



Wrocław University of Technology

Teoria systemów i mechanizmów

Opracował:
Przemysław Jaszak

Katedra Inżynierii Konwersji Energii

ul. Na Grobli 15, Wrocław
bud. L-1, pok. 312
tel. 71 320 4825



Cel przedmiotu

Celem przedmiotu jest zdobycie przez studenta umiejętności rozwiązywania podstawowych problemów związanych z projektowaniem, analizą i synteza systemów mechanicznych.



Przedmiotowe efekty kształcenia

z zakresu wiedzy:

PEK_W01 – Student ma wiedzę z zakresu struktury mechanizmów i maszyn, wyznaczania ruchliwości mechanizmów płaskich i przestrzennych.

PEK_W02 – Student ma wiedzę dotyczącą kinematyki mechanizmów, wyznaczania parametrów ruchu.

PEK_W03 – Student ma podstawową wiedzę z zakresu dynamiki mechanizmów, wyznaczania sił działających na ogniwa mechanizmu i równoważenia sił.

z zakresu umiejętności:

PEK_U01 – Student potrafi sklasyfikować dany mechanizm kinematyczny pod względem rodzaju łańcucha, ruchliwości, liczby węzłów i klasyfikacji pary kinematycznej.

PEK_U02 – Student potrafi w sposób analityczny i graficzny wyznaczać trajektorię, prędkości i przyspieszenia punktów mechanizmów i systemów mechanicznych.

PEK_U03 – Student potrafi w sposób analityczny i graficzny wyznaczać siły dynamiczne punktów mechanizmów i systemów mechanicznych.



Plan wykładów

- **Wykład 1** Struktura układów kinematycznych: człon i węzeł kinematyczny, para kinematyczna.
- **Wykład 2** Ruchliwość lokalna, zupełna i niezupełna układu kinematycznego.
- **Wykład 3** Położenia, trajektorie, prędkości i przyspieszenia układu kinematycznego.
- **Wykład 4** Metody rozwiązywania układów kinematycznych.
- **Wykład 5** Analiza i przegląd wybranych grup mechanizmów.
- **Wykład 6** Siły bezwładności w mechanizmach maszyn.
- **Wykład 7** Równanie ruchu mechanizmu.
- **Wykład 8** Kinetostatyka.



Plan wykładów

- **Wykład 9** Tarcie w parach kinematycznych.
- **Wykład 10** Bilans energetyczny maszyny



Literatura

LITERATURA PODSTAWOWA:

- [1] Gronowicz A.: Podstawy analizy układów kinematycznych. Oficyna Wydawnicza Pol. Wrocławskiej, Wrocław 2003
- [2] Miller S.: Teoria maszyn i mechanizmów. Oficyna Wydawnicza Pol. Wrocławskiej, Wrocław 1996.
- [3] Parszewski Z.: Teoria maszyn i mechanizmów. Wyd. Naukowo-Techniczne, Warszawa 1995.
- [4] Miller S.: Układy kinematyczne. Podstawy projektowania. WNT, Warszawa 1988

LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:

- [1] Miszczak M., Nowakowski T.: Zbiór zadań z teorii mechanizmów, Wydawnictwo SGGW, Wydanie III, Warszawa 2010.
- [2] Gronowicz A.: Teoria maszyn i mechanizmów, zestaw problemów analizy i projektowania. Oficyna Wydawnicza Pol. Wrocławskiej, Wrocław 2000.



Zasady zaliczenia kursu

W trakcie semestru zaplanowane są dwa kolokwia.

Kolokwium I - obejmuje zagadnienia struktury i kinematyki mechanizmów (wykład nr 1 do wykład nr 5).

Kolokwium II - obejmuje zagadnienia z działu dynamiki i bilansu energetycznego maszyny (wykład od 6 do 10).



Wstęp

Teoria Maszyn i Mechanizmów (TMM) jest dyscypliną nauk technicznych, obejmującą zakresem wiedzy zagadnienia z działu kinematyki i dynamiki mechanizmów i maszyn. TMM zawiera zagadnienia z zakresu nauk podstawowych i stosowanych, obejmując i wiążąc w całość m. in. zagadnienia mechaniki teoretycznej, matematyki, wytrzymałości materiałów i konstrukcji oraz budowy maszyn.

W zakresie kinematyki mechanizmów zawierają się zagadnienia analizy strukturalnej i określanie parametrów ruchu.

Struktura mechanizmów określa własności geometryczne (wymiarowe) rozpatrywanego mechanizmu.

Analiza kinematyczna pozwala wyznaczać położenia elementów (członów) w przyjętym układzie odniesienia oraz prędkości i przyspieszenia par kinematycznych, punktów i elementów mechanizmu.

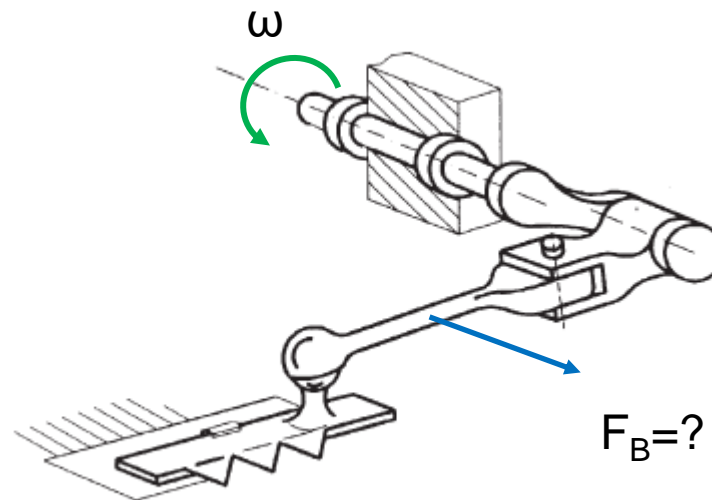
TMM zawiera też syntezę mechanizmów, zajmującą się opracowywaniem i konstrukcją mechanizmów spełniających z góry ustalone parametry kinematyczne i dynamiczne.

