

Maszyna – układ materialny wytworzony przez człowieka, wykonujący użyteczne działanie dzięki energii doprowadzonej z zewnątrz

Pod względem energetycznym podział na:

SILNIKI - pobierają energię z zewnętrznego źródła energii (chemicznej, paliw, jądrowej, mechanicznej wody i wiatru, cieplnej itp.) i przekształcają na energię mechaniczną.

MASZYNY ROBOCZE – Pobierają energię z silników w celu przekształcenia jej na pracę użyteczną (np. skrawanie, przemieszczanie materii lub przetwarzanie na inną postać energii).

Podział maszyn roboczych:

- a) Maszyny technologiczne, np. obrabiarki, walcarki itp.
- b) Maszyny energetyczne – zamiana jednej energii na drugą
np. sprężarki, prądnice
- c) Maszyny transportowe

Z pojedynczych maszyn powstają kombajny, agregaty, gniazda i całe linie produkcyjne.

Maszyny można klasyfikować wg branż, np. górnicze, hutnicze, rolnicze, przemysłu spożywczego itp.

Parametry charakteryzujące maszyny robocze:

- a) Zainstalowana moc (określa wartość zapotrzebowania energii i wartość wykonanej pracy przez maszynę)
- b) Wydajność lub inne walory użytkowe:
np. : samochód – ładowność i prędkość maksymalna,
żuraw – udźwig, wysięg, zakres obrotu, prędkości
pompa – wydatek i ciśnienie,
- c) Masa maszyny i wymiary gabarytowe
- d) Wskaźniki techniczno-ekonomiczne np. :
 - Zapotrzebowanie energii na jednostkowy skutek ekonomiczny np. kW / t surowca w kruszarce
 - Zużycie paliwa np. l/100 km , l/godz
 - Jednostkowy koszt wydobycia lub eksploatacji

W przypadku maszyn poruszających się bez przyśpieszenia (ruch ustalony) wypadkowa siła na nie działająca jest równa zero.

Gdy wypadkowa siła jest różna od zera mówimy wtedy o ruchu z przyśpieszeniem.

Zakładając, że siła wypadkowa **F** jest stała, to nadaje ona ciału o masie **m** przyśpieszenie **a** .

Zakładając również zgodność kierunku działania siły **F** i przyśpieszenia **a** z osią x możemy określić jaką pracę wykonuje ta siła przemieszczając ciało **m** na odległość **x** .

Dla stałego przyśpieszenia $a = \frac{v - v_0}{t}$

Przemieszczenie: $x = \frac{v + v_0}{2} \cdot t$

Ponieważ praca to iloczyn wartości siły i wartości przemieszczenia

$$W = F \cdot x = m \cdot a \cdot x = m \cdot \frac{v - v_0}{t} \cdot \frac{v + v_0}{2} \cdot t$$

$$W = m \cdot \frac{v^2 - v_0^2}{2} = \frac{1}{2} m v^2 - \frac{1}{2} m v_0^2 \quad [J] = [N \cdot m]$$

Energia kinetyczna ciała jest równa: $E_k = \frac{1}{2} m v^2$ zatem:

**PRACA WYKONANA PRZEZ WYPADKOWĄ SIŁĘ F RÓWNA
JEST ZMIANIE ENERGII KINETYCZNEJ TEGO CIAŁA.**

W przypadku zmiennej siły działającej w kierunku przemieszczenia pracę obliczamy jako:

$$W = \int F dx = \int_{x_0}^x F dx$$

Ponieważ z II zasady dynamiki Newtona $F = m \cdot a$

a przyśpieszenie $a = \frac{dv}{dt}$ to

$$a = \frac{dv}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} = \frac{dv}{dx} \cdot v$$

$$W = \int_{x_0}^x F dx = \int_{x_0}^x m \cdot v \cdot \frac{dv}{dx} \cdot dx = \int_{x_0}^x m \cdot v \cdot dv$$

$$\text{to: } W = \frac{1}{2} mv^2 - \frac{1}{2} mv_0^2$$

Praca np. przy podnoszeniu ładunku na określoną wysokość jest zawsze taka sama, niezależnie od czasu podnoszenia.

W zastosowaniach przemysłowych bardziej interesująca jest szybkość wykonywania samej pracy niż sama praca.

Szybkość wykonania pracy, to moc.

Średnia moc urządzenia równa jest całkowitej pracy wykonanej przez to urządzenie podzielona przez całkowity czas wykonania tej pracy:

$$N = \frac{W}{t} \quad \left[\frac{J}{s} \right] = [W]$$

Podstawiając $W = F \cdot x \Rightarrow$

$$N = \frac{F \cdot x}{t} = F \cdot v \quad \left[N \cdot \frac{m}{s} \right] = [W]$$

Dla ruchu obrotowego:

$$N = M \cdot \omega \quad \text{generalnie } N = \frac{dW}{dt}$$

Aby dokładniej określić charakterystykę ruchów ustalonych napędów należy uwzględnić straty mocy.

