusza się z przyspieszeniem wprost proporcjonalnym do siły wypadkowej, a odwrotnie proporcjonalnym do masy ciała.</p>	<p>– II zasada dynamiki energetycznej</p> <p><b>Występujące w układach dynamiczne oddziaływania siłowe są wynikiem przepływów energii.</b></p>
<p>– III zasada dynamiki newtonowskiej</p> <p>Oddziaływania ciał są zawsze wzajemne. Siły wzajemnego oddziaływania dwóch ciał mają takie same wartości, taki sam kierunek, przeciwne zwroty i różne punkty przyłożenia (każda działa na inne ciało). <u>Prawo to wymaga jednoczesności zdarzeń, które nie realizuje się w świecie cząstek elementarnych.</u></p>	<p>– III zasada dynamiki energetycznej</p> <p><b>Przejmowana lub już istniejąca w układzie swobodnym/nieswobodnym energia rozkłada się lub jest rozłożona odwrotnie proporcjonalnie/proporcjonalnie do mas ciał w tym układzie.</b></p>

# Podstawowe prawa dynamiki:

Stosując zasadę zachowania pędu można napisać

$$p_1 = p_2 = p$$

$$m_1 \cdot V_1 = m_2 \cdot V_2 = p$$

Podnosząc obustronnie klasyczne równanie pędu do kwadratu otrzymuje się:

$$(m_1 \cdot V_1)^2 = (m_2 \cdot V_2)^2$$

**Energie kinetyczne ciał są równe odpowiednio:**

$$E_1 = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot V_1^2 \quad E_2 = \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot V_2^2$$

wtedy zasadę zachowania pędu można wyrazić w dwóch postaciach (ruch swobodny):

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot V_1^2}{\frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot V_2^2} = \frac{m_1 \cdot V_1^2}{m_2 \cdot V_2^2} = \frac{m_2}{m_1} \cdot \frac{(m_1 \cdot V_1)^2}{(m_2 \cdot V_2)^2} = \frac{m_2}{m_1} \cdot \frac{(p_1)^2}{(p_2)^2} = \frac{m_2}{m_1} \cdot \frac{(p)^2}{(p)^2} = \frac{m_2}{m_1}$$

czyli:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{m_2}{m_1}$$

lub

$$\frac{m_2}{m_1} \cdot \frac{(p_1)^2}{(p_2)^2} = \frac{m_2}{m_1} \Rightarrow p_1^2 = p_2^2$$

gdzie

$p_1$   $p_2$  oraz  $m_1$   $m_2$  są odpowiednio pędami i masami.

## Zależności „zastępujące” zasady zachowania pędu/krętu:

Można dowieść, że w ruchu swobodnym ciał natura "wybiera" *masy/masowe momenty bezwładności*, a w ruchu nieswobodnym ciał – *prędkości/prędkości kątowe*.

Prowadzi to do założeń:

### 1) ruch swobodny

$$\textit{postępowy} - \frac{E_1}{E_2} = \frac{m_2}{m_1}$$

lub

$$\textit{obrotowy} - \frac{E_1}{E_2} = \frac{J_2}{J_1}$$

### 2) ruch nieswobodny

$$\textit{postępowy} - \frac{E_1}{E_2} = \frac{m_1}{m_2}$$

lub

$$\textit{obrotowy} - \frac{E_1}{E_2} = \frac{J_1}{J_2}$$

# Zależności wg których oblicza się poszczególne parametry dynamiczne i kinematyczne:

dla ruchu postępowego:

$$\int_s F \cdot ds = \Delta E$$

Siła w ruchu postępowym:

$$F = \frac{dE}{ds}$$

Prędkość liniowa:

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta E}{m}}$$

Przyspieszenie liniowe:

$$a = \frac{1}{m} \cdot \frac{dE}{ds}$$

dla ruchu obrotowego:

$$\int_\varphi M \cdot d\varphi = \Delta E$$

Moment w ruchu obrotowym:

$$M = \frac{dE}{d\varphi}$$

Prędkość kąтова:

$$\omega = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta E}{J_0}}$$

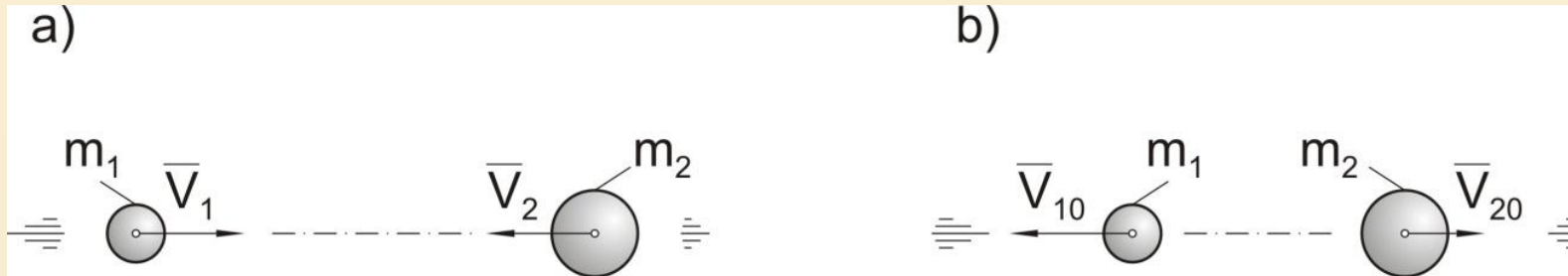
Przyspieszenie kątowe:

$$\varepsilon = \frac{1}{J_0} \cdot \frac{dE}{d\varphi}$$

# Przykłady zderzeń prostych

Zderzenie centralne, idealnie sprężyste, dwóch kul (ruch swobodny dwóch ciał).

Dane:  $m_1$   $m_2$   $V_1$   $V_2$



$$1) E = E_1 + E_2; E = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot V_1^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot V_2^2; E_1 = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot V_{10}^2; E_2 = \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot V_{20}^2$$

$$2) \frac{\Delta E_1}{\Delta E_2} = \frac{m_2}{m_1}; \Delta E_1 = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot (V_1 - V_{10})^2; \Delta E_2 = \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot (V_2 - V_{20})^2$$

Odp.

gdzie

$$\begin{cases} V_{10} = V_1 \\ V_{20} = V_2 \end{cases} \vee \begin{cases} V_{10} = \frac{V_1 \cdot (m_1 - m_2) \pm 2m_2 \cdot V_2}{m_1 + m_2} \\ V_{20} = \frac{V_1 \cdot (m_2 - m_1) \pm 2m_1 \cdot V_1}{m_1 + m_2} \end{cases}$$

