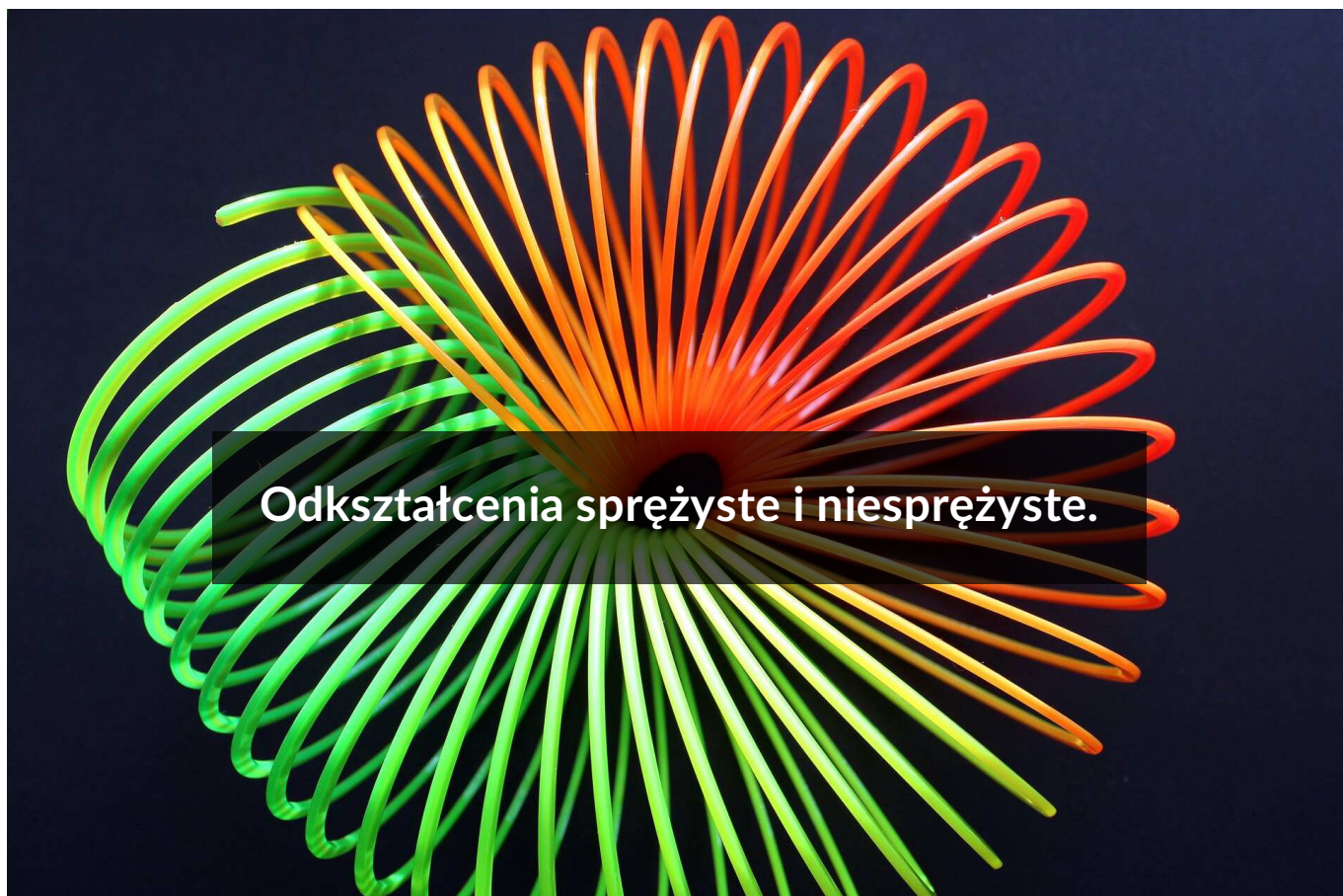


Odkształcenia sprężyste i niesprężyste.

