



Jak działa wielokrążek?

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Grafika interaktywna \(schemat\)](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Czy to nie ciekawe?

Żagle na wielkich żaglowcach mogą mieć kilkadziesiąt metrów kwadratowych powierzchni. Wiatr uderzając z dużą prędkością w płótno żagla, powoduje powstanie bardzo dużych sił – żagle utrzymywane są przez układ lin. Ale jak to możliwe, że żeglarz dysponując relatywnie niewielką siłą rąk, może napinać i luzować żagle, przeciwdziałając tak olbrzymim siłom? Tajemnica tkwi w wykorzystaniu wielokrążków!



Rys. a. Fragment olinowania żaglowca z widocznymi wielokrążkami

Twoje cele

W tym materiale:

- poznasz zasady działania wielokrążków,
- odkryjesz, gdzie wykorzystuje się wielokrążki,
- wykorzystasz zdobytą wiedzę do rozwiązywania zadań i problemów, gdzie stosowane są wielokrążki.

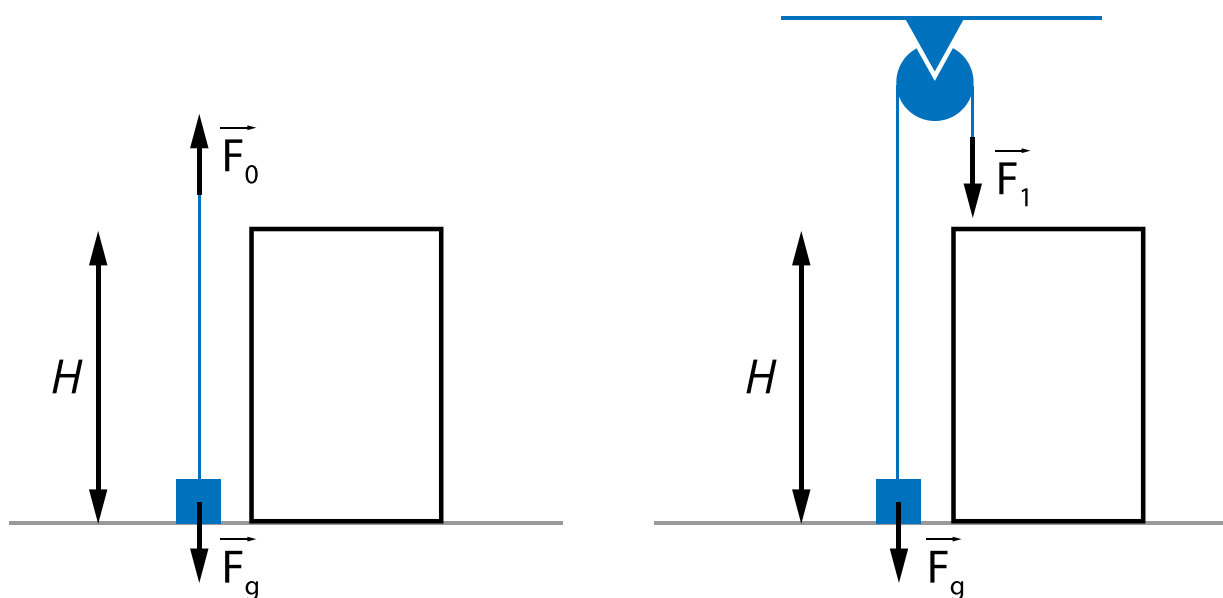
Przeczytaj

Warto przeczytać

Przyjrzyjmy się prostej sytuacji, którą możemy spotkać na budowie, czy wnosząc meble do mieszkania. Na ziemi spoczywa masa m , a my chcemy wciągnąć ją na wysokość H . Musimy zatem wykonać pracę: $W = \vec{F}_g \cdot \vec{H} = F_g \cdot H \cdot \cos 0^\circ = F_g H = mgH$.

Jaką siłę musimy przyłożyć do liny doczepionej do ciężaru, aby unieść go do góry?