Dynamika mechanizmów i maszyn bada ruch mechanizmów z uwzględnieniem sił i mas elementów.

Wstęp

Zadaniem TSiM jest więc:

- Wyznaczenie połączenia poszczególnych punktów członów mechanizmów (trajektorie)
- Wyznaczenie prędkości tych punktów
- Wyznaczenie przyspieszeń
- Określenie sił oddziaływania w parach kinematycznych oraz sił bezwładności członów.





Wstęp

System mechaniczny - to zbiór urządzeń technicznych stosowanych w procesach produkcyjnych jak również wykorzystywany do obsługi podstawowych sfer życia współczesnego człowieka. Systemy mechaniczne złożone z ciał materialnych (stałych, płynnych) można podzielić na dwie zasadnicze grupy.

Systemy nieruchome czyli takie, których funkcja nie wiąże się z przekazywaniem ruchu elementów składowych tego systemu. Przykładem takich urządzeń są konstrukcje sztywne takie jak: zbiorniki, ramy nośne.

Systemy ruchome, w których elementy składowe są połączone ze sobą ruchowo i w procesie wypełniania swojej funkcji występuje wzajemne ich przemieszczanie. Do tej grupy należą przede wszystkim maszyny oraz różne aparaty i narzędzia, których budowę i działanie określają układy kinematyczne tzw. mechanizmy.



Wykład 1

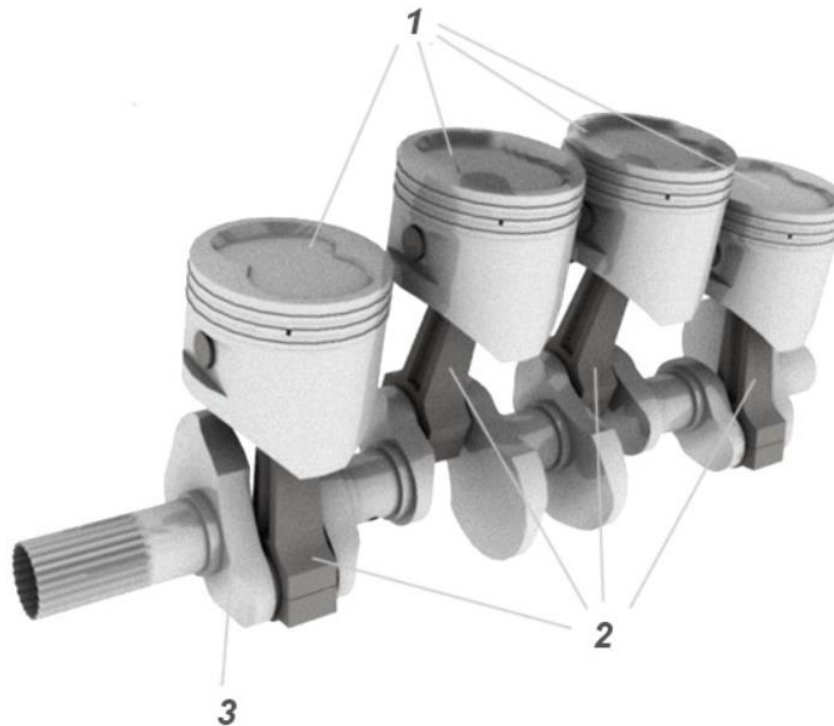
Struktura układów kinematycznych: Człon i węzeł kinematyczny, para kinematyczna.



Układ kinematyczny - przykłady

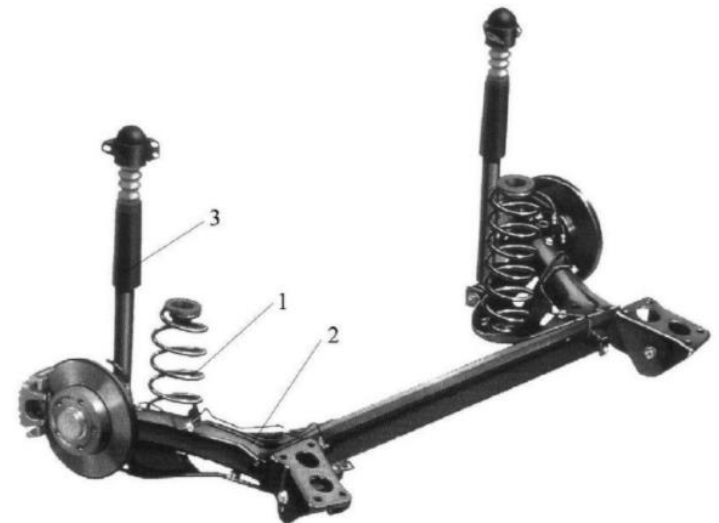
Mechanizm tłokowo-korbowy tworzą trzy podstawowe elementy:

1. tłok,
2. korbowód,
3. wał korbowy,





Układ kinematyczny - przykłady





Układ kinematyczny - przykłady





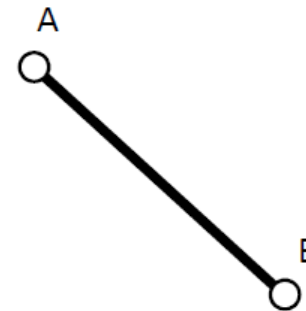
Struktura układu kinematycznego -człon

Człon (ogniwo)

Członami- nazywamy elementy składowe układu kinematycznego wykonujące względem siebie ruch względny.