$V_{10} = V_1, V_{20} = V_2$  - brak interakcji między ciałami

znak "+" - oba ciała zbliżają się do siebie

znak "-" - jedno ciało "ucieka" od drugiego

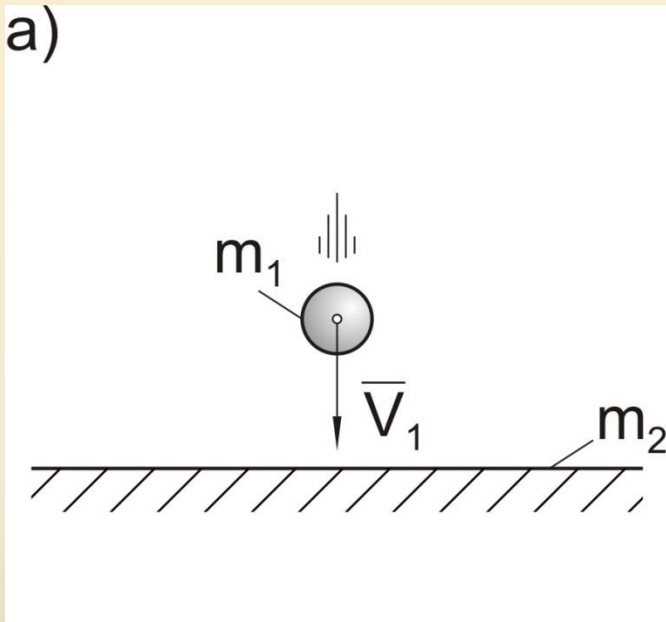
**Przypadek szczególny – uderzenie stalowej lub szklanej kulki w ceramiczną podłogę, gdzie:**

$$m_2 \gg m_1, \frac{m_1}{m_2} = A \rightarrow 0 \wedge V_p \rightarrow 0$$

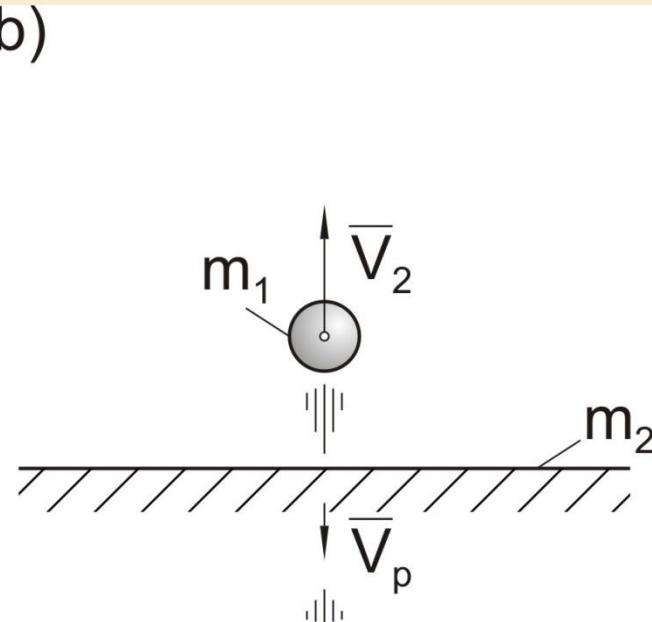
$$1) E = E_1 + E_2 \Rightarrow E = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot V_1^2; E_1 = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot V_2^2; E_2 = \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot V_p^2 \cong 0$$

$$2) \frac{E_1}{E_2} = \frac{m_2}{m_1} = \frac{1}{A} \Rightarrow E_2 = \frac{m_1}{m_2} \cdot E_1 \Rightarrow E = E_1 \cdot \left(1 + \frac{m_1}{m_2}\right) \Rightarrow E_1 = \frac{E}{1 + \frac{m_1}{m_2}} = \frac{E}{1 + A}$$

a)



b)



Energia układu znajduje się praktycznie wyłącznie w masie  $m_1$  odbitej kulki, czyli:

$$E_1 \cong E$$

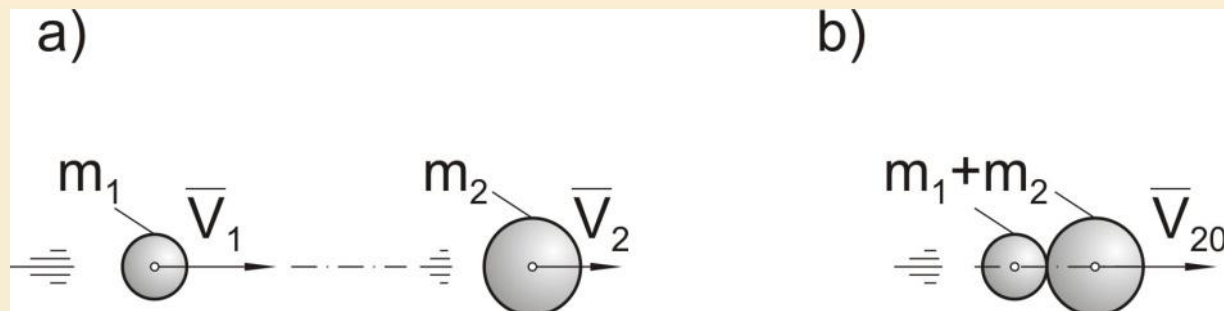
tzn. że prędkość

$$V_2 \cong V_1$$



## Zderzenie centralne, idealnie plastyczne, dwóch kul (ruch nieswobodny dwóch ciał po złączeniu)

Dane:  $m_1$   $m_2$   $V_1$   $V_2$



Odp.

$$1) E = E_1 + E_2; E = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot V_1^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot V_2^2; E_1 = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot V_k^2; E_2 = \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot V_k^2$$

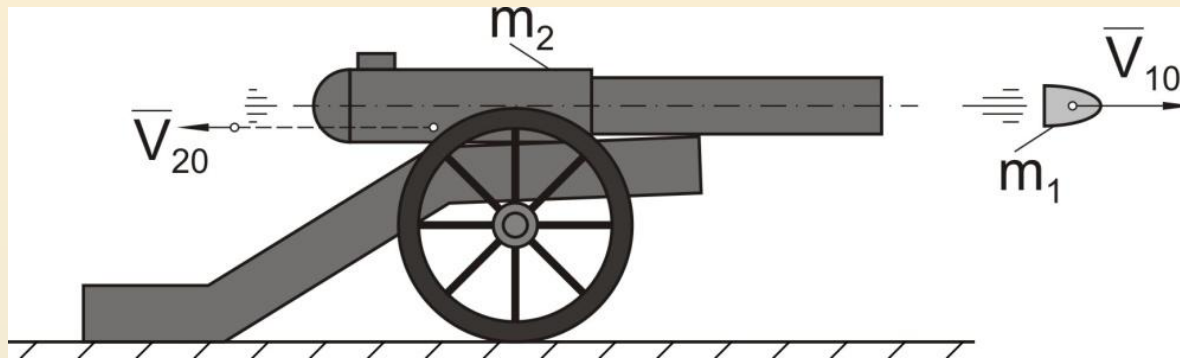
$$2) \frac{E_1}{E_2} = \frac{m_1}{m_2}$$

$$\frac{\frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot V_k^2}{\frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot V_k^2} = \frac{m_1}{m_2} \text{ (spr.)}$$

$$V_k = \pm \sqrt{\frac{m_1 \cdot V_1^2 + m_2 \cdot V_2^2}{m_1 + m_2}}$$

## Strzał poziomy z armaty (ruch swobodny obu mas)

Dane:  $m_1$   $m_2$   $V_{10}$



Odp.