SPRAWNOŚĆ MECHANIZMU – stosunek mocy oddanej przez mechanizm do mocy przez niego pobranej.

$$\eta = \frac{N_{wyj}}{N_{wej}}$$

Mówi się również o mocy uzyskanej i włożonej.
Sprawność odnosi się do nominalnych warunków pracy.

Najczęściej stosowanym pierwotnym elementem napędowym są silniki obrotowe, zatem przyjmując jako podstawowy ruch obrotowy elementów mechanizmów mówi się o stratach mocy wynikających ze strat momentu obrotowego i prędkości obrotowej.

STRATY MOMENTU OBROTOWEGO

wynikają z oporów ruchu elementów napędowych wywołanych tarciem, oporami toczenia, oporami przepływu itp.

STRATY KINEMATYCZNE (PRĘDKOŚCI)

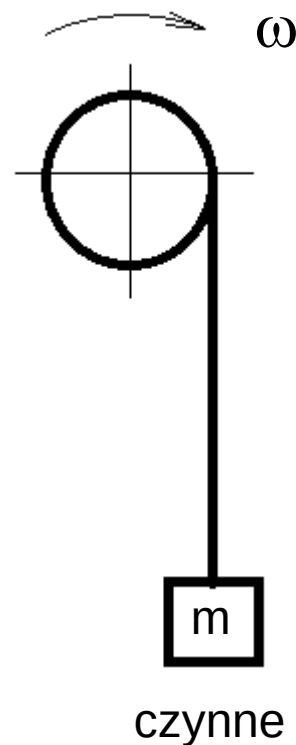
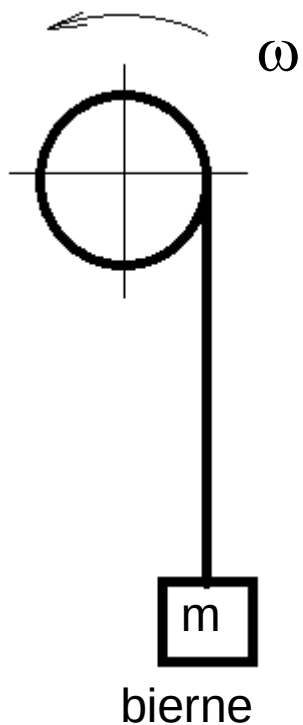
mogą być spowodowane poślizgiem w elementach napędowych ciernych np. :

przekładnia pasowa, koło jezdne, koło linowe lub w przypadku napędów hydrostatycznych – natężeniami przepływów w nieszczelnościach wewnętrznych w pasowaniach silników, pomp i zaworów.

Straty te przyjęto odnosić do pierwszego, wejściowego wału napędu.

Ze stratami związane są odpowiednio pojęcia sprawności dynamicznej η_d i sprawności kinematycznej η_k .

Określanie sprawności w układach napędowych powinno uwzględniać kierunek przepływu mocy wynikający z biernego i czynnego charakteru obciążenia.



Wiąże się to z rodzajem pracy wykonywanej przez dany element napędu, np. :