W najprostszej sytuacji, przedstawionej na Rys. 1. po prostu siłę $\vec{F}_0$ o wartości równej sile grawitacji, skierowaną pionowo do góry. To nie jest łatwe, gdy ciężar jest znaczny! Zdecydowanie łatwiej jest ciągnąć linę w dół niż do góry. Do tego możemy jeszcze wykorzystać ciężar swojego ciała... I tu przychodzi z pomocą bleczek. W prawej części Rys. 1. widzimy właśnie sztywno zamocowany bleczek – czyli element, na którym można umieścić linę (ciągnąć), a który może obracać się dookoła własnej osi. Przerzucenie liny przez taki sztywno zawieszony bleczek sprawia, że możemy do uniesienia ciężaru użyć siły o tej samej wartości, ale skierowanej w dół. Jeśli pociągniemy za koniec liny, przykładając siłę $\vec{F}_1$, lina się napręży, przez co do ciężaru na dole również zostanie przyłożona siła $\vec{F}_1$. Aby podnieść ciężar $\vec{F}_g$ musimy przyłożyć siłę $\vec{F}_1 = \vec{F}_g$ – wektory $\vec{F}_0 = -\vec{F}_1$ w obu przypadkach mają tę samą wartość, ale są przeciwnie skierowane. Zamiast ciągnąć do góry, ciągniemy linę w dół.



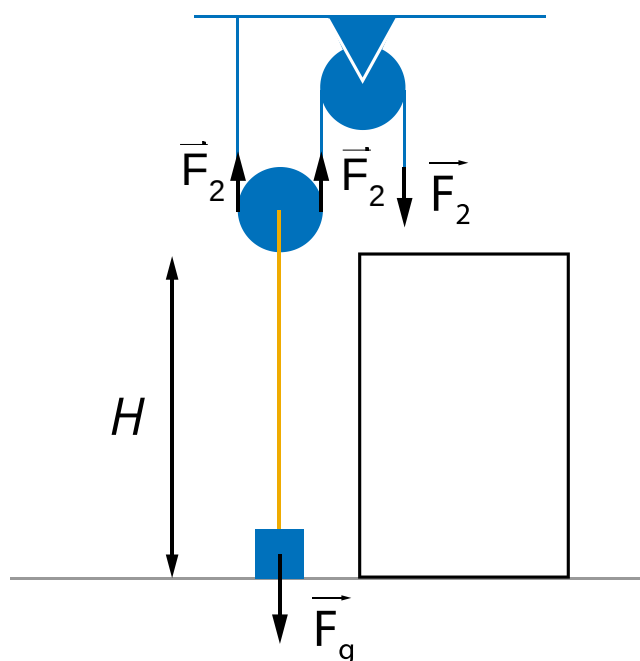
Rys. 1. Podnoszenie ciężaru na linie - po prawej : z pojedynczym bleckiem

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

To w wielu sytuacjach znaczne ułatwienie. Jeśli jednak ciężar do podniesienia jest duży, to nadal możemy sobie nie poradzić. Z pomocą przyjdzie nam układ dwóch bloczków – przyjrzyjmy się Rys. 2. Przedstawiony jest na nim układ dwóch bloczków: jeden jest nieruchomy (**krążek stały**), a drugi zawieszony na linie – ten jest ruchomy (**krążek przesuwany**). Tym razem koniec liny zamocowany jest do nieruchomego punktu, a ciężar połączony jest z ruchomym bloczkiem. Drugi bloczek pozostaje umocowany nieruchomo.

Siła grawitacji $\vec{F}_g$ ciężaru równoważona jest przez dwie równe siły naprężenia lin, przyłożone z dwóch stron ruchomego bloczku, co widać na Rys. 2. Wartość każdej z nich równa się połowie ciężaru. Jaką siłę należy przyłożyć do wolnego końca liny, aby

zrównoważyć ten układ? Widzimy, że będzie to siła $\vec{F}_2 = \frac{\vec{F}_g}{2}$. Lina napręży się, a ruchomy bloczek uniesie się do góry. Ciężar się uniesie tak, jak w poprzednim przykładzie – ale teraz przyłożyliśmy o połowę mniejszą siłę!