$$1) E = E_1 + E_2$$

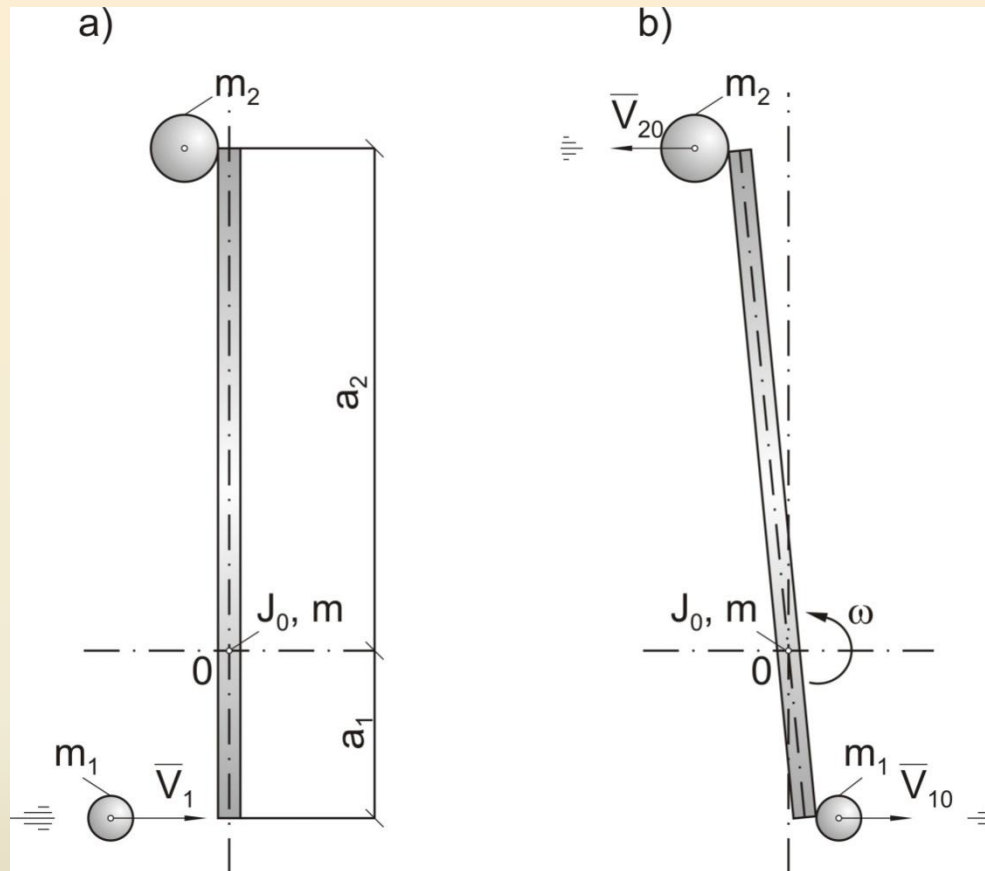
$$2) \frac{E_1}{E_2} = \frac{m_2}{m_1}; E_1 = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot V_{10}^2; E_2 = \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot V_{20}^2$$

$$V_{20} = \pm \frac{m_1}{m_2} V_{10}$$

$$E = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot V_{10}^2 \cdot \left(1 + \frac{m_1}{m_2}\right)$$

## Uderzenie w poprzeczkę dwuramienną poziomą 1 (ruch nieswobodny)

Dane:  $m_1, m_2, m, J_0, a_1, a_2, V_1$



Odp.

**Podejście klasyczne:**

$$1) K_0^- = a_1 \cdot m_1 \cdot V_1$$

$$2) K_0^+ = a_1 \cdot m_1 \cdot V_{10} + a_2 \cdot m_2 \cdot V_{20} + J_0 \cdot \omega$$

$$\text{z równań więzów} \Rightarrow \omega = \frac{V_{10}}{a_1} = \frac{V_{20}}{a_2}$$

$$K_0^- = K_0^+ \Rightarrow \omega = V_1 \cdot \frac{m_1 \cdot a_1}{m_1 \cdot a_1^2 + m_2 \cdot a_2^2 + J_0} = V_1 \cdot \frac{m_1 \cdot a_1}{J_c}$$

$$V_{10} = V_1 \cdot \frac{m_1 \cdot a_1^2}{J_c}$$

$$V_{20} = V_1 \cdot \frac{m_1 \cdot a_1 \cdot a_2}{J_c}$$

**Była potrzeba stosowania równań więzów z kinematyki!**

## Uderzenie w poprzeczkę dwuramienną poziomą 1 (ruch nieswobodny) cd.

Podejście energetyczne:

$$1) E = E_1 + E_2 + E_3; E = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot V_1^2; E_1 = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot V_{10}^2; E_1 = \frac{1}{2} \cdot J_0 \cdot \omega^2; E_3 = \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot V_{20}^2;$$

$$2) \frac{E_1}{E_2} = \frac{J_{01}}{J_0}$$

$$3) \frac{E_2}{E_3} = \frac{J_0}{J_{02}}$$

$$Z \text{ porównania równań 2) i 3) } \Rightarrow \frac{E_1}{E_3} = \frac{J_{01}}{J_{02}}$$

$$E_1 = E \cdot \frac{J_{01}}{J_c}; E_2 = E \cdot \frac{J_0}{J_c}; E_3 = E \cdot \frac{J_{02}}{J_c}; \text{ gdzie } J_c = J_{01} + J_0 + J_{02} = m_1 \cdot a_1^2 + J_0 + m_1 \cdot a_1^2$$

$$\omega^2 = \frac{m_1 \cdot V_1^2}{m_1 \cdot a_1^2 + m_1 \cdot a_1^2 + J_0} = \frac{m_1 \cdot V_1^2}{J_c}$$

$$V_{10}^2 = V_1^2 \cdot \frac{m_1 \cdot a_1^2}{J_c} \quad V_{20}^2 = V_1^2 \cdot \frac{m_1 \cdot a_2^2}{J_c}$$

Porównanie wyników z obu metod:

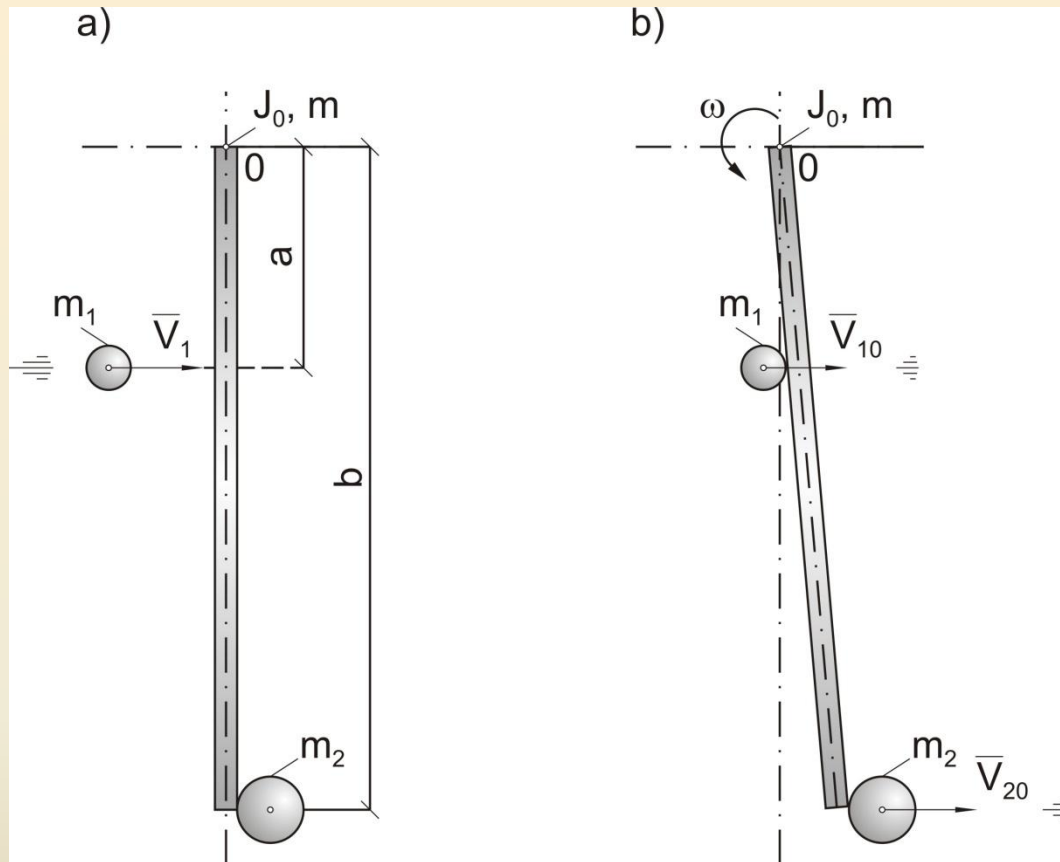
$$\omega_{en} = V_1 \cdot \sqrt{\frac{m_1}{J_c}}; \omega_{kl} = V_1 \cdot \frac{m_1 \cdot a_1}{J_c}$$

$$\eta = \frac{\omega_{en}}{\omega_{kl}} = \sqrt{\frac{J_c}{m_1 \cdot a_1^2}} \Rightarrow \omega_{en} > \omega_{kl}$$

Nie było potrzeby stosowania równań więzów z kinematyki!

## Uderzenie w poprzeczkę dwuramienną poziomą 2 (ruch nieswobodny)

Dane:  $m_1$   $m_2$   $m$   $J_0$   $a$   $b$   $V_1$



Odp.

**Podejście klasyczne:**

$$1) K_0^- = a \cdot m_1 \cdot V_1$$

$$2) K_0^+ = a \cdot m_1 \cdot V_{10} + b \cdot m_2 \cdot V_{20} + J_0 \cdot \omega$$

$$\text{z równań więzów} \Rightarrow \omega = \frac{V_{10}}{a} = \frac{V_{20}}{b}$$

$$K_0^- = K_0^+ \Rightarrow \omega = V_1 \cdot \frac{m_1 \cdot a}{m_1 \cdot a^2 + m_2 \cdot b^2 + J_0} = V_1 \cdot \frac{m_1 \cdot a}{J_c}$$

$$V_{10} = V_1 \cdot \frac{m_1 \cdot a^2}{J_c}$$

$$V_{20} = V_1 \cdot \frac{m_1 \cdot a \cdot b}{J_c}$$

**Była potrzeba stosowania równań więzów z kinematyki!**

## Uderzenie w poprzeczkę dwuramienną poziomą 2 (ruch nieswobodny) cd.

Podejście energetyczne:

$$1) E = E_1 + E_2 + E_3; E = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot V_1^2; E_1 = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot V_{10}^2; E_1 = \frac{1}{2} \cdot J_0 \cdot \omega^2; E_3 = \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot V_{20}^2;$$

$$2) \frac{E_1}{E_2} = \frac{J_{01}}{J_0}$$

$$3) \frac{E_2}{E_3} = \frac{J_0}{J_{02}}$$

$$\text{Z porównania równań 2) i 3)} \Rightarrow \frac{E_1}{E_3} = \frac{J_{01}}{J_{03}}$$

$$E_1 = E \cdot \frac{J_{01}}{J_c}; E_2 = E \cdot \frac{J_0}{J_c}; E_3 = E \cdot \frac{J_{02}}{J_c}; \text{gdzie } J_c = J_{01} + J_0 + J_{02} = m_1 \cdot a^2 + J_0 + m_2 \cdot b^2$$

$$\omega^2 = \frac{m_1 \cdot V_1^2}{m_1 \cdot a^2 + m_2 \cdot b^2 + J_0} = \frac{m_1 \cdot V_1^2}{J_c}$$

$$V_{10}^2 = V_1^2 \cdot \frac{m_1 \cdot a^2}{J_c} \quad V_{20}^2 = V_1^2 \cdot \frac{m_1 \cdot b^2}{J_c}$$

Porównanie wyników z obu metod:

$$\omega_{en} = V_1 \cdot \sqrt{\frac{m_1}{J_c}}; \omega_{kl} = V_1 \cdot \frac{m_1 \cdot a}{J_c}$$

$$\eta = \frac{\omega_{en}}{\omega_{kl}} = \sqrt{\frac{J_c}{m_1 \cdot a^2}} \Rightarrow \omega_{en} > \omega_{kl}$$

Nie było potrzeby stosowania równań więzów z kinematyki!

