



Teoria maszyn i mechanizmów (TMM)

Klasyfikacja mechanizmów oraz
wprowadzenie do mechanizmów
dźwigniowych



KLASYFIKACJA MECHANIZMÓW



Występują trzy typy klasyfikacji mechanizmów:

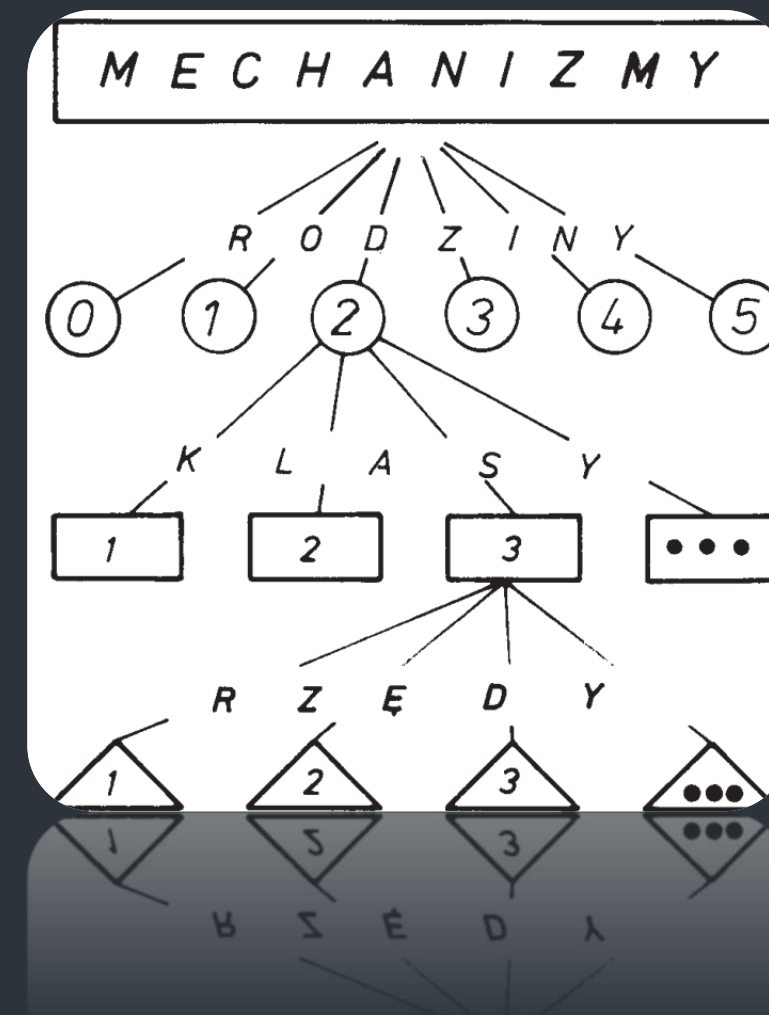
- strukturalna,
- konstrukcyjna,
- funkcjonalna.

Klasyfikację strukturalną, czyli podział zgodnie z cechami strukturalnymi, zapoczątkował rosyjski uczyony Leonid Vladimirovich Assur (1878–1920), rozwijaną później przez innych naukowców. Ivan Ivanovich Artobolevski (1905–1977) sprecyzował pojęcie grupy strukturalnej oraz jej klasę i rząd [Ceccarelli 2014].

Przyjęta w tym opracowaniu klasyfikacja strukturalna dzieli mechanizmy na rodziny, klasy i rzędy (rys.). Nie jest to podział pozwalający na jednoznaczne przyporządkowanie wszystkich mechanizmów do odpowiednich kategorii. Powstały dokładniejsze metody klasyfikacji, o większym stopniu skomplikowania, których omawianie nie jest zasadne w tym opracowaniu.

Zaletą klasyfikacji strukturalnej jest możliwość stworzenia uniwersalnych metod analizy strukturalnej, kinematycznej i dynamicznej.

Rys. [Miller 1989]



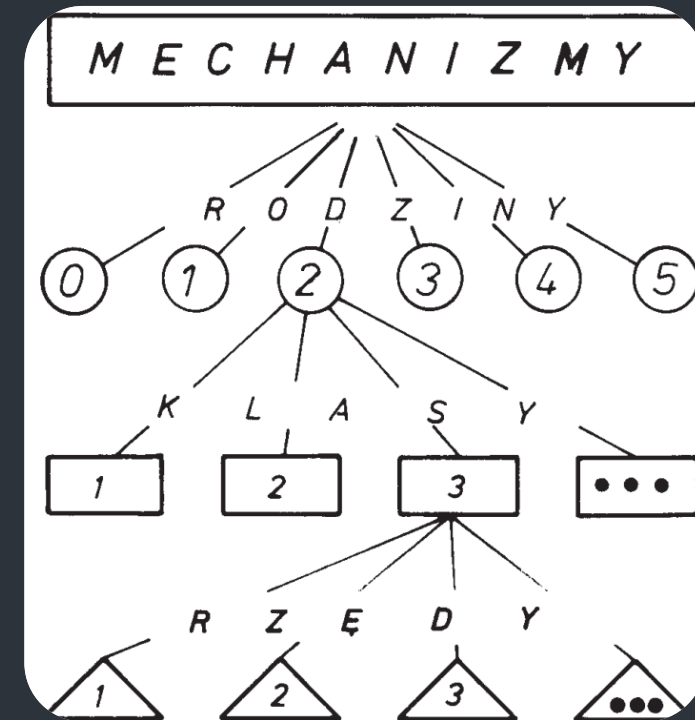
Rodzina

Jest sześć rodzin od 0 do 5. Przynależność do rodziny wynika z narzuconych więzów. Są one określane względem przyjętego układu współrzędnych wspólnie dla wszystkich członów. W **rodzinie 0** członki mają sumarycznie sześć stopni swobody (rys. 1)

Rys. [Miller 1989]



Rys. 1. Rodzina 0 – sześć stopni swobody [Miller 1989]



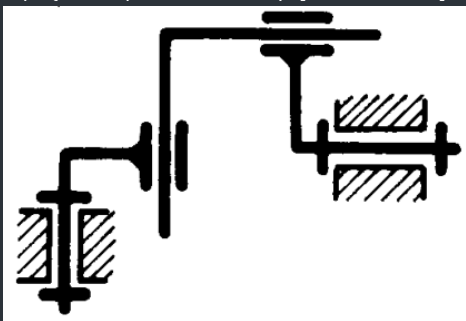
Rodzina

Rodzina 1 – wszystkie człony mają odebrany jeden wspólny stopień swobody. Dla mechanizmu na rys. 1, jest to obrót względem osi prostopadłej do płaszczyzny rysunku.

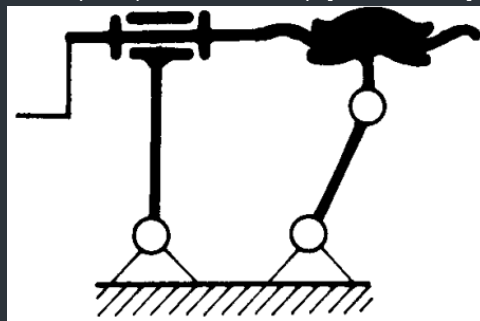
Rodzina 2 – wszystkie człony mają odebrane dwa wspólne stopnie swobody. Dla mechanizmu na rys. 2 jest to obrót względem osi pionowej i przesunięcie względem osi prostopadłej do płaszczyzny rysunku.

Rodzina 3 – wszystkie człony mają odebrane trzy wspólne stopnie swobody. Dla mechanizmu na rys. 3, jest to obrót względem osi pionowej oraz poziomej i przesunięcie względem osi prostopadłej do płaszczyzny rysunku. Do tej grupy należą głównie mechanizmy płaskie (również mechanizmy przestrzenne kuliste).

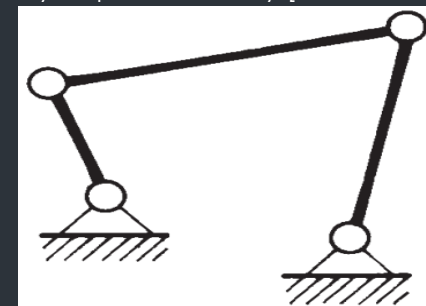
Rys. 1. Rodzina 1 –
pięć stopni swobody [Miller 1989]



Rys. 2. Rodzina 2 –
cztery stopnie swobody [Miller 1989]



Rys. 3. Rodzina 3 –
trzy stopnie swobody [Miller 1989]



Rodzina

Rodzina 4 – wszystkie człony mają pozostawione w sumie dwa stopnie swobody. Dla mechanizmu klinowego na rys. 1 jest to przesunięcie względem osi poziomej i pionowej. Należą do tej rodziny mechanizmy z parami przesuwными (klinowe) i mechanizmy śrubowe.

Rodzina 5 – człon ma pozostawiony jeden stopień swobody (rys. 2). Do tej rodziny należą człony czynne (napędzające).

Rys. 1. Rodzina 4 –
dwa stopnie swobody [Miller 1989]



Rys. 2. Rodzina 5 –
jeden stopień swobody [Miller 1989]





Klasa mechanizmu (prezentowany tu opis dotyczy mechanizmów płaskich)

Klasa mechanizmu określana jest na podstawie klasy grup strukturalnych (Assura) wchodzących w skład mechanizmu. Należy przeprowadzić następujące kroki w celu ustalenia klasy mechanizmu:

1. Wykonać schemat kinematyczny mechanizmu, którego ruchliwość odpowiada ruchliwości rzeczywistej (usunąć więzy bierne i ruchliwości lokalne).
2. Jeżeli występują pary klasy II, to należy utworzyć schemat kinematyczny zastępczy, w którym zastąpione są one parami klasy I.
3. Określić klasę grupy Assura. Klasa mechanizmu jest równa najwyższej klasie grupy występującej w mechanizmie. W przypadku niektórych mechanizmów, np. z przekładnią zębatą lub skomplikowanych, wygodnie jest wcześniej utworzyć schemat strukturalny.



Klasa mechanizmu

Należy wyjaśnić pojęcie grupy Assura i jej klasy.

Grupa strukturalna (Assura) jest to łańcuch kinematyczny łącznie spełniający warunki:

1. Po połączeniu z podstawą wolnych członów tworzy układ sztywny.
2. Nie ma możliwości podziału na prostsze łańcuchy spełniające warunek pierwszy.
3. Wydzielając grupę strukturalną z istniejącego mechanizmu nie można zmienić jego ruchliwości.

Z punktu 1 wynika, że grupa Assura ma ruchliwość równą 0 i obowiązuje ją równanie strukturalne postaci:

$$\begin{aligned}3n - 2p_1 &= 0 \\ 3n &= 2p_1\end{aligned}$$

Z równania uzyskuje się informację ile członów i par kinematycznych klasy I może mieć grupa Assura (tab.).

Liczba członów n	2	4	6	...
Liczba par kinematycznych p ₁	3	6	9	...

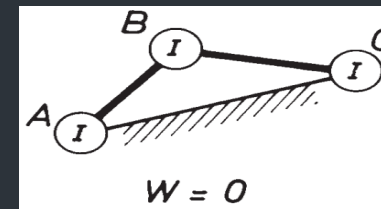
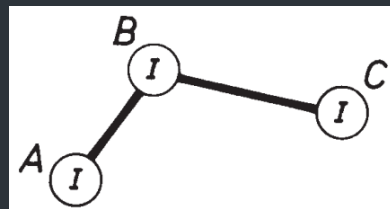
KLASYFIKACJA MECHANIZMÓW - STRUKTURALNA



Klasa mechanizmu

Klasa grupy Assura dla 2 członów i 3 par kinematycznych określana jest jako druga (jedna wewnętrzna para kinematyczna).

