Wytrzymałość Materiałów I

Wprowadzenie

opracował:
dr hab. inż. Paweł JASION
e-mail: pawel.jasion@put.poznan.pl
www: pawel.jasion.pracownik.put.poznan.pl

Politechnika Poznańska
Instytut Mechaniki Stosowanej
Zakład Wytrzymałości Materiałów i Konstrukcji

Informacje organizacyjne

Konsultacje

- prowadzący: dr hab. inż. Paweł JASION
- termin:
  - poniedziałek, 11:30-12:15
  - czwartek, 09:30-10:15
- pokój: 404
- budynek: CMBiN

Materiały do zajęć – strona WWW

pawel.jasion.pracownik.put.poznan.pl

Układ zajęć

- Wykład (30 godzin)
  - prowadzący: dr hab. inż. Paweł JASION
  - forma zaliczenia: kolokwium (x2)
  - cel zajęć: przyswoić podstawowe informacje z zakresu wytrzymałości materiałów
- Ćwiczenia (15 godzin)
  - prowadzący: dr hab. inż. P. JASION; dr M. RODAK; mgr M. MANIAK
  - forma zaliczenia: do ustalenia z prowadzącym
  - cel zajęć: opanować podstawy obliczeń prostych elementów konstrukcyjnych

Literatura do zajęć

1. Dyląg Z., Jakubowicz A., Orłoś Z. *Wytrzymałość materiałów. Tom I*, WNT, Warszawa, 2013
   (dostępne na ibuk.pl:
   http://library.put.poznan.pl → E-zasoby → książki)
2. Brzoska Z. *Wytrzymałość materiałów*, PWN, Warszawa, 1983
3. Steif PS. *Mechanics of materials*, Pearson, Boston, 2012
4. Gere JM., Goodno BJ. *Mechanics of materials*, Cengage Learning, Australia, 2009
5. Ostwald M. *Podstawy wytrzymałości materiałów i konstrukcji*, WPP, Poznań, 2017

Plan prezentacji

1. Wiadomości wprowadzające
   - Co to jest i czym zajmuje się wytrzymałość materiałów?
   - Co mówi nam eksperyment?
   - Jak analizujemy deformację i zniszczenie?
   - Jakiej wiedzy potrzebujemy?

2. Założenia, modele, metody, definicje...
   - Założenia
   - Modele
   - Metoda przekrojów myślowych

Plan prezentacji

1. Wiadomości wprowadzające
   - Co to jest i czym zajmuje się wytrzymałość materiałów?
   - Co mówi nam eksperyment?
   - Jak analizujemy deformację i zniszczenie?
   - Jakiej wiedzy potrzebujemy?
2. Założenia, modele, metody, definicje...
   - Założenia
   - Modele
   - Metoda przekrojów myślowych

Tytuł przedmiotu

Tradycyjny tytuł przedmiotu:

- wytrzymałość materiałów,

co sugeruje:

- zajmowanie się zjawiskami niszczenia materiałów poddanych obciążeniom.

Tytuł oddający istotę przedmiotu:

- statyka odkształcalnych ciał sprężystych

Interesuje nas zatem:

badanie zachowania się konstrukcji poddanej obciążeniom; określanie jej wytrzymałości, czyli odporności na zniszczenie

Tytuł przedmiotu

Pochodzenie tytułu:

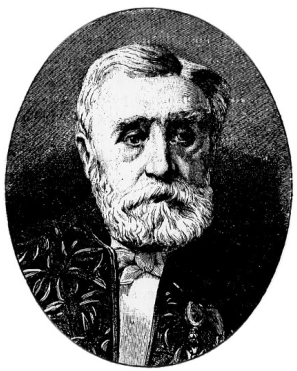
- z języka francuskiego (XIX wiek):
  résistance de matériaux

Tytuł w wersji angielskiej:

- *Strength of materials* lub *Mechanics of materials*



Siméon Poisson



Adhémar Jean Claude Barré
de Saint-Venant



Claude-Louis Navier

Historia przedmiotu

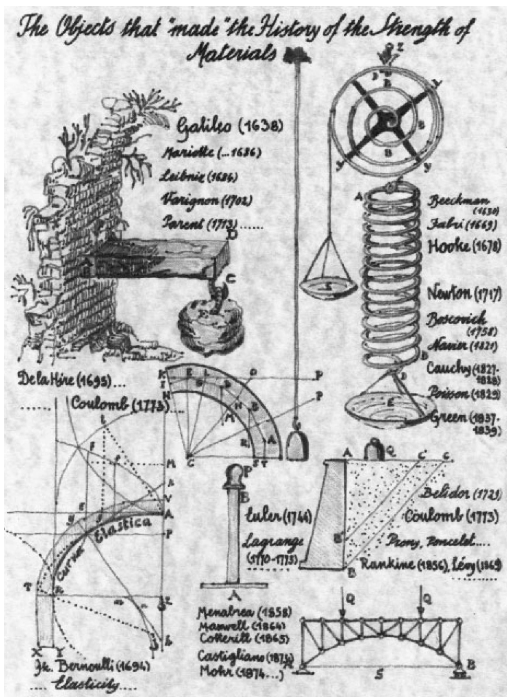
Więcej informacji o powstawaniu i rozwoju wytrzymałości materiałów można znaleźć w:



Timoshenko, S.P.
History of Strength of Materials
Dover Publications, Inc., New York, 1983



Kurrer, K.E.
The History of the Theory of Structures
Ernst & Sohn, Berlin, 2008



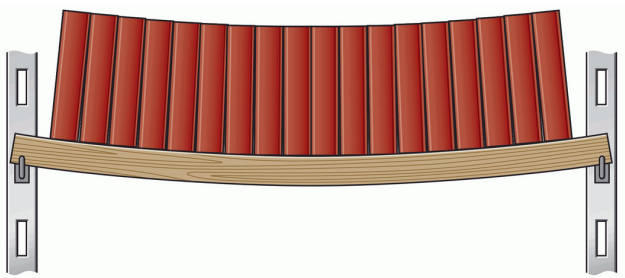
Podejście do analizy konstrukcji

- wytrzymałość materiałów kładzie nacisk na praktyczny aspekt analizy konstrukcji
  - wprowadza upraszczające założenia
  - stosuje metody przybliżone
- poprawność uproszczonego modelu weryfikuje się w laboratorium, lub, jeśli to możliwe, porównując go z modelem dokładnym (teoria sprężystości)
- nie stosuje złożonego aparatu matematycznego, ale kładzie nacisk na zrozumienie strony fizycznej zjawisk, ich prosty opis i otrzymanie prostych zależności ilościowych

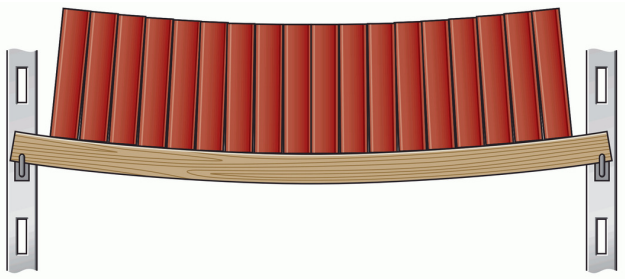
Do czego przydaje się wytrzymałość materiałów?

Problem

- Moja półka ugina się zbyt mocno.
- Co zrobić, żeby zmniejszyć ugięcie?
- Jeśli będę znał czynniki wpływające na ugięcie będę wiedział co mogę zrobić.



Do czego przydaje się wytrzymałość materiałów?



Rozwiązanie: model matematyczny

$$v = \frac{5qL^4}{384EI}$$

Do czego przydaje się wytrzymałość materiałów?

Wytrzymałość materiałów pozwala:

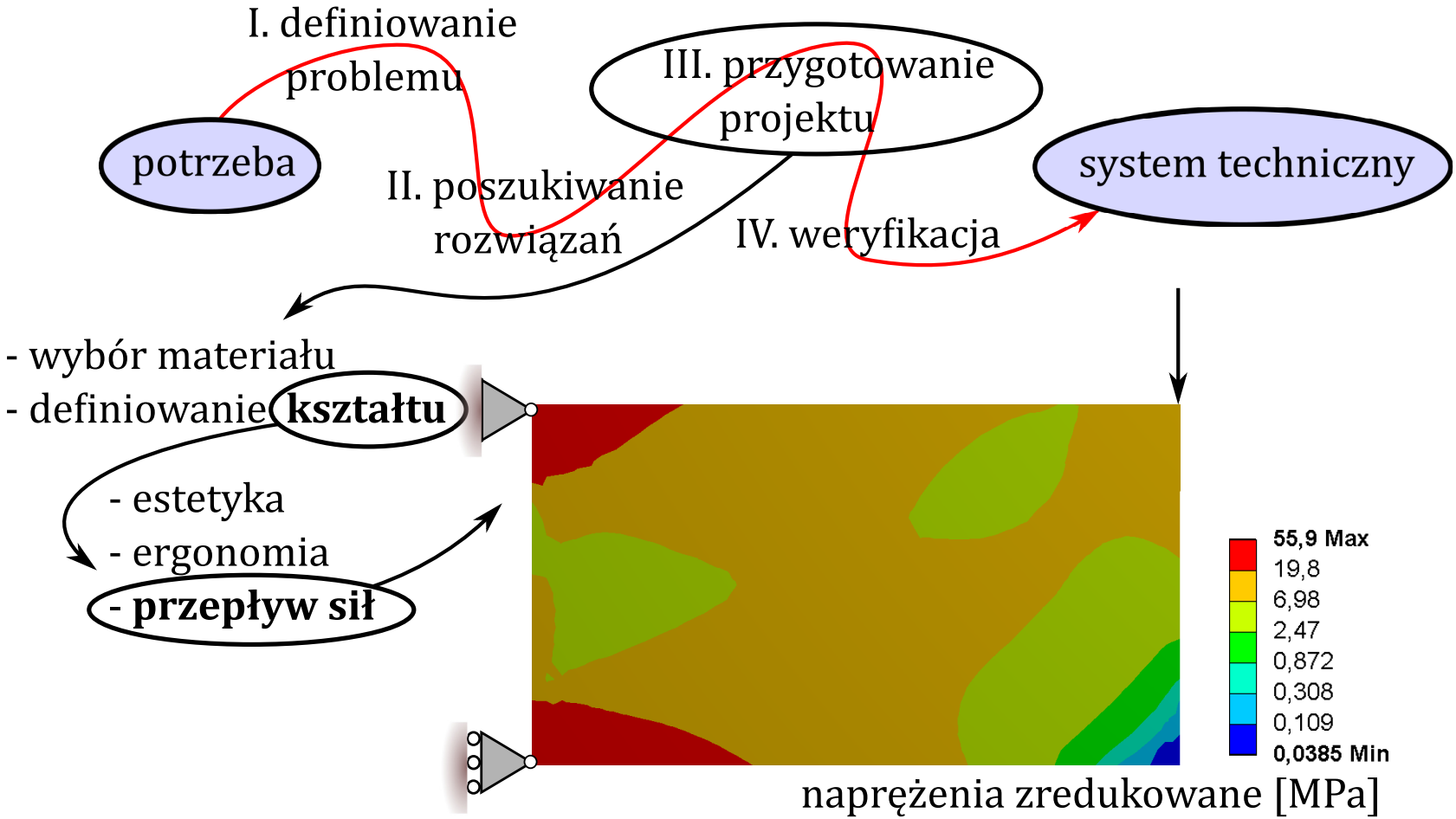
- projektować trwałe i efektywne konstrukcje w oparciu o modele matematyczne
- wyznaczać naprężenia i przemieszczenia w celu ulepszania istniejących konstrukcji
- rozumieć zachowanie się "konstrukcji" naturalnych







Wytrzymałość materiałów w procesie projektowym



Co to znaczy, że konstrukcja jest wytrzymała?

Konstrukcję uznajemy za wytrzymałą, jeżeli
w przewidzianym czasie eksploatacji:

- nie ulega zniszczeniu – konstrukcja nie traci spójności
- nie ulega nadmiernej deformacji lub zmianie wymiarów
- nie utraci stateczności





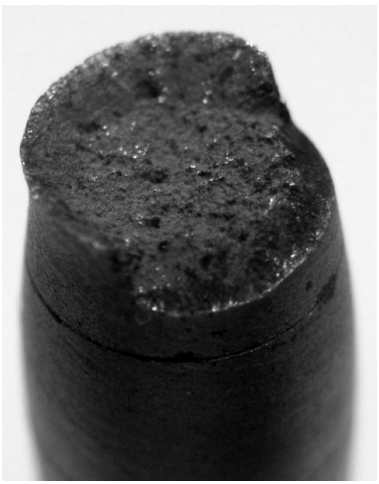


Co to znaczy, że konstrukcja jest wytrzymała?

Zniszczenie poprzez utratę spójności może nastąpić w wyniku:

- nagłego pęknięcia materiału kruchego
- długotrwałego pękania materiału (zmęczenie)
- nadmiernej deformacji plastycznej



Co to znaczy, że konstrukcja jest wytrzymała?

Zniszczenie poprzez nadmierną deformację może być skutkiem:

- zbyt dużego odkształcenia sprężystego
  - nadmiernie odkształcone elementy maszyn nie współpracują właściwie
- odkształcenia wywołanego pełzaniem
  - pełzanie – zwiększanie się odkształcenia w czasie przy stałym obciążeniu

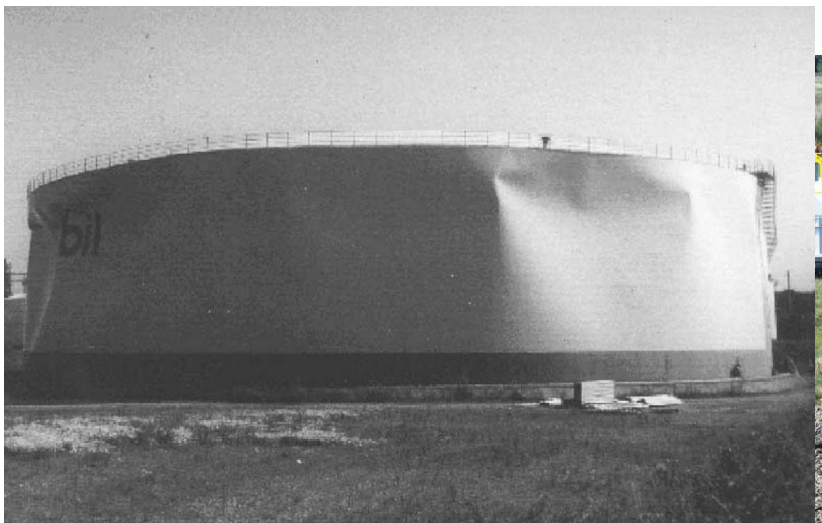


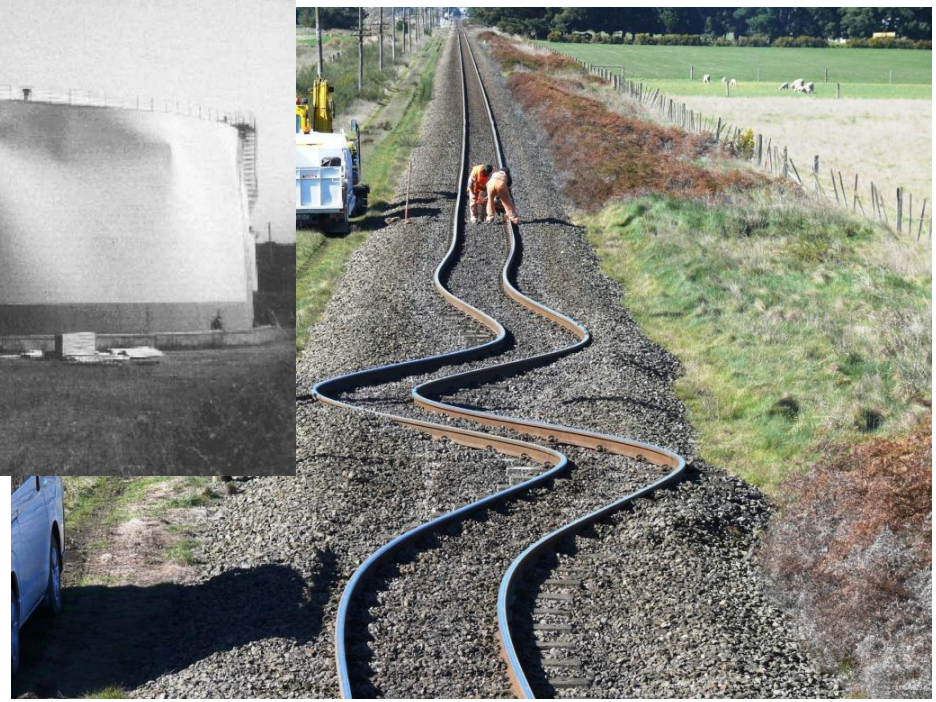


Co to znaczy, że konstrukcja jest wytrzymała?

Zniszczenie poprzez utratę stateczności:

- elementy cienkościenne lub smukłe poddane obciążeniom ściskającym mogą ulec wyboczeniu





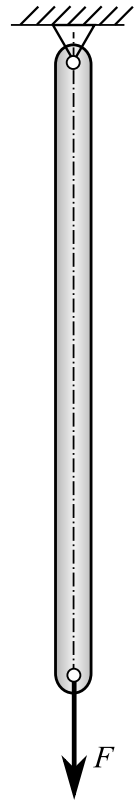
Plan prezentacji

1. Wiadomości wprowadzające
   - Co to jest i czym zajmuje się wytrzymałość materiałów?
   - Co mówi nam eksperyment?
   - Jak analizujemy deformację i zniszczenie?
   - Jakiej wiedzy potrzebujemy?
2. Założenia, modele, metody, definicje...
   - Założenia
   - Modele
   - Metoda przekrojów myślowych

Co mówi nam eksperyment?