## Warunek równego podziału energii wynikający z równań energetycznych (energia jest traktowana jako wektor!)

Zakłada się moment bezwładności poprzeczki dwuramiennej jako znikomy przy momentach pochodzących od mas  $m_1$  i  $m_2$

Wtedy energie obu mas po interakcji równe są połowie energii kinetycznej uderzenia. Szukana masa zastępcza  $m_z = m_2$  wynosi:

$$\frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot a^2 \cdot \omega^2 = \frac{1}{2} \cdot m_z \cdot b^2 \cdot \omega^2 \Rightarrow m_z = m_2 = m_1 \cdot \frac{a^2}{b^2} \Rightarrow m_2 = \frac{m_1}{\left(\frac{b}{a}\right)^2} = \frac{m_1}{i^2}; i = \frac{b}{a}$$

W układzie klasycznym można założyć równość krętów:

$$K_{10} = K_{20} \Rightarrow m_1 \cdot V_{10} \cdot a = m_2 \cdot V_{20} \cdot b \Rightarrow m_1 \cdot a \cdot \frac{m_1 \cdot a^2 \cdot V_1}{J_c} = m_2 \cdot b \cdot \frac{m_1 \cdot a \cdot b \cdot V_1}{J_c}$$

$$m_2 = \frac{m_1}{\left(\frac{b}{a}\right)^2} = \frac{m_1}{i^2}; i = \frac{b}{a}$$

# Trójkąt pneumatyczny, trójmasowy – przykład liczbowy

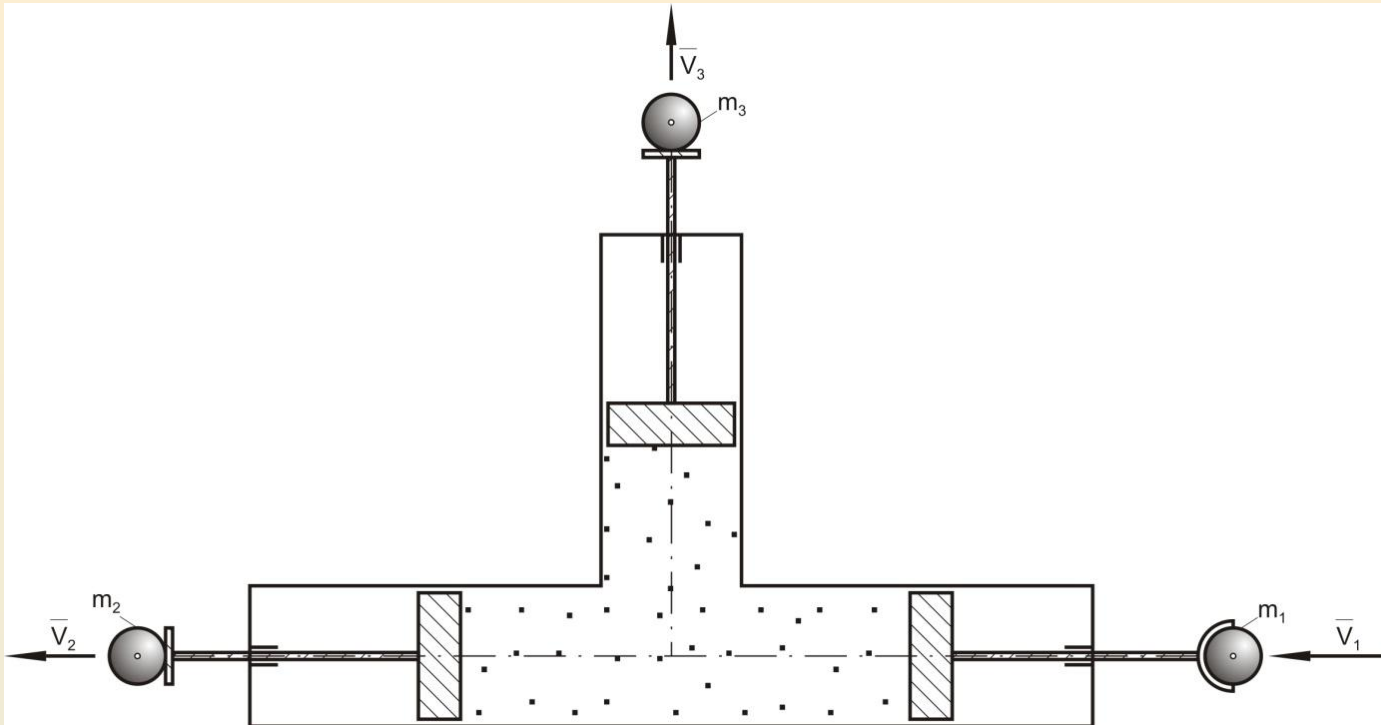
Dane:

$$m_1 = 1 \text{ kg}$$

$$m_2 = 0,9 \text{ kg}$$

$$m_3 = 0,1 \text{ kg}$$

$$V = 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



Obliczenia

$$1) E_1 = E_2 + E_3; E_1 = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot V_1^2; E_2 = \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot V_2^2; E_3 = \frac{1}{2} \cdot m_3 \cdot V_3^2$$

$$2) \frac{E_2}{E_3} = \frac{m_3}{m_2} - \text{ruch nieswobodny}$$

$$V_2 = \pm V_1 \cdot \sqrt{\frac{m_1}{m_2} \cdot \frac{m_3}{m_2 + m_3}}; V_3 = \pm V_1 \cdot \sqrt{\frac{m_1}{m_3} \cdot \frac{m_2}{m_2 + m_3}}$$



### a) podejście klasyczne - newtonowskie

	Kula 1	Kula 2	Kula 3
	$m_1 = 1.0 \text{ kg}$	$m_2 = 0.9 \text{ kg}$	$m_3 = 0.1 \text{ kg}$
Prędkość ( $v_k, v_0$ )	0.5	0.5	0.5
Energia	0.125	0.1125	0.0125
Pęd	0.5	0.45	0.05
Droga (po 1s*)	-	0.5	0.5
Przyspieszenie (po 1s*)	-	0.1	0.1
Siła [N]	-	0.09	0.01

### b) podejście energetyczne – wg Łągiewki

	Kula 1	Kula 2	Kula 3
	$m_1 = 1.0 \text{ kg}$	$m_2 = 0.9 \text{ kg}$	$m_3 = 0.1 \text{ kg}$
Droga rzeczyw. (1s*)	-	0.08	0.7
Prędkość 1s. ( $v_k, v_0$ )	0.5	0.16(6)	1.5
Energia	0.125	0.0125	0.1125
Pęd	0.5	0.15	0.15
Droga (1s*)	-	0.83(3)	0.75
Przyspieszenie (1s*)	-	0.16(6)	0.5
Siła	-	0.15	0.15

Przekazanie oddziaływań między kulami zachodzi zgodnie z zasadą zachowania energii, ale **niezgodnie z zasadą zachowania pędu**. Paradoksalnie iloczyn mas i prędkości obu kul jest sobie identyczny (Łągiewka zakłada, iż faktycznie "pęd" jest tylko pewnym przybliżeniem oddziaływań), podobnie jak działające siły. Układ trzech i większej liczby kul nie zachowuje się zgodnie z Newtonowskim modelem zderzeń!

