

## Tomasz BURATOWSKI

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA, WYDZIAŁ INŻYNIERII MECHANICZNEJ I ROBOTYKI, KATEDRA ROBOTYKI I DYNAMIKI MASZYN

# Wymagania stawiane zajęciom dydaktycznym wprowadzającym w zagadnienia robotyki

Dr inż. Tomasz BURATOWSKI

Jest pracownikiem w Katedrze Robotyki i Dynamiki Maszyn AGH. Jego zainteresowania skupiają się na mechatronice oraz wykorzystaniu sztucznej inteligencji. Jest autorem prac nad zastosowaniem powyższych technik do zadań związanych z modelowaniem, identyfikacją i sterowaniem mobilnymi robotami.

tburatow@agh.edu.pl



### Streszczenie

W artykule opisano sposób prowadzenia zajęć dydaktycznych wprowadzających w zagadnienia związane z robotyką, przedstawiono również przykładowe ćwiczenia prowadzone na zajęciach ze studentami.

Przedstawiono główne trendy oraz kierunki dalszego rozwoju w zakresie tej interdyscyplinarnej dziedziny nauki.

### Abstract

This article presents the methodology of classes, the aim of which is to introduce basic issues of robotics. Exemplary laboratory exercises have been presented. The main trends and directions of further research connected with the development of this interdisciplinary branch have been described.

## 1. Wstęp

Szybki postęp w technice, nowoczesne rozwiązania konstrukcyjne, wciąż rosnące możliwości obliczeniowe układów elektronicznych, sprawiają, iż jesteśmy świadkami szybkiego rozwoju stosunkowo młodych dziedzin nauki i techniki.

Jedną z takich dziedzin jest robotyka, która łączy różne tradycyjne gałęzie nauk technicznych. Zrozumienie złożoności budowy robotów i ich zastosowań wymaga znajomości zagadnień elektrycznych, mechanicznych, inżynierii przemysłowej, nauk komputerowych, ekonomii i matematyki. Nowe działy inżynierii, takie jak inżynieria wytwarzania, inżynieria zastosowań i inżynieria wiedzy, w znacznym stopniu dotyczą problemów z obszaru robotyki i szeroko pojętej automatyki przemysłowej. Dlatego też niezwykle istotny jest sposób kształcenia przyszłych inżynierów oraz ciągłe doskonalenie wiedzy przez pracowników naukowo-dydaktycznych odpowiedzialnych za edukację w tej dziedzinie. Pierwsze pojęcia związane z robotyką datują się na lata dwudzieste ubiegłego stulecia, kiedy to narodziło się pojęcie "robot". Początki rozwoju robotyki to okres powojenny. Przyjmuje się iż pierwszy prototyp robota został zainstalowany w fabryce General Motors w 1958 roku. Od tego czasu byliśmy świadkami rozwoju ważnej dziedziny nauki w technice.

Obecny stan wiedzy pozwala stwierdzić, iż światowe rozwiązania w tej dziedzinie są bardzo zaawansowane technologicznie, wiele ośrodków naukowych prowadzi bardzo ambitne projekty związane z różnymi rodzajami robotów. Wspomnieć tutaj należy między innymi o robotach humanoidalnych np. firmy HONDA czy TOYOTA. Innym spektakularnym wykorzystaniem robotów jest pomyslnie użycie ich w misjach na planetę Mars.

Nasuwa się więc pytanie jak przekazać studentom podstawowe wiadomości z zakresu robotyki tak aby zachęcić ich do kreatywnego, samodzielnego rozwiązywania bardzo często trudnych i złożonych problemów?

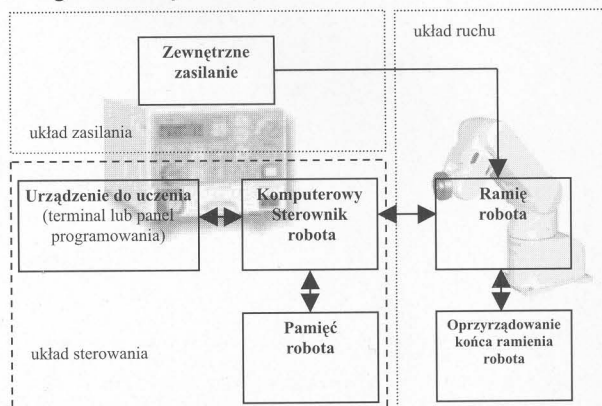
## 2. Zagadnienia poruszane na zajęciach z podstaw robotyki

Niezwykle istotny z punktu widzenia dydaktyki jest kontakt studentów z nowoczesnymi robotami już na samym początku kursu

z zakresu podstaw robotyki, gdyż daje to możliwość zapoznania się z podstawowymi zagadnieniami z tego zakresu. Jednym z podstawowych pytań jakie zadają studenci na początku tego kursu to: *czym różni się manipulator od robota?* Bardzo często w literaturze zamiennie używa się tych pojęć najprawdopodobniej dokonując pewnego skrótu myślowego. Otóż manipulator wchodzi w skład układu ruchu robota, natomiast robot składa się z trzech podstawowych układów:

- układu zasilania
- układu sterowania
- układu ruchu

Na rys.1. przedstawiono schemat blokowy robota z podziałem na poszczególne układy.



Rys. 1 Schemat blokowy robota

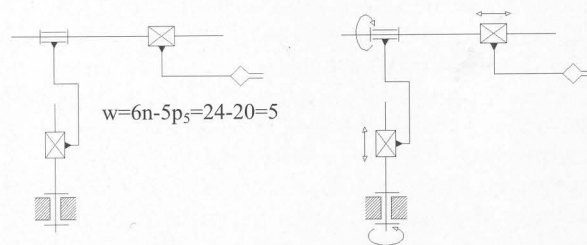
Aby uniknąć tego typu problemów podczas zajęć wprowadzających w zagadnienia robotyki niezwykle istotne jest podanie podstawowych definicji oraz określeń z tej dziedziny nauki łącząc je z fizyczną prezentacją tych układów.

W Katedrze Robotyki i Dynamiki Maszyn AGH zajęcia z podstaw robotyki prowadzone są z wykorzystaniem robotów przemysłowych. Należy tutaj wspomnieć między innymi roboty: AdeptOne firmy ADEPT oraz Melfa RV2AJ firmy MITSUBISHI.

Dzięki zajęciom laboratoryjnym studenci zostają zapoznani z nomenklaturą oraz stanem zaawansowania technologicznego robotów wykorzystywanych w szeroko rozumianym przemyśle.

Kolejnym etapem istotnym w edukacji studentów jest przedstawienie sposobu opisu układu ruchu robota (manipulatora lub pedipulatora). Należy tu wspomnieć o takich pojęciach jak: liczba stopni swobody, ruchliwość, manewrowość, dokładność oraz powtarzalność. Na tym etapie student powinien osiągnąć umiejętność przygotowania schematu manipulatora z uwzględnieniem ilości i rodzaju napędów jakie trzeba zastosować.

Na rys.2 przedstawiono przykładowy schemat dla prostego manipulatora o 4 stopniach swobody.

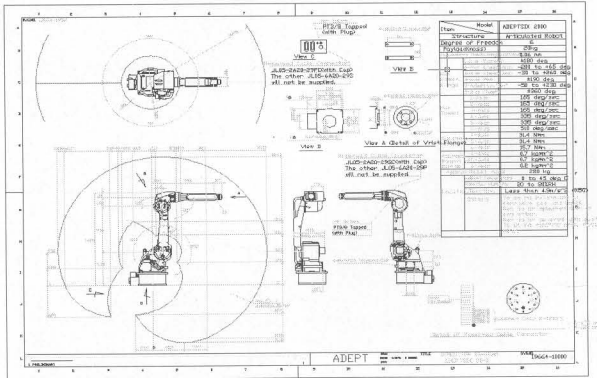


Rys. 2 Przykładowy schemat manipulatora

Następnym istotnym zagadnieniem z jakim powinni się zapoznać studenci, to poznanie klasyfikacji podstawowych struktur manipulatorów robotów głównie ze względu na własności geome-

tryczne, ale trzeba również wspomnieć o innych klasyfikacjach takich jak np. przeznaczenie robotów, rodzaj zastosowanych napędów, przy każdej z tych klasyfikacji należy przedstawić oraz omówić istniejące rozwiązania a także przedyskutować ze studentami wady i zalety analizowanej robotów.

Istotne jest również, aby podkreślić, iż roboty podczas projektowania i konstruowania podlegają takim samym zasadom, co urządzenia mechaniczne, tak więc należy wspomnieć o sposobie projektowania podstawowych zespołów ruchu np. ramion robota na podstawie obliczeń wytrzymałościowych oraz o sposobie prezentowania konstrukcji robota wykorzystując rysunek techniczny złożeniowy na którym zaznacza się oraz wymiaruje np. przestrzeń roboczą. Na rys.3 przedstawiono widok rysunku technicznego, przemyślowego robota AdeptSix firmy ADEPT.



Rys. 3 Widok rysunku technicznego złożeniowego robota AdeptSix firmy ADEPT

Poznanie i zrozumienie podstawowych struktur manipulatorów robotów oraz zasad konstruowania tych mechatronicznych urządzeń pozwoli studentom w późniejszym czasie samodzielnie projektować takie urządzenia.

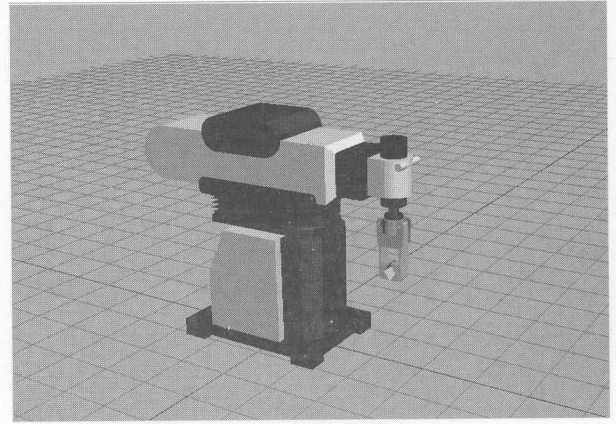
Bardzo ważne jest aby przedstawić studentom nowoczesne oprogramowanie i to z zakresu obliczeń symbolicznych, eksperymentów numerycznych, oprogramowania CAD, ale również oprogramowania do wizualizacji komputerowej oraz zaproponować studentom wykorzystanie takiego oprogramowania do obliczeń wykonywanych przez nich w ramach ćwiczeń i laboratoriów.

Taki sposób rozwiązywania problemów inżynierskich jest niezwykle istotny, gdyż przygotowuje studentów do przyszłej pracy w firmach w których obecnie dokumentacja techniczna urządzenia jest wykonywana w postaci elektronicznej.

Kolejnym zagadnieniem jakie należy poruszyć na wykładach i ćwiczeniach z podstaw robotyki to przedstawienie klasyfikacji i rozwiązań konstrukcyjnych narzędzi i chwytaków manipulatorów. Obecnie najczęściej stosowanymi chwytakami w manipulatorach są chwytaki siłowe, kształtowe, podciśnieniowe oraz magnetyczne.

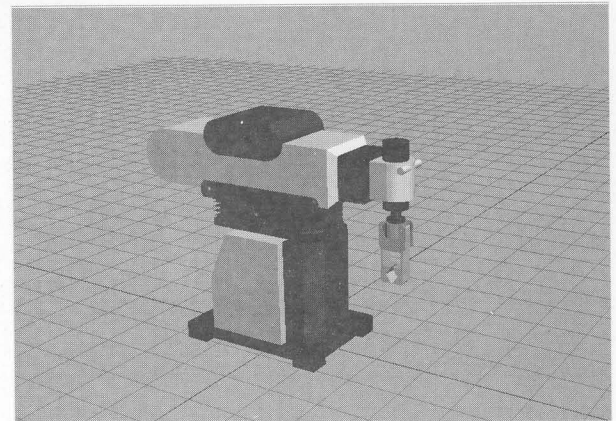
Istnieje wiele firm, które zajmują się projektowaniem i wytwarzaniem różnego rodzaju chwytaków np. jedną z takich firm jest FESTO u której można bezpłatnie zamówić katalogi z produktami oraz informacjami niezbędnymi do dobrania odpowiedniego typu chwytaka na podstawie informacji o procesie technologicznym. Z punktu widzenia dydaktyki wykorzystanie katalogów na laboratoriach z podstaw robotyki daje ogromne możliwości gdyż studenci po dokonaniu podstawowych obliczeń z dziedziny mechaniki mogą samodzielnie dobrać własny typ chwytaka przez co mają kontakt z rzeczywistymi rozwiązaniami istniejącymi w przemyśle.

Następnym zagadnieniem, jakie należy dokładnie przedstawić studentom to analiza kinematyki robotów. Istnieje co najmniej kilka sposobów opisu tego zagadnienia jednak na podstawie analizy literatury można stwierdzić iż często do opisu kinematyki w robotyce wykorzystuje się notację Denavit-Hartenberga, która bazuje na przekształceniach jednorodnych. Poniżej przedstawiono przykładowe ćwiczenie w którym należy wyznaczyć pozycję i orientację efektor (chwytaka) w przestrzeni mając narzuconą strukturę manipu-



Rys. 4 Manipulator o konfiguracji cylindrycznej tora o konfiguracji cylindrycznej [1,2,4] przedstawioną na rys.4.

Wykorzystując notację Denawita-Hartenberga przyjęto i związane układy współrzędnych z poszczególnymi członami manipulatora tak jak zostało to zilustrowane na rys.5.



Rys. 5 Trójwymiarowy widok manipulatora z układami współrzędnych

W tabeli 1. natomiast przedstawiono poszczególny opis wykonanych operacji gdzie  $\theta_i$  reprezentuje obrót względem osi z,  $d_i$  reprezentuje przesunięcie względem osi z, natomiast  $\alpha_i$  reprezentuje obrót względem osi x, a  $a_i$  reprezentuje przesunięcie względem osi x.

układ	$\theta_i$	$d_i$	$a_i$	$\alpha_i$
1	$\theta_{1,var}$	$d_1$	0	0
2	0	$d_{2,var}$	0	-90
3	0	$d_{3,var}$	0	-90
4	$\theta_{4,var}$	$d_4$	0	0

Tabela 1. Parametry kinematyczne

Wykorzystując oprogramowanie do obliczeń symbolicznych (np. program MAPLE) można w prosty sposób zapisać poszczególne obliczenia związane z przekształceniami symbolicznymi co przedstawiono w tabeli 2.

>	restart;
>	with(linalg):
>	Rot[z,theta[1]]:=matrix(4,4,[cos(theta[1]),-sin(theta[1]),0,0,sin(theta[1]),cos(theta[1]),0,0,0,0,1,0,0,0,1]);
>	Trans[z,d[1]]:=matrix(4,4,[1,0,0,0,0,1,0,0,0,0,1,d[1],0,0,0,1]);
>	A[1]:=multiply(Rot[z,theta[1]],Trans[z,d[1]]);
>	Trans[z,d[2]]:=matrix(4,4,[1,0,0,0,0,1,0,0,0,0,1,d[2],0,0,0,1]);
>	Rot[x,-90]:=matrix(4,4,[1,0,0,0,0,cos(-Pi/2),-sin(-Pi/2),0,0,sin(-Pi/2),cos(-Pi/2),0,0,0,1]);
>	A[2]:=multiply(Trans[z,d[2]],Rot[x,-90]);
>	Trans[z,d[3]]:=matrix(4,4,[1,0,0,0,0,1,0,0,0,0,1,d[3],0,0,0,1]);
>	A[3]:=multiply(Trans[z,d[3]],Rot[x,-90]);



>	Rot[z, theta[4]]:=matrix(4, 4, [cos(theta[4]), -sin(theta[4]), 0, 0, sin(theta[4]), cos(theta[4]), 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 1]);
>	Trans[z, d[4]]:=matrix(4, 4, [1, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 1, d[4], 0, 0, 0, 1]);
>	A[4]:=multiply(Rot[z, theta[4]], Trans[z, d[4]]);
>	T[4, 0]:=map(combine, multiply(A[1], A[2], A[3], A[4]));

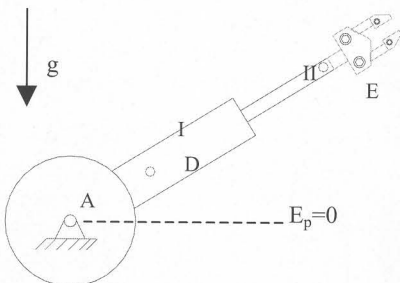
Tabela 2. Zapis funkcji w programie Maple™ dla analizowanego manipulatora z rys.4

W wyniku przeprowadzonych obliczeń otrzymano macierz przekształcenia jednorodnego, która opisuje położenie ostatniego układu (związanego z chwytakiem) względem bazowego układu  $x_0 y_0 z_0$  w postaci:

$$T_{4,0} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_4 - \theta_1) & -\sin(\theta_4 - \theta_1) & 0 & -d_3 \sin(\theta_1) \\ -\sin(\theta_4 - \theta_1) & -\cos(\theta_4 - \theta_1) & 0 & d_3 \cos(\theta_1) \\ 0 & 0 & -1 & d_1 + d_2 - d_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Dzięki takim ćwiczeniom studenci są w stanie dogłębnie przeanalizować problemy oraz samodzielnie wykonać eksperymenty numeryczne związane w wyznaczaniem położenia i orientacji manipulatora. Dodatkowo w zależności od ambicji studenta można wykorzystywać w ćwiczeniu modele robotów o różnym stopniu komplikacji oraz dokonywać wizualizacji rozwiązania. Należy również nadmienić, iż niektóre firmy udostępniają możliwość ściągnięcia przez internet gotowych modeli 3D swoich robotów.

W dalszej kolejności należy przedstawić zagadnienia związane z dynamiką. Studenci powinni być teoretycznie przygotowani do analizy dynamiki po odbyciu kursu mechaniki ogólnej, gdyż bardzo często w tej analizie wykorzystuje się równania Lagrange'a. Poniżej przedstawiono przykładowe ćwiczenie dla studentów. Należy wyznaczyć dynamiczne równania ruchu (równaniami Lagrange'a) [1,3,4] dla prostego manipulatora o 2 stopniach swobody (obrót pierwszego członu, przesunięcie drugiego członu) zilustrowanego na rys.6.



Rys. 6 Manipulator o dwóch stopniach swobody

Korzystając z tego samego oprogramowania do obliczeń symbolicznych co poprzednio (MAPLE) można zapisać poszczególne obliczenia związane z wyznaczeniem dynamicznych równań ruchu dla 2-członowego manipulatora w formie przedstawionej w tabeli 3.

Na podstawie powyższego zapisu otrzymano równania ruchu w postaci (2) umożliwiające dokonywanie różnych eksperymentów numerycznych podczas ćwiczeń z podstaw robotyki.

$$\begin{aligned} 2m_2\lambda_2\ddot{\lambda}_2\dot{\theta}_1 + (J_1 + J_2 + m_1l_1^2 + m_2\lambda_2^2)\ddot{\theta}_1 + (m_1l_1 + m_2\lambda_2)g \cos(\theta_1) &= \tau_1 \quad [Nm] \\ m_2\ddot{\lambda}_2 - m_2\lambda_2\dot{\theta}_1^2 + m_2g \sin(\theta_1) &= \tau_2 \quad [N] \end{aligned} \quad (2)$$

gdzie:  $m_{1,2}$  - masy poszczególnych członów robota  
 $J_{1,2}$  - momenty bezwładności poszczególnych członów  
 $l_1$  - długość I ramienia  
 $\theta_1$  - obrót I członu  
 $\lambda_2$  - przemieszczenie II członu.

Na podstawie modelowania prostych układów studenci poznają nowoczesny sposób prowadzenia obliczeń oraz zdobywają wiedzę

>	restart:
>	with(linalg):with(diffforms):
>	deform(theta[1]=scalar,d_theta1=scalar,d_lambda2=scalar,lambda[2]=scalar,J[1]=const,J[2]=const,m[1]=const,m[2]=const,l[1]=const,g=const):
>	normal:=d(theta[1])=d_theta1,d(lambda[2])=d_lambda2;
>	norma2:=d_theta1=d(theta[1]),d_lambda2=d(lambda[2]);
>	J[z1]:=J[1]+m[1]*l[1]^2;
>	E[1]:=combine(1/2*J[z1]*d(theta[1])^2,radical);
>	J[z2]:=J[2]+m[2]*lambda[2]^2;
>	E[2]:=combine(1/2*J[z2]*d(theta[1])^2+1/2*m[2]*d(lambda[2])^2,radical);
>	E:=E[1]+E[2];
>	V[1]:=m[1]*g*l[1]*sin(theta[1]);
>	V[2]:=m[2]*g*lambda[2]*sin(theta[1]);
>	V:=V[1]+V[2];
>	L:=subs(normal,E-V);
>	dL_d_theta1:=diff(L,theta[1]);
>	dL_d_lambda2:=subs(norma2,diff(L,lambda[2]));
>	dL_d_theta1:=diff(L,d_theta1);
>	dL_d_lambda2:=diff(L,d_lambda2);
>	d_dt_dL_d_theta1:=d(dL_d_theta1);
>	d_dt_dL_d_lambda2:=d(dL_d_lambda2);
>	r1:=subs(norma2,d_dt_dL_d_theta1-dL_d_theta1=tau[1]);
>	r2:=subs(norma2,d_dt_dL_d_lambda2-dL_d_lambda2=tau[2]);

Tabela 3. Zapis funkcji w programie Maple™ dla analizowanego manipulatora z rys.6 inżynierską z zakresu robotyki.

Należy zaznaczyć, iż oprócz poruszonych, niezwykle istotnych zagadnień wprowadzających w robotykę należy również przekazać studentom informacje o nowoczesnych rodzajach napędów, opisać budowę czujników i sensorów stosowanych w robotach oraz przedstawić podstawowe informacje z zakresu sterowania takimi urządzeniami.

Dodatkowo na wykładach z podstaw robotyki w Katedrze Robotyki i Dynamiki AGH przedstawia się prezentacje multimedialne z ciekawymi i innowacyjnymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi, co jest dodatkowym czynnikiem nabilutującym studentów do głębszego poznawania robotyki.

### 3. Podsumowanie

Z całą pewnością można stwierdzić, iż dydaktyka z dziedziny robotyki powinna być prowadzona przy użyciu nowoczesnego sprzętu mechatronicznego oraz oprogramowania inżynierskiego, dzięki takiej kombinacji studenci będą odpowiednio przygotowani oraz będą mogli skutecznie konkurować na rynku pracy.

Natomiast plan studiów powinien być tak skorelowany, aby studenci otrzymali przygotowanie merytoryczne z zakresu teorii sterowania, wytrzymałości materiałów, mechaniki ogólnej, a następnie wiedza przekazana im na zajęciach z podstaw robotyki przygotuje studentów do dalszego pogłębiania tej dziedziny nauki.

### 4. Literatura

- [1] BURATOWSKI T.: Podstawy robotyki, Wydawnictwo Katedry Robotyki i Dynamiki Maszyn, Kraków, 2004.
- [2] CRAIG J. J.: Wprowadzenie do robotyki, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1995.
- [3] MORECKI A., KNAPCZYK J.: Podstawy robotyki, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1994.
- [4] SPONG M. W., VIDYASAGAR M.: Dynamika i sterowanie robotów, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1997.

**Title:** Standard requirements in the design of the "Introduction to Robotics" classes.