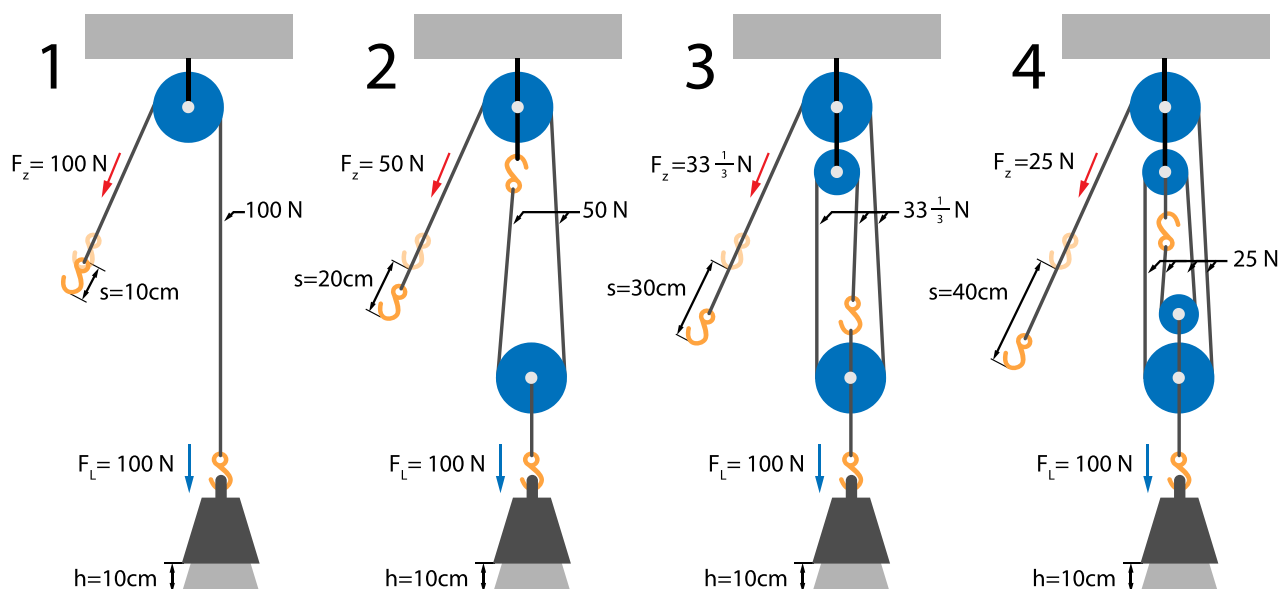


Rys. 2. Układ dwóch bloczków

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Tym razem wystarczyło przyłożyć dwa razy mniejszą siłę $\vec{F}_2$, ale jaką długość liny musieliśmy wyciągnąć, aby unieść ciężar o H ? Musieliśmy wyciągnąć dwa razy więcej liny – wyciągnięcie jednego metra liny powoduje podniesienie ciężaru o pół metra. Praca, jaką wykonaliśmy, pozostaje ta sama $W = F_g H = F_2 \frac{H}{2}$.

Omawiany układ składał się z dwóch bloczków, ale w ogólności może ich być n . Wtedy będziemy mówić o wielokrążku, w żeglarskim nazywanym talią. Analizę rozkładu sił przy montowaniu kolejnych ruchomych bloczków prezentuje Rys. 4.



Rys. 3. Schemat budowy wielokrążków o liczbie bloczków od 1 do 4.

Źródło: dostępny w internecie: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Four_pulleys.svg [dostęp 1.04.2022], licencja: CC BY 2.5.