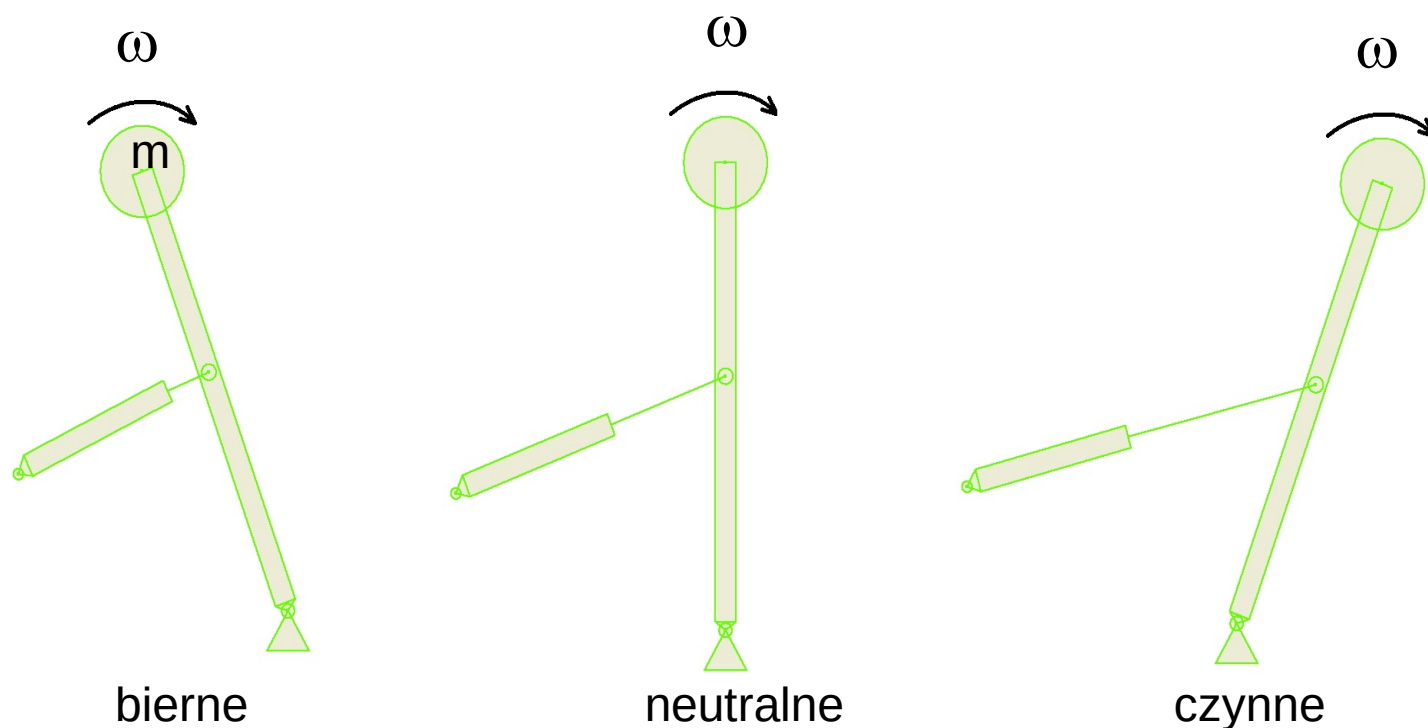
Silnik elektryczny:

- praca silnikowa
- praca generatorowa

Elementy hydrostatyczne:

- praca silnikowa
- praca pompowa

Określanie sprawności w układach napędowych powinno uwzględniać kierunek przepływu mocy wynikający z biernego i czynnego charakteru obciążenia.



Wiąże się to z rodzajem pracy wykonywanej przez dany element napędu, np. :

Silnik elektryczny:

- praca silnikowa
- praca generatorowa

Elementy hydrostatyczne:

- praca silnikowa
- praca pompowa

KIERUNEK PRZEPEŁYWU MOCY



	SILNIK PIERWOTNY	NAPĘD RZECZYWISTY	ODBIORNIK MOCY
MOC	N_1	$\Delta N ; \eta_c$	N_2
MOMENT	M_1	$\Delta M ; \eta_d$	M_2
PRĘDKOŚĆ	ω_1	$\Delta \omega ; \eta_k$	ω_2

Sprawność dynamiczna:

$$\eta_d = \frac{M_2}{M_1} = \frac{M_2}{M_2 + \Delta M}$$

Sprawność kinematyczna:

$$\eta_k = \frac{\omega_2}{\omega_1}$$

Sprawność całkowita:

$$\eta_c = \frac{N_2}{N_1} = \frac{N_2}{N_2 + \Delta N} \quad (*)$$

$$\eta_c = \frac{N_2}{N_1} = \frac{M_2 \cdot \omega_2}{M_1 \cdot \omega_1} = \frac{M_2}{M_1} \cdot \frac{\omega_2}{\omega_1} = \eta_d \cdot \eta_k$$

KIERUNEK PRZEPIŁYWU MOCY



	SILNIK PIERWOTNY	NAPĘD RZECZYWISTY	ODBIORNIK MOCY
MOC	N_1	$\Delta N ; \eta_{ch}$	N_2
MOMENT	M_1	$\Delta M ; \eta_{dh}$	M_2
PRĘDKOŚĆ	ω_1	$\Delta \omega ; \eta_{kh}$	ω_2

Sprawność całkowita:

$$\eta_c = \frac{N_1}{N_2} = \frac{N_2 - \Delta N}{N_2} \quad (**)$$

Ponieważ straty ΔN przypisane do I wału są niezmiennie (niezależne od kierunku przepływu mocy):

$$z (*) \quad \eta_c = \frac{N_2}{N_2 + \Delta N} \Rightarrow \eta_c \cdot N_2 + \eta_c \cdot \Delta N = N_2$$

$$\Delta N = \frac{N_2 \cdot (1 - \eta_c)}{\eta_c}$$

$$z (**) \quad \eta_{ch} = \frac{N_2 - \Delta N}{N_2} \Rightarrow \eta_{ch} \cdot N_2 = N_2 - \Delta N$$

$$\Delta N = N_2 \cdot (1 - \eta_{ch})$$

$$\frac{N_2 \cdot (1 - \eta_c)}{\eta_c} = N_2 \cdot (1 - \eta_{ch}) \Rightarrow \eta_{ch} = 1 - \frac{1 - \eta_c}{\eta_c} \Rightarrow \eta_{ch} = 1 - \frac{1}{\eta_c} + 1$$

$$\eta_{ch} = 2 - \frac{1}{\eta_c}$$

Przy dużych sprawnościach układu różnice nie są duże, więc przy obliczeniach takich układów można przyjąć:

$$\eta_{ch} \approx \eta_c \quad (\eta_{kh} \approx \eta_k ; \eta_{dh} \approx \eta_d)$$