Analizując pręt rozciągany, spróbujmy odpowiedzieć na pytania:

- Co dzieje się w materiale?
- Od czego zależy deformacja konstrukcji?
- Kiedy materiał utraci spójność?

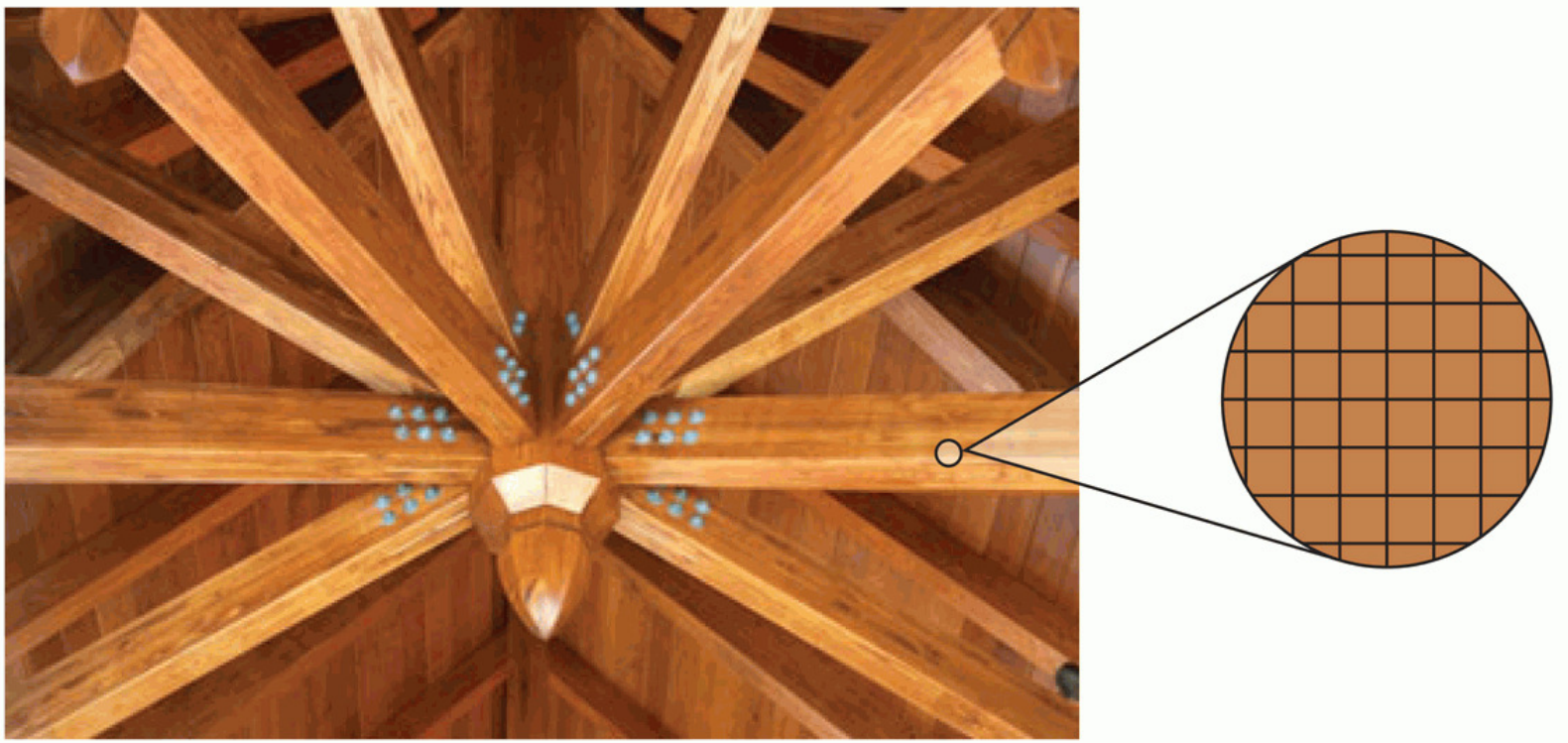


Plan prezentacji

1. Wiadomości wprowadzające
   - Co to jest i czym zajmuje się wytrzymałość materiałów?
   - Co mówi nam eksperyment?
   - Jak analizujemy deformację i zniszczenie?
   - Jakiej wiedzy potrzebujemy?
2. Założenia, modele, metody, definicje...
   - Założenia
   - Modele
   - Metoda przekrojów myślowych

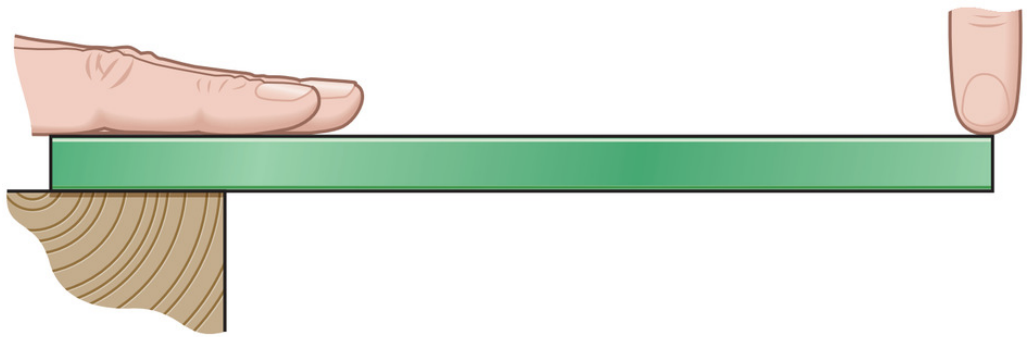
Podział na elementy

Podział konstrukcji na nieskończenie małe elementy pozwala uniezależnić jej zachowanie od kształtu i materiału.



Czego szukamy?

- równowagi między siłami zewnętrznymi i wewnętrznymi (naprężeniami)
- zależności geometrycznej między deformacją konstrukcji a odkształceniem elementu
- charakterystyki materiału – zależność naprężenia-odkształcenia



Plan prezentacji

1. Wiadomości wprowadzające
   - Co to jest i czym zajmuje się wytrzymałość materiałów?
   - Co mówi nam eksperyment?
   - Jak analizujemy deformację i zniszczenie?
   - Jakiej wiedzy potrzebujemy?
2. Założenia, modele, metody, definicje...
   - Założenia
   - Modele
   - Metoda przekrojów myślowych

Jakiej wiedzy potrzebujemy?

- wiedza teoretyczna
  - mechanika: równania równowagi

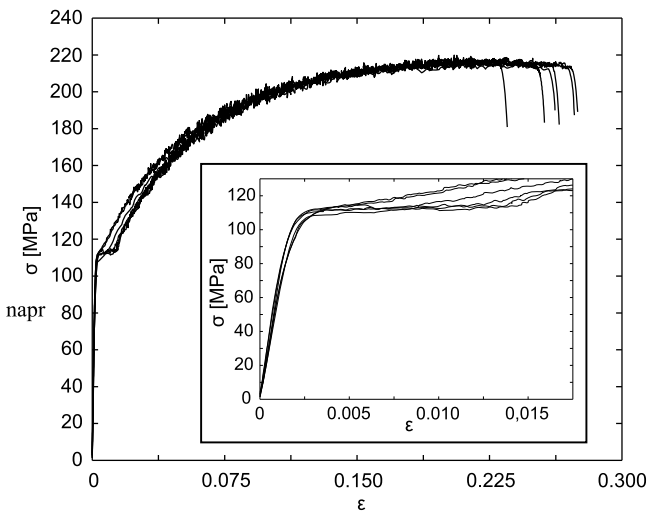
$$\sum F_x = 0; \quad \sum F_y = 0; \quad \sum M_0 = 0$$

  - matematyka: modelowanie zjawisk fizycznych

$$v(x) = v_a sin\frac{\pi x}{l}; \quad \theta = \frac{dv}{dx}$$

- wiedza praktyczna
  - właściwości mechaniczne materiału

$$\sigma = E\varepsilon$$



Plan prezentacji

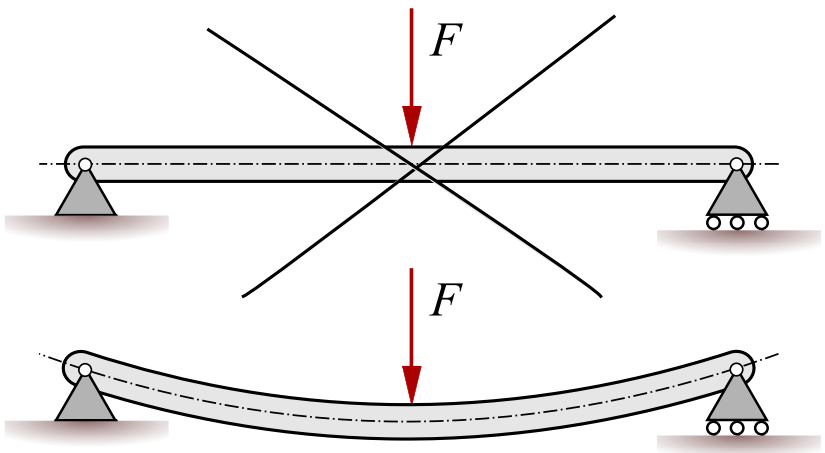
1 Wiadomości wprowadzające
- Co to jest i czym zajmuje się wytrzymałość materiałów?
- Co mówi nam eksperyment?
- Jak analizujemy deformację i zniszczenie?
- Jakiej wiedzy potrzebujemy?