Korbówód



Schemat korbowodu
w układzie strukturalnym

Struktura układu kinematycznego -człon

Ogólny podział członów:

1. Ze względu rodzaj:

- sztywne,
- podatne,
- płynne (gazowe lub cieczowe)



Człon sztywny



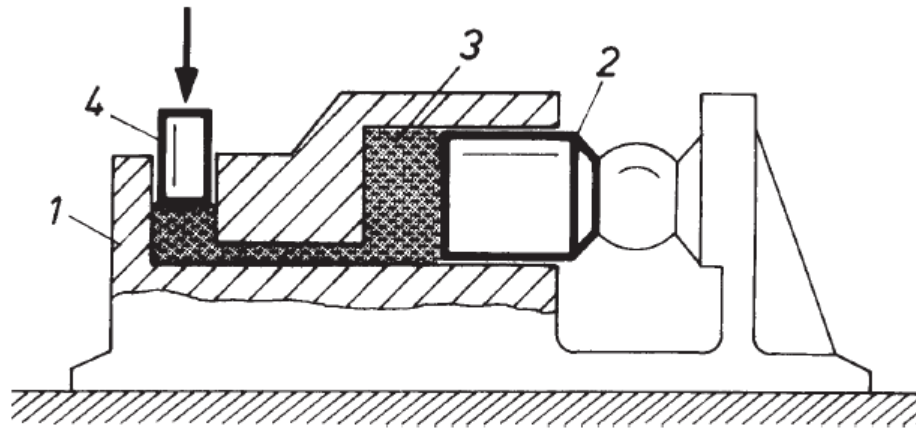
Człon sztywny (złożony)



Człon podatny

Struktura układu kinematycznego -człon

Przykład członu płynnego



Struktura układu kinematycznego -człon

2. Ze względu na ilość węzłów:

- dwuwęzłowe,
- wielowęzłowe,



Człon dwuwęzłowy



Człon trójwęzłowy

Struktura układu kinematycznego -człon

Węzłowość

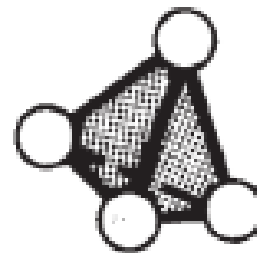
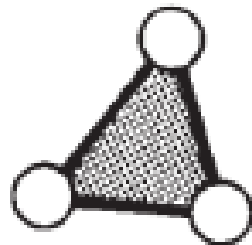
Człony łączy się w miejscu zwanym półparą lub półwęzłem.
W zależności od ilości miejsc połączeń rozróżnia się człony: dwu, trzy lub wielowęzłowe.

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

Struktura układu kinematycznego -człon

3. Ze względu na kształt (wymiar w przestrzeni):

- płaskie,
- przestrzenne.



Struktura układu kinematycznego -człon

4. Ze względu na funkcję

- napędowe (czynne),
- pośrednie,
- napędzane (bierne),
- nieruchome (stałe),



Człon nieruchomy



Człon ruchowy



Człon pośredni



Człon napędowy

Struktura układu kinematycznego -człon

Funkcja członów

Człony czynne (ruchowe) to takie, do których przyłożony jest napęd.

Przykłady członów ruchowych:

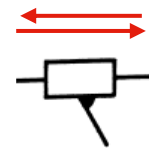
- Wahacz – człon wykonujący nawrotny ruch obrotowy w zakresie kąta mniejszego niż pełny $\varphi < 2\pi$.
- Korba – człon wykonujący pełny ruch obrotowy.
- Suwak – człon o ruchu postępowym.