Jak widać, za każdym razem praca, którą wykonujemy, jest taka sama – przykładamy o połowę mniejszą siłę na dwa razy dłuższej drodze, trzy razy mniejszą siłę na trzy razy dłuższej drodze lub cztery razy mniejszą siłę na cztery razy dłuższej drodze. Ogólnie mówiąc: przy układzie n bloczków przyłożona siła jest n razy mniejsza od ciężaru podnoszonego obiektu, ale musimy wybrać n razy dłuższy odcinek liny.

Oczywiście jest to pewne wyidealizowane przybliżenie – w rzeczywistych układach, szczególnie przy dużych wartościach n musimy brać pod uwagę zarówno opory tarcia liny o bloczki, jak i bezwładność samych bloczków. Jednakże sprawność powszechnie stosowanych bloczków przekracza wartość 0,97 czyli jedynie 3% energii jest rozpraszane, reszta jest wykorzystywana do wykonania użytecznej pracy. Na Rys. 4a. – 4d. przedstawiono rzeczywiste przykłady wykorzystania wielokrążków – w budownictwie, w żeglarskim i w alpinizmie.

Poniżej przykłady rzeczywistych realizacji wielokrążka.



Rys. 4a.

Źródło: dostępny w internecie: <https://ricardo-gomez-angel-ujh3cf97-2u-unsplash.jpg/> [dostęp 13.04.2020], domena publiczna.



Rys. 4b.

Źródło: dostępny w internecie: <https://unsplash.com/photos/m2rByHgDY6Q> [dostęp 2.04.2022], domena publiczna.



Rys. 4c.

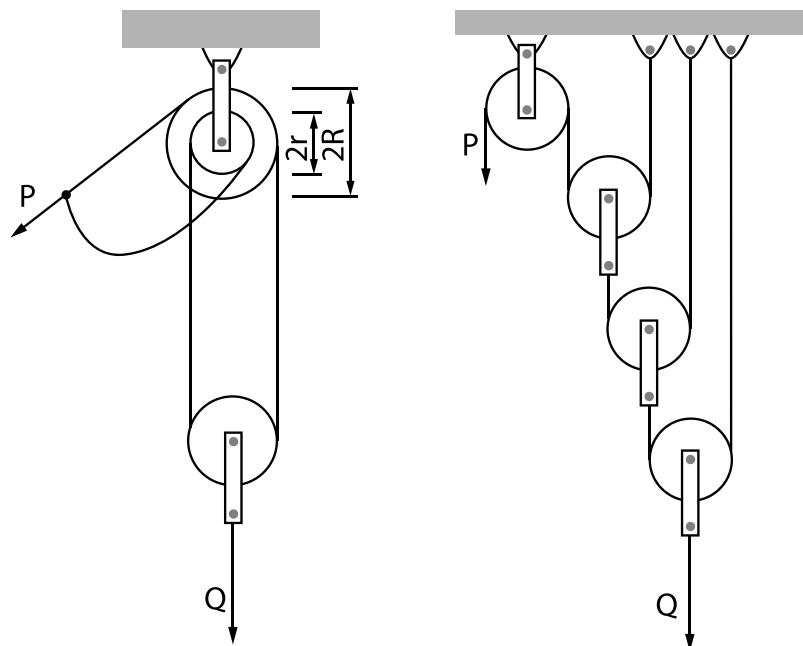
Źródło: dostępny w internecie: <https://unsplash.com/photos/Hfbm2m2zs5A> [dostęp 2.04.2022], domena publiczna.



Rys. 4d.

Źródło: dostępny w internecie: <https://unsplash.com/photos/npQEWNeTgel> [dostęp 2.04.2022], domena publiczna.

Na koniec warto wspomnieć, że przedstawiona powyżej konstrukcja wielokrążka nie jest jedyną z możliwych – nazywa się ją wielokrążkiem zwykłym. Na Rys. 5. zaprezentowano schemat budowy wielokrążka różnicowego oraz potęgowego.