η_c	η_{ch}
1	1
0,98	0,98
0,96	0,958
0,94	0,936
0,92	0,913
0,90	0,889
0,88	0,864
0,86	0,837
0,84	0,810
0,82	0,780
0,80	0,750

SPRAWNOŚCI:

Pojedyńcza przekładnia otwarta z kołami walcowymi:

- Łożyskowanie ślizgowe $\eta = 0,93 - 0,95$
- Łożyskowanie toczne $\eta = 0,95 - 0,97$

Pojedyńcza przekładnia zamknięta z kołami walcowymi:

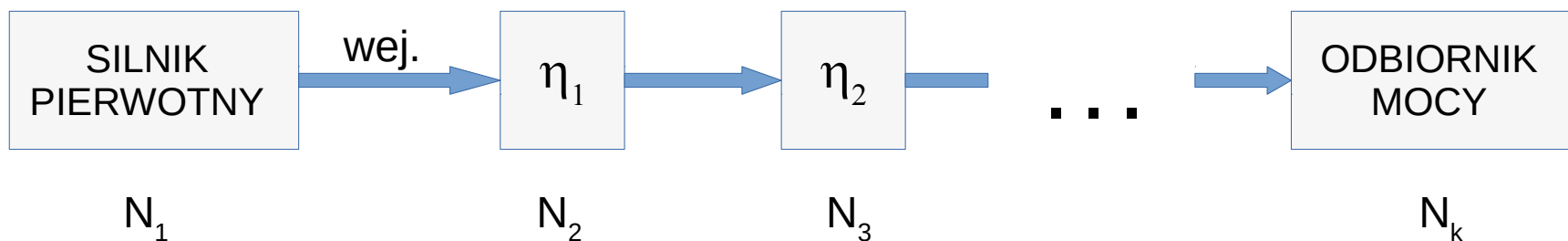
- Łożyskowanie ślizgowe $\eta = 0,96 - 0,97$
- Łożyskowanie toczne $\eta = 0,97 - 0,98$

Bęben linowy, krążek linowy

- Łożyskowanie ślizgowe $\eta = 0,94 - 0,95$
- Łożyskowanie toczne $\eta = 0,96 - 0,97$

W układach napędowych elementy zwykle są połączone szeregowo, ale zdarzają się również połączenia równoległe.

POŁĄCZENIE SZEREGOWE NAPĘDU



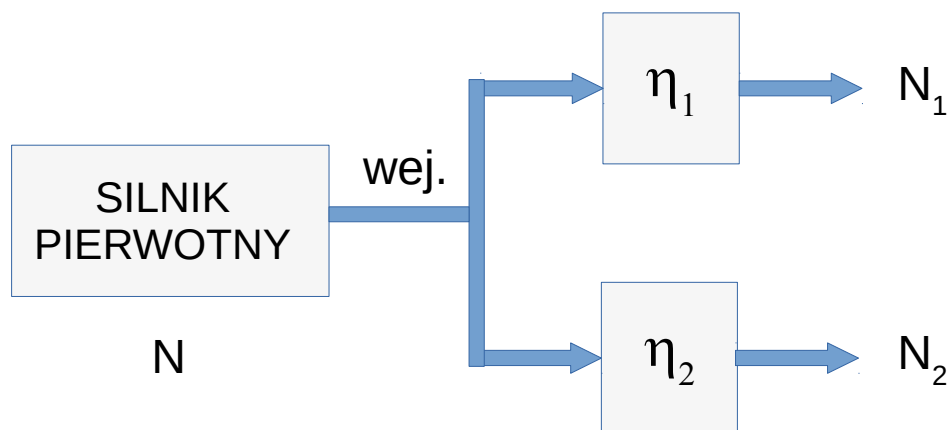
$$N_2 = N_1 \cdot \eta_1$$

$$N_3 = N_2 \cdot \eta_2 = N_1 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2$$

.....

$$N_k = N_1 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \dots \cdot \eta_k$$

$$\eta_c = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \dots \cdot \eta_k$$

