

Tomasz GEISLER

Katedra Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn, Politechnika Częstochowska,
ul. J.H. Dąbrowskiego 73, 42-201 Częstochowa

Dydaktyka nauczania przedmiotu Teoria Mechanizmów i Maszyn z wykorzystaniem oprogramowania komputerowego CAD/CAE oraz układów rzeczywistych

Streszczenie. W pracy przedstawiono założenia prowadzenia nauczania podstaw Teorii Mechanizmów i Maszyn w zakresie struktury i analizy kinematycznej układów płaskich. Zostało wymienione i omówione oprogramowanie komputerowe wykorzystywane w skutecznym i praktycznym systemie nauczania, przekazywania wiedzy. Przedstawiono i omówiono układy rzeczywiste wykorzystywane w procesie dydaktycznym.

Słowa kluczowe: teoria maszyn i mechanizmów, nauczanie, metody komputerowe, układy rzeczywiste.

1. Podstawy teoretyczne

Teoria Mechanizmów i Maszyn (TMM) jest dyscypliną nauk technicznych, obejmującą zakresem wiedzy zagadnienia z zakresu kinematyki i dynamiki mechanizmów oraz maszyn. TMM zawiera zagadnienia z zakresu nauk podstawowych i stosowanych, obejmując i wiążąc w całość m.in. zagadnienia mechaniki teoretycznej, matematyki, fizyki i chemii. W szerokim zakresie wykorzystywanej wiedzy znajdują się także zagadnienia wytrzymałości materiałów i konstrukcji, budowy maszyn, metalurgii oraz inne. W zakresie kinematyki zawierają się zagadnienia analizy strukturalnej i metody określania parametrów ruchu członów i par kinematycznych mechanizmów różnych klas. 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 członów mechanizmów.

TMM zawiera też syntezę, zajmującą się opracowywaniem i konstrukcją mechanizmów spełniających z góry ustalone parametry kinematyczne i dynamiczne. Dynamika mechanizmów i maszyn w zakresie TMM bada ruch mechanizmów z uwzględnieniem sił i mas elementów, w tym momentów bezwładności.

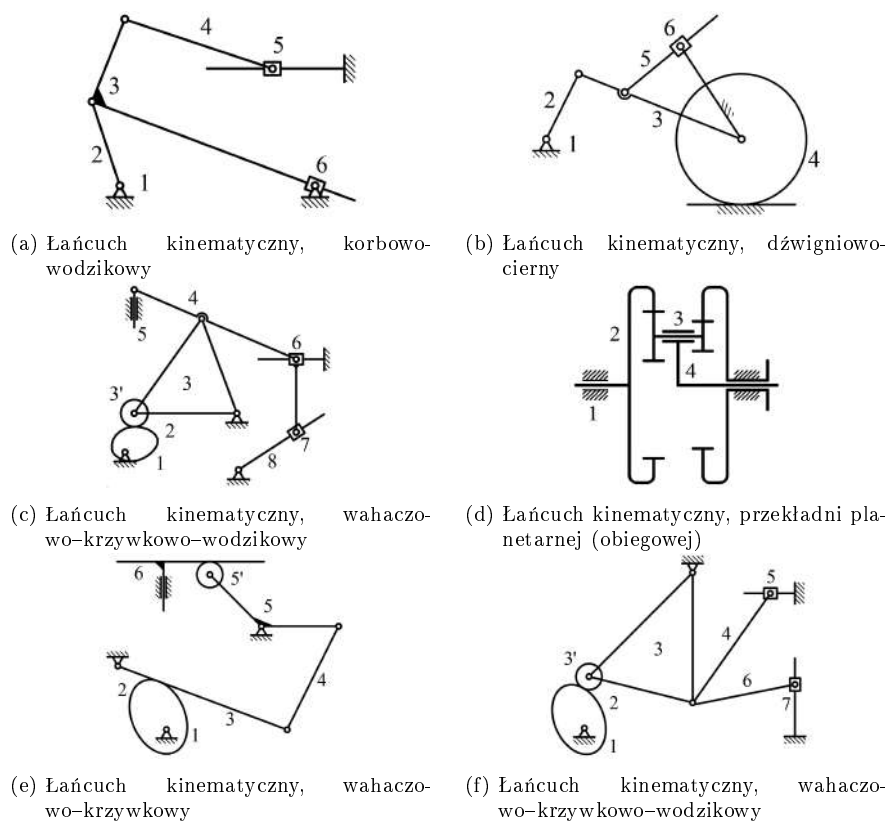
2. Wykorzystanie oprogramowania CAD w dydaktyce TMM

W zakresie wykorzystania oprogramowania komputerowego CAD (Computer Aided Design), z zastosowaniem pakietu AutoCAD firmy AUTODESK, w nauczaniu przedmiotu Teoria Mechanizmów i Maszyn, konieczne jest wykorzystanie wiedzy i umiejętności uzyskanych przez studentów we wcześniejszym procesie dydaktycznym.

Nauczanie podstaw wykorzystania pakietu realizowane jest m.in. na zajęciach z przedmiotów: Grafika inżynierska, Rysunek techniczny i innych. Zajęcia z przedmiotu TMM i jego pokrewnych prowadzone są na pierwszym stopniu nauczania kierunków Mechanika i Budowa Maszyn oraz Mechatronika oraz studiach niestacjonarnych kierunku MiBM, także na wybranych kierunkach drugiego stopnia nauczania.

W toku zajęć dydaktycznych z TMM i innych studenci powinni uzyskać wiedzę i umiejętności praktyczne, wystarczające do samodzielnej analizy oraz sposobów modelowania struktur oraz ruchu członów mechanizmów i maszyn.

W zakresie sporządzania rysunków zgodnych z założeniami TMM studenci powinni posiadać umiejętności sporządzania m.in. rysunków schematów łańcuchów kinematycznych (rys. 1) oraz konstrukcji graficznych zawierających rozwiązania zadań z zakresu kinematyki. W procesie dydaktycznym, prowadzonym w Katedrze Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn Wydziału Inżynierii Mechanicznej PCz, kładziony jest szczególny nacisk na praktyczne przedstawienie zasad tworzenia schematów i konstrukcji mechanizmów oraz sporządzanie rysunków CAD.



Rysunek 1. Przykładowe łańcuchy kinematyczne wykorzystywane w dydaktyce TMM

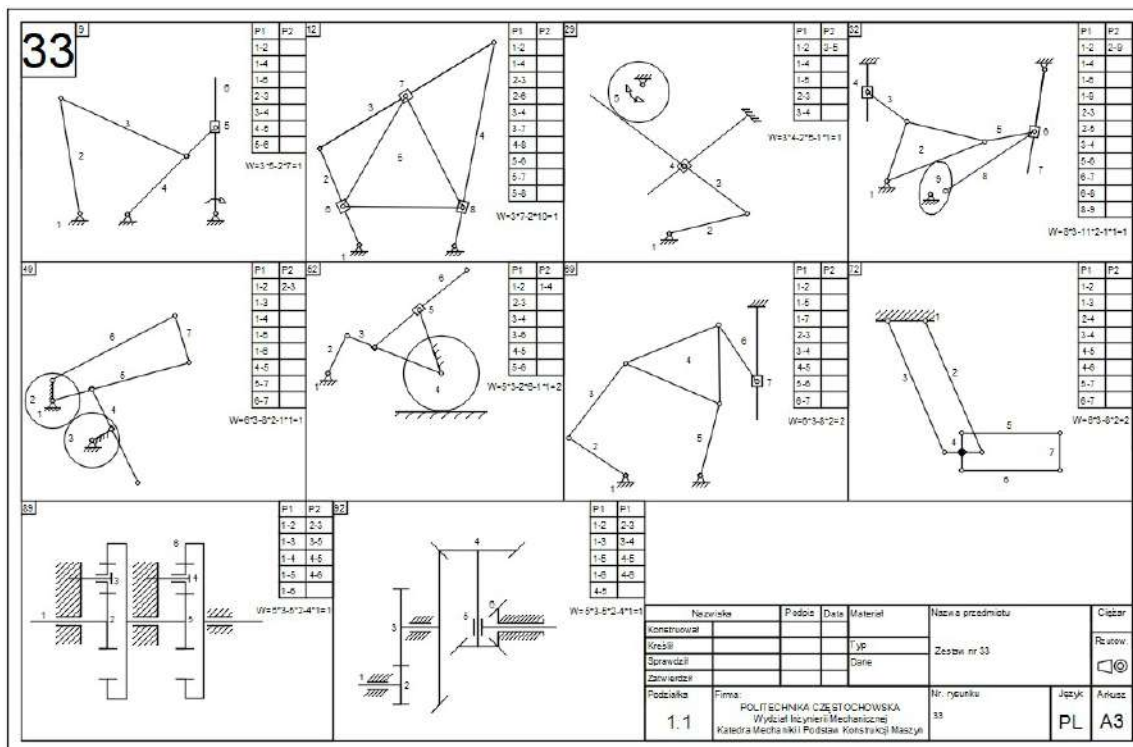
W zakresie prowadzenia analizy strukturalnej konieczne jest wykonanie rysunków schematów łańcuchów, w pakiecie AutoCAD. Rysunki sporządzane są przez studentów w formie plików (.dwg, .dxf) wykonanych zgodnie z zasadami grafiki inżynierskiej. Konieczne jest określenie par kinematycznych różnych klas i przeprowadzenie obliczeń ruchliwości łańcuchów kinematycznych.