Rys. 5. Wielokrążek różnicowy (po lewej) i potęgowy (po prawej)

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

W poniższej tabeli zestawiono wzory pozwalające obliczyć wartość siły P niezbędnej do uniesienia ciężaru Q przy zastosowaniu każdego z omówionych układów, przy n krążkach swobodnych:

Wielokrążek zwykły (koniec liny umocowany do bloczka nieruchomego)	Wielokrążek zwykły (koniec liny umocowany do bloczka ruchomego)	Wielokrążek różnicowy	Wielokrążek potęgowy
$P = \frac{Q}{n}$	$P = \frac{Q}{(2n+1)}$	$P = \frac{(R-r)Q}{2R}$	$P = \frac{Q}{2^n}$

gdzie: P – siła poruszająca, Q – siła użyteczna, n – liczba krążków przesuwnych.

Słowniczek

Krążek stały

(ang.: *crown block*) – krążek (bloczek), który jest umocowany, nieruchomy,

Krążek przesuwany

(ang.: *travelling block*) – krążek (bloczek), który może zmieniać swoje położenie,

Cięgno

(ang.: *flexible connector*) – zwykle wiotki element, który przenosi siły rozciągające.

Grafika interaktywna (schemat)

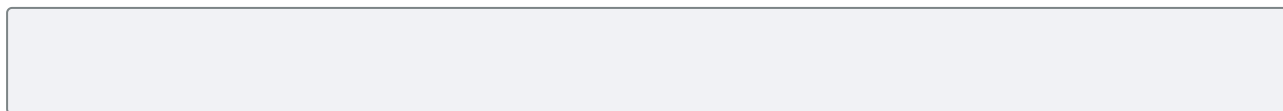
Jak działa wielokrążek?

Grafika pozwala wybrać maksymalne obciążenie liny oraz jej długość. Następnie dobiera się liczbę n bloczków w wielokrążku. Po wybraniu liczby pojawia się schemat danego układu i graficzne przedstawienie wartości przyłożonej siły oraz długości liny, jaka jest potrzebna do podniesienia ciężaru na zadaną wysokość. Zaleca się korzystanie w trybie pełnoekranowym.

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Polecenie 1

Narysuj analogiczny do zamieszczonych w powyższej grafice schemat dla $n=5$ bloczków.



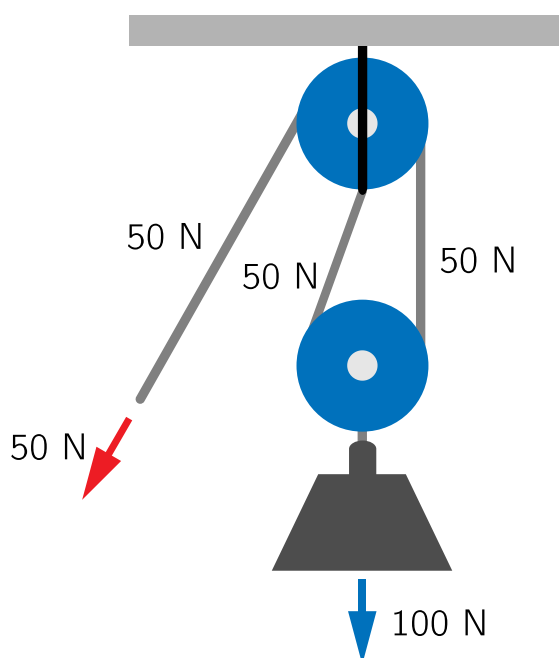
Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Jak nazywa się maszyna prosta zaprezentowana na poniższym rysunku?



Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, [na podstawie:

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/62/Polispasto2.jpg>], licencja: CC BY 4.0.



bloczek



wyciągarka liniowa



wielokrążek



układ dźwigni kołowych

Ćwiczenie 2



W wielokrażku użyto jednego bloczka ruchomego i dwóch bloczków nieruchomych. Jaką siłę należy przyłożyć do końca liny, aby unieść ciężar F_0 ?