2 Założenia, modele, metody, definicje...
- Założenia
- Modele
- Metoda przekrojów myślowych

Wytrzymałość materiałów a mechanika

W wytrzymałości materiałów, inaczej niż w mechanice:

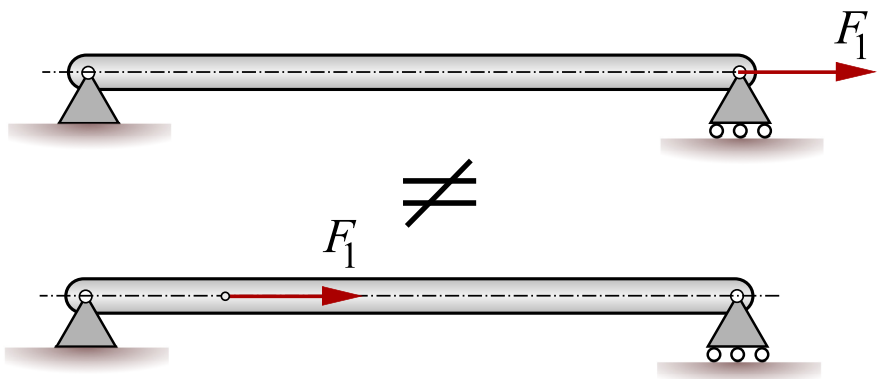
- rozpatrywane ciała są ciałami sprężystymi; zawsze ulegają deformacji



Wytrzymałość materiałów a mechanika

W wytrzymałości materiałów, inaczej niż w mechanice:

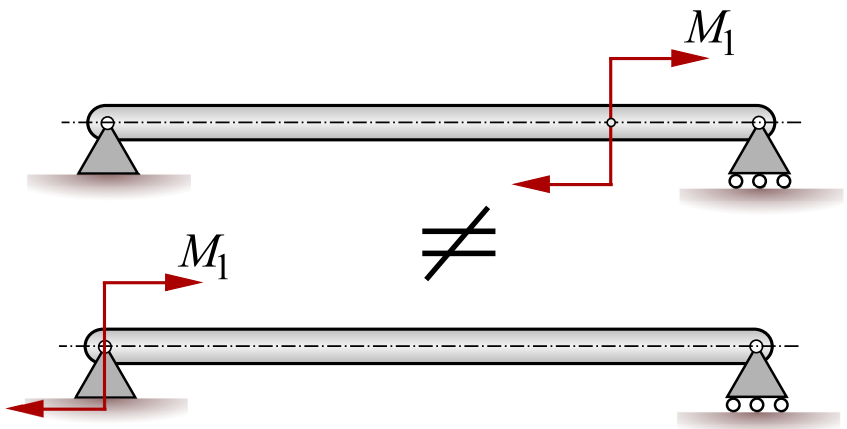
- siły działającej na ciało nie można przesuwać wzdłuż kierunku jej działania



Wytrzymałość materiałów a mechanika

W wytrzymałości materiałów, inaczej niż w mechanice:

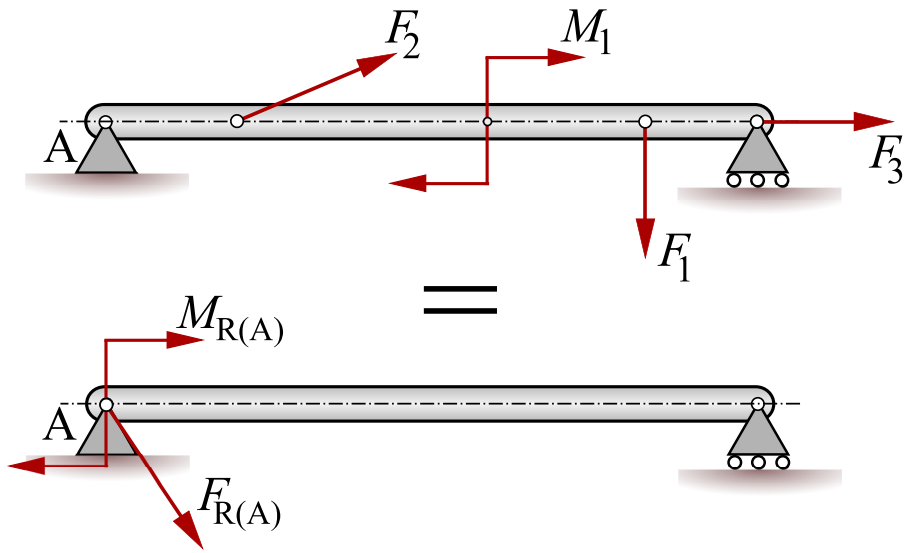
- pary sił nie można przenosić na płaszczyźnie jej działania



Wytrzymałość materiałów a mechanika

W wytrzymałości materiałów, inaczej niż w mechanice:

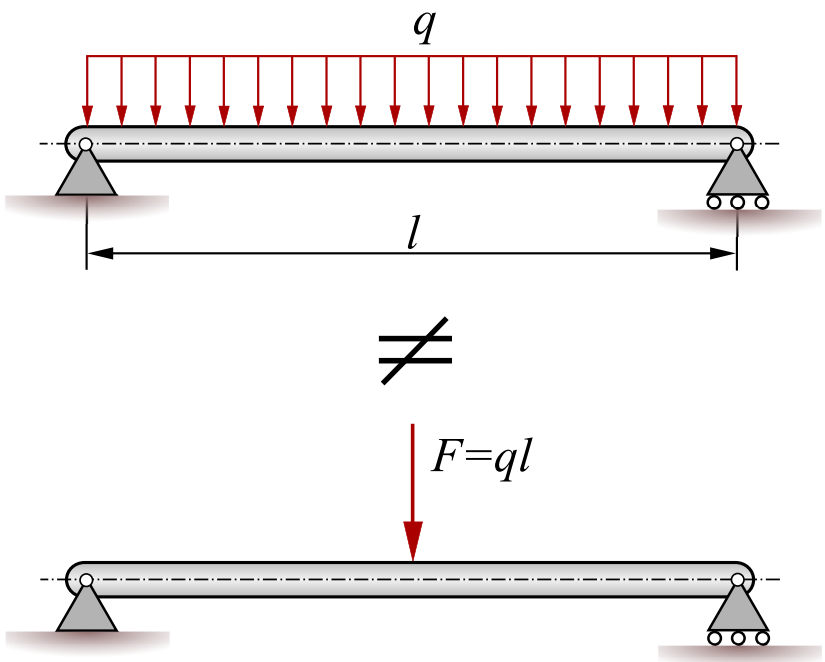
- dowolnego układu sił nie można zastąpić układem statycznie równoważnym



Wytrzymałość materiałów a mechanika

W wytrzymałości materiałów, inaczej niż w mechanice:

- obciążenia ciągłego nie można zredukować do siły skupionej



Plan prezentacji

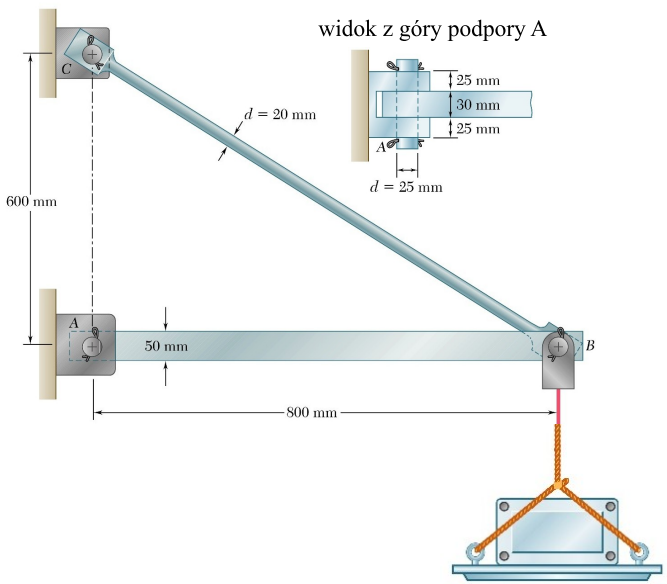
1. Wiadomości wprowadzające
   - Co to jest i czym zajmuje się wytrzymałość materiałów?
   - Co mówi nam eksperyment?
   - Jak analizujemy deformację i zniszczenie?
   - Jakiej wiedzy potrzebujemy?