Do wykonania obliczeń ruchliwości wymagane jest zastosowanie wzoru określonego dla łańcucha płaskiego, który można zapisać: $W = 3n_r - 2p_1 - p_2$, gdzie: n_r - liczba członów ruchomych, p_1 i p_2 pary kinematyczne odpowiednio klasy pierwszej i drugiej.

Pary p_1 na płaszczyźnie są parami o ruchu obrotowym lub przesuwym, a pary p_2 są parami, w których styk członów pary jest punktem lub linią. Obliczony stopień ruchliwości może zawierać się w zakresie 0–3. Możliwe jest opracowanie i udostępnienie struktury innych łańcuchów o stopniach ruchliwości, np. w zakresie od -2 do +5. W czasie trwania zajęć dydaktycznych zmieniane są struktury łańcuchów przez dodawanie członów lub zmianę klas par kinematycznych, z komentarzami wskazującymi na konieczność zmiany obliczeń.

Dla łańcucha kinematycznego (rys. 1f) wyodrębniono pary kinematyczne p_1 : 1–2, 1–3, 1–5, 1–7, 4–5, 6–7, 3–4, 3–6 oraz parę p_2 : 2–3. Obliczenie ruchliwości dla łańcucha (rys. 1f), para kinematyczna 3–3' jest lokalnym stopniem swobody, nie uwzględnianym w obliczeniach. Otrzymana wartość oznacza łańcuch kinematyczny, o liczbie swobody równej 1.

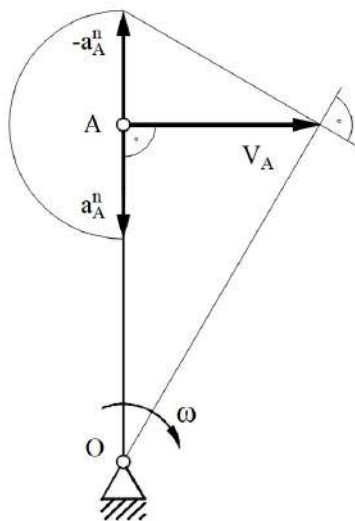
Rysunek zaliczeniowy, przekazywany do realizacji, zawiera, min. 10 łańcuchów kinematycznych, wybranych indywidualnie dla każdego studenta. W ramach pracy konieczne jest wyodrębnienie par kinematycznych różnych klas, przeprowadzenie obliczeń ruchliwości łańcuchów kinematycznych i ich przedstawienie w formie tabelki. Praca zostaje przesłana w e-learningu, w formie elektronicznej, w postaci rysunku wykonanego z wykorzystaniem pakietu AutoCAD (rys. 2).



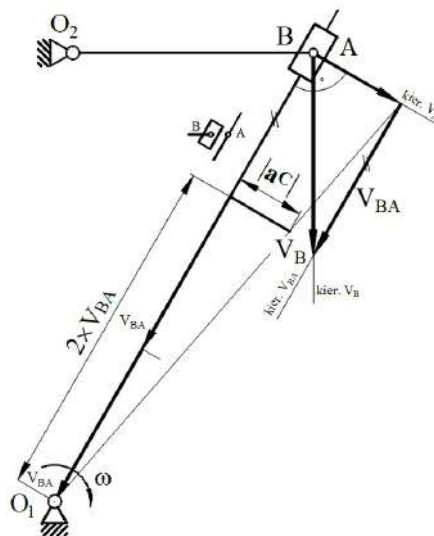
Rysunek 2. Przykładowa praca wyznaczania liczby stopni swobody łańcuchów kinematycznych

Możliwa jest prezentacja i wykorzystanie prac studentów w dalszym procesie dydaktycznym, na podstawie uzyskanych zgód.

W konstrukcjach graficznych wyznaczania wartości wektorów prędkości i przyspieszeń punktów mechanizmów, przedstawiano i praktycznie stosowano konstrukcje wyznaczające wartości przyspieszenia normalnego (dośrodkowego) dla korby (rys. 3) oraz wartości wektora przyspieszenia Coriolisa (a^C) dla mechanizmu jarzmowego (rys. 4).

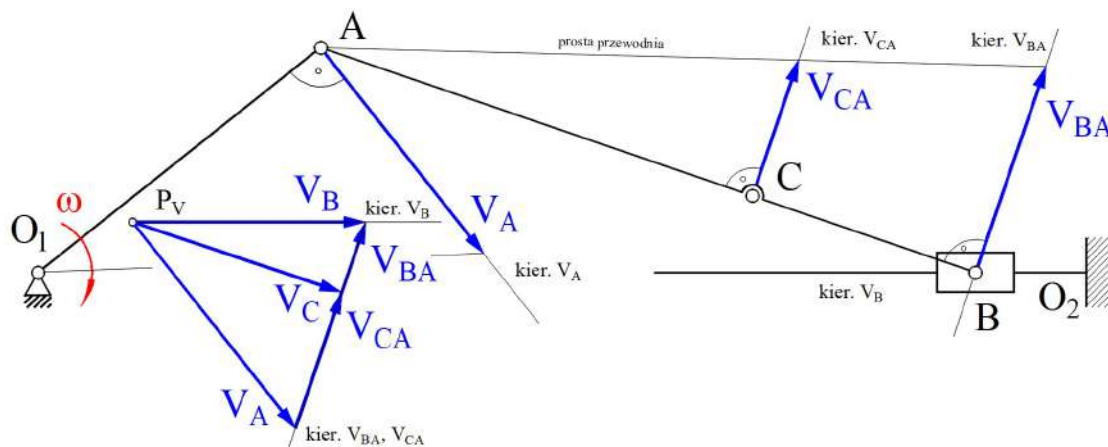


Rysunek 3. Konstrukcja wyznaczania wektora przyspieszenia normalnego



Rysunek 4. Konstrukcja graficzna wyznaczania wartości wektora przyspieszenia Coriolisa

Konstrukcje graficzne wykonywane są na zajęciach lub wykorzystywane są rysunki wcześniej sporządzone, ułatwiające nauczanie. Sporządzono konstrukcję wyznaczania wektorów prędkości punktów mechanizmu korbowo-wodzikowego (rys. 5).

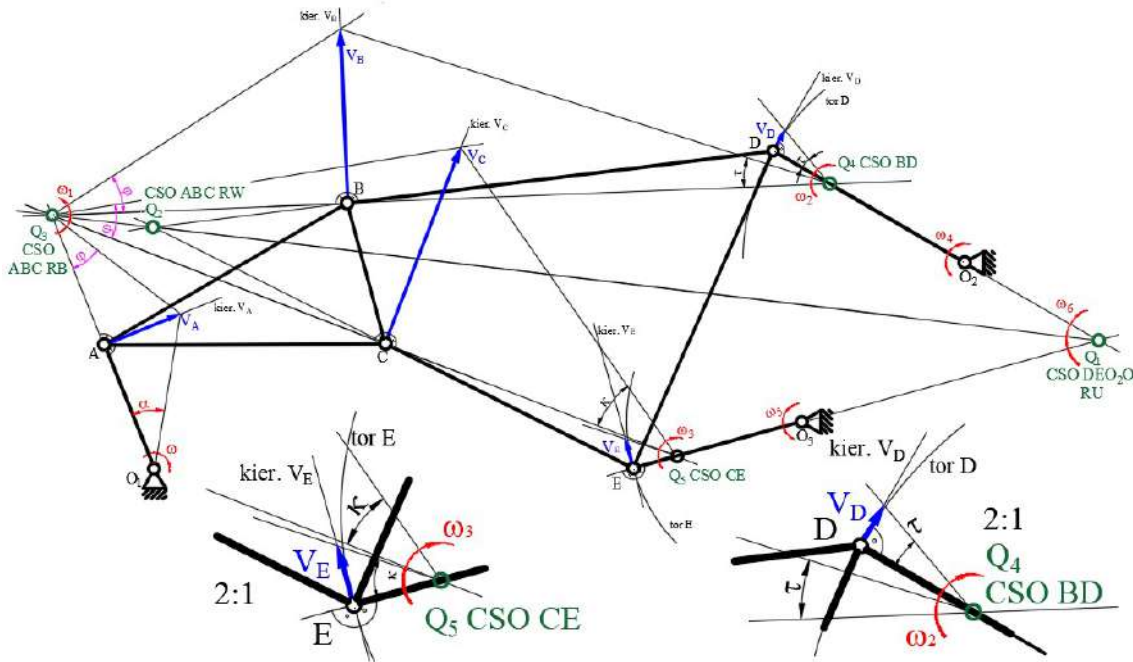


Rysunek 5. Konstrukcja wyznaczania prędkości punktów mechanizmu korbowo-wodzikowego