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Animacja](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)

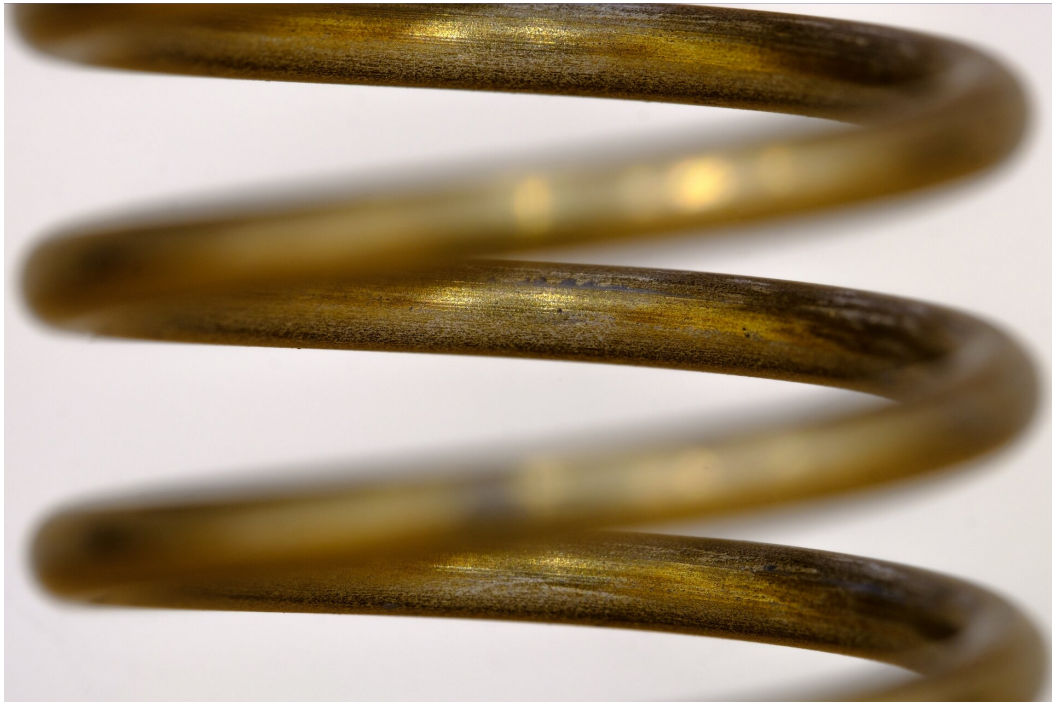


## Odkształcenia sprężyste i niesprężyste.

Źródło: dostępny w internecie: <https://pixabay.com/pl/photos/spirala-spr%C4%99%C5%BCyna-zabawka-kolorowe-3132317/> [dostęp 23.05.2022], domena publiczna. <https://pixabay.com/pl/service/license/>.

## Czy to nie ciekawe ?

Pod wpływem sił zewnętrznych ciała zmieniają swoje kształty. Zmiana ta może przebiegać na różne sposoby, w zależności od materiału, z którego wykonano ciało i wielkości siły odkształcającej. W pewnym zakresie obciążeń ciała odkształcają się w taki sposób, że po usunięciu obciążenia wracają do pierwotnego kształtu. Natomiast po przekroczeniu charakterystycznego dla danego ciała obciążenia, niektóre ciała zaczynają odkształcać się trwale, a niektóre pękają.



Rys. a. Pod wpływem sił zewnętrznych sprężyny zmieniają swój kształt.

Źródło: dostępny w internecie: <https://pixabay.com/pl/photos/wiosna-ukrad%C5%82em-%C5%BCelazo-metal-3726706/> [dostęp 23.05.2022], domena publiczna. <https://pixabay.com/pl/service/license/>.