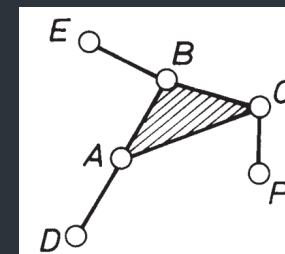
Rys. Przykładowa grupa Assura przyłączona do podstawy [Miller 1989]



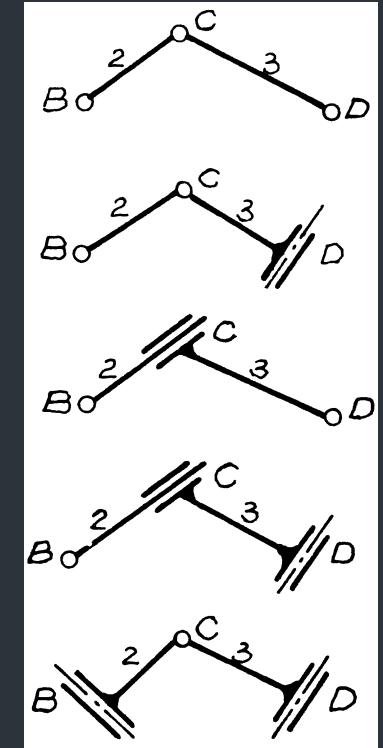
Dla pozostałych grup, składających się z większej ilości członów, o klasie grupy decyduje liczba boków największego wieloboku zamkniętego tej grupy*.

* Według niektórych źródeł [np. Siemieniako 1999, Miller 1989] o klasie grupy decyduje liczba członów i par kinematycznych. Poniżej przedstawiono tabelę z przynależnością grup do klas według tej reguły.

Klasa grupy	II	III	IV	
Liczba członów n	2	4	6	...
Liczba par kinematycznych p_1	3	6	9	...



Rys. Przykładowa grupa klasy III [Miller 1989]



Rys. Wszystkie warianty grupy klasy 2 z parami klasy I [Młynarski 1997]

KLASYFIKACJA MECHANIZMÓW - STRUKTURALNA



Klasa mechanizmu

Przedstawione dwie reguły określania klasy grupy, wieloboku zamkniętego i oparta na liczbie członów i par, nie są równoważne (rysunki grup w tabeli są z [Siemieniako 1999]).

Klasa grupy według		Liczba członów	Liczba par kinematycznych	Schemat kinematyczny grupy
Wieloboku zamkniętego	Liczby członów i par			
<i>III</i>	<i>III</i>	4	6	
<i>IV</i>	<i>III</i>	4	6	
<i>III</i>	<i>IV</i>	6	9	
<i>IV</i>	<i>IV</i>	6	9	

KLASYFIKACJA MECHANIZMÓW - STRUKTURALNA



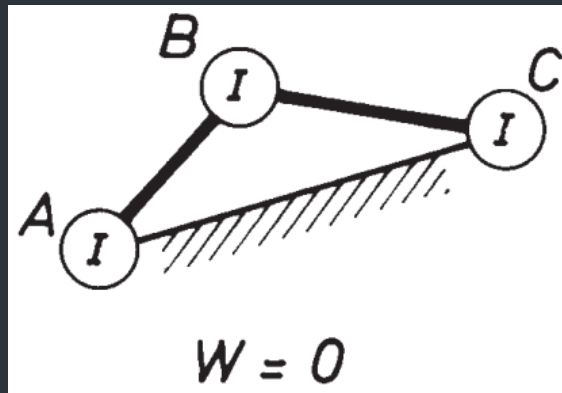
Klasa mechanizmu

Na zajęciach stosować będziemy regułę wieloboku zamkniętego wprowadzoną przez I. I. Artobolevskiego [Ceccarelli 2014]. Niektórzy autorzy określają człon napędowy jako grupę klasy I .

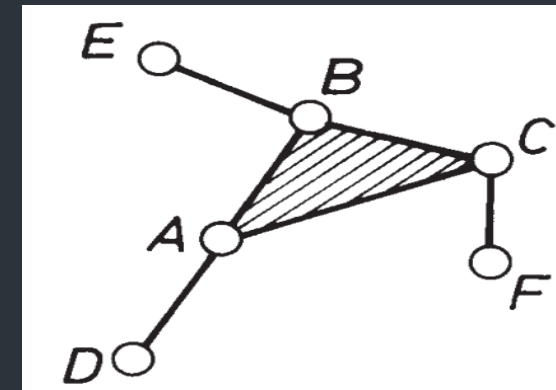
Rząd mechanizmu

Rząd mechanizmu definiowany jest jako liczba pól par zewnętrznych grupy, które po połączeniu z podstawą tworzą strukturę.

Rys. Grupa rzędu 2
[Miller 1989]



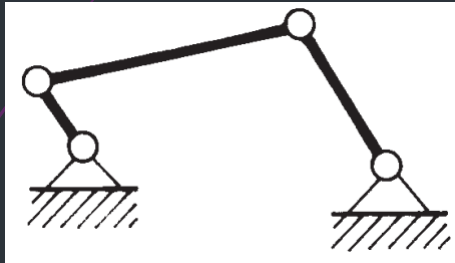
Rys. Grupa rzędu 3
[Miller 1989]



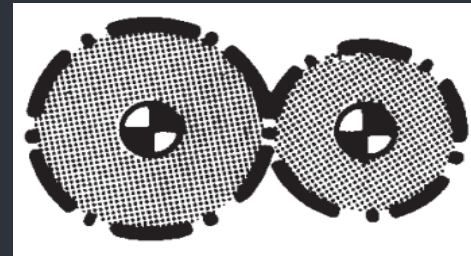
KLASYFIKACJA MECHANIZMÓW - KONSTRUKCYJNA



Klasyfikacja konstrukcyjna dzieli mechanizmy ze względu na właściwości konstrukcyjne.



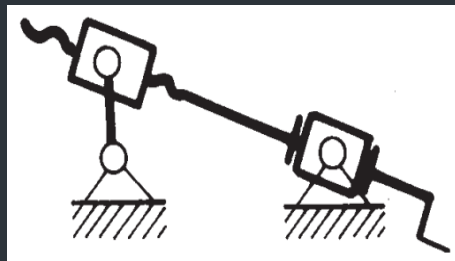
Dźwigniowe



Zębate



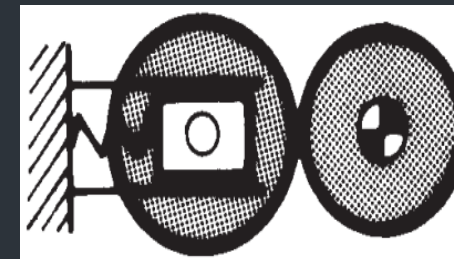
Ciężnowe



Śrubowe



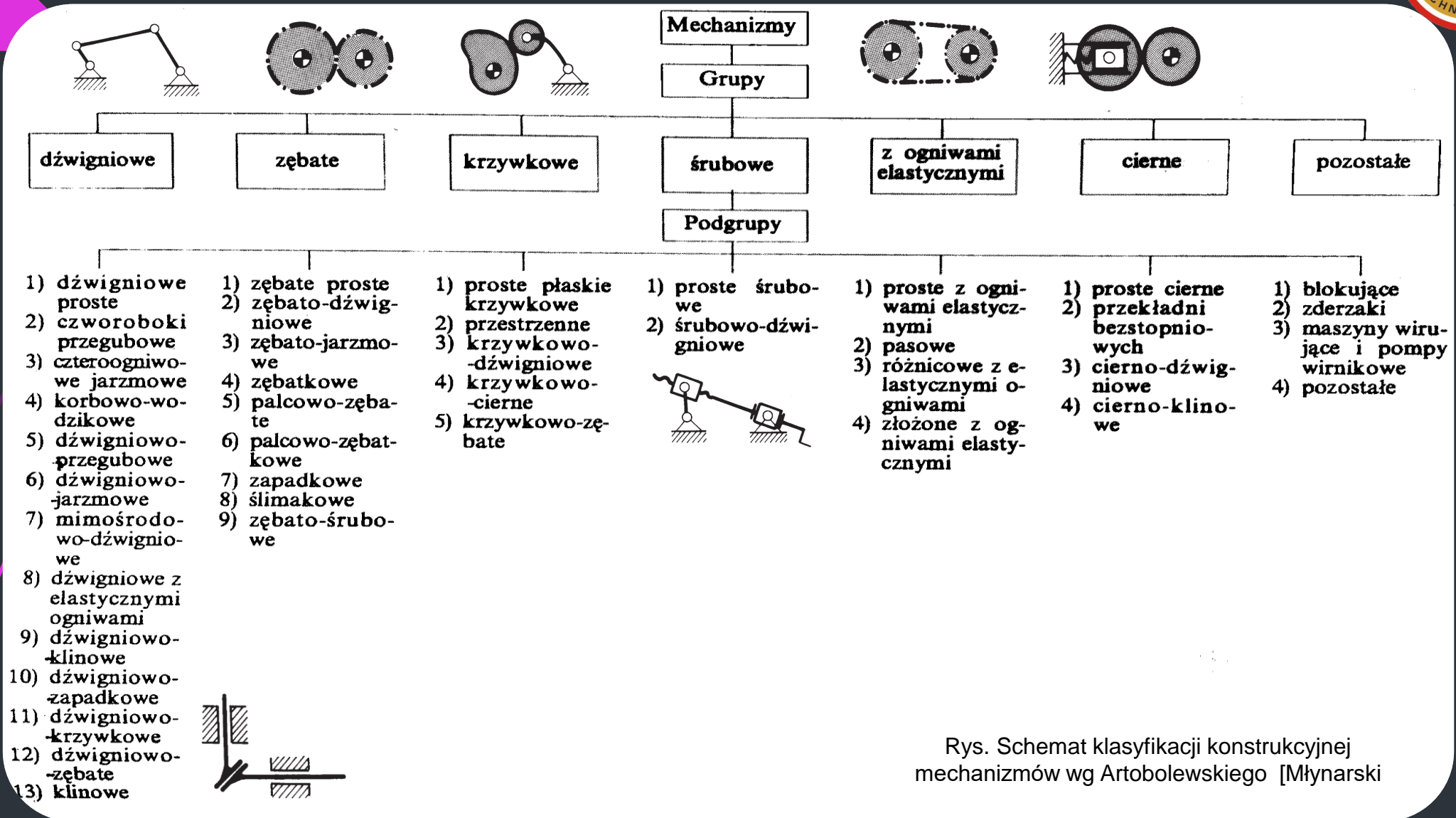
Krzywkowe



Cierne

Rys. [Miller 1989]

KLASYFIKACJA MECHANIZMÓW - KONSTRUKCYJNA



Rys. Schemat klasyfikacji konstrukcyjnej mechanizmów wg Artobolewskiego [Młynarski



Klasyfikacja funkcjonalna dzieli mechanizmy ze względu na pełnione zadania w maszynach. Mechanizmy wg. Artobolewskiego dzielone są na [Młynarski 1997]: włączania i wyłączania, chwytaków, wag, hamulców, przystankowe, dla wykonywania operacji matematycznych, kierujące, dźwigniowe, zaworów, równoległoboków, nierównoległoboków, tłoków, pomp wirnikowych i mimośrodowych, maszyn kołowrotów, regulatorów, z wahającymi się tarczami, pras, zasilania, dorywczego zasilania, ciężarowe podnoszenia, młotów, urządzeń blokujących, rozrzędu, zapadowe oraz pozostałych urządzeń.