POŁĄCZENIE RÓWNOLEGŁE NAPĘDU

$$\eta_c = \frac{N_1 + N_2}{N}$$

$$N = \frac{N_1}{\eta_1} + \frac{N_2}{\eta_2} = \frac{N_1 \cdot \eta_2 + N_2 \cdot \eta_1}{\eta_1 \cdot \eta_2}$$

}

$$\eta_c = \frac{(N_1 + N_2) \cdot \eta_1 \cdot \eta_2}{N_1 \cdot \eta_2 + N_2 \cdot \eta_1}$$

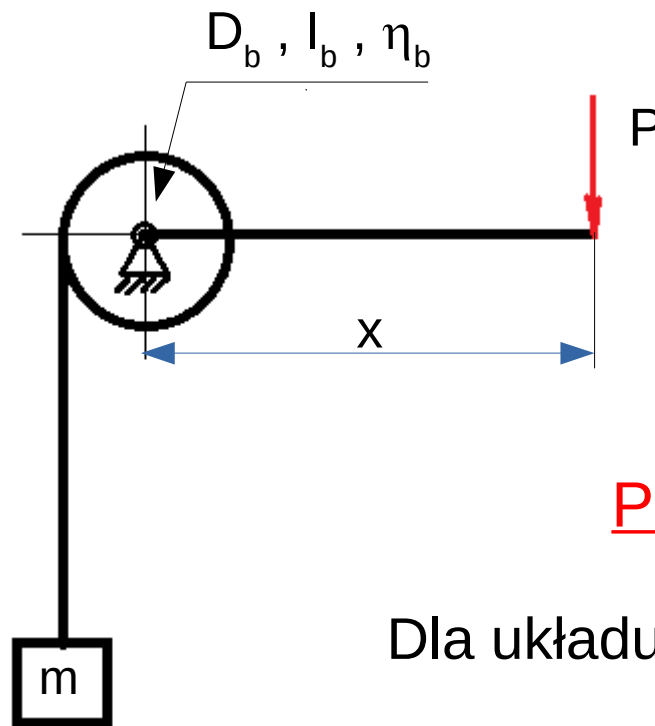
$$\text{Gdy } \eta_1 = \eta_2 = \eta \Rightarrow \eta_c = \frac{(N_1 + N_2) \cdot \eta^2}{N_1 \cdot \eta + N_2 \cdot \eta} = \frac{(N_1 + N_2) \cdot \eta^2}{(N_1 + N_2) \cdot \eta} = \eta$$

$$m = 50 \text{ kg}$$

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

$$D_b = 0,2 \text{ m}$$

$$I_b = 0,85 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$$



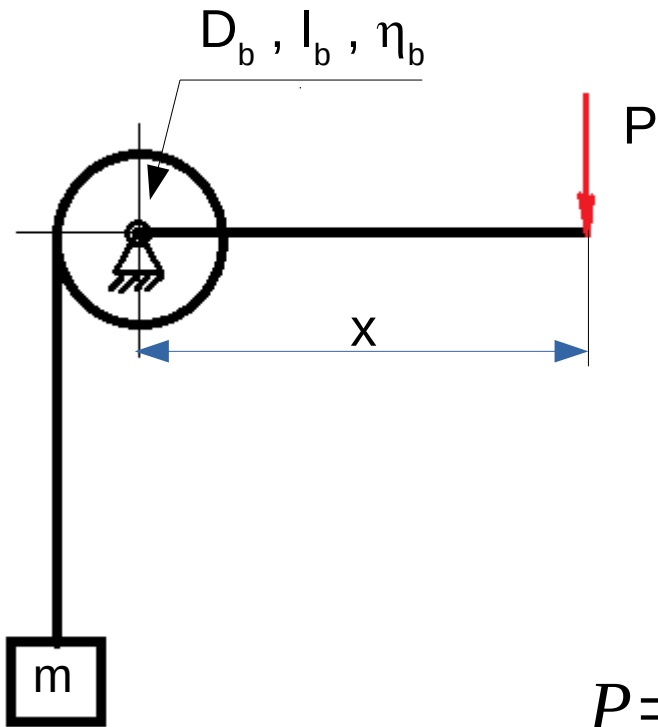
PODNOSZENIE

Dla układu idealnego (bez strat)

Warunek równowagi:

$$m \cdot g \cdot \frac{D_b}{2} = P \cdot x$$

$$P = m \cdot g \cdot \frac{D_b}{2 \cdot x} = 50 \cdot 9,81 \cdot \frac{0,2}{2 \cdot 0,5} = 98,1 \text{ [N]}$$