### Twoje cele

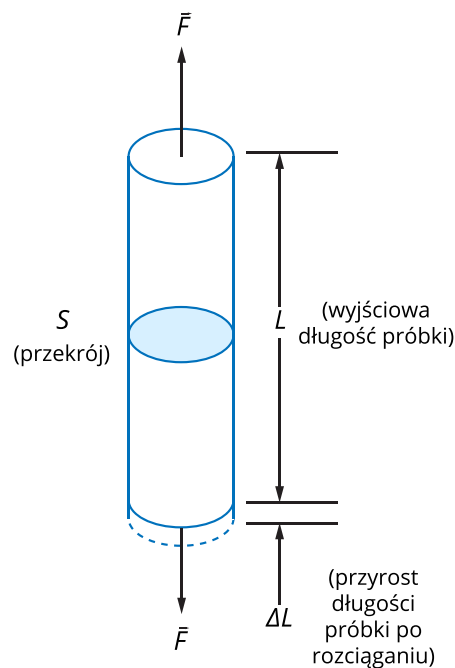
- dowiesz się, na czym polegają odkształcenia sprężyste i niesprężyste,
- poznasz podział sposobów odkształcania się ciał,
- zrozumiesz, co dzieje się w materiale poddanym odkształceniom,
- zastosujesz zdobytą wiedzę przy rozwiązywaniu problemów,
- przeanalizujesz i zinterpretujesz animację ilustrującą odkształcenie metalowego pręta.

# Przeczytaj

---

## Warto przeczytać

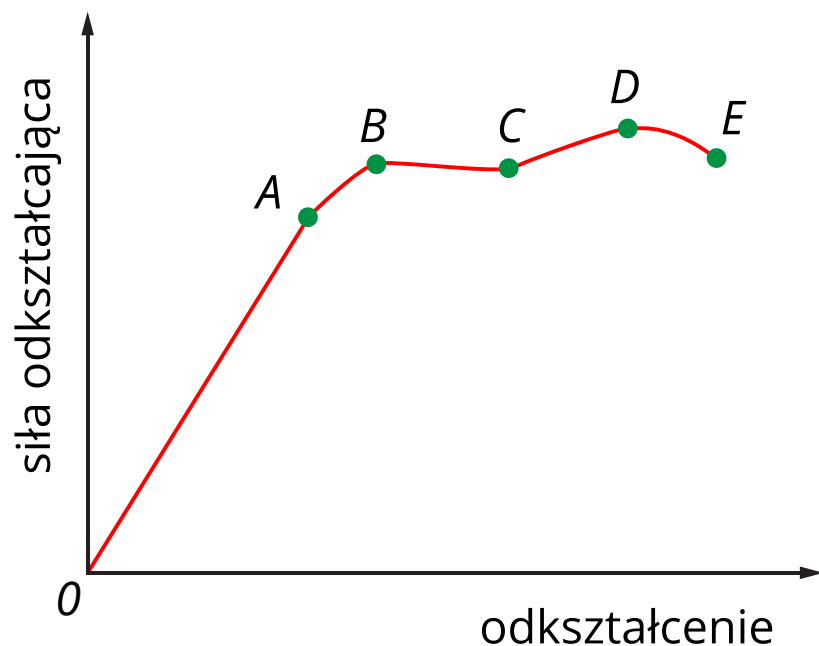
Na skutek przyłożenia sił zewnętrznych ciała ulegają różnego typu odkształceniom. W zależności od sposobu przyłożenia tych sił, odkształcenie może mieć różnego rodzaju postać - na przykład rozciąganie, ściskanie, zginanie lub skręcanie. Najprostszym i najczęściej opisywanym sposobem odkształcania ciała jest rozciąganie (Rys. 1.). Rozciąganie również pojawia się w pewnych obszarach ciała poddanego innemu typu odkształceniom.



Rys. 1. Próbka w kształcie walca poddana rozciąganiu.  $L$ -długość wyjściowa próbki,  $\Delta L$ -wydłużenie pod wpływem siły  $F$ ,  $S$ -pole przekroju poprzecznego.

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

Przebieg odkształcenia zależy od materiału, z którego jest wykonana próbka. Na Rys. 2. przedstawiona jest typowa zależność między odkształceniem a siłą odkształcającą dla rozciągania próbki wykonanej z metalu.



Rys. 2. Typowa zależność pomiędzy odkształceniem i siłą odkształcającą przy rozciąganiu próbki.