ANALIZA STRUKTURALNA MECHANIZMÓW

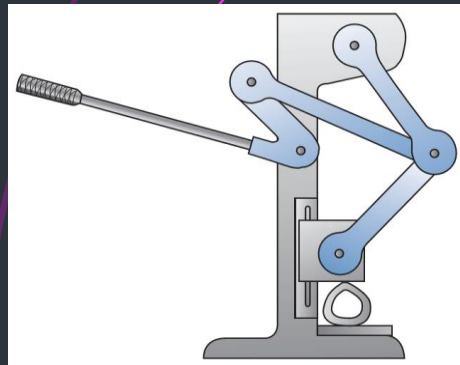


Analiza strukturalna mechanizmu ma na celu określenie jego ruchliwości, klasyfikację strukturalną i stanowi punkt wyjścia do dalszych analiz kinematycznych i dynamicznych.

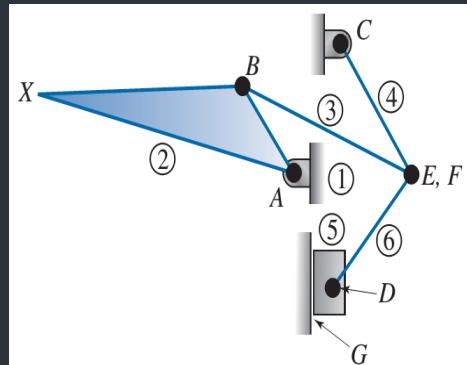
W trakcie analizy mogą być sporządzane schematy:

- *kinematyczny* – przedstawia mechanizm w sposób uproszczony z zachowaniem struktury i wielkości geometrycznych członów konieczne do przeprowadzania analizy kinematycznej,
- *strukturalny* – przedstawia w sposób symboliczny połączenia członów parami kinematycznymi.

Rys. Schemat konstrukcyjny prasy [Myszka 2012]



Rys. Schemat kinematyczny prasy [Myszka 2012]

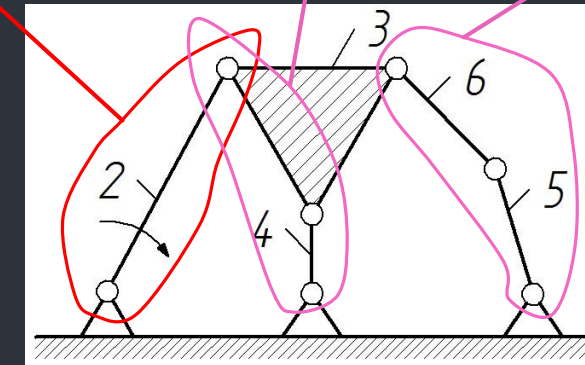


$$W = 3n - 2P_1 - P_2 = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 7 = 15 - 14 = 1$$

Mechanizm prasy ma ruchliwość 1 i zaliczany jest do rodziny 3, klasy II, rzędu 2.

Co należy zmienić, aby był to mechanizm kl. III?

Człon napędowy kl. I Grupa struk. kl. II Grupa struk. kl. II

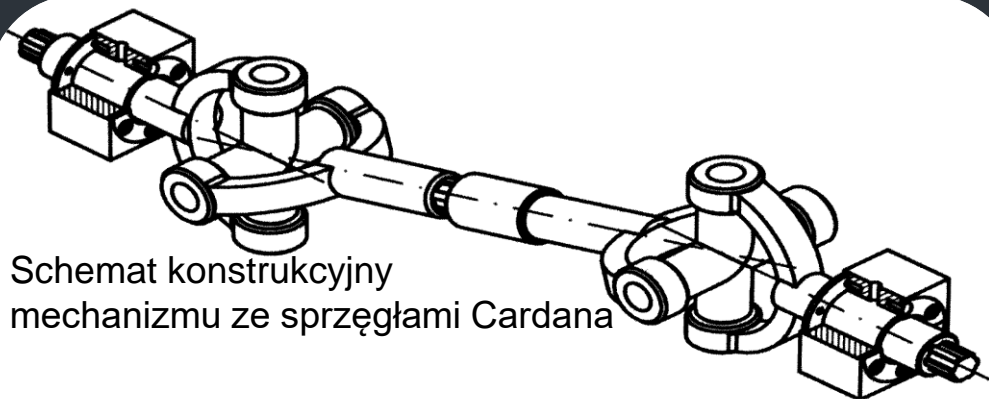


Rys. Schemat strukturalny prasy

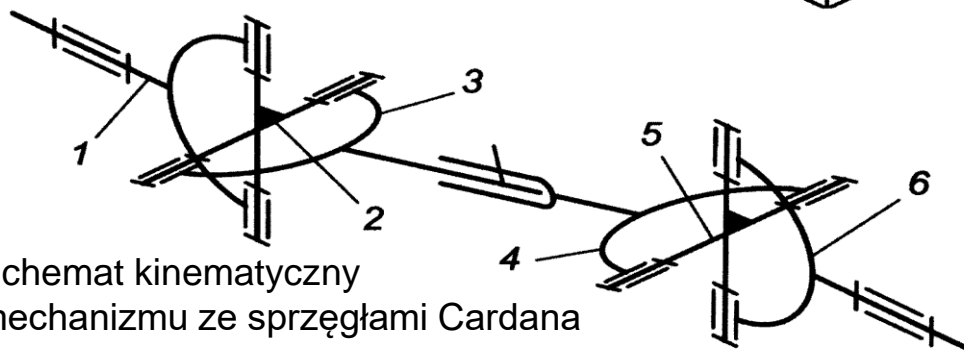
ANALIZA STRUKTURALNA



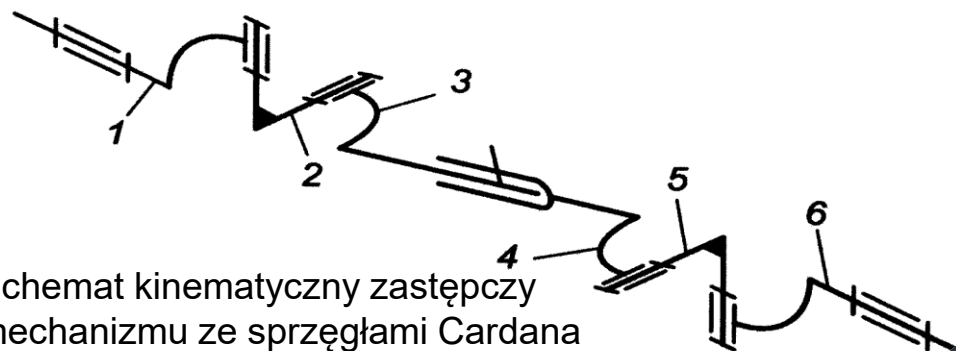
Rys. [Felis, Jaworski 2007]



Schemat konstrukcyjny mechanizmu ze sprzęgłami Cardana



Schemat kinematyczny mechanizmu ze sprzęgłami Cardana



Schemat kinematyczny zastępczy mechanizmu ze sprzęgłami Cardana

$$W = 6n - 5P_1 - 4P_2 - 3P_3 - 2P_4 - P_5 = 6 \cdot 6 - 5 \cdot 7 = 36 - 35 = 1$$

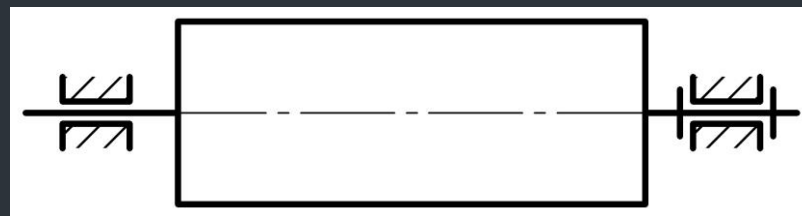
Jaka jest klasa mechanizmu?

MECHANIZMY DŹWIGOWE



W skład tej grupy, za Parszewskim [Parsz 78], zaliczane są mechanizmy zbudowane tylko z niższych par kinematycznych z wyjątkiem śrubowej.

Najprostszym mechanizmem z tej grupy jest wałek wirnika np. wentylatora, silnika elektrycznego podparty w łożyskach.



Podstawowym mechanizmem jest natomiast czworobok przegubowy. Znaczna część mechanizmów dźwigniowych może być otrzymana na jego podstawie w drodze odpowiednich przekształceń.

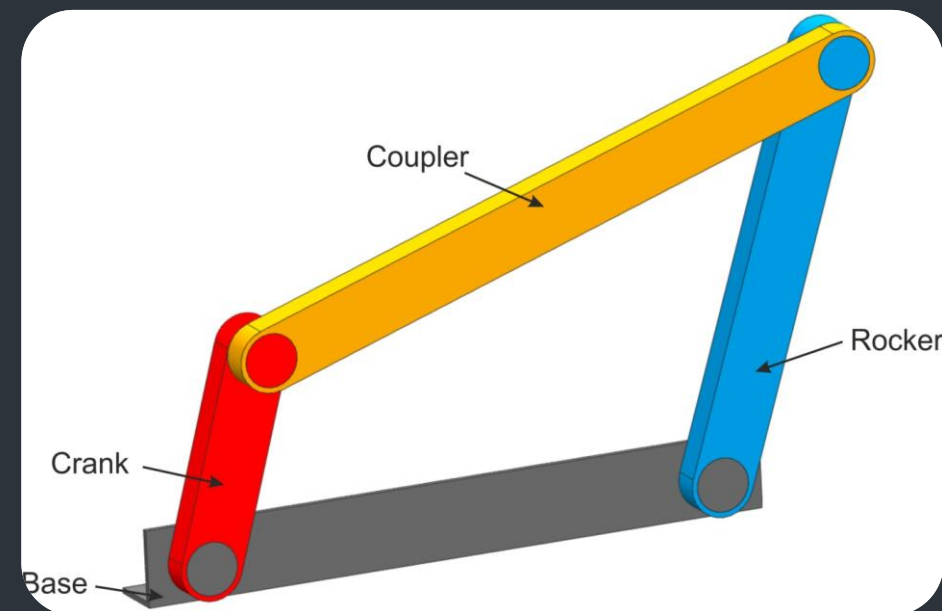
Typy członów występujące w czworoboku przegubowym:

Korba – może wykonać pełny obrót i jest połączona z podstawą.

Wahacz – wykonuje ruch obrotowo-zwrotny (wahadłowy) i jest połączony z podstawą.

Łącznik – wykonuje ruch złożony i nie jest połączony z podstawą.

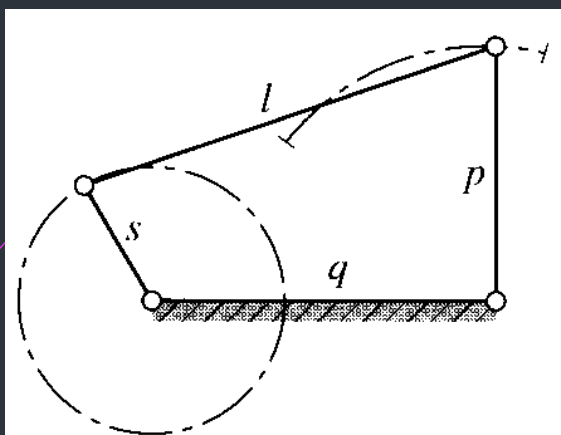
Podstawa (rama) – nie wykonuje ruchu względem przyjętego układu odniesienia.



