



# Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

*Podstawy automatyki i teorii maszyn*  
semestr zimowy 2019/2020

dr inż. Sebastian Korczak

# ***Podstawy automatyki i teorii maszyn***

semestr zimowy 2019/2020

*Mechanika pojazdów i maszyn roboczych*

**Kierownik przedmiotu:** dr inż. Sebastian Korczak (Zakład Mechaniki IPBM)

**wykład:** 30 godzin

**ćwiczenia:** 30 godzin

**ECTS:** 5

**Podstawowa karta przedmiotu:** <https://ects.coi.pw.edu.pl/>

**Regulamin przedmiotu:** <https://myinventions.pl/dydaktyka>

gablota koło pokoju 2.8

# ***Podstawy automatyki i teorii maszyn***

## **Regulamin przedmiotu**

**Forma, wymiar i zakres merytoryczny prowadzonych zajęć**

**Wymagania wstępne oraz uczestnictwo w zajęciach**

**Etapowa kontrola efektów uczenia się w czasie trwania semestru**

**Regulamin zajęć ćwiczeniowych**

**Terminy ogłaszania ocen**

**Egzamin**

**Ocena ostateczna z przedmiotu**

**Korzystanie z materiałów pomocniczych**

**Powtarzanie zajęć**

**Literatura**

**Konspekt wykładu**

**Konspekt ćwiczeń**



# ***Podstawy automatyki i teorii maszyn***

## **Regulamin przedmiotu**

### **Warunek dopuszczenia do egzaminu:**

Zaliczenie ćwiczeń na ocenę co najmniej dostateczną

### **Warunek zaliczenia ćwiczeń:**

uzyskanie co najmniej dostatecznej oceny z każdego kolokwium

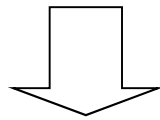
# PROGRAM WYKŁADU

1. Mechanizmy i ich ruchliwość.
2. Prędkości i przyspieszenia punktów mechanizmu.
3. Mechanizmy krzywkowe.
4. Dynamika mechanizmów.
5. Równanie ruchu maszyny.
6. Koła zamachowe.
7. Transformata Laplace'a i transmitancja.
8. Podstawowe obiekty automatyki i ich charakterystyki.
9. Algebra schematów blokowych.
10. Regulatory.
11. Stabilność.
12. Opis układów w przestrzeni stanu.

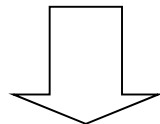
szczegółowy program: strona internetowa, regulamin, tablica

## ZWIĄZKI Z INNYMI PRZEDMIOTAMI

- Algebra (wielomiany, liczby zespolone, wyznaczniki).
- Analiza (pochodne, całki).
- Równania różniczkowe (liniowe, o stałych współczynnikach, rzędu 1 i 2).
- Mechanika ogólna I (geometria mas, statyka układów mechanicznych, kinematyka i dynamika punktu materialnego, energia kinetyczna i potencjalna).



### **Podstawy automatyki i teorii maszyn**



- Laboratorium podstaw automatyki i teorii maszyn
- Drgania mechaniczne
- Pojazdy
- Napędy elektryczne
- Automatyzacja maszyn roboczych / Elementy robotyki

## LITERATURA PODSTAWOWA

1. T. Kołacin: *Podstawy teorii maszyn i automatyki*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2005.
2. T. Kołacin, A. Kosior: *Zbiór zadań do ćwiczeń z podstaw automatyki i teorii maszyn*, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1990.

## LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA

1. Z. Skup „Zadania z podstaw automatyki i sterowania”, Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 2018.
2. A. Olędzki „Podstawy teorii maszyn i mechanizmów” WNT Warszawa 1987.
3. Z. Parszewski „Teoria maszyn i mechanizmów” WNT Warszawa.
4. M. Żelazny „Podstawy automatyki” Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
5. D. Holejko, W. Kościelny, W. Niewczas: Zbiór zadań z podstaw automatyki, WPW, Warszawa.

# SPOSÓB UCZENIA SIĘ

# Kontakt:

dr inż. Sebastian Korczak

pokój: 2.8b

e-mail: [sebastian.korczak@pw.edu.pl](mailto:sebastian.korczak@pw.edu.pl)

konsultacje: wtorki 11:00-12:00,

piątki 13:00-14:00

strona z prezentacjami i materiałami:

<https://myinventions.pl/dydaktyka/>

# BHP

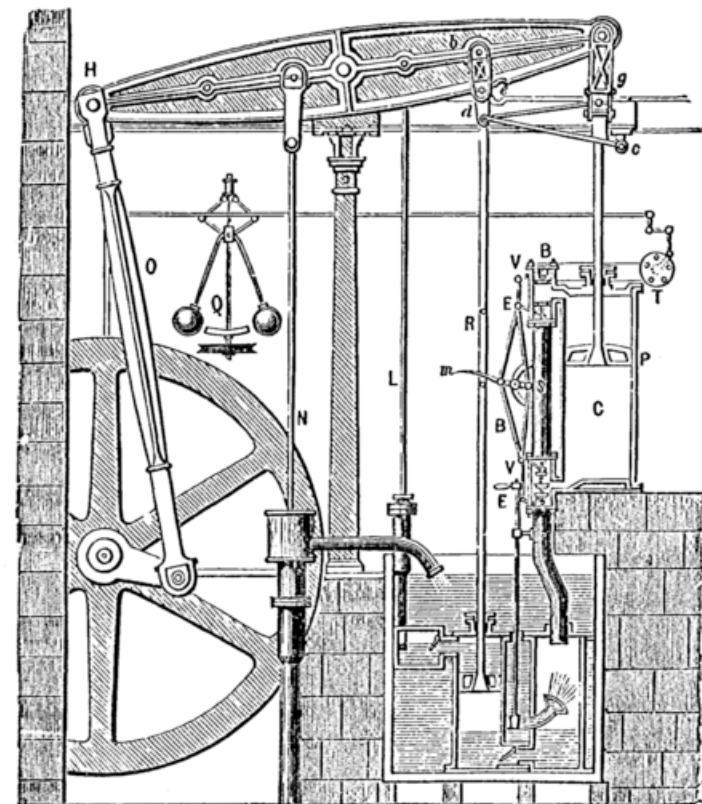
# Wykład 1

pary kinematyczne, mechanizmy,  
ruchliwość, więzy bierne

# Maszyna, mechanizm

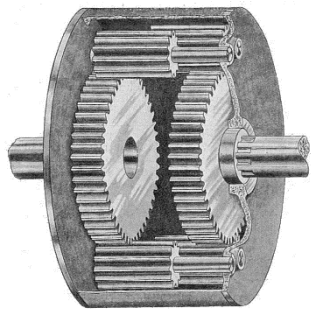
Maszyna – (w znaczeniu technicznym) urządzenie zawierające mechanizm lub zespół współdziałających mechanizmów, służące do przetwarzania energii albo do wykonywania określonej pracy (*słownik języka polskiego PWN*).

Mechanizm – zbiór elementów (ogniw, członów), które są ze sobą połączone i służą do zamiany wejściowego ruchu lub siły na pożądany wyjściowy ruch lub siłę.



źródło: wikipedia.org, The Boulton & Watt Steam Engine, 1784

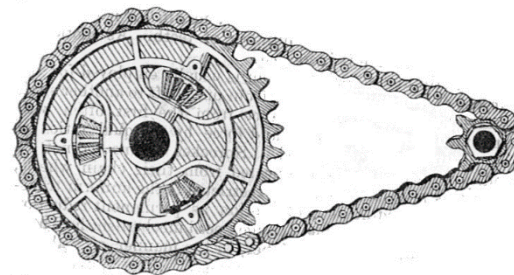
# Części maszyn



Przekładnie zębate



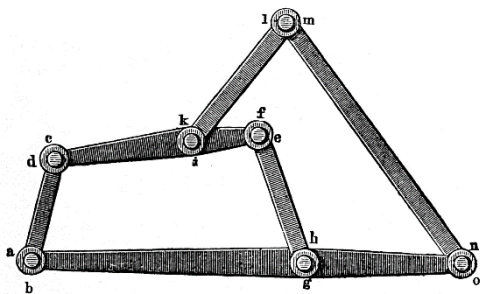
Przekładnie pasowe



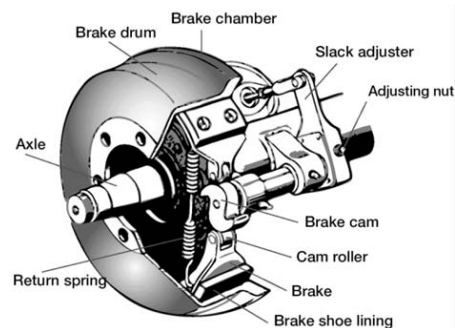
Przekładnie łańcuchowe



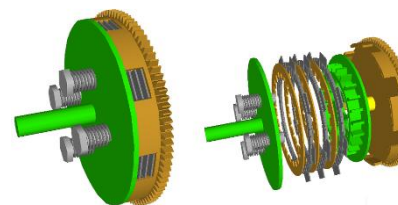
Mechanizmy krzywkowe



pręty



hamulce



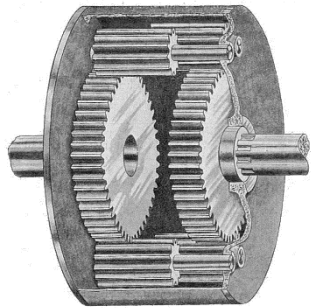
sprężęła



złącza

źródło: <https://en.wikipedia.org>

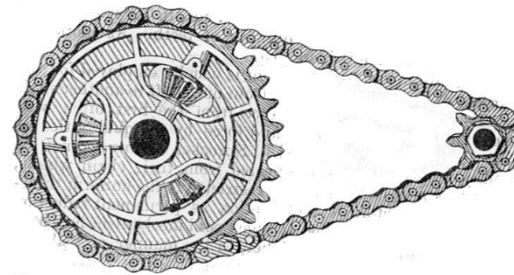
# Części maszyn



Przekładnie zębate



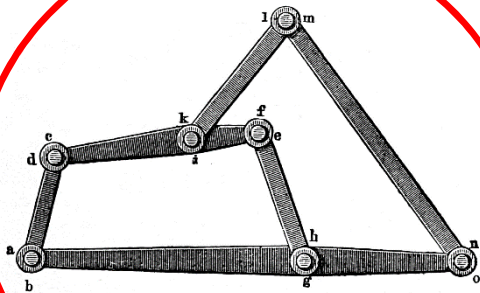
Przekładnie pasowe



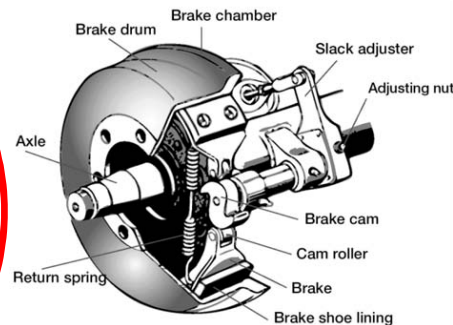
Przekładnie łańcuchowe



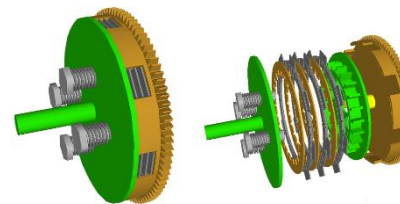
Mechanizmy krzywkowe



pręty



hamulce



sprzęgła



złącza

źródło: <https://en.wikipedia.org>

# Elementy mechanizmów

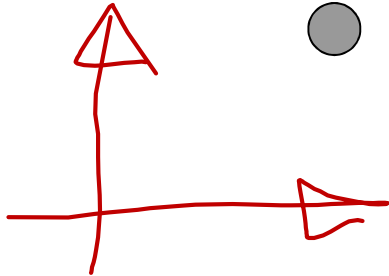
Elementy sztywne – opisane punktami materialnymi bądź bryłami sztywnymi (mechanika ogólna).

Elementy odkształcalne – sprężyny, liny, paski, powietrze, olej itd.

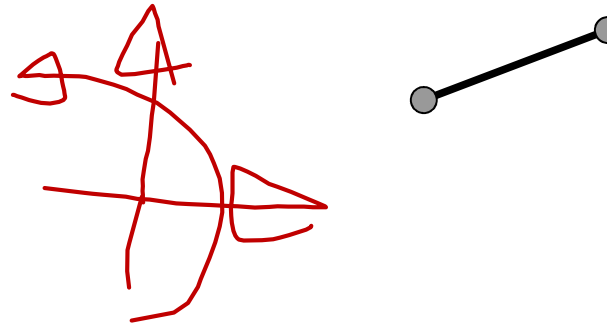
człon = część = element = segment = łącznik = ogniwo

# Stopnie swobody

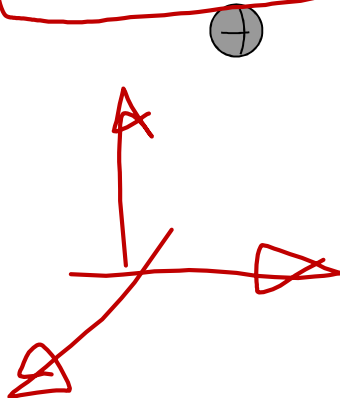
punkt materialny (2D)



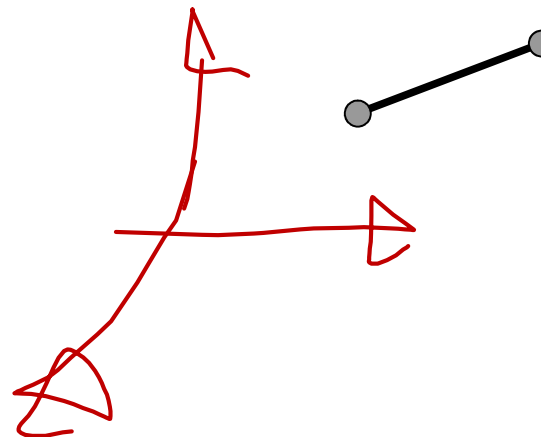
bryła sztywna (2D)



punkt materialny (3D)

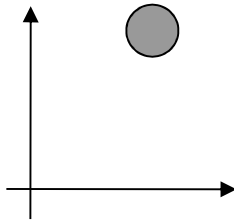


bryła sztywna (3D)



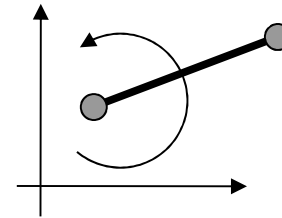
# Stopnie swobody

punkt materialny (2D)



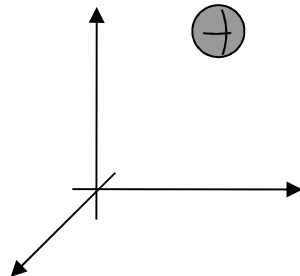
**2 st.  
swob.**

bryła sztywna (2D)



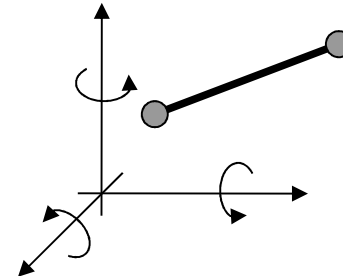
**3 st.  
swob.**

punkt materialny (3D)



**3 st.  
swob.**

bryła sztywna (3D)



**6 st.  
swob.**

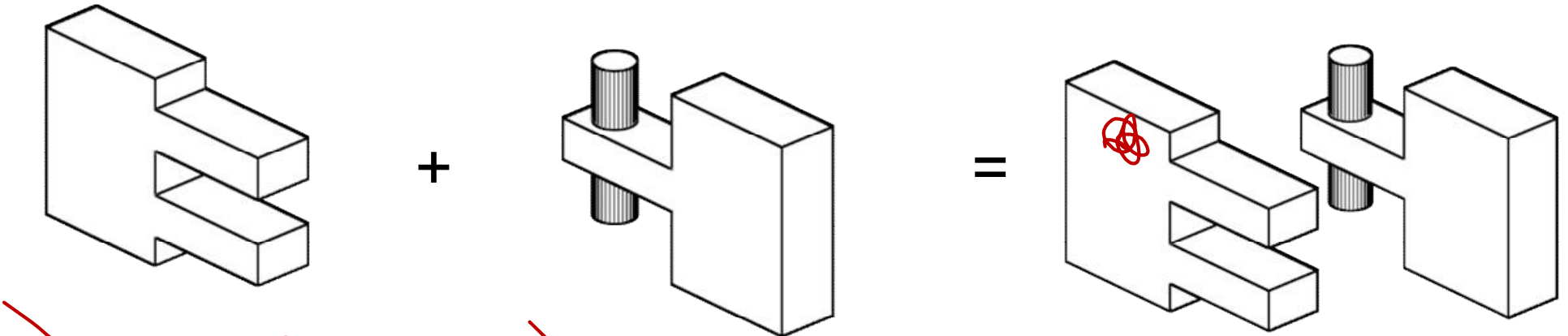
# Pary kinematyczne i łańcuchy kinematyczne

Para kinematyczna – ruchome połączenie dwóch sztywnych elementów wywołujące ograniczenia ruchu względnego między nimi.

Łańcuch kinematyczny – połączenie co najmniej dwóch par kinematycznych.

Podstawa – nieruchomy człon mechanizmu.

# Pary kinematyczne (3D)

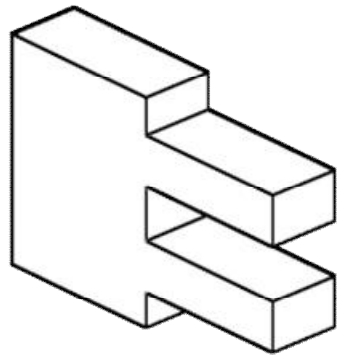


6 st swob

6 st swob

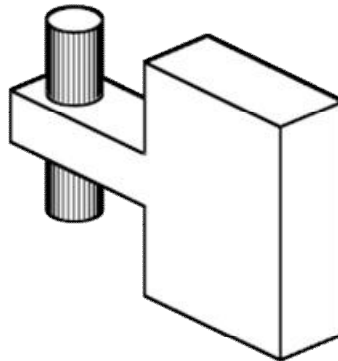
12 st swob  
6 st swob  
wzly

# Pary kinematyczne (3D)



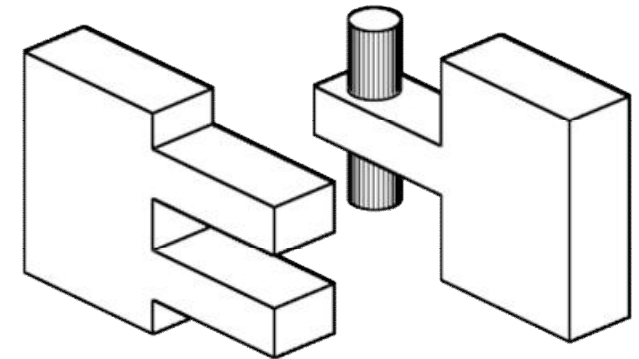
6 st. swob.