PODNO SZENIE

Uwzględniając sprawność:

$$\eta_b = \frac{m \cdot g \cdot \frac{D_b}{2}}{P \cdot x}$$

$$P = m \cdot g \cdot \frac{D_b}{2 \cdot x \cdot \eta_b} = 50 \cdot 9,81 \cdot \frac{0,2}{2 \cdot 0,5 \cdot 0,94} = 104,4 [N]$$

$$m = 50 \text{ kg}$$

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

$$D_b = 0,2 \text{ m}$$

$$I_b = 0,85 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Bęben linowy, krążek linowy

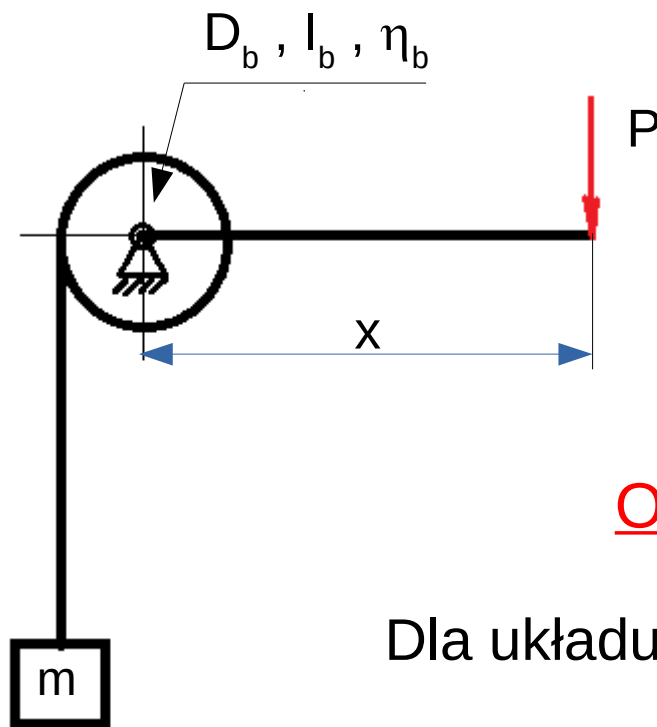
- Łożyskowanie ślizgowe $\eta = \underline{0,94} - 0,95$
- Łożyskowanie toczne $\eta = 0,96 - 0,97$

$$m = 50 \text{ kg}$$

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

$$D_b = 0,2 \text{ m}$$

$$I_b = 0,85 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$$



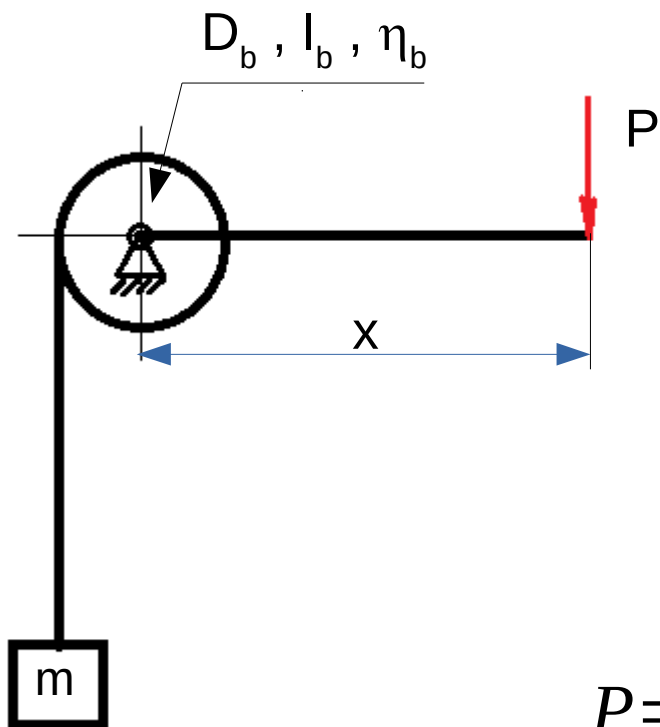
OPUSZCZANIE

Dla układu idealnego (bez strat)

Warunek równowagi:

$$m \cdot g \cdot \frac{D_b}{2} = P \cdot x$$

$$P = m \cdot g \cdot \frac{D_b}{2 \cdot x} = 50 \cdot 9,81 \cdot \frac{0,2}{2 \cdot 0,5} = 98,1 \text{ [N]}$$

OPUSZCZANIE

Uwzględniając sprawność:

$$\eta_b = \frac{P \cdot x}{m \cdot g \cdot \frac{D_b}{2}}$$

$$P = m \cdot g \cdot \frac{D_b}{2 \cdot x} \cdot \eta_b = 50 \cdot 9,81 \cdot \frac{0,2}{2 \cdot 0,5} \cdot 0,94 = 92,2 [N]$$

$$m = 50 \text{ kg}$$

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

$$D_b = 0,2 \text{ m}$$

$$I_b = 0,85 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Bęben linowy, krążek linowy