MECHANIZMY DŹWIGOWE



Z praktycznego punktu widzenia ważne jest, jakie warunki muszą spełniać człony czworoboku przegubowego, aby jeden z nich mógł wykonać pełny obrót. Z tym członem można połączyć silnik. Rozwiązaniem jest warunek Grashof'a, według którego suma długości członu najkrótszego i najdłuższego nie może być większa od sumy długości pozostałych członów:



Rys. [Uicker 2011]

$$s + l \leq p + q$$

s = długość najkrótszego członu
 l = długość najdłuższego członu
 p = długość pozostałego członu
 q = długość pozostałego członu

Reuleaux również rozwiązał ten problem tylko uzyskał cztery równania:

$$s + l + p \geq q$$

$$s + l - p \leq q$$

$$s + q + p \geq l$$

$$s + q - p \leq l$$

s - korba

l - łącznik

p - wahacz

q - podstawa

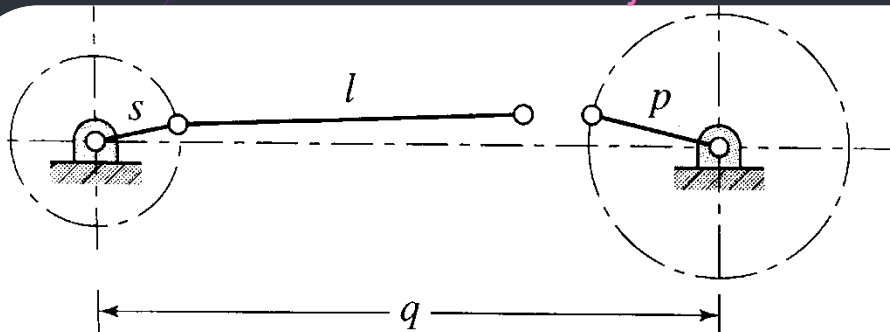
Wynik jest oczywiście taki sam.

MECHANIZMY DŹWIGOWE

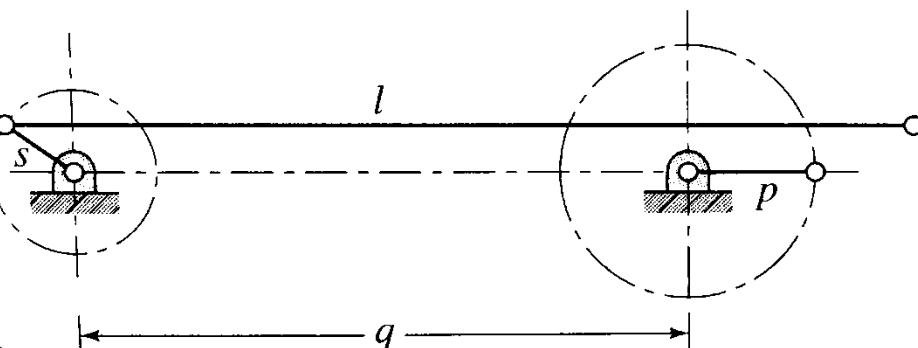


Na poniższych rysunkach zobrazowane jest niespełnienie tych czterech warunków.

Brak możliwości realizacji

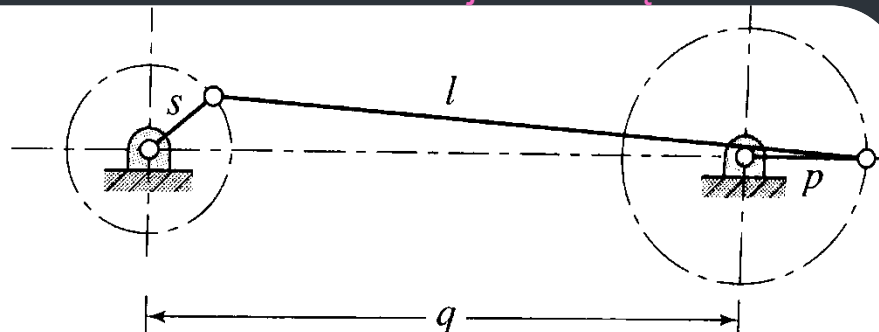


$$s + l + p < q$$

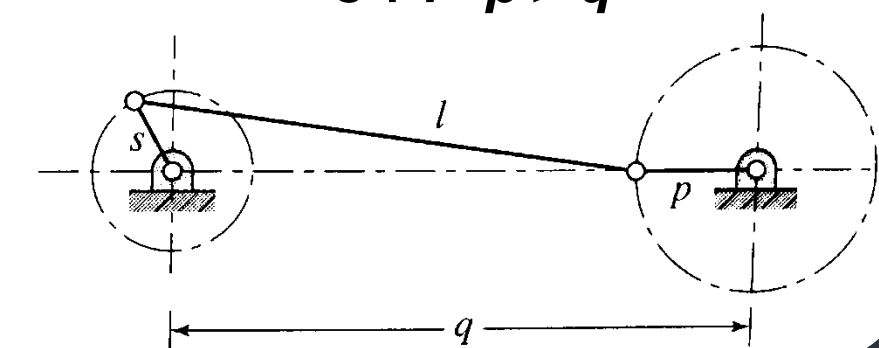


$$s + q + p < l$$

Człon s nie jest korbą



$$s + l - p > q$$



$$s + q - p < l$$

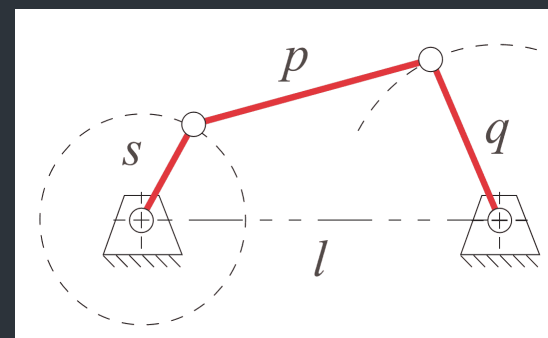
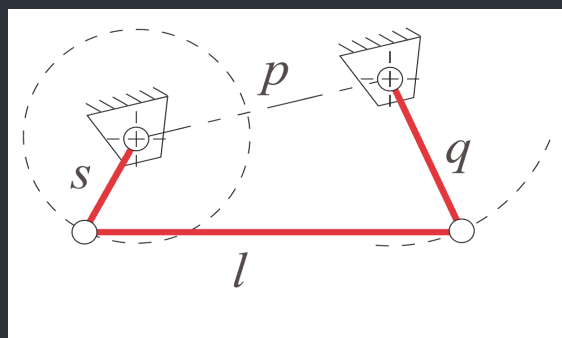
Rys. [Uicker 2011]

MECHANIZMY DŹWIGOWE

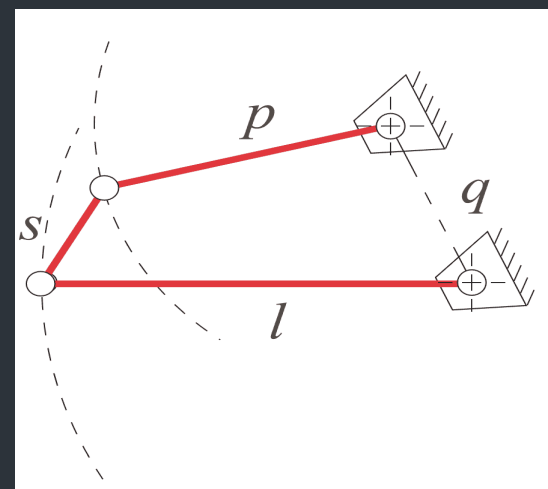
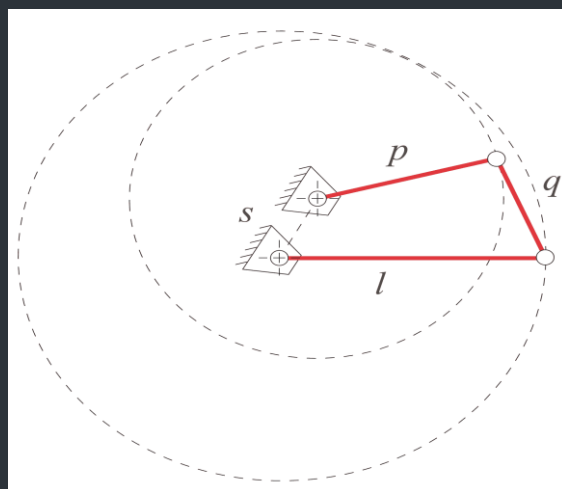


W zależności od przyjęcia różnych funkcji przez człony otrzymuje się trzy typy mechanizmów.

Mechanizm korbowo-wahaczowy



Mechanizm dwukorbowy



Mechanizm dwuwahaczowy

Rys. [Norton 1999]

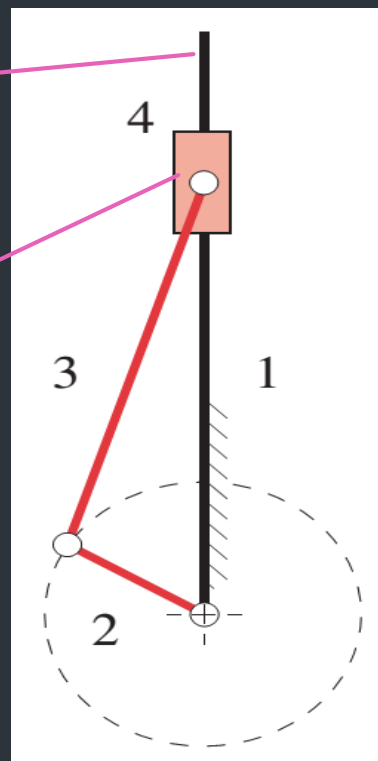
MECHANIZMY DŹWIGOWE



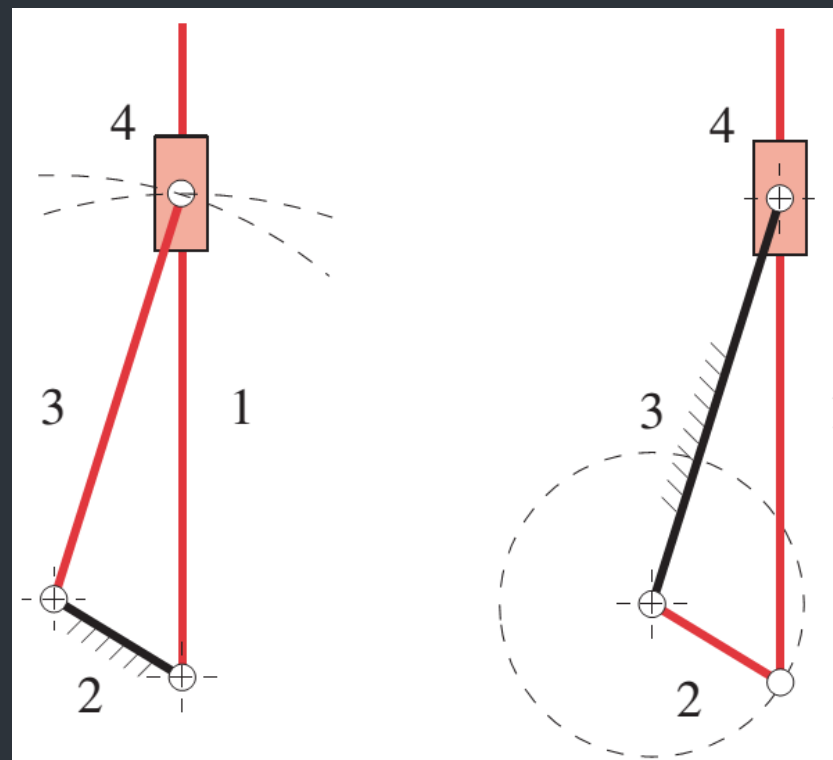
Dokonując transformacji pary obrotowej na przesuną czworoboku przegubowego otrzymuje się mechanizm *korbowo-wodzikowy* zwany również *korbowo-suwakowy* lub krótko *korbowy* (rys. 1). Stosowany jest on powszechnie w silnikach spalinowych i sprężarkach. Jeżeli prowadnica 1 suwaka 4 jest ruchoma, to taki mechanizm nazywamy *jarzmowym* (rys. 2).

