

Wybrane zagadnienia dotyczące stanu robotyki medycznej w Polsce

KRZYSZTOF MIANOWSKI

**Instytut Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej, Politechnika Warszawska
ul. Nowowiejska 24, 00-665 Warszawa,
e-mail: kmianowski@meil.pw.edu.pl**

W polskiej literaturze fachowej pierwsza wzmianka o wykorzystaniu robotów do celów medycznych pojawiła się w roku 1999, w podręczniku akademickim napisanym pod redakcją prof. Adama Moreckiego - poz. [1]. W rozdziale poświęconym manipulatorom medycznym pisał on: „W ostatnich latach notuje się coraz szersze wykorzystanie robotów w medycynie (praktyce klinicznej). Ich stosowanie usprawnia pracę lekarza oraz zmniejsza nakłady”. W pozycji tej roboty



Rys. 1. Nowoczesny oprzęd do operacji małoinwazyjnych:
a) zbiór narzędzi, trokary, port kamery, elastyczne przewody pneumatyczne i do podłączenia kamery,
b) elastyczny monitor ciekłokrystaliczny, kamera endoskopowa obsługiwana ręcznie, narzędzia laparoskopowe napędzane ręcznie.

medyczne zostały podzielone na asystujące przy zabiegach chirurgicznych, roboty do obsługi szpitalnej i do rehabilitacji. Szczególną uwagę zwrócono na rolę obrazowania w technikach medycznych do celów diagnostyki z zastosowaniem tomografii komputerowej i rezonansu magnetycznego oraz na planowanie przedoperacyjne, przebieg interwencji wspomaganą robotem i rolę sprzężenia zwrotnego oraz powtórniego planowania z udziałem techniki komputerowej.

Już wtedy uznano jako ważne wykorzystanie Internetu do celów komunikacji i sterowania robotów medycznych w różnych miejscach na świecie.

Wspomniano też o możliwości wykorzystania mikrorobotów do diagnostyki, operacji i innych medycznych. Warto dodać, że w zespole biomechaniki technicznej ITLiMS Politechniki Warszawskiej, kierowanym przez prof. A. Moreckiego problematyka robotów rehabilitacyjnych była podejmowana już w latach siedemdziesiątych XX wieku, gdy opracowano tzw. „sztuczną rękę warszawską”. Prototyp tego urządzenia był napędzany w niekonwencjonalny sposób z zastosowaniem sztucznych mięśni pneumatycznych i sterowany analogowo w układzie „master-slave” z wykorzystaniem potencjałów elektrycznych mięśni człowieka.



TECHNIKA LAPAROSKOPOWA JAKO TECHNIKA PREKURSORSKA DLA ROBOTÓW CHIRURGICZNYCH

Aktualnie nowoczesne instrumentarium do prowadzenia operacji chirurgicznych narządów wewnętrznych, jak pokazano na rys. 1a, z reguły zawiera zbiór narzędzi laparoskopowych obsługiwanych ręcznie, insuflator, tj. zautomatyzowany system nadmuchu gazu do wytworzenia pola operacyjnego z użyciem tzw. igły Veressa, kamerę endoskopową wysokiej rozdzielczości z przekazem obrazu na odpowiedni monitor, zbiór trokarów i inne. Jak pokazano na rys. 2 lekarz-operator trzyma w rękach uchwyty narzędzi

wprowadzonych przez trokary do jamy brzusznej, pielęgniarka-instrumentariuszka trzyma w ręku kamerę endoskopową i zgodnie z instrukcjami lekarza ustawia ją w odpowiedni sposób, lekarz obserwując ruchy narzędzi na ekranie prowadzi operację zgodnie z wcześniej wyuczonymi procedurami. W szczególności trzymanie kamery jest zadaniem trudnym i wymagającym, gdyż przy pracy w pozycji stojącej i braku oparcia dla dłoni ręce szybko się męczą i obraz na ekranie zaczyna drgać, często zmieniając też orientację. Niezależnie od tego ręczna praca narzędziami laparoskopowymi wymaga odpowiedniego treningu i praktyki oraz dużej koncentracji i skupienia, gdyż zakresy realizowanych ruchów narzędzia są przekalowywane w stosunku do ruchów ręki, rzeczywiste ruchy w górę/dół i prawo/lewo są realizowane na kierunkach przeciwnych i każdy fałszywy ruch jest wiernie odtwarzany przez narzędzie. W takiej sytuacji korzystnym jest zastąpienie nawet tej bardzo nowoczesnej techniki operacji jeszcze bardziej wyszukany



zastosowanymi technikami z zastosowaniem robotów medycznych, w tym z zastosowaniem robotów chirurgicznych.

Rys. 2. Operacja z zastosowaniem robota AESOP do operacji małoinwazyjnych narzędziami laparoskopowymi.

ROBOTYKA MEDYCZNA W POLSCE

W Polsce pionierem zastosowania robotów w chirurgii małoinwazyjnej jest prof. Andrzej Bochenek [2]. Od 1988 roku prowadził on I Klinikę Kardiochirurgii Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach Ochojcu. W roku 2001 do kliniki tej został sprowadzony ze Stanów Zjednoczonych pierwszy robot-asystent AESOP (Automated Endoscopic System for Optimal Positioning), służący do utrzymywania kamery endoskopowej i wspomaganie operacji małoinwazyjnych.

Był to pierwszy w Europie wschodniej robot medyczny, który służył jako automatyczny asystent m.in. przy operacjach pomostowania naczyń wieńcowych (by-passów). W okresie od 2001 roku prof. A. Bochenek wykonał kilkaset operacji robotem AESOP. Robot taki spełnia rolę mechanicznego asystenta, utrzymującego i poruszającego kamerą endoskopową wprowadzoną do wnętrza ciała człowieka. Robot taki jest dokładniejszy i precyzyjniejszy niż człowiek-asystent, nie ma mowy o zmęczeniu i przede wszystkim reaguje bezbłędnie na instrukcje i polecenia wydawane głosem przez chirurga. Instrukcje te są bardzo proste - „w prawo, w lewo, w przód, w tył, w dół, w górę” – to zbiór podstawo-

wych komend, na które reaguje system automatycznego sterowania ramieniem robota. Jego zadaniem jest stabilne trzymanie i prowadzenie zgodnie z poleceniami operatora kamery endoskopowej służącej do obserwacji wnętrza ciała pacjenta. Komendy głosowe wydawane robotowi muszą być wcześniej nagrane na indywidualnej, osobistej karcie magnetycznej chirurga – stanowi ona podstawowy element indywidualnego rozpoznawania głosu konkretnego lekarza-operatora, jeśli w sali operacyjnej pojawiają się inne głosy, to dzięki takiej organizacji odbioru sygnałów dźwiękowych z otoczenia robot innych głosów „nie słyszy”. Po wczytaniu takiej karty do systemu sterowania robotem staje się on posłuszny tylko komendom głosowym wydawanym przez konkretnego lekarza-operatora. Robot nie zastępuje lekarza, jest tylko dokładnym i pewnym wykonawcą jego poleceń. Precyzja maszyