

# Charakterystyki porównawcze nowych rozwiązań własnych chwytaków o różnym przeznaczeniu

Krzysztof Mianowski

W pracy omówiono kilka rozwiązań chwytaków własnej konstrukcji, przeznaczonych do różnych zadań manipulacyjnych. Chwytaaki zostały zaprojektowane i wykonane w celach badawczych, dotyczących m.in. zręcznej manipulacji z czuciem oraz manipulacji do celów usługowych. Konstrukcje powstały dla laboratorium robotyki w Instytucie Automatyki i Informatyki Stosowanej Politechniki Warszawskiej. W ramach projektów szczególną uwagę poświęcono kształtowaniu charakterystyk chwytaków w zakresie pewności działania, funkcjonalności i łatwości obsługi. Zadbano również o to, aby poszczególne konstrukcje chwytaków zapewniały korzystną zmienność charakterystyk sił wywieranych na obiekt, zależnych od wielkości rozwarcia chwytaka związanej z wymiarami obiektu manipulowanego.

**Słowa kluczowe:** chwytak robota, zręczna manipulacja z czuciem, charakterystyki dynamiczne chwytaka

Abby robot przemysłowy mógł manipulować obiektami, z reguły wyposażony jest w wymienne, specjalne chwytaki przeznaczone najczęściej do jednego typu zadań, które chwytają obiekty z użyciem podciśnienia, przez zacisk, obejmowanie kształtowe itp. Rozszerzenie zakresu prac obsługiwanych przez roboty o różne czynności typu usługowego wymaga wyposażenia robotów w chwytaki o szerszym przeznaczeniu, z możliwością dostosowywania ich funkcji do aktualnie podejmowanych zadań, nie zawsze wcześniej określonych czy ściśle zdeterminowanych. Dotyczy to np. mobilnych robotów interwencyjno-inspekcyjnych, które mają pracować w środowisku o nie w pełni znanych właściwościach. Roboty takie powinny z założenia charakteryzować się określonym poziomem adaptacyjności, co wymaga zastosowania szerokiego asortymentu sensorów, zbierających dane o otoczeniu, a jednocześnie zdolnych do ich interpretacji do celów sterowania. Dotyczy to również zadań z zakresu montażu, np. manipulacji dwuręcznej, która powierzona robotom, wymaga takiego dostosowania robota oraz jego środowiska, aby mógł zastąpić człowieka w wykonywaniu określonych czynności manualnych, realizując je szybciej, dokładniej i precyzyjniej. Takie są oczekiwania stawiane robotom [1].

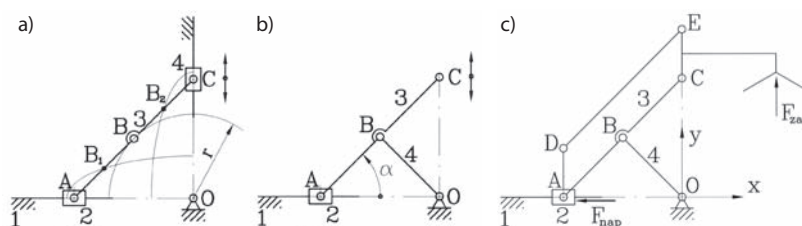
Człowiek, wykonując prace manualne, posługuje się rękami oraz różnego rodzaju narzędziami prostymi. Manipulacja dwuręczna wymaga koordynacji wzrokowo-ruchowej, a pewne typy prac są wykonywane w sposób intuicyjny, np. po krótkim treningu. Takie prace obsługiwane przez robota wymagają zastosowania oprzyrządowania, w tym chwytaków o specjalnej konstrukcji oraz odpowiedniej organizacji stanowiska roboczego [5, 6, 7]. Zadaniem chwytaka, po doprowadzeniu końcówki manipulatora robota do odpowiedniej pozycji, jest bezpieczne uchwycenie przedmiotu, utrzymanie go przez cały okres realizacji trajektorii i bezpieczne uwolnienie w miejscu przeznaczenia. Ważnym czynnikiem jest prawidłowe uchwycenie przedmiotu, często zależne od wielu czynników [3].

