



# Teoria maszyn i mechanizmów (TMM)

## Podstawowe pojęcia i definicje



# Podstawowe terminy i definicje

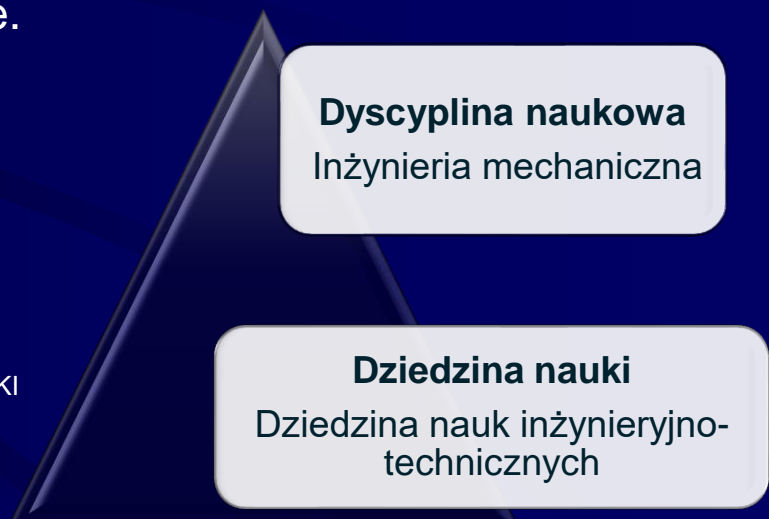
**Teoria maszyn i mechanizmów** stanowi wybrany obszar wiedzy z dziedziny nauk inżyneryjno-technicznych (patrz poniższy rys.). Wyróżnia się dwa podstawowe zadania stawiane TMM - analizę i syntezę.

W **analizie** głównymi problemami, jakie należy rozwiązać są:

- badanie struktury,
- analiza kinematyczna,
- analiza dynamiczna.

Natomiast wśród celów **syntezy** wyróżnia się:

- poszukiwanie struktury mechanizmów dla zadanych wymagań,
- poszukiwanie właściwości mechanizmów spełniających stawiane im wymagania kinematyczne lub dynamiczne.



**Dyscyplina naukowa**  
Inżynieria mechaniczna

**Dziedzina nauki**  
Dziedzina nauk inżyneryjno-technicznych

ROZPORZĄDZENIE MINISTRA NAUKI  
I SZKOLNICTWA WYŻSZEGO  
z dnia 20 września 2018

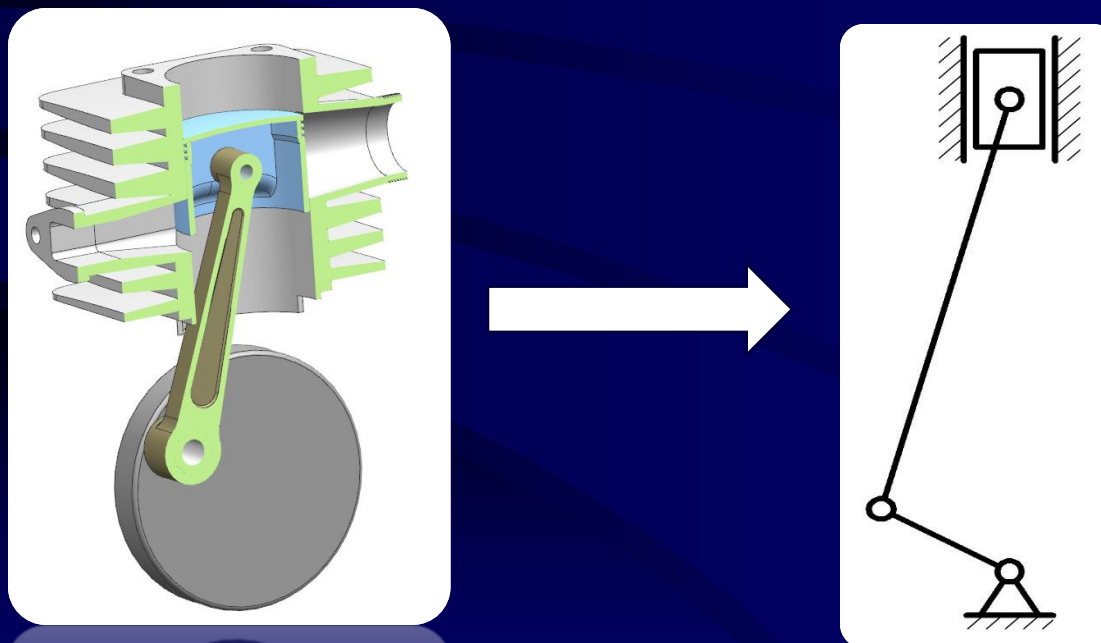


# Podstawowe terminy i definicje

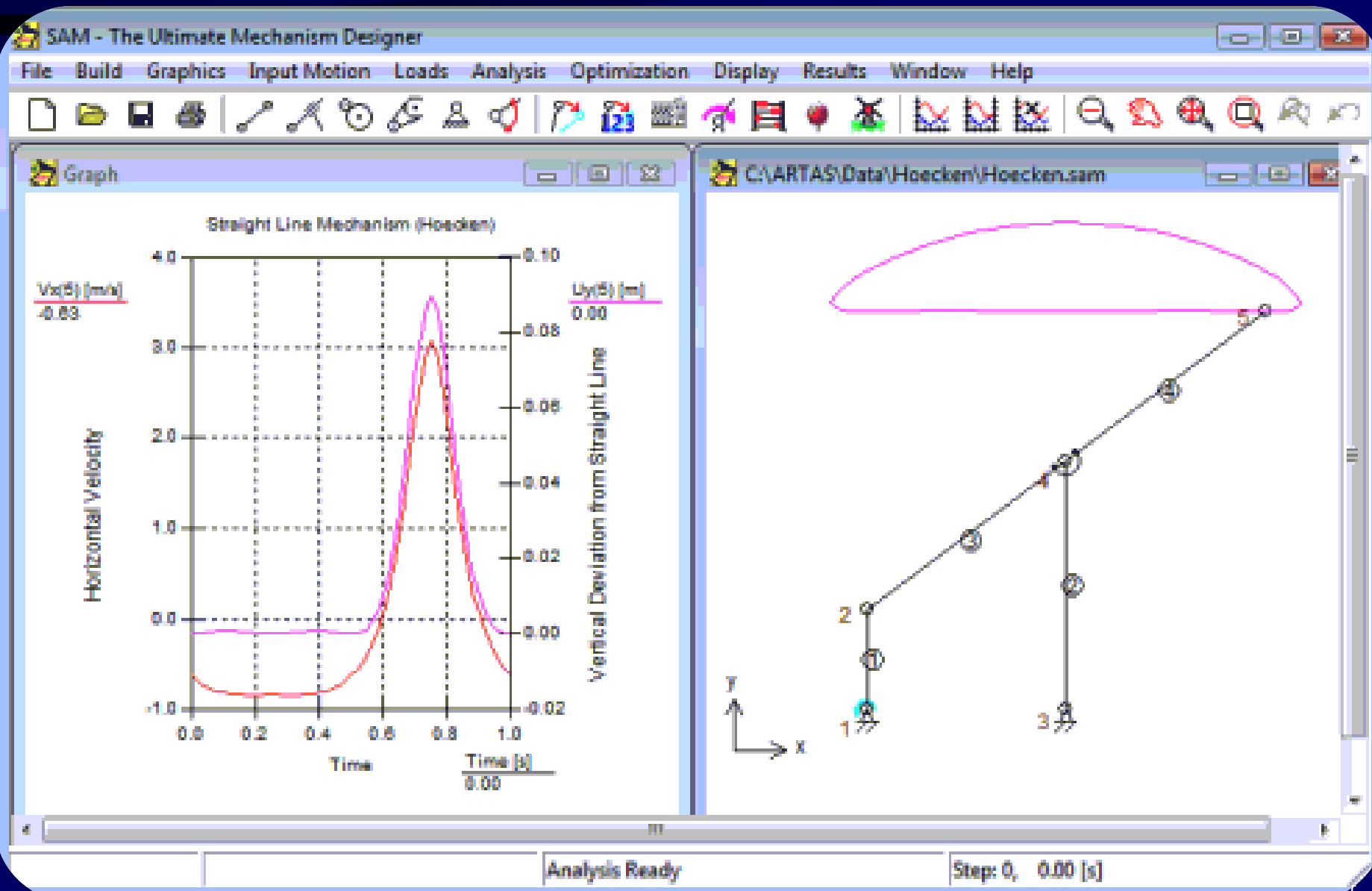
W **analizie** głównymi problemami, jakie należy rozwiązać są:

- badanie struktury,
- analiza kinematyczna,
- analiza dynamiczna.

Badanie struktury maszyn i mechanizmów ma na celu ich klasyfikację i określenie ruchliwości. Wykonany schemat kinematyczny jest wykorzystywany w analizie kinematycznej i dynamicznej.



# Podstawowe terminy i definicje

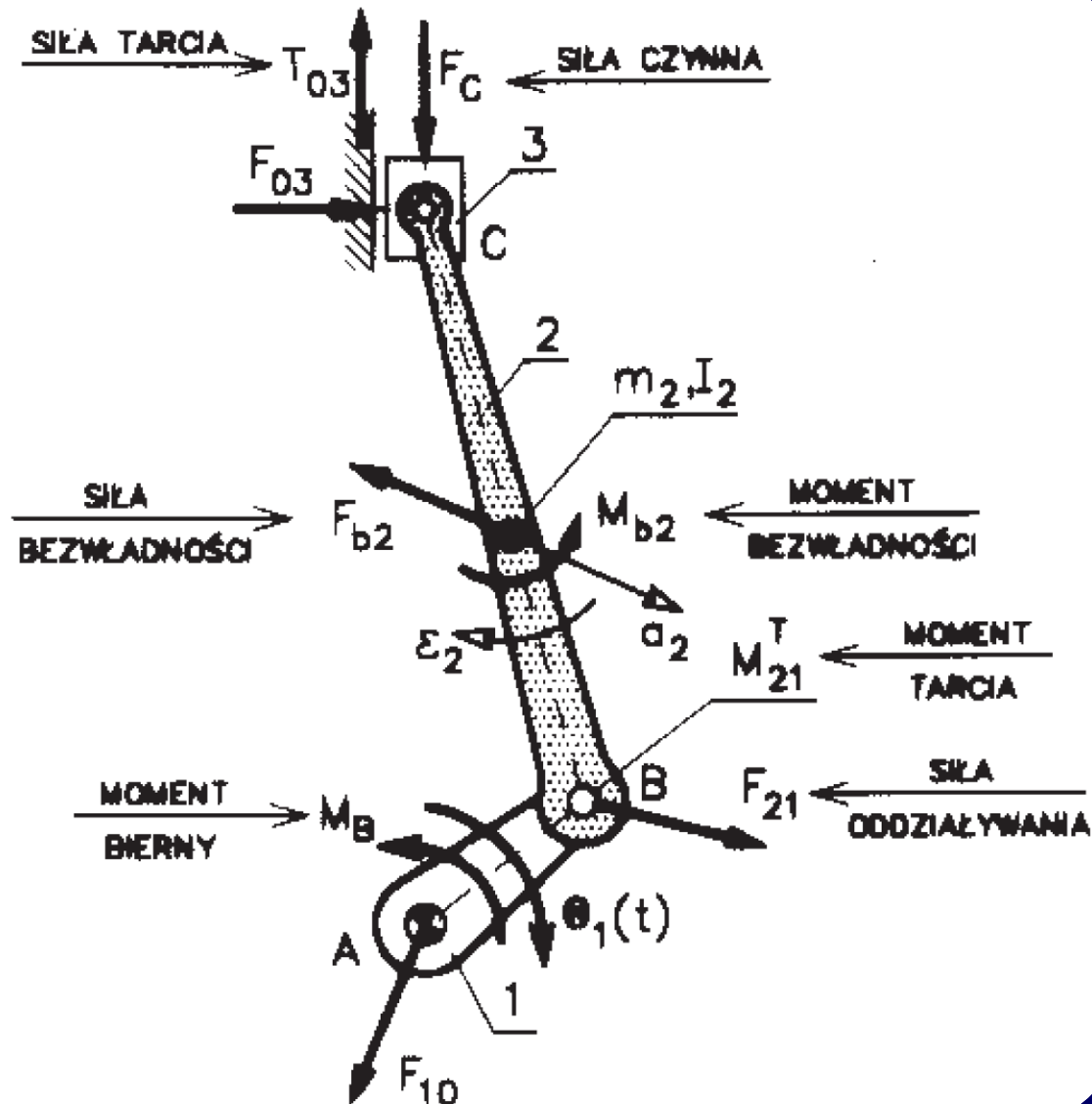


# Podstawowe terminy i definicje

W analizie

- badanie
- analiza
- analiza

Analiza dyn  
działających



łączeniem sił



# Podstawowe terminy i definicje

Natomiast wśród celów **syntezy** wyróżnia się:

- poszukiwanie struktury mechanizmów dla zadanych wymagań,
- poszukiwanie właściwości mechanizmów spełniających stawiane im wymagania kinematyczne lub dynamiczne.

Tab. Podstawowe schematy strukturalne [Szrek 2008]

Łańcuch pośrebniczący U	Schematy strukturalne	
001		
120		
231A	1	2
231B	1	2
231C	1	2
231D	1	2
231E		



Tab. Możliwe warianty łańcucha kinematycznego [Szrek 2008]

Liczba elementów $k$	liczba par I klasy $p_1$	liczba par II klasy $p_2$	symbol $U_i (k p_1 p_2)$
0	0	1	0 0 1
1	2	0	1 2 0
2	3	1	2 3 1
3	5	0	3 5 0

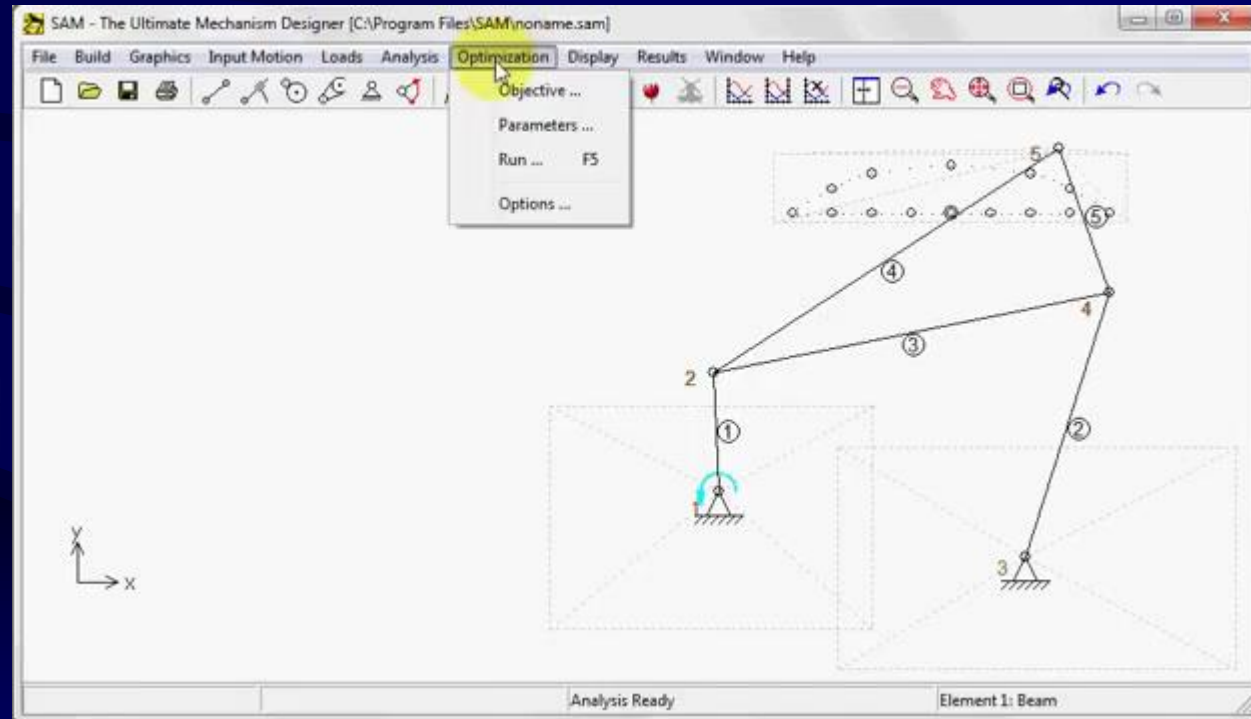
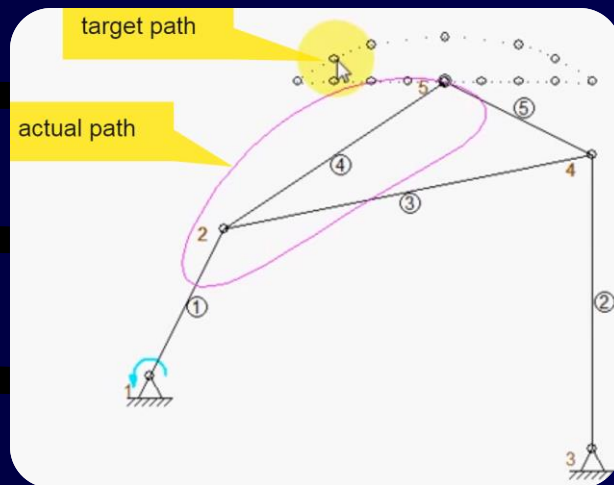
Tab. Wybrane schematy kinematyczne [Szrek 2008]

A	J				
001					
AB	RR	RT	TR	TT	
120					
ABCD	JRRR	JRRT	JRTR	JTRR	
231A2					
ABCD	RRRJ	RRTJ	RTRJ	TRRJ	
231C1					

# Podstawowe terminy i definicje

Natomiast wśród celów **syntezy** wyróżnia się:

- poszukiwanie struktury mechanizmów dla zadanych wymagań,
- poszukiwanie właściwości mechanizmów spełniających stawiane im wymagania kinematyczne lub dynamiczne.



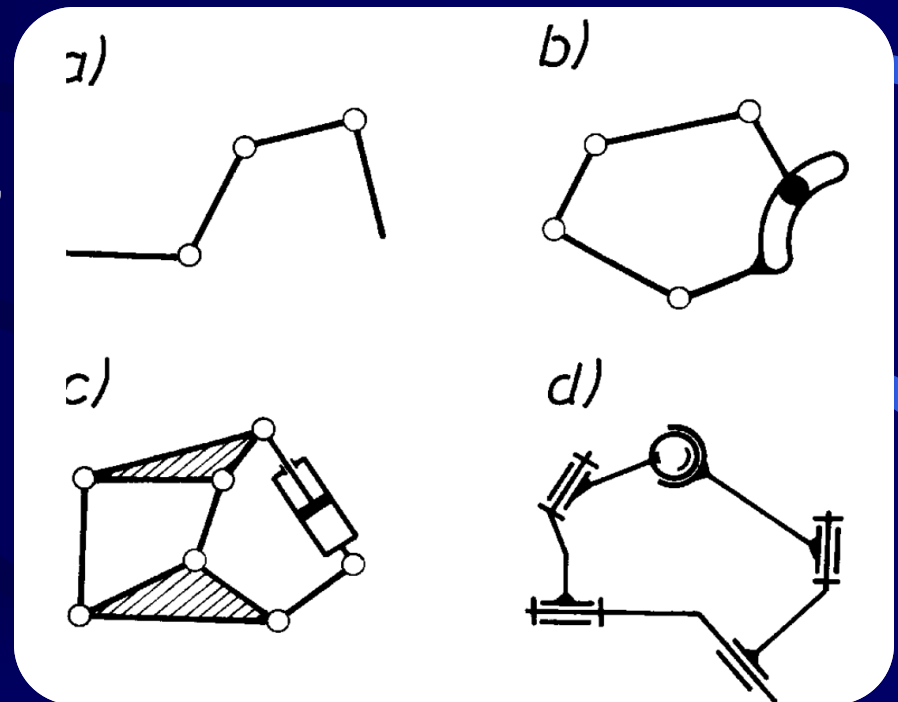
# Podstawowe terminy i definicje

## Mechanizm

1. Wybrane definicje odrzucające manipulatory jako mechanizmy:

- Franz Reuleaux (1829-1905) – „assemblage of resistant bodies, connected by movable joints, to form a closed kinematic chain with one link fixed and having the purpose of transforming motion” [Uicker 2011].
- Miller S. – „zamknięty łańcuch kinematyczny z jednym członem spełniającym funkcję podstawy, charakteryzujący się liczbą członów czynnych równą jego ruchliwości”.

