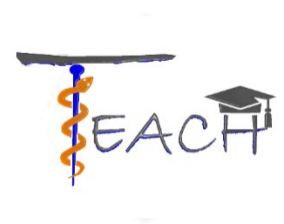


# Development of innovative training solutions in the field of functional evaluation aimed at updating of the curricula of health sciences schools



MODUŁ BIOMECHANIKA:

PODSTAWY BIOMECHANIKI W ZAKRESIE UKŁADU  
NARZĄDU RUCHU

Jednostka dydaktyczna B: SIŁA I NACISK



## Spis treści

1. CELE 2	
2. PRZYCZYNY POWODUJĄCE RUCH: KINETYKA	3
3. POJĘCIA BĘDĄCE PRZEDMIOTEM ZAINTERESOWANIA KINETYKI: SIŁY, CIŚNIENIE, MOMENT OBROTOWY, MOC, PRACA I ENERGIA.	4
3.1. Siły [1].....	4
3.3.1 Siły działające na ciało człowieka [1] .....	5
3.2 Nacisk.....	6
3.3 Energia .....	6
3.4 Praca .....	8
3.5 Moc.....	9
3.6 Moment siły .....	10
4. ŚRODEK CIĘŻKOŚCI I ŚRODEK NACISKU [12]	11
5. KLUCZOWE ZAGADNIENIA	12
6. BIBLIOGRAFIA	14

## 1. Cele

---

- Poznanie przyczyn, które powodują ruchy: kinetyka.
- Wskazanie kluczowych pojęć potrzebnych do zrozumienia kinetyki: siły, ciśnienie, moment obrotowy, moc, praca i energia.
- Zdefiniowanie innych interesujących pojęć w dziedzinie biomechaniki: środek ciężkości i środek ciśnienia.

## 2. Przyczyny powodujące ruch: kinetyka

Część mechaniki badająca przyczyny ruchu ciał (sił) nazywa się **kinetyką**\*. Kinetyka opisuje siły, które działają na ciało w celu wywołania ruchu.

Przykładami zmiennych kinetycznych związanych z ruchem są wszelkiego rodzaju siły (tarcie, reakcja gruntu, grawitacja itp.), praca, pęd, moment obrotowy, energia, moc i opór.

Podsumowując:

Kinetyka odpowiada na pytanie: dlaczego ciało się porusza?

Pojęcie to zostało wprowadzone we wcześniejszej jednostce dydaktycznej, niemniej jednak powtórzenie definicji kinetyki pozwoli na lepsze zrozumienie treści zawarte w niniejszym materiale.

Jeśli nadal masz wątpliwości co do różnic między kinematyką a kinetyką, zapoznaj się z treścią filmu, do którego dostęp znajduje się pod wskazanym linkiem: <https://ocw.mit.edu/courses/physics/8-01sc-classical-mechanics-fall-2016/week-1-kinematics/week-1-introduction/>

*Materiał, do którego prowadzi hiperłącze, jest publiczny i dostępny do przeglądania online. Został on wybrany ze względu na jego adekwatność do przedmiotu omawianego w tej jednostce dydaktycznej, po przeprowadzeniu wyszukiwania przy użyciu pojęcia „Mechanika klasyczna” w sieci Internet. W ten sposób można znaleźć również inne interesujące filmy o charakterze dydaktycznym.*

\* Kinetyka i Dynamika są często używane zamiennie, pomimo, że nie oznaczają dokładnie to samo.

### 3. Pojęcia będące przedmiotem zainteresowania kinetyki: siły, ciśnienie, moment obrotowy, moc, praca i energia.

#### 3.1. Siły [1]

**Siła** to wielkość fizyczna będąca miarą oddziaływań fizycznych między ciałami umożliwiając ilościowe określenie przyczyn zmian w ruchu ciał.

Przykład: ciało jest w stanie spoczynku. W takim stanie ciało będzie pozostawać dopóki coś lub ktoś nie zmusi je do zmiany prędkości (np. używając siły). Zatem jego prędkość zmieni się od 0 do danej wartości, a ponadto pojawi się przyspieszenie (ze względu na zmianę prędkości). Pojęcia przyspieszenia i siły zawsze są ze sobą powiązane (co zostanie wyjaśnione).

Siła może być zatem również rozumiana jako wielkość fizyczna, która powoduje zmianę stanu ruchu ciała i/lub zmianę jego kształtu.

