



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

Podstawy wytrzymałości materiałów

IMiR - MiBM - Wykład Nr 1

Wprowadzenie. Pojęcia podstawowe.

Literatura, podstawowe pojęcia, rodzaje odkształceń, założenia wytrzymałości materiałów, klasyfikacja obciążeń, typy elementów konstrukcyjnych, kryteria oceny obiektów, siły wewnętrzne i ich wyznaczanie, naprężenia, związki między siłami wewnętrznymi i naprężeniami.

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
Katedra Wytrzymałości, Zmęczenia Materiałów i Konstrukcji

Dr hab. inż. Tomasz Machniewicz
E-mail: machniew@agh.edu.pl

1.1 Polecana literatura:



[1] Wolny S., Siemieniec A.: **Wytrzymałość materiałów. Cz. 1, Teoria, zastosowanie.** AGH Uczelniane Wydaw. Naukowo-Dydaktyczne.



[2] Skorupa A., Skorupa M.: **Wytrzymałość materiałów: skrypt dla studentów wydziałów niemechanicznych.** AGH Uczelniane Wydaw. Naukowo-Dydaktyczne, 2000.



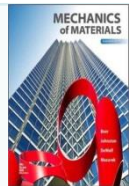
[3] Niezgodziński M.E., Niezgodziński T.: **Wytrzymałość Materiałów.** Warszawa, PWN 1981.



[4] Rżysko J.: **Statyka i Wytrzymałość Materiałów.** PWN, Warszawa 1977.



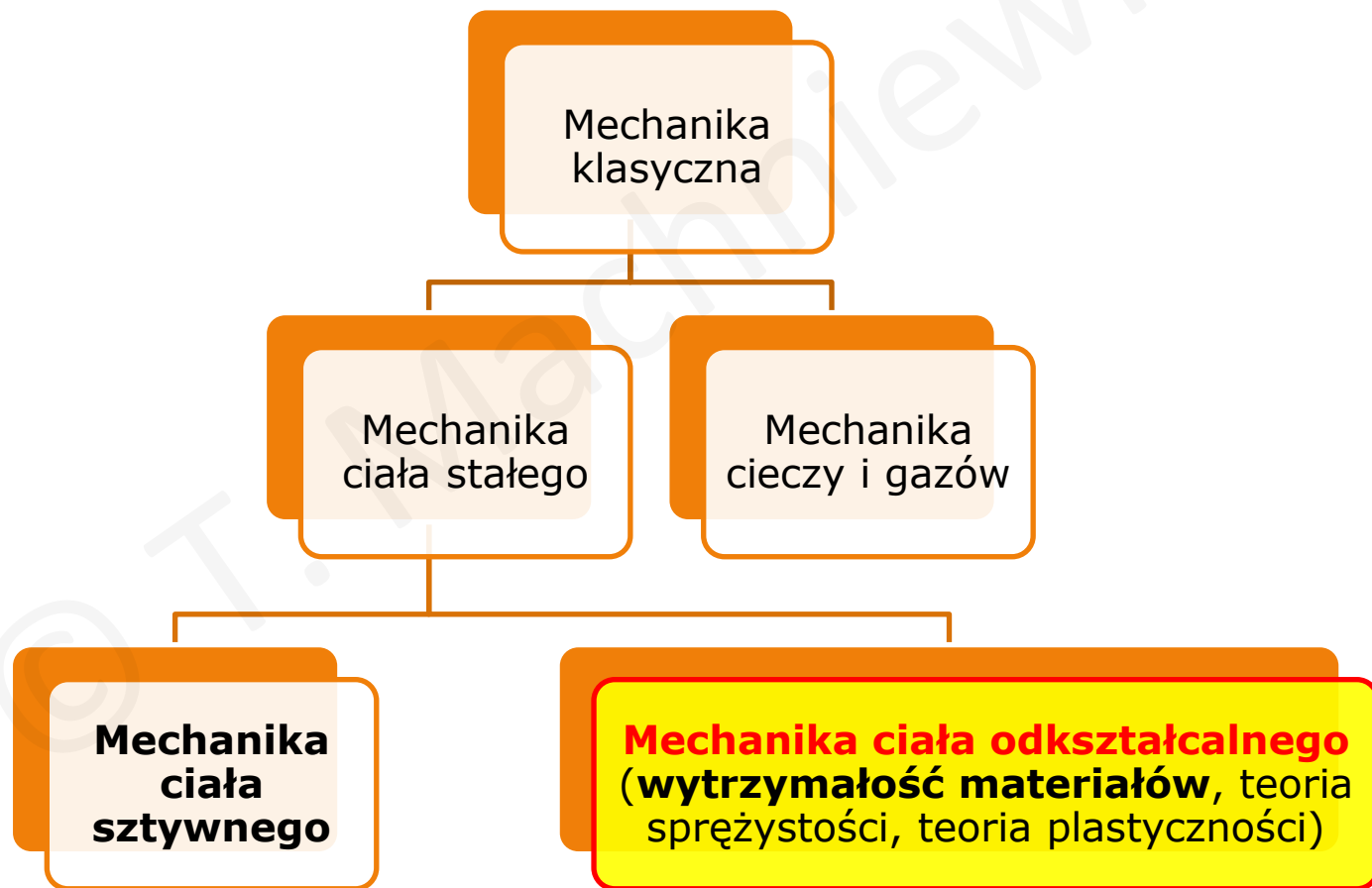
[5] Dyląg Z., Jakubowicz A., Orłóś Z.: **Wytrzymałość materiałów. T. 1.** WNT, Warszawa 2003.



[6] Beer F.P., Johnston E.R., DeWolf J.T., Mazurek D.F.: **Mechanics of materials.** 7th edition, 2014.

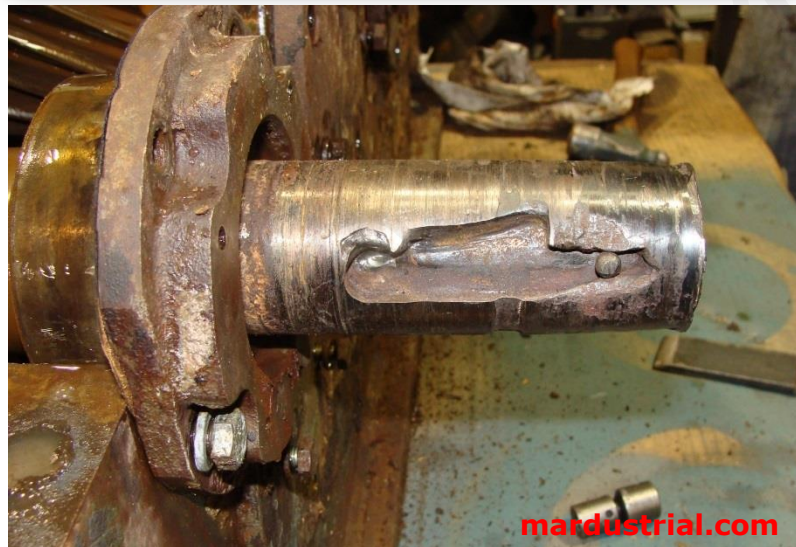
1.2. Wytrzymałość Materiałów – podstawowe pojęcia

Wytrzymałość Materiałów – nauka (dział mechaniki) zajmująca się badaniem zjawisk występujących w ciałach rzeczywistych, tj. w ciałach które odkształcają się pod wpływem przyłożonych obciążeń.



1.2. Wytrzymałość Materiałów – podstawowe pojęcia

Rola Wytrzymałości Materiałów w Budowie Maszyn



1.2. Wytrzymałość Materiałów – podstawowe pojęcia

Cel: dostarczenie podstaw teoretycznych do wybrania odpowiedniego materiału i takiego ukształtowania obiektu, aby mógł on spełniać swoje funkcje użytkowe, tj. na skutek obciążeń nie uległ zniszczeniu, bądź przez utratę spójności materiału, bądź to przez takie zmiany kształtu, które uniemożliwią jego użytkowanie.

Rodzaje odkształceń:

- **sprężyste** – zanikające wraz zanikiem działania obciążenia,



- **plastyczne (trwałe)** – nie zanikające mimo zaniku działania obciążenia.

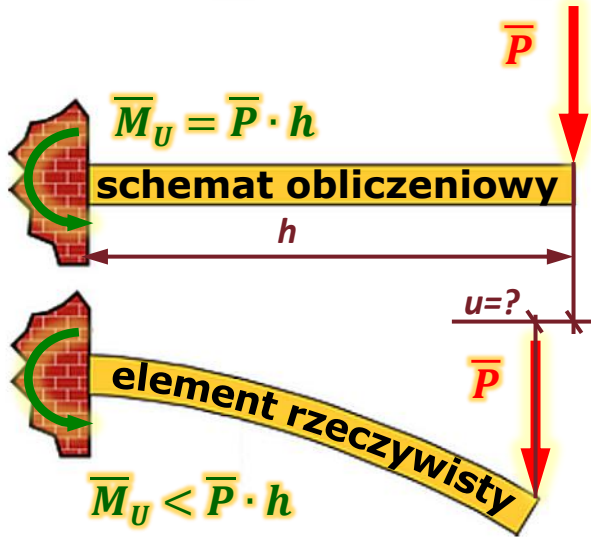


1.2. Wytrzymałość Materiałów – podstawowe pojęcia

Dziesiętne krotności jednostek

Mnożnik	Przedrostek	Skrót	Przykłady
10^{18}	<i>eksa -</i>	<i>E</i>	
10^{15}	<i>peta -</i>	<i>P</i>	
10^{12}	<i>tera -</i>	<i>T</i>	
10^9	<i>giga -</i>	<i>G</i>	<i>GPa</i>
10^6	<i>mega -</i>	<i>M</i>	<i>MN, MPa</i>
10^3	<i>kilo -</i>	<i>k</i>	<i>kg, kW</i>
10^2	<i>hekto -</i>	<i>h</i>	<i>hPa, hl</i>
10^1	<i>deka -</i>	<i>da</i>	<i>dag,</i>
1	<i>-----</i>	<i>-----</i>	<i>N, m, g, Pa, W</i>
10^{-1}	<i>decy -</i>	<i>d</i>	<i>dm</i>
10^{-2}	<i>centy -</i>	<i>c</i>	<i>cm</i>
10^{-3}	<i>mili -</i>	<i>m</i>	<i>mm, mg</i>
10^{-6}	<i>mikro -</i>	μ	μm
10^{-9}	<i>nano -</i>	<i>n</i>	<i>nA</i>
10^{-12}	<i>piko -</i>	<i>p</i>	
10^{-15}	<i>femto -</i>	<i>f</i>	
10^{-18}	<i>atto -</i>	<i>a</i>	

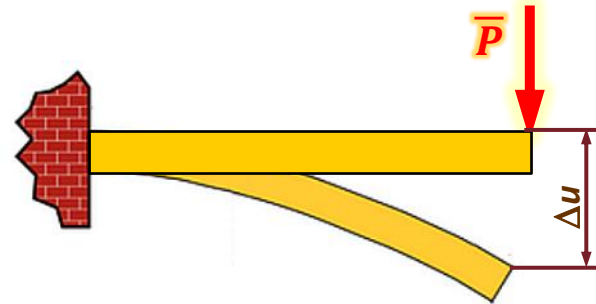
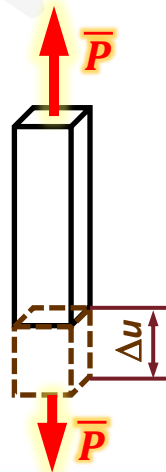
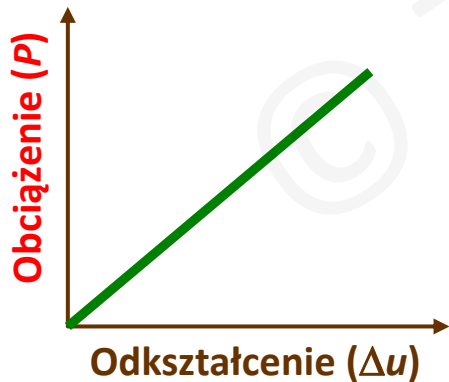
1.3. Wytrzymałość Materiałów – podstawowe założenia



Zasada zeszywnienia – założenie, że odkształcenia związane z działaniem sił zewnętrznych nie zmieniają linii działania tych sił.

Prawo Hooke'a:

Deformacja ciał sprężystych jest wprost proporcjonalna do przyłożonego obciążenia.

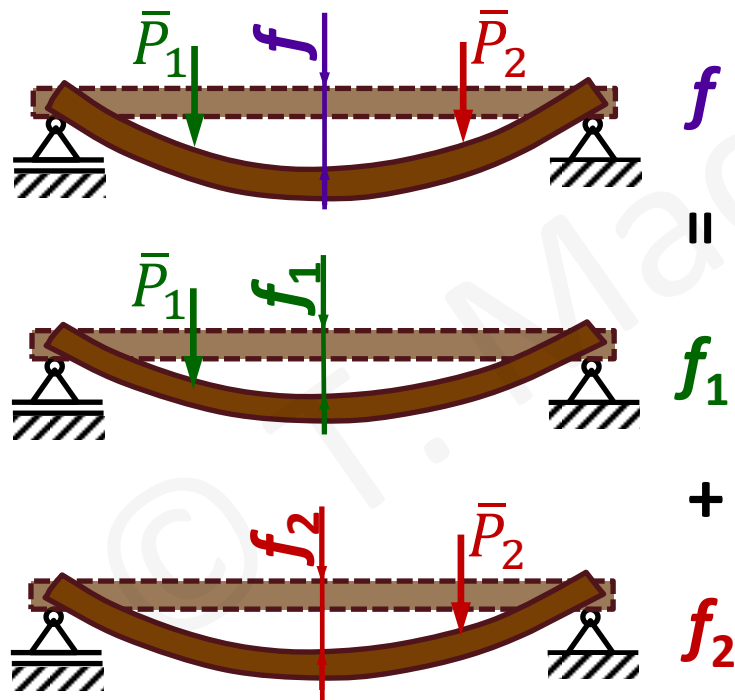


1.3. Wytrzymałość Materiałów – podstawowe założenia

Dzięki **prawu Hooke'a** możliwa jest do sformułowania...

Zasada superpozycji:

Dowolny skutek wywołany równoczesnym działaniem kilku obciążeń jest równy sumie skutków jakie wywołałoby każde z tych obciążeń działając z osobna.



Analizując przypadek wytrzymałości danego obiektu przyjąć należy odpowiedni ...

Schemat obliczeniowy

- idealizacja rzeczywistego problemu, polegająca na przyjęciu szeregu upraszczających założeń dotyczących w szczególności:
 - ✓ obciążenia (p. 1.4.1),
 - ✓ materiału (p. 1.4.2),
 - ✓ geometrii konstrukcji (p. 1.4.3).

© T. Machniewicz

1.4.1. Klasyfikacja obciążeń

Siła, moment siły – wynik wzajemnego oddziaływania ciał na siebie.

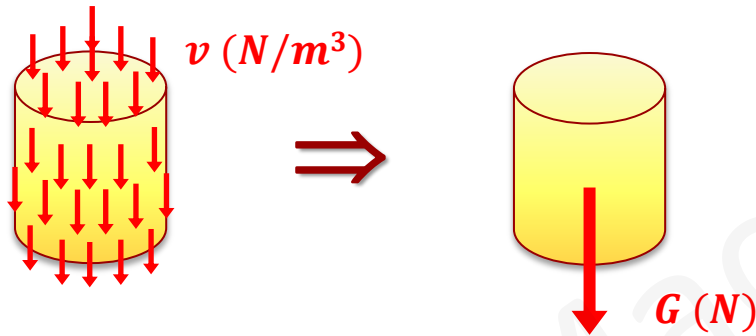
Rodzaje sił – ze względu na pochodzenie

- a) siły zewnętrzne** – przyłożone do danego ciała, wywierane przez inne ciało,
- **czynne** – mogące wywołać ruch, niezależne od warunków w jakich znajduje się dane ciało,
 - **bierne** – stanowią wynik oddziaływania więzów (siły reakcji),
- b) siły wewnętrzne** – siły wzajemnego oddziaływania pomiędzy punktami materialnymi rozpatrywanego układu,

1.4.1. Klasyfikacja obciążeń

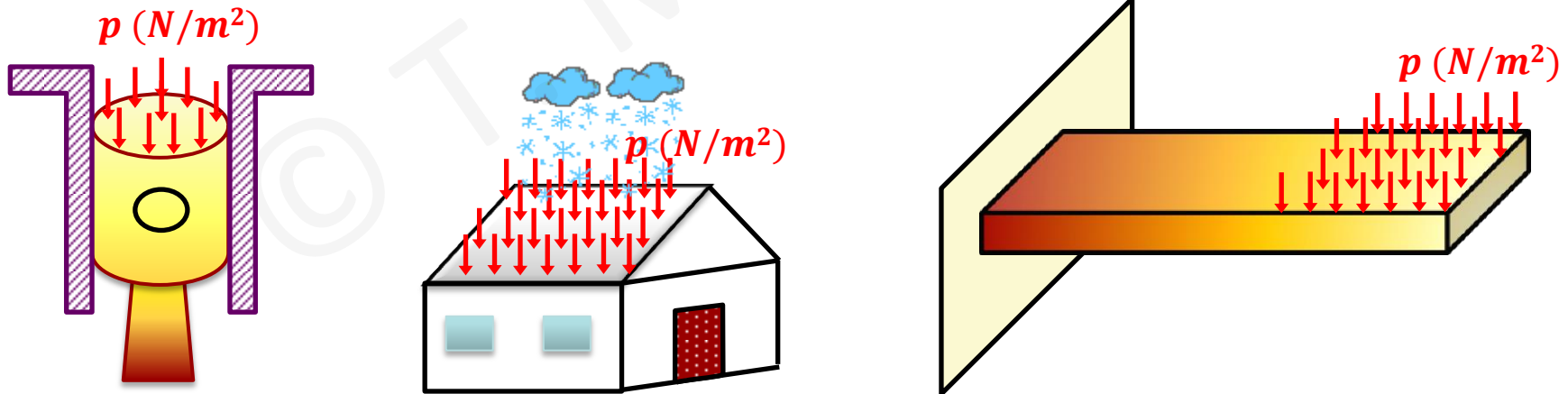
Rodzaje obciążeń – ze względu na sposób przyłożenia:

a) objętościowe (masowe) – działające na każdą cząstkę ciała (np. siły ciężkości),



siły masowe zwykle zastępowane są działaniem siły skupionej przyłożonej w środku ciężkości bryły

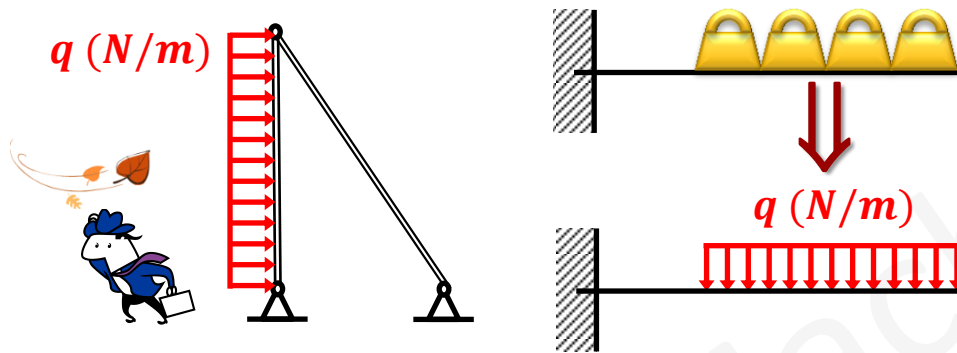
b) powierzchniowe – działające na powierzchnię ciała,



1.4.1. Klasyfikacja obciążeń

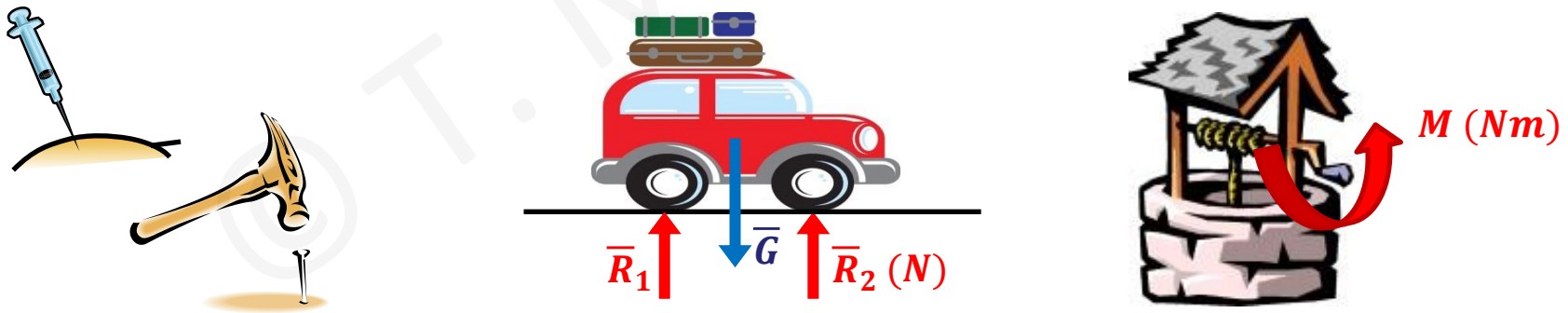
Rodzaje obciążeń – ze względu na sposób przyłożenia:

c) obciążenia liniowe – przyłożone w sposób ciągły na pewnej długości,



Zazwyczaj za pomocą obciążenia liniowego odwzorowuje się działanie obciążenia powierzchniowego w przypadku modeli płaskich

d) obciążenie skupione – siła lub moment siły przyłożone w punkcie,



Dane obciążenie uznać można za skupione, jeżeli powierzchnia jego oddziaływania jest znacznie mniejsza od wymiarów elementu.

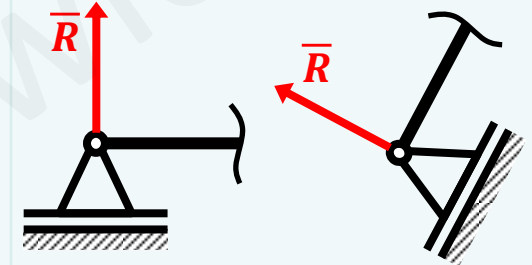
1.4.1. Klasyfikacja obciążeń

Więzy – elementy ograniczające liczbę stopni swobody.

Charakterystyczne rodzaje więzów i związane z nimi siły reakcji.

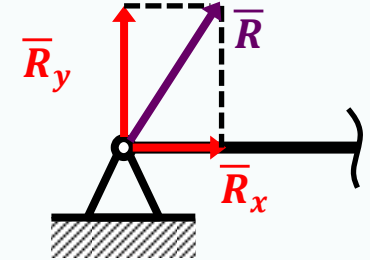
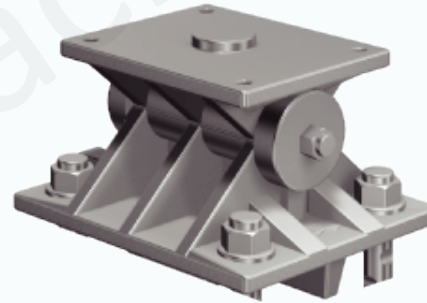
a) podpora przegubowa przesuwna

reakcja prostopadła do płaszczyzny przesuwu



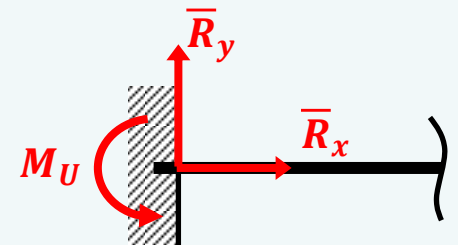
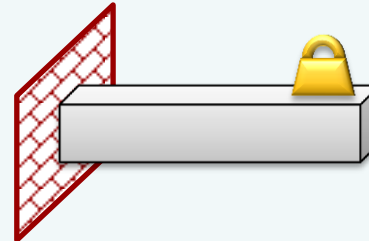
b) podpora przegubowa stała

siła reakcji o dowolnym kierunku (dwie składowe reakcji)



c) utwierdzenie (wspornik)

siła reakcji o dowolnym kierunku (dwie składowe reakcji) oraz moment utwierdzenia



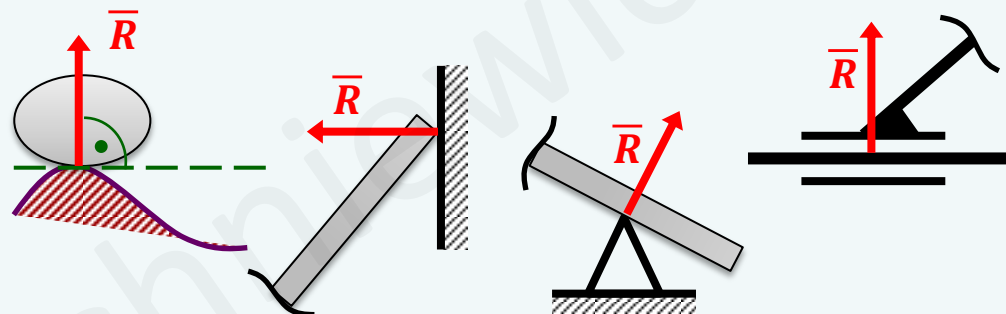
1.4.1. Klasyfikacja obciążeń

Więzy – elementy ograniczające liczbę stopni swobody.

Charakterystyczne rodzaje więzów i związane z nimi siły reakcji.

d) gładka powierzchnia oporowa

reakcja prostopadła do gładkiej powierzchni



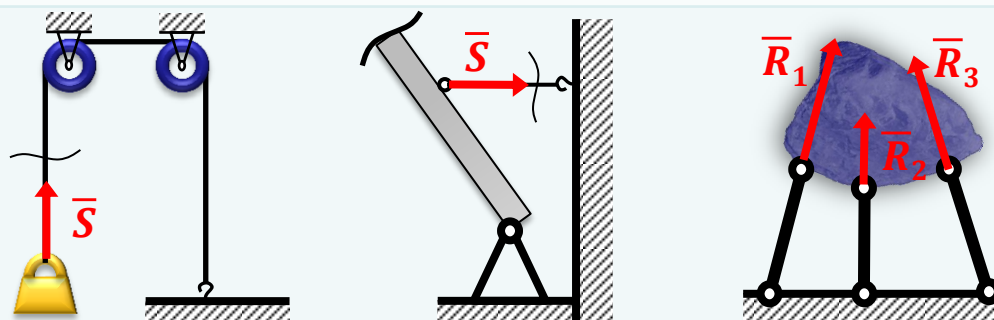
e) przegub kulisty

siła reakcji o dowolnym kierunku (trzy składowe reakcje)



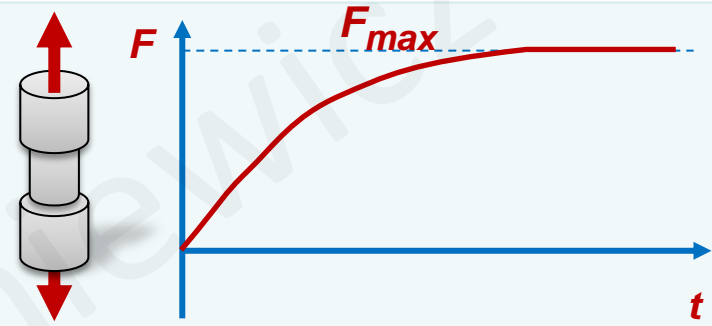
f) podwieszenie na cięgnach, podparcie przegubowe

siła reakcji działa wzdłuż cięgna lub nieważkiego pręta

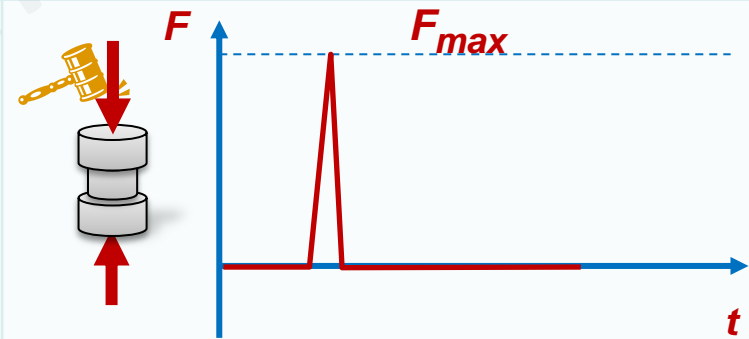


Rodzaje obciążeń – ze względu na zmiany w czasie:

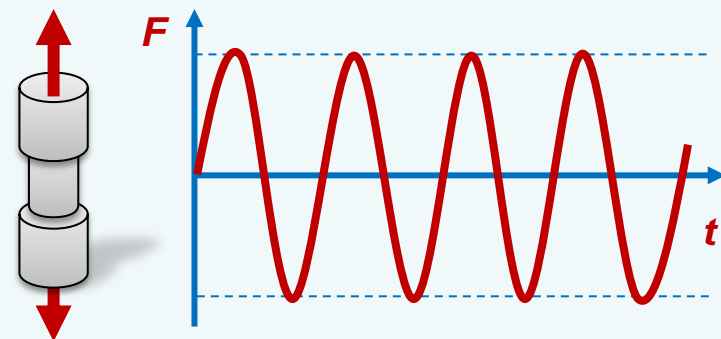
a) statyczne – narastające w sposób powolny od zera do pewnej wartości



b) dynamiczne – przyłożone w sposób nagły, działające impulsowo

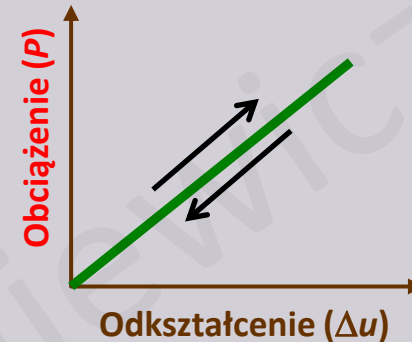


c) okresowo-zmienne – zmieniające wielokrotnie wartość w czasie

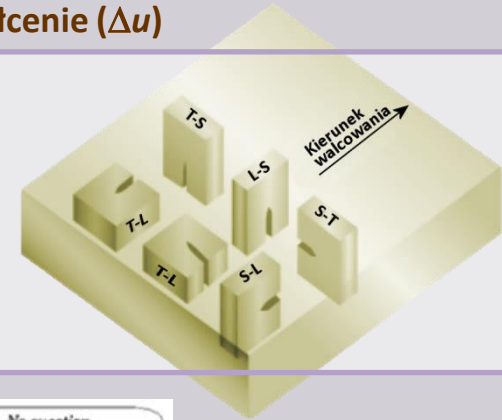


1.4.2. Założenia dotyczące własności materiałów

1) **sprężystość** – odkształcenia są proporcjonalne do działającego obciążenia.



2) **izotropowość (izotropia)** – własności fizyczne ciała nie zależą od kierunku. Przeciwnieństwem izotropii jest **anizotropia**.



3) **jednorodność** – własności fizyczne ciała są takie same w każdym jego punkcie.



Na ogół powyższe własności spełnione są jedynie w sposób przybliżony

1.4.3. Klasyfikacja elementów konstrukcyjnych

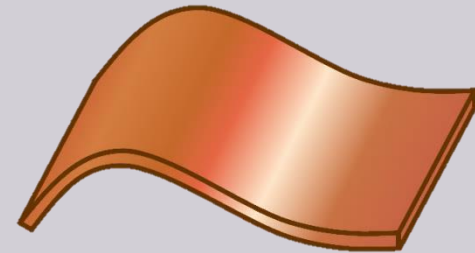
1) pręty – jeden z wymiarów elementu (długość) znacznie większy od wymiarów pozostałych (poprzecznych)



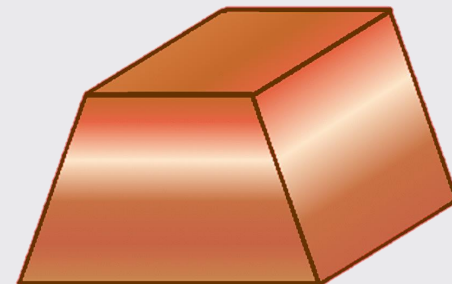
2) płyty – dwa wymiary liniowe są większe od trzeciego (grubości)



3) powłoki – rodzaj płyt charakteryzujący się krzywoliniową powierzchnią



4) bloki (bryły) – wszystkie wymiary tego samego rzędu



1.5. Kryteria oceny elementów konstrukcji:

1) Warunek bezpieczeństwa:

zabezpiecza element przed zniszczeniem (utrata spójności, trwałą deformacją) pod wpływem założonego obciążenia.



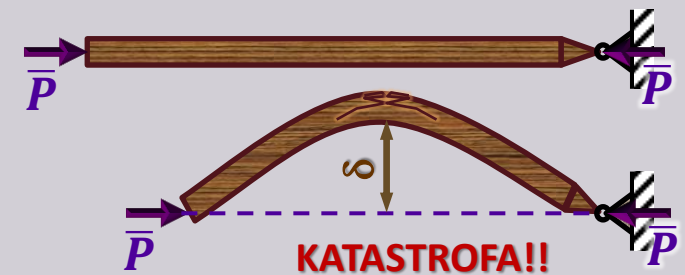
2) Warunek sztywności:

ogranicza odkształcenia elementu tak, by nie utrudniały one, bądź wręcz nie uniemożliwiały właściwego jego funkcjonowania.



3) Warunek stateczności:

zapobiega pojawieniu się pod wpływem znacznych odkształceń dodatkowych sił wewnętrznych mogących uszkodzić element.



4) Warunek ekonomiczności:

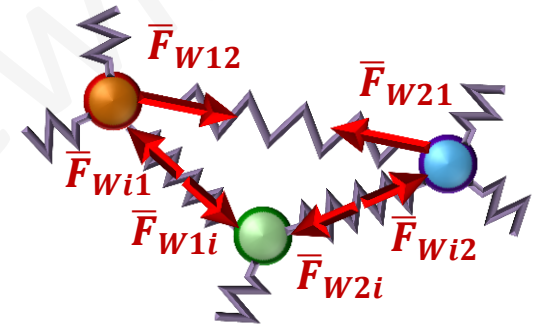
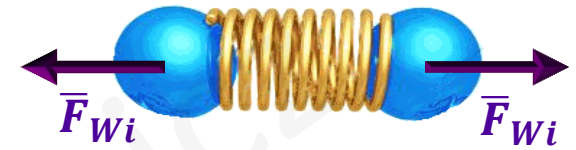
stoi na straży właściwego doboru materiału i wymiarów elementu, z pełnym wykorzystaniem własności zastosowanego tworzywa.

KATASTROFA ... finansowa

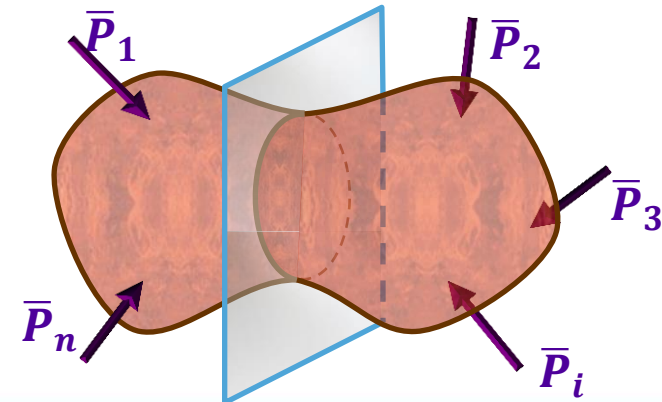


1.6. Siły wewnętrzne

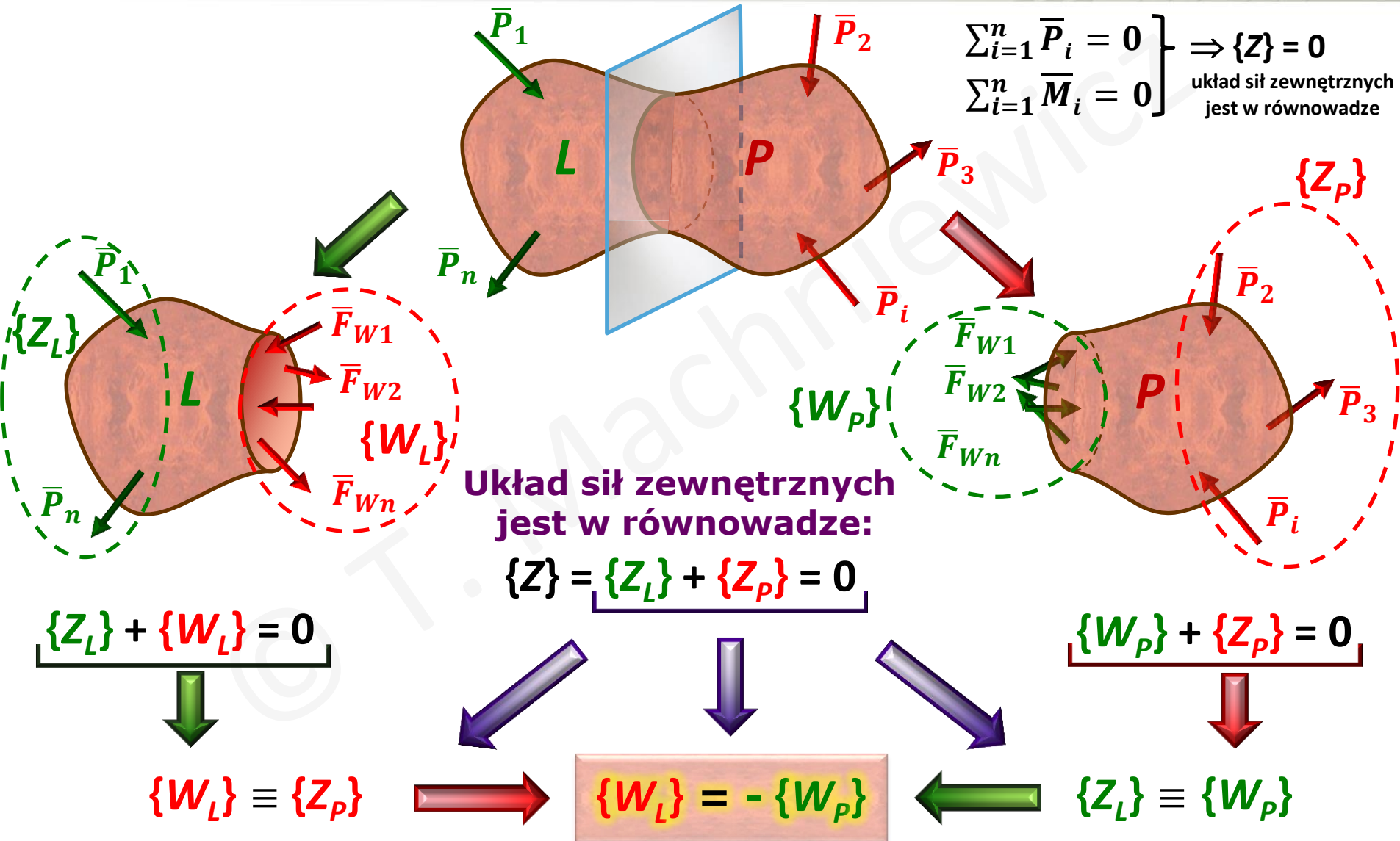
- Pod wpływem obciążeń zewnętrznych pomiędzy poszczególnymi cząstkami ciała powstają siły wzajemnego oddziaływania, zwane **siłami wewnętrznymi**.
- **Siły wewnętrzne** są siłami biernymi, które przeciwdziałają odkształceniom ciała, tj. zmianie odległości pomiędzy poszczególnymi jego punktami. Sumaryczna praca tych sił na przemieszczeniu punktów odpowiada energii sprężystej zgromadzonej w odkształconym ciele.
- Jeżeli całe ciało (o objętości V) jest w równowadze, tzn. działające na niego siły zewnętrzne równoważą się, to jest w równowadze każdy punkt tego ciała, czyli **siły wewnętrzne** również się równoważą.
- W celu określenia **sił wewnętrznych** w dowolnym płaskim przekroju danego ciała należy przeciąć go na dwie części odpowiednią myślową płaszczyzną. Po odrzuceniu jednej z nich siły wewnętrzne działające w rozpatrywanej płaszczyźnie wyznacza się rozpatrując równowagę części pozostałej zgodnie z równaniami równowagi statycznej.



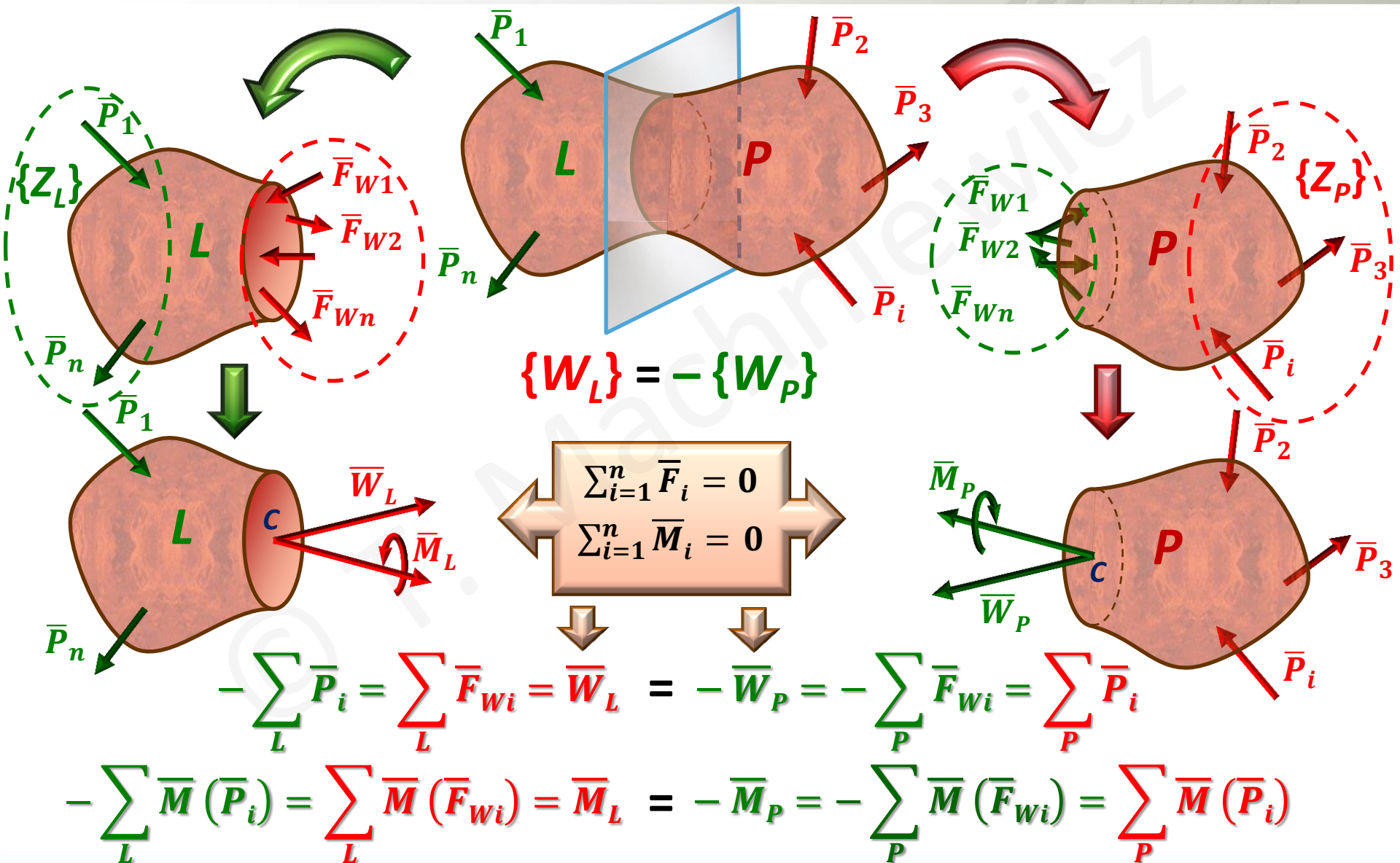
$$\sum_V \bar{F}_{wij} = 0$$



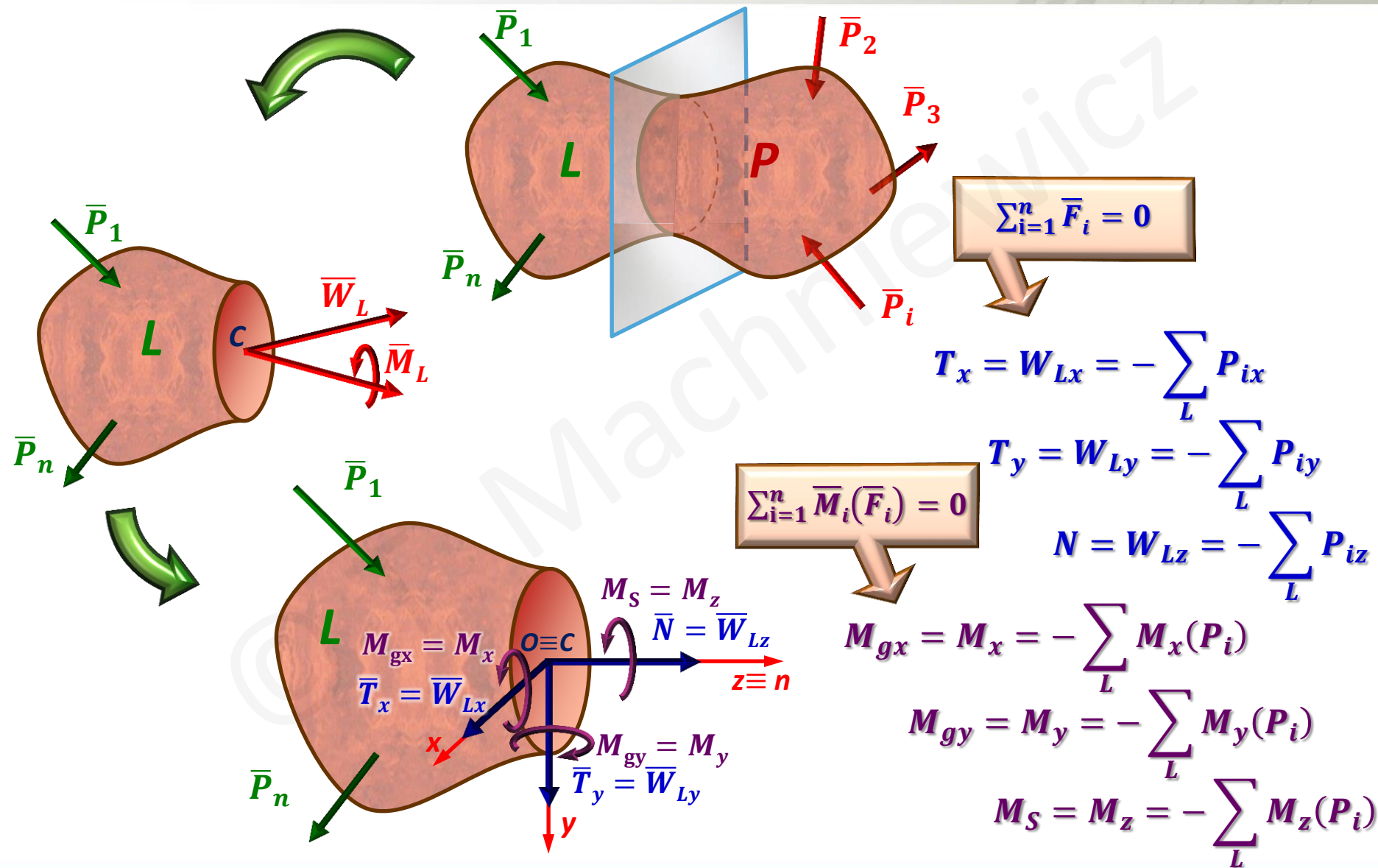
1.7. Wyznaczanie sił wewnętrznych



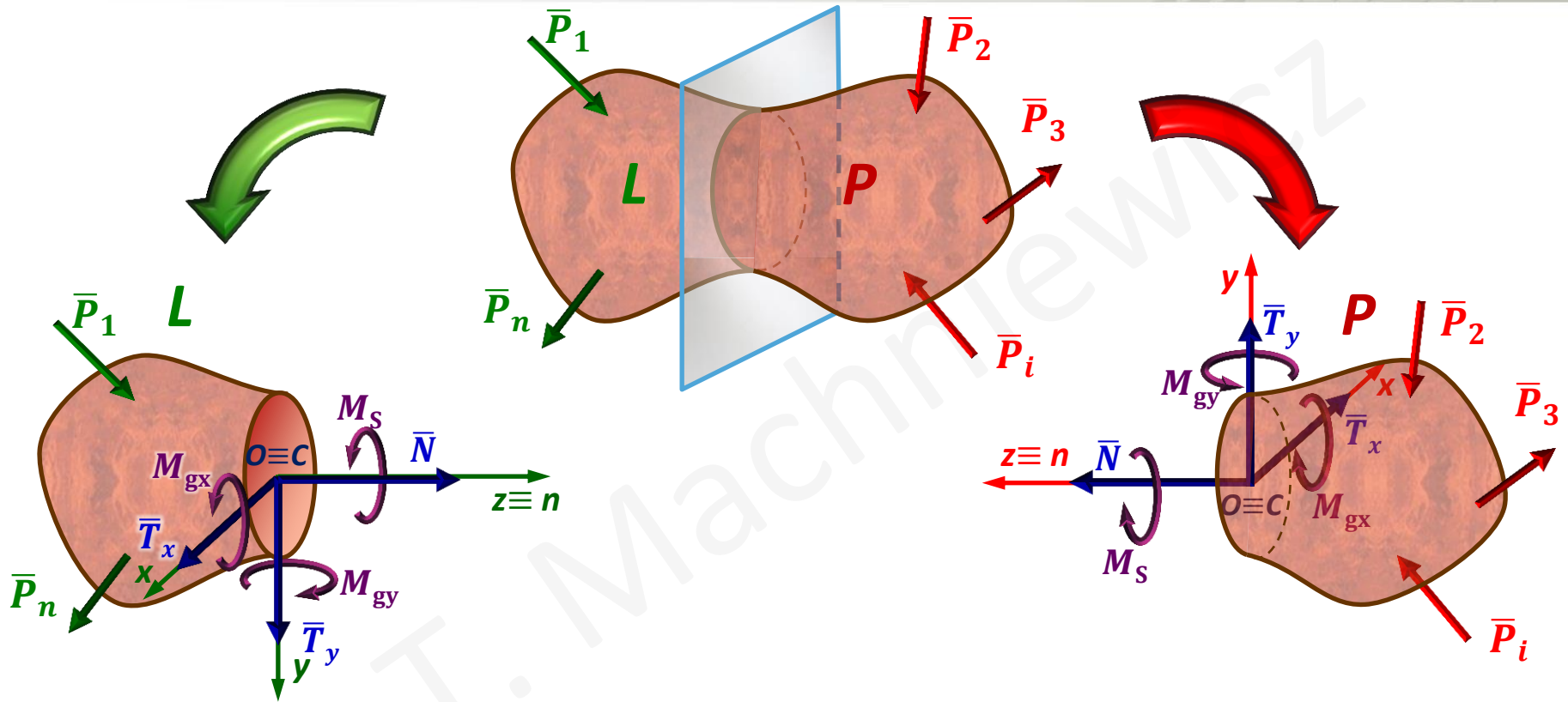
1.7. Wyznaczanie sił wewnętrznych



1.7. Wyznaczanie sił wewnętrznych

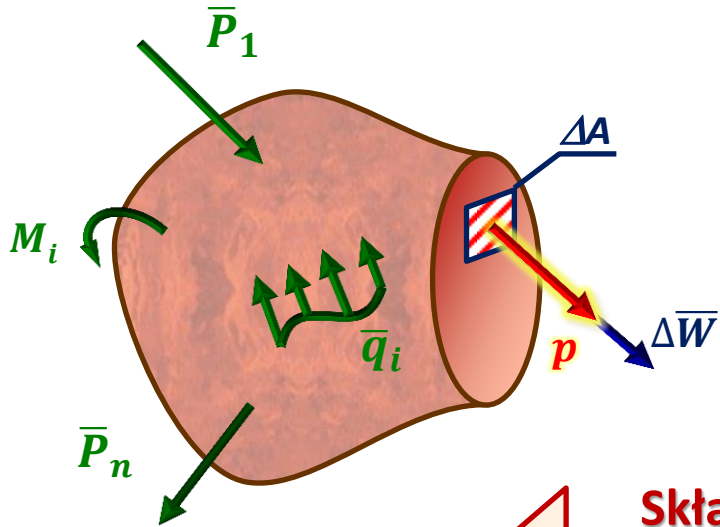


1.7. Wyznaczanie sił wewnętrznych



- 1) Siły wewnętrzne działające na obydwie strony myślowego przekroju stanowią układ sił wzajemnie równoważących się, dzięki czemu można je wyznaczyć analizując dowolną odciętą część ciała.
- 2) Dokonuje się tego w lokalnym układzie współrzędnych, związanym z osią normalną, tj. prostopadłą do rozpatrywanego przekroju i skierowaną na zewnątrz. Z tego powodu nie tylko moduły ale i znaki sił wewnętrznych wyznaczonych dla obu stron myślowego przekroju będą takie same.

1.8. Naprężenia



Definicja naprężenia:

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta W}{\Delta A} = \frac{dW}{dA}$$

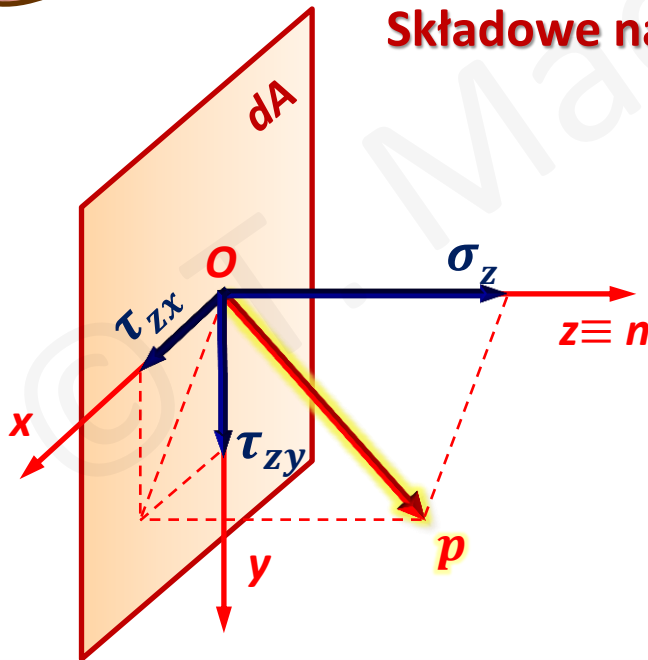
Jednostka naprężenia:

$$1 \text{ Pa} = \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ m}^2}$$

$$1 \text{ MPa} = \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ mm}^2}$$

$$1 \text{ MPa} = \frac{1 \text{ MN}}{1 \text{ m}^2}$$

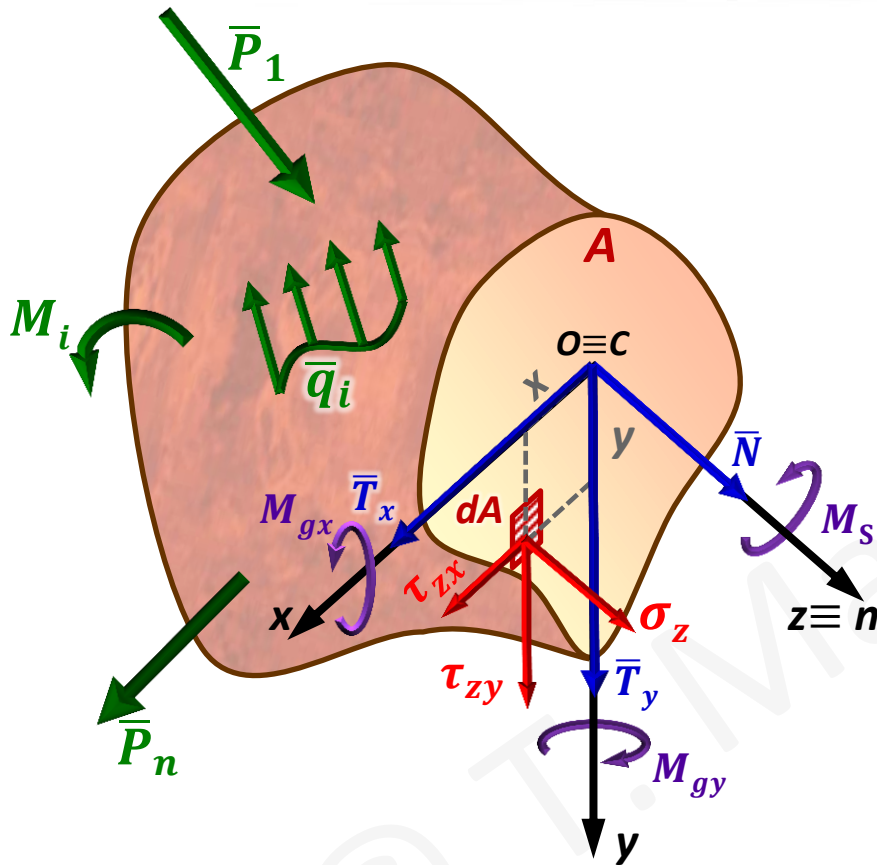
Składowe naprężenia:



σ_z – naprężenie normalne

τ_{zx}, τ_{zy} - naprężenia styczne

1.9. Zależności pomiędzy siłami wewnętrznymi a naprężeniami



$$N = \int_A \sigma_z dA \quad - \text{rozciąganie/ściskanie}$$

$$\left. \begin{aligned} T_x &= \int_A \tau_{zx} dA \\ T_y &= \int_A \tau_{zy} dA \end{aligned} \right\} - \text{ściananie}$$

$$\left. \begin{aligned} M_x &= \int_A \sigma_z y dA \\ M_y &= \int_A \sigma_z x dA \end{aligned} \right\} - \text{zginanie}$$

$$M_s = \int_A (\tau_{zy} x - \tau_{zx} y) dA \quad - \text{skręcanie}$$