Realizację takich samych zadań kinematycznych można zapewnić z użyciem różnych rodzajów mechanizmów, takich jak mechanizmy krzywkowe, dźwigniowe, ciągnowe, zębate czy też kombinowane [4].

## Chwytak do manipulacji kostką Rubika

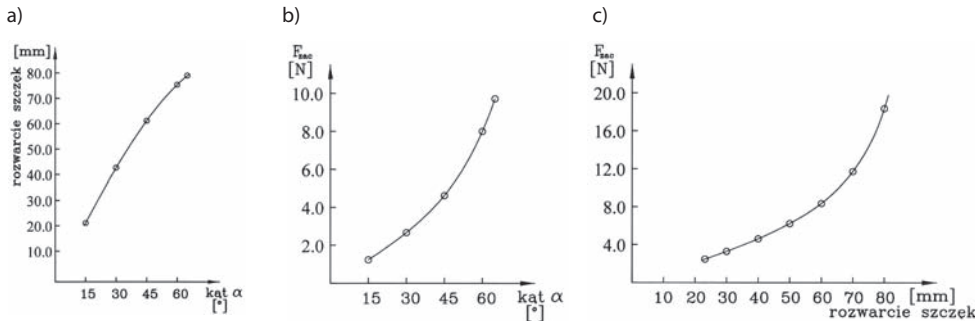
W rozwiązaniu konstrukcyjnym chwytaka zastosowano mechanizm zamykający [4], stosowany w konstrukcjach elipsografów. Na rys. 1c pokazano zasadę budowy mechanizmu ruchu pojedynczej szczęki chwytaka. W konstrukcji wykorzystano połączenie mechanizmu prostowodu z rys. 1b i płaskiego równoległowodu z parami obrotowymi.

Mechanizm elipsografu pokazany na rys. 1a składa się z dwóch suwaków 2 i 4 poruszających się po prowadnicach wzajemnie prostopadłych, których linie kierunków działania przechodzące przez osie A i C przecinają się w punkcie O. Suwaki są połączone ze sobą łącznikiem 3, którego długość AC (przeciwprostokątna AO i OC) jest równa sumie długości obu pólosi kreślonej elipsy. Na rys. 1a pokazano przykładowe czwarte części elipsy dla punktów kreślących  $B_1$ , B i  $B_2$ . Punkt B leży w połowie długości odcinka AC, więc zakreśla okrąg o środku w punkcie O. Jeśli w punkcie B z łącznikiem 3 połączy się obrotowo korbę o długości  $r = AB$ , zamocowaną obrotowo w punkcie O na podstawie, to można wyeliminować



**Rys. 1.** Zasada działania mechanizmu zamykania szczęki chwytaka: a) mechanizm elipsografu o prowadnicach prostopadłych, b) mechanizm prostowodu „tangensowego”, c) mechanizm równoległowodu prostowodowego wg b)

**Fig. 1.** The mechanism of the jaws closing of the gripper: a) elipsographic mechanism with perpendicular slides, b) straightline mechanism „tangensowego”, c) straightline parallelogram mechanism accordingly to b)



**Rys. 2.** Charakterystyki: a), b) kinematyczne i c) statyczna chwytaka  
**Fig. 2.** Basic characteristics of the gripper: a) b) kinematical, and c) static

suwaka na prowadnicy pionowej, przy czym punkt C będzie nadal realizował ruch po linii prostej pionowej (rys. 1b). Do tak przygotowanego prostowodu dołączono równoległobok płaski równoległoboczny  $AD = CE$  i  $DE = AC = 2r$  (rys. 1c). Napęd szczęki przesuwej się w kierunku pionowym ze stałą orientacją kątową, związanej z odcinkiem CE, jest realizowany przez poziomy przesuw suwaka 2.