- Łożyskowanie ślizgowe $\eta = 0,94 - 0,95$
- Łożyskowanie toczne $\eta = 0,96 - 0,97$

CZY MOŻNA BYŁO PRZYJAĆ TAKĄ SAMĄ
SPRAWNOŚĆ DLA PODNOSZENIA I OPUSZCZANIA ?

$$\eta_{bh} = 2 - \frac{1}{\eta_b} = 2 - \frac{1}{0,94} = 0,936 \approx 0,94$$

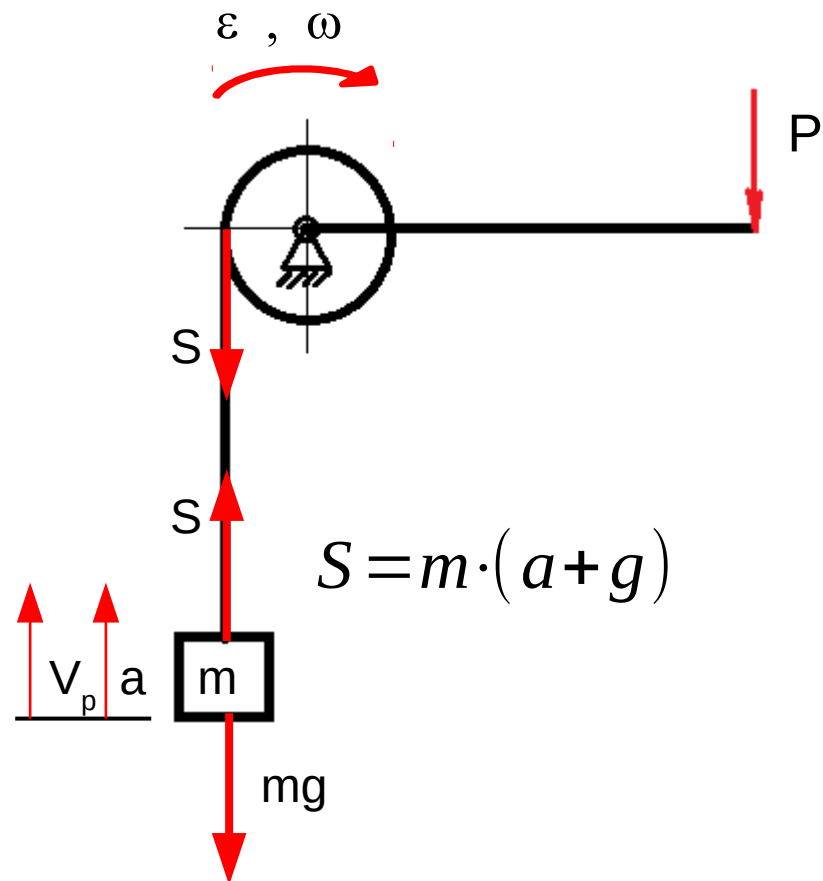
Czyli ... można było.

CO BĘDZIE, JEŚLI P BĘDZIE WIĘKSZE O 20 % ?

$$P = 1,2 \cdot 98,1 \text{ N} = 117,2 \text{ N}$$

Czy układ będzie w równowadze?

Jakie będzie przyspieszenie ?



$$S = m \cdot (a + g)$$

II ZASADA DYNAMIKI DLA ŁADUNKU

$$m \cdot a = S - m \cdot g$$

II ZASADA DYNAMIKI DLA BĘBNA

$$I_b \cdot \epsilon = P \cdot x - \frac{S \cdot D_b}{2 \cdot \eta_b}$$

ZALEŻNOŚCI KINEMATYCZNE

$$a = \epsilon \cdot \frac{D_b}{2} \quad \Rightarrow \quad \epsilon = \frac{a \cdot 2}{D_b}$$

Podstawiając równania otrzymamy:

$$I_b \cdot a \cdot \frac{2}{D_b} = P \cdot x - m \cdot (a + g) \cdot \frac{D_b}{2 \cdot \eta_b}$$

$$\frac{2 \cdot I_b}{D_b} \cdot a = P \cdot x - \frac{m \cdot D_b}{2 \cdot \eta_b} \cdot a - \frac{m \cdot D_b}{2 \cdot \eta_b} \cdot g$$

$$a \cdot \left(\frac{2 \cdot I_b}{D_b} + \frac{m \cdot D_b}{2 \cdot \eta_b} \right) = P \cdot x - m \cdot g \cdot \frac{D_b}{2 \cdot \eta_b}$$

$$a = \frac{P \cdot x - m \cdot g \cdot \frac{D_b}{2 \cdot \eta_b}}{\frac{2 \cdot I_b}{D_b} + \frac{m \cdot D_b}{2 \cdot \eta_b}} = 0,48 [m/s^2]$$