## Obliczenia trójkąta pneumatycznego

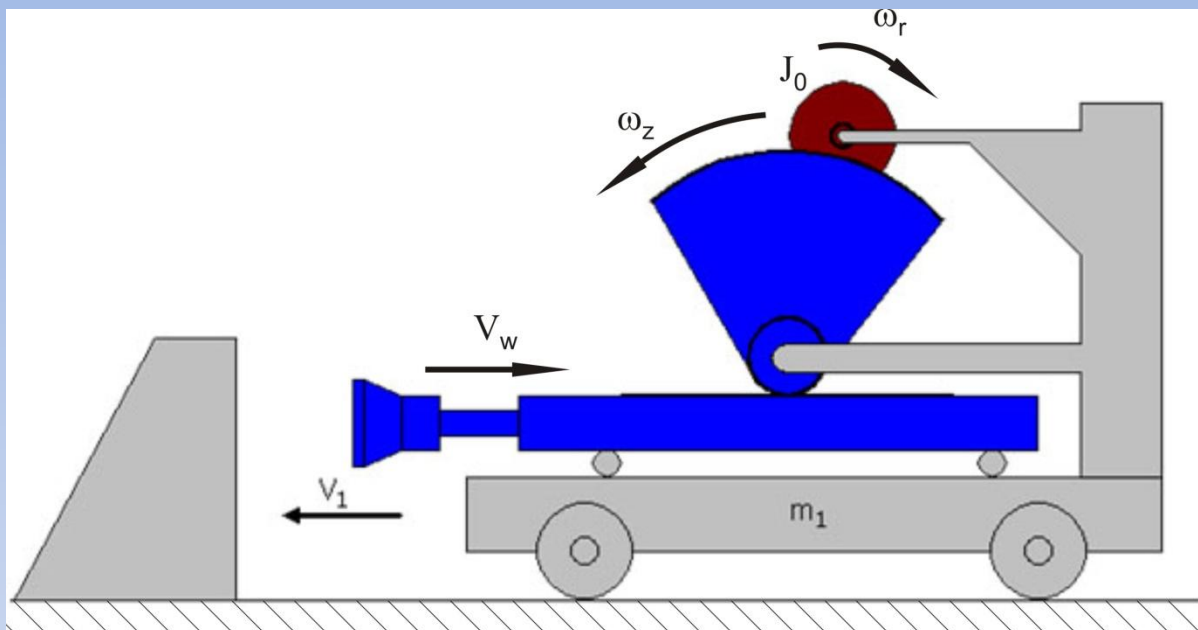
Kinematyka (czas 1s)	Przekształcenia Paryskie (czas 1s)
$a_1 = \frac{\Delta V_1}{\Delta t} = 0,5 m/s^2$	$a_1 = \frac{-\Delta E k_1}{m_1(s_2 + s_3)} = 0,15 m/s^2$
$a_2 = \frac{\Delta V_2}{\Delta t} = 0,1666(6) m/s^2$	$a_2 = \frac{\Delta E' k_2}{m_2 \times s_2} = 0,1666(6) m/s^2$
$a_3 = \frac{\Delta V_3}{\Delta t} = 1,5 m/s^2$	$a_3 = \frac{\Delta E' k_3}{m_3 \times s_3} = 1,5 m/s^2$
$F_1 = m_1 \times a_1 = 0,5 N$	$F_1 = \frac{-\Delta E k_1}{s_2 + s_3} = 0,15 N$
$F_2 = m_2 \times a_2 = 0,15 N$	$F_2 = \frac{-\Delta E' k_2}{s_2} = 0,15 N$
$F_3 = m_3 \times a_3 = 0,15 N$	$F_3 = \frac{\Delta E k_3}{s_3} = 0,15 N$
$s_1 = \frac{a_1 t^2}{2} = 0,25 m$	$s_1 = 0,8333(3) m$
$s_2 = \frac{a_2 t^2}{2} = 0,08333(3) m$	$s_2 = 0,08333(3) m$
$s_3 = \frac{a_3 t^2}{2} = 0,75 m$	$s_3 = 0,75 m$

$$\frac{s_{kinematyczne}}{s_{paryskie}} = 0,3 \quad \frac{a_{kinematyczne}}{a_{paryskie}} = 3,33333(3) \quad \frac{F_{kinematyczne}}{F_{paryskie}} = 0,33333(3)$$

# Zderzak i hamulec Łągiewki

- **Idea działania urządzeń:** zamiana energii ruchu prostoliniowego na ruch obrotowy w ramach tej samej postaci energii zwanej kinetyczną.
- Podstawową częścią, sercem każdego rozwiązania jest pochłaniacz. Jest to walec kręcący się ze znacznymi prędkościami obrotowymi, ograniczonymi wyłącznie przez siły go rozrywające oraz łożyskowanie. Żeby osiągnąć technicznie wartościowe rezultaty przy małych masach pochłaniacza należy go projektować na prędkości rzędu 60000 obr/min i/lub więcej.
- **Zderzak** uruchamiany jest automatycznie przez kontakt fizyczny z przeszkodą, **hamulec** na żądanie.
- W momencie kiedy siłownik pneumatyczny dotknie przeszkody wprowadzona jest w ruch prowadnica zębata, która przez przekładnię zębatą napędza **pochłaniacz**. Po rozpędzeniu go przekładnia automatycznie się rozsprzęgła. Rozsprzęglenie powinno nastąpić dokładnie w momencie przekazania maksymalnej energii pochłaniaczowi. Zaprojektowanie oraz zoptymalizowanie wszystkich parametrów modelu stanowi poważny inżynierski problem.
- model tego urządzenia przypomina swą ideą pracy rozbudowane doświadczenie, dwie kule i jednoramienna poprzeczka. Dawcą energii jest w tym wypadku np. „lokomotywką”, odbiorcą jest pochłaniacz, a pozostałe elementy opierające się o przeszkodę, czyli związane z ziemią, zastępują poprzeczkę. Bez uświadomienia sobie tego faktu zrozumienie zasady działania tego urządzenia *jest niemożliwe*.
- Elementy przekazujące napęd na pochłaniacz, tj. siłownik pneumatyczny, prowadnica zębata oraz przekładnia stanowią w swym szeregowym połączeniu trzecie ciało.
- Innym, ale bardzo ważnym problemem jest sam pochłaniacz, jego możliwości absorbowania energii rosną wraz z jego *obrotami*, gdzie trzeba dopasować w czasie wielkość przekazanej energii do jego *obrotów*, do tego służy siłownik pneumatyczny.
- Podobnie jak w problemie dwóch mas i jednoramiennej poprzeczki bardzo ważne jest dostrojenie całego układu. Polega to na zastąpieniu najpierw pochłaniacza masą skupioną zastępczą o identycznych własnościach energetycznych jak pochłaniacz, a następnie dopasowanie tej masy do masy *całego układu*.