+



6 st. swob.

=

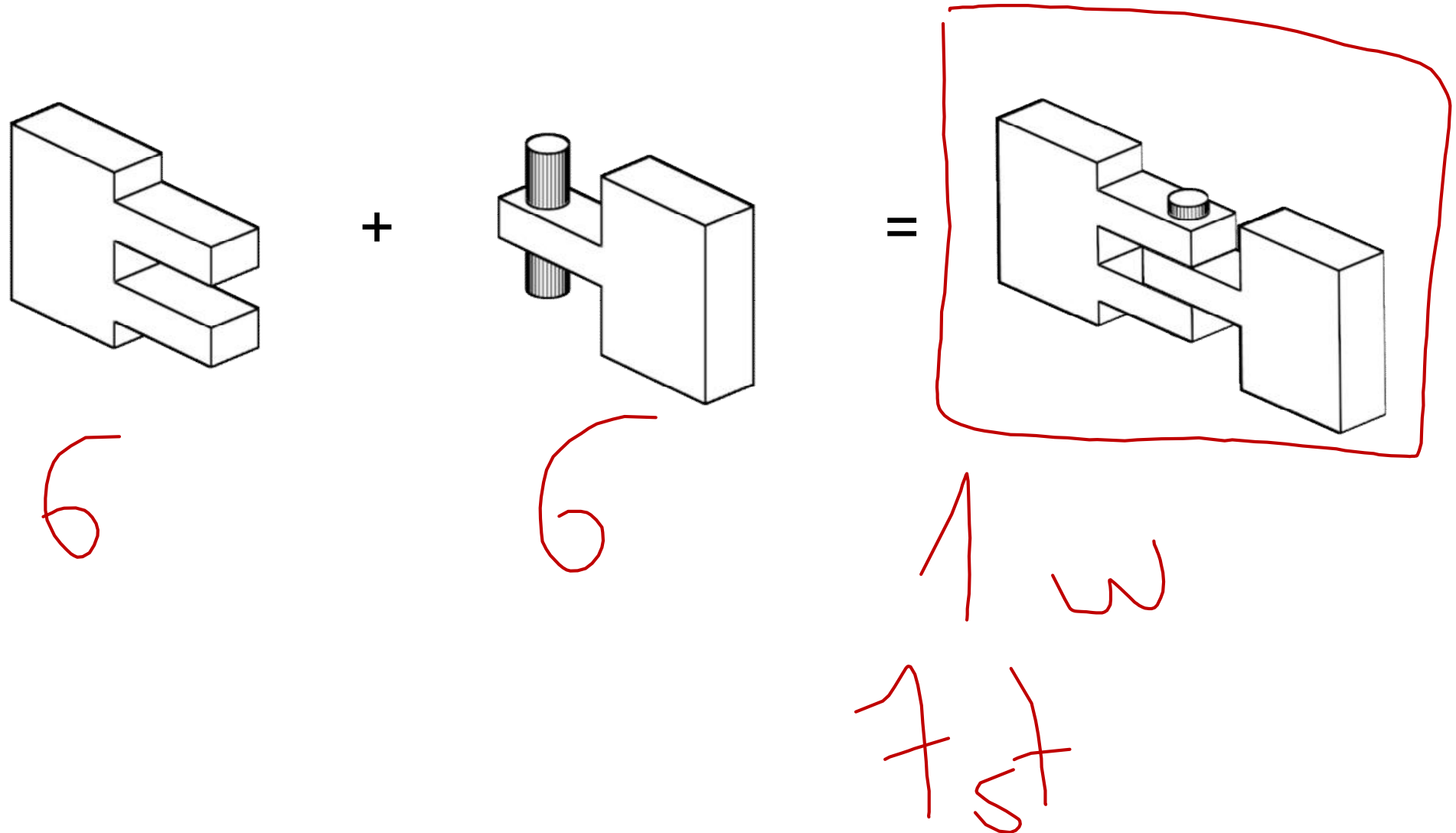


niepołączone

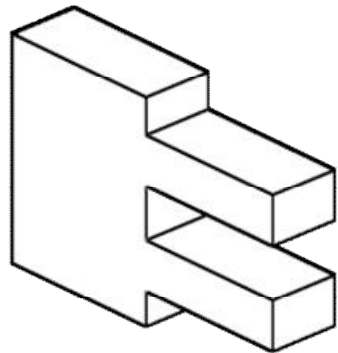
razem: 12 st. swob.

W ruchu względnym: 6 st. swob.

# Pary kinematyczne (3D)

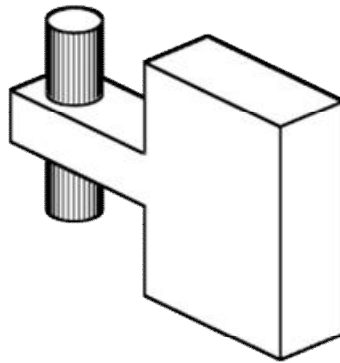


# Pary kinematyczne (3D)



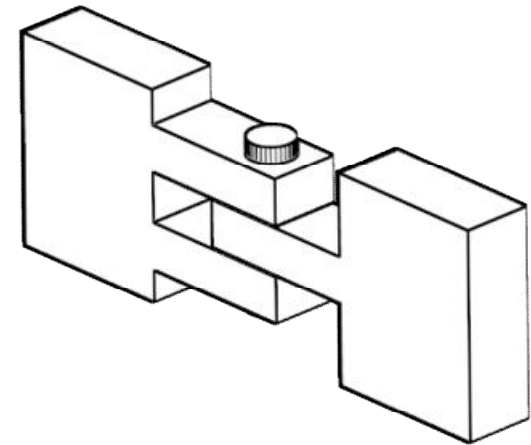
6 st.  
swob.

+



6 st.  
swob.

=



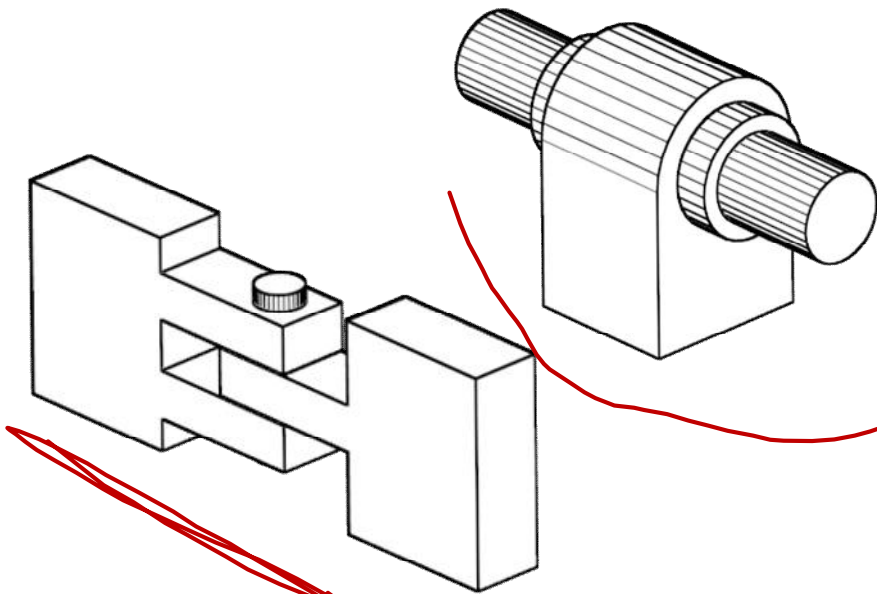
W ruchu względnym: 1st.  
swob.

**Jako całość: 7st. swob.**

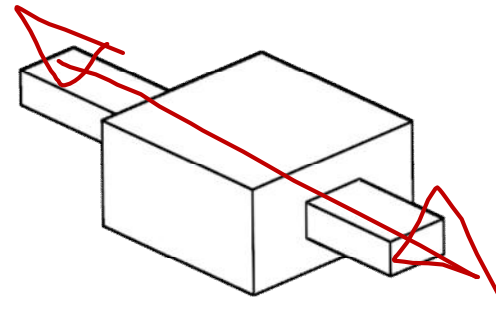
# Pary kinematyczne (3D)

klasa V = 6 - 1

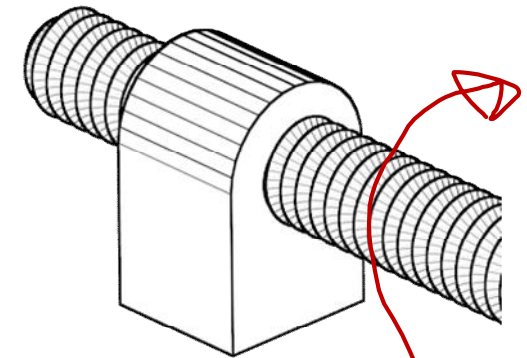
obrotowe



postępowa



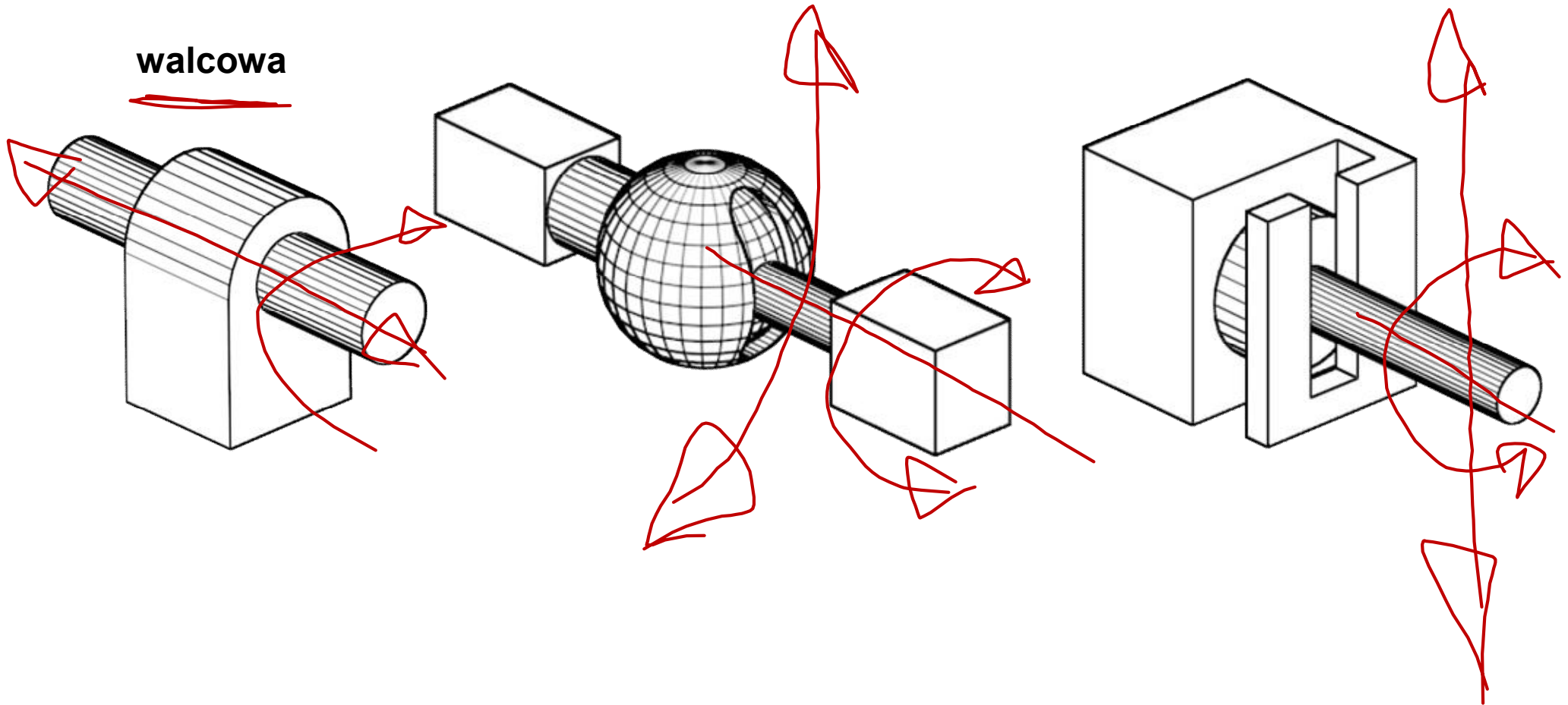
śrubowa



# Pary kinematyczne (3D)

klasa IV = 6 - 2

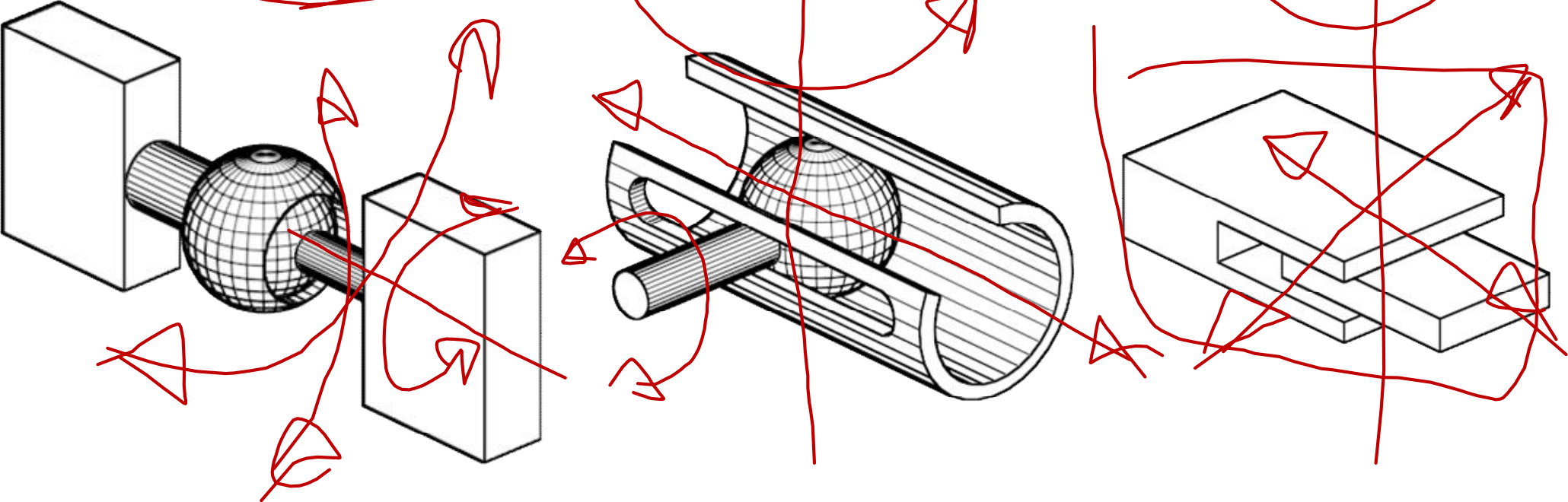
walcowa



# Pary kinematyczne (3D)

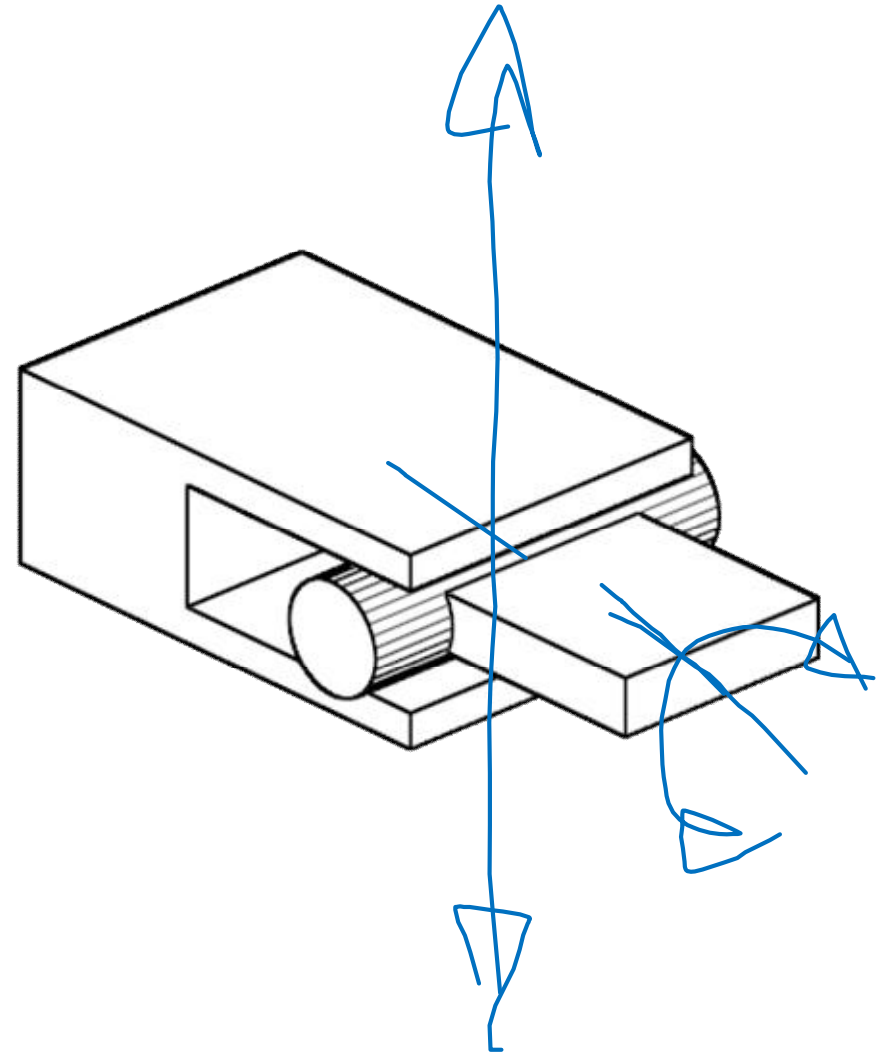
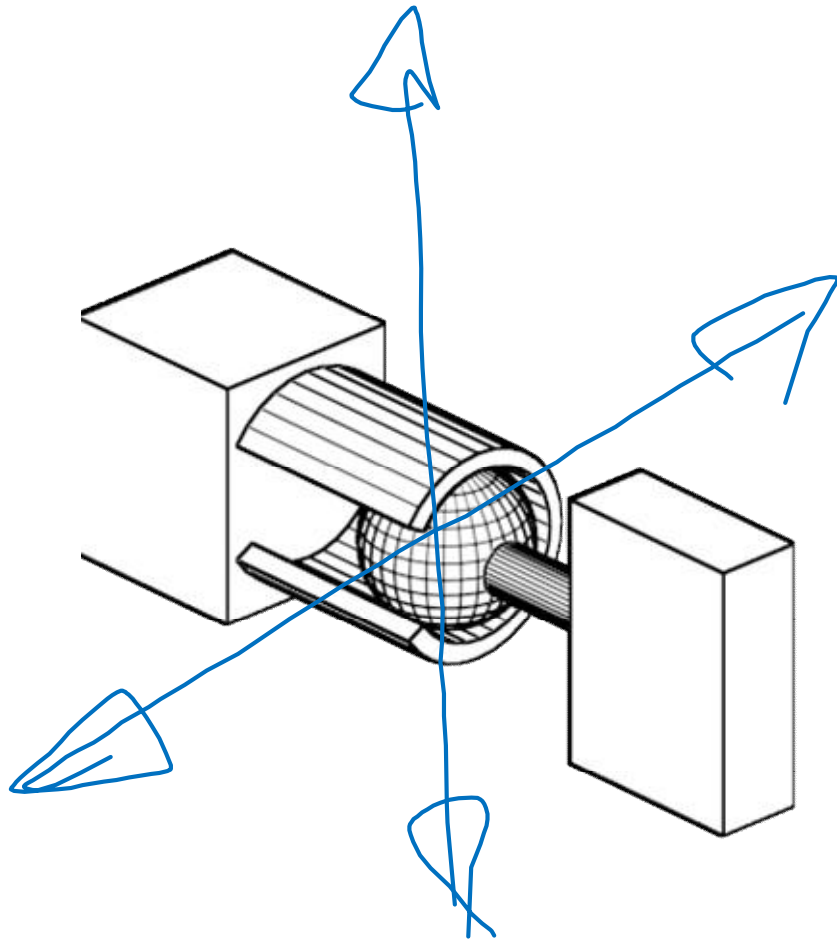
klasa III = 6 - 3