☐ $\frac{F_0}{4}$

☐ $\frac{F_0}{3}$

☐ F_0

☐ $\frac{F_0}{2}$

Ćwiczenie 3



Chcemy podnieść przedmiot o ciężarze $F_g=100$ N na wysokość $h=2$ m. Ile metrów liny musimy wybrać z układu wielokrażka, jeśli chcemy przyłożyć do liny siłę $F_0=25$ N?

☐ 4 m

☐ 8 m

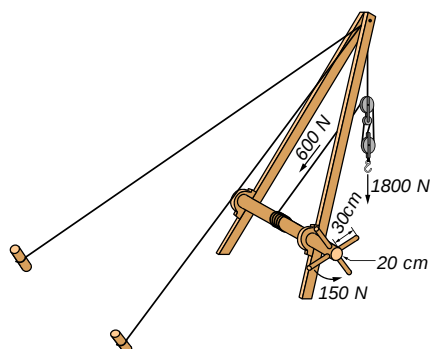
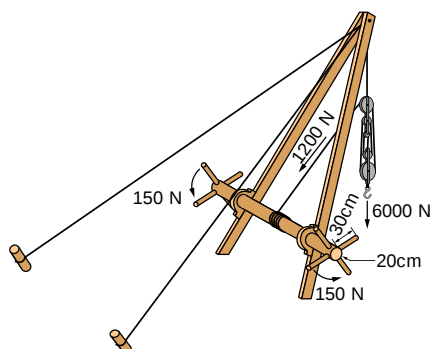
☐ 1 m

☐ 0,5 m

Ćwiczenie 4



Przyjrzyj się poniższemu rysunkom. Ilustrują one schematycznie konstrukcję starożytnego rzymsko-greckiego urządzenia do podnoszenia ciężarów. Jeden z nich nosi nazwę *pentaspastos*, a drugi *trispastos*. Przyjrzyj się konstrukcji tych urządzeń lub wartościom liczbowym i odpowiedz na pytanie – który z tych dźwigów to *trispastos*?



Źródło: dostępny w internecie: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Pentaspastos_scheme.svg [dostęp 1.04.2022],
https://en.wikipedia.org/wiki/File:Trispastos_scheme.svg [dostęp 1.04.2022], licencja: CC BY-SA 4.0.

Ćwiczenie 5



Przy jakiej liczbie bloczków n siła, którą musimy działać na końcu liny, aby unieść ciężar Q będzie taka sama, jeśli użyjemy wielokrażka zwykłego i potęgowego?

Odpowiedź:

Ćwiczenie 6



Wyobraźmy sobie, że skonstruowano wielokrażek składający się z bardzo dużej liczby bloczków – założmy wręcz, że n dąży do nieskończoności. Oznacza to, że aby unieść ciężar Q przymocowany do końca liny, należy do drugiego jej końca przyłożyć siłę $F = \frac{Q}{n}$. Przy olbrzymich wartościach n będzie to bardzo mała siła – na przykład tak mała, że ciężar końca liny będzie większy od tej wartości. Czy w tej sytuacji praca potrzebna do uniesienia ciężaru wykona się samoczynnie, poprzez ciężar końcówki liny?

Ćwiczenie 7



Do wielokrążka potęgowego przymocowano ciężar $Q=100\text{N}$. Jaką siłę należy przyłożyć do końca liny, aby unieść ten ciężar, jeśli w układzie zamontowano trzy krążki?

Odpowiedź: N

Ćwiczenie 8



W układzie składającym się z krążka nieruchomego i ruchomego, na którym zawieszony jest przedmiot, jego ciężar jest rozłożony na dwie liny. Z tego względu siła, jaką należy przyłożyć, jest dwukrotnie mniejsza. Co powinien zrobić konstruktor wspomnianego układu, żeby można było jeszcze łatwiej i lżej podnosić zadany ciężar?