Przy wyznaczaniu wektorów prędkości zastosowano metodę prędkości względnych. W rozwiązaniu wymienioną metodą, wykorzystano zależności wektorowe (R1):

$$\begin{aligned}\vec{V}_B &= \vec{V}_A + \vec{V}_{BA} \\ \vec{V}_C &= \vec{V}_A + \vec{V}_{CA}\end{aligned}\quad (\text{R1})$$

Dla konstrukcji bardziej złożonej wykonano rysunek zawierający rozwiązanie wyznaczania prędkości dla mechanizmu IV klasy, typ 1t (rys. 6).



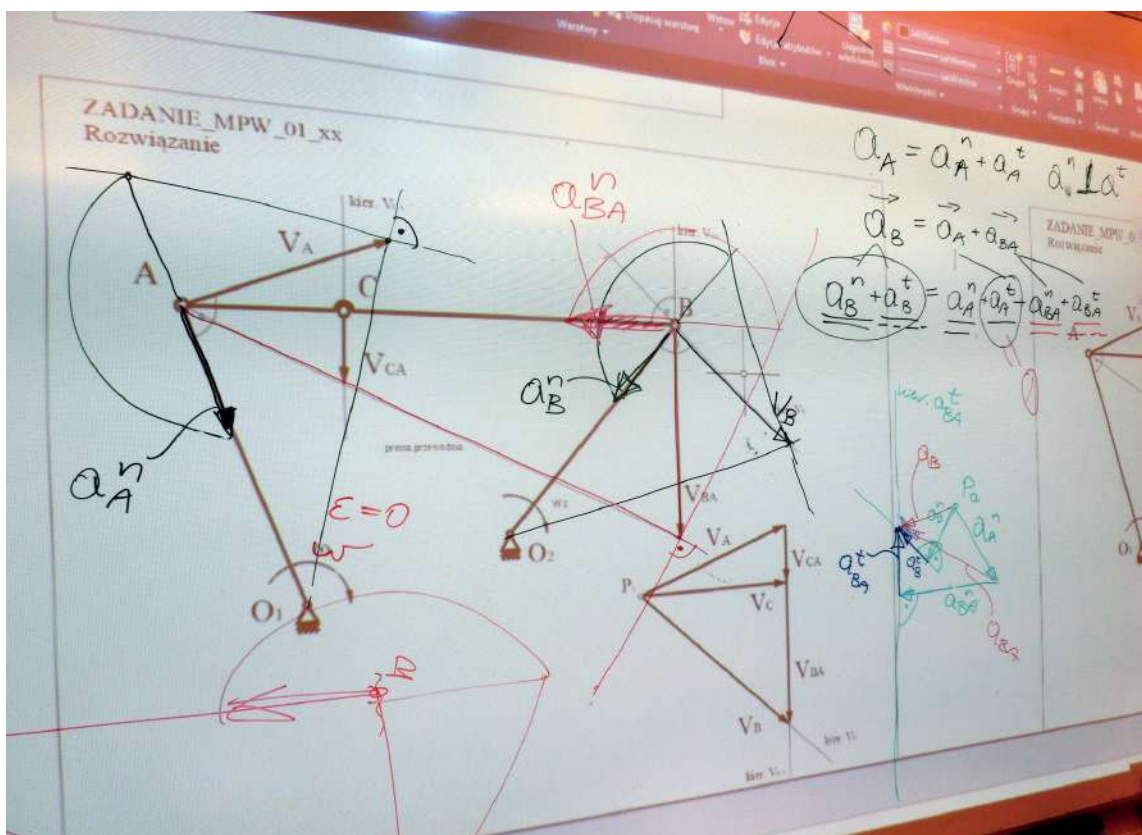
Rysunek 6. Mechanizm IV klasy, typ 1t, wyznaczanie wektorów prędkości par kinematycznych

Przykładowa konstrukcja wyznaczania położenia chwilowych środków prędkości członów w ruchu obrotowym, względnym, unoszenia oraz bezwzględnie członów została sporządzona dla mechanizmu IV klasy, typ 1t (rys. 6). Zastosowano metodę podziału ruchu (MPR) z wykorzystaniem metody chwilowych środków obrotu (CSO). Metody te są szczegółowo omawiane i wykorzystywane na wszystkich zajęciach dydaktycznych.

Niedogodnością sporządzania rysunków 2D, w programie AutoCAD, bezpośrednio na zajęciach, jest jej większa czasochłonność w stosunku do konstrukcji graficznych wykonywanych bezpośrednio na tablicach, kredą lub pisakami. Zmiana czasu realizacji wynika z konieczności zachowania zasad i dokładności prowadzenia konstrukcji. Konieczne jest zastosowanie mechanizmu rysowania precyzyjnego (MRP), wykorzystywanego i koniecznego w zakresie wyznaczania punktów pomocniczych oraz długości wektorów prędkości i przyspieszeń.

Jednak sporządzane każdorazowo konstrukcje posiadają niezaprzeczalnie lepszy aspekt dydaktyczny, umożliwiając studentom lepsze zrozumienie przedstawianych tematów. Nie wymagają dużej dokładności konstrukcji. Zaletą jest możliwość śledzenia przebiegu powstawania konstrukcji przez studentów. Możliwe jest także przekazywanie uwag praktycznych dotyczących wykorzystywanego oprogramowania, służących jeszcze lepszemu opanowaniu pakietu AutoCAD. Celowe i praktyczne jest użycie różnych kolorów

w sporządzanych konstrukcjach. Zwiększa to czytelność kolejności sporządzanych rysunków na tablicach oraz w plikach komputerowych.



Rysunek 7. Konstrukcja tablicowa (hybrydowa) wyznaczania prędkości i przyspieszeń mechanizmu płaskiego, Lab. 137, KMiPKM

W prowadzonym procesie dydaktycznym wadę bezpośredniego sporządzania rysunków udaje się zniwelować poprzez wcześniejsze przygotowanie rysunków w AutoCADzie.

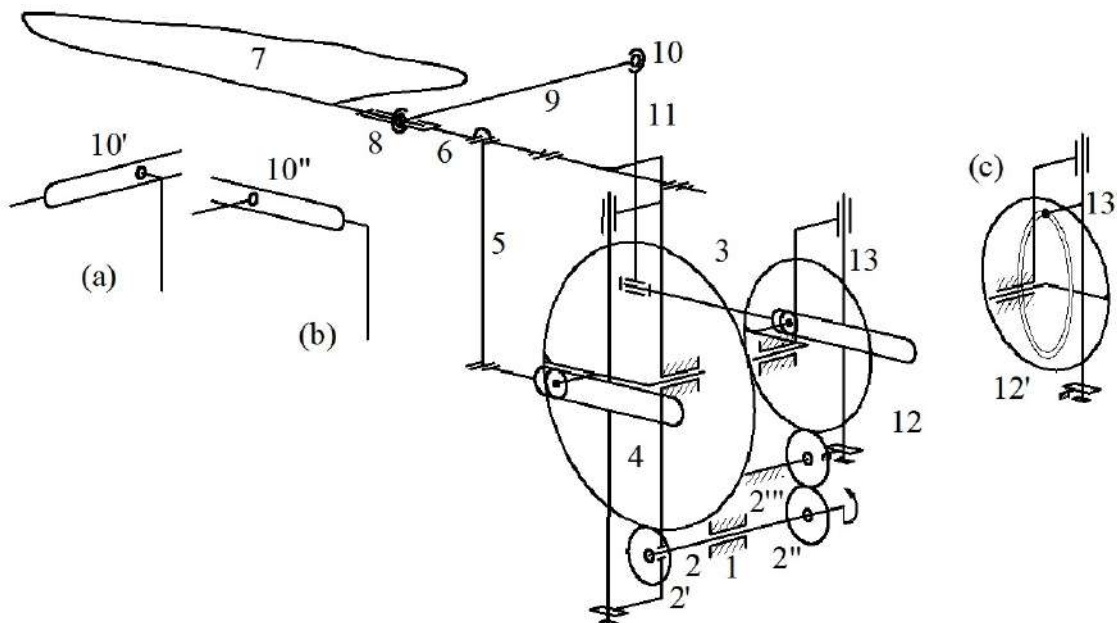
Wykorzystywane są odpowiednie konstrukcje, przygotowane przed zajęciami, zawierające także etapy prowadzonego rozwiązania. Zaletą takiego wykorzystania rysunków jest możliwość ich przesyłania w systemie nauczania z wykorzystaniem e-learningu.

Nowoczesny sprzęt wizualny umożliwia tworzenie konstrukcji hybrydowych, jako połączenie wyświetlanych plików komputerowych i prowadzonych na bieżąco, w czasie trwania zajęć, konstrukcji graficznych i obliczeń. Konstrukcje tworzone mogą być przez prowadzącego zajęcia oraz przez poszczególnych studentów (rys. 7).

Konstrukcje graficzne w zakresie kinematyki, w tym wyznaczania wektorów prędkości i przyspieszeń, wykonywane na tablicy umożliwiają jednak pracę własną studentów. Możliwe jest ich wykonywanie z koniecznym komentarzem i uwagami oraz wskazywaniem błędów popełnianych przez studentów w czasie prowadzenia konstrukcji.

Studenci na zajęciach oraz w zakresie pracy własnej na podstawie otrzymanych indywidualnych schematów mechanizmów sporządzają rysunki w programie AutoCAD.

Planuje się wykorzystanie programu Inventor w dalszym zaawansowanym procesie dydaktycznym w zakresie zwłaszcza modelowania przestrzennego (3D).



Rysunek 8. Schematu napędu skrzydeł, typu entomopter, AutoCAD 3D

Programy z pakietu Autodesk, w tym AutoCAD oraz inne, umożliwiają tworzenie rysunków 2D i 3D, zawierających koncepcje schematów i konstrukcji różnych mechanizmów. Możliwe jest przedstawienie studentom dokładnych i zaawansowanych sposobów ich sporządzania. Modelowanie wymaga podania dokładnych parametrów geometrii w ich konstrukcji. Przedstawiany i omawiany jest schemat 3D napędu skrzydeł obiektu typu entomopter (rys. 8), zawarty w jednej z szeregu prac naukowych autora z tego zakresu.

3. Wykorzystanie oprogramowania CAE w dydaktyce TMM

W ramach prowadzonych zajęć dydaktycznych studenci powinni posiadać umiejętności modelowania różnych łańcuchów kinematycznych i mechanizmów. Należy przekazać im zasady wykonywania obliczenia z użyciem udostępnianego oprogramowania komputerowego. Powinni opanować dostępne oprogramowanie na wystarczającym poziomie do modelowania mechanizmów różnych typów. Konieczne jest także opanowanie tworzenia wizualizacji w zakresie animacji ruchu członów oraz uzyskiwania i wyprowadzenia wyników obliczeń oraz analizy otrzymywanych danych.

Możliwe/stosowane jest wykorzystanie w dydaktyce TMM oprogramowania CAE, m.in. pakietu Mathcad, firmy Parametric Technology Corporation (PTC), do którego studenci mają zapewniony dostęp na zajęciach dydaktycznych.

Program umożliwia wykonywanie szeregu obliczeń w zakresie kinematyki i dynamiki. Pozwala na prowadzenie zaawansowanych obliczeń, rozwiązywanie układów równań, w tym zależnych matematycznie stosowane w określaniu położenia, prędkości i przyspieszeń par kinematycznych i punktów mechanizmów.

Do uzyskania prawidłowego rozwiązania w programie Mathcad, w zakresie wyznaczania np. kątów ruchu członów mechanizmu, konieczne jest wprowadzenie do pliku obliczeniowego układu równań z określonymi funkcjami programu. Równania, a później ich kolejne przekształcenia matematyczne (różnicz-

kowanie), muszą być powiększone o równania nad (ponad) wymiarowe, nazywane kierunkowymi lub układem równań „nadokreślonych”.

Wprowadzenie dodatkowych równań, matematycznie zbędnych, zapewnia prawidłowość rozwiązania i eliminuje możliwość otrzymania tzw. położań lustrzanych, „lokalnych” i „globalnych”, wzajemnych członów mechanizmu. Ten temat jest omawiany i prezentowany na przykładzie rzeczywistego modelu IV klasy, typ 2t.

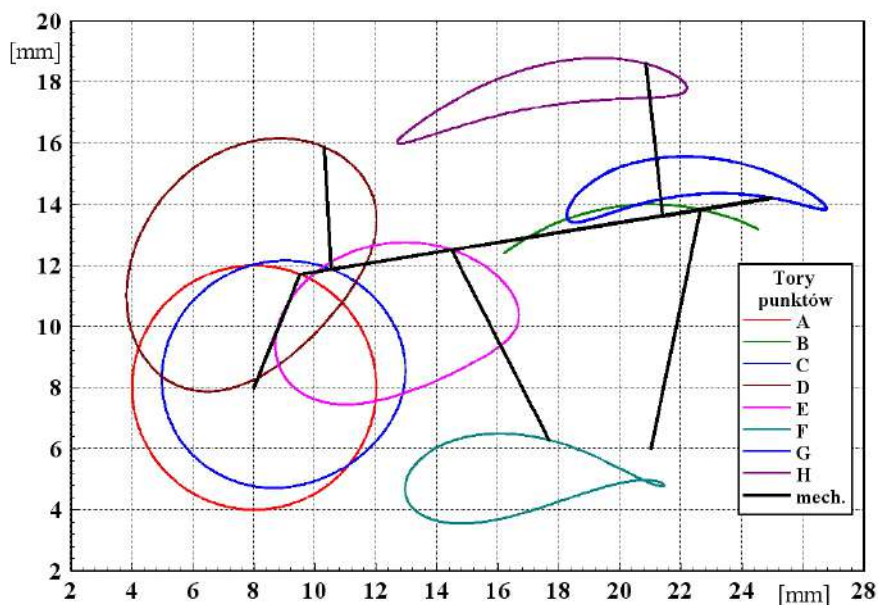
Konieczne jest także w algorytmie rozwiązania podanie danych początkowych, zbliżonych do rzeczywistych kątów i położań członów mechanizmu, w przyjętym układzie odniesienia. Zabezpiecza to otrzymanie prawidłowych rozwiązań układów równań.

Studenci na zajęciach oraz w zakresie pracy własnej na podstawie otrzymanych indywidualnych schematów mechanizmów zapisują i rozwiązują układy równań w programie Mathcad.

Podstawą metody analitycznej (wektorowej) zastosowanej do analizy kinematycznej rozpatrywanych mechanizmów jest uzyskanie zamkniętych łańcuchów (wieloboków) wektorowych, zastępujących określone łańcuchy kinematyczne członów mechanizmów.

W ramach wprowadzenia do szerszego wykorzystania możliwości programu Mathcad studenci otrzymują do realizacji modelowanie mechanizm czworoboku przegubowego.

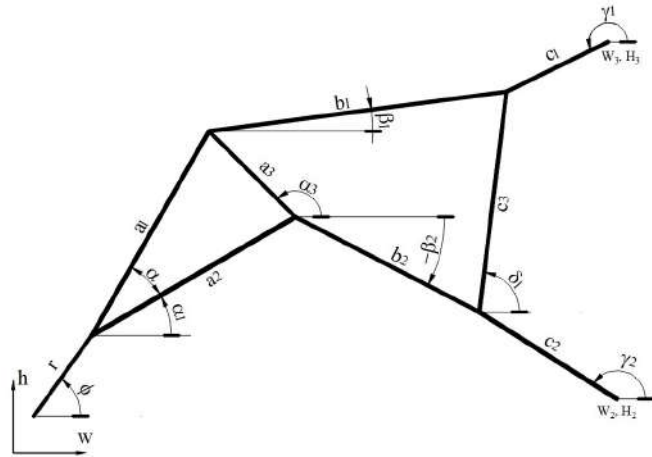
Celem pracy jest uzyskanie programu obliczeniowego wyznaczającego parametry trajektorii krzywych łącznikowych. Otrzymany na podstawie obliczeń i ich wizualizacji przykładowy rysunek zawiera krzywe łącznikowe jako tory par i punktów mechanizmu czworoboku przegubowego (rys. 9).



Rysunek 9. Czworobok przegubowy, krzywe łącznikowe

Otrzymane sumy rzutów w postaci układów równań, poddane różniczkowaniu po czasie, pozwalają określić prędkości kątowe członów oraz, po kolejnym różniczkowaniu, przyspieszenia kątowe członów mechanizmu. Uzyskane wartości prędkości i przyspieszenia kątowe wykorzystywane są dalej do obliczenia prędkości i przyspieszeń liniowych osi par kinematycznych.

Zastosowywana metoda wymaga od studentów znajomości matematyki w szerszym zakresie i stosowanie jej zasad w praktyce. W celu wykonania obliczeń konieczne jest przyjęcie geometrii mechanizmu (rys. 10).

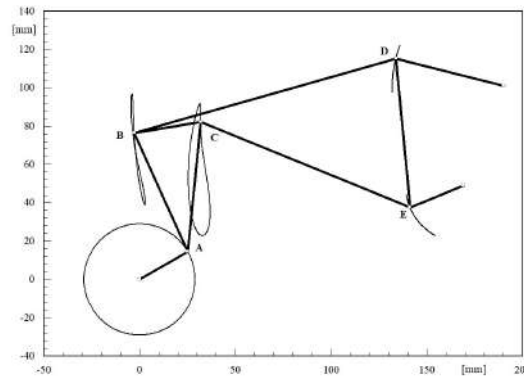


Rysunek 10. Wymiary mechanizmu IV klasy, typ 1t

Przedstawiono przykładowe równania stosowane w analizie kinematycznej, dla mechanizmu IV klasy, typ 1t:

$$\begin{aligned}
 r \cos \varphi + a_1 \cos(\alpha + \alpha_1) + b_1 \cos \beta_1 + c_1 \cos \gamma_1 &= w_2 \\
 r \sin \varphi + a_1 \sin(\alpha + \alpha_1) + b_1 \sin \beta_1 + c_1 \sin \gamma_1 &= h_2 \\
 r \cos \varphi + a_2 \cos \alpha + b_2 \cos \beta + c_2 \cos \gamma_2 &= w_1 \\
 r \sin \varphi + a_2 \sin \alpha + b_2 \sin \beta + c_2 \sin \gamma_2 &= h_1 \\
 c_1 \cos \gamma_1 - c_2 \cos \gamma_2 + c_3 \cos \delta_1 &= w_2 - w_1 \\
 c_1 \sin \gamma_1 - c_2 \sin \gamma_2 + c_3 \sin \delta_1 &= h_2 - h_1
 \end{aligned}$$

Przeprowadzenie obliczeń jest możliwe po przyjęciu wszystkich wymiarów geometrycznych i kątów położenia członów badanego mechanizmu. Rozwiązanie zagadnienia położenia polega na zapisie i rozwiązaniu układu równań (R1). Przy założonej wartości φ niewiadomymi w układzie równań są wartości: α_1 , β_1 , β_2 , γ_1 , γ_2 , δ_1 . Kolejne etapy rozwiązania polegają na obliczeniu pochodnych funkcji, równań początkowych. Przedstawiono uzyskane tory par kinematycznych dla analizowanego mechanizmu (rys. 11).



Rysunek 11. Tory punktów mechanizmu IV klasy, typ 1t

Poniżej przedstawiono zapis fragmentu rozwiązania zastosowanego w pliku obliczeniowym środowiska Mathcad (ver. 5/14) (rys. 12).

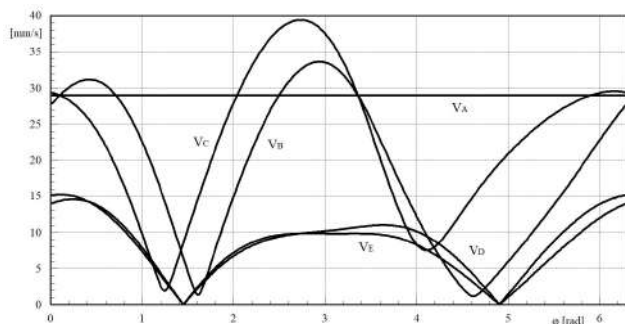
Given

$$\begin{aligned}
 r \cdot \sin(\phi \text{ deg}) + a1 \cdot \sin(\alpha + \alpha1) + b1 \cdot \sin(\beta1) + c1 \cdot \sin(\Gamma1) &= H3 & c1 \cdot \sin(\Gamma1) + c2 \cdot \sin(\Gamma2) + c3 \cdot \sin(\delta1) - (H3 - H2) &= 0 \\
 r \cdot \cos(\phi \text{ deg}) + a1 \cdot \cos(\alpha + \alpha1) + b1 \cdot \cos(\beta1) + c1 \cdot \cos(\Gamma1) &= W3 & c1 \cdot \cos(\Gamma1) + c2 \cdot \cos(\Gamma2) + c3 \cdot \cos(\delta1) - (W3 - W2) &= 0 \\
 r \cdot \sin(\phi \text{ deg}) + a2 \cdot \sin(\alpha1) + b2 \cdot \sin(\beta2) + c2 \cdot \sin(\Gamma2) &= H2 & b1 \cdot \cos(\beta1) + c3 \cdot \cos(\delta1) + b2 \cdot \cos(\beta2) - a3 \cdot \cos(\alpha3) &= 0 \\
 r \cdot \cos(\phi \text{ deg}) + a2 \cdot \cos(\alpha1) + b2 \cdot \cos(\beta2) + c2 \cdot \cos(\Gamma2) &= W2 & b1 \cdot \sin(\beta1) + c3 \cdot \sin(\delta1) + b2 \cdot \sin(\beta2) - a3 \cdot \sin(\alpha3) &= 0
 \end{aligned}$$

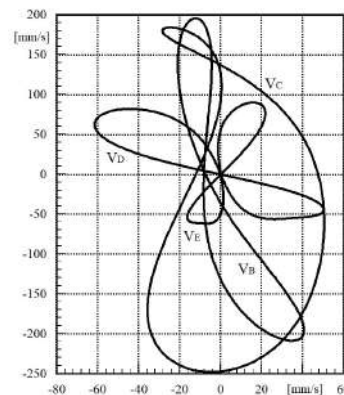
$F(\phi) := \text{Find}(\alpha1, \beta1, \beta2, \Gamma1, \Gamma2, \delta1)$

Rysunek 12. Układ równań dla mechanizmu IV klasy, typ 1t

Po przeprowadzeniu obliczeń możliwe jest sporządzanie różnych wykresów. Mogą być w formie przebiegów czasowych (rys. 13) lub hodografów (rys. 14) wektorów prędkości i przyspieszeń par oraz punktów mechanizmu. Mogą zawierać także wartości składowych wektorów w przyjętym układzie współrzędnych.



Rysunek 13. Przebiegi czasowe wektorów prędkości



Rysunek 14. Hodografy wektorów prędkości

Możliwe jest wygenerowanie wyników w postaci wykresów, w tym wykresów typu „paired” (skojarzonych) w programie Mathcad. Znacznie lepsze efekty wizualne uzyskuje się po przesłaniu danych do programów graficznych, np. Harvard Chart XL, Grapher i innych.

Wymusza to opanowanie przez studentów zasad działania dodatkowego oprogramowania komputerowego służącego do wizualizacji otrzymanych wyników.

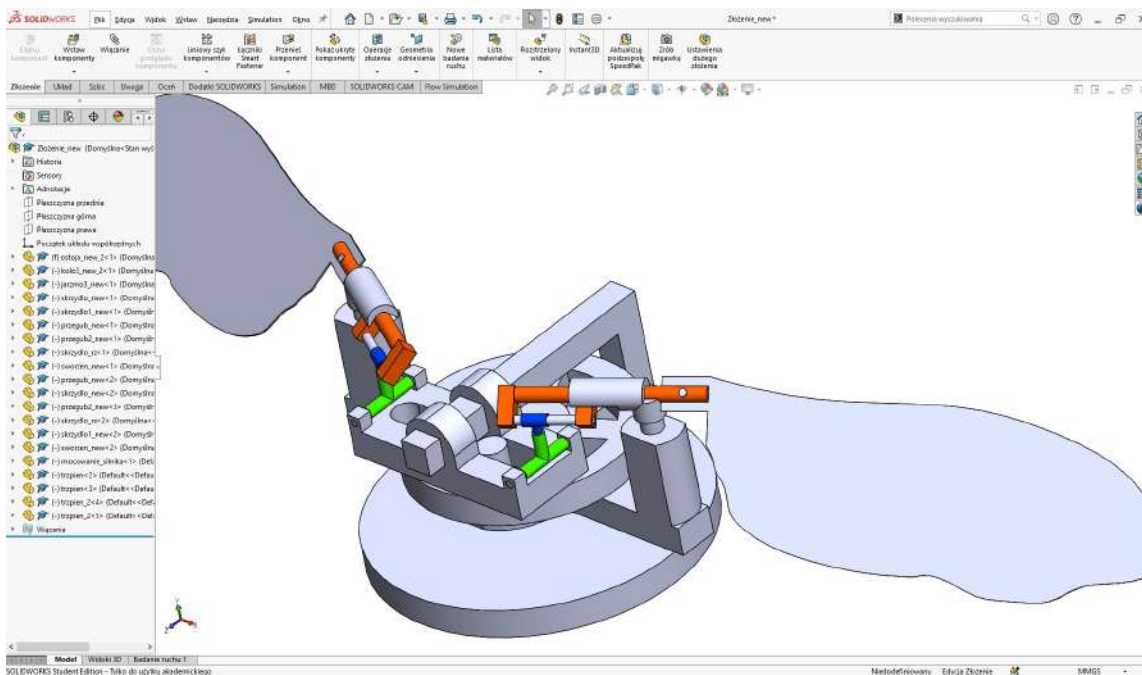
W innej metodzie obliczeniowej stosowana jest także metoda przecięć okręgów, dzięki której większość współrzędnych położenia par kinematycznych uzyskiwana jest bezpośrednio, bez konieczności zapisywania dodatkowych równań.

Możliwe jest wyprowadzenie wyników uzyskanych na podstawie obliczeń w różnej formie, koniecznej do wizualizacji wyników. Studenci, sporządzając sprawozdania, opracowują wyniki obliczeń w postaci różnego rodzaju wykresów oraz je prawidłowo interpretują.

Jest to dydaktycznie skuteczne, ponieważ studenci uzyskują wiedzę i doświadczenie w zakresie tzw. obróbki danych i ich znacznie lepszego prezentowania oraz wykorzystania w dalszym toku studiów.

W procesie dydaktycznym wykorzystywana jest także aplikacja stworzona przez dyplomanta. Wykorzystana może zostać do sprawdzania prac studentów w zakresie modelowania i prowadzenia obliczeń dla wybranych mechanizmów IV klasy.

W aplikacji „Mechanizmy” wykorzystano metodę Newtona. Składała się z dwóch bloków funkcjonalnych. Całość aplikacji została zaimplementowana w środowisku Delphi 6 firmy Borland. Aplikacja umożliwia analizę kinematyczną dla trzech wybranych typów mechanizmów IV klasy, o różnych wymiarach



Rysunek 16. Solid Works 3D, mechanizm typu entomopter

działania mechanizmów krzywkowych, stosowanych do tej pory w konstrukcjach np. silników spalinyowych. Można przedstawić założenia zapomnianej metody różniczkowania graficznego (rys. 17, 18).



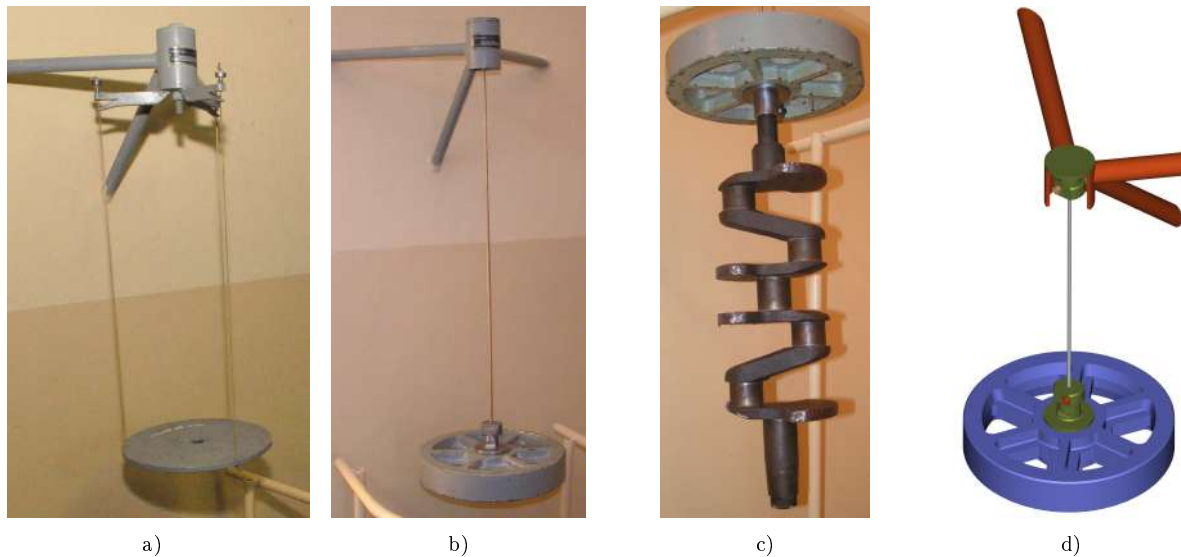
Rysunek 17. Stanowisko do wyznaczania zarysu krzywek – wersja „stara”



Rysunek 18. Stanowisko do wyznaczania zarysu krzywek – wersja „nowa”

Dla wszystkich poprzednich stanowisk laboratoryjnych zostały przygotowane instrukcje ich wykorzystania i zasad sporządzania sprawozdań. Niektóre „stare” stanowiska, w kilku przypadkach, zostaną zrekonstruowane lub zmodernizowane, z przeznaczeniem do dalszego wykorzystania dydaktycznego. Są to m.in. stanowiska do wyznaczania momentu bezwładności metodami: wahadła torsyjnego (trifilarnego) (rys. 19), wahadła fizycznego i zawieszenia na sprężystym pręcie skręcanym brył, w tym korbowodów (rys. 19a–19c).

Stanowisko zostało wykorzystane do modelowania w ramach jednej z prac inżynierskich studenta w celu uzyskania modelu obliczeniowego metodą MES (metoda elementów skończonych). Możliwe było porównanie wyników przy różnych materiałach i długościach pręta skręcanego (rys. 19c).



Rysunek 19. Stanowiska wyznaczania momentów bezwładności: a) metoda wahadła torsyjnego, b–d) zawieszenie na sprężystym pręcie.

W procesie dydaktycznym, przez cały czas na prowadzonych wszystkich zajęciach z zakresu TMM, jest wykorzystywane praktycznie stanowisko do wyrównoważenia statycznego członu sztywnego w ruchu obrotowym (rys. 20). Metoda wyrównoważenia oparta jest na czterokrotnym równoważeniu maszyny z założonym członem. Wyrównoważanie przebiega w położeniach kątowych co 90° przez obciążanie szalek obciążnikami i sprowadzenie poziomicy do zera. Wykorzystane dane służą do określenia kąta i wartości masy wyrównowazającej z wykorzystaniem nomogramu.

Prace modernizacyjne, z dodaniem nowoczesnych metod rejestracji danych, będą dotyczyć stanowiska do wyznaczania sprawności śruby przy opuszczaniu ciężaru. Obliczenia sprawności śruby wyznaczane jest przez obliczenie stosunku pracy uzyskanej (wykorzystanej na podniesienie ciężaru i obrócenie śruby) do pracy włożonej (uzyskiwanej przez opuszczenie ciężaru). Zakłada się przy tym ruch quasistatyczny, czyli ruch o prędkości niewiele różniącej się od zera (rys. 21). Pomiary i sprawozdanie jest realizowane przez studentów w ramach zajęć dydaktycznych.

Stanowisko jest „stare”, ale umożliwiające wyjątkowo skuteczne przedstawienie szeregu praktycznych informacji w zakresie ruchu brył, strat w połączeniach tarcowych, tocznych, pomijalnych oporów ruchu (powietrza w ruchu mas, zginania linek, obrotu krążków, innych).

Wykorzystywane jest także to stanowisko do wyrównoważenia dynamicznego mas na wyważarce dynamicznej (rys. 21). Zasady wyrównoważania/wyważania mas są przedstawiane jako wyjątkowo praktyczne



Rysunek 20. Stanowisko do wyrównowazania statycznego mas

i mające zastosowanie w życiu codziennym, np. przy wyrównowazaniu wirników silników, felg samochodowych przy zmianie opon, innych.



a)



b)



c)

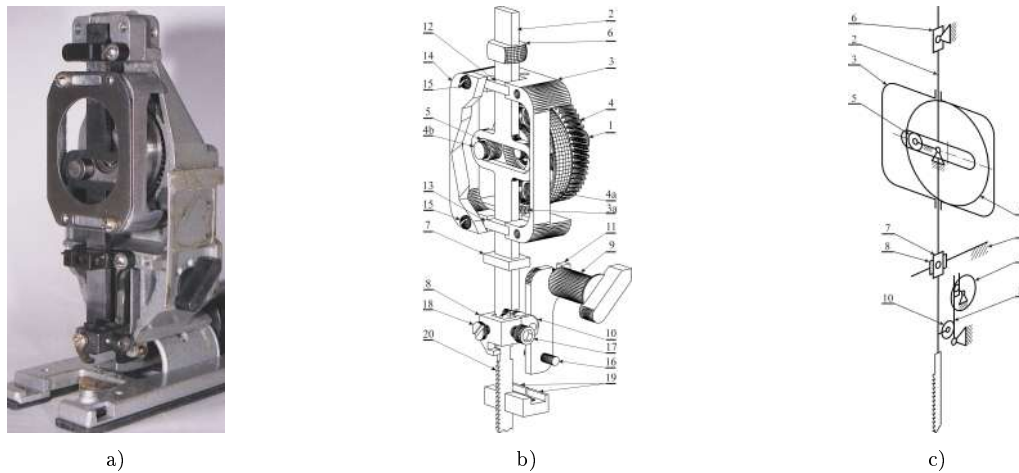
Rysunek 21. Stanowiska do wyznaczania sprawności śruby (a,b) oraz wyrównowazania dynamicznego (c)

W prowadzonej dydaktyce wykorzystywany jest mechanizm wyrzynarki oscylacyjnej w przedstawianiu zasad analizy strukturalnej układów rzeczywistych (rys. 22). Prezentowany jest na zajęciach działający egzemplarz wyrzynarki.

Omawiane są cechy funkcjonalne i konstrukcyjne rozpatrywanej wyrzynarki oscylacyjnej do cięcia drewna i metalu. Przedstawiane jest zastosowanie podstaw analizy strukturalnej dla mechanizmu przeniesienia napędu, z przyjętymi schematami kinematycznymi.

Wymieniany jest szereg pojęć do omówienia w zakresie dalszej analizy strukturalnej. Dla przedstawionej maszyny wyodrębniono występujące mechanizmy krzywkowe i zidentyfikowano występujące pary kinematyczne i ich klasy. Omówiono występowanie i wykorzystanie więzów biernych oraz lokalnych stopni swobody. Przeprowadzane jest obliczanie liczby stopni ruchliwości dla działającej maszyny.

Często konstrukcje stanowisk starych, z lat ubiegłych są nie do pozyskania jako nowsze wersje. Część stanowisk można zastąpić jednak nowymi konstrukcjami.



Rysunek 22. Mechanizm wyrzynarki oscylacyjnej (a), model CAD (b), schemat (c)

Nowe laboratoria PKM i TMM oraz Mechatroniki, robotyki mobilnej i przemysłowej, zbudowano i wyposażono w ramach projektu pn.: „Przebudowa i wyposażenie budynku Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Informatyki Politechniki Częstochowskiej (segment F i G) przy ul. Dąbrowskiego 73 w Częstochowie”, współfinansowanego przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Infrastruktura i Środowisko, zakończonego w 2015 roku. Projekt był wykonany z wykorzystaniem uwag i zaleceń pracowników Katedry.

Pozyskano m.in. stanowisko do wyznaczania torów ruchu punktów członów mechanizmu czworoboku przegubowego. Może być wykorzystane do modelowania przez studentów przy różnych parametrach geometrii układu rzeczywistego. Może być wykorzystane do sprawdzania prac studentów realizowanych w formie graficznej, elektronicznej i obliczeniowej (rys. 23).



Rysunek 23. Stanowisko do wyznaczania torów ruchu par i punktów czworoboku przegubowego

Szereg nowych stanowisk laboratoryjnych pozyskano w ramach przetargów przeprowadzonych w projekcie, które dostarczyła firma GUNT Hamburg, Equipment for Engineering Education.

Przedstawiono wybrane stanowiska laboratoryjne, stanowiące część nowoczesnego wyposażenia wykorzystywanego w procesie dydaktycznym.

Należy do nich stanowisko do demonstracji procesu wyważania, typ TM 170 (rys. 24).



Rysunek 24. Stanowisko do wyważania, GUNT TM 170



Rysunek 25. Stanowisko do badania sił w silnikach tłokowych, GUNT TM 180

Jednostka stanowiska TM 170 może być używana do przedstawienia braku równowagi oraz procesu wyważania. Może pokazać różnicę pomiędzy brakiem wyważenia (wyrównoważenia) statycznego i dynamicznego.

Kolejne stanowisko do wykorzystania w dydaktyce to jednostka umożliwiającą badanie sił i momentów masy swobodnej silnika tłokowego (rys. 25). Cechami stanowiska TM 180 jest płynna regulacja kąta między korbami, symulacja silników jedno-, dwu- i czterocylindrowych. Dostarczone oprogramowanie umożliwia szczegółową ocenę sygnałów sił i momentów.



Rysunek 26. Stanowisko do określania sprawności przekładni, GUNT AT 200



Rysunek 27. Mechanizm równoległy CODIAN Robotics

Interesujące stanowisko to zespół części do określania sprawności przekładni, w składzie którego znajduje się jednostka AT 200 (rys. 26). Stanowisko to kompletny system testowy z jednostką napędową i hamulcową oraz dwoma różnymi biegami. Moc napędowa i hamująca są obliczane w celu określenia wydajności. Używane komponenty są powszechne w technologii napędowej, a zatem ściśle związane z praktyką techniczną.

Na wyposażeniu nowego laboratorium mechatroniki KMiPKM znajduje się m.in. stanowisko o budowie z zakresu mechanizmów równoległych, firmy CODIAN Robotics, typ D5 (rys. 27). Jest to mechanizm robotów przemysłowych typu *pick-and-place*, dostępny jako otwarta mechanika, zgodna z dowolną platformą sterowania maszyną.

Mechanizmy równoległe są wykorzystywane szeroko w robotyce i przemyśle. Programowanie ruchu mechanizmów równoległych wymaga omówienia w czasie zajęć dydaktycznych różnego rodzaju tematów związanych ze strukturą, budową i modelowaniem ich ruchu.

Wykorzystanie szeregu nowych stanowisk w dydaktyce wymaga opracowania dokładnych treści instrukcji ćwiczenia laboratoryjnego. Nowe instrukcje powinny zawierać dokładny opis przebiegu ćwiczenia i konfigurację danego stanowiska. Muszą zostać określone parametry wejściowe badania oraz generowane wyniki. Instrukcje powinny zawierać opracowane formularze sprawozdań wykonywanych przez studentów. Sprawozdania powinny zawierać przedstawienie uzyskanych wyników, przeprowadzone obliczenia, w tym analizę błędów i wyciągnięte wnioski z przebiegu całego ćwiczenia.

5. Wnioski i uwagi praktyczne

W prowadzonym procesie dydaktycznym w obszarze TMM, praktyka inżynierska wymaga opanowania podstaw teoretycznych w zakresie różnych przedmiotów nauczania oraz wykorzystanie uzyskanej wiedzy w sposób praktyczny.

Prowadzony przedmiot Teorii Mechanizmów i Maszyn i inne, jest jednym z ciekawszych przedmiotów, łączący zagadnienia z bardzo szerokiego spektrum wiedzy technicznej i nie tylko.

Prawidłowe i skuteczne prowadzenie zajęć w tych zakresach TMM wymaga przedstawienia wszystkich informacji teoretycznych, stanowiących podstawę analizy kinematycznej. Kładziony jest szczególny nacisk na praktyczne realizowanie wszystkich prac przez studentów.

Prowadzone są zajęcia wykładowe oraz ćwiczenia z przedmiotów, np. Teoria Maszyn i Mechanizmów, Techniki Modelowania Mechanizmów, Kinematyka i Dynamika Mechanizmów oraz Bionika mobilna. Prowadzone przedmioty powinny zawierać rozszerzenie o nowe pomysły, koncepcje i konstrukcje, przewidziane do realizacji w szerokim zakresie robotyki oraz innych zastosowań.

Wykorzystanie metod komputerowych oraz praktycznych w nauczaniu zagadnień z zakresu Teorii Mechanizmów i Maszyn jest konieczne i ułatwia zrozumienie przedstawianych tematów teoretycznych i praktycznych. Sprzyja to jednoczesnemu podnoszeniu umiejętności i zdobywaniu doświadczenia przez studentów w stosowanych metodach komputerowych, obliczeniowych i rysunkowych. W przypadku trudniejszych i bardziej czasochłonnych prac, tworzone są zespoły 2–3 osobowe.

Uzyskana wiedza będzie możliwa i przydatna do wykorzystania w dalszym toku studiów, w powiązaniu z innymi nauczanymi przedmiotami.

Wymagane jest od studentów opanowanie wiedzy na wyższym poziomie, wystarczającym do samodzielnej pracy. Wiedza i umiejętności zdobyte przez nich w początkowych semestrach nauczania z szeroko prowadzonych tematów, powinny zostać wykorzystane w dalszym toku studiów oraz ewentualnej, przyszłej pracy zawodowej związanej z ukończonym kierunkiem lub stopniem studiów przez absolwentów Politechniki Częstochowskiej.

Zagadnienia związane z prowadzonymi zajęciami dydaktycznymi z zakresu TMM obejmowały prace związane z modelowaniem struktury i zastosowaniem MES do układów rzeczywistych. Były to np.: winda załadownicza Hubfix, wahacz samochodowy FIAT Panda, podnośnik montażowy PBM 100 oraz struktury i model specjalnej maszyny do szycia.

Realizowane tematy były także związane z zajęciami prowadzonymi w zakresie entomologii i bioniki. Dotyczyły wykonania projektu i modelu napędu skrzydeł oraz składania i zginania skrzydeł obiektów typu entomopter.

Aktualnie zostały wydane dwa nowe tematy prac inżynierskich z tego zakresu, z przeznaczeniem do wykorzystania w budowie różnych modeli typu entomopter. Prace będą prowadzone pod kątem możliwości połączenia ich w jeden działający mechanizm napędu i ruchu skrzydeł lotnych modeli typu entomopter w skali „macro”, a następnie „micro”.

W procesie dydaktycznym z TMM realizowane są przez studentów tzw. tematy przewodnie. Zakres aktualnego tematu w semestrze jest przedstawiany na początku zajęć, a czas na jego realizację obejmuje cały semestr. Omawiane są także forma sprawozdania i sposób realizacji. W celu ułatwienia pracy studentom, podawane są przykłady z danego tematu.

Prace te są uzupełnieniem praktycznych zajęć dydaktycznych. Stanowią dodatkowy aspekt dydaktyczny – aktywizujący i wymagający od studentów kreatywności oraz umiejętności poszukiwania określonych informacji w internecie i spotykanych w życiu codziennym.

Przykładowe tematy obejmowały rozwiązania konstrukcji entomopterów, ornitopterów, maszyn do szycia, prostowodów, struktur czworoboku przegubowego stosowanych w praktyce, oraz szereg innych. Planowane są do realizacji nowe tematy, dotyczące np.: mechanizmów zamków, kłódek, zapadek, mechanizmów dziesiątkujących, kołowrotek wędkarskich, robotów medycznych, konstrukcji wkrętarek z podwójnymi przekładniami obiegowymi i innych układów rzeczywistych.

W zasobach internetu, m.in. w serwisie YouTube, można wyszukać oraz wykorzystać w procesie dydaktycznym szereg materiałów przedstawiających zagadnienia z zakresu mechaniki, teorii mechanizmów i maszyn oraz tematów pokrewnych. Są to animacje komputerowe oraz filmy przedstawiające układy rzeczywiste. Przykładem jest wiele animacji wyświetlanych po wpisaniu fraz np. „mech. principle”, „mech. mechanism” i innych.

Zamieszczane filmy i animacje komputerowe mogą być wykorzystane w procesie dydaktycznym, z podaniem ich źródła. Umożliwia to ich analizę, interpretację oraz omówienie sposobów wykonania i wykorzystania w praktyce. Są to środki, a zarazem narzędzia, do znacznie lepszego przedstawiania tematów z zakresu nowoczesnej mechaniki. Wymagane jest jednak ich uzupełnienie o podstawy teoretyczne w ramach procesu dydaktycznego.

Aktualnie prowadzone zajęcia dydaktyczne bazują na szerokiej wiedzy i wieloletnim doświadczeniu praktycznym wykładowcy przedmiotu. W dalszym ciągu dydaktycznie wykorzystywane są konstrukcje stanowisk laboratoryjnych uzyskane przez wcześniejszych pracowników Instytutu/Katedry PKM.

Zajęcia przygotowywane i prowadzone są przez autora w IMiPKM/KMiPKM PCz od roku 1998. Wykorzystano materiały dydaktyczne opracowane w latach 70. ubiegłego wieku i później, przekazane przez poprzedniego wykładowcę (dr inż. Jan Tabor). Materiały te zostały uzupełnione, rozszerzone i opracowane w formie elektronicznej i są dalej skutecznie wykorzystywane w procesie dydaktycznym.

Niedogodnością dla prawidłowego prowadzenia i utrzymania odpowiedniego poziomu zajęć dydaktycznych z zakresu TMM i przedmiotów pokrewnych może być brak kadry. Powodem jest niedobór młodych pracowników z odpowiednim przygotowaniem merytorycznym i praktycznym. Planowane jest przez władze Wydziału IM przekazanie zajęć z TMM poprzez indywidualne szkolenia i praktyki pracowników.

Problemy te wynikają z powszechnych trudności w szkolnictwie wyższym, związanych z małym zainteresowaniem młodych adeptów nauki i dydaktyki.

W procesie dydaktycznym szeroko wykorzystywany jest e-learning, który ułatwia prowadzenie procesu nauczania, przesyłanie i ocenę prac oraz umożliwia znaczne zwiększenie przekazywanej wiedzy i doświadczenia.

W związku z coraz szerszym wykorzystaniem sztucznej inteligencji (SI, ang. AI), interesującym kierunkiem może być także jej zastosowanie w dydaktyce TMM. Procesy tworzenia rysunków oraz plików obliczeniowych mogą wymagać skomplikowanych procedur. Nie znaleziono jednak dotąd odpowiednich opracowań w tym zakresie, które umożliwiłyby jej prawidłowe wykorzystanie.

Podziękowania

Autor pragnie podziękować recenzentom za trud włożony w recenzje.

Literatura

1. J.J. Artobolewski, *Teoria mechanizmów i maszyn*, Moskwa 1988.
2. J. Felis, H. Jaworowski, J. Cieřlik, *Teoria maszyn i mechanizmów, Analiza mechanizmów, cz. I*, Kraków 2008.
3. T. Geisler, *Zastosowanie metody graficznej i analitycznej do analizy kinematyki wybranych mechanizmów IV klasy*, Praca doktorska, Politechnika Częstochowska, 1997.
4. T. Geisler, *Observations and measurements of wing parameters of the selected beetle species and the design of a mechanism structure implementing a complex wing movement*, Int. J. of Applied Mechanics and Engineering, 2016, vol. 21, no. 4, pp. 837–847.
5. A. Gronowicz, S. Miller, W. Twaróg, *Teoria maszyn i mechanizmów, Zestaw problemów analizy i projektowania*, P. Wr., Wrocław 2000.
6. *Mathcad PLUS 5.0, Podręcznik użytkownika*, ABB Poland, Kraków 1994.
7. T. Młynarski, A. Listwan, E. Pazderski, *Teoria mechanizmów i maszyn, cz. 1, 3*, Politechnika Krakowska, Kraków 1997.
8. A. Morecki, J. Knapczyk, K. Kędzior, *Teoria mechanizmów i manipulatorów, Podstawy i przykłady zastosowań w praktyce*, WNT, Warszawa 2002.
9. A. Olędzki, *Podstawy Teorii Maszyn i Mechanizmów*, WNT, 1987.
10. B. Skalmierski, *Mechanika*, PWN, Warszawa 1994.
11. W. Sochacki, D. Cokus, *The new concept of power transmission to the entomopter wings*, Journal of Micro and Bio Robotics, vol. 16, pp. 225–235, 2020.
12. A. Sztwiertnia, *Zastosowanie metod numerycznych do analizy kinematyki wybranych mechanizmów IV klasy*, Praca dyplomowa, Politechnika Częstochowska, 2005.
13. *Materiały konferencyjne Ogólnopolskich i Międzynarodowych Konferencji Naukowo-Dydaktycznych Teorii Maszyn i Mechanizmów*, 1996–2016.