Prowadnica 1

Wodzik 4



Rys. 1. Mechanizm korbowo-wodzikowy [Norton 1999]



Rys. 2. Mechanizm jarzmowy w dwóch wariantach [Norton 1999]

MECHANIZMY DŹWIGOWE



Zamiana par kinematycznych klasy 2 na pary klasy 1 umożliwia przeprowadzenie analizy kinematycznej metodami stosowanymi dla mechanizmów dźwigniowych. Utworzony mechanizm zastępczy musi być równoważny pod względem kinematycznym rzeczywistemu w danym położeniu. Wprowadza się dodatkowy człon, co sprawia, że ruchliwość mechanizmu nie ulega zmianie. W przypadku mechanizmów krzywkowych końce ogniwa znajdują się w środku stykających się krzywizn.

Lp.	Nazwa mechanizmu	Schemat	Schemat ogniwa zamieniającego
1	Dwu-krzywkowy		
2	Krzywkowy z popychaczem ostrzowym (na krzywiznie)		
3	Krzywkowy z popychaczem ostrzowym (na części prostej linjowej)		
4	Krzywkowy z wahaczem ostrzowym (na krzywiznie)		
5	Krzywkowy z popychaczem kształtowym		

Rys. [Młynarski 1997]

MECHANIZMY DŹWIGOWE

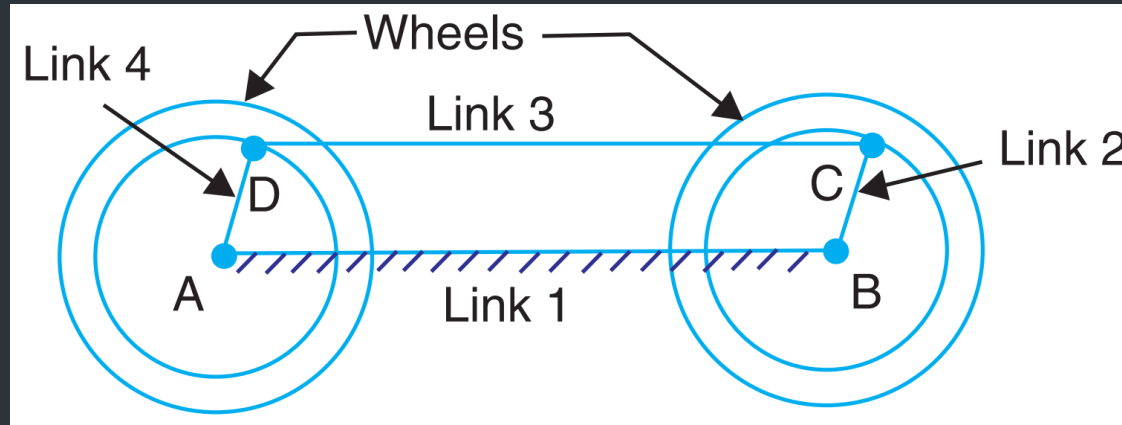


Lp.	Nazwa mechanizmu	Schemat	Schemat ogniwa zamieniającego
6	Krzywkowy z popychaczem talerzykowym		
7	Krzywkowy z wahaczem liniowym		
8	Przekładnia koła zębate walcowo-czołowe ewolwentowe		

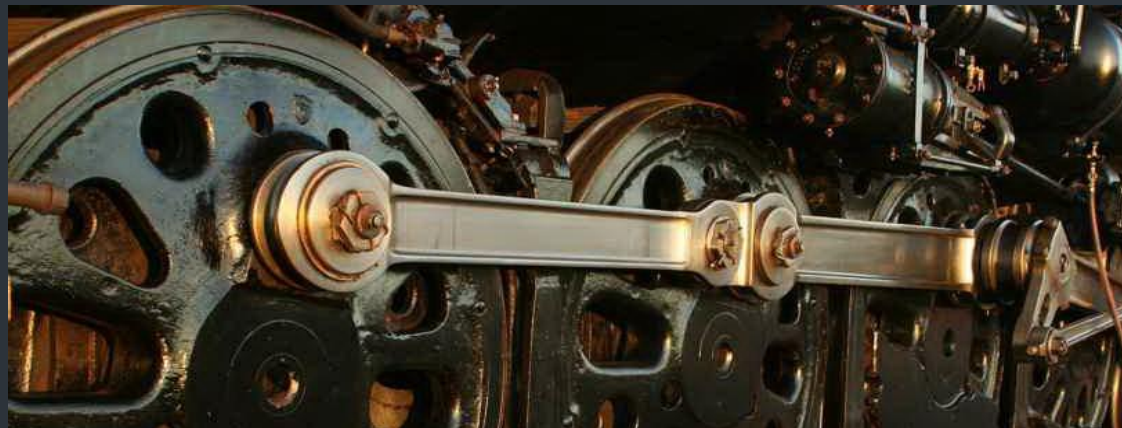
Rys. [Młynarski 1997]

Przykłady

Czworobok przegubowy (równoległobok) stosowany w przeniesieniu napędu kół



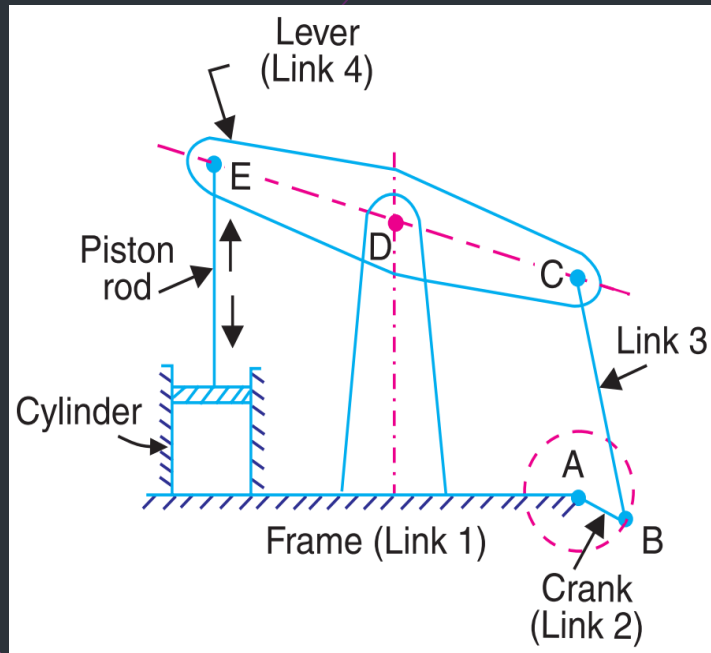
Rys. [Khurmi 2005]



Rys. [https://en.wikipedia.org/wiki/Coupling_rod]

Przykłady

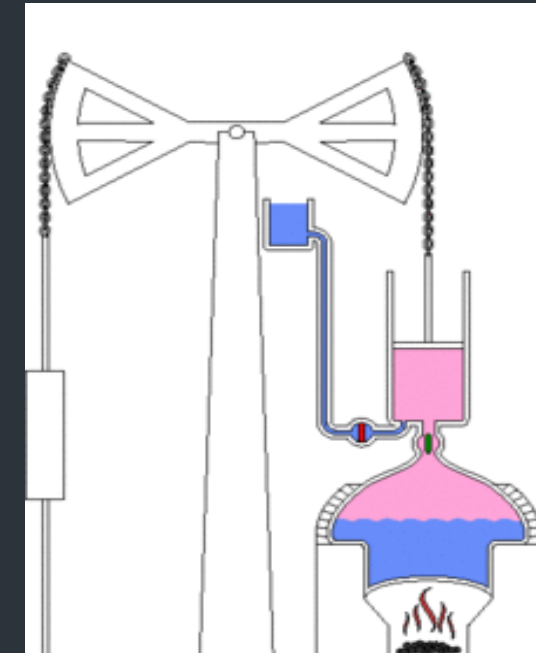
Silnik parowy belkowy



Rys. [Khurmi 2005]



Rys. [<https://hanselygretel.eu/tienda/maquina-vapor-watt/>]

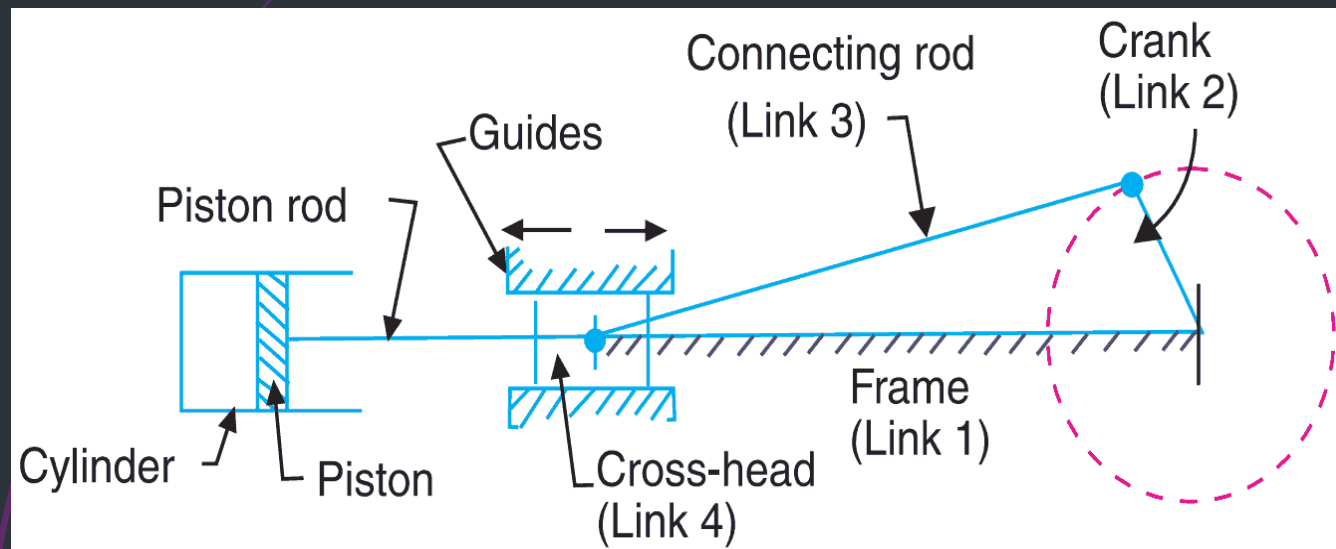


Rys. [https://en.wikipedia.org/wiki/Thomas_Newcomen]

Beam engine

Przykłady

Układ korobowo-tłokowy



Rys. [Khurmi 2005]



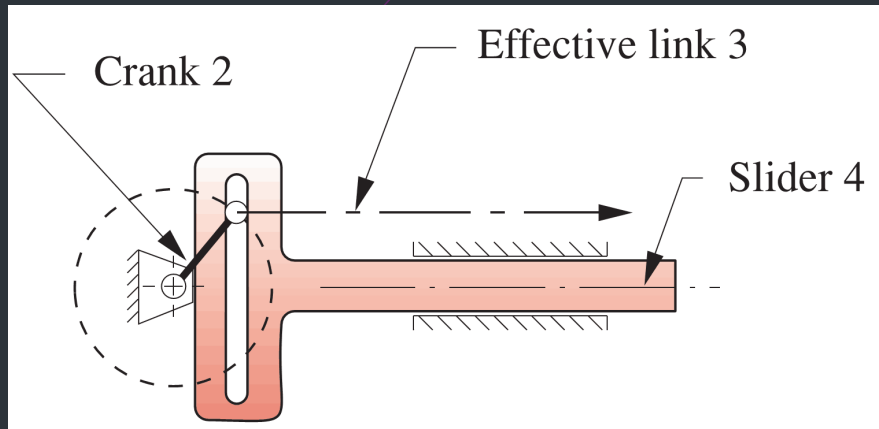
Rys. [<http://www.magoda.com/industrial/oem-manufacturing-in-the-united-states/>]