Związek pomiędzy ciałem i działającymi na nie siłami oraz jego ruch spowodowany tymi siłami opisuje prawa Newtona z 1686 roku:

**Pierwsze Prawo Newtona:** Stwierdza ono, że ciało pozostanie w stanie spoczynku lub w ruchu jednostajnym po linii prostej, o ile nie zadziała na niego siła zewnętrzna. Może być rozpatrywane jako stwierdzenie o bezwładności, wskazujące, że obiekty pozostaną w określonym stanie ruchu, chyba że zadziała siła, pod wpływem której ten ruch się zmieni [2].

**Drugie prawo Newtona:** Stwierdza ono, że wszystkie siły działające na ciało są proporcjonalne do przyspieszenia i jego masy (przyjmuje się, że jest ona stała). Prawo to jest wyrażone następującym równaniem:

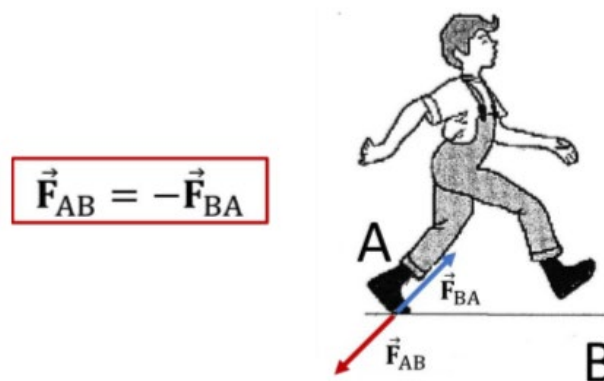
$$\vec{F} = m\vec{a} = \text{masa} * \text{przyspieszenie}$$

Jednostką miary siły w układzie międzynarodowym (SI) jest *Niuton* =  $\left[ kg \frac{m}{s^2} \right]$ .

Pamiętaj, że obecność przyspieszenia wiąże się ze zmianą prędkości ciała; oznacza to, że istnieją siły zewnętrzne powodujące zmiany prędkości tego ciała.

**Trzecie prawo Newtona:** Wszystkie siły we wszechświecie występują w równych, ale przeciwnie skierowanych parach. Nie ma sił izolowanych; dla każdej siły zewnętrznej działającej na obiekt istnieje siła o równej wielkości, ale o przeciwnym kierunku, oddziałująca wzajemnie na ten obiekt [2].

To oznacza, że jeżeli ciało (A) działa na ciało (B) siłą, to ciało (B) działa na ciało (A) siłą o takim samym kierunku i wartości jak (A), ale przeciwnym zwrocie (Rysunek 1).



Rysunek 1: Trzecie prawo Newtona.

źródło: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Walking\\_reaction\\_forces.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Walking_reaction_forces.png)  
Zmodyfikowane przez IBV

### 3.3.1 Siły działające na ciało człowieka [1]

Istnieją różne rodzaje sił: elektromagnetyczne, grawitacyjne, itp. ale są one poza zakresem niniejszych rozważań. Opisane są tu tylko te siły, które są siłami mechanicznymi i są powiązane z ciałem człowieka:

#### Ciężar

Jest to siła grawitacji działająca na ciało. Oblicza się ją następująco:

$$\vec{W} = masa * \vec{g}$$

Ciężar segmentów ciała jest bardzo ważną siłą, ponieważ aby utrzymać statyczną postawę lub wykonywać powolne ruchy, mięśnie i więzadła powinny przeciwdziałać temu ciężarowi.

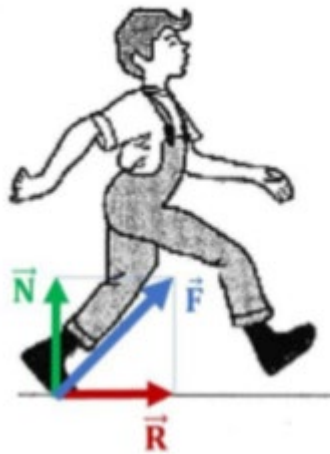
#### Obciążenia zewnętrzne

Codziennie czynności wymagają wykonywania różnego rodzaju aktywności stanowiące obciążenie dla ciała człowieka jak podnoszenie, pchanie, ciągnięcie lub utrzymywanie przedmiotów. Wpływ tych zewnętrznych obciążeń na stawy i mięśnie może być bardzo duży.