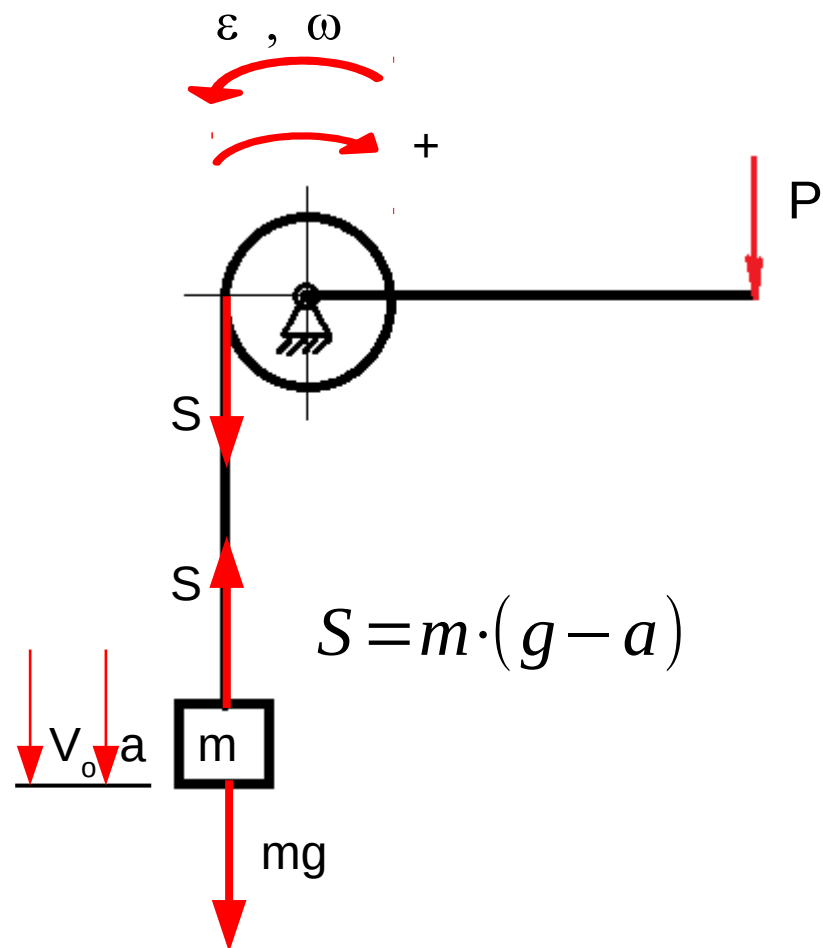
JAKĄ PRĘDKOŚĆ OSIĄGNIEMY JEŚLI SIŁA BĘDZIE
DZIAŁAĆ PRZEZ 1 SEKUNDĘ ?

$$a = \frac{v}{t} \Rightarrow v = a \cdot t = 0,48 \text{ m/s}$$

$$\omega = \frac{v}{\frac{D_b}{2}} = 4,8 \text{ rad/s}$$

CO BĘDZIE, JEŚLI P BĘDZIE MNIEJSZE O 20 % ?

$$P = 0,8 \cdot 98,1 \text{ N} = 78,48 \text{ N}$$



II ZASADA DYNAMIKI DLA ŁADUNKU

$$-m \cdot a = S - m \cdot g$$

II ZASADA DYNAMIKI DLA BĘBNA

$$-I_b \cdot \epsilon = P \cdot x - \frac{S \cdot D_b}{2} \cdot \eta_b$$

ZALEŻNOŚCI KINEMATYCZNE

$$a = \epsilon \cdot \frac{D_b}{2} \quad \Rightarrow \quad \epsilon = \frac{a \cdot 2}{D_b}$$

Podstawiając równania otrzymamy:

$$-I_b \cdot a \cdot \frac{2}{D_b} = P \cdot x - m \cdot (g - a) \cdot \frac{D_b}{2} \cdot \eta_b$$

$$-\frac{2 \cdot I_b}{D_b} \cdot a = P \cdot x - \frac{m \cdot D_b \cdot \eta_b}{2} \cdot g + \frac{m \cdot D_b \cdot \eta_b}{2} \cdot a$$

$$-a \cdot \left(\frac{2 \cdot I_b}{D_b} + \frac{m \cdot D_b \cdot \eta_b}{2} \right) = P \cdot x - m \cdot g \cdot \frac{D_b}{2} \cdot \eta_b$$

$$a = - \frac{P \cdot x - m \cdot g \cdot \frac{D_b}{2} \cdot \eta_b}{\frac{2 \cdot I_b}{D_b} + \frac{m \cdot D_b \cdot \eta_b}{2}} = 0,52 [m/s^2]$$



Podstawy doboru napędu maszyn