MECHANIZMY DŹWIGOWE



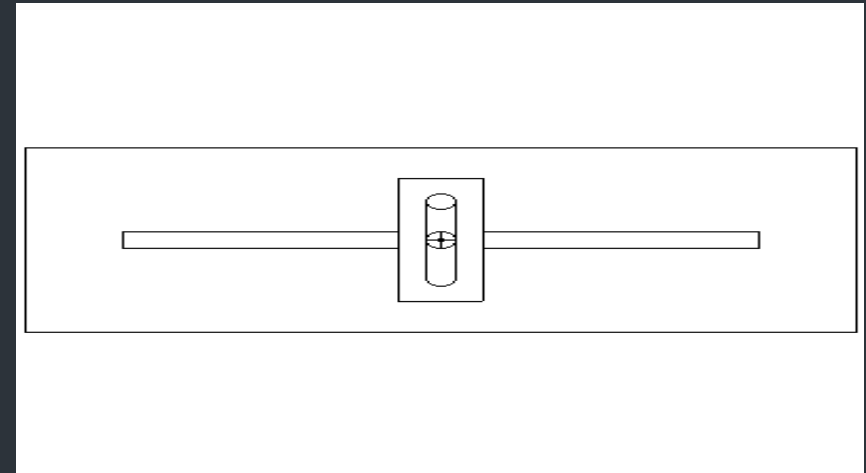
Przykłady

Mechanizm jarzmowy



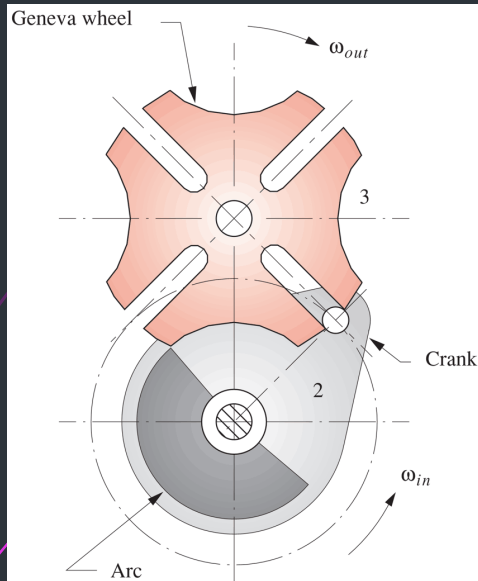
Rys. [Norton 1999]

Rys. [https://en.wikipedia.org/wiki/Scotch_yoke#/media/File:Scotch_yoke_animation.gif]

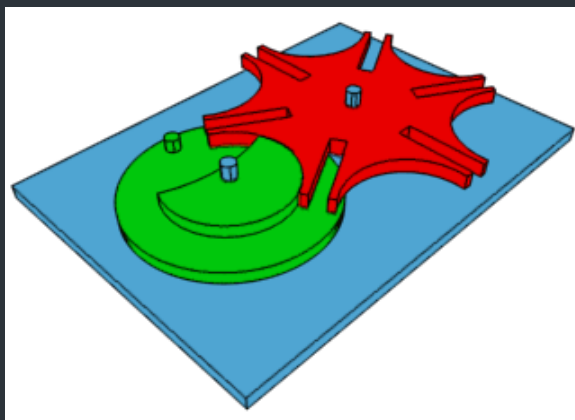


Rys. Scotch yoke mechanism
[<http://www.etotheiplusone.net/?m=201209>]

MECHANIZMY DŹWIGOWE

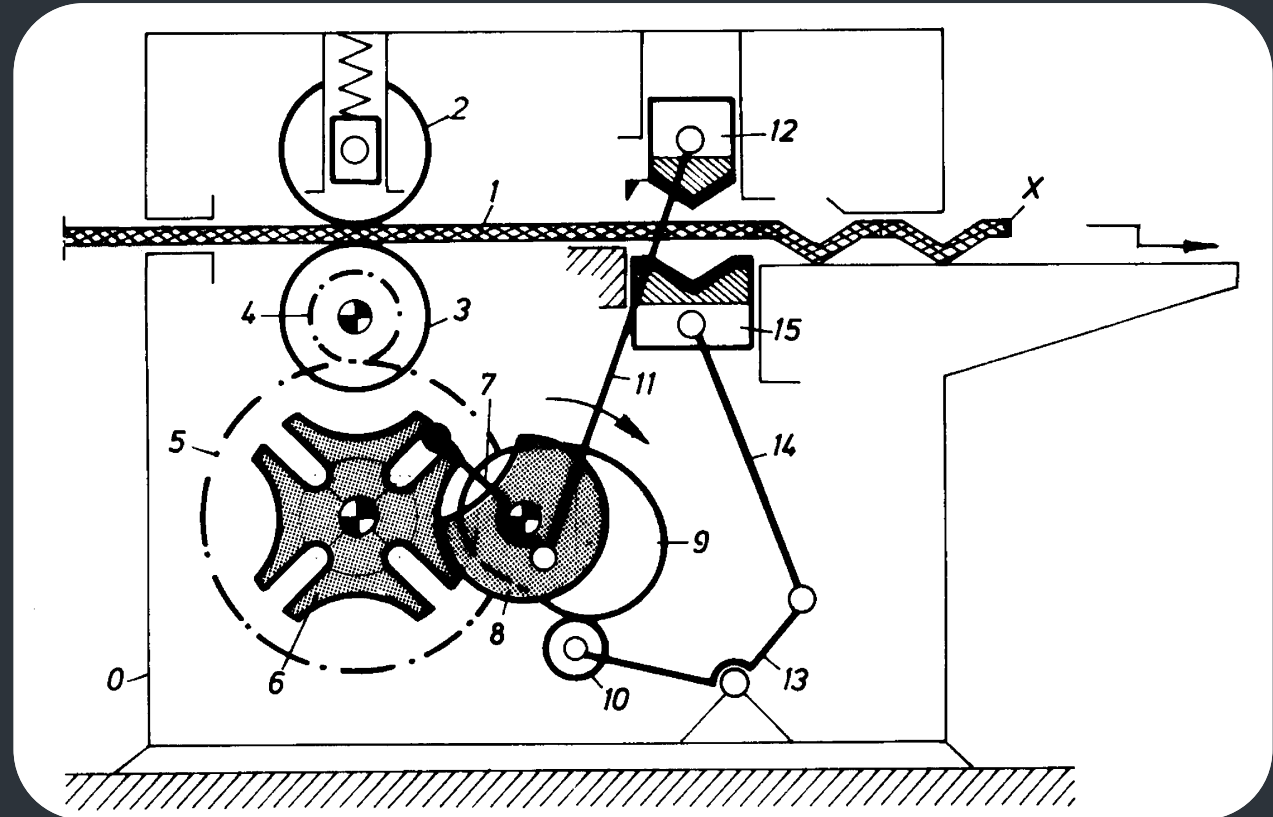


Rys. Geneva mechanism [Norton 1999]



Rys. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9b/Geneva_mechanism_6spoke_animation.gif]

Przykłady Mechanizm Maltański

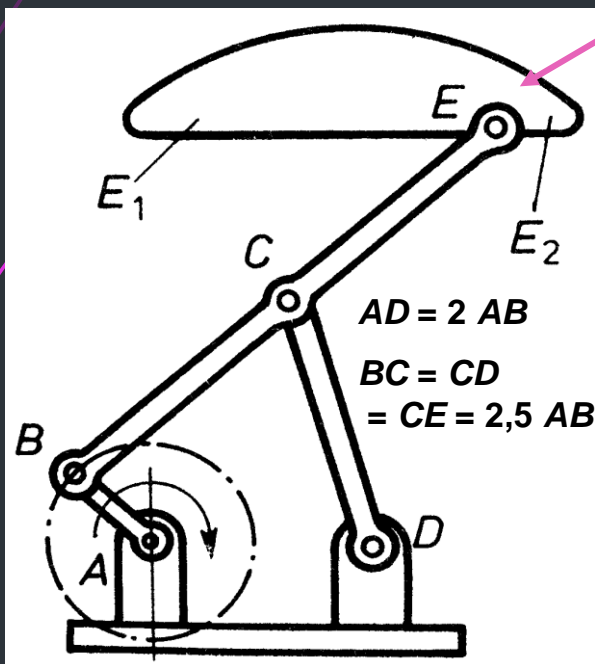


Rys. Maszyna do obróbki blachy [Miller 1989]

Przykłady

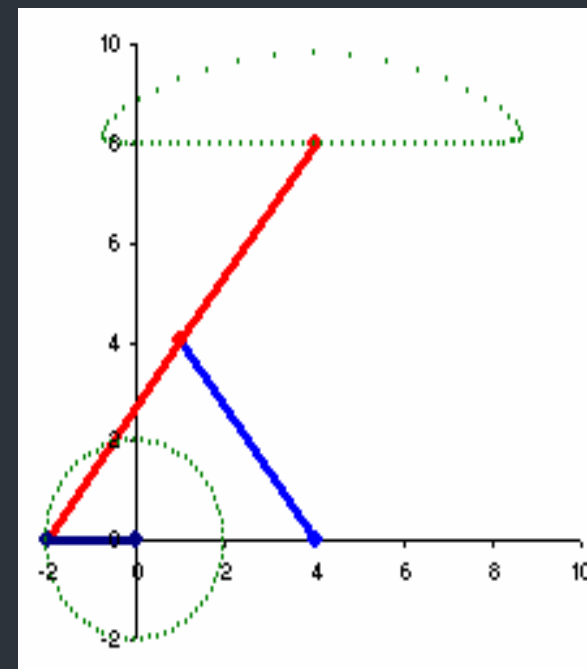
Prostowody

W XVII wieku przed opracowaniem frezarek trudno było uzyskać precyzyjne pary postępowe. Ruch wzdłuż linii prostej osiągnąć można poprzez stosowanie mechanizmów z parami obrotowymi. Prostowody wchodziły w skład mechanizmów kierujących, których zadaniem jest realizacja ruchu po wymaganej trajektorii.