Dla nauczyciela

Konspekt (scenariusz) lekcji

Imię i nazwisko autora:	Dariusz Aksamit
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Jak działa wielokrążek?
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa:	Cele kształcenia – wymagania ogólne II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. III. Planowanie i przeprowadzanie obserwacji lub doświadczeń oraz wnioskowanie na podstawie ich wyników. Zakres rozszerzony Treści nauczania – wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 10) przeprowadza wybrane obserwacje, pomiary i doświadczenia korzystając z ich opisów; planuje i modyfikuje ich przebieg; formułuje hipotezę i prezentuje kroki niezbędne do jej weryfikacji; 19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu. III. Mechaniki bryły sztywnej. Uczeń: 3) stosuje warunki statyki bryły sztywnej; posługuje się pojęciem momentu sił wraz z jednostką.
Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.: • kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji, • kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii, • kompetencje cyfrowe, • kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

Cele operacyjne:	Uczeń: 1. poznaje zasady działania wielokrążka, 2. odkrywa, gdzie wykorzystuje się wielokrążki, 3. wykorzystuje zdobytą wiedzę do rozwiązywania zadań i problemów, gdzie stosowane są wielokrążki.
Strategie i metody nauczania:	eksperymentalno-obszewacyjna
Formy zajęć:	- dyskusja grupowa, - praca indywidualna.
Środki dydaktyczne:	komputer z dostępem do Internetu i projektorem multimedialnym, statyw, bloczki, sznurek, ciężarki, siłomierz, linijka
Materiały pomocnicze:	brak
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Nauczyciel pyta uczniów, czy spotkali się już z wielokrążkami, a jeśli tak, to gdzie były wykorzystywane. Nauczyciel zapisuje odpowiedzi uczniów lub przy ich braku sam je podpowiada (przykładowe: żeglarstwo, budowa, wspinaczka) wraz z informacją, w jakim celu te układy były stosowane (zmiana kierunku i wartości siły przyłożonej w celu uniesienia ciężaru). Nauczyciel prosi dwóch ochotników o pomoc w przeprowadzeniu demonstracji.	
Faza realizacyjna:	
Uczniowie z pomocą nauczyciela montują na statywie jeden bloczek i sznurek, jeden koniec sznurka przywiązując do ciężarka o znanej masie, a drugi do siłomierza. Jeden z uczniów ciągnie za siłomierz, podnosząc ciężar i odczytuje wartość przyłożonej siły. Drugi z uczniów mierzy linijką wysokość, na jaką podniesiony został ciężarek oraz długość sznurka wyciągniętego przez pierwszego ucznia. Nauczyciel notuje te wartości na tablicy i poleca przepisać pozostałym uczniom do zeszytu. Nauczyciel dziękuje parze ochotników i zaprasza kolejną parę, która montuje analogiczny układ, ale z dwoma bloczkami. Procedura jest powtarzana (pomiar siły i pomiar długości) w miarę możliwości czasowych dla trzech i czterech bloczków. Nauczyciel prosi uczniów o obliczenie w każdym przypadku jaki był stosunek przyłożonej siły do ciężaru i wysokości, na jaką wzniósł się ciężar do długości wybranego sznurka. Nauczyciel generalizuje problem, zapisując na tablicy równanie dla wielokrążka zwykłego i prosi o sprawdzenie czy wzór ten zgadza się z obliczeniami. Ewentualne różnice wyjaśnia nieidealnością krążków.	
Faza podsumowująca:	

Nauczyciel na podsumowanie prezentuje grafikę interaktywną, pokazując jak liczba krążków wpływa na wartości sił – komentując, że za każdym razem wykonywana jest taka sama praca, jeśli ten sam ciężar został podniesiony na tę samą wysokość.

Praca domowa:

Nauczyciel zadaje obowiązkowo zadania 1-4 z zestawu ćwiczeń oraz zadanie 5 i 6 dla chętnych.

**Wskazówki
metodyczne opisujące
różne zastosowania
danego multimedium:**

Lekcję można również rozpocząć od przedstawienia grafiki i następnie weryfikować eksperymentalnie przedstawione tam treści.