kulista



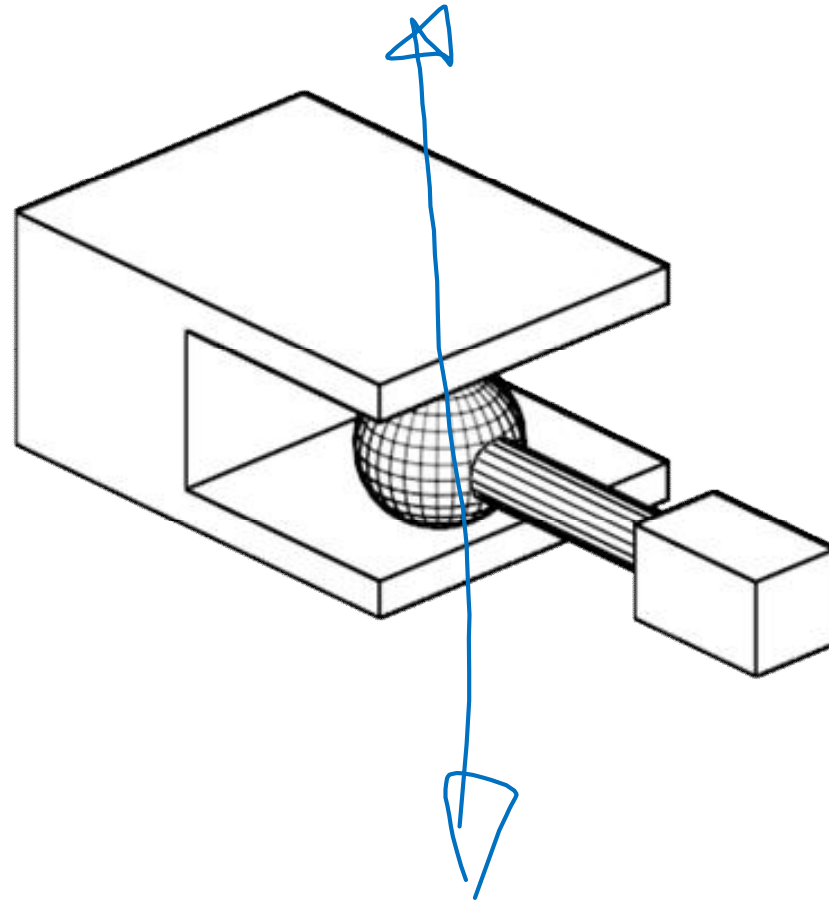
# Pary kinematyczne (3D)

klasa II = 6 - 4



# Pary kinematyczne (3D)

klasa I = 6 - 5



# Pary kinematyczne (2D)

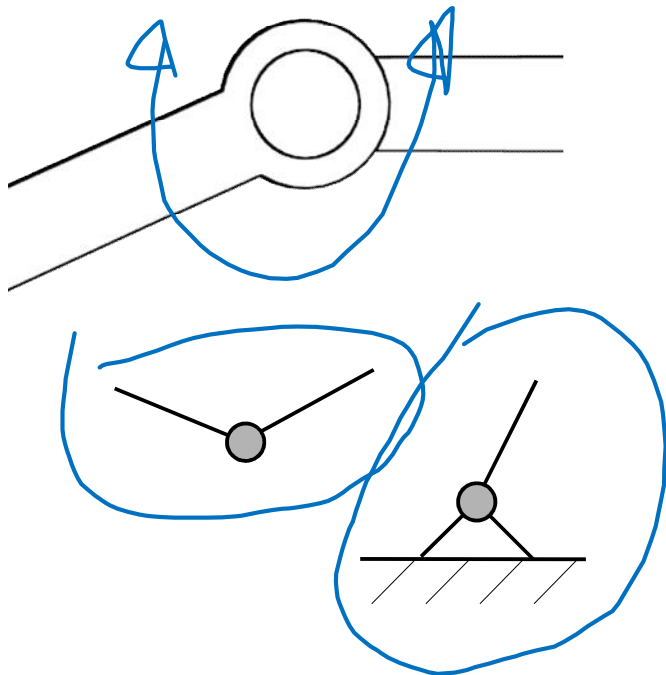
**klasa I, klasa II → nie możliwe w 2D**

**klasa III → bryła swobodna w 2D**

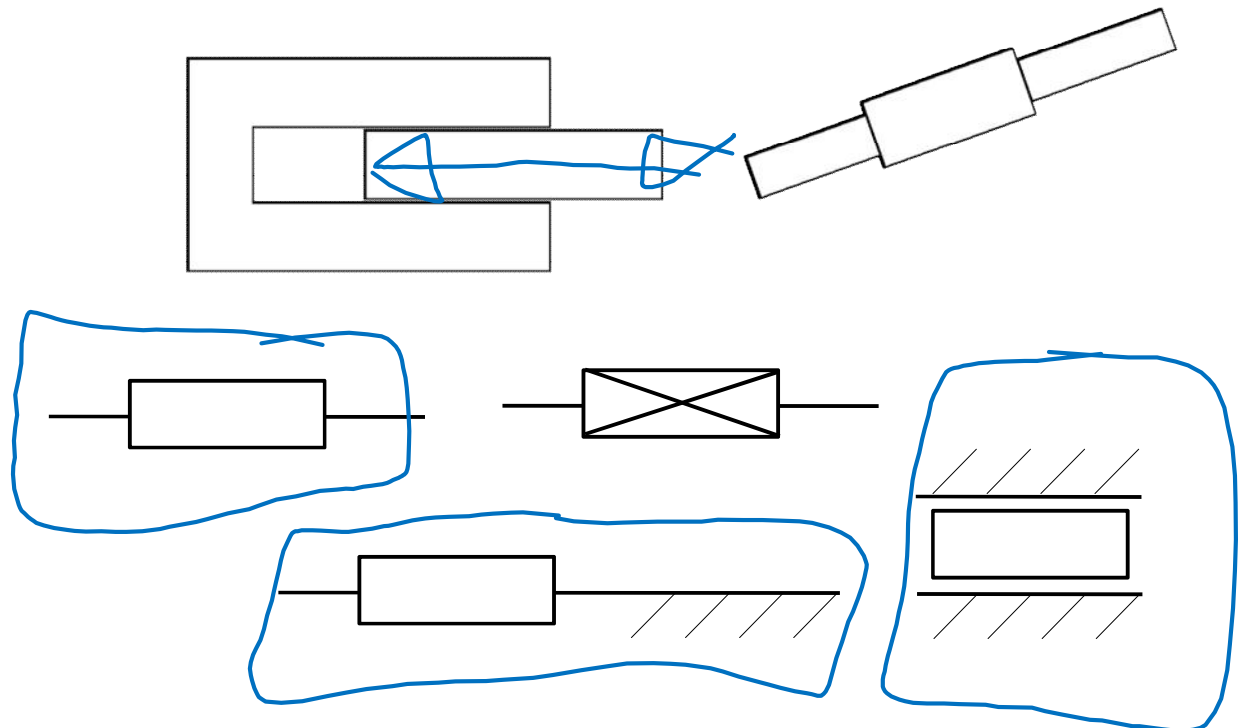
# Pary kinematyczne (2D)

klasa V = 6 - 1

obrotowa

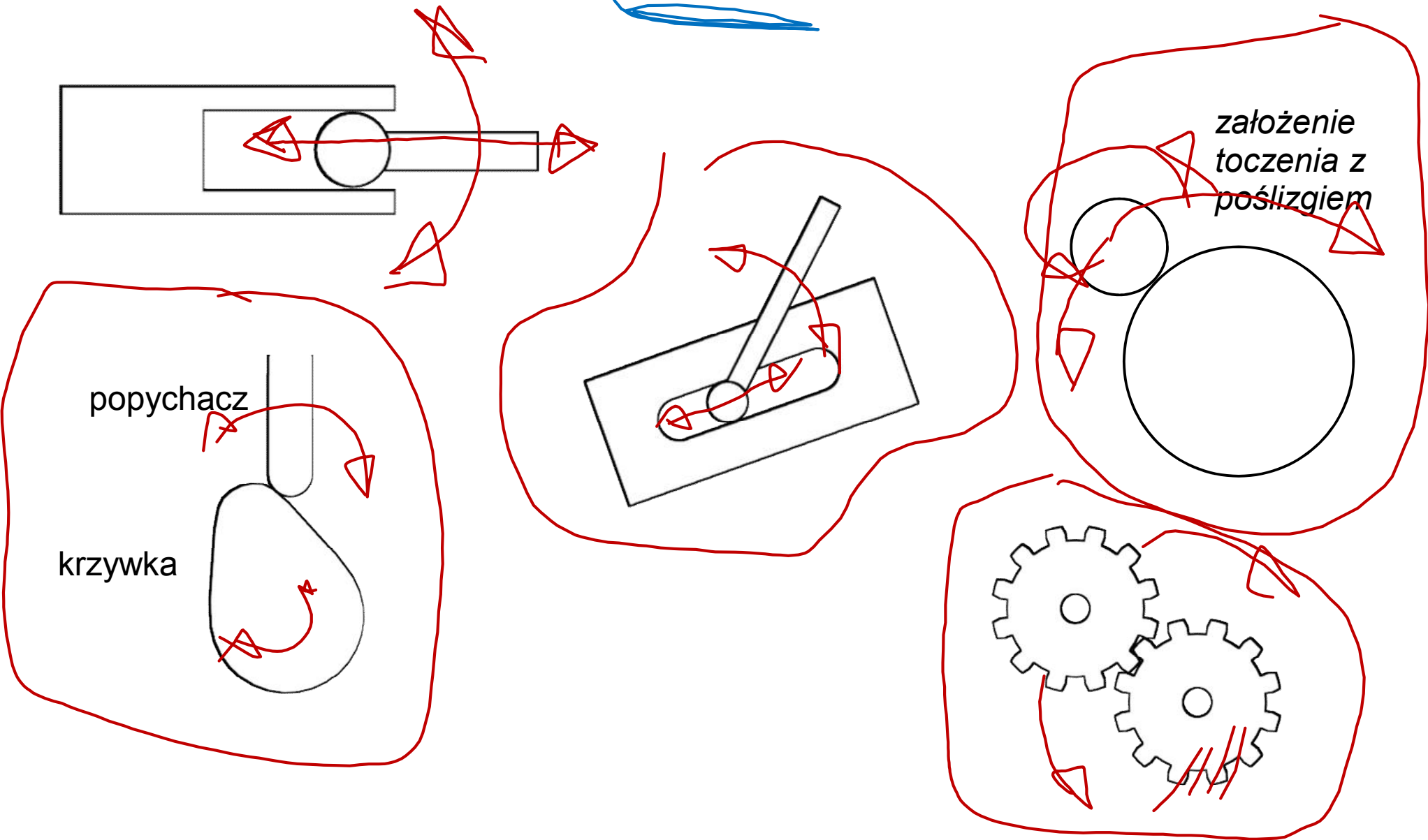


postępowa



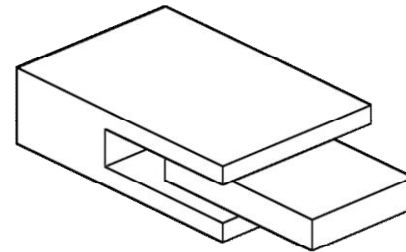
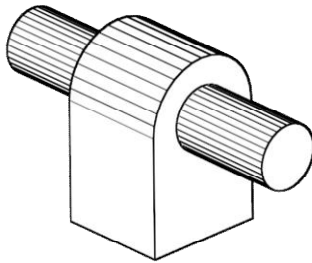
# Pary kinematyczne (2D)

klasa IV = 6 - 2

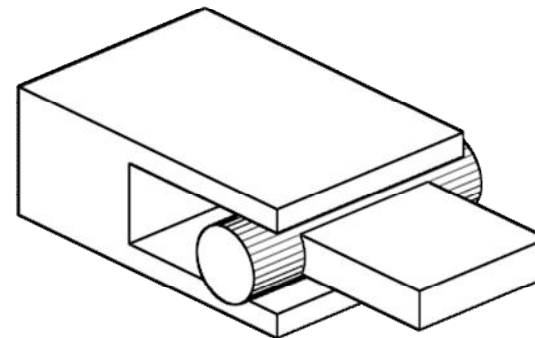
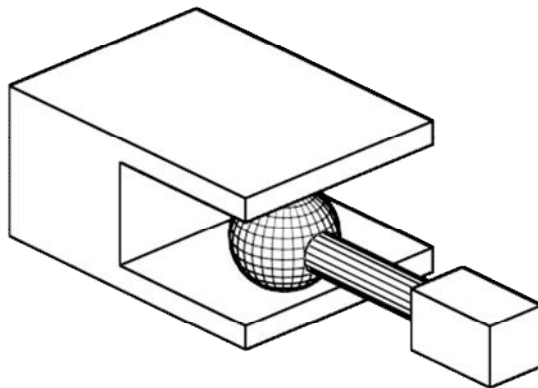


# Pary kinematyczne

**Para niższa** – kontakt powierzchniowy

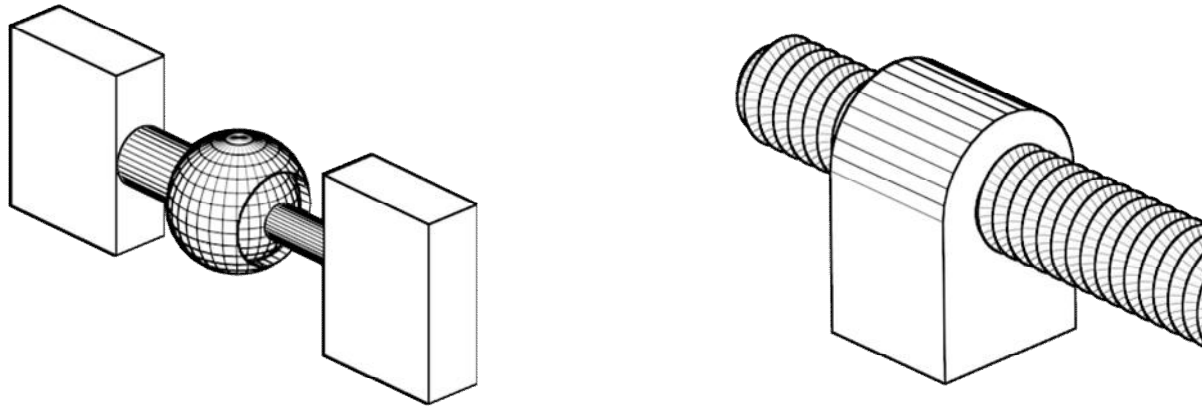


**Para wyższa** – kontakt punktowy bądź liniowy

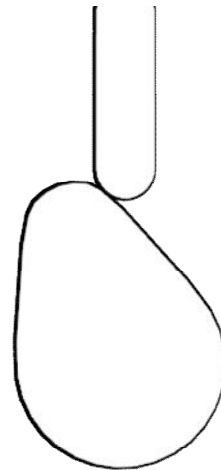


# Pary kinematyczne

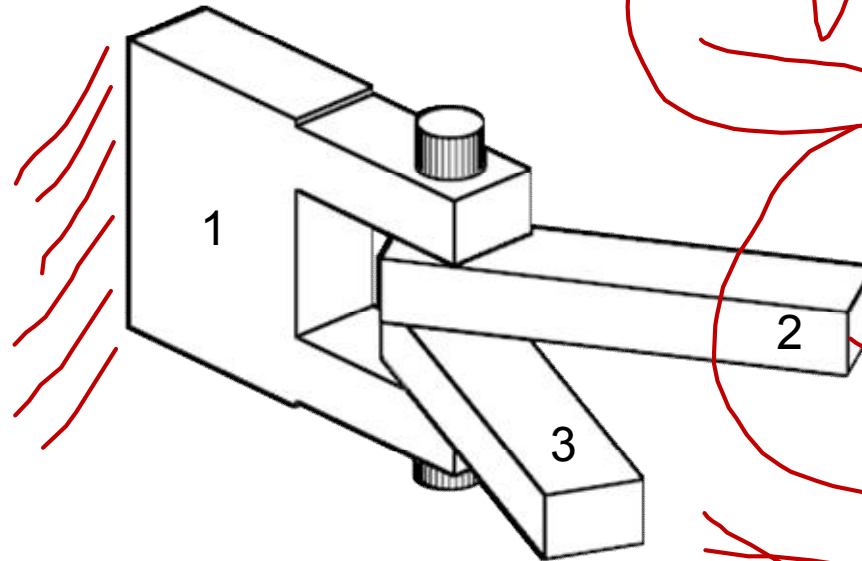
**Para zamknięta** – zachowanie kontaktu poprzez geometrię