Rys. Prostowód przybliżony
Hoekensa/Czybyszewa [Morecki 1987]

Krzywa łącznikowa jest to tor (trajektorja) dowolnego punktu sztywno połączonego z łącznikiem

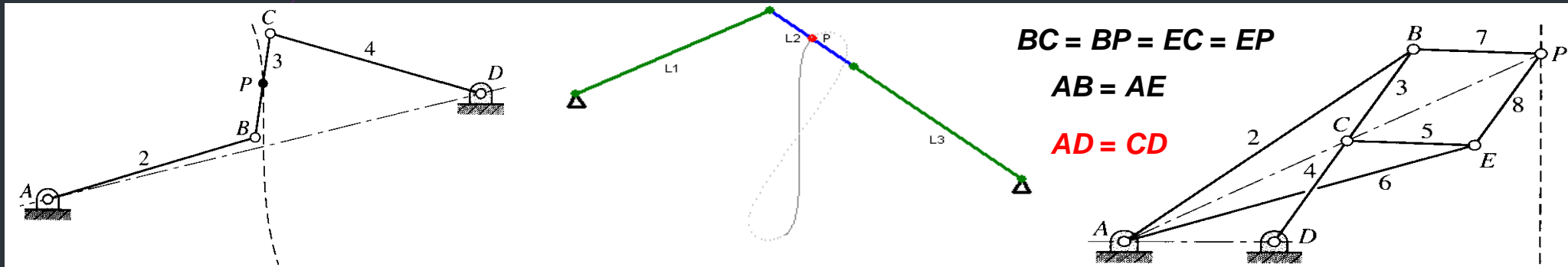


Rys. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/be/Hoekens_linkage_animated.gif]

MECHANIZMY DŹWIGOWE



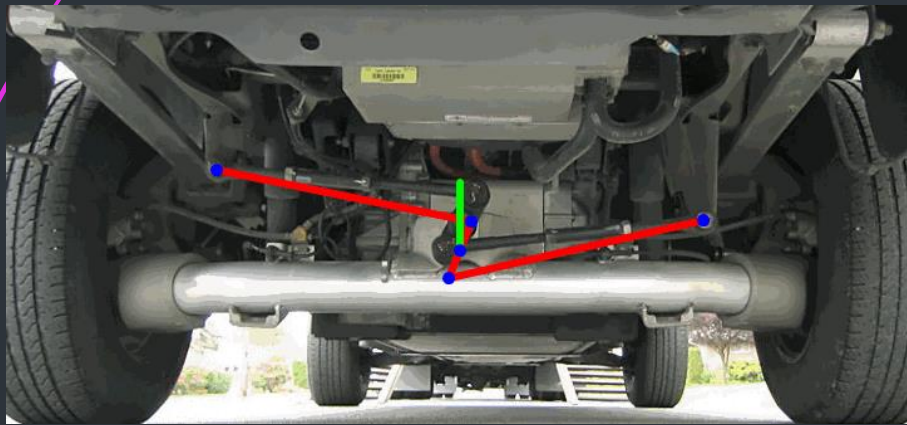
Przykłady Prostowody



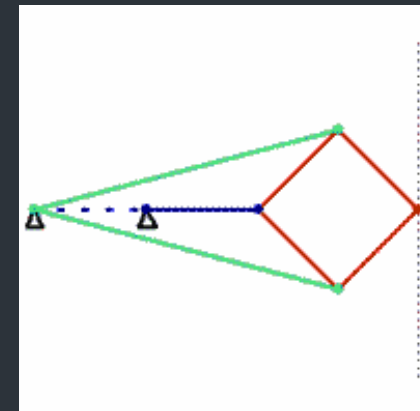
Rys. Prostowód przybliżony Wattsa,
[Uicker 2011]

Rys. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/93/Watts_linkage.gif]

Rys. Prostowód dokładny Peaucellier-Lipkin [Uicker 2011]



Rys. [https://en.wikipedia.org/wiki/Watt%27s_linkage#/media/File:Watt%27s_Linkage_Rear_Suspension.gif]



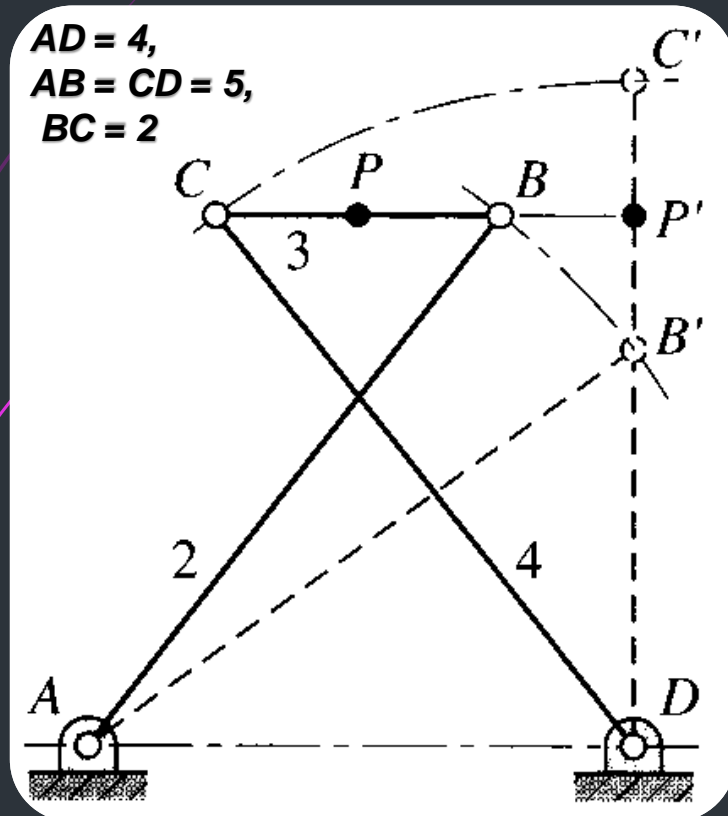
Rys. [https://en.wikipedia.org/wiki/Straight_line_mechanism#/media/File:Peaucellier_linkage_animation.gif]

MECHANIZMY DŹWIGOWE

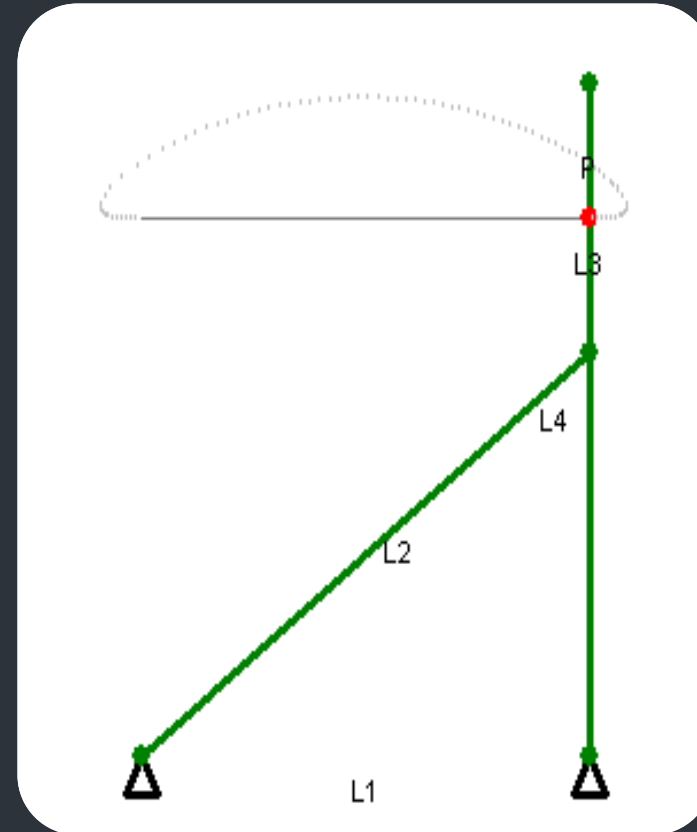


Przykłady

Prostowody



Rys. Prostowód przybliżony Czybyszewa
[Uicker 2011]



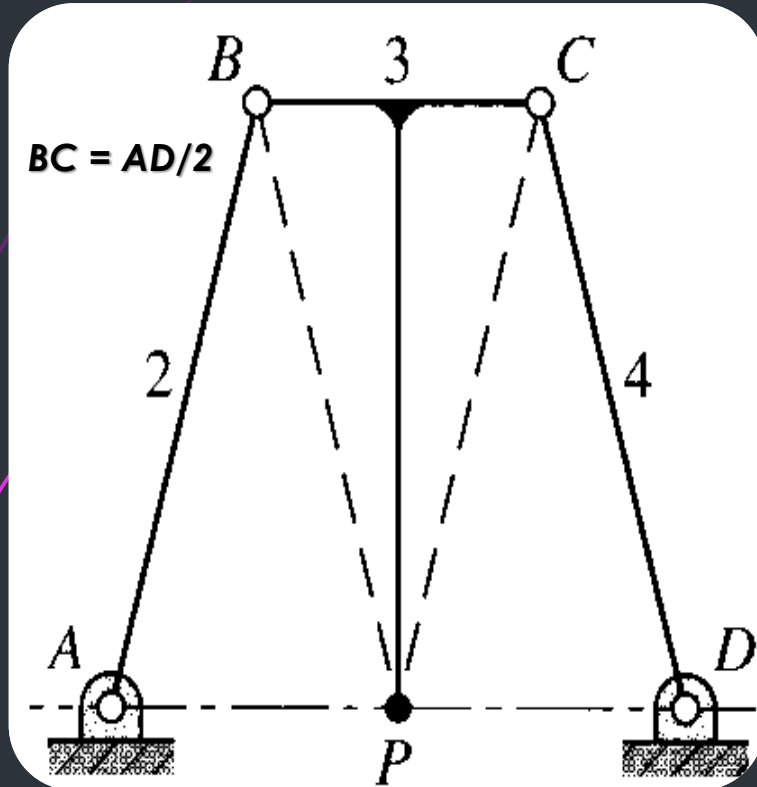
Rys. [https://en.wikipedia.org/wiki/Chebyshev_linkage#/media/File:Chebyshev_linkage.gif]

MECHANIZMY DŹWIGOWE

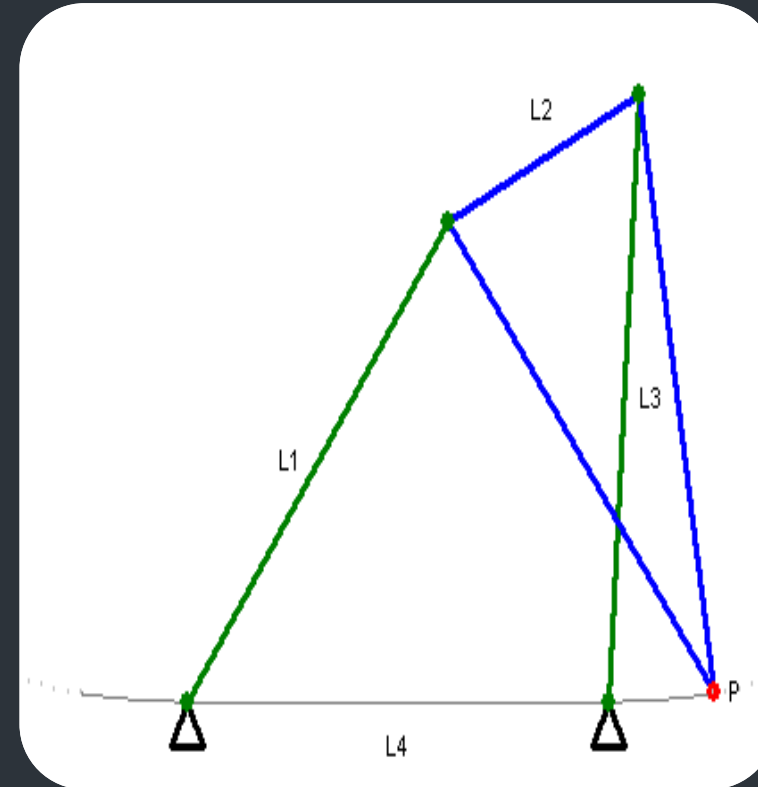


Przykłady

Prostowody



Rys. Prostowód przybliżony Roberts'a
[Uicker 2011]



Rys. [https://en.wikipedia.org/wiki/Roberts_Mechanism#/media/File:Roberts_linkage.gif]