#### Siły normalne i siły tarcia

Pojawiają się one, gdy ciało jest oparte o dowolny rodzaj powierzchni. W przypadku, gdy powierzchnią tą jest ziemia, będzie ona wywierała na nasze stopy siłę o przeciwnym znaku. Siła ta nazywana jest "siłą reakcji podłoża" (powierzchnią tą może być również np. siedzenie).

Siły te składają się z dwóch różnych sił: Siła normalna ( $\vec{N}$ ), prostopadła do powierzchni podparcia oraz siła tarcia ( $\vec{R}$ ), równoległa do powierzchni podparcia (Rysunek 2).



Rysunek 2: Składowe siły reakcji podłoża.  
Źródło: [1]

### Siły wewnętrzne

Są one wytwarzane przez ścięgna, mięśnie, więzadła i wewnętrzne elementy stawów..

## 3.2 Nacisk

Kiedy do materiału przyłożone są siły, wywierają one obciążenia/naprężenia w materiale. Te obciążenia/naprężenia próbują zmienić kształt materiału, wywierając naprężenia ściskające, rozciągające, ścinające, skręcające lub zginające. W dziedzinie biomechaniki, ciśnienie może być rozumiane jako obciążenie ściskające wywierane na ciało. Dlatego też pojęcie ciśnienia w biomechanice jest podobne do pojęcia naprężenia (symbolizowanego przez  $\sigma$ ), o ile odnosi się do naprężeń ściskających. Ciśnienie i naprężenie (ściskanie) definiuje się więc jako siłę działającą na jednostkę powierzchni [3]:

$$\text{Nacisk} = \frac{\text{Siła}}{\text{Powierzchnia}}$$

W międzynarodowym układzie (SI) jednostką ciśnienia/naprężenia jest *Paskal* =  $\left[ \frac{\text{Niuton}}{\text{metr}^2} \right]$ .

## 3.3 Energia

Energia jest miarą zdolności kogoś lub czegoś do wykonywania pracy. Nie jest ona rozumiana w wymiarze materialnym. Energia może być przechowywana i mierzona w wielu formach. Chociaż ludzie często mówią o zużyciu energii, energia tak naprawdę nigdy nie jest niszczone - zużyta. Jest ona po prostu przenoszona z jednej formy do drugiej, w trakcie wykonywania danej pracy [4].

Przemiana energii jest elementem towarzyszącym ogromnej liczbie zróżnicowanych procesów [5]. Energia związana z ruchem nazywana jest energią kinetyczną.

**Energia kinetyczna** ( $E_K$ ): Energia, którą posiada ciało będące w ruchu. Energia kinetyczna masy punktowej  $m$  jest określana przez:

$$\text{Energia Kinetyczna: } \frac{1}{2}mv^2$$

$m = \text{masa}$

$v = \text{prędkość}$

$m = \text{metr}$

W międzynarodowym układzie (SI) jednostką energii kinetycznej jest  $\text{Dzul} = \text{Niuton} * m$ .

Energia kinetyczna wyraża zjawisko, gdy na poruszające się ciało działa siła; w wyniku działania na ciało siłą energia może być przekazana ciału lub od niego odebrana; określa ilość pracy, jaką obiekt może wykonać w wyniku swojego ruchu.

**Energia potencjalna** ( $E_p$ ) to energia, która powstaje w wyniku położenia lub konfiguracji układu sił [6].

$$\text{Energia potencjalna} = mgh$$

$m = \text{masa}$

$g = \text{przyspieszenie grawitacyjne} (9,8 \text{ m/s}^2)$

$h = \text{wysokość}$

W międzynarodowym układzie (SI) jednostką energii kinetycznej jest  $\text{Dzul} = \text{Niuton} * m$

Przykład: Obiekt może mieć zdolność do wykonania pracy w wyniku swojego położenia w polu grawitacyjnym (grawitacyjna energia potencjalna).

Tylko siły zachowawcze, takie jak siła ciężkości i siła sprężystości wywierane przez nie same mają związaną z nimi energię potencjalną.

Zgodnie z zasadą zachowania energii mechanicznej, całkowita energia mechaniczna obiektu jest sumą jego energii kinetycznej i energii potencjalnej:

$$E_M = E_K + E_p$$

Zasada zachowania energii mechanicznej obowiązuje tylko wtedy, gdy wszystkie siły działające na ciało są zachowawcze [7]. Zasada ta jest istotna na przykład podczas obliczania energii obiektu spadającego z pewnej wysokości.