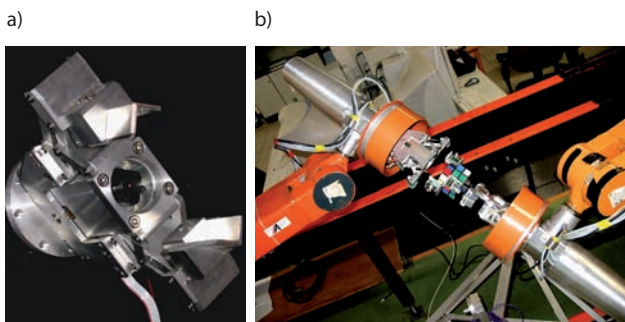
Uwzględniając właściwości układu napędowego oraz zakładając graniczne wymiary obiektów manipulowanych, opracowano charakterystyki kinematyczne i statyczne chwytaka (rys. 2).

Jak wynika z wykresu (rys. 2c), siła zacisku szczęki rośnie ze wzrostem wielkości rozwarcia chwytaka, co ma duże znaczenie praktyczne, gdyż, jak wiadomo, dla obiektów o regularnych kształtach masa rośnie z trzecią potęgą wymiarów liniowych.

Do napędu chwytaka zastosowano przekładnię śrubową oraz miniaturowe silniki z przekładniami zębatymi firmy MAXON. Przedstawione na rys. 2 charakterystyki graniczne uwzględniają właściwości całego układu napędowego [2].

Opracowany chwytak jest przeznaczony do manipulacji kostką Rubika z możliwością oglądu pola operacyjnego, co wymagało wmontowania do jego wnętrza w osi wzłużnej kamery CCD. Na rys. 3. pokazano widok z przodu prototypu chwytaka z wmontowaną do wnętrza kamerą pozwalającą na obserwację pola pracy na wprost.

Wykonano dwa prototypy chwytaków o nowej konstrukcji. Aby dwa roboty mogły manipulować kostką Rubika, zostały wyposażone w dodatkowe mechanizmy obrotu chwytaka o szóstym stopniu swobody względem osi prostopadłej do piątej osi robota IRp-6, również własnej konstrukcji. Układ napędowy obrotu chwytaka, umieszczono w ten sposób, żeby stanowił przeciwwa-



**Rys. 3.** Chwytak do manipulacji kostką Rubika: a) widok z przodu z wmontowaną kamerą, b) manipulacja kostką przez dwa roboty wyposażone w chwytaki z rys. a

**Fig. 3.** Gripper for the manipulation of Rubik cube: a) front view with mounted camera, b) cube manipulation performed by two robots with grippers from

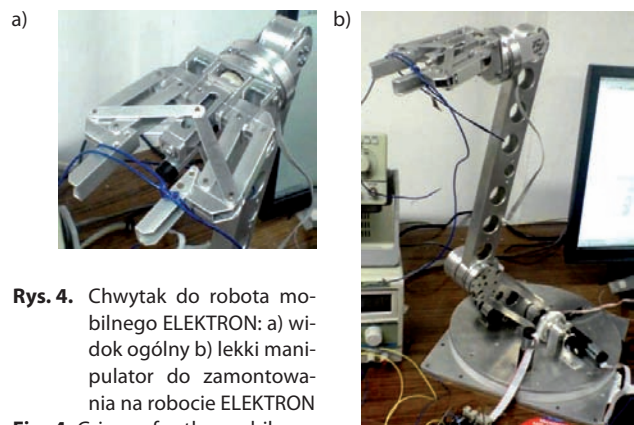
gę dla chwytaka. Między kołnierzem układu napędowego obrotu chwytaka a chwytak wbudowano czujnik siły o sześciu składowych. Badania wstępne wykazały prawidłowość przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych i poprawną pracę zarówno nowych układów mechanicznych i napędowych, jak i robotów we współpracy przy manipulowaniu kostką Rubika. Aktualnie roboty są intensywnie wykorzystywane w pracach nad projektem dotyczącym sterowania robotami usługowymi.