**Para otwarta** – kontakt zachowany z użyciem dodatkowej siły



# Wielokrotne pary kinematyczne



$V_{1-2}$

$V_{1-3}$

~~$V_{2-3}$~~

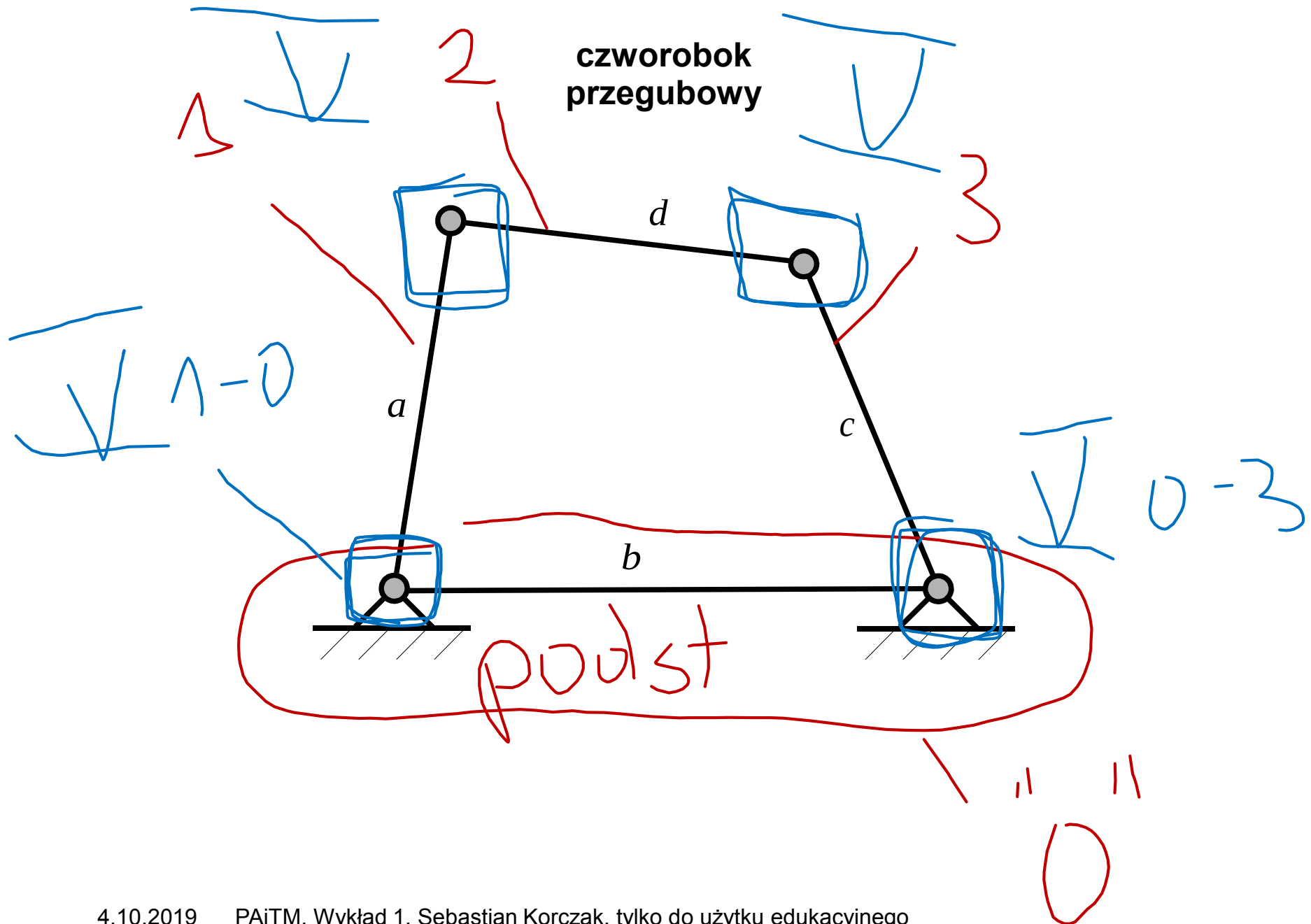
2 człony  $\rightarrow$  1 para kinematyczna

3 człony  $\rightarrow$  2 para kinematyczna

...

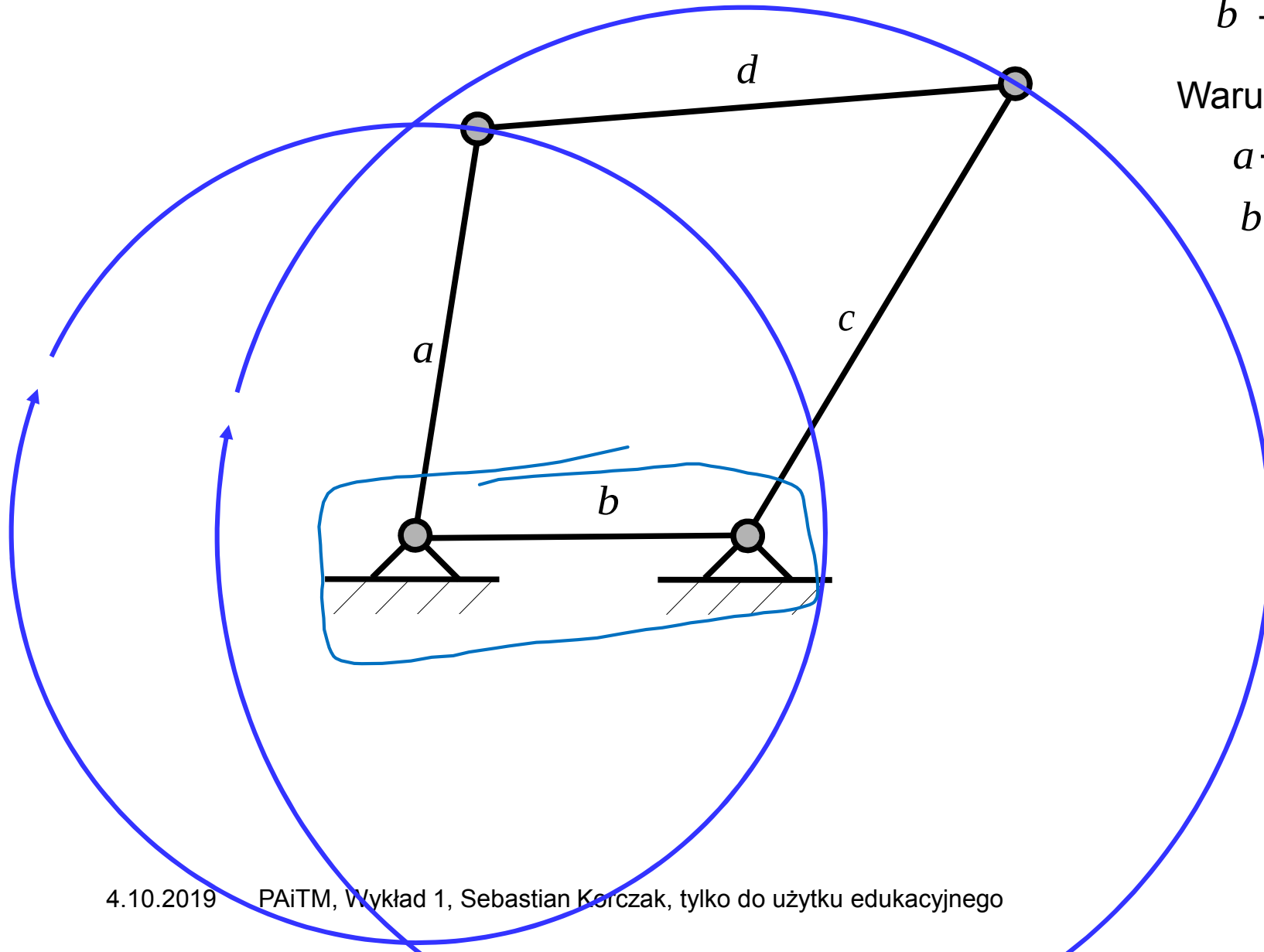
...

# Mechanizmy - przykłady



# Mechanizmy - przykłady

czworobok  
przegubowy



*b* - najkrótszy

Warunki Grashof'a:

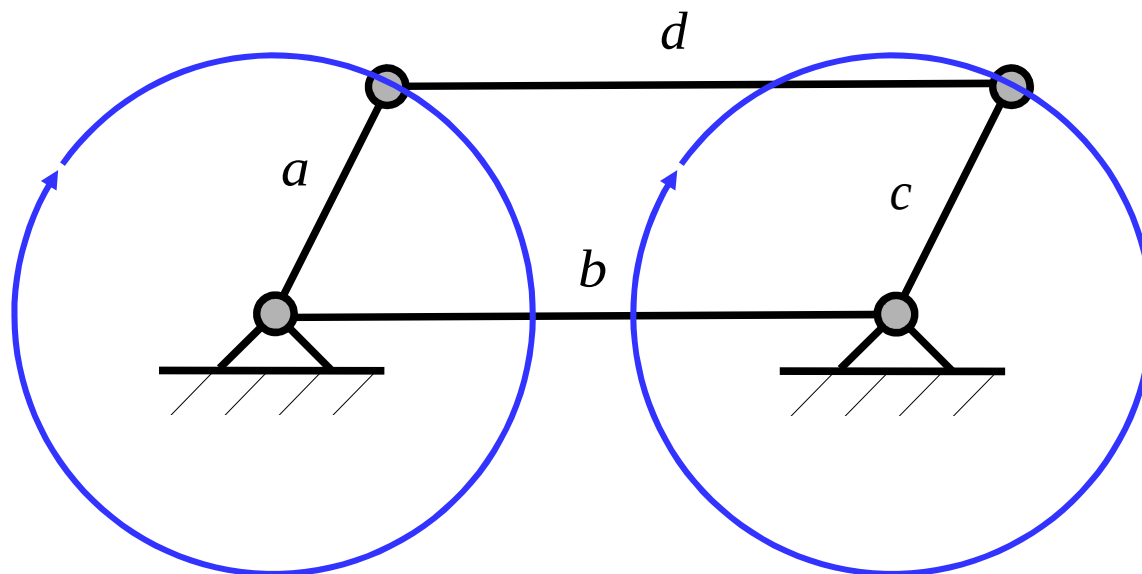
$$a+b \leq c+d$$

$$b+c \leq a+d$$

Mechanizm  
dwukorbowy

# Mechanizmy - przykłady

czworobok  
przegubowy

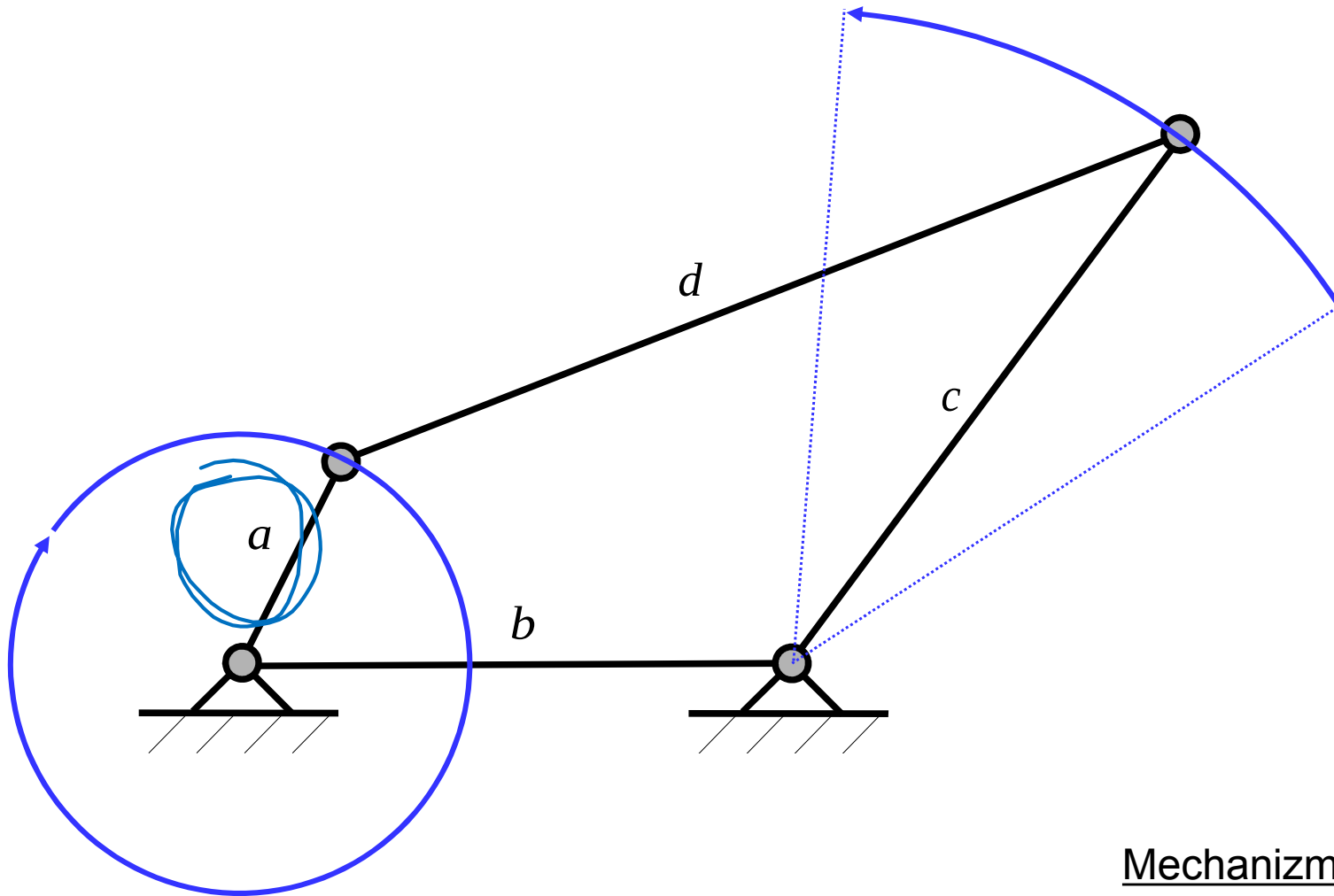


$$a+b=c+d$$
$$a=c$$

Mechanizm dwukorbowy współbieżny

# Mechanizmy - przykłady

czworobok  
przegubowy



*a* - najkrótszy

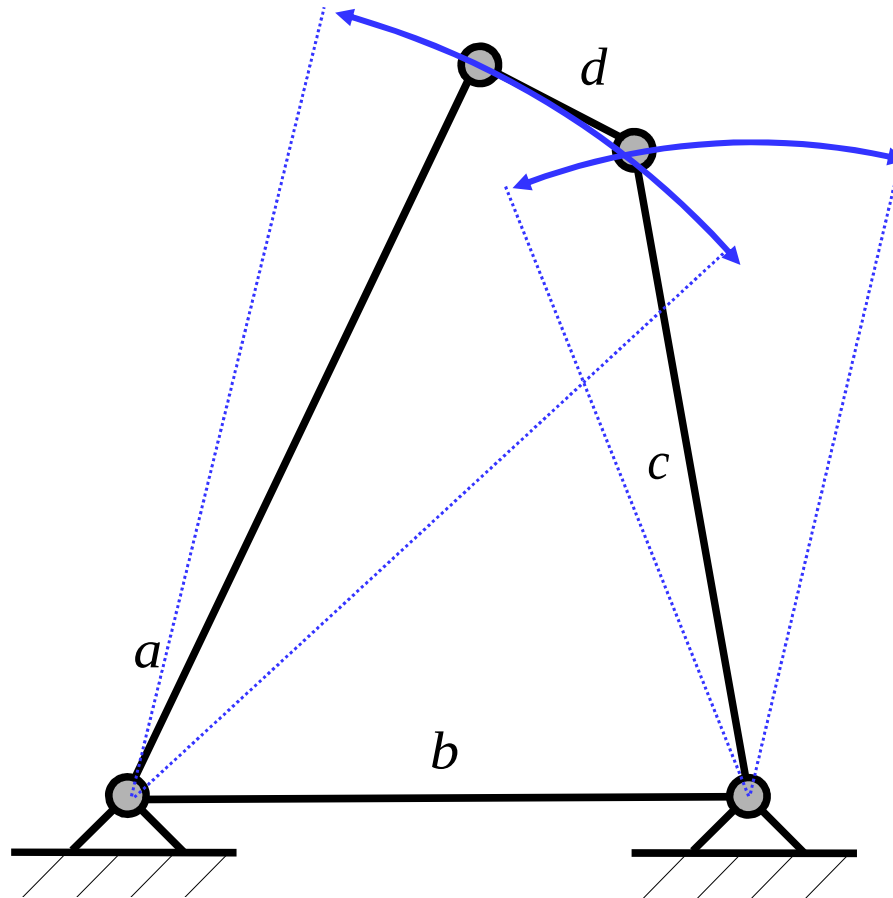
Warunek Grashof'a:

$$a + d < b + c$$

Mechanizm korbowo-wahaczowy

# Mechanizmy - przykłady

czworobok  
przegubowy



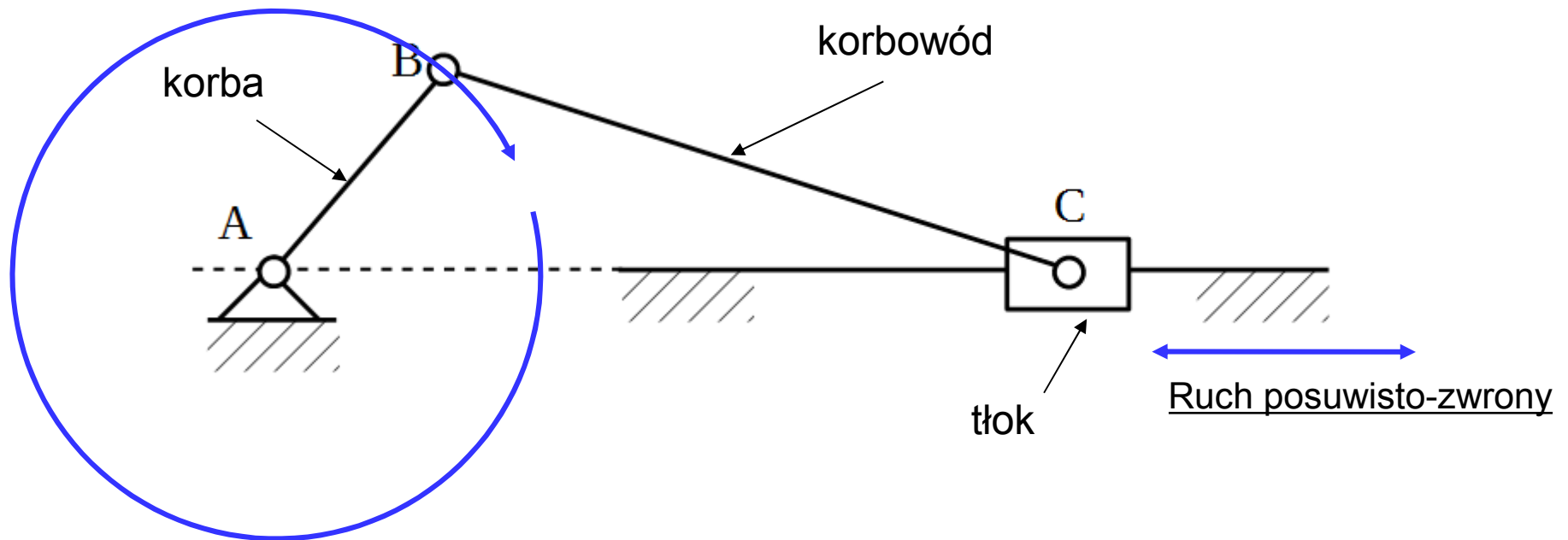
$d$  - najkrótszy

$$a+d > b+c$$

Mechanizm dwuwahaczowy

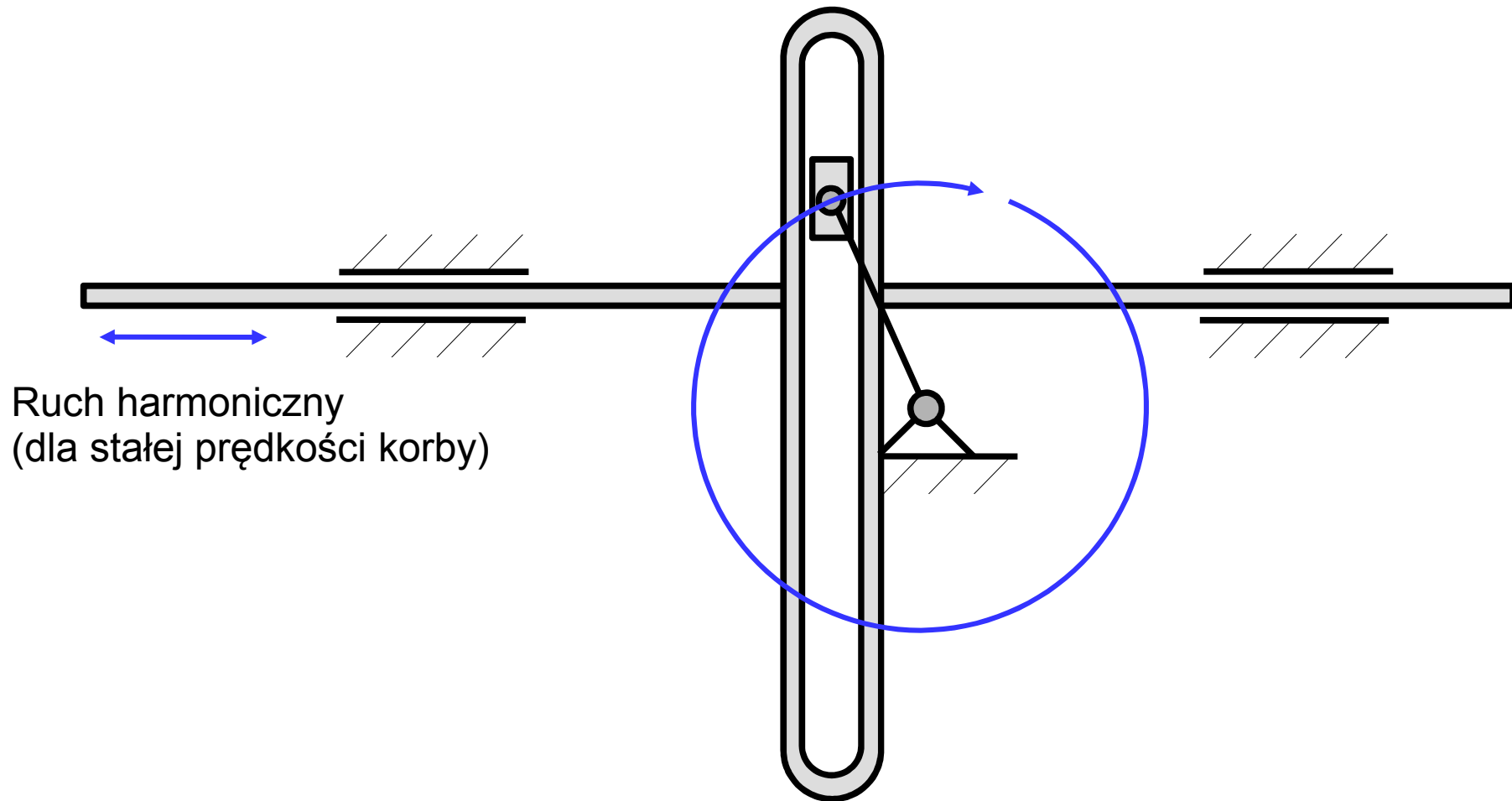
# Mechanizmy - przykłady

## Mechanizm korbowo-wodzikowy



# Mechanizmy - przykłady

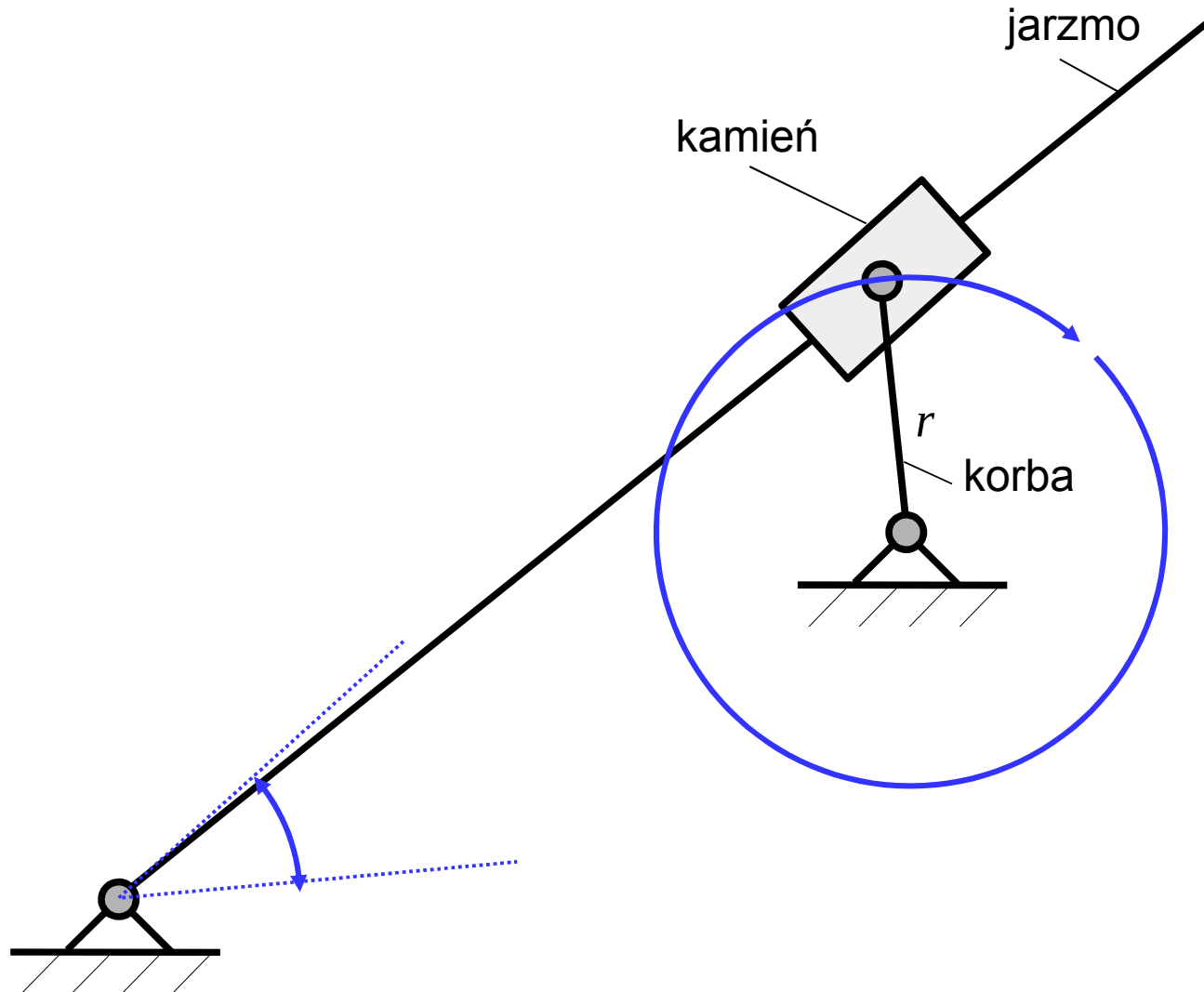
## Scotch yoke



Ruch harmoniczny  
(dla stałej prędkości korby)

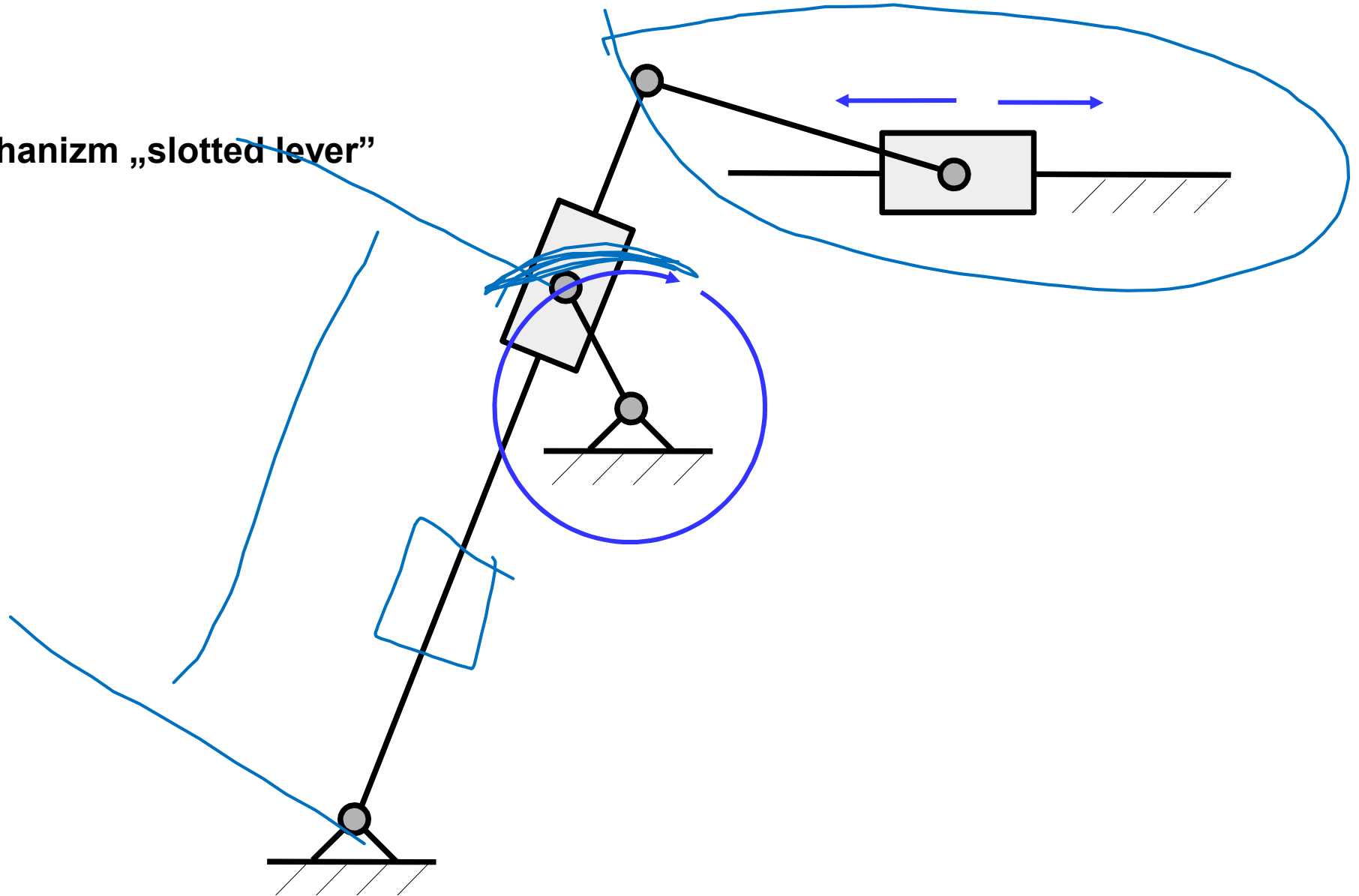
# Mechanizmy - przykłady

## Mechanizm jarzmowy



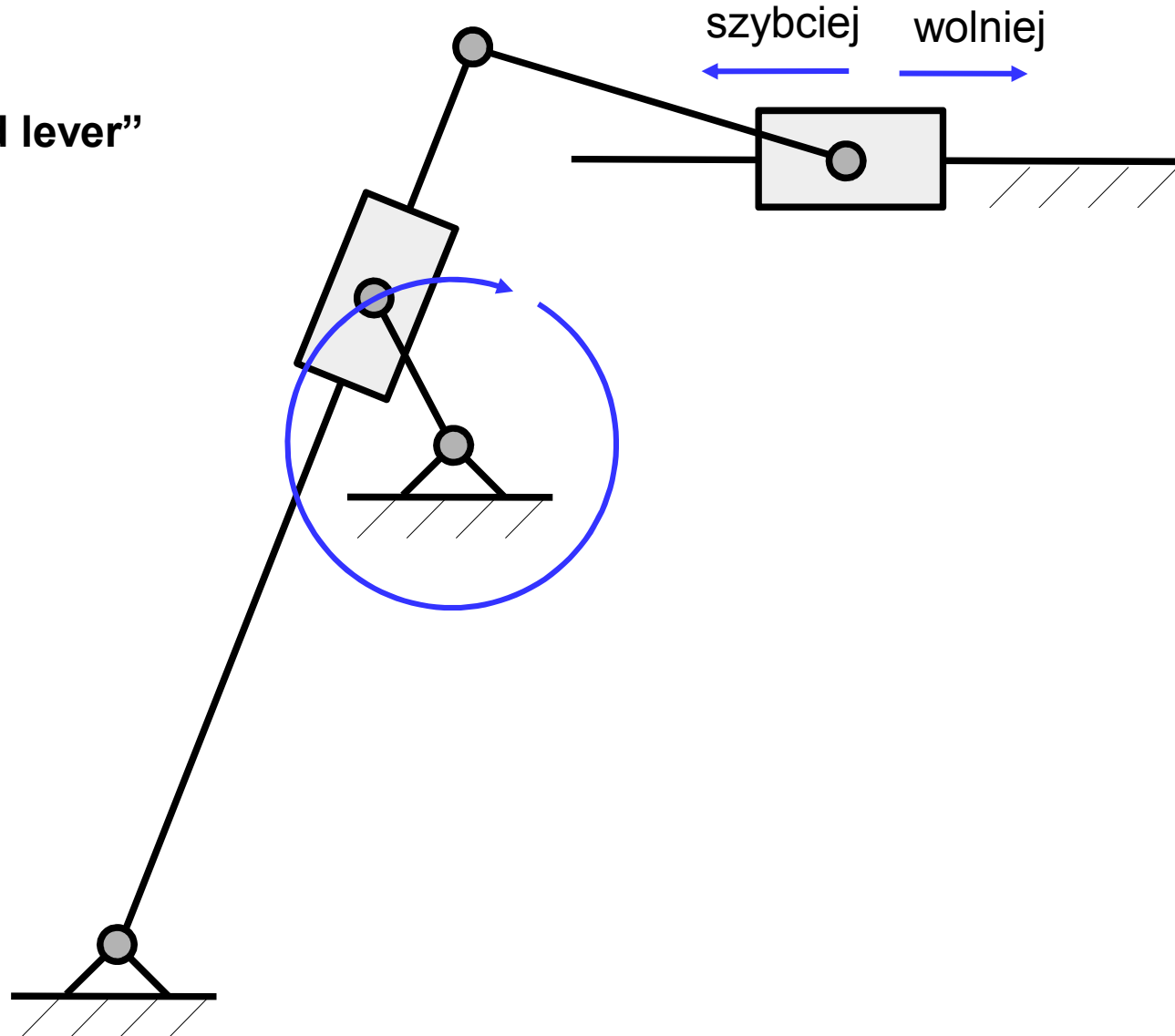
# Mechanizmy - przykłady

Mechanizm „slotted lever”



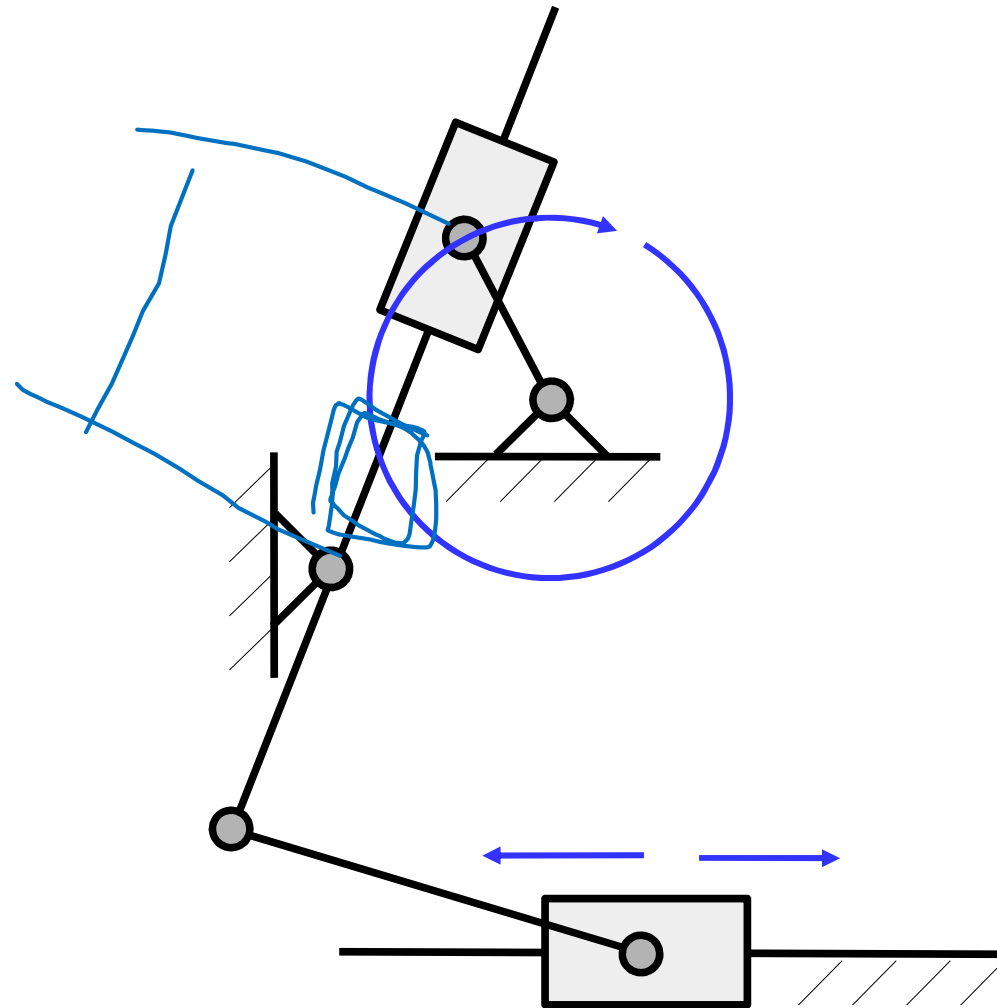
# Mechanizmy - przykłady

Mechanizm „slotted lever”



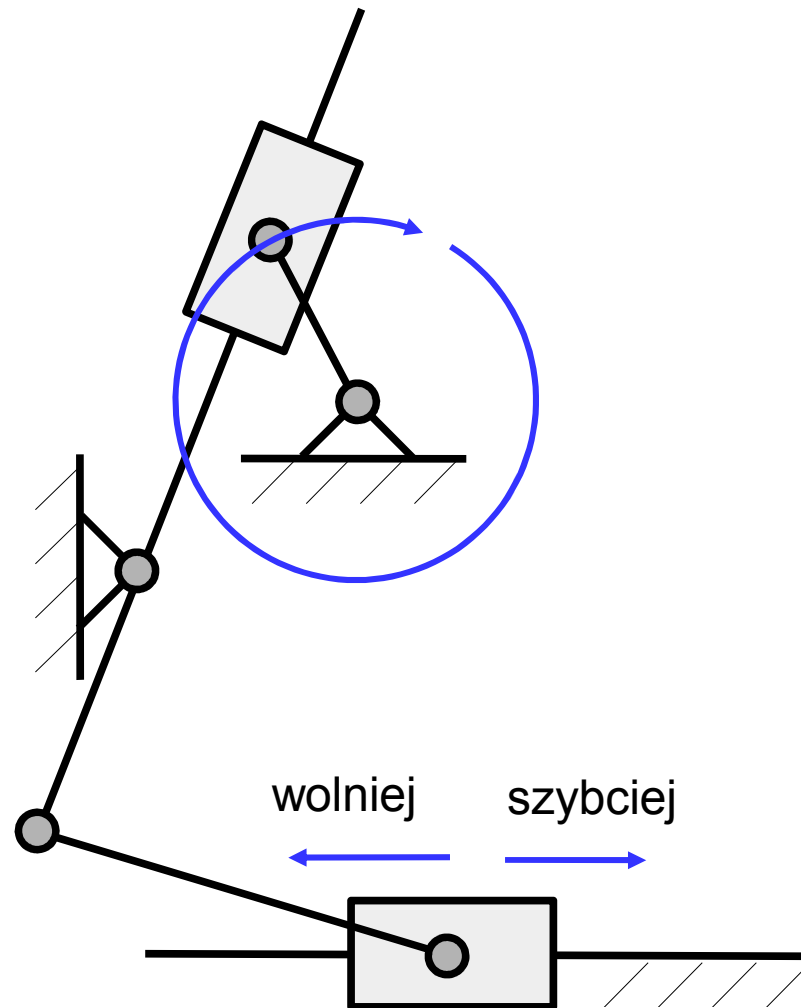
# Mechanizmy - przykłady

## Mechanizm szybkiego powrotu Whitworth'a



# Mechanizmy - przykłady

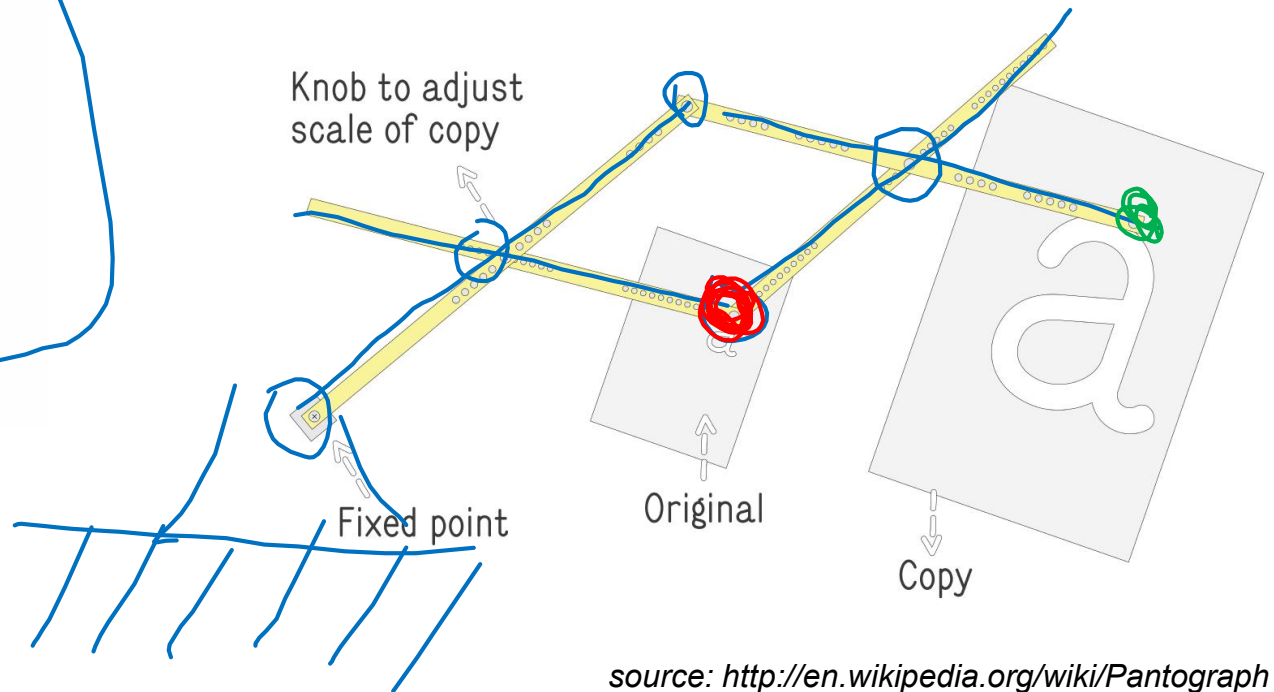
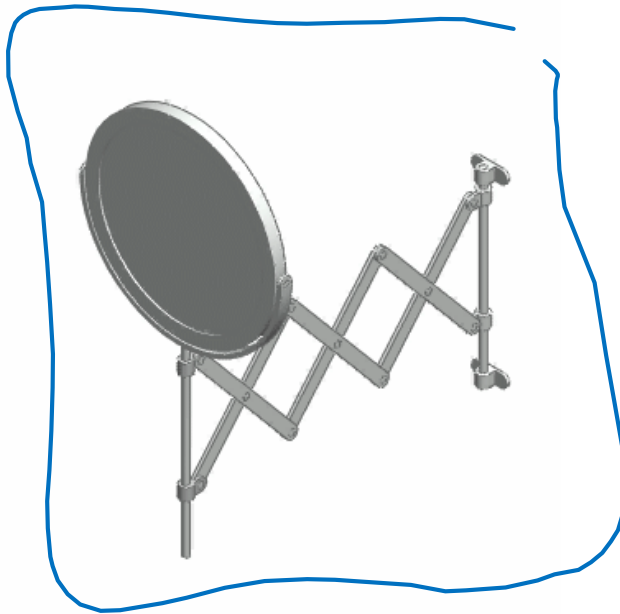
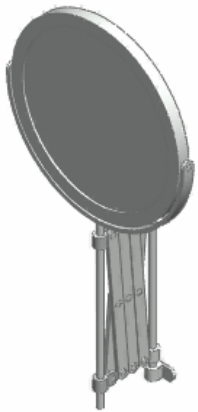
## Mechanizm szybkiego powrotu Whitworth'a



# Mechanizmy - przykłady

## czworobok przegubowy - zastosowanie

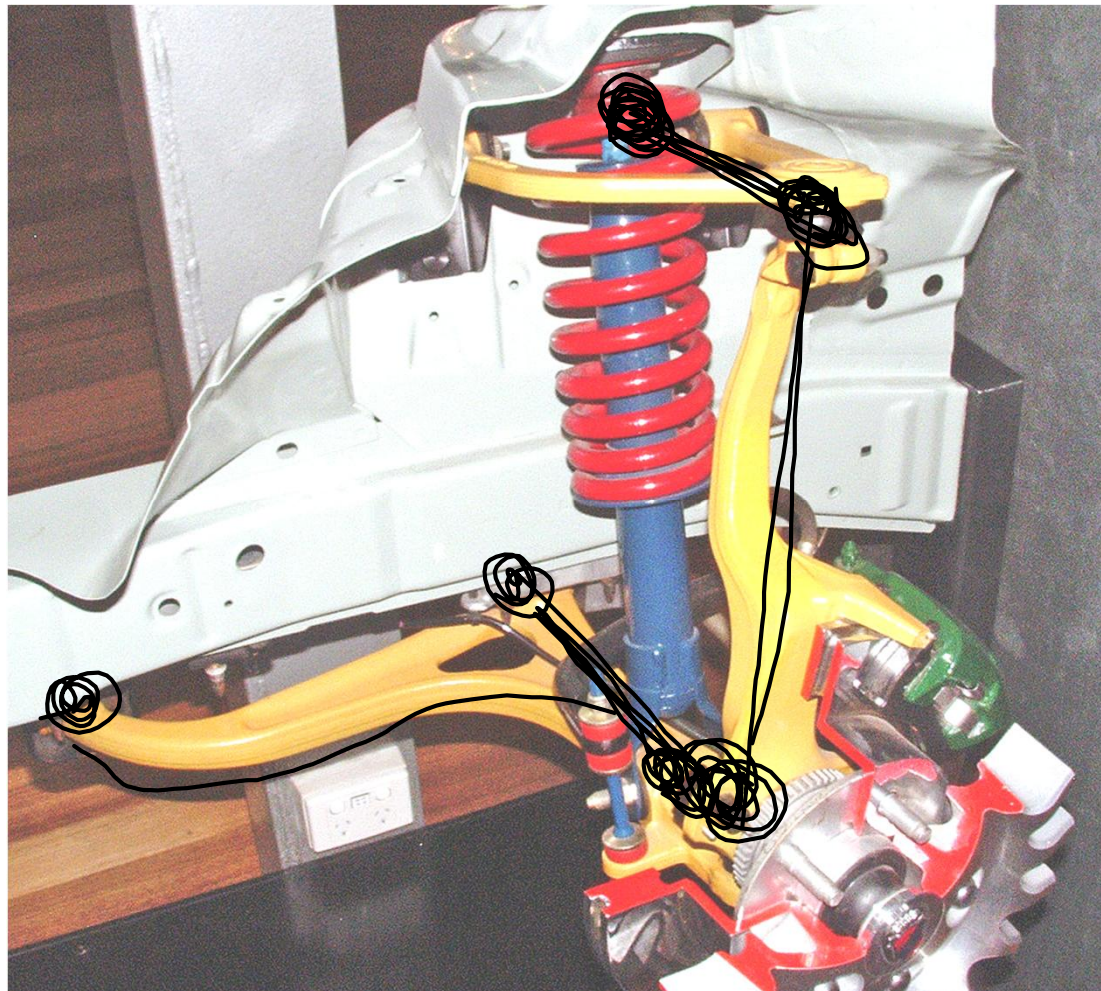
### Pantograf



# Mechanizmy - przykłady

czworobok przegubowy -  
zastosowanie

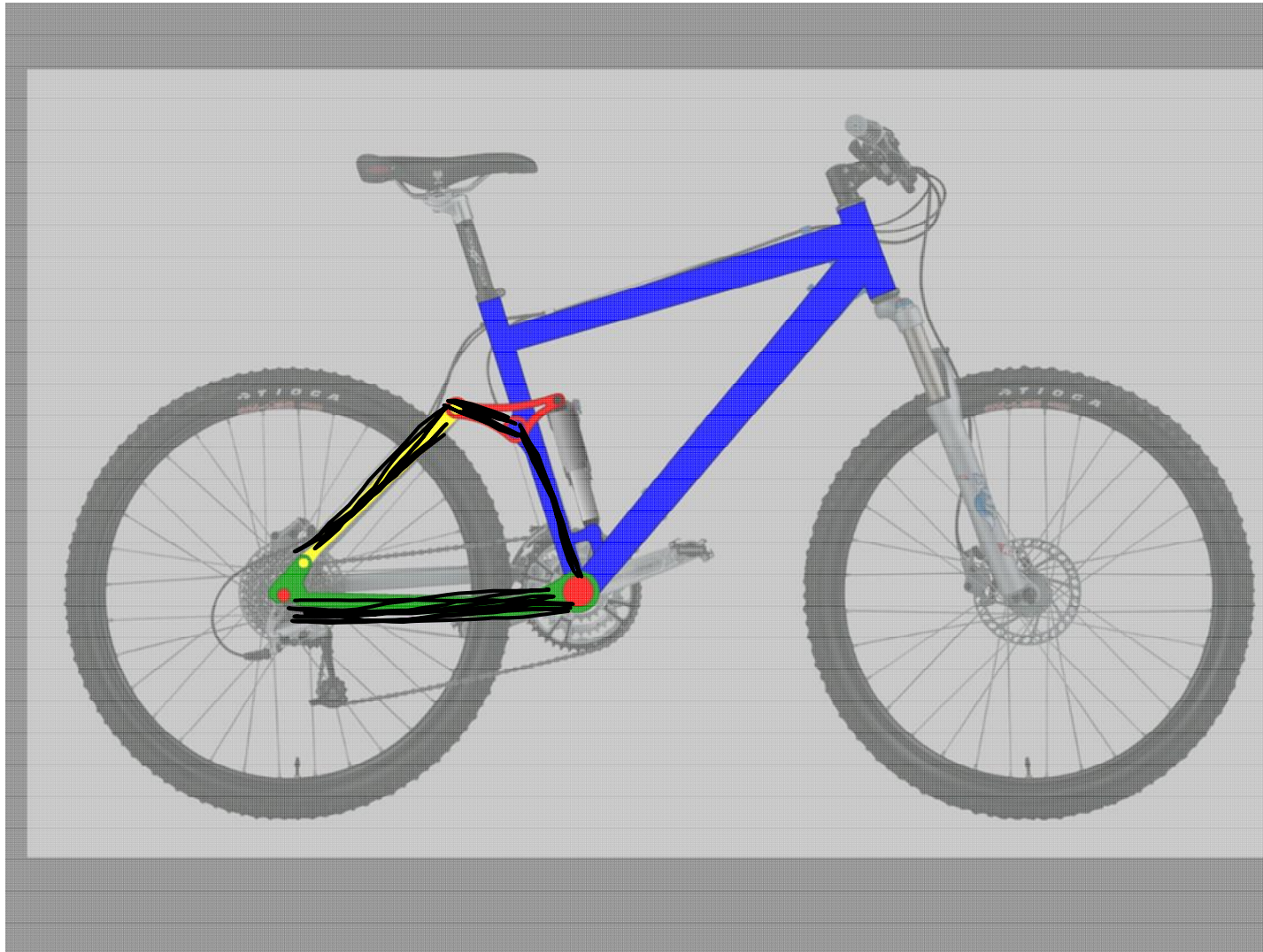
Zawieszenie dwuwahaczowe



źródło:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Double\\_wishbone\\_suspension](http://en.wikipedia.org/wiki/Double_wishbone_suspension)