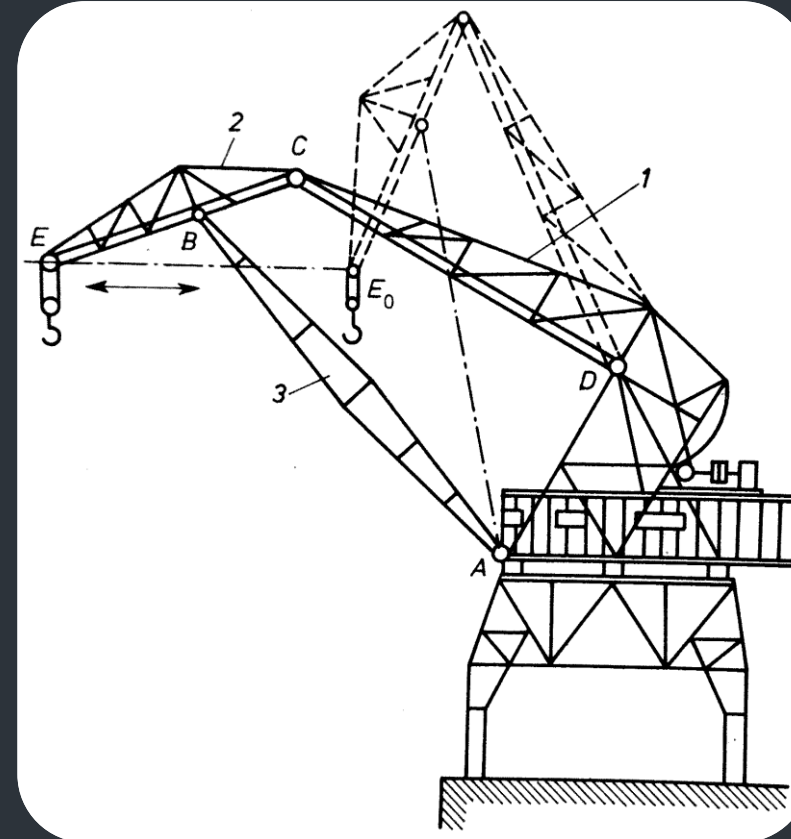
MECHANIZMY DŹWIGOWE



Przykłady Prostowody



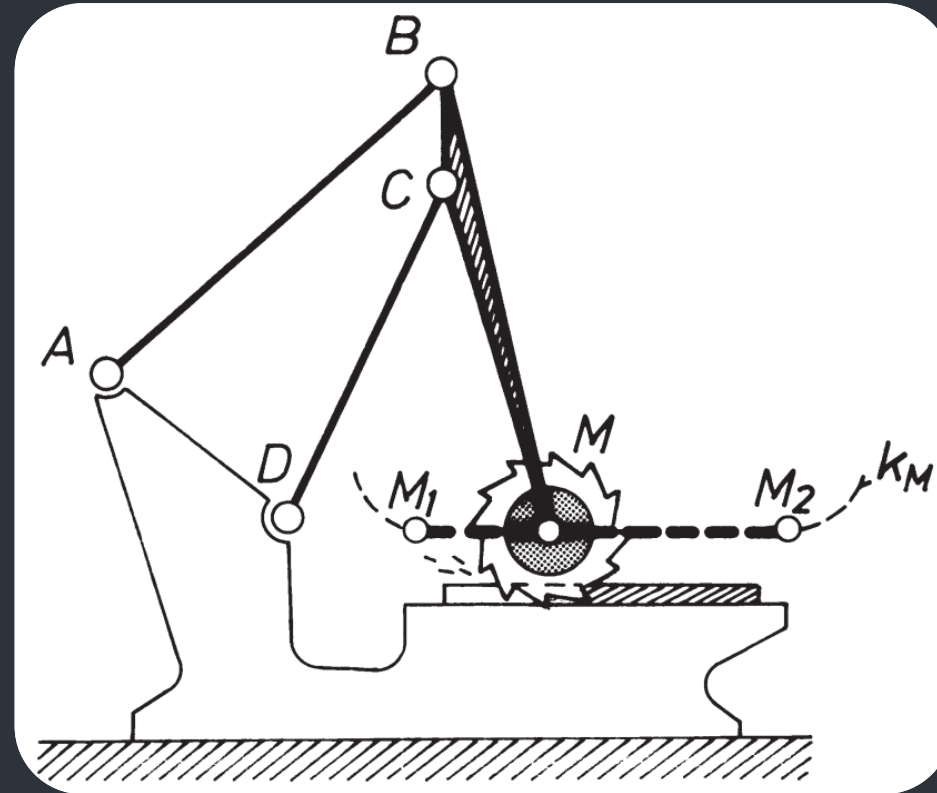
Rys. [<https://pt.depositphotos.com/2975201/stock-photo-the-port-crane.html>]



Rys. Żuraw portowy, krzywa łącznikowa EE_0 jest aproksymacją linii prostej [Morecki 1987]

Przykłady

Prostowody



Rys. Krzywa łącznikowa M_1M_2 czworoboku przegubowego, aproksymacja prostej [Miller 1989]

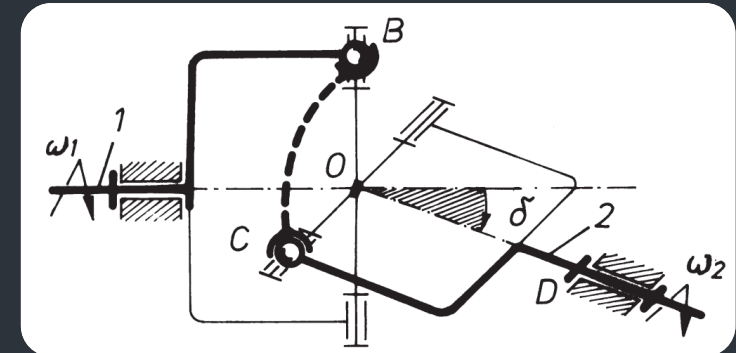
MECHANIZMY DŹWIGOWE



Przykłady

Sprzęgło Cardana (niesynchroniczne)

Mechanizm dźwigniowy przestrzenny, mechanizm kulisty.



Rys. [Miller 1989]



Rys. [agromer.pl/ogolna-wal-kardana-john-deere-al117415,c2,p5717,pl.html]

MECHANIZMY DŹWIGOWE



Przykłady

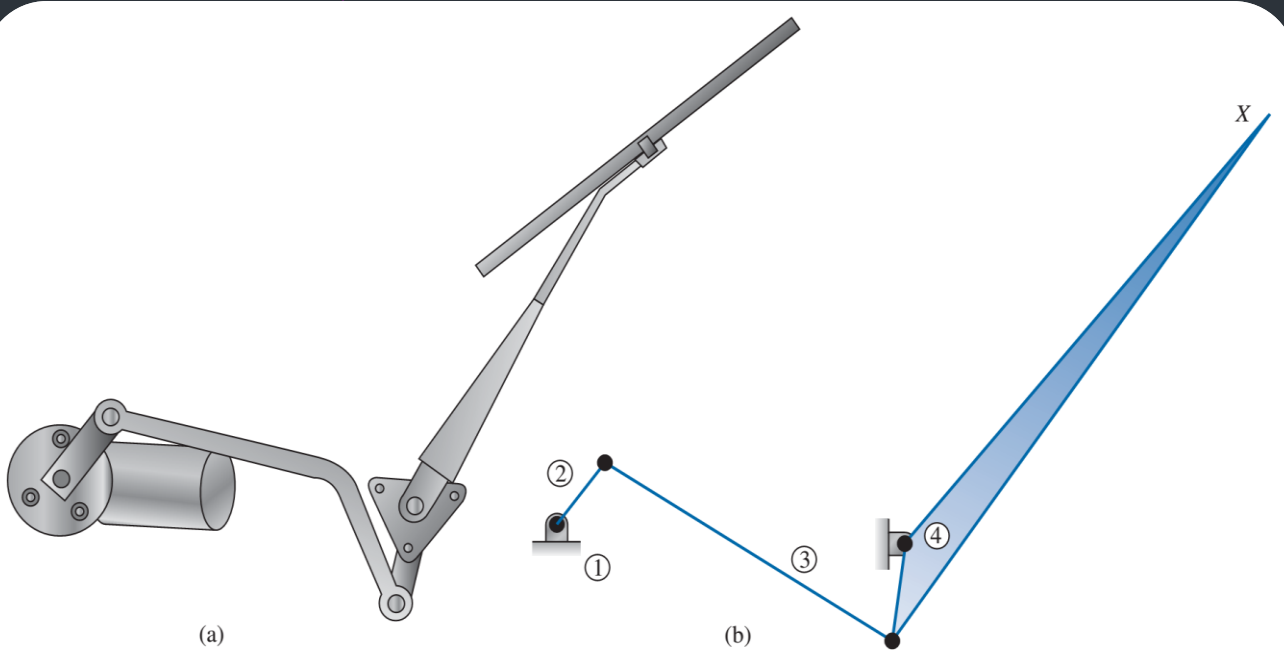
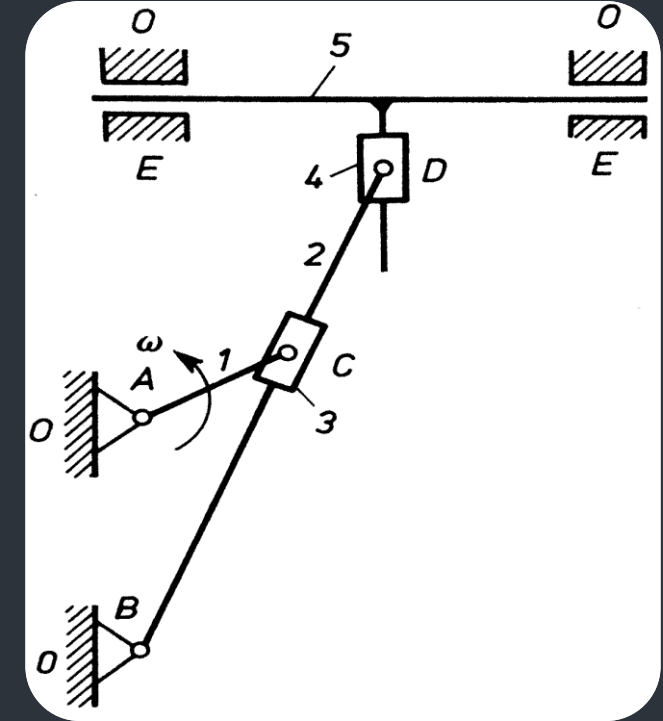


FIGURE 1.33 Rear-window wiper mechanism.

Rys. Mechanizm tylnej wycieraczki
[Myszka 2012]



Rys. Mechanizm napędu stołu strugarki
poprzecznej [Morecki 1987]



1. Miller S.: Teoria maszyn i mechanizmów. Analiza układów kinematycznych. WPW, Wrocław 1989.
2. Felis J., Jaworowski H.: Teoria maszyn i mechanizmów. Część II. Przykłady i zadania. UWND AGH, Kraków 2007.
3. Uicker J., Pennock G., Shigley J.: Theory of machines and mechanism. OUP, New York 2011.
4. Młynarski T., Listwan A., Pazderski E.: Teoria maszyn i mechanizmów. Cz. I. Synteza i analiza strukturalna mechanizmów. ZGPK, Kraków 1997
5. Norton R. L.: Design of machinery. An introduction to the synthesis and analysis of mechanisms and machines. Mc Graw-Hill, 1999.
6. Dobrzański T.: Rysunek techniczny maszynowy. WNT, Warszawa 2002.
7. Khurmi R. S., Gupta J.K.: Theory of machines. S Chand & Co Ltd, 2005.
8. Ceccarelli M. (Editor): Distinguished Figures in Mechanism and Machine Science. Their Contributions and Legacies, Part 3. Evgrafov A., Kozlikin D.: Leonid Assur. Springer, Dordrecht 2014.
9. Siemieniako F.: Teoria maszyn i mechanizmów z zadaniami. DzWiPPB, Białystok 1999.
10. Myszka D. H.: Machines & mechanism. Applied kinematic analysis. Prentice Hall, Boston 2012.
11. Parszewski Z.: Teoria maszyn i mechanizmów. WNT, Warszawa 1978.
12. Morecki A., Oderfeld J.: Teoria maszyn i mechanizmów. PWN, Warszawa 1987.
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

Klasyfikacja mechanizmów oraz wprowadzenie do mechanizmów dźwigniowych

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