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

W zakresie od 0 do A ciało spełnia prawo Hooke'a - odkształcenie jest wprost proporcjonalne do wartości siły odkształcającej. Pomiedzy punktami A i B ciało odkształca się sprężysto, ale odkształcenie nie jest już wprost proporcjonalne do siły odkształcającej. Punkt B określa tzw. granicę plastyczności, czyli maksymalne obciążenie, przy którym ciało wraca do swej pierwotnej postaci po ustąpieniu obciążenia. Pomiedzy punktami B i C następuje „płynięcie” plastyczne materiału i wydłużenie wzrasta nawet pomimo braku wzrostu obciążenia. Po przekroczeniu granicy plastyczności, gdy zdejmemy obciążenie, ciało nie wróci do pierwotnego kształtu - odkształca się trwale. Największe obciążenie, które ciało może wytrzymać przed zerwaniem, nazywa się granicą wytrzymałości - punkt D. Punkt E odpowiada największemu wydłużeniu, przy którym ciało jest rozerwane.

**Odkształceniem sprężystym** nazywa się odkształcenie ciała ustępujące po usunięciu siły, która je spowodowała. Na Rys. 2. odkształcenie sprężyste zachodzi między punktami 0-B. W trakcie odkształcenia sprężystego, atomy odkształcanego ciała przemieszczają się na odległości nie większe, niż odległości między atomami w sieci krystalicznej. Można powiedzieć, że w czasie odkształcenia plastycznego następuje rozciąganie wiązań między atomami. Dzięki temu nie zmienia się istotnie ułożenie atomów względem siebie i po ustaniu siły odkształcającej atomy powracają łatwo do wyjściowego ułożenia. Do pewnej wartości siły, w zakresie odkształcenia sprężystego, odkształcenie jest wprost proporcjonalne do przyłożonej siły - materiał spełnia **prawo Hooke'a** (między punktami 0-A na Rys. 2.).

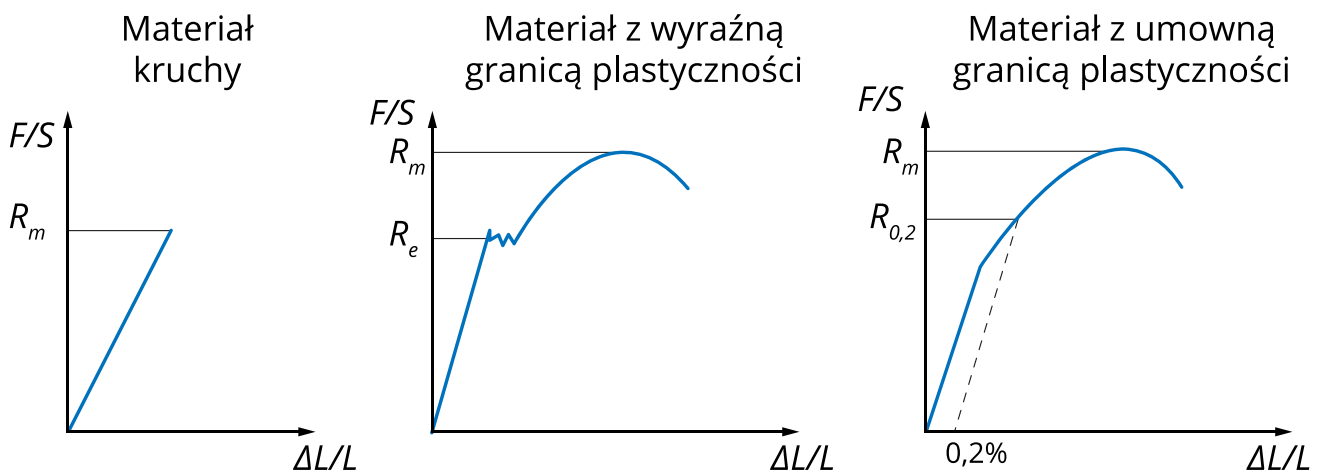
Prawo to dla rozciągania próbki wyraża wzór:

$$\frac{F}{S} = E \cdot \frac{\Delta L}{L}$$

Wielkość E nazywa się **modułem Younga** i charakteryzuje ona sprężystość materiału.

Odształcenia sprężyste nie występują w ciałach doskonale plastycznych, których przybliżeniem jest glina czy też plastelina.

Po przekroczeniu granicy plastyczności – punkt B na Rys. 2. – ciało zaczyna odkształcać się trwale. Na Rys. 2. narysowany jest wykres dla ciała odkształcającego się plastycznie z wyraźną granicą plastyczności. Nie wszystkie materiały odkształcają się w ten sam sposób. Na Rys. 3. zestawione są podstawowe sposoby odkształcania się materiałów poddanych wydłużaniu.



Rys. 3. Podstawowe sposoby odkształcania się ciał poddanych wydłużaniu.

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

Na osi pionowej (Rys. 3.) znajduje się stosunek wartości siły do pola przekroju poprzecznego próbki. Wielkość tę nazywa się **naprężeniem**. Na osi poziomej – wydłużenie względne, czyli stosunek wydłużenia do długości wyjściowej.

Wielkość  $R_m$  nazywa się **wytrzymałością materiału na rozerwanie** – jest to maksymalna wartość naprężenia, które ciało jest w stanie wytrzymać przed rozerwaniem się.  $R_e$  – jest to naprężenie określające wyraźną granicę plastyczności.  $R_{0,2}$  – naprężenie określające umowną granicę plastyczności, przy którym względne odkształcenie trwałe wynosi 0,2% .

Materiały kruche praktycznie nie wykazują plastyczności – po przekroczeniu określonej wartości naprężenia pękają. Takimi materiałami są tworzywa ceramiczne, kreda lub beton.

Materiałami, które odkształcają się plastycznie są metale i większość tworzyw sztucznych. Wyraźną granicę plastyczności wykazują na przykład stale z niską zawartością węgla. Granicę umowną wyznacza się na przykład dla stali wysokowęglowych.

Podczas odkształcenia plastycznego atomy lub cząsteczki ciała przemieszczają się względem siebie na stałe – nie wracają do wyjściowych położeń po zdjęciu siły odkształcającej. Odkształcenie plastyczne w metalach zachodzi dzięki zdolności grup cząsteczek do przemieszczania się względem innych grup w objętości ciała bez zrywania wiązań międzycząsteczkowych. Ruch ten ułatwiają defekty struktury krystalicznej. W tworzywach sztucznych odkształcenie plastyczne może zachodzić także na skutek odkształcania się długich łańcuchów cząsteczek charakterystycznych dla tworzyw sztucznych i powolnego przesuwania się łańcuchów względem siebie – przy stałej sile odkształcenie rośnie z czasem.

## Słowniczek

### Moduł Younga

(*ang.: Young's modulus*) wielkość określająca sprężystość materiału przy rozciąganiu i ściskaniu. Wyraża ona, charakterystyczną dla danego materiału, zależność względnego odkształcenia liniowego materiału od naprężenia, jakie w nim występuje – w zakresie odkształceń sprężystych.

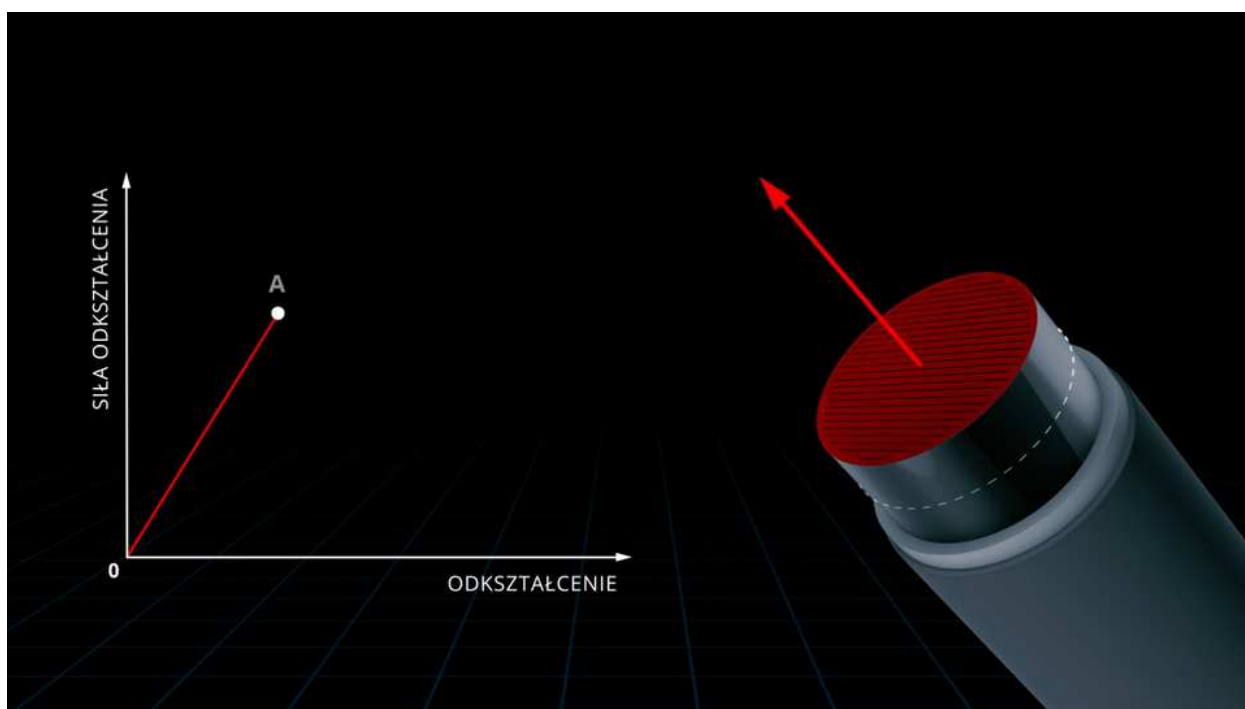
# Animacja

---

## Odształcenie sprężyste i niesprężyste

Zapoznaj się z animacją, która pokazuje związek między wydłużeniem próbki a siłą rozciągającą.

Trwa wczytywanie danych ..



Film dostępny pod adresem </preview/resource/RqNfINTVkpML7>

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

### Opis animacji

Na ekranie animacji widoczny jest czarny ekran. Po chwili pojawiają się na nim małe, białe sześciiany zbieżące ku środkowi ekranu. Na środku ekranu łączą się w jeden mały i biały sześciąt. Obok sześciąt, po prawej stronie pojawia się tytuł animacji:

Odształcenia sprężyste i niesprężyste. Po chwili obraz znika. Na ekranie pojawia się na czarnym tle szary metalowy pręt w postaci walca pochylony w lewo. Górna podstawa walca zamalowana jest na czerwono. Do górnej podstawy walca przyłożono prostopadły do niej wektor siły rozciągającej. Wektor siły widoczny jest w postaci wydłużającej się czerwonej strzałki skierowanej w górę i w lewo prostopadle do podstawy. Im większa jest wartość siły rozciągającej, a tym samym strzałka jest dłuższa, tym pręt bardziej się wydłuża w lewo i w górę. Animacja zostaje przesunięta do prawej strony ekranu. Po lewej stronie ekranu pojawia się prostokątny układ współrzędnych narysowany białymi strzałkami. Oś pionowa układu skierowana jest w górę i przedstawia siłę odkształcającą. Oś pozioma układu skierowana jest w prawo i przedstawia odkształcenie. W układzie widoczna jest funkcja narysowana czerwoną i ciągłą linią. Funkcja zaczyna się w początku układu współrzędnych opisanym cyfrą zero. Funkcja początkowo jest liniowo rosnąca do punktu opisanego wielką literą A. Jeśli do tego momentu siła przestanie działać to długość pręta zmniejszy się do wartości początkowej. Jest to odkształcenie sprężyste. Jeśli wartość siły jest większa niż do punktu wielka litera A, to pręt nadal rozciąga się sprężysto, co symbolizuje dalszy liniowy wzrost wartości funkcji do punktu opisanego wielką literą B, ale nachylenie funkcji jest mniejsze niż początkowo. Następnie pręt nie wydłuża się pomimo tego, że cały czas działa na niego taka sama siła. Na wykresie opisuje to funkcja liniowa, której wartość nieco maleje od punktu wielka litera B do punktu wielka litera C. Jeśli w tej sytuacji siła przestanie działać, to pręt nie wróci do swojej początkowej długości. Jeśli siła odkształcająca dalej rośnie, to długość pręta rośnie liniowo do punktu wielka litera D, a następnie pęka. Po pęknięciu długość pręta nieznacznie maleje, co symbolizuje spadek wartości funkcji do punktu wielka litera D. Po chwili obraz znika, a na ekranie animacji pojawia się białe tło. Na białym tle, na środku ekranu widoczny jest niebieski napis: Fizyka dziewięćset pięćdziesiąt kapsulek. W lewej i dolnej części ekranu widoczne jest logo Wydziału Fizyki Politechniki Warszawskiej. W środkowej i dolnej części ekranu widoczne jest logo Funduszy Europejskich Wiedza Edukacja Rozwój. Po prawej stronie na dole ekranu widoczna jest flaga Unii Europejskiej.

---

### **Polecenie 1**

Wyszukaj w Internecie informacje na temat tego, czym jest tensometr.

### **Polecenie 2**



# Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



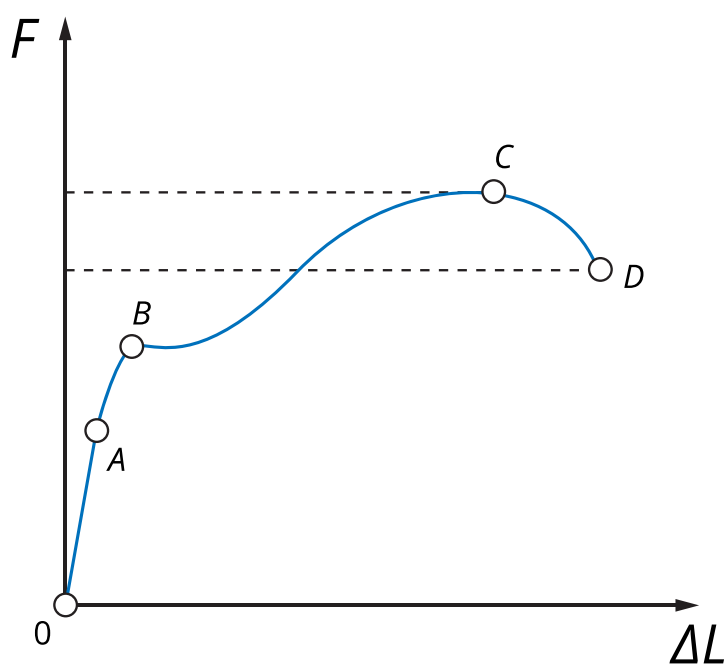
Ćwiczenie 4



Ćwiczenie 5



Na rysunku przedstawiono związek między wydłużeniem ciała i siłą wydłużającą:



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

Ćwiczenie 6



## Ćwiczenie 7



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

## Ćwiczenie 8



# Dla nauczyciela

---

## Scenariusz lekcji

<b>Imię i nazwisko autora:</b>	Jarosław Krakowski
<b>Przedmiot:</b>	fizyka
<b>Temat zajęć:</b>	<b>Odkształcanie ciał stałych</b>
<b>Grupa docelowa:</b>	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony

<p><b>Podstawa programowa:</b></p>	<p><b>Cele kształcenia – wymagania ogólne</b></p> <p>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.</p> <p>III. Planowanie i przeprowadzanie obserwacji lub doświadczeń oraz wnioskowanie na podstawie ich wyników.</p> <p><b>Zakres podstawowy</b></p> <p><b>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</b></p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach;</p> <p>10) przeprowadza wybrane obserwacje, pomiary i doświadczenia korzystając z ich opisów; wyróżnia kluczowe kroki i sposób postępowania oraz wskazuje rolę użytych przyrządów i uwzględnia ich rozdzielczość.</p> <p>IV. Drgania. Uczeń:</p> <p>1) opisuje proporcjonalność siły sprężystości do wydłużenia; posługuje się współczynnikiem sprężystości i jego jednostką.</p> <p><b>Zakres rozszerzony</b></p> <p><b>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</b></p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach;</p> <p>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.</p> <p>V. Drgania. Uczeń:</p> <p>1) opisuje proporcjonalność siły sprężystości do wydłużenia; posługuje się współczynnikiem sprężystości i jego jednostką.</p>
<p><b>Kształtowane kompetencje kluczowe:</b></p>	<p><b>Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji,</li> <li>• kompetencje cyfrowe,</li> <li>• kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii,</li> <li>• kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.</li> </ul>

<b>Cele operacyjne:</b>	<p>Uczeń:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. tłumaczy, na czym polegają odkształcenia sprężyste i niesprężyste,</li> <li>2. podaje przykłady i ich zastosowania materiałów wykazujących plastyczność,</li> <li>3. tłumaczy, co dzieje się w materiale poddanym odkształceniom,</li> <li>4. analizuje i interpretuje animację ilustrującą odkształcenie metalowego pręta.</li> </ol>
<b>Strategie nauczania:</b>	strategia eksperymentalno-obszernyjna – polega na dostrzeganiu i definiowaniu oraz odkrywaniu rzeczywistości poprzez eksperyment
<b>Metody nauczania:</b>	doświadczenie uczniowskie
<b>Formy zajęć:</b>	praca w grupach, praca zespołowa
<b>Środki dydaktyczne:</b>	zestawy ćwiczeń, animacja/model 3D, ilustracje sposobów odkształcania ciał stałych w zależności od sposobu przyłożenia sił zewnętrznych, wykresy ilustrujące rozciąganie różnych typów ciał, gumki spełniające prawo Hooke'a, zestawy ciężarków o masie 50g
<b>Materiały pomocnicze:</b>	rzutnik multimedialny, ekran
<b>PRZEBIEG LEKCJI</b>	
<b>Faza wprowadzająca:</b>	
<p>Nauczyciel zadaje pytanie uczniom:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Co może dziać się z ciałem pod wpływem sił zewnętrznych (nie mówimy o wpływie na ruch ciała)?</li> </ul> <p>Uczniowie formułują odpowiedź (z pomocą nauczyciela): ciało może odkształcać się na różne sposoby, w zależności od sposobu przyłożenia sił.</p> <p>Nauczyciel zadaje pytanie:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Jakie znacie sposoby odkształcania ciał stałych?</li> </ul> <p>Uczniowie formułują odpowiedź (z pomocą nauczyciela): ciała mogą odkształcać się sprężysto, plastycznie lub krucho, czyli pękać.</p>	
<b>Faza realizacyjna:</b>	

Nauczyciel wprowadza uczniów w cel eksperymentu, którego zadaniem jest modelowanie odkształcenia sprężystego ciał stałych.

Uczniowie w grupach wykonują doświadczenie, polegające na badaniu zależności wydłużenia gumki pod wpływem wzrastającego obciążenia - doczepiają do gumki kolejne ciężarki i mierzą jej rozciągnięcie.

Uczniowie sporządzają wykres zależności siły rozciągającej od wydłużenia gumki.

Uczniowie dostrzegają liniową zależność między siłą i wydłużeniem.

Uczniowie powtarzają eksperyment dla dwóch gumek połączonych „równolegle” i „szeregowo”

Uczniowie dostrzegają wpływ grubości i długości odkształcanej gumki na wydłużenie.

Uczniowie z pomocą nauczyciela formułują prawo Hooke'a.

Nauczyciel przedstawia wykresy ilustrujące różne sposoby odkształcania się ciał pod wpływem sił zewnętrznych i demonstruje przebieg odkształceń po przekroczeniu granicy plastyczności na przykładzie gumki.

Uczniowie analizują przedstawione wykresy i dostrzegają różnicę w zachowaniu się materiałów plastycznych i kruchych.

#### **Faza podsumowująca:**

Uczniowie, wykorzystując zdobytą wiedzę, rozwiązują zadania: 1, 2, 3 i 7 z zestawu ćwiczeń.

#### **Praca domowa:**

W ramach powtórzenia i utrwalenia wiadomości, uczniowie rozwiązują zadania: 4, 5, 6 i 8 z zestawu ćwiczeń.

**Wskazówki  
metodyczne  
opisujące różne  
zastosowania  
danego  
multimedium**

Multimedium może być wykorzystane przy realizacji innych tematów na temat odkształceń ciał i przy powtarzaniu wiadomości.