## Lekki chwytak do robota mobilnego ELEKTRON

W chwytaku do robota mobilnego ELEKTRON, który jest stosunkowo małą jednostką, najistotniejsze było utrzymanie niewielkiej masy, zapewnienie szybkiego mocowania/demontażu chwytaka oraz napędu elektrycznego z akumulatorów pokładowych.

W trakcie prac projektowych bardzo ważnym zadaniem było racjonalne rozmieszczenie poszczególnych elementów składowych i zminimalizowanie przestrzeni zajmowanej przez projektowany zespół. Widok ogólny chwytaka pokazano na rys. 4a. W rozwiązaniu zastosowano typowy dla chwytaków zaciskowych sposób prowadzenia szczęk, z zastosowaniem równoległoboków, oraz napęd elektryczny zrealizowany za pomocą miniaturowego silnika elektrycznego z przekładnią śrubową ulokowaną centralnie i symetrycznym przekazem napędu na mechanizmy szczęk. Zapewnia to wzajemną kompensację sił poprzecznych działających na szczękę przy zaciskaniu obiektu i optymalizuje konstrukcję. Do mocowania chwytaka w kiści robota zastosowano własnej konstrukcji szybkozłączę typu zabierakowego z tarczką obrotową, co pozwala na szybki montaż/demontaż chwytaka.

Projekt konstrukcji opracowano z wykorzystaniem programu ProEngineer. Należy podkreślić, że projektowanie z wykorzystaniem systemu 3D zapewniło możliwość jednoczesnego prowadzenia prac nad rozwojem koncepcji projektu oraz dokonywania na bieżąco niezbędnych analiz i obliczeń w zakresie wytrzymałości i dynamiki. Przed wszystkim już na etapie



**Rys. 4.** Chwytak do robota mobilnego ELEKTRON: a) widok ogólny b) lekki manipulator do zamontowania na robocie ELEKTRON

**Fig. 4.** Gripper for the mobile robot ELEKTRON: a) general view, b) lightweight manipulator for assembly on the robot ELEKTRON

opracowania projektu można było w sposób racjonalny rozłożyć poszczególne elementy składowe, z czym wiązała się minimalizacja objętości zajmowanej przez projektowany zespół. W szczególności silnik napędowy i jego dodatkowa przekładnia zdawcza oraz dodatkowe wyposażenie (mikrowyłączniki krańcowe i synchronizacyjne, okablowanie, łączówki elektryczne i układy elektroniczne) zostały bardzo estetycznie zintegrowane z konstrukcją chwytaka, tworząc kompaktową konstrukcję mechatroniczną.

Animacja współpracy poszczególnych podzespołów pozwoliła na optymalne wykorzystanie miejsca dla mechanizmów, a także na zintegrowanie wszystkich elementów składowych w jedną całość i umieszczenie ich w estetycznej obudowie. Niezależnie opracowano elementy wirtualnej rzeczywistości, w której pracuje projektowany zespół, umożliwiające przeprowadzenie wstępnej symulacji pracy całego zespołu we współpracy z robotem.

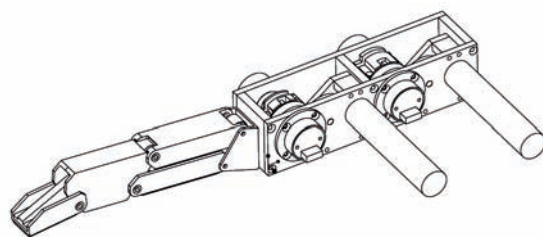
### Chwytnak wielopalczysty do zręcznej manipulacji z czuciem

Rozwój prac nad manipulacją dwuręczną oraz zręczną manipulacją z czuciem, z zastosowaniem pomiaru sił kontaktu, zrodził pomysł opracowania chwytaka podobnego do dłoni ludzkiej, wyposażonego w kilka palców. Koncept wstępną mechanizmu palca chwytaka wielopalczastego opracowano zgodnie z założeniem, że chwytnak będzie wykorzystywany do chwytania przedmiotów obłych o wielkości odpowiadającej przedmiotom manipulowanym przez człowieka średniej budowy. Masę tych przedmiotów oszacowano na 0,5 kg, wielkość – na obiekt mieszczący się w kuli (walcu) o średnicy do 80 mm.