wahacz



korba



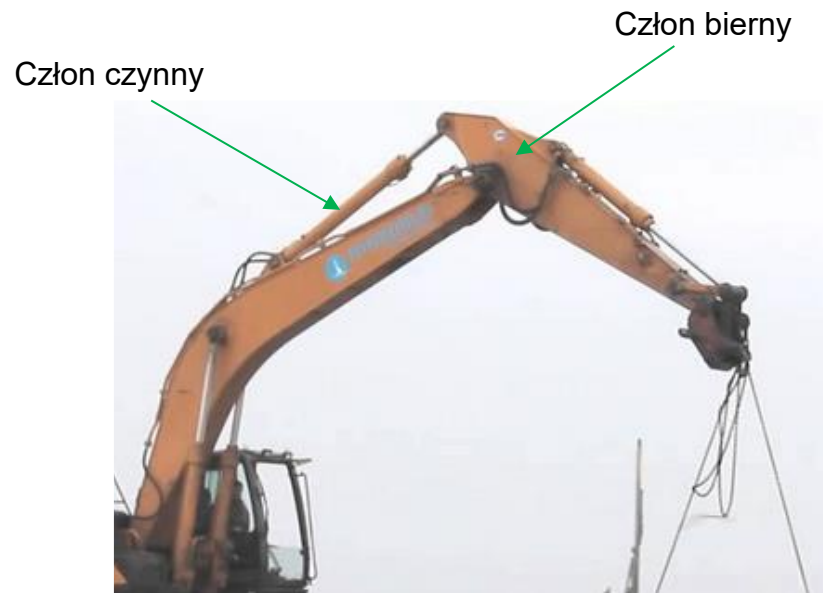
suwak



Struktura układu kinematycznego -człon

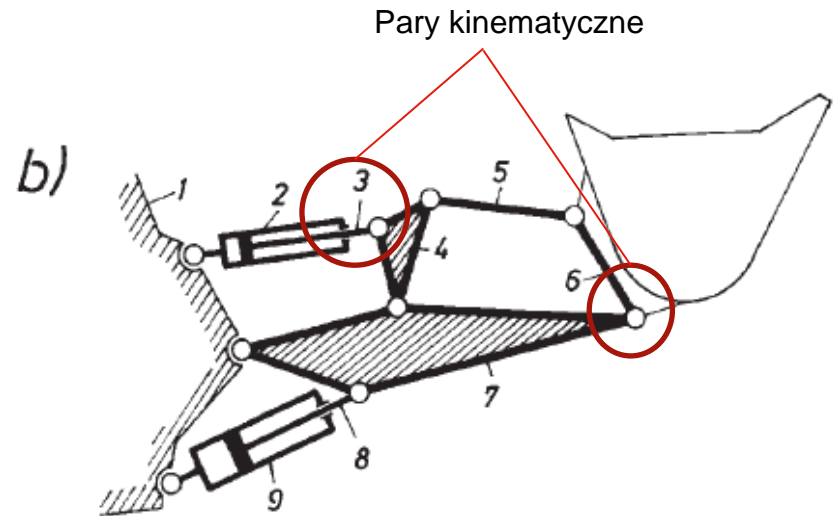
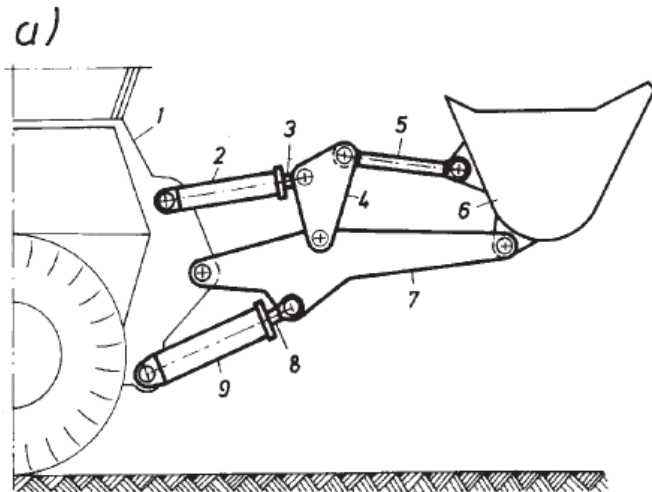
Funkcja członów

Człony bierne - czyli takie, które są napędzane za pośrednictwem członów czynnych bądź pośrednich.



Struktura układu kinematycznego - para kinematyczna

Para kinematyczna (PK) – to ruchome połączenie członów umożliwiające im wzajemny ruch względny.





Struktura układu kinematycznego - para kinematyczna

Przykłady par kinematycznych





Struktura układu kinematycznego - para kinematyczna

Podział par kinematycznych

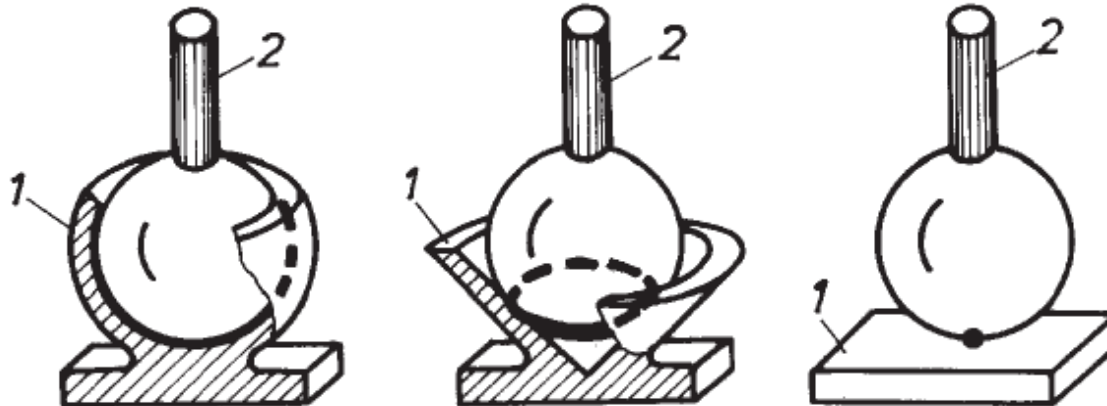
Pary kinematyczne można podzielić ze względu na:

- Rodzaj styku
- Liczbę stopni swobody w ruchu względnym
- Sposób zapewnienia kontaktu pomiędzy członami
- Liczbę połączonych członów w parze kinematycznej

Struktura układu kinematycznego - para kinematyczna

Podział par kinematycznych

1. Ze względu na rodzaj styku:
 - powierzchniowy (para niższa),
 - punktowy lub liniowy (para wyższa).



Struktura układu kinematycznego - para kinematyczna

Podział par kinematycznych



Para niższa



Para wyższa o styku liniowym



Para wyższa o styku punktowym

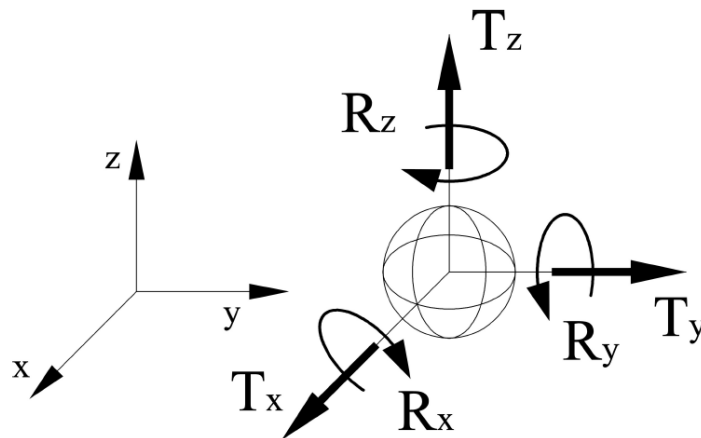
Struktura układu kinematycznego - para kinematyczna

Podział par kinematycznych

2. Ze względu ilość stopni swobody jednego z członów względem drugiego:

- Klasa 1
- Klasa 2
- Klasa 3
- Klasa 4
- Klasa 5

Człon swobodny dysponuje sześcioma stopniami swobody; trzy ruchy postępowe (translacje) T_x , T_y , T_z oraz trzy ruchy obrotowe (rotacje) R_x , R_y , R_z .





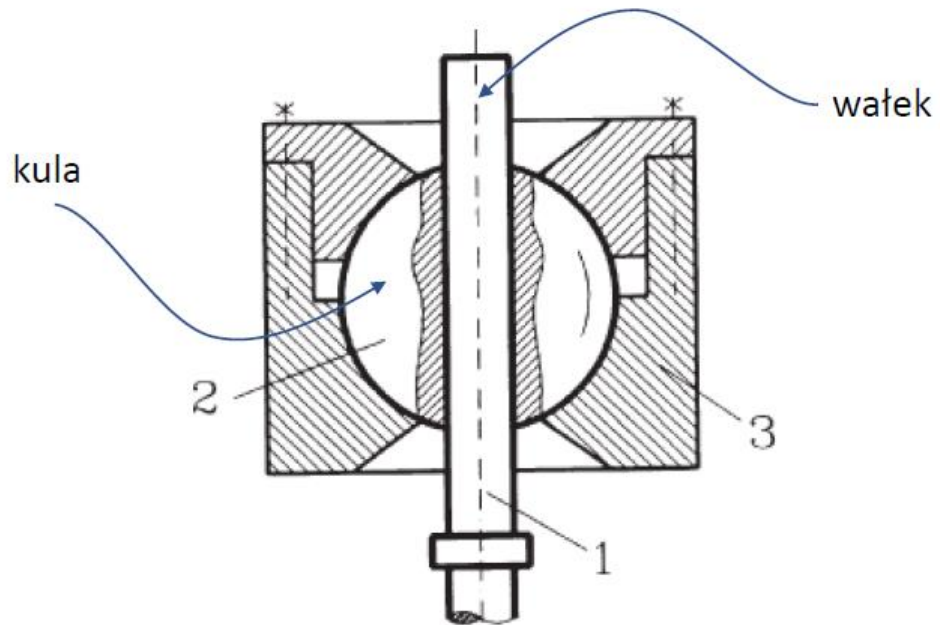
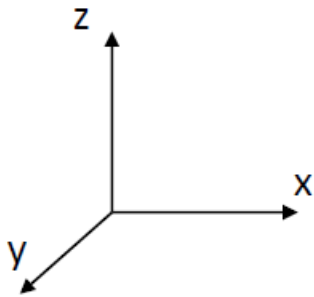
Struktura układu kinematycznego - para kinematyczna

W każdej parze tworzące je człony nakładają na siebie więzy.

Klasa	przykład	ruch
I (p_1)		
II (p_2)		
III (p_3)		
IV (p_4)		
V (p_5)		

Struktura układu kinematycznego - para kinematyczna

Ile stopni swobody posiada człon 1 względem członu 3?

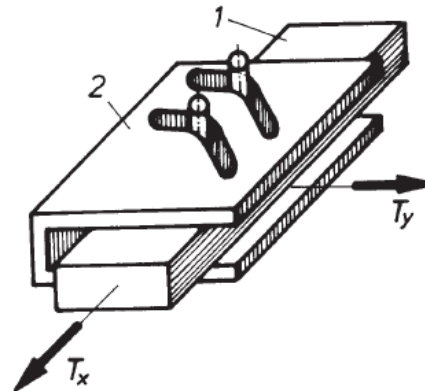
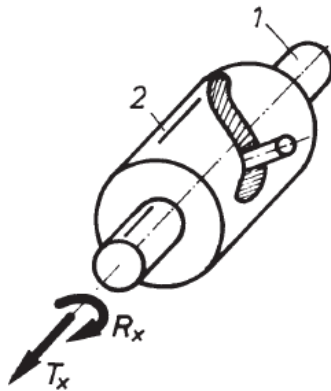




Struktura układu kinematycznego - para kinematyczna

Funkcyjne stopnie swobody

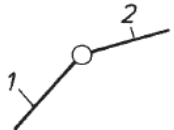

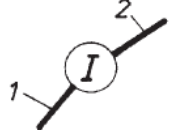
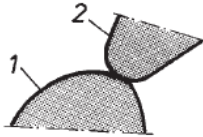
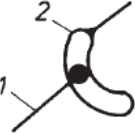
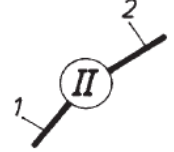
W pewnych rozwiązaniach jeden prosty ruch względem dwóch członów wywołuje ściśle określony jeden ruch lub kilka ruchów prostych



Struktura układu kinematycznego - para kinematyczna

Pary kinematyczne płaskie

Są to pary, w których względne ruchy członów odbywają się w płaszczyznach równoległych. Ruch członu w parze płaskiej można opisać np. dwoma ruchami postępowymi wzdłuż osi do siebie prostopadłych (T_x , T_y) lub ruchem obrotowym wokół osi prostopadłej do płaszczyzny ruchu. Z tego względu pary płaskie mogą wykonać jedynie wzajemny ruch członów w zakresie jednego lub dwóch stopni swobody czyli pary Kl I i Kl II i tylko w wybranych odmianach.

Kl.	Przykłady par płaskich		Symbole strukturalne
I	 obrotowa	 postępowa	
II	 krzywkowa	 kulisowa	

Struktura układu kinematycznego - para kinematyczna

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.



Para otwarta krzywka i popychacz

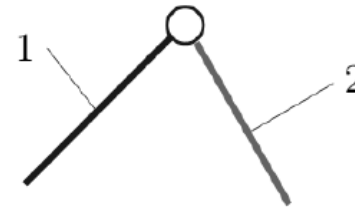
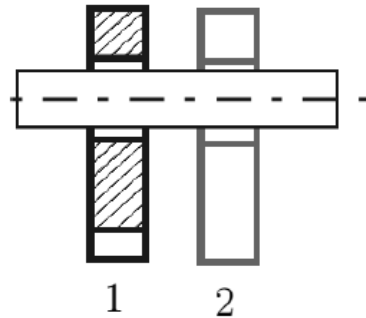


Para zamknięta sferyczna

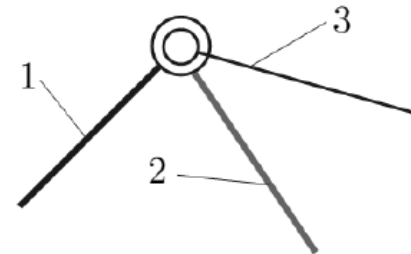
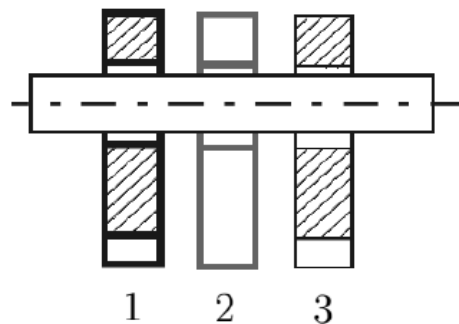
Struktura układu kinematycznego - para kinematyczna

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.



Para jednokrotna



Para dwukrotna

Struktura układu kinematycznego - para kinematyczna

Klasyfikacja par kinematycznych - przykłady

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 prostoliniowy. 1 stopień swobody.



c) **Para cylindryczna**. Człony są połączone w taki sposób, że mogą wykonywać względem siebie ruch obrotowy i niezależnie ruch prostoliniowy. 2 stopnie swobody.



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.





Struktura układu kinematycznego - para kinematyczna

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 względem 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.



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



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.



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





Struktura układu kinematycznego - para kinematyczna

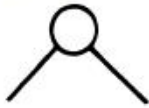
Przykłady par kinematycznych

Oznaczenie schematyczne

Konstrukcja

Realizacja techniczna

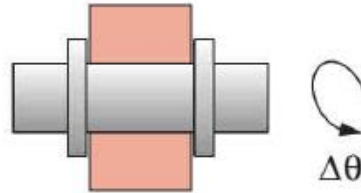
a) Para obrotowa - I



Rys. Płaska [Dobrzański 2002]



Rys. Przestrzenna [Dobrzański 2002]



Rys. [Norton 1999]



Rys. [<http://airsklep.pl/pl/p/PRZEGUB-OBROTOWY-BEZ-DZWIGNI-30x30-B/181>]

b) Para przesuwna (postępowa) - I



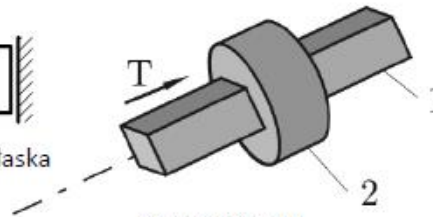
Rys. Płaska [Dobrzański 2002]



Rys. Przestrzenna [Dobrzański 2002]



Rys. Płaska



Rys. [Marghitu 2009]

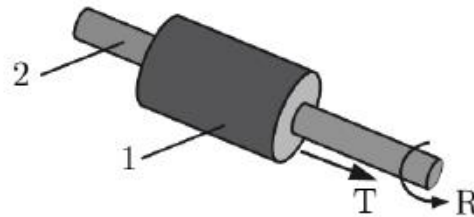


Rys. [<http://www.gg-powertransmission.com/splined-shafts-sleeves/standard/>]

c) Para cylindryczna - II



Rys. [Dobrzański 2002]



Rys. [Marghitu 2009]



Rys. [<http://www.practicalmachinist.com/vb/archive/index.php/t-274723.html>]

Struktura układu kinematycznego - para kinematyczna

Przykłady par kinematycznych

Oznaczenie schematyczne

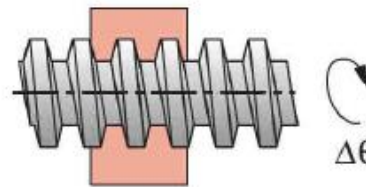
d) Para śrubowa – I



Rys. Wersja 1
[Dobrzański 2002]

Rys. Wersja 2
[Dobrzański 2002]

Konstrukcja



Rys. [Norton 1999]

Realizacja techniczna

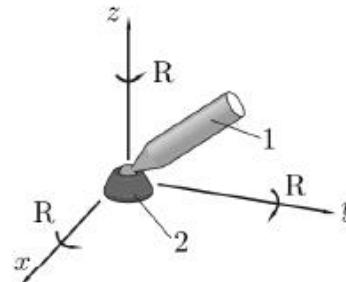


Rys. [<http://www.linearways.in/lead-screws-nuts.html>]

e) Para sferyczna (kulista) – III



Rys. [Dobrzański 2002]



Rys. [Marghitu 2009]

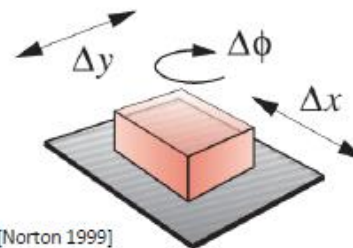


Rys. [https://en.wikipedia.org/wiki/Ball_joint]

f) Para płaska (płaszczyznowa) – III



Rys. [Dobrzański 2002]



Rys. [Norton 1999]



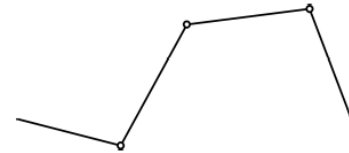
Rys. [<http://sofy24.pl/sofy/162-kanapa-3-osobowa-rozkladana-dawid.html>]

Struktura układu kinematycznego - łańcuch kinematyczny

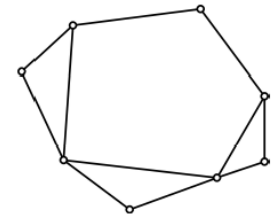
Łańcuch kinematyczny (ŁK) – to szereg członów połączonych ze sobą ruchowo, składający się z więcej niż jednej pary kinematycznej.

Podział ŁK

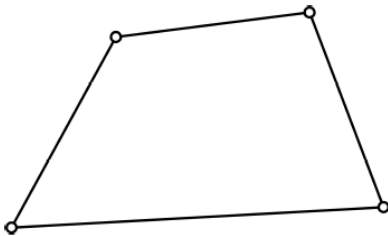
- otwarte lub zamknięte,
- płaskie lub przestrzenne,
- jednobieżne lub niejednobieżne.



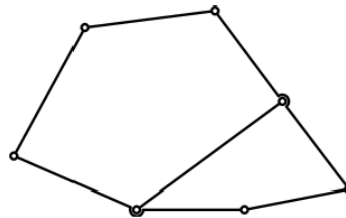
Łańcuch otwarty



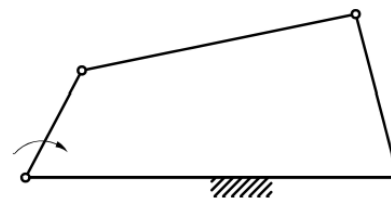
Łańcuch zamknięty



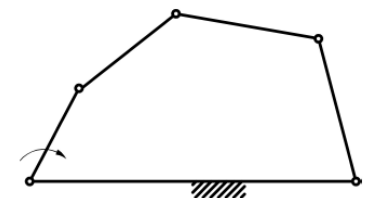
Łańcuch prosty



Łańcuch złożony



Łańcuch jednobieżny



Łańcuch niejedno bieżny

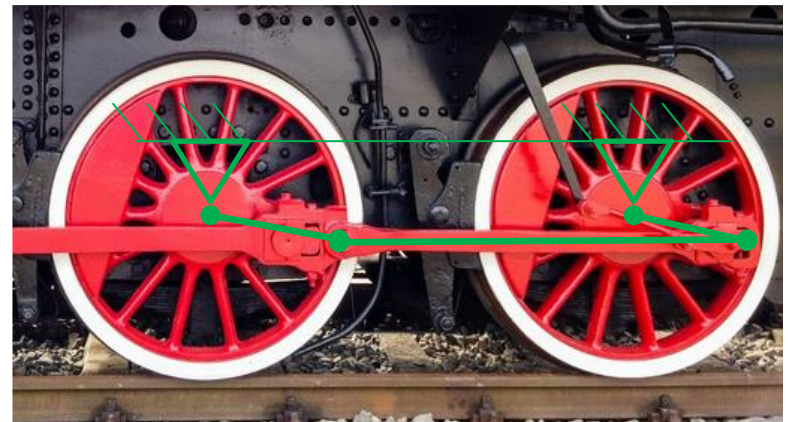
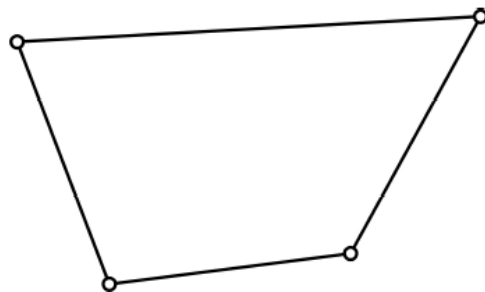


Struktura układu kinematycznego - łańcuch kinematyczny

Łańcuch otwarty



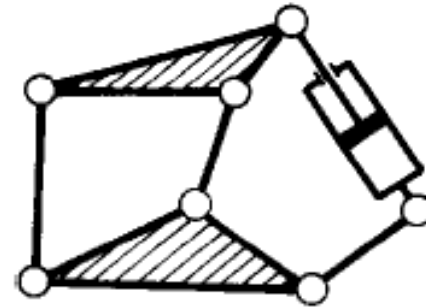
Łańcuch zamknięty



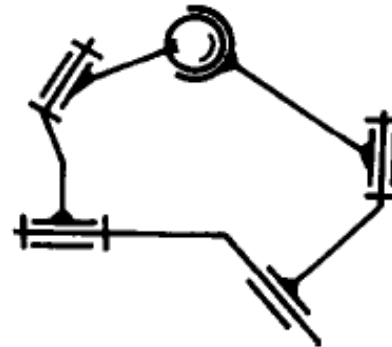


Struktura układu kinematycznego - łańcuch kinematyczny

Łańcuch płaski to taki, w którym wszystkie człony wykonują ruch w płaszczyznach równoległych.



Przykład łańcucha przestrzennego





Struktura układu kinematycznego - łańcuch kinematyczny



Układ kinematyczny płaski

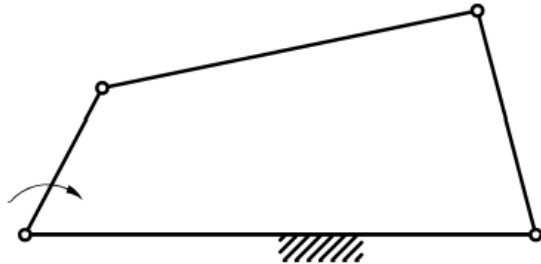


Układ kinematyczny przestrzenny

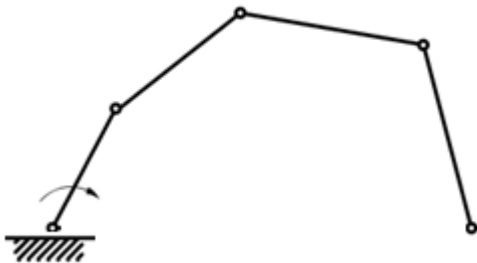


Struktura układu kinematycznego - łańcuch kinematyczny

Łańcuch jednobieżny- to taki, w którym zadane położenie jednego z członów jednoznacznie określa położenie członów pozostałych



Łańcuch niejednobieżny- to taki, w którym położenie poszczególnych członów jest niezależne od położenia członów pozostałych.





Mechanizm

Mechanizm

Def. 1: Jest to łańcuch kinematyczny wykonujący ściśle określony ruch.

Def. 2: Jest to układ połączonych ze sobą ogniw o ściśle określonym ruchu względnym, którego zadaniem jest przeniesienie ruchu.

Def. 3: Zamknięty łańcuch kinematyczny z jednym członem spełniającym funkcję podstawy, charakteryzujący się liczbą członów czynnych równą jego ruchliwości.



Mechanizm

Przykład mechanizmu

- Tłokowo-korbowy



Jakiego typu jest to łańcuch kinematyczny ?



Maszyna

Maszyna

Def. 1: To zespół mechanizmów wykonujących żadaną pracę związaną z procesami technologicznymi lub przemianą energii.

Def. 2: To mechanizm, w którym zachodzi proces energetyczny polegający na wykonywaniu pracy użytecznej lub przekształcaniu energii.

Def. 3: 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.



Maszyna

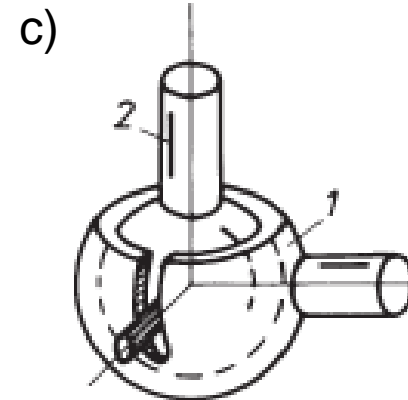
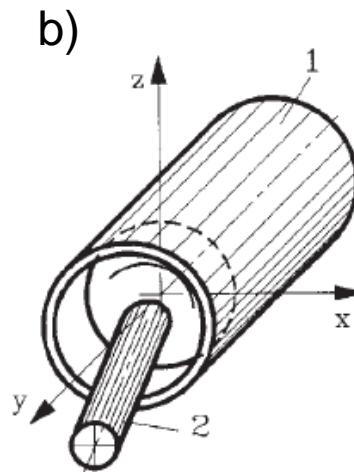
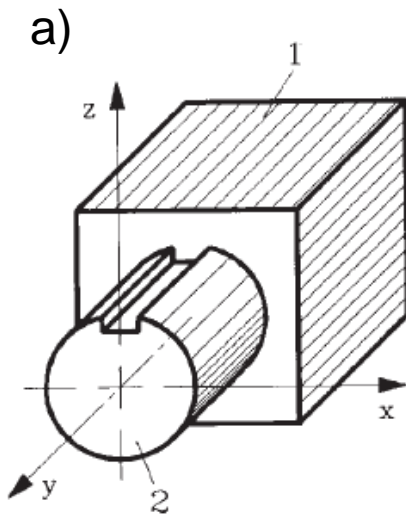
Istotą maszyny jest to, że zawiera ona co najmniej jeden a zwykle kilka współpracujących ze sobą mechanizmów.

Przykładem jest silnik spalinowy, w którym wyróżnia się mechanizm:

- Tłokowo-korbowy,
- Krzywkowy rozrządu,
- Przekładni zębatych.

Pytania kontrolne

Proszę dokonać klasyfikacji poniższych par kinematycznych przy założeniu, że człon 1 jest członem nieruchomym.





Pytania kontrolne

Jakiego rodzaju jest to łańcuch kinematyczny? Jakie pary kinematyczne w nim występują?





Dziękuję za uwagę