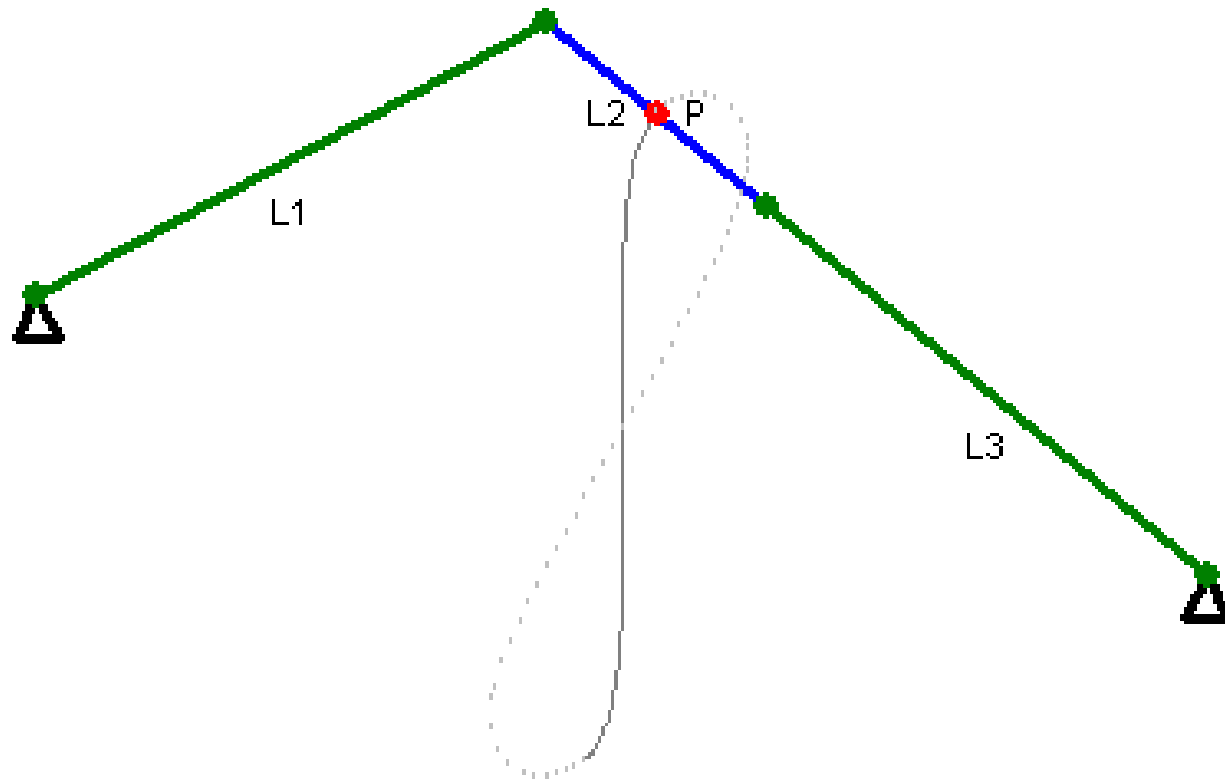
# Mechanizmy - przykłady

czworobok przegubowy -  
zastosowanie



# Mechanizmy - przykłady

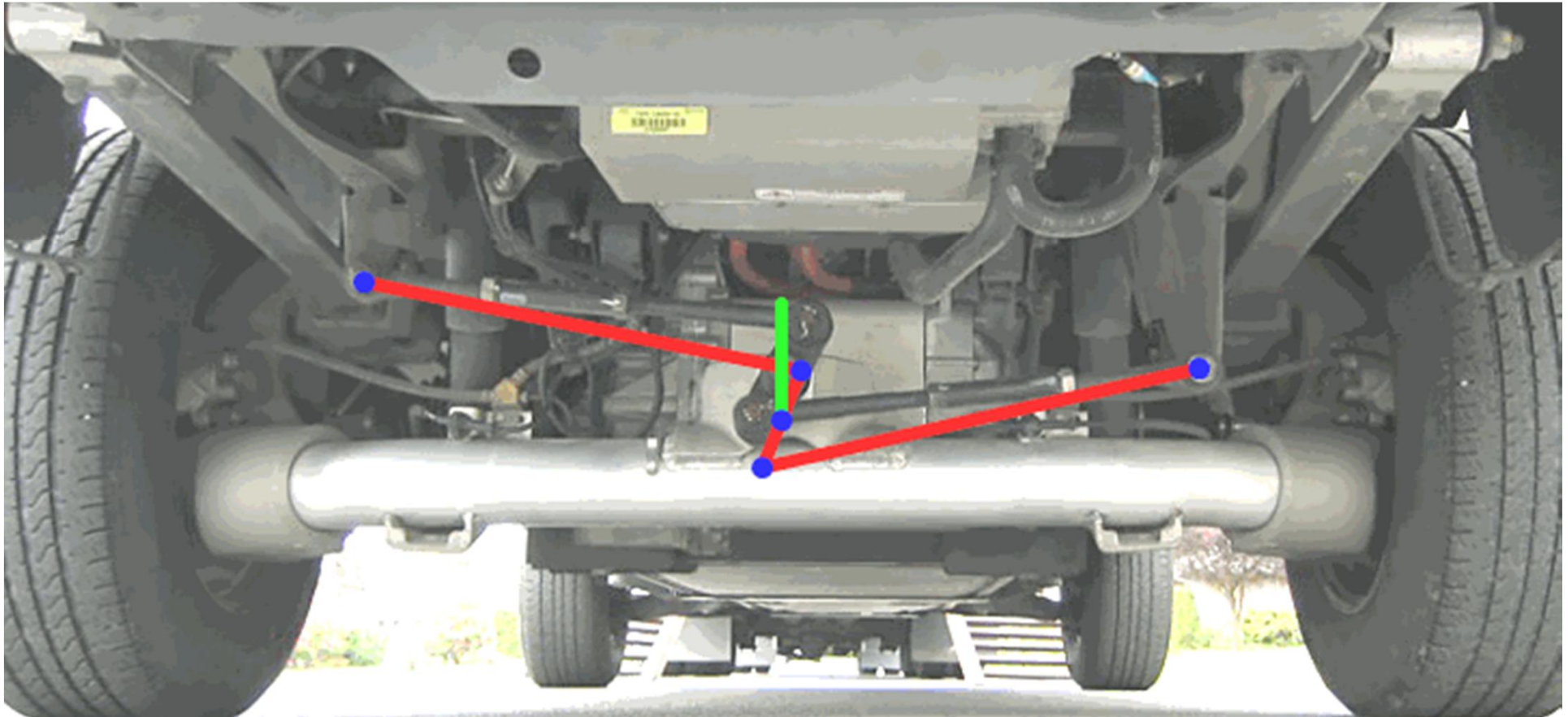
Mechanizm Watt'a



[http://en.wikipedia.org/wiki/Watt%27s\\_linkage](http://en.wikipedia.org/wiki/Watt%27s_linkage)

# Mechanizmy - przykłady

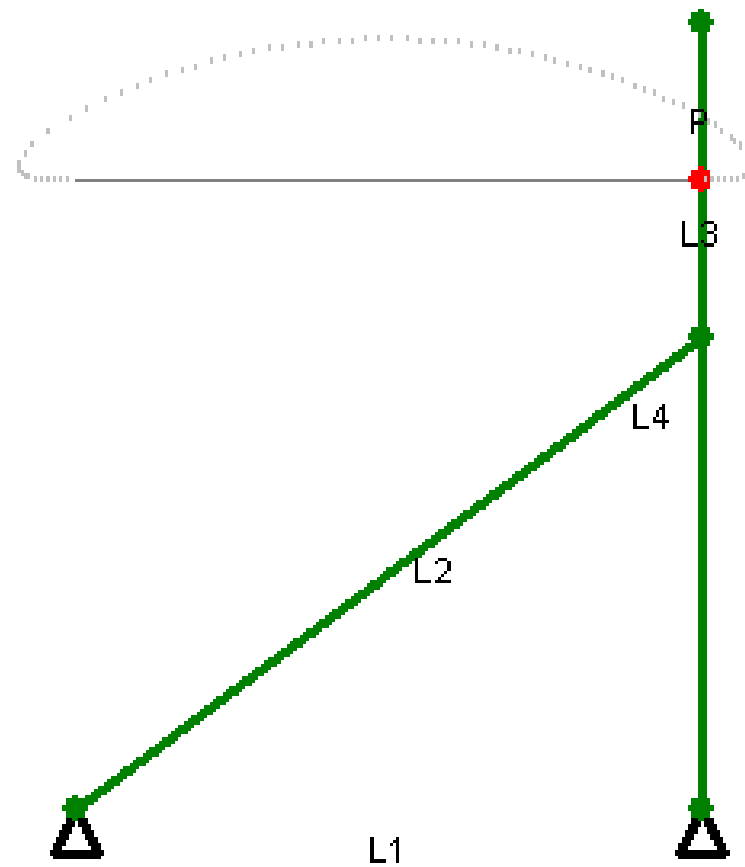
## Mechanizm Watt'a



[http://en.wikipedia.org/wiki/Watt%27s\\_linkage](http://en.wikipedia.org/wiki/Watt%27s_linkage)

# Mechanizmy - przykłady

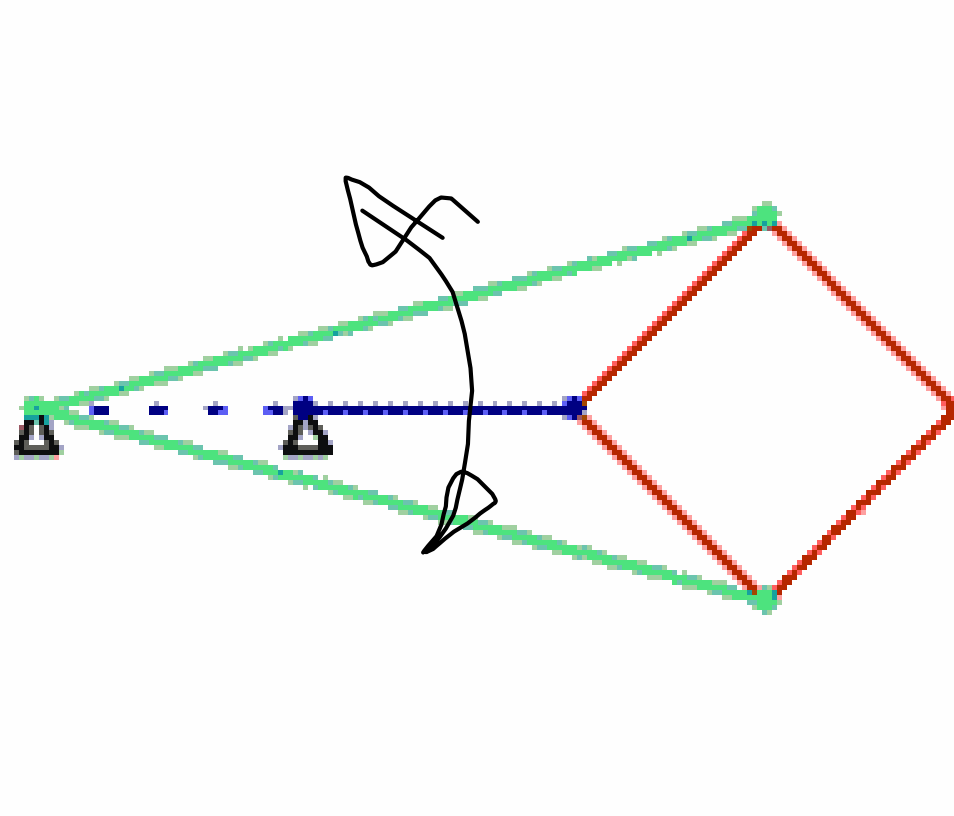
Mechanizm Chebyshev'a



[http://en.wikipedia.org/wiki/Chebyshev\\_linkage](http://en.wikipedia.org/wiki/Chebyshev_linkage)

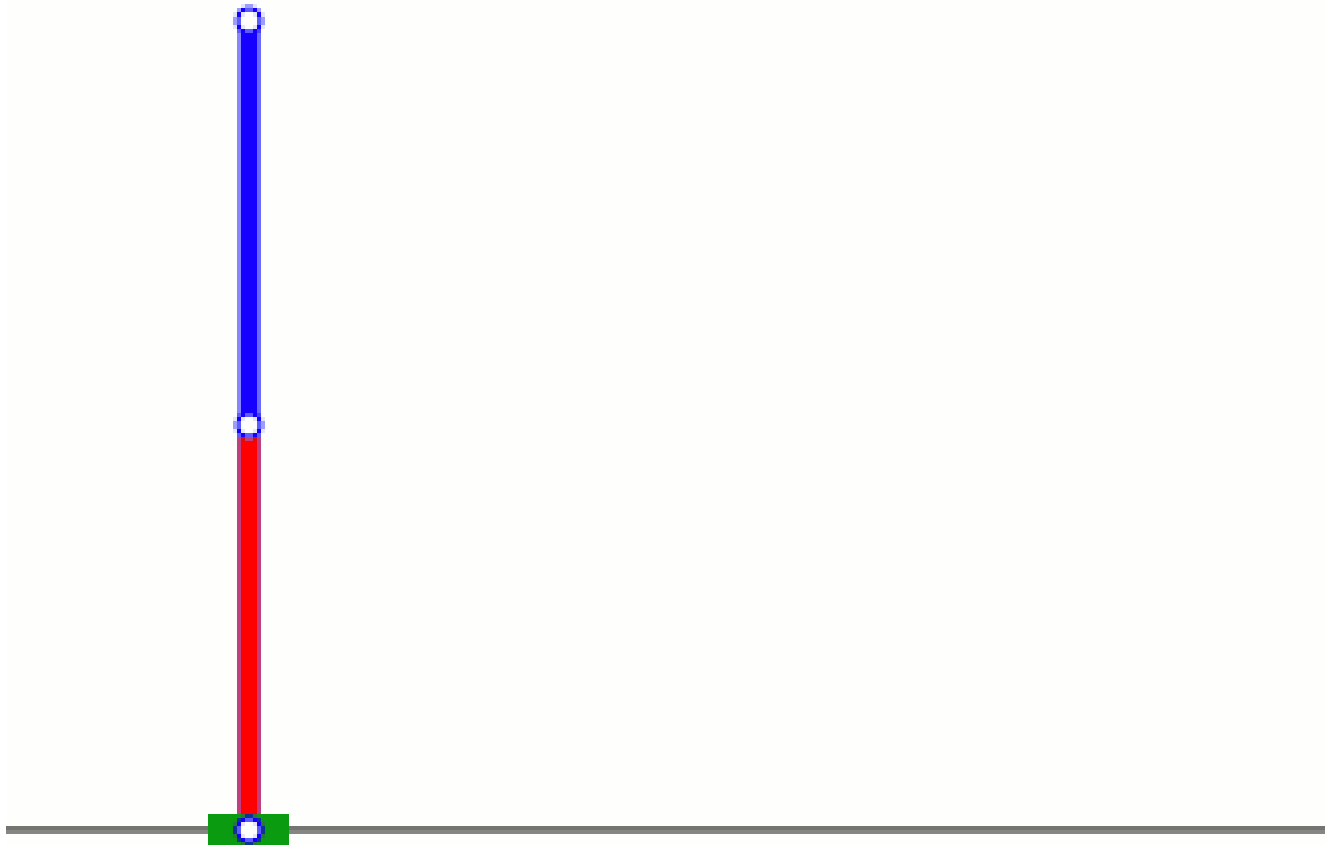
# Mechanizmy - przykłady

## Mechanizm Peaucellier–Lipkin'a



# Mechanizmy - przykłady

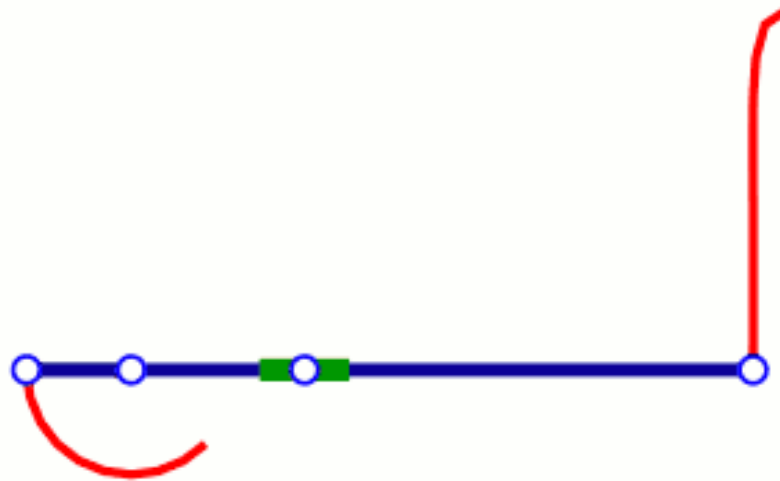
Mechanizm Scott-Russell'a



[http://en.wikipedia.org/wiki/Scott\\_Russell\\_linkage](http://en.wikipedia.org/wiki/Scott_Russell_linkage)

# Mechanizmy - przykłady

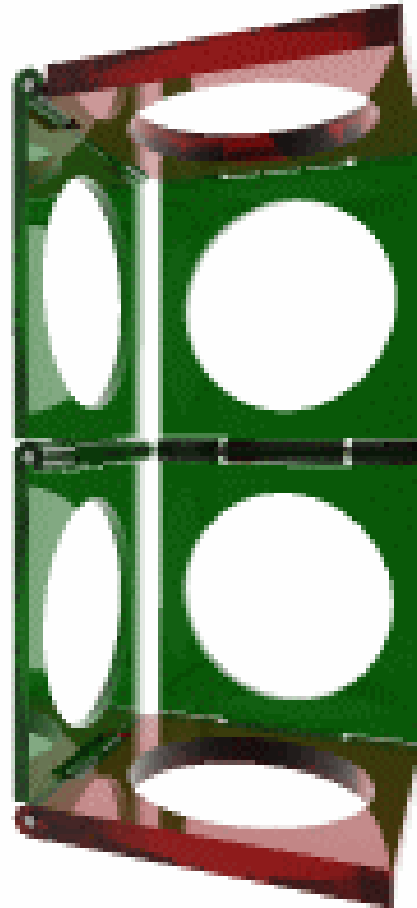
## Mechanizm Hoeckens'a



[http://en.wikipedia.org/wiki/Hoeckens\\_linkage](http://en.wikipedia.org/wiki/Hoeckens_linkage)

# Mechanizmy - przykłady

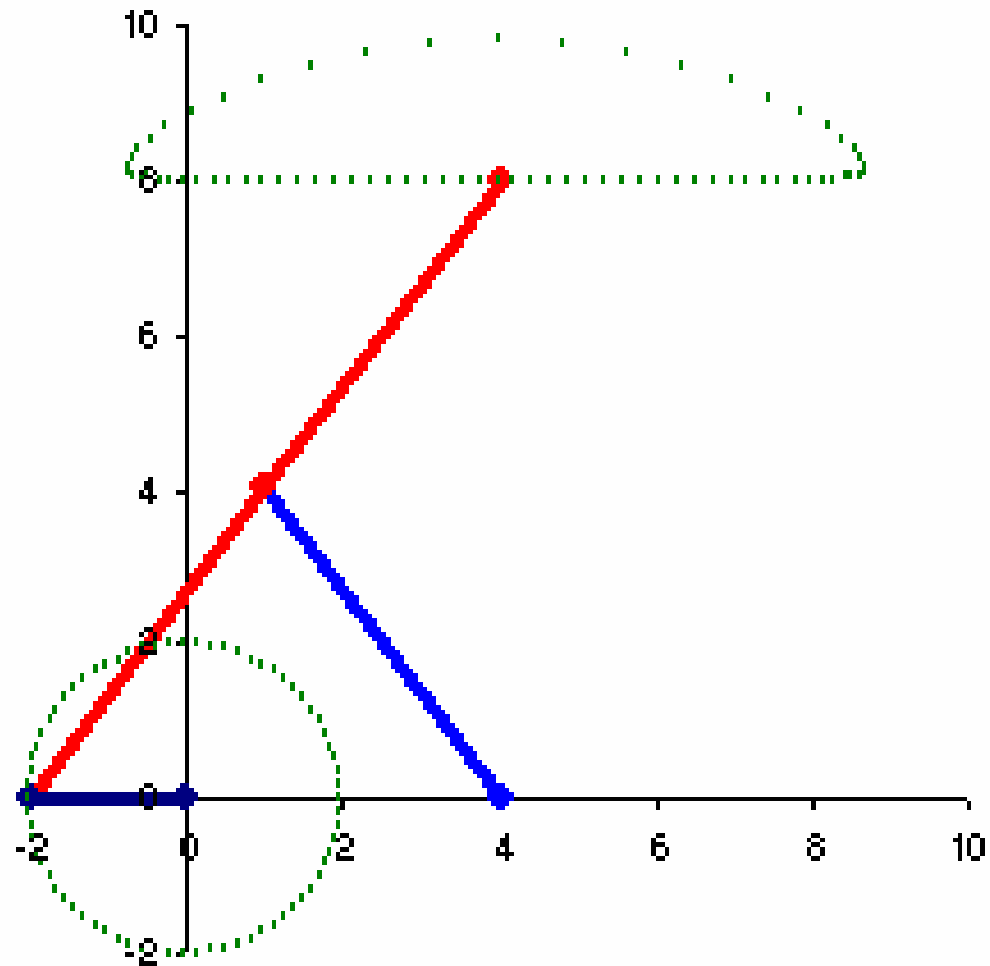
## Mechanizm Sarrus'a



[http://en.wikipedia.org/wiki/Sarrus\\_linkage](http://en.wikipedia.org/wiki/Sarrus_linkage)