Najkorzystniejszym rozwiązaniem mechanizmu pojedynczego palca okazał się mechanizm przegubowy o trzech stopniach swobody pozwalający na obejmowanie obiektu z trzech kierunków. Przyjęty schemat kinematyczny mechanizmu chwytaka pokazano na rys. 5a.

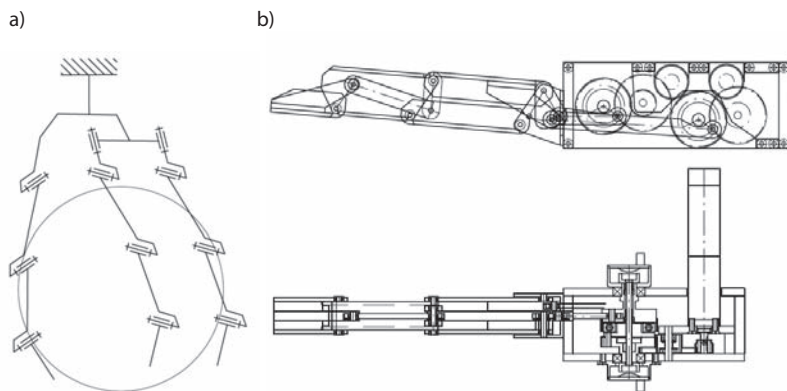
Dla takiego mechanizmu chwytania opracowano konstrukcję palca z podatnością i pomiarem sił kontaktu na palczkach. Projekt rozwiązania palca pokazano na rys. 5b. Napęd zrealizowano z zastosowaniem miniaturowego silnika z przekładnią firmy MAXON, z dodatkowym sprzęgłem podatnym, na któ-

rym jest mierzony moment obciążający z układu transmisji napędu na dany palczek. Palec składa się z trzech palczków połączonych szeregowo parami kinematycznymi piątej klasy. Każda z tych par ma jeden obrotowy stopień swobody, co dla pojedynczego palca daje po trzy stopnie swobody, jednak pierwszy palczek ma kształt równoległoboku zapewniającego stałą orientację palczka drugiego, co zmniejsza liczbę aktywnych stopni swobody o jeden i tym samym liczbę napędów. W rozwiązaniu chwytaka wprowadzono jeden palec podpierający (jak na rys. 5b) oraz dwa palce przeciwstawne typu kciuk z dodatkowym obrotem wzdłużnym palca w stanie wyprostowanym, jak pokazano schematycznie na rys. 5a. Koncept rozwiązania palca w postaci projektu 3D, opracowanego w systemie ProEngineer, pokazano na rys. 6.

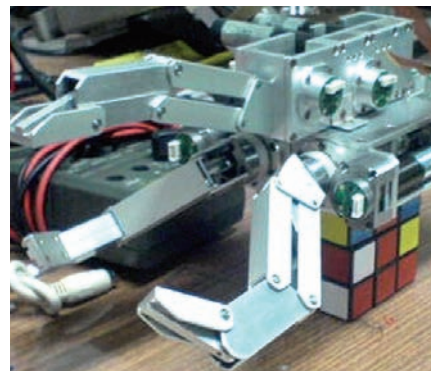


Rys. 6. Projekt 3D palca w systemie ProEngineer  
 Fig. 6. 3D design of the finger in ProEngineer system