**Łańcuch kinematyczny zamknięty** to szereg członów połączonych ze sobą ruchowo tak, że każdy z nich tworzy parę przynajmniej z dwoma członami.





# Podstawowe terminy i definicje

## Mechanizm

2. Wybrane definicje traktujące manipulatory jako mechanizmy:

- Felis, Jaworowski, Cieślik – „to łańcuch kinematyczny wykonujący ściśle określony ruch”.

*„Łańcuch kinematyczny jest to układ członów połączonych w pary kinematyczne” z jednym członem nieruchomym.*

- Wawrzecki J. – „jest to układ połączonych ze sobą ciał (ogniw) o ściśle określonym ruchu względnym, którego zadaniem jest przeniesienie ruchu”.

Występują jeszcze definicje odrzucające twory naturalne jako mechanizmy.

### **Mechanizm przestrzenny**

Każdy rzeczywisty mechanizm jest mechanizmem przestrzennym. Wyodrębnia się z tej grupy mechanizmy płaskie w celu łatwiejszej analizy kinematycznej i częściowo strukturalnej i dynamicznej.

**Mechanizm płaski** to taki, w którym punkty wszystkich członów poruszają się w płaszczyznach wzajemnie równoległych do pewnej nieruchomej płaszczyzny.



# Podstawowe terminy i definicje

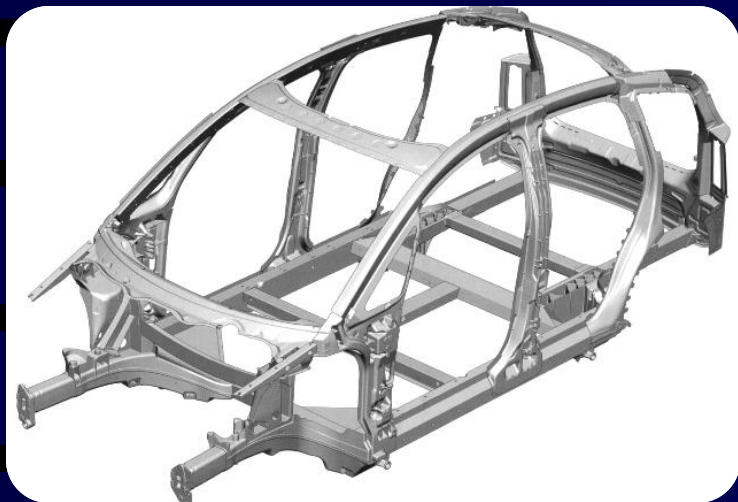
## Maszyna

- Franz Reuleaux (1829-1905) – „combination of resistant bodies so arranged that by their means the mechanical forces of nature can be compelled to do work accompanied by certain determinate motions” [Uicker 2011].
- Felis, Jaworowski, Cieślik – „to zespół mechanizmów wykonujących żadaną pracę związaną z procesami technologicznymi lub przemianą energii”.
- Miller S. – to *„urządzenie, w którym z udziałem ruchu mechanicznego zachodzi proces energetyczny polegający na wykonywaniu pracy użytecznej lub przekształcaniu energii”*.
- „zespół wyposażony lub który można wyposażyć w mechanizm napędowy inny niż bezpośrednio wykorzystujący siłę mięśni ludzkich lub zwierzęcych, składający się ze sprzężonych części lub elementów, z których przynajmniej jedna jest ruchoma, połączonych w całość mającą konkretne zastosowanie”[1228, ROZPORZĄDZENIE MINISTRA GOSPODARKI z dnia 21 października 2008 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn].



# Podstawowe terminy i definicje

**Układ sztywny** – są to połączone ciała sztywne, które nie posiadają możliwości ruchu względnego i przeznaczone są do przenoszenia obciążeń.



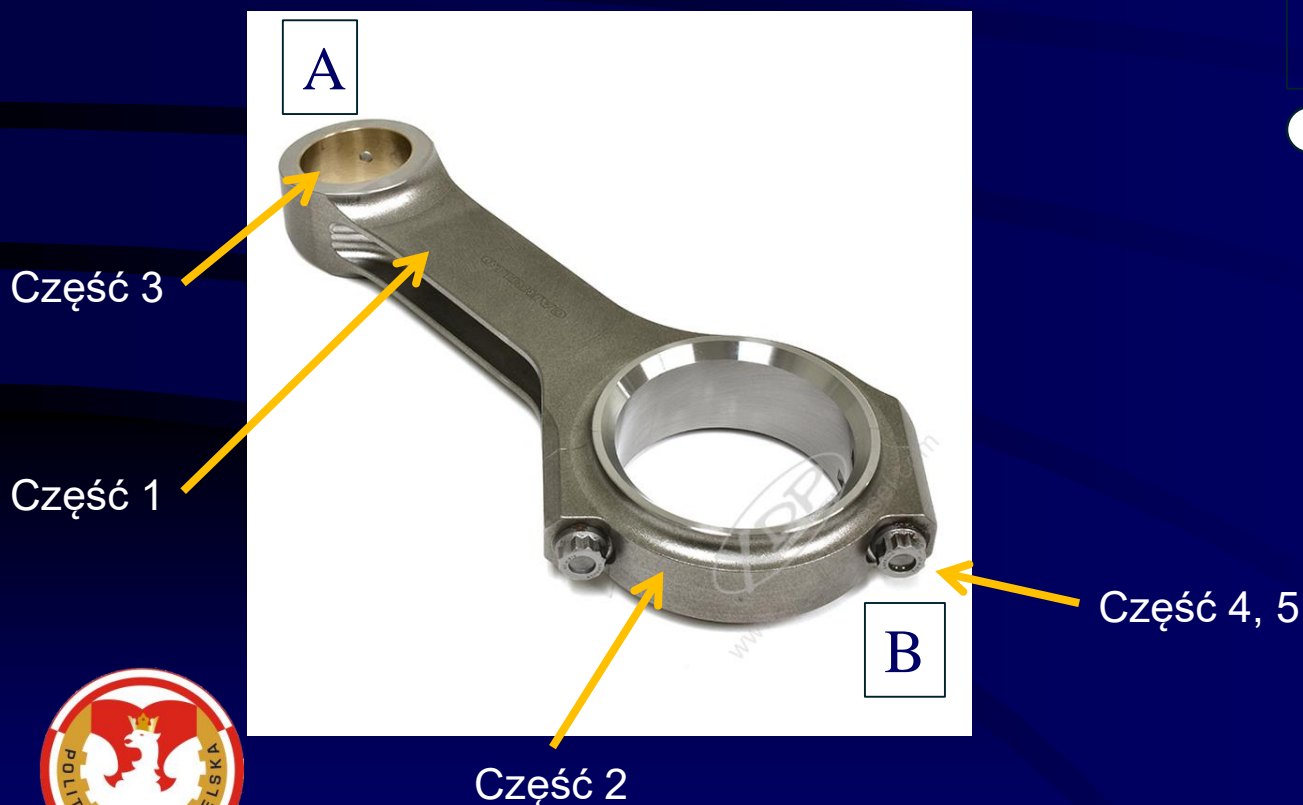
# Podstawowe terminy i definicje

## Człon (ogniwo):

jest to element lub sztywno połączone elementy, z których wykonany jest mechanizm lub maszyna, pośredniczący w przekazywaniu ruchu.

Korbowód – wykonanie rzeczywiste

Korbowód – schemat kinematyczny

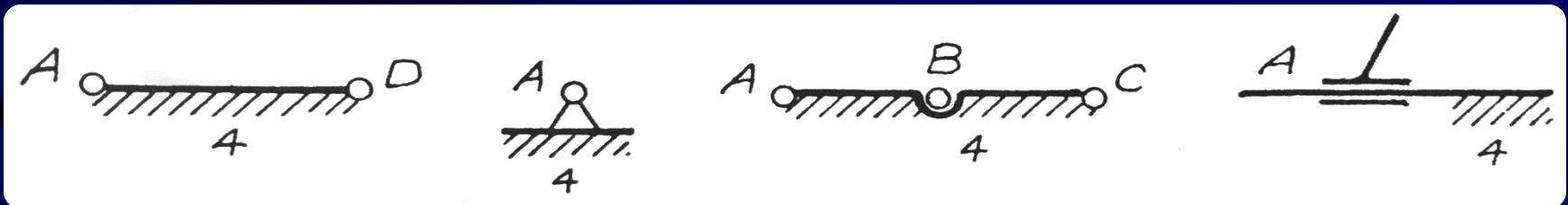


# Podstawowe terminy i definicje

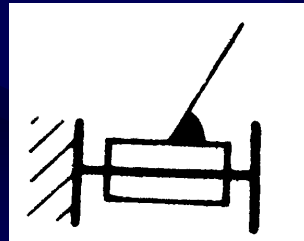
## Rodzaje członów (ogniw)

1. Podział ze względu na ruch wykonywany względem przyjętego układu odniesienia:

- ruchome (np. wał, tłok, łącznik) – wykonujące ruch względem przyjętego układu odniesienia,
- nieruchome (np. podstawa, rama, korpus) – nie wykonujące ruchu względem przyjętego układu odniesienia.



Rys. Człon nieruchomy 4 wchodzący w skład pary obrotowej (a, b, c) i przesuwnej (d)



Rys. Człon nieruchomy wchodzący w skład pary obrotowej przestrzennej

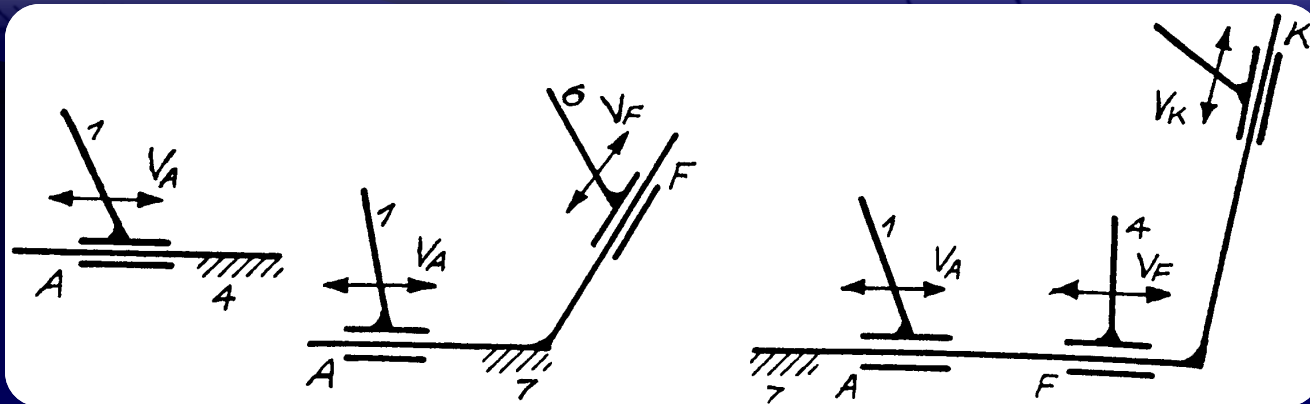
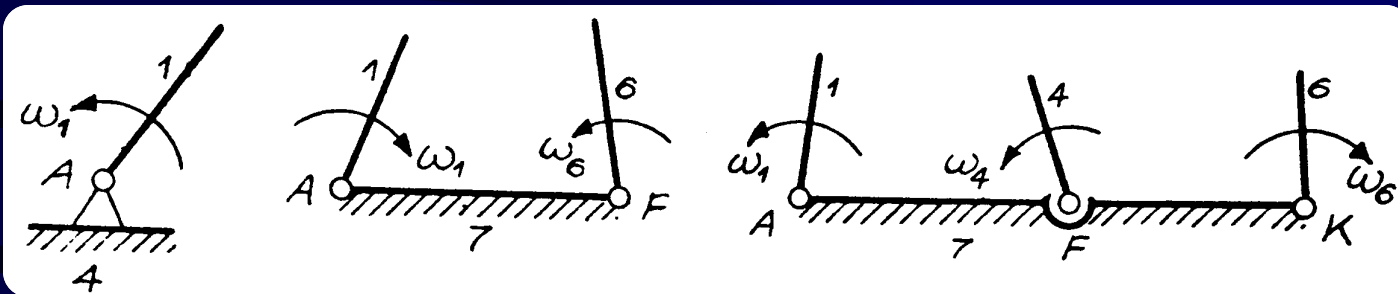


# Podstawowe terminy i definicje

## Rodzaje członów (ogniw)

2. Podział ze względu na spełnianą rolę:

- czynne (napędzające) – których ruch jest znany,
- bierne (napędzane),
- pośredniczące.



Rys. Człon czynny

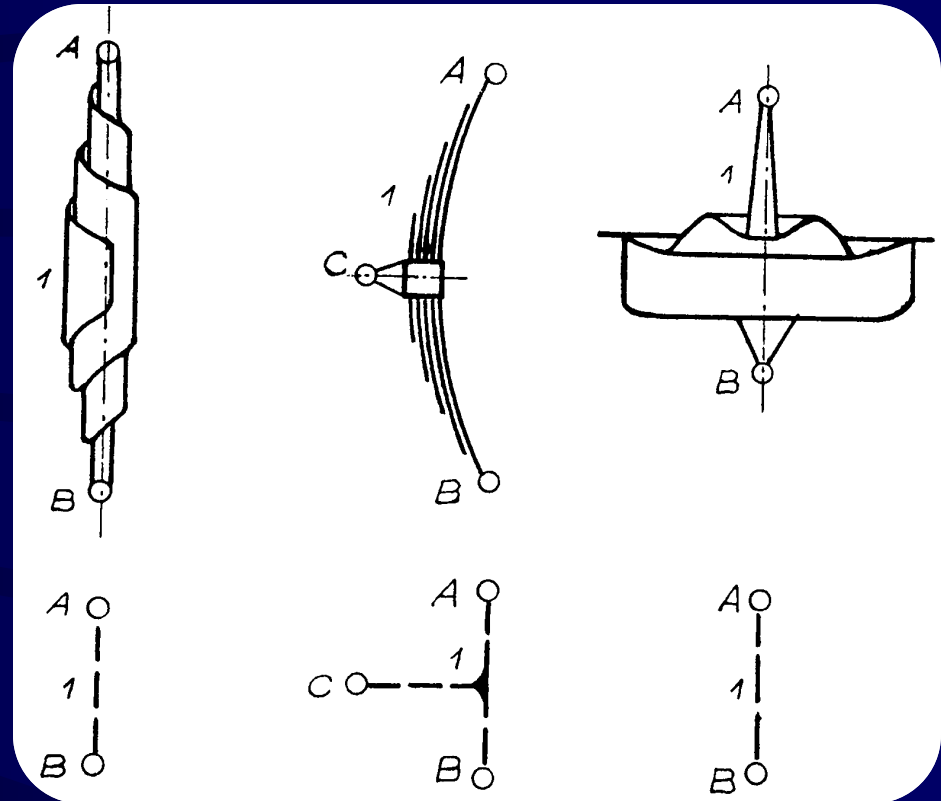
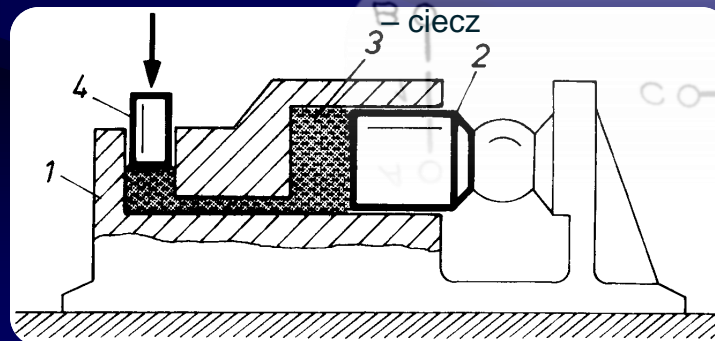
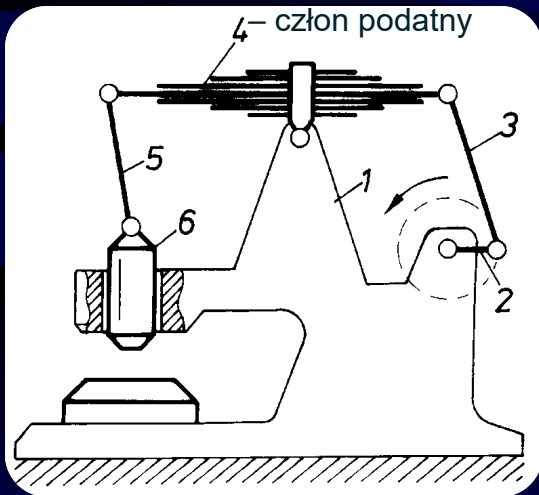


# Podstawowe terminy i definicje

## Rodzaje członów (ogniw)

3. Podział ze względu na podatność:

- sztywne – zakłada się, że są nieodkształcalne,
- podatne np. sprężyna,
- ciecze i gazy.




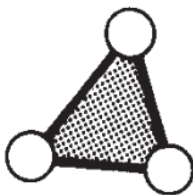
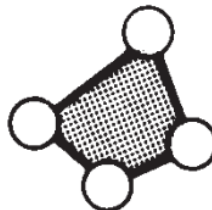
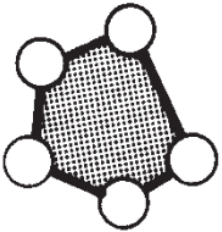

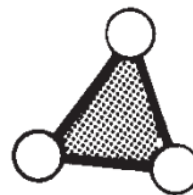
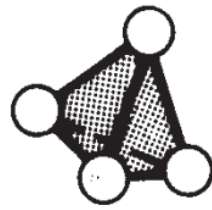
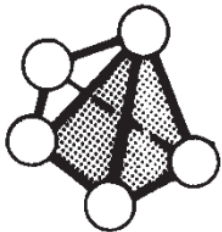
Rys. Człon podatny



# Podstawowe terminy i definicje

## Rodzaje członów (ogniw)

Człony łączą się w miejscu zwanym półparą lub półwęzłem, i w zależności od ilości miejsc połączeń wyróżnia się ogniwa 2, 3 i  $n$  węzłowe.

Typy członów		$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_5$
Graficzna postać członów wielowęzłowych	w układzie płaskim				
	w układzie przestrzennym				





# Podstawowe terminy i definicje

**Para kinematyczna (węzeł kinematyczny)** to miejsce ruchowego połączenia członów.

Klasyfikacja par kinematycznych może być przeprowadzona ze względu na:

1. Rodzaj ruchu między członami.
2. Typ kontaktu między członami.
3. Sposób zapewnienia stałego kontaktu między członami.
4. Liczbę połączonych członów.
5. Liczbę stopni swobody w ruchu względnym.



# Podstawowe terminy i definicje

Klasyfikacja par kinematycznych ze względu na:

1. Rodzaj ruchu między członami:

- a) Para obrotowa.** Człony są połączone w taki sposób, że mogą wykonywać względem siebie tylko ruch obrotowy. 1 stopień swobody.
- b) Para przesuwna (postępowa).** Człony są połączone w taki sposób, że mogą wykonywać względem siebie tylko ruch postępowy. 1 stopień swobody.
- c) Para cylindryczna.** Człony są połączone w taki sposób, że mogą wykonywać względem siebie ruch obrotowy i niezależnie ruch postępowy. 2 stopnie swobody.



# Podstawowe terminy i definicje

Klasyfikacja cd.

**d) Para śrubowa.** Człony są połączone za pośrednictwem gwintu np. śruba i nakrętka). Mogą wykonywać względem siebie ruch obrotowy i jednocześnie znany ruch prostoliniowy. 1 stopień swobody.

**e) Para sferyczna (kulista).** Człony są połączone w taki sposób, że mogą wykonywać względem siebie tylko trzy ruchy obrotowe. 3 stopnie swobody.

**f) Para płaska (płaszczyznowa).** Człony są połączone w taki sposób, że mogą wykonywać wględem siebie, na płaszczyźnie, ruchy postępowe w dwóch kierunkach oraz obrót wokół osi prostopadłej do tej płaszczyzny. Jest to rzadko spotykana para w mechanizmach i służy jako punkt podparcia. 3 stopnie swobody.



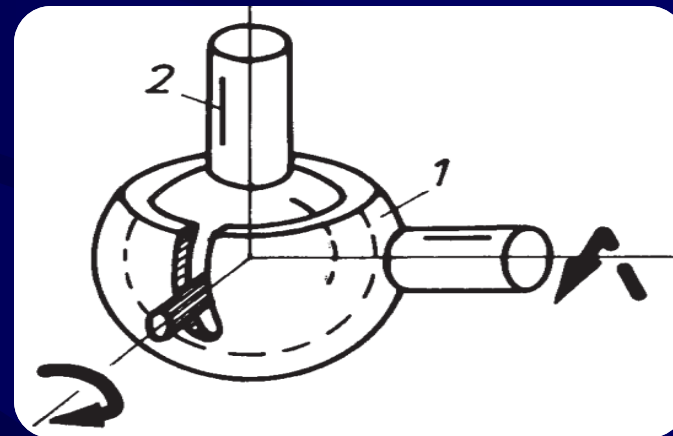
# Podstawowe terminy i definicje

Klasyfikacja par kinematycznych ze względu na:

1. Rodzaj ruchu między członami:

Teoretycznie możliwe:

**g) Para kulista z czopem.** Człony są połączone w taki sposób, że mogą wykonywać względem siebie ruchy obrotowe względem dwóch osi. 2 stopnie swobody.



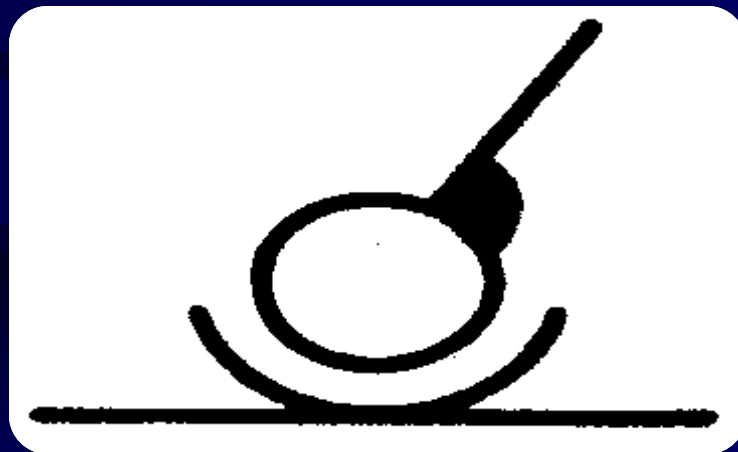
# Podstawowe terminy i definicje

Klasyfikacja par kinematycznych ze względu na:

1. Rodzaj ruchu między członami:

Teoretycznie możliwe:

**h) Para kula-cylinder.** Człony są połączone w taki sposób, że mogą wykonywać względem siebie ruch obrotowy względem trzech osi i ruch prostoliniowy względem jednej osi. 4 stopnie swobody.



# Podstawowe terminy i definicje

Klasyfikacja par kinematycznych ze względu na:

1. Rodzaj ruchu między członami:

Teoretycznie możliwe:

**i) Para kula płaszczyzna.** Człony są połączone w taki sposób, że mogą wykonywać względem siebie ruch obrotowy względem trzech osi i ruch prostoliniowy względem dwóch osi. 5 stopni swobody.



# Podstawowe terminy i definicje

## Oznaczenie schematyczne

## Konstrukcja

## Realizacja techniczna

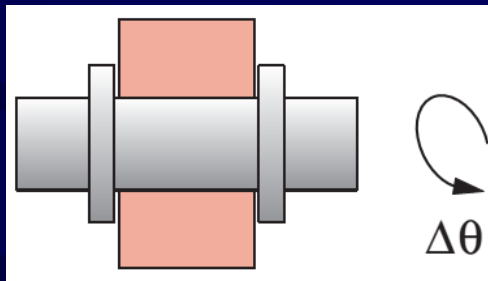
### a) Para obrotowa – I



Rys. Płaska



Rys. Przestrzenna



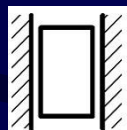
### b) Para przesuwna (postępowa) - I



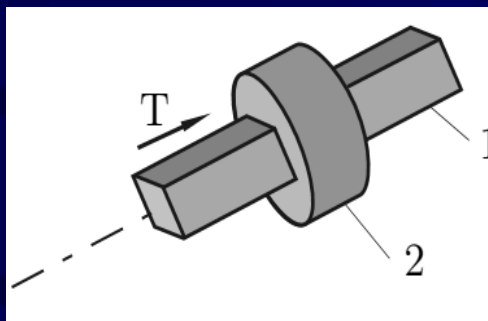
Rys. Płaska



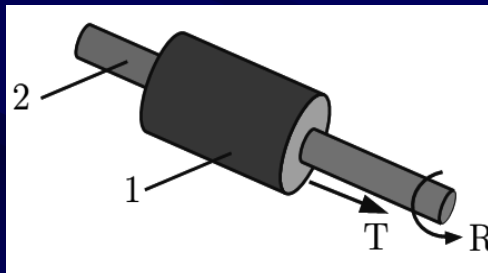
Rys. Przestrzenna



Rys. Płaska



### c) Para cylindryczna - II



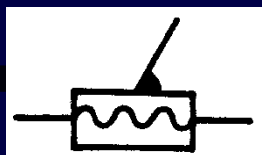
# Podstawowe terminy i definicje

Oznaczenie schematyczne

Konstrukcja

Realizacja techniczna

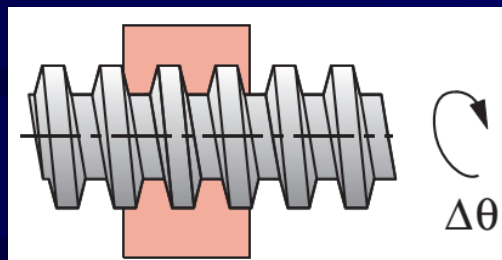
d) Para śrubowa – I



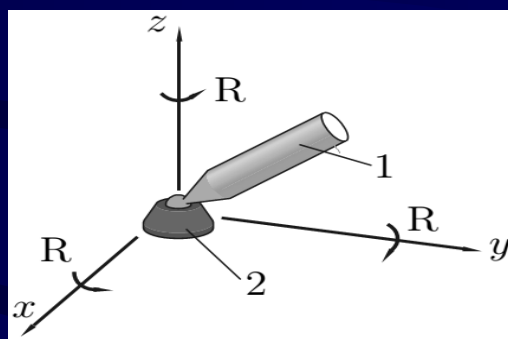
Rys. Wersja 1



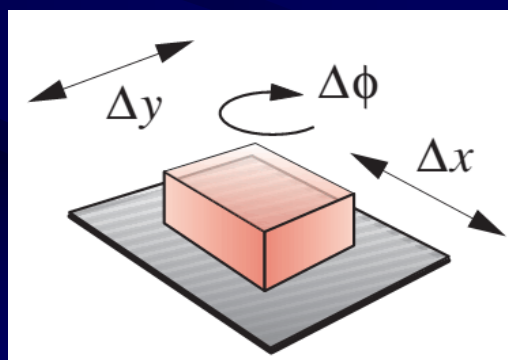
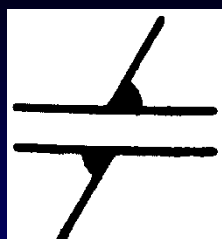
Rys. Wersja 2



e) Para sferyczna (kulista) – III



f) Para płaska (płaszczyznowa) – III





# Podstawowe terminy i definicje

2. Ze względu na rodzaj kontaktu między członami (*Reuleaux*):

**a) Pary niższe.** Człony mają kontakt powierzchniowy i w trakcie ruchu jedna powierzchnia ślizga się po drugiej. Przykłady par niższych (w realizacjach technicznych): obrotowa, przesuwna, śrubowa, cylindryczna, sferyczna, płaska.

**b) Pary wyższe.** Człony mają (teoretycznie) kontakt liniowy lub punktowy i w trakcie ruchu powierzchnie się ślizgają po sobie oraz dochodzi do ich toczenia. Przykłady par wyższych posiadających 2 stopnie swobody: zazębienie oraz krzywka i popychacz.

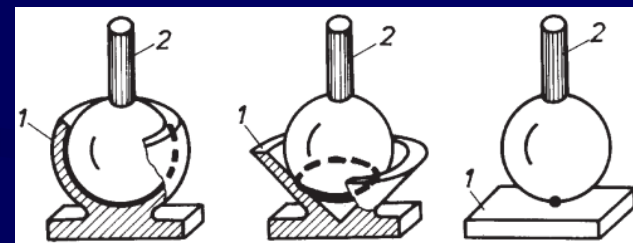


# Podstawowe terminy i definicje

## 2. Ze względu na rodzaj kontaktu między członami (*Reuleaux*) cd.:



Rys. Koła zębate



Rys. Para sferyczna konstrukcja teoretyczna



Rys. Liczba stopni swobody, schemat ideowy i symboliczny zazębienia



Rys. Krzywka i popychacz



Rys. Liczba stopni swobody i schemat ideowy krzywki i popychacza



# Podstawowe terminy i definicje

3. Sposób zapewnienia stałego kontaktu między członami :

**a) Para zamknięta (samozwarta)** określana jest jako połączenie mechaniczne dwóch członów w taki sposób, aby występował tylko wymagany ruch względny. Wszystkie pary niższe należą do tej grupy.

**b) Para otwarta (niesamozwarta)** wymaga działania dodatkowych sił zewnętrznych do zapewnienia ciągłego kontaktu członów. Stosowane są sprężyny, siła ciężkości itd. Przykładem jest przedstawiona na rysunku para krzywka – popychacz.

Rys. Para otwarta krzywka i popychacz



Rys. Para zamknięta sferyczna

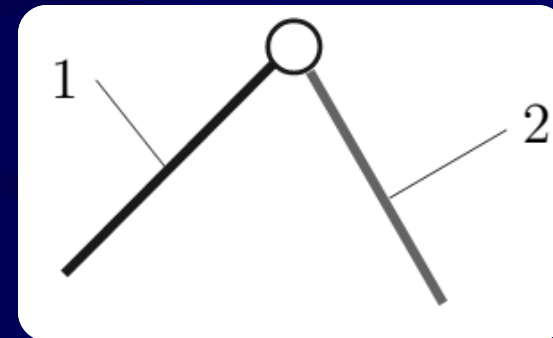
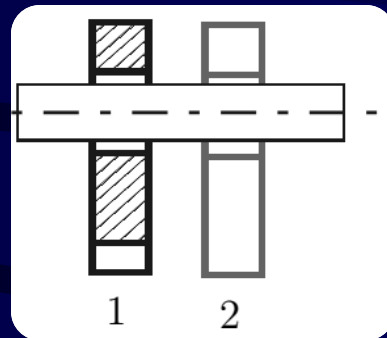


# Podstawowe terminy i definicje

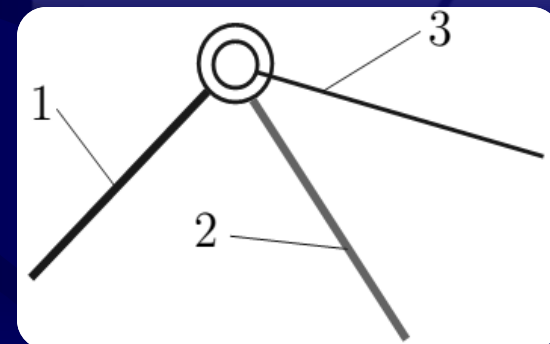
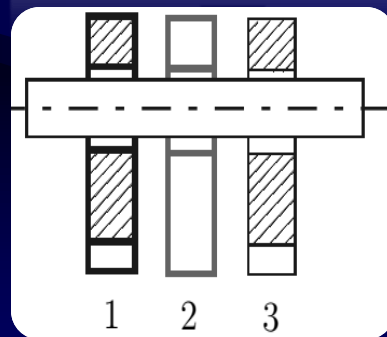
## 4. Liczbę członów w parze kinematycznej

Krotność pary jest określona jako liczba członów minus jeden. Połączenie ruchowe dwóch członów to para jednokrotna, trzech – dwukrotna itd.

Rys. Para jednokrotna



Rys. Para dwukrotna

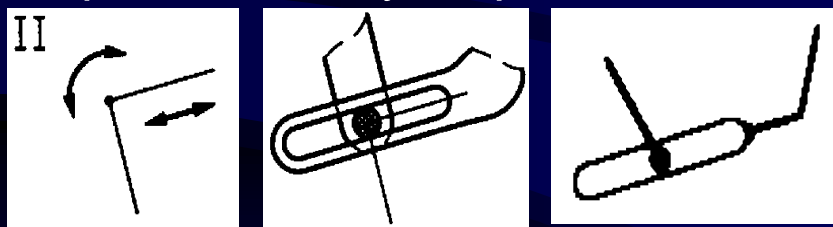


# Podstawowe terminy i definicje

## 5. Liczbę stopni swobody w ruchu względnym

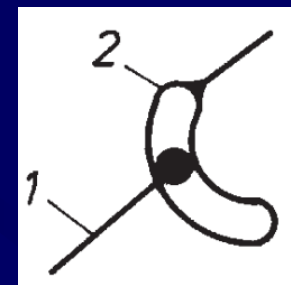
Jest to najbardziej rozpowszechniony podział par kinematycznych. **Klasę pary** określa się jako liczba pozostawionych\* stopni swobody. Para obrotowa i przesuwna jest więc klasy *I*, cylindryczna klasy *II*, sferyczna klasy *III* itd.

W mechanizmach występują także pary jarzmowe posiadające dwa stopnie swobody nieprzedstawiane wcześniej.



Rys. Liczba stopni swobody, schemat ideowy i symboliczny pary jarzmowej

Odmianą tej pary jest para kulisowa z jarzmem krzywoliniowym.



\* Stosowane jest również inne podejście do określania klasy par kinematycznych. Liczba odebranych stopni swobody określa klasę pary, a więc para obrotowa jest klasy *V*.

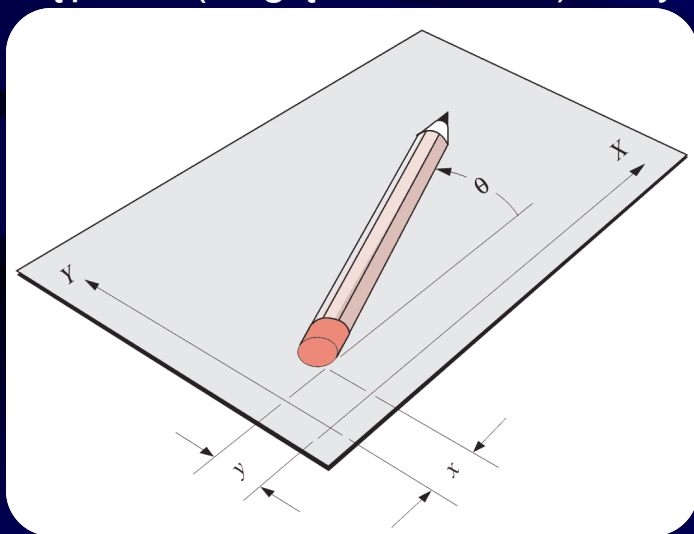


# Podstawowe terminy i definicje

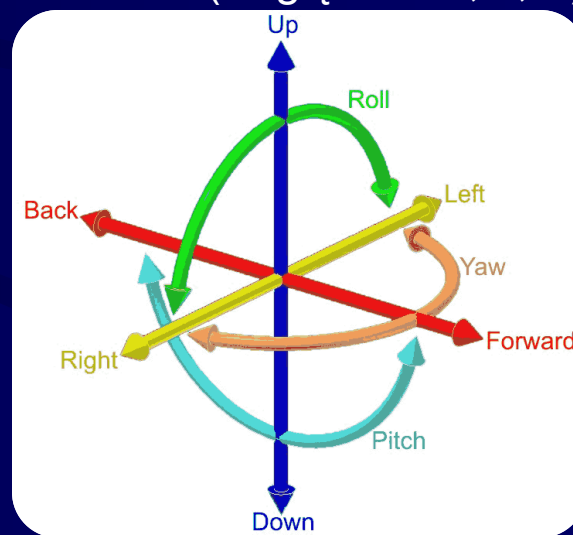
## Liczba stopni swobody

Felis, Jaworowski, Cieřlik – „*Liczbą stopni swobody członu sztywnego (bryły sztywnej) nazywamy liczbę niezależnych współrzędnych uogólnionych określających jego położenie w przestrzeni względem wybranego układu współrzędnych*”.

Ruch członu swobodnego w przestrzeni można przedstawić jako trzy niezależne ruchy postępowe (względem X, Y, Z) i trzy ruchy obrotowe (względem X, Y, Z)



Rys. Człon sztywny w przestrzeni 2D (płaszczyzna)  
– 3 stopnie swobody



Rys. Człon sztywny w przestrzeni 3D – 6 stopni swobody



# Podstawowe terminy i definicje

## Ruchliwość mechanizmu

Jest to liczba stopni swobody jaką posiadają człony względem podstawy.

Inaczej ruchliwość mechanizmu może być określona jako liczba napędów, które należy zastosować, aby jego ruch był jednoznaczny.

Wzór na obliczanie ruchliwości mechanizmów płaskich, zwany kryterium Kutzbacha, jest następujący:

$$W = 3(n - 1) - 2 p_1 - p_2$$

$W$  = ruchliwość,

$n$  = liczba członów łącznie z podstawą,

$p_1$  = liczba par kinematycznych klasy I,

$p_2$  = liczba par kinematycznych klasy II.

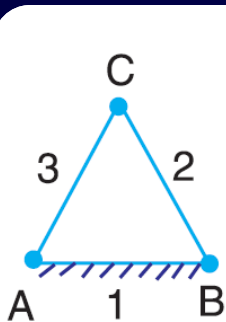
a dla mechanizmów przestrzennych:

$$W = 6(n - 1) - 5 p_1 - 4 p_2 - 3 p_3 - 2 p_4 - p_5$$

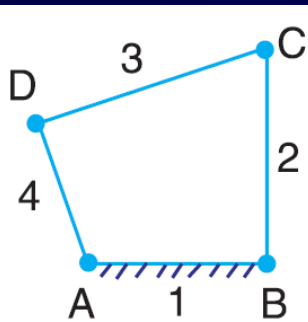


# Podstawowe terminy i definicje

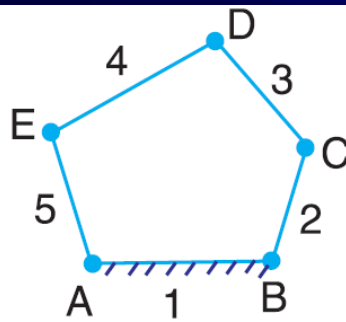
## Ruchliwość mechanizmów płaskich - przykłady



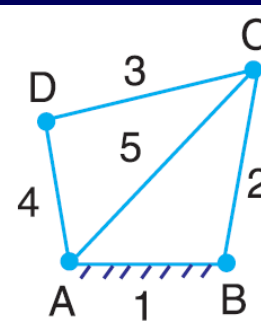
(a) Three-bar mechanism.



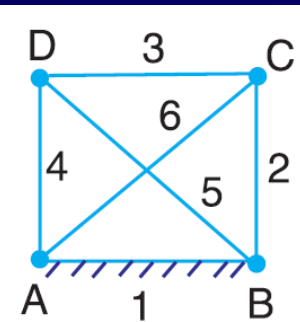
(b) Four bar mechanism.



(c) Five bar mechanism.



(d) Five bar mechanism.



(e) Six bar mechanism.





# Podstawowe terminy i definicje

Ruchliwość mechanizmów zbudowanych w oparciu o pary obrotowe:

a) Mechanizm ma trzy człony i trzy pary kinematyczne klasy I tj.  $n = 3$  i  $p_1 = 3$

$$W = 3(3 - 1) - 2 \times 3 = 0$$

b) Mechanizm ma cztery człony i cztery pary kinematyczne klasy I tj.  $n = 4$  i  $p_1 = 4$

$$W = 3(4 - 1) - 2 \times 4 = 1$$

c) Mechanizm ma pięć członów i pięć par kinematycznych klasy I tj.  $n = 5$  i  $p_1 = 5$

$$W = 3(5 - 1) - 2 \times 5 = 2$$

d) Mechanizm ma pięć członów i sześć par kinematycznych klasy I tj. (para kinematyczna A i C jest parą dwukrotną)  $n = 5$  i  $p_1 = 6$

$$W = 3(5 - 1) - 2 \times 6 = 0$$

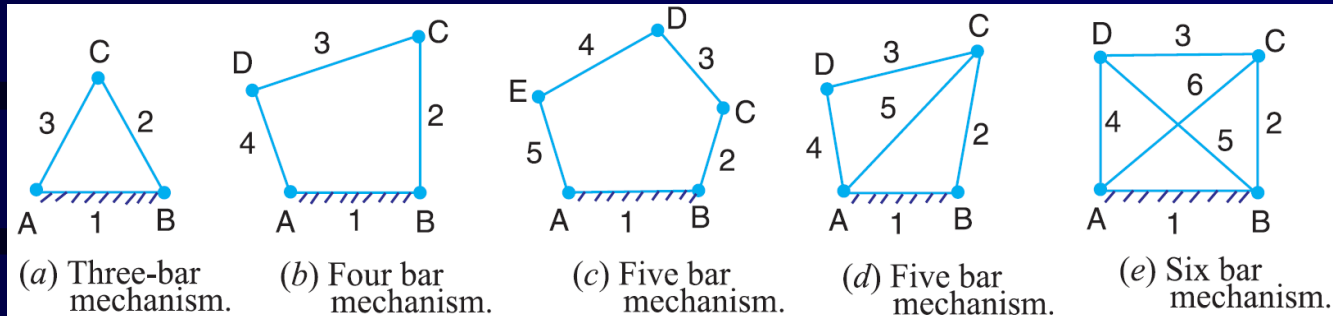
e) Mechanizm ma sześć członów i osiem par kinematycznych klasy I tj.  $n = 6$  i  $p_1 = 8$

$$W = 3(6 - 1) - 2 \times 8 = -1$$



# Podstawowe terminy i definicje

## Ruchliwość mechanizmów płaskich - przykłady



Należy zauważyć, że:

- Kiedy  $W = 0$ , to mechanizm tworzy układ sztywny i żaden ruch względny między członami nie jest możliwy, rys. *a* i *d*;
- Kiedy  $W = 1$ , to mechanizm może być napędzany jednym silnikiem, rys. *b*;
- Kiedy  $W = 2$ , to dwa niezależne źródła napędu są wymagane, aby zapewnić jednoznaczny ruch, rys. *c*;
- Kiedy  $W = -1$  lub mniej, to występują niepotrzebne więzy i jest to układ sztywny statycznie niewyznaczalny, rys. *e*.



# Podstawowe terminy i definicje

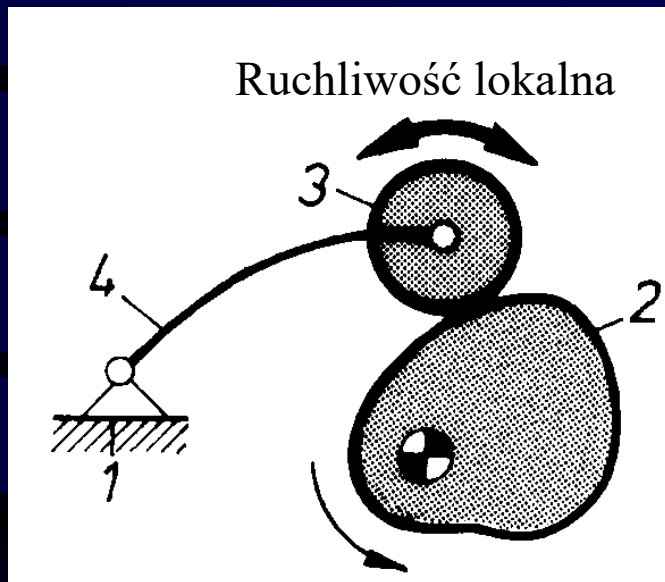
$W \leq 0$  Mechanizm z zerową lub mniejszą ruchliwością określany jest jako mechanizm zablokowany i tworzy układ sztywny.

$W > 1$  Mechanizm z ruchliwością większą niż jeden wymaga więcej niż jednego niezależnego źródła napędu. Generalnie taki mechanizm zapewnia dokładniejsze pozycjonowanie członów. Nie ma wymagania, aby projektowany mechanizm miał ruchliwość równą jeden, aczkolwiek upraszcza to sterowanie i jest stosowane w większości mechanizmów.



# Podstawowe terminy i definicje

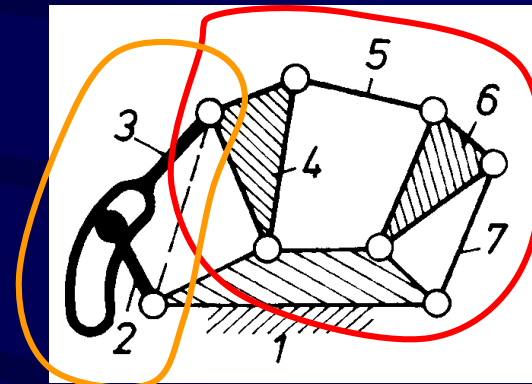
Równanie ruchliwości nie uwzględnia geometrii członów (wymiarów oraz kształtu) i kolejności połączeń, tylko ich liczbę i typy par kinematycznych jakie tworzą. **Dlatego to równanie nie zawsze się sprawdza.**



$$W_{\text{rzeczywiste}} = 1$$

$$W_{\text{równanie}} = 3 \times 3 - 2 \times 3 - 1 = 2$$

Ruchliwość niepełna



**Mechanizm**

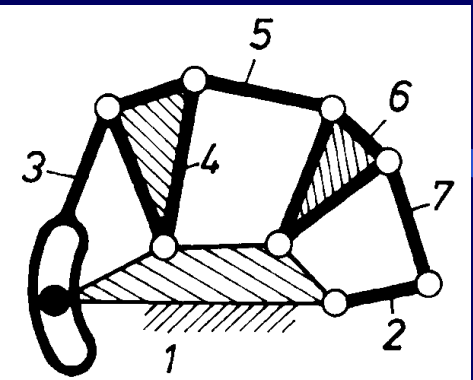
$$W_{\text{rzeczywiste}} = 1$$

**Struktura**

$$W_{\text{rzeczywiste}} = 0$$

$$W_{\text{równanie}} = 3 \times 6 - 2 \times 8 - 1 = 1$$

Ruchliwość pełna



$$W_{\text{rzeczywiste}} = 1$$

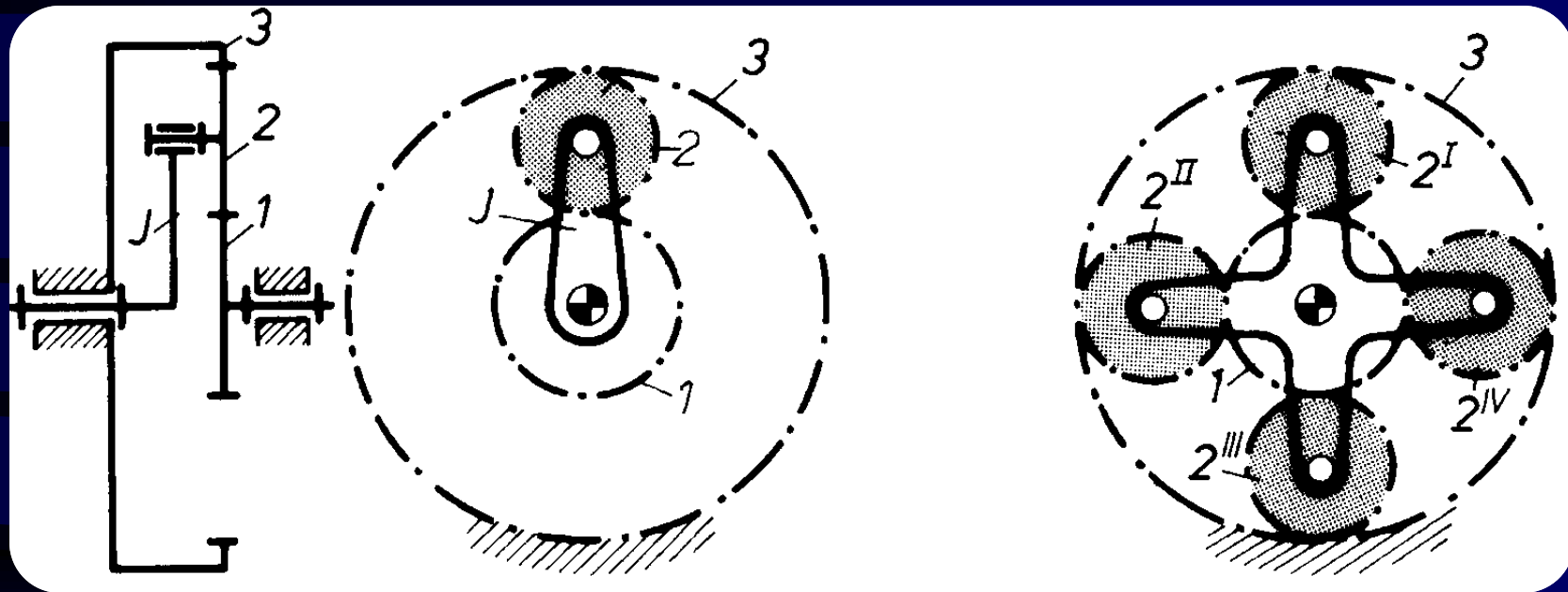
$$W_{\text{równanie}} =$$

$$3 \times 6 - 2 \times 8 - 1 = 1$$



# Podstawowe terminy i definicje

Więzy bierne (przesztywnienia)



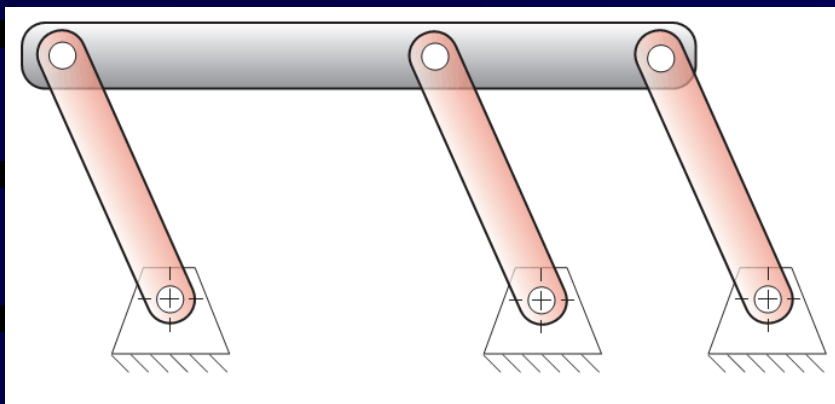
$$W_{\text{rzeczywiste}} = 1$$
$$W_{\text{równanie}} = 3 \times 3 - 2 \times 3 - 2 = 1$$

$$W_{\text{rzeczywiste}} = 1$$
$$W_{\text{równanie}} = 3 \times 6 - 2 \times 6 - 8 = -2$$



# Podstawowe terminy i definicje

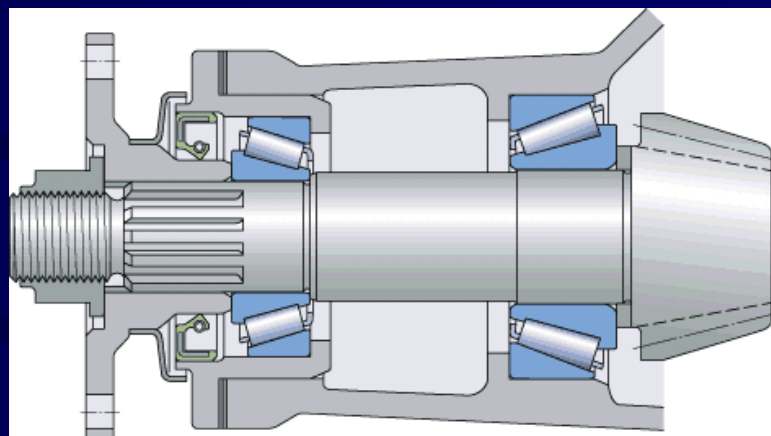
Więzy bierne (przesztywnienia)



$$W_{\text{rzeczywiste}} = 1$$

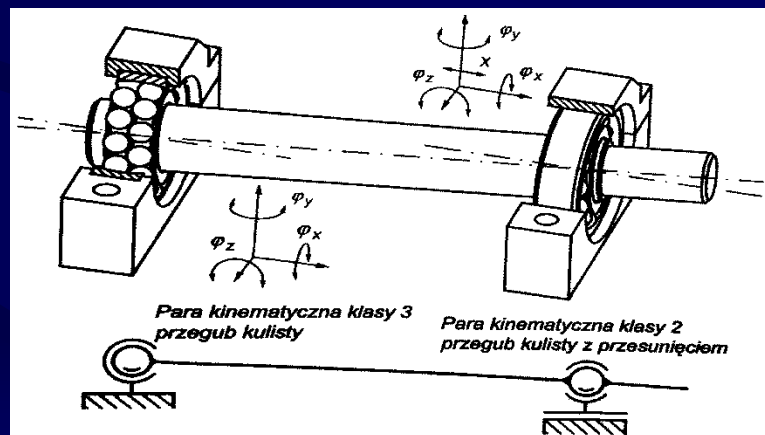
$$W_{\text{równanie}} = 3 \times 4 - 2 \times 6 = 0$$

Przedstawione konstrukcje na tym i poprzednim slajdzie określane są mianem nieracjonalnych.



$$W_{\text{rzeczywiste}} = 1$$

$$W_{\text{równanie}} = 3 \times 1 - 2 \times 2 = -1$$



# Literatura

Slajd 4 - Rys. Program SAM (Synthesis and Analysis of Mechanisms) [<https://www.artas.nl/en/>]

Slajd 5 - Rys. [Gronowicz 2003]

Slajd 7 - Rys. Program SAM [Artas]

Slajd 8 - Rys. Łańcuchy kinematyczne [Miller 1989]

Slajd 11 - Rys. Rama samochodu [<https://mechanics.stackexchange.com/tags/frame/info>]

Slajd 11 - Rys. Most [[qctimes.com/traffic/photos-new-i--bridge/collection\\_6fedb8c6-c1ae-11e3-a1b9-0019bb2963f4.html](http://qctimes.com/traffic/photos-new-i--bridge/collection_6fedb8c6-c1ae-11e3-a1b9-0019bb2963f4.html)]

Slajd 12 - Rys. [<http://www.xtremediesel.com/Carrillo-Cummins-Pro-H-Connecting-Rod-with-H-11-Bolts.aspx>]

Slajd 13 - Rys. Człon nieruchomy 4 wchodzący w skład pary obrotowej (a, b, c) i przesuwnej (d) [Młynarski 1997]

Slajd 13 - Rys. Człon nieruchomy wchodzący w skład pary obrotowej przestrzennej [Dobrzański 2002]

Slajd 14 - Rys. Człon czynny [Młynarski 1997]

Slajd 15 - Rys. [Miller 1989] / Rys. Człon podatny [Młynarski 1997] /

Slajd 16 - Rys. [Miller 1989]

Slajd 19 - Rys. [Miller 1989] / Rys. [Dobrzański 2002]

Slajd 20/21/22 - Rys. [Dobrzański 2002] / Rys. [Norton 1999]

Slajd 23 - Rys. Płaska [Dobrzański 2002] / Rys. Przestrzenna [Dobrzański 2002] / Rys. [Norton 1999] / Rys. [Marghitu 2009] / Rys. [<http://airsklep.pl/pl/p/PRZEGUB-OBROTOWY-BEZ-DZWIGNI-30x30-B/181>] / Rys. [<http://www.gg-powertransmission.com/splined-shafts-sleeves/standard/>] / Rys. [<http://www.practicalmachinist.com/vb/archive/index.php/t-274723.html>]



# Literatura

**Slajd 24** - Rys. Płaska [Dobrzański 2002] / Rys. Przestrzenna [Dobrzański 2002] / Rys. [Norton 1999] / Rys. [Marghitu 2009] / Rys. [<http://www.linearways.in/lead-screws-nuts.html>] / Rys. [[https://en.wikipedia.org/wiki/Ball\\_joint](https://en.wikipedia.org/wiki/Ball_joint)] / Rys. [<http://sofy24.pl/sofy/162-kanapa-3-osobowa-rozkladana-dawid.html>]

**Slajd 26** - Rys. Koła zębate [<http://science.howstuffworks.com/transport/engines-equipment/gear2.htm>] / Rys. Liczba stopni swobody, schemat ideowy i symboliczny zazębienia [Gronowicz 2003] / Rys. Krzywka i popychacz [<https://www.cgtrader.com/free-3d-models/industrial/part/cam-follower-mechanism-with-spring>] / Rys. Para sferyczna konstrukcja teoretyczna [Miller 1989] / Rys. Liczba stopni swobody i schemat ideowy krzywki i popychacza [Gronowicz 2003]

**Slajd 27** - Rys. Para otwarta krzywka i popychacz [<https://www.cgtrader.com/free-3d-models/industrial/part/cam-follower-mechanism-with-spring>] / Rys. Para zamknięta sferyczna [[https://en.wikipedia.org/wiki/Ball\\_joint](https://en.wikipedia.org/wiki/Ball_joint)]

**Slajd 28** - Rys. Para jednokrotna [Marghitu 2009] / Rys. Para dwukrotna [Marghitu 2009]

**Slajd 29** - Rys. Liczba stopni swobody, schemat ideowy i symboliczny pary jarzmowej [Gronowicz 2003] / Rys. [Miller 1989]

**Slajd 30** - Rys. Człon sztywny w przestrzeni 2D (płaszczyzna) – 3 stopnie swobody [Norton 1999] / Rys. Człon sztywny w przestrzeni 3D – 6 stopni swobody [[https://en.wikipedia.org/wiki/Six\\_degrees\\_of\\_freedom](https://en.wikipedia.org/wiki/Six_degrees_of_freedom)]

**Slajd 36/37** - Rys. [Miller 1989]

**Slajd 38** - Rys. [Norton 1999] / Rys. [[www.skf.com](http://www.skf.com)] / Rys. [Felis 2007]





# Literatura

1. Gronowicz A.: Podstawy analizy układów kinematycznych. OWPW, Wrocław 2003.
2. Szrek J.: Synteza układu kinematycznego i sterowania czworonożnego robota kołowo-kroczącego. Rozprawa doktorska, Wrocław 2008.
3. Miller S.: Teoria maszyn i mechanizmów. Analiza układów kinematycznych. WPW, Wrocław 1989.
4. Felis J., Jaworowski H., Cieślik J.: Teoria maszyn i mechanizmów. Część I. Analiza mechanizmów. UWND AGH, Kraków 2008.
5. Felis J., Jaworowski H.: Teoria maszyn i mechanizmów. Część II. Przykłady i zadania. UWND AGH, Kraków 2007.
6. Wawrzecki J.: Teoria maszyn i mechanizmów. WPŁ, Łódź 1994.
7. Uicker J., Pennock G., Shigley J.: Theory of machines and mechanism. OUP, New York 2011.
8. Młynarski T., Listwan A., Pazderski E.: Teoria maszyn i mechanizmów. Cz. I. Synteza i analiza strukturalna mechanizmów. ZGPK, Kraków 1997
9. Norton R. L.: Design of machinery. An introduction to the synthesis and analysis of mechanisms and machines. Mc Graw-Hill, 1999.
10. Marghitu D. B.: Mechanisms and robots analysis with Matlab. Springer, 2009.
11. Dobrzański T.: Rysunek techniczny maszynowy. WNT, Warszawa 2002.
12. Khurmi R. S., Gupta J.K.: Theory of machines. S Chand & Co Ltd, 2005.
13. Ancient Origins, rysunek koła na pierwszym slajdzie. Dostępny w Internecie:  
<https://www.ancient-origins.net/ancient-technology/revolutionary-invention-wheel-001713>



# DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ !!!

## Teoria maszyn i mechanizmów (TMM) Podstawowe pojęcia i definicje

POLITECHNIKA LUBELSKA  
Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn i Mechatroniki  
dr inż. Łukasz Jedliński

---

Projekt „ Politechnika Lubelska – Regionalna Inicjatywa Doskonałości”  
– finansowany ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego



Ministerstwo  
Nauki  
i Szkolnictwa  
Wyższego