### 3.4 Praca

**Praca:** Praca jest wykonywana przez siłę wówczas, gdy w momencie działania siły następuje ruch punktu w kierunku działania siły (występuje ten sam kierunek lub składowa siły ma ten sam kierunek). Praca wykonana przez stałą siłę działającą na ciało jest iloczynem składowej siły, drogi/przemieszczenia i cosinusa kąta pomiędzy nimi [8]:

$$Praca = F \Delta d \cos \phi$$

$$F = \text{Siła}$$

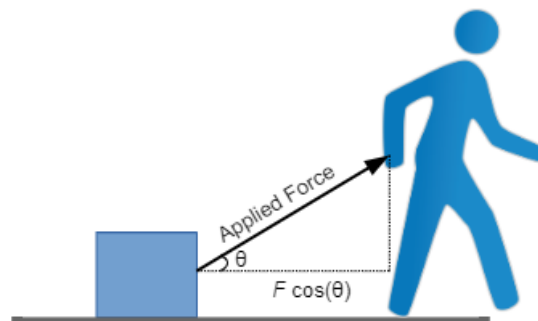
$$\Delta d = \text{przemieszczenie}$$

$\cos \phi$  = cosinus kąta utworzonego przez siłę i kierunek *przemieszczenia*.

W międzynarodowym układzie (SI) jednostką pracy jest *Dżul = Niuton \* m*.

Praca jest wielkością skalarną.

Przykład (Rysunek 3): Osoba używa liny, aby ciągnąć za skrzynię. W tym przypadku składowa pozioma jest jedyną składową przyłożonej siły, która wykonuje pracę, ponieważ skrzynia jest przemieszczana w poziomie [9].



Rysunek 3: Przykład pracy wykonanej przez siłę.  
Źródło: [9]

W ramach szkolenia teoretycznego zalecane jest obejrzenie filmu na temat związku między energią a pracą. Dostęp do przykładowych filmów można uzyskać pod następującymi linkami:  
<https://www.khanacademy.org/science/physics/work-and-energy/work-and-energy-tutorial/v/work-and-the-work-energy-principle?modal=1>

<https://www.khanacademy.org/science/physics/work-and-energy/work-and-energy-tutorial/v/work-as-the-transfer-of-energy?modal=1>

*Materiał, do którego prowadzi hiperłącze, jest publiczny i dostępny do przeglądania online. Został on wybrany ze względu na jego adekwatność do przedmiotu omawianego w tej jednostce dydaktycznej, po przeprowadzeniu wyszukiwania przy użyciu pojęcia „Mechanika klasyczna” w sieci Internet. W ten sposób można znaleźć również inne interesujące filmy o charakterze dydaktycznym.*

### 3.5 Moc

**Moc** jest definiowana jako szybkość wykonywania pracy lub szybkość zużywania energii. [10]:

$$Moc = \frac{Praca}{czas} = \frac{Siła * odległość *}{czas} = Siła * prędkość$$

W międzynarodowym układzie (SI) jednostką mocy jest *Wat*

Moc jest wielkością skalarną.

\* W tym przypadku siła i przemieszczenie/odległość są rozpatrywane jako równoległe, zatem we wzorze nie uwzględnia się cosinusa, ponieważ  $\cos(0) = 1$ .

W ramach szkolenia teoretycznego zalecane jest obejrzenie filmu na temat mocy. Dostęp do przykładowych filmów można uzyskać pod następującym linkiem:  
<https://www.khanacademy.org/science/physics/work-and-energy/work-and-energy-tutorial/v/power?modal=1>

*Materiał, do którego prowadzi hiperłącze, jest publiczny i dostępny do przeglądania online. Został on wybrany ze względu na jego adekwatność do przedmiotu omawianego w tej jednostce dydaktycznej, po przeprowadzeniu wyszukiwania przy użyciu pojęcia „Mechanika klasyczna” w sieci Internet. W ten sposób można znaleźć również inne interesujące filmy o charakterze dydaktycznym.*

### 3.6 Moment siły

**Moment siły** definiuje się jako pomiar ruchu obrotowego wywołanego przez siłę zdolną do powodowania ruchu obrotowego wokół osi [11]:

$$\text{Moment siły}(\tau) = F * r * \sin\theta$$

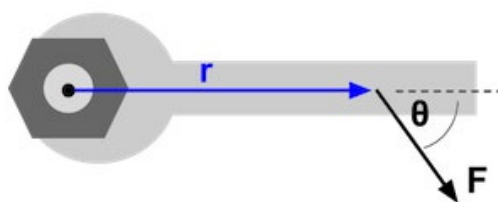
$F$  = Siła

$r$  = odległość od osi obrotu do miejsca, gdzie wywierana jest siła

$\sin\theta$  = sinus kąta utworzonego przez siłę i promień/odległość.