Elementy palczków wykonano z typowych kształtowników z duraluminium PA38. Poszczególne palczki palców oraz elementy konstrukcyjne układu napędowego jak i transmisyjnego ułożyskowano tocznie z zastosowaniem miniaturowych łożysk kulkowych. W rozwiązaniu konstrukcyjnym chwytaka zastosowano mechanizmy transmisyjne ze sprzęgłami o specjalnej konstrukcji, zapewniającymi z jednej strony podatność zaciśku szczęk, zaś z drugiej – bezpośredni pomiar sił oddziaływania szczęk na obiekt manipulacji. Do pomiaru kąta położenia palczków oraz momentu w układzie sprzęgła podatnego zastosowano bezstykowe miniaturowe czujniki magnetyczne obrotu. Należy podkreślić, że uzyskano bardzo wysoką sprawność przeniesienia napędu zarówno od silników na szczęki, jak i oddziaływania momentu zwrotnego na układy pomiarowe sił/momentów. Wstępnie zmontowany prototyp chwytaka przygotowany do badań stanowiskowych pokazano na rys. 7.



Rys. 5. Koncept chwytania wielopalczastego: a) schemat kinematyczny chwytaka, b) mechanizm palca z napędem, podatnością i pomiarem sił palczków  
 Fig. 5. General concept of multifingered gripper: a) kinematic diagram of the gripper, b) mechanism of the finger with driving system, elasticity and the measurement of the phalanges force



Rys. 7. Chwytnak trójpalczysty – widok ogólny  
 Fig. 7. General view of the threefingered gripper

## Podstawowe charakterystyki chwytaków

W tab. 1 zamieszczono podstawowe parametry charakterystyk funkcjonalnych opisanych wcześniej chwytaków. Zakres udźwigu zawiera się w przedziale od 3 N do 10 N, z odpowiednio dobranymi siłami chwytu. Czasy operowania chwytaków do rozwiązań stacjonarnych są krótkie, natomiast w chwytaku robota ELEKTRON czas zamknięcia jest krótszy ze względu na minimalizację mocy napędu. Maksymalne wymiary obiektów dla chwytaków 1 i 3 są na poziomie 100–120 mm, zaś dla chwytaka 2–65 mm. Chwytraki 1 i 3 są typu obejmującego kształtowego, przy czym chwytak 3 ma możliwość dopasowania kształtu z jednoczesną podatnością palców.

**Tab. 1.** Podstawowe charakterystyki funkcjonalne opracowanych chwytaków: 1 – chwytak do manipulacji kostką Rubika, 2 – chwytak do robota mobilnego ELEKTRON, 3 – chwytak wielopalczasty

**Tab. 1.** Basic functional characteristics of designed grippers: 1 – gripper for the manipulation of Rubik cube, 2 – gripper for mobile robot ELEKTRON, 3 – multifingered gripper

Chwytak	1	2	3
Udźwig (N)	10	3	5
Siła chwytu (N)	50	10	14
Czas uchwycenia (s)	0,3	0,8	0,3
Czas uwolnienia (s)	0,2	0,3	0,2
Maks. wymiar obiektu (mm)	100	65	120
Rodzaj chwytu	Obejmujący kształtowy	zaciskowy	obejmujący
Napięcie zasilania (V)	12	12	12

## Podsumowanie i wnioski

W artykule przedstawiono charakterystyki funkcjonalne trzech różnych chwytaków własnej konstrukcji: chwytaków przeznaczonych do manipulacji dwuręcznej kostką Rubika, małego lekkiego chwytaka do robota mobilnego i chwytaka wielopalczastego do manipulacji z czuciem. Projekty chwytaków opracowano w systemie projektowym 3D – ProEngineer, co pozwoliło na wstępne ukształtowanie charakterystyk funkcjonalnych już na etapie projektu. Już na etapie opracowania projektu można było najbardziej racjonalnie rozmieścić poszczególne elementy składowe, tworząc kompaktowe konstrukcje mechatroniczne.

Animacja współpracy poszczególnych podzespołów pozwoliła na optymalne wykorzystanie miejsca dla mechanizmów, a także zintegrowanie wszystkich elementów składowych w jedną całość i umieszczenie ich w estetycznej obudowie.

Praca powstała w ramach grantu MNiI Nr NN 514128733 „Problemy aktywnego czucia, interpretacji informacji sensorycznej i manipulacji w robotach usługowych”, kierowanego przez prof. C. Zielińskiego z Instytutu Automatyki i Informatyki Stosowanej Politechniki Warszawskiej.