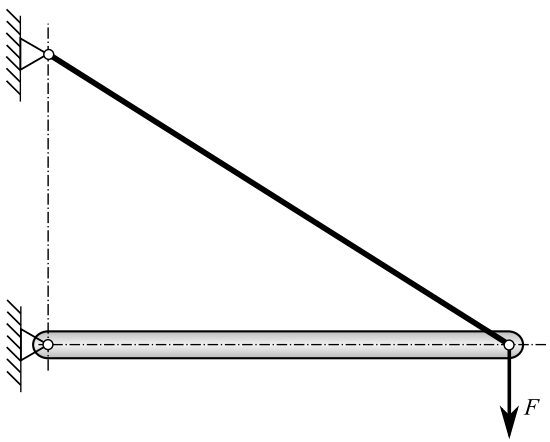
2. Założenia, modele, metody, definicje...
   - Założenia
   - Modele
   - Metoda przekrojów myślowych

Model konstrukcji

Model obliczeniowy

- dobrze oddaje charakter pracy konstrukcji i pomija czynniki nieistotne dla rozwiązania
- zawiera: elementy konstrukcji, sposoby łączenia tych elementów, podpory i obciążenia

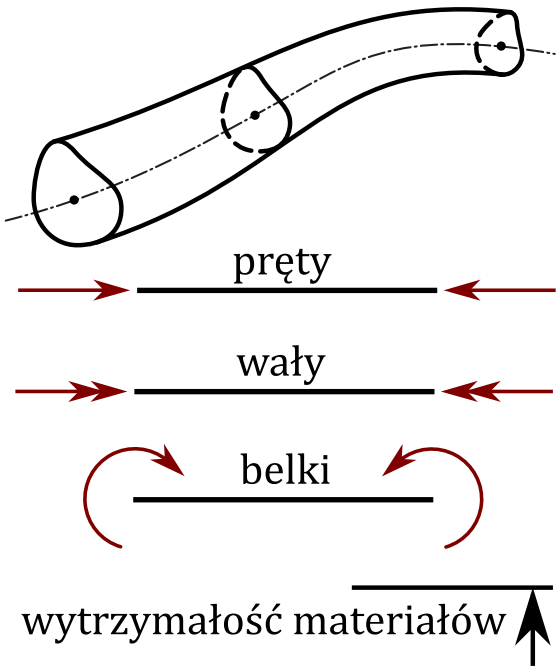


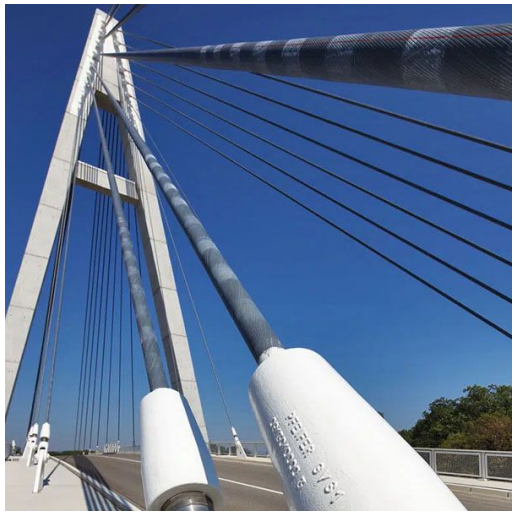


Model konstrukcji

Elementy konstrukcyjne

ELEMENTY LINIOWE
linia środkowa z przypisanym przekrojem poprzecznym

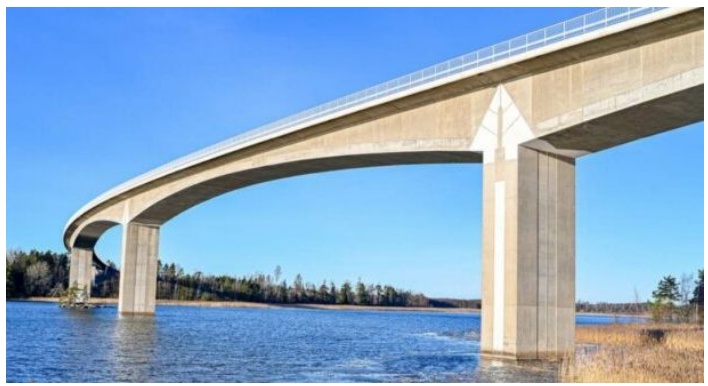




pręt - rozciąganie

wał - skręcanie



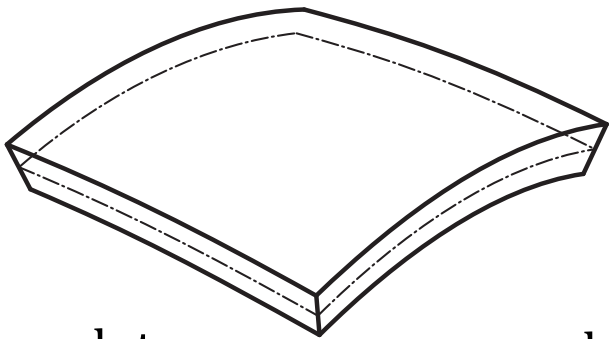


belka - zginanie

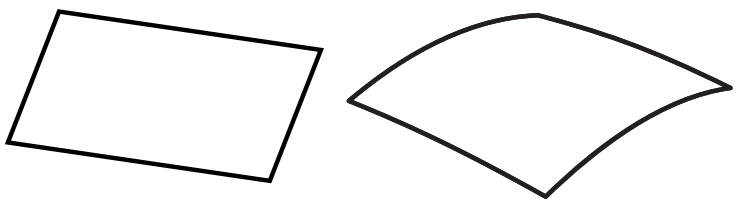
Model konstrukcji

Elementy konstrukcyjne

ELEMENTY POWIERZCHNIOWE
powierzchnia środkowa
z przypisaną grubością



płyty powłoki



teoria płyt i powłok

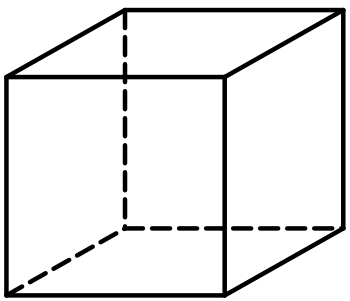




Model konstrukcji

Elementy konstrukcyjne

ELEMENTY BRYŁOWE
podobne wymiary
we wszystkich trzech kierunkach



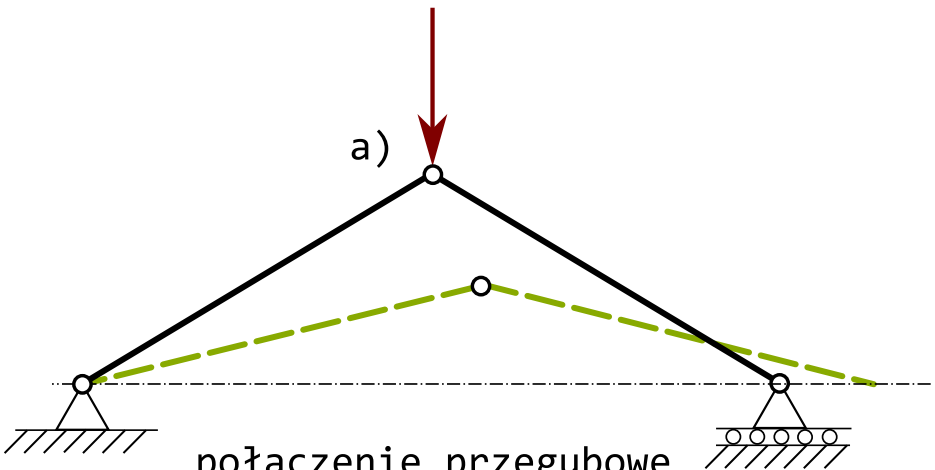
teoria sprężystości

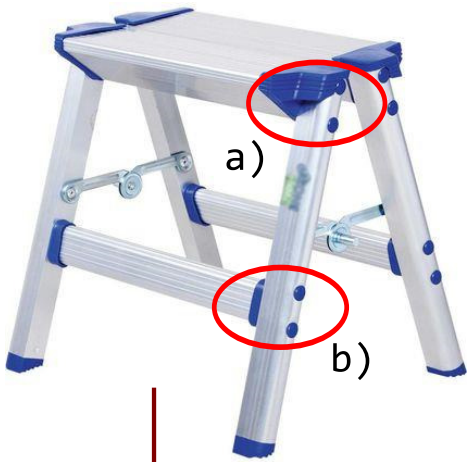


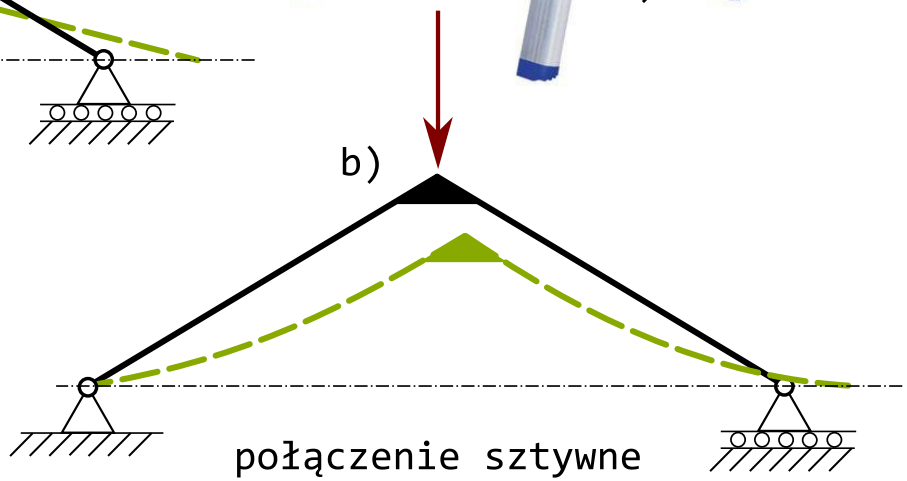


Model konstrukcji

Sposoby łączenia elementów konstrukcyjnych



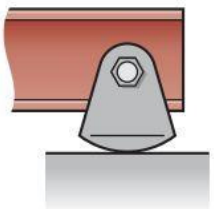


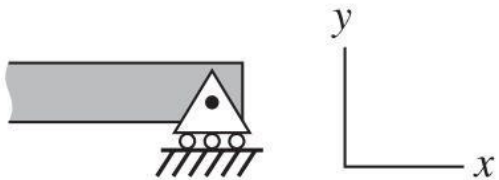


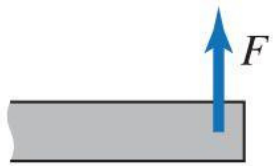
Model konstrukcji

Podpory

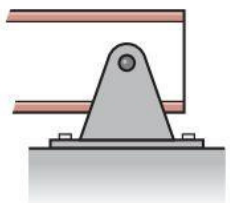
podpora przegubowa przesuwna

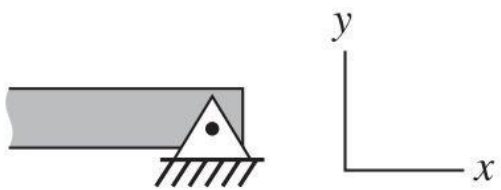


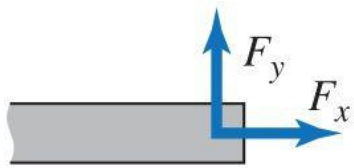




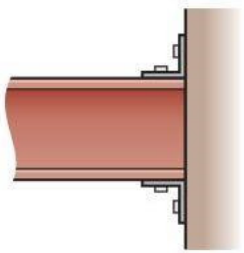
podpora przegubowa nieprzesuwna

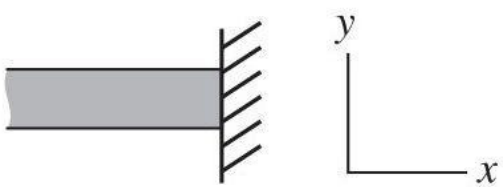


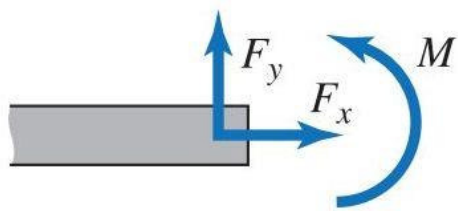




utwierdzenie







Model konstrukcji

Obciążenia – siły zewnętrzne

- **siły skupione** – siły działające na element konstrukcyjny poprzez powierzchnię, której rozmiar jest mały w porównaniu z rozmiarami elementu.
- **siły rozłożone** – siły przyłożone w sposób ciągły na pewnej długości lub powierzchni elementu konstrukcyjnego (równomiernie lub nierównomiernie)

- **siły permanentne** – siły działające w czasie całego życia konstrukcji, np. masa własna
- **siły czasowe** – siły działające tylko w ciągu pewnego okresu czasu

Model konstrukcji

Obciążenia – siły zewnętrzne (c.d.)

- **siły statyczne** – siły obciążające konstrukcję stopniowo; na konstrukcję nie działa przyspieszenie lub jest ono zaniedbywalnie małe
- **siły dynamiczne** – siły wywołujące znaczne przyspieszenie konstrukcji
  - przyłożone nagle
  - uderzeniowe
  - okresowo zmienne
- **reakcje**

Model konstrukcji

Model materiału – materiał idealny

Przyjmuje się, że model materiału elementów konstrukcyjnych:

- posiada tylko te własności, które są istotne dla rozwiązania
- jest odkształcalny (idealnie sprężysty)

Ponadto, materiał jest

- **ciągły** – pomija się strukturę materiału (ziarna, włókna, itp.); zakłada się brak wtrąceń i jam
- **jednorodny** – dowolna wybrana objętość materiału ma takie same własności
- **izotropowy** – własności są takie same we wszystkich kierunkach

Plan prezentacji

1. Wiadomości wprowadzające
   - Co to jest i czym zajmuje się wytrzymałość materiałów?
   - Co mówi nam eksperyment?
   - Jak analizujemy deformację i zniszczenie?
   - Jakiej wiedzy potrzebujemy?

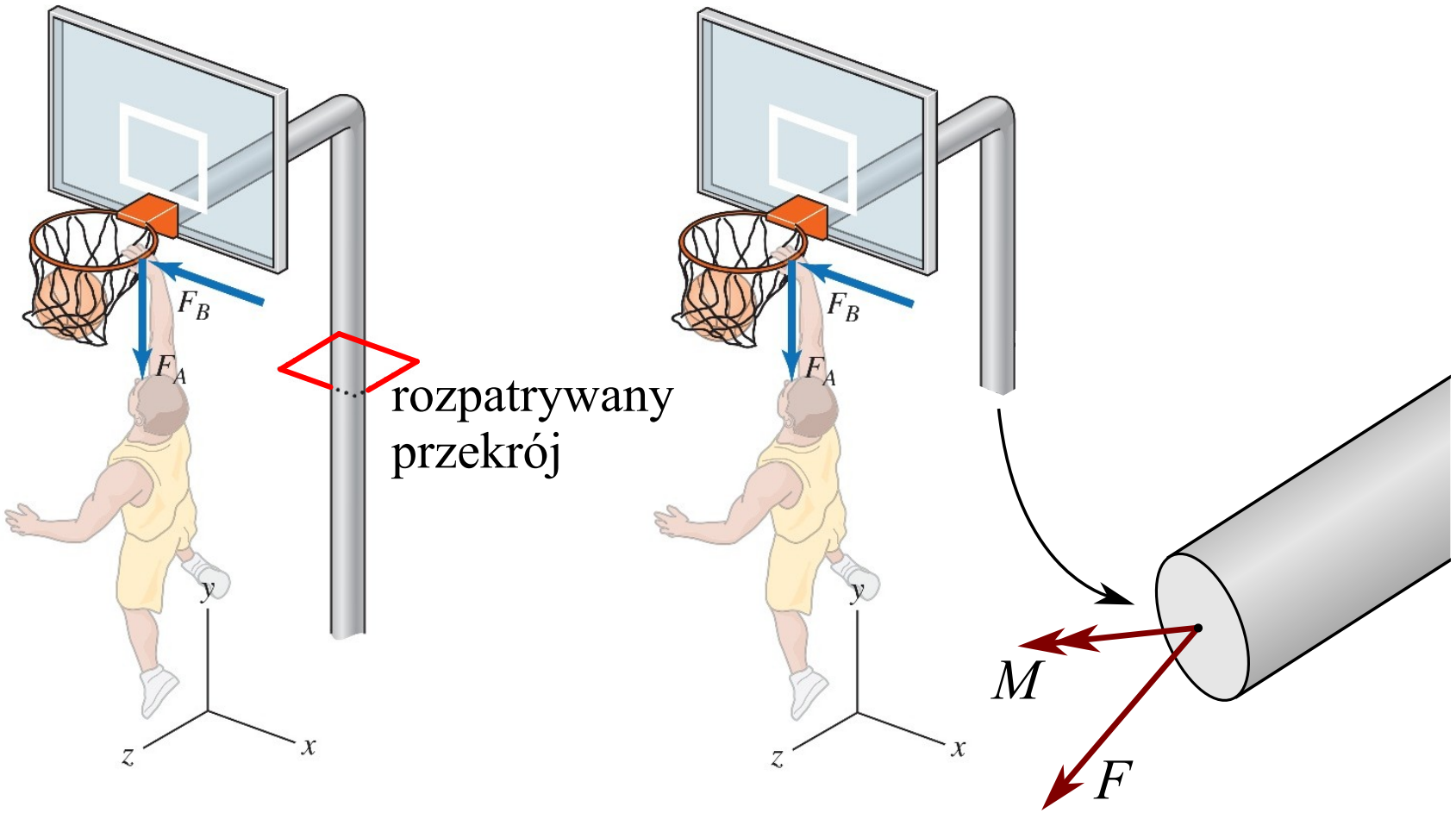
2. Założenia, modele, metody, definicje...
   - Założenia
   - Modele
   - Metoda przekrojów myślowych

Metoda przekrojów

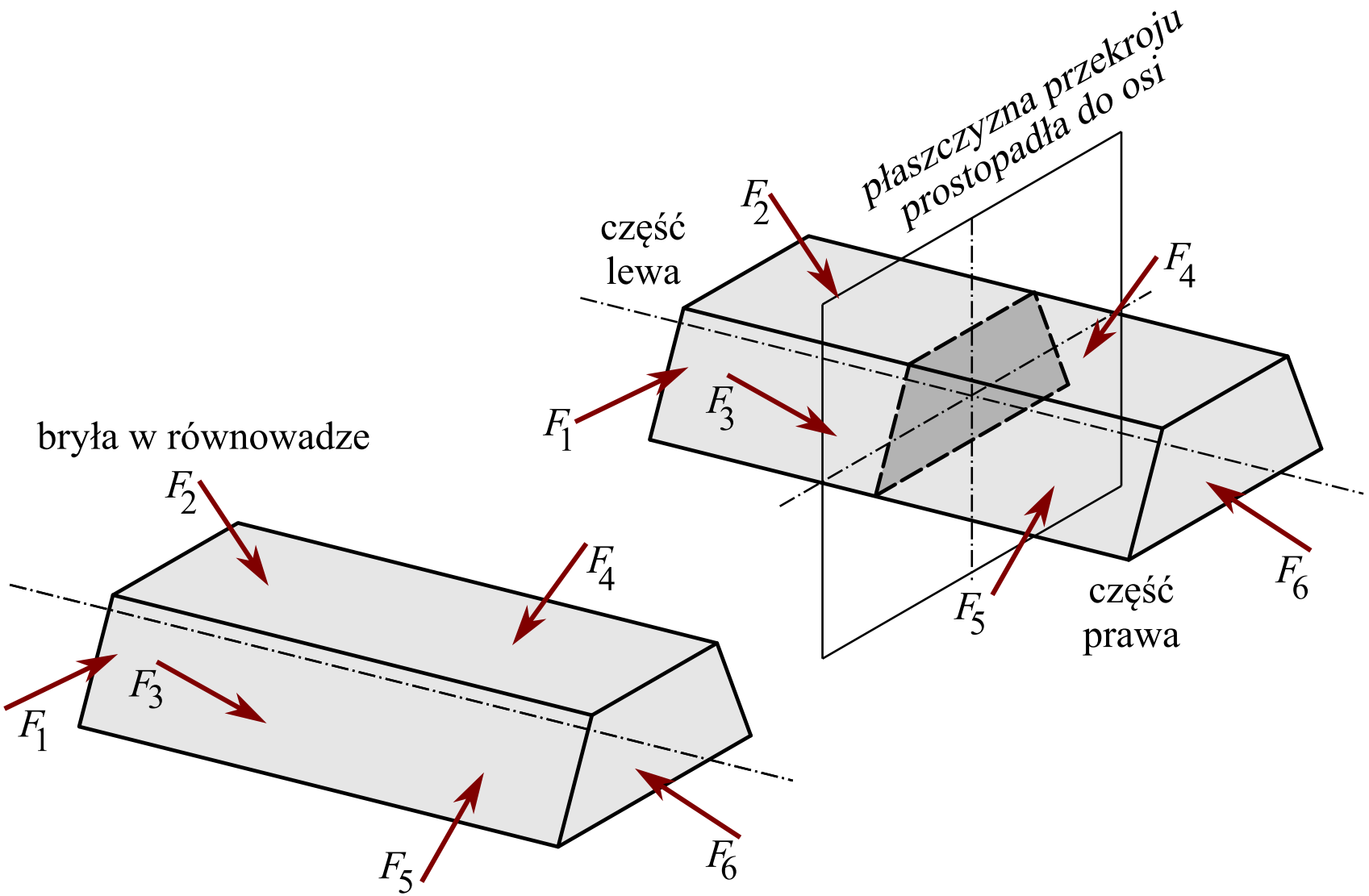
Znamy siły zewnętrzne,
widzimy deformację,
ale co dzieje się
wewnątrz konstrukcji?



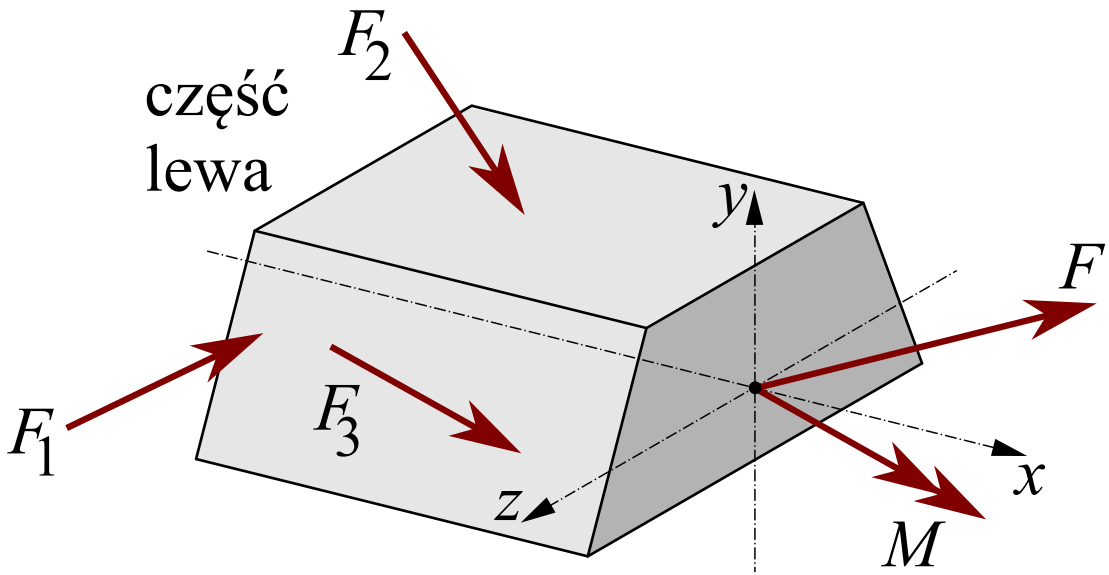
Metoda przekrojów



Metoda przekrojów



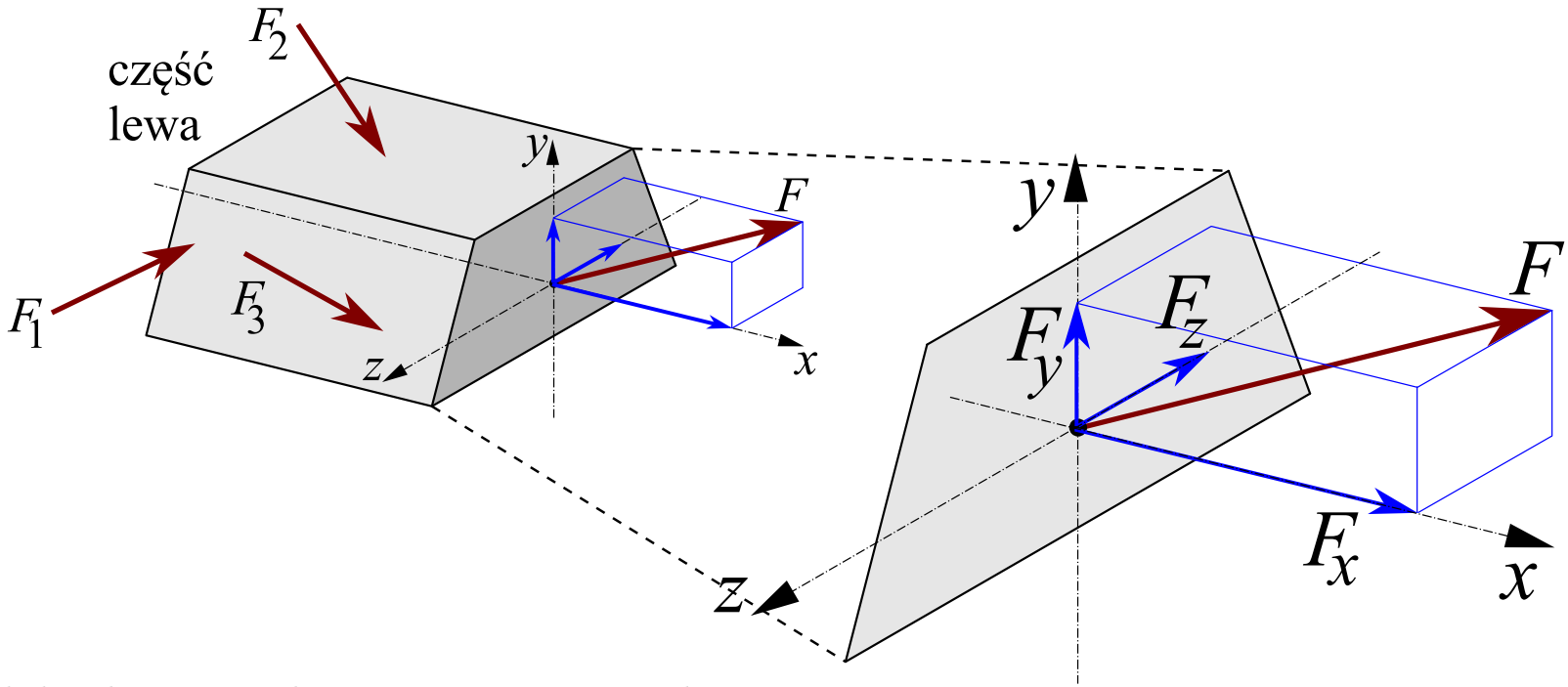
Metoda przekrojów



Siły wewnętrzne przyłożone w środku ciężkości przekroju

- siła skupiona F
- moment siły M

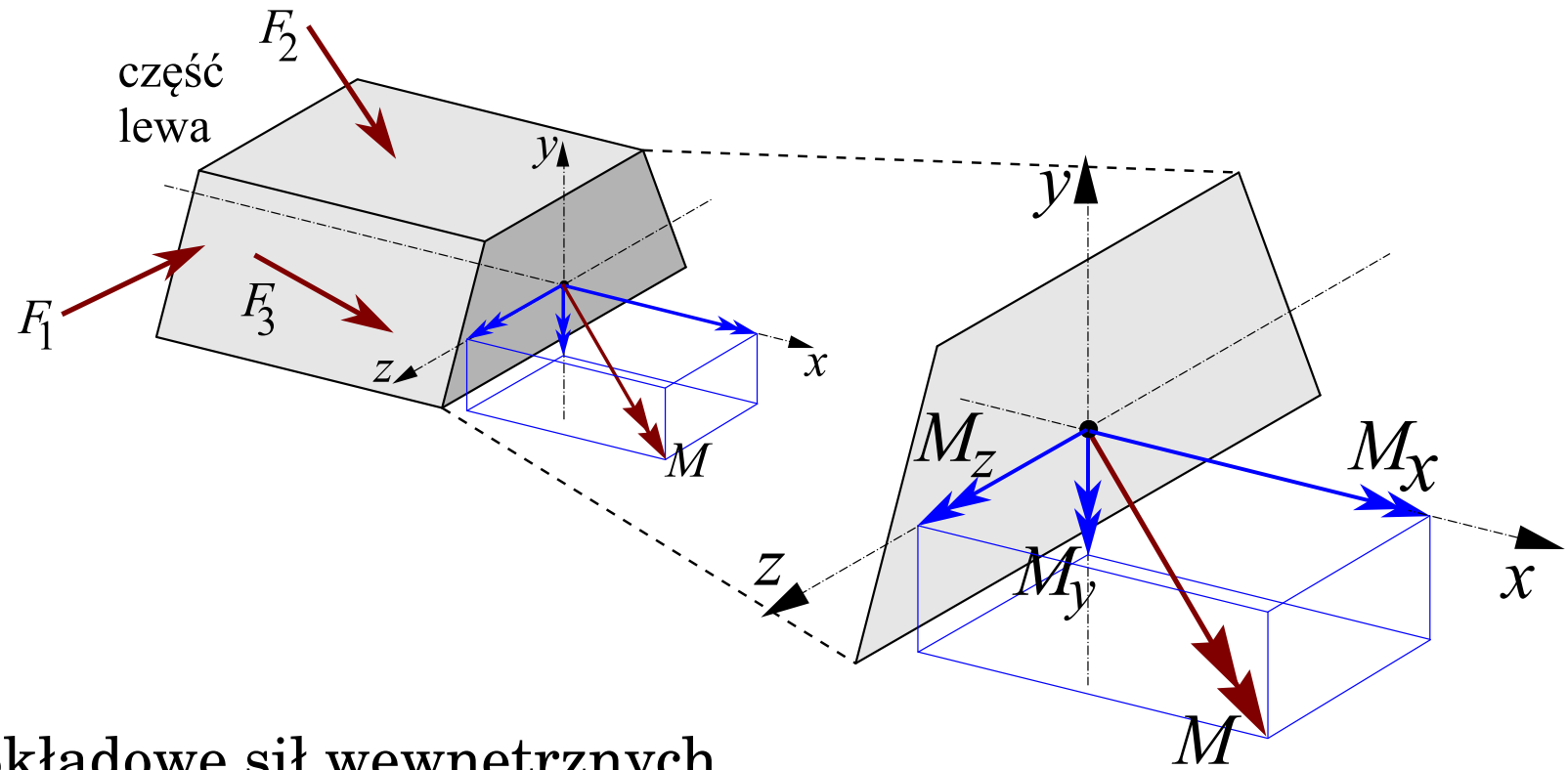
Metoda przekrojów



Składowe sił wewnętrznych

- siła normalna $F_x = N$
- siła styczna $F_y = T_y$
- siła styczna $F_z = T_z$

Metoda przekrojów



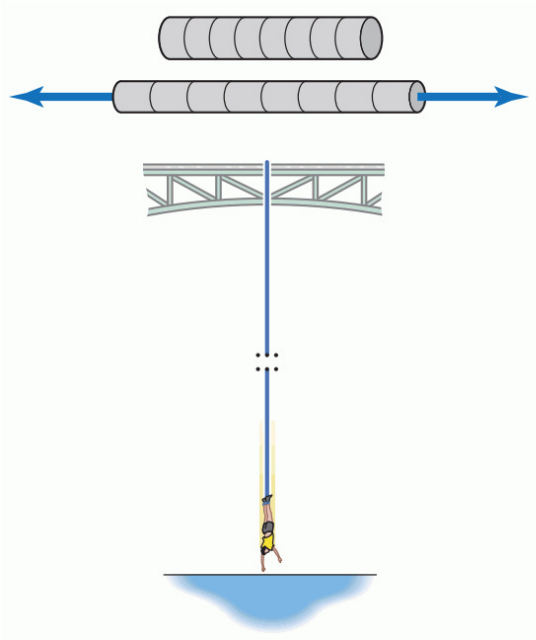
Składowe sił wewnętrznych

- moment skręcający $M_x = M_s$
- moment gnący $M_y = M_{gy}$
- moment gnący $M_z = M_{gz}$

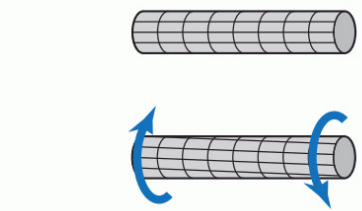
Proste przypadki obciążenia

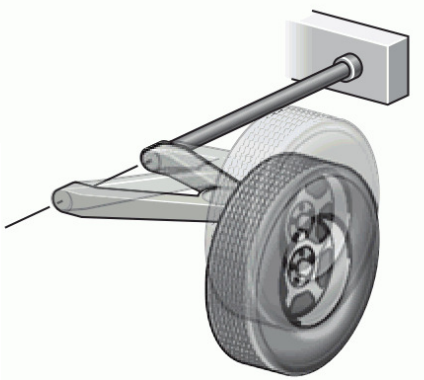
[Steif, 2012]

rozciąganie (ściskanie)

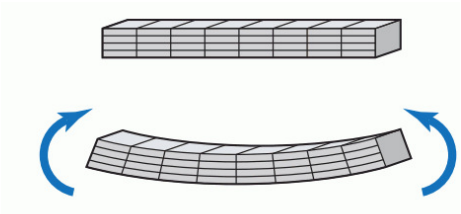


skręcanie





zginanie





ścinanie