W międzynarodowym układzie (SI) jednostką momentu siły jest *Niuton \* metr*.

Moment siły jest wielkością wektorową.



Rysunek 4: Przykład przyłożenia momentu obrotowego.  
Źródło: [11]

## 4. Środek ciężkości i środek nacisku [12]

---

W badaniach określających postawę i ruch człowieka bardzo ważne są te dwie zmienne: środek ciężkości ciała (CG) i środek nacisku (CP) sił reakcji podłoża.

### Środek ciężkości (CG):

CG jest punktem, w którym jest skoncentrowana całkowita masa ciała bez zmiany właściwości bezwładności translacyjnej ciała. Położenie CG charakteryzuje pozycję całego ciała i podlega kontroli postawy ciała. Kwantyfikacja ruchu CG pozwala na ocenę porównawczą sprawności ruchu.

### Środek nacisku (CP):

CP jest rzutem na płaszczyznę podłoża centroidu (środek obszaru) w pionowym rozkładzie sił. Położenie CP można uzyskać bezpośrednio z danych wykresu sił podczas utrzymywania określonej postawy ciała lub podczas chodu. Określenie położenia środka ciężkości całego ciała wymaga znajomości danych dotyczących położenia i masy poszczególnych segmentów ciała.

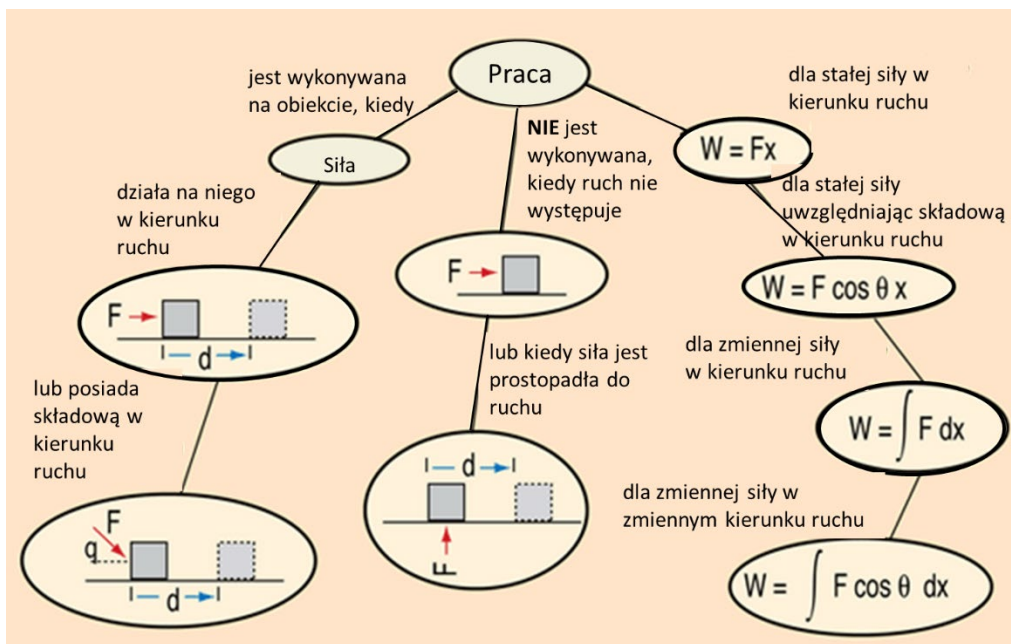
W podstawowym ujęciu można przyjąć, że rzut pionowy CG na podłogę pokrywa się z CP. W praktyce założenie to jest prawdziwe tylko wtedy, gdy ciało jest statyczne (tzn. żaden segment ciała nie porusza się), a ponieważ ciało kołysze się nawet podczas stabilnej pozycji stojącej, założenie to co do zasady jest błędne.