# Mechanizmy - przykłady

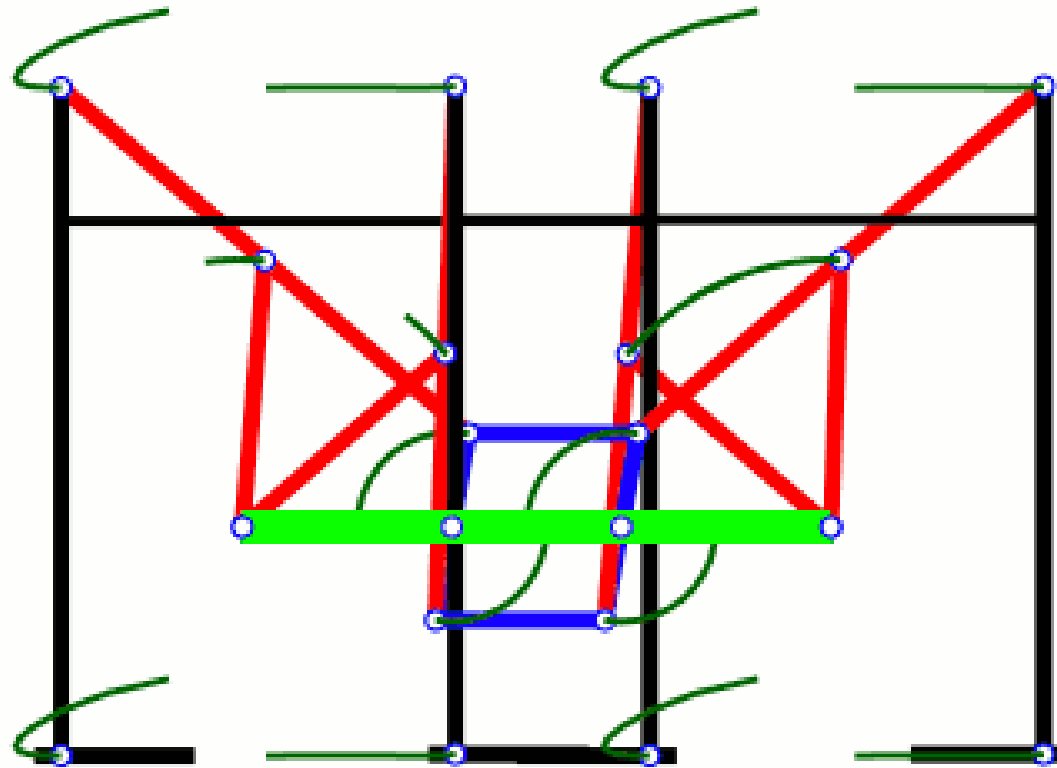
Mechanizm Lambda Chebyshev'a



[https://en.wikipedia.org/wiki/Chebyshev%27s\\_Lambda\\_Mechanism](https://en.wikipedia.org/wiki/Chebyshev%27s_Lambda_Mechanism)

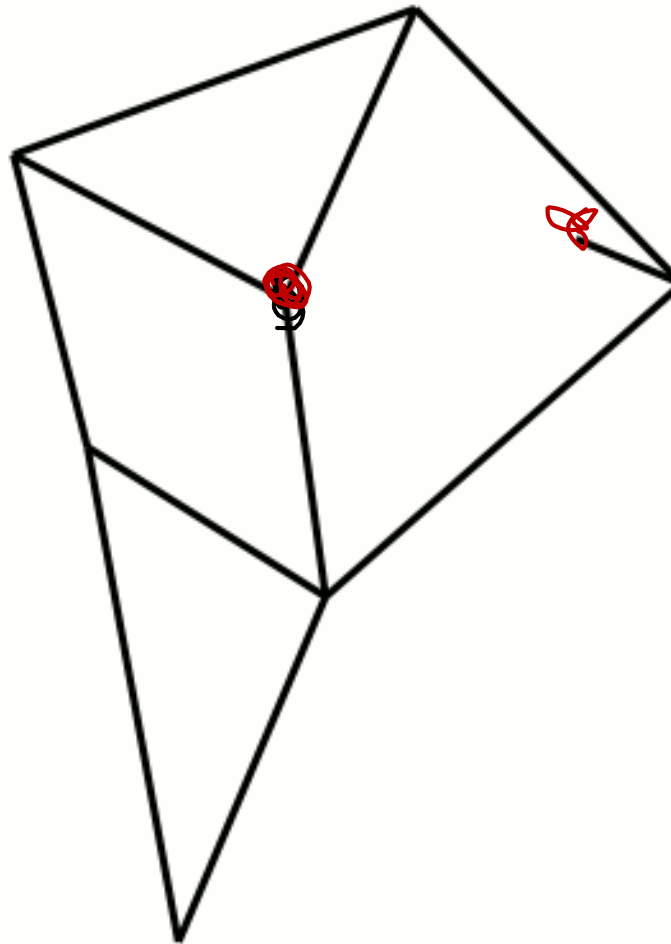
# Mechanizmy - przykłady

## Mechanizm Lambda Chebyshev'a



# Mechanizmy - przykłady

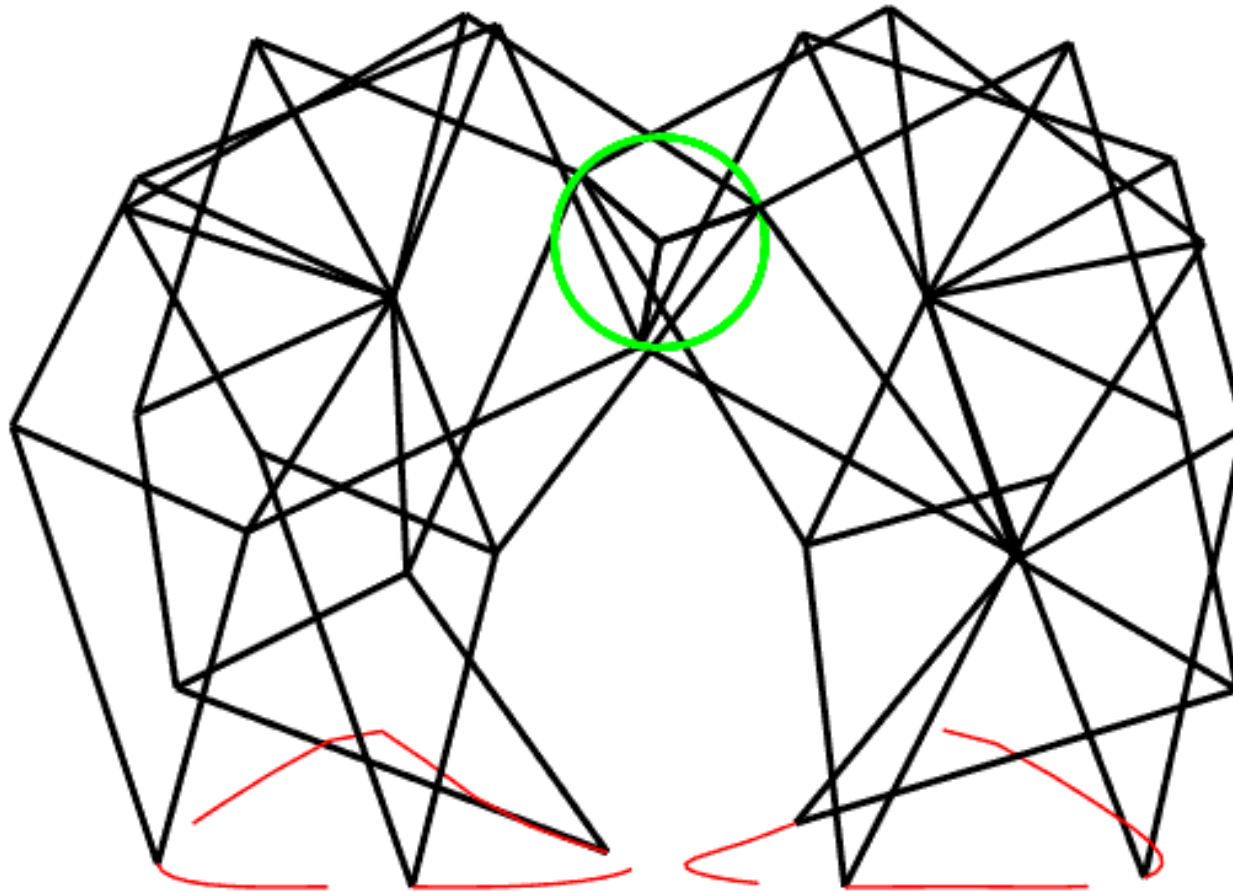
Mechanizm Jansen'a



[http://en.wikipedia.org/wiki/Jansen%27s\\_linkage](http://en.wikipedia.org/wiki/Jansen%27s_linkage)

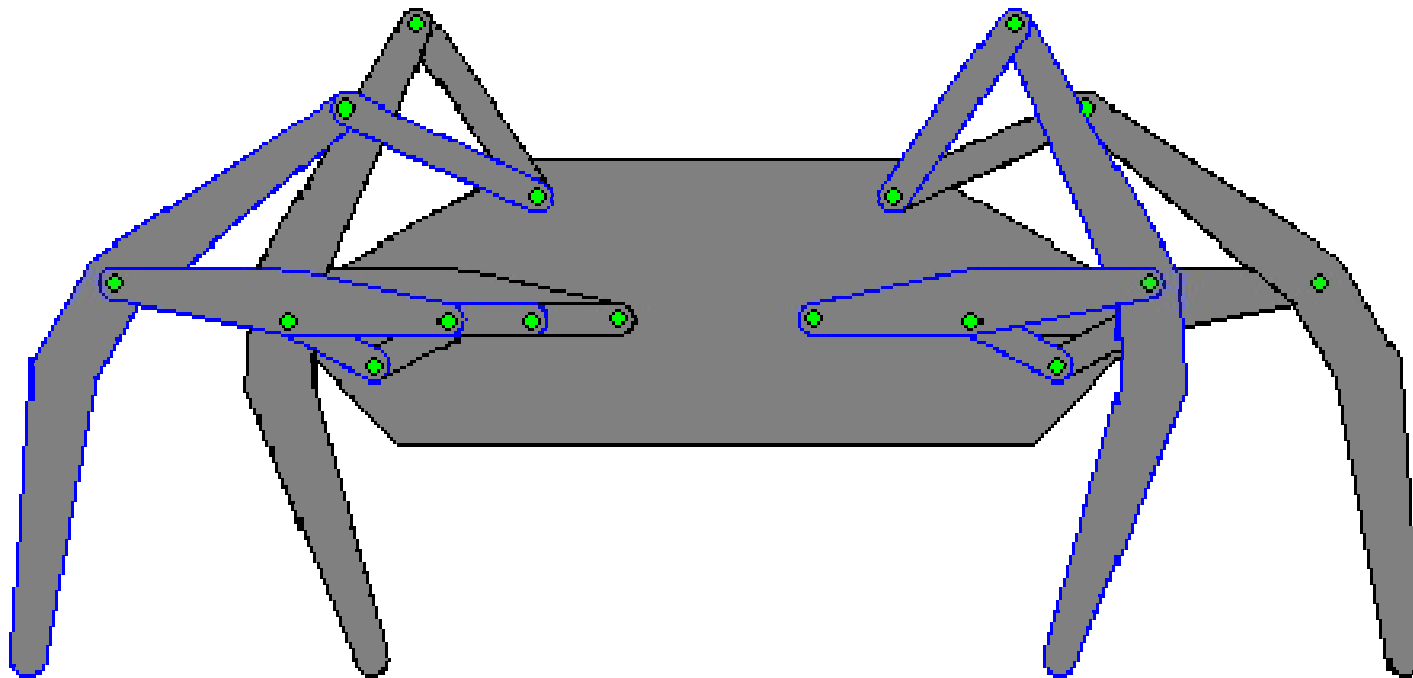
# Mechanizmy - przykłady

Mechanizm Jansen'a



# Mechanizmy - przykłady

## Mechanizm Klann'a



[http://en.wikipedia.org/wiki/Klann\\_linkage](http://en.wikipedia.org/wiki/Klann_linkage)

# Ruchliwość łańcucha kinematycznego

Ruchliwość – liczba stopni swobody mechanizmu względem podstawy

# Ruchliwość łańcucha kinematycznego

Ruchliwość – liczba stopni swobody mechanizmu względem podstawy

Wzory strukturalne (Chebychev–Grübler–Kutzbach)

$$(3D) \quad F = 6N - p_1 - 2p_2 - 3p_3 - 4p_4 - 5p_5$$

$N$  – liczba elementów ruchomych

$p_i$  – liczba par kinematycznych  $i$ -tej klasy

# Ruchliwość łańcucha kinematycznego

Ruchliwość – liczba stopni swobody mechanizmu względem podstawy

Wzory strukturalne (Chebychev–Grübler–Kutzbach)

$$(3D) \quad F = 6N - p_1 - 2p_2 - 3p_3 - 4p_4 - 5p_5$$

$$(2D) \quad F = 3N - p_4 - 2p_5$$

$N$  – liczba elementów ruchomych

$p_i$  – liczba par kinematycznych  $i$ -tej klasy

# Ruchliwość łańcucha kinematycznego

Ruchliwość – liczba stopni swobody mechanizmu względem podstawy

Wzory strukturalne (Chebychev–Grübler–Kutzbach)

$$(3 D) \quad F = 6 N - p_1 - 2 p_2 - 3 p_3 - 4 p_4 - 5 p_5$$

$$(2 D) \quad F = 3 N - p_4 - 2 p_5$$

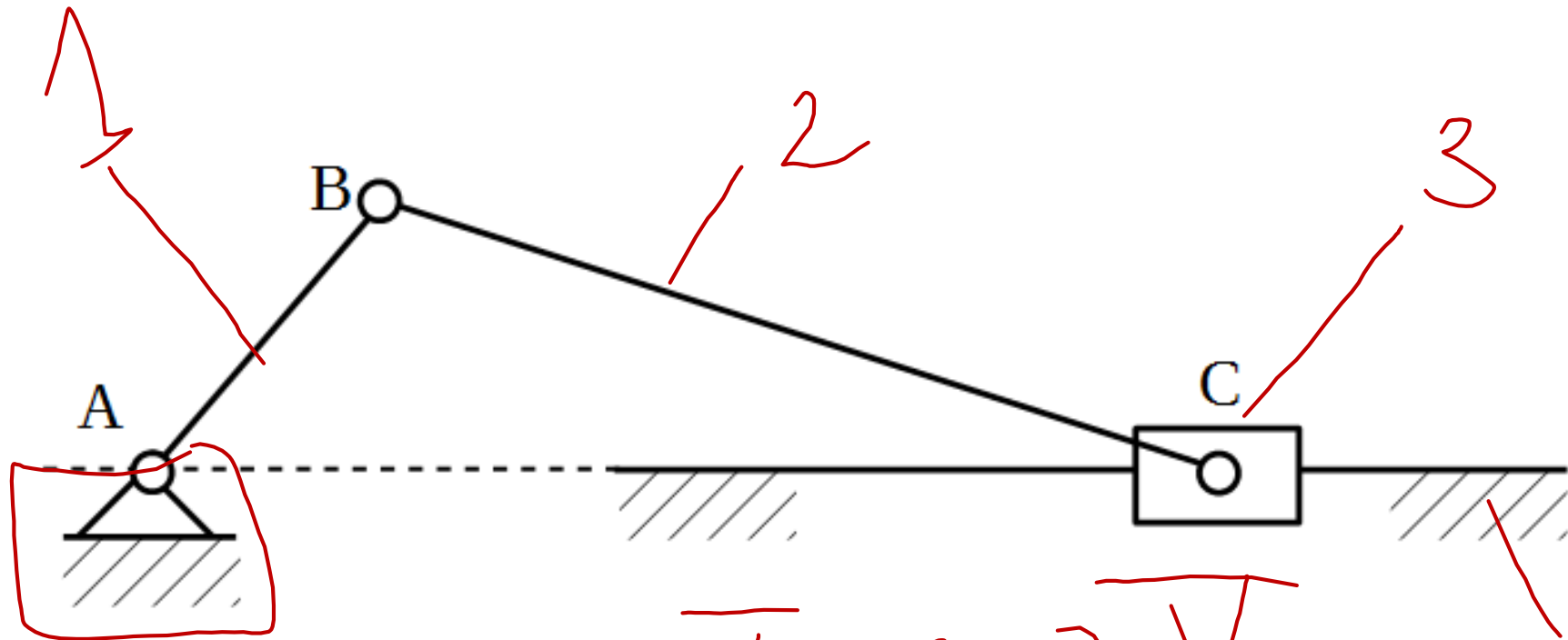
$N$  – liczba elementów ruchomych

$p_i$  – liczba par kinematycznych  $i$ -tej klasy

$F \geq 1$  – mechanizm z możliwością ruchu

$F < 1$  – mechanizm zablokowany albo  
ruchomy z więzami biernymi

# Wyznaczenie ruchliwości – przykład



$0$   
 $0-1 \quad \underline{\underline{V}}$   
 $1-2 \quad \underline{\underline{V}}$   
 $2-3 \quad \underline{\underline{V}}$   
 $3-0 \quad \underline{\underline{V}}$   
 $0$

$N = 3$

$F = 3N - 2P_5 = 9 - 8 = 1$