# 1. Zderzak łagiewki – schemat ideowy



Projektowanie pochłaniacza, tj. jego masy i momentu bezwładności, dla powyższego przypadku odbywa się na drodze obliczeniowej z mechaniki energetycznej, gdzie:

$r$  – promień koła zębatego pochłaniacza     $R_p$  – promień pochłaniacza energii     $m_p$  – masa pochłaniacza energii  
 $J_0$  – moment bezwładności pochłaniacza

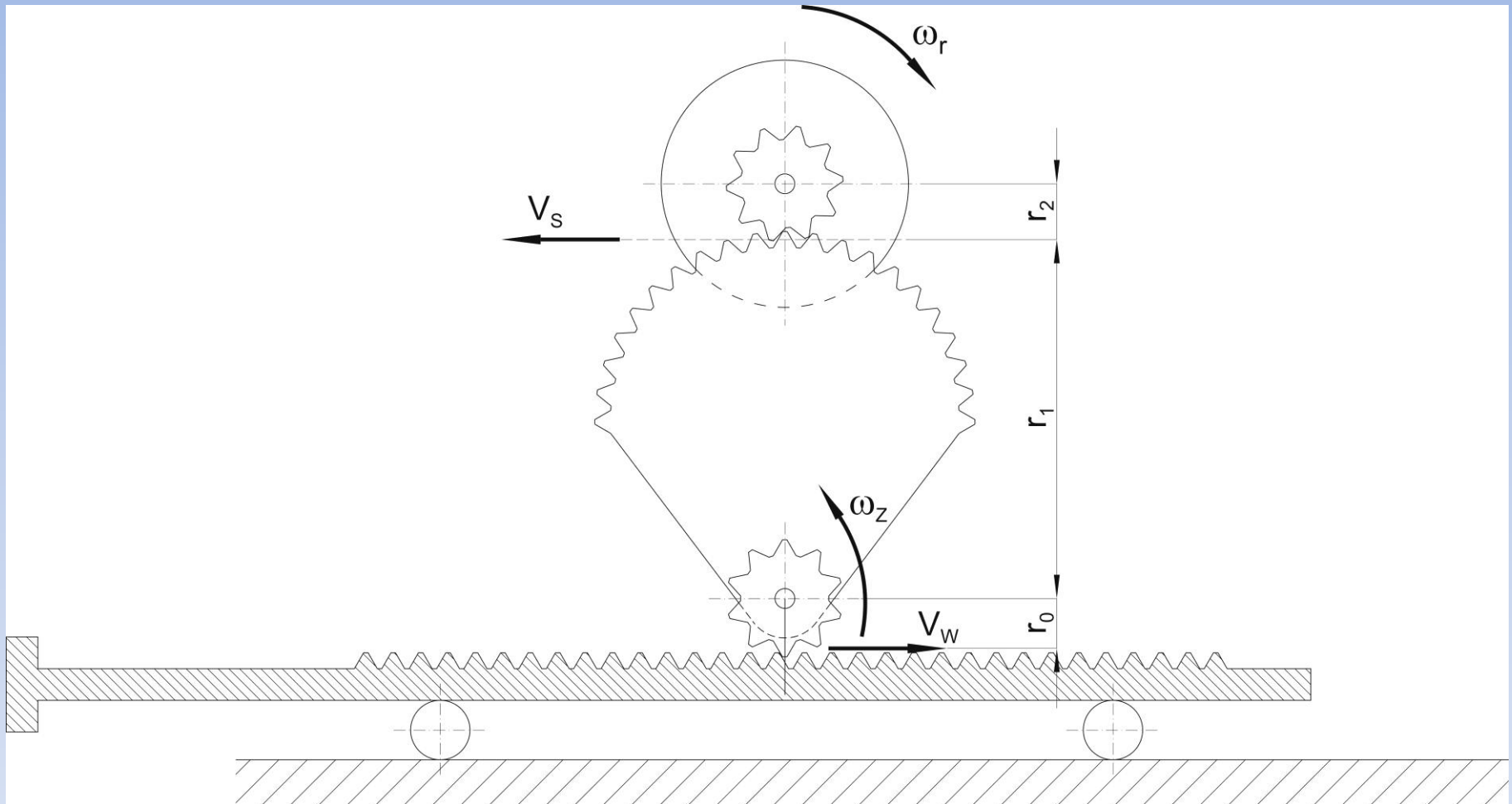
$$\frac{1}{2} \cdot m_z \cdot (\omega_z \cdot r)^2 = \frac{1}{2} \cdot J_0 \cdot \omega_r^2 \quad J_0 = \frac{1}{2} \cdot m_r \cdot R_p^2 \quad m_p = m_1 \cdot \frac{2}{i^2} \cdot \left( \frac{r}{R_p} \right)^2$$

Dla danych:

$$i = 5 \quad \frac{r}{R_p} = \frac{1}{2} \quad m_1 = 10 \text{ kg} \Rightarrow m_p = 0,2 \text{ kg} \text{ – odpowiada to największej teoretycznej sprawności układu.}$$