## 5. Kluczowe zagadnienia

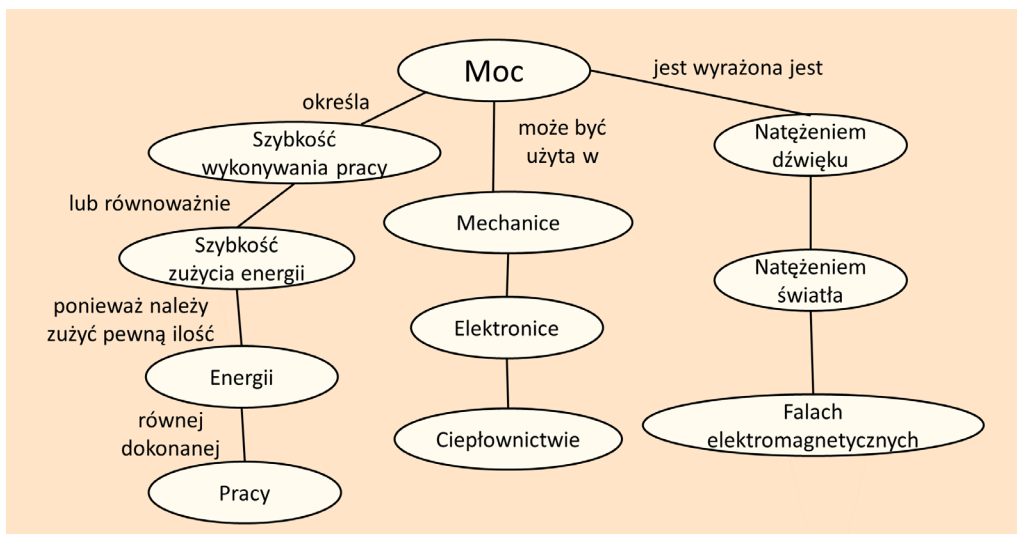
Przestuduj poniższe schematy, aby zweryfikować swoją wiedzę o kinetyce.



Rysunek 5: Schemat dotyczący energii  
Źródło: [13]



Rysunek 6: Schemat dotyczący pracy  
Źródło: [14]



Rysunek 7: Schemat dotyczący mocy  
Źródło: [15]

## 6. Bibliografia

---

[1] Máster de Biomecánica clínica. Título propio de la Universidad Politécnica de Valencia. Impartido y desarrollado por el Instituto de Biomecánica de Valencia (IBV).

[2] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Newt.html#ntcon>

[3] D.Knudson, fundamentals of Biomechanics. Cambrigde, 2007

[4] <https://www.khanacademy.org/science/physics/work-and-energy/work-and-energy-tutorial/a/what-is-work?modal=14>

[5] [https://ocw.mit.edu/courses/physics/8-01sc-classical-mechanics-fall-2016/readings/MIT8\\_01F16\\_chapter13.1.pdf](https://ocw.mit.edu/courses/physics/8-01sc-classical-mechanics-fall-2016/readings/MIT8_01F16_chapter13.1.pdf)

[6] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/ke.html#ke>

[7] <https://www.khanacademy.org/science/physics/work-and-energy/work-and-energy-tutorial/a/what-is-conservation-of-energy>

[8] [https://ocw.mit.edu/courses/physics/8-01sc-classical-mechanics-fall-2016/readings/MIT8\\_01F16\\_chapter13.4\\_13.5.pdf](https://ocw.mit.edu/courses/physics/8-01sc-classical-mechanics-fall-2016/readings/MIT8_01F16_chapter13.4_13.5.pdf)

[9] <https://www.khanacademy.org/science/physics/work-and-energy/work-and-energy-tutorial/a/what-is-work?modal=1>

[10] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/pow.html#pw>

[11] <https://www.khanacademy.org/science/ap-physics-1/ap-torque-angular-momentum/torque-and-equilibrium-ap/a/torque-and-equilibrium?modal=1>

[12] B.J. Benda, P. O. Riley D.E. Krebs. Biomechanical relationship between center of gravity and center of pressure during standing. April 1994. IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering 2(1):3 – 10. DOI: 10.1109/86.296348. Source IEEE Xplore.

[13] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/enecon.html>

[14] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/wcon.html>

[15] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/pow.html#pwc>



Wsparcie Komisji Europejskiej dla produkcji tej publikacji nie stanowi poparcia dla treści, które odzwierciedlają jedynie poglądy autorów, a Komisja nie może zostać pociągnięta do odpowiedzialności za jakiegokolwiek wykorzystanie informacji w niej zawartych.