## Bibliografia

1. Berns K., Asfour T., Dillmann R.: *ARMAR – An Anthropomorphic Arm for Humanoid Robot*, Proc. Int. Conf. on Robotics and Automation, An Arbor Mich. 1999, pp. 702-707.
2. Kato I.: *Development of WASEDA Robot – The Study of Bio-mechanisms at Kato Laboratory*, 2<sup>nd</sup> edition, 1987.

3. Mianowski K., Nazarczuk K., Słomkowski T.: *Dynamic model for the selection of servomotors in serial-parallel manipulator*, Int. Conf. CIM, Zeszyty Naukowe Polit. Śląskiej, seria Mechanika, z. 108, str. 261-268, Gliwice, 1992.
4. Mianowski K.: *Analiza właściwości chwytaka specjalnego przeznaczanego dla robota usługowego*, mat. Kraj. Konf. TMM, Zielona Góra 2006, str. 185-190.
5. Morecki A.: *Podstawy robotyki, teoria i elementy manipulatorów i robotów*, WNT Warszawa 1999, Wyd. III.
6. Olędzki A.: *Podstawy teorii maszyn i mechanizmów*, WNT Warszawa, 1987.
7. Szykiewicz W.: *Planowanie manipulacji dwuręcznej*, w: *Postępy robotyki, Sterowanie z percepcją otoczenia*, pod red. K. Tchonja, WKŁ, Warszawa 2005, str. 187-196.
8. Zieliński C., Szykiewicz W., Mianowski K., Nazarczuk K.: *Mechatronic design of open-structure multi-robot controllers*, *Mechatronics*, 11(8), 2001, s. 987-1000.
9. Zieliński C., Szykiewicz W., Mianowski K., Rydzewski A., Winiarski T.: *Efektory robota usługowego do dwuręcznej manipulacji z czuciem*, Krajowa Konferencja Robotyki 2006.

## Comparison of basic characteristics of a number of new solutions of grippers for different applications

A number of grippers intended to various manipulation tasks are described in the paper. There are designed and built for research investigations of smart manipulation with “force feeling” and for service applications. Basic aims of described solutions are good characteristics of certainty of manipulation, functionality and eases to service. Besides of that each solution assure good characteristic of force exerted to an object dependently of the dimension of manipulating object.

**Keywords:** gripper of robot, smart manipulation with force-feeling, dynamic characteristics of gripper

**dr inż. Krzysztof Mianowski** jest adiunktem i nauczycielem akademickim w Zakładzie Teorii Maszyn i Robotów w Instytucie Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej na Wydziale Mechanicznym Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej.

Jest wynalazcą i konstruktorem wielu nowych rozwiązań manipulatorów robotów do badań laboratoryjnych, jak: robota RNT (Robota Nowego Typu) o szeregowo równoległej strukturze ramienia i o dużej sztywności opracowanego we współpracy z dr inż. Kazimierzem Nazarczkiem, robota POLYCRANK – szybkiego robota o napędzie bezpośrednim i nieograniczonych obrotach w przegubach rozsprężonego dynamicznie opracowanego we współpracy z dr inż. Kazimierzem Nazarczkiem, lekkiego manipulatora o konstrukcji kompozytowej dla robota wspinającego Robug III opracowanego we współpracy z prof. Edwardem Jezerskim z Politechniki Łódzkiej, grupy manipulatorów równoległych o sześciu stopniach swobody i rozsprężonej kinematyce – POLMAN, Platformy Stewarta o uproszczonej kinematyce do pomiarów kalibracyjnych, małego manipulatora do montażu na platformach mobilnych, robota Robin Heart-2 do zastosowań kardiochirurgicznych opracowanego i wykonanego we współpracy z Fundacją Rozwoju Kardiochirurgii w Zabrze i wielu innych.

e-mail: kmianowski@meil.pw.edu.pl