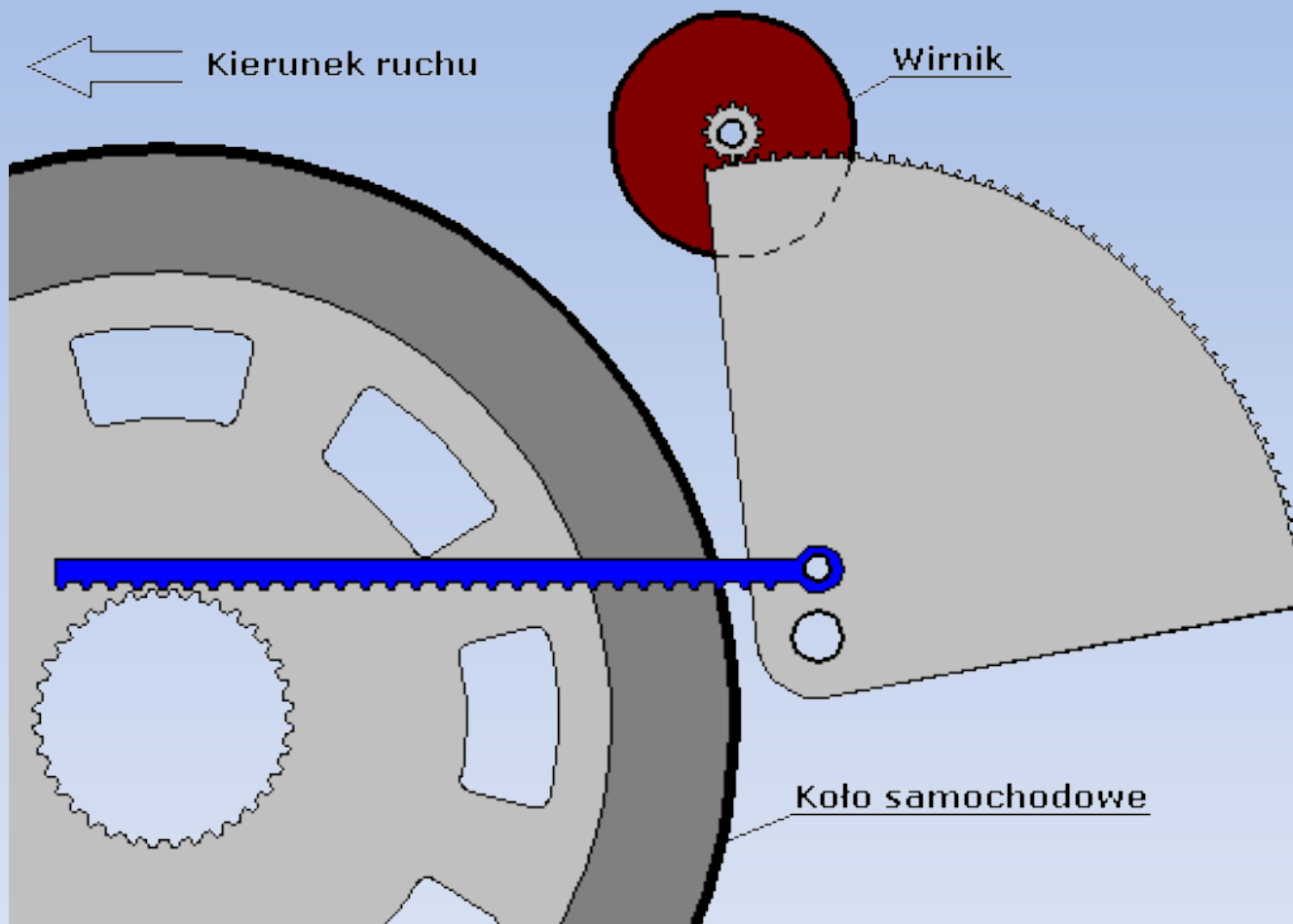
Stosunek mas wynosi:  $\frac{m_p}{m_1} = 0,02 \cdot m_1$

## Przełożenia w zderzaku łągiewki



$$\omega_r = \frac{V_w}{r_0} \cdot \frac{r_1}{r_2} \quad i = \frac{b}{a} = \frac{r_1}{r_2}$$

## 2. Hamulec łańciewki – schemat ideowy



### 3. Silnik (pędnik) Łągiewki ???

Jest to urządzenie, które rzekomo działa na podobnej zasadzie na jakiej pracuje hamulec kinetyczny Łągiewki, gdzie w jednym cyklu pracy efekt Łągiewki się "załącza", a w drugim się "odłącza".

#### **Podobno:**

- sprawność silnika wynosi ponad 80%,
- jest problem z zastosowaniem 2-giej zasady dynamiki do opisu zjawisk występujących w zmiennych cyklach pędnika (potwierdzone przez 3 niezależne ośrodki badawcze),
- urządzenie to ma tylko 25 części ruchomych.

## Zasada działania pochłaniaczy energii kinetycznej

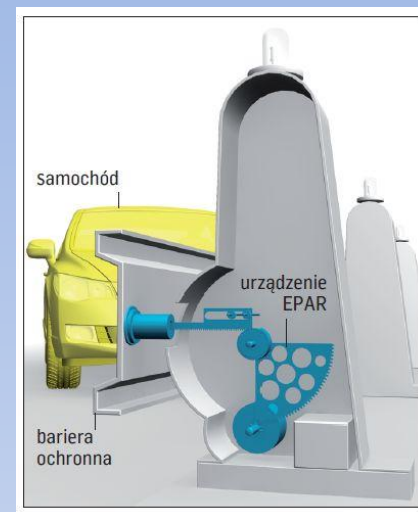
*"Robocza hipoteza jest taka, że jeżeli następuje wytracanie energii z dyssypacją, np. przemiana termodynamiczna przy hamowaniu silnikiem, rozpraszanie w hamulcach, wówczas wszystko się dzieje tak, jak w zasadzie d'Alemberta. Natomiast w momencie, gdy ma miejsce konwersja, a nie rozpraszanie energii kinetycznej, np. ruchu postępowego w ruch obrotowy wirnika, występują efekty zaobserwowane przez L. Łągiwkę (tj. zmniejszenie siły bezwładności), nie znajduje się potwierdzenia w innych doświadczeniach. Nie każdy ruch z przemianą energii poruszającego się obiektu w inny rodzaj energii wyzwala efekt Łągiwki." – cyt. prof. S. Gumuła, AGH (2002)*



# Zastosowania praktyczne technologii EPAR

Definicja:

EPAR (Energetyczny Przetwornik Akumulacyjno-Rozpraszający)



1. Zderzaki kolejowe w USA – Patent nr: US 2007/0007780 A1
2. Bariery drogowe pochłaniające energię uderzenia samochodu (Polska, Szwecja)
3. Zderzak stosowany od 2008 r. w bolidach McLarena w F1 (patent prof. Malcolm Smitha z Cambridge University – proces sądowy z L. Łągiewką)
4. Odbojniki EPAR będą wkrótce zabezpieczać nabrzeża portowe w Kuwejcie
5. Amortyzatory lądowisk rakiet testowane dla Europejskiej Agencji Kosmicznej
6. Broń lufowa – granatnik (J. Ewertowski)



US 20070007780A1

(19) **United States**

(12) **Patent Application Publication**

(10) **Pub. No.: US 2007/0007780 A1**

(12) **Lagiewka et al.**

(43) **Pub. Date: Jan. 11, 2007**

(54) **KINETIC ENERGY ABSORBER,  
PARTICULARLY FOR LARGE MOBILE  
OBJECTS**

(30) **Foreign Application Priority Data**

Dec. 9, 2002 (PL) ..... P.357620

(76) Inventors: **Lucjan Lagiewka**, Kowary (PL);  
**Marian Witalis Dobry**, Poznam (PL)

**Publication Classification**

Correspondence Address:  
**WILLIAM COLLARD  
COLLARD & ROE, P.C.  
1077 NORTHERN BOULEVARD  
ROSLYN, NY 11576 (US)**

(51) **Int. Cl.**  
**B60R 19/26** (2007.01)

(52) **U.S. Cl.** ..... 293/132

(21) Appl. No.: **10/570,095**

(22) PCT Filed: **Dec. 5, 2003**

(86) PCT No.: **PCT/PL03/00134**

§ 371(c)(1),  
(2), (4) Date: **Mar. 1, 2006**

(57) **ABSTRACT**

The invention is related to a kinetic energy absorber, particularly useful for large mobile objects, applicable as a bumper in cars, elevators, rail-cars, quays and other objects susceptible to the effects of sudden collisions. It is characterized by the use of a rotor (4) connected to a bumper (6) through a multiplying gear (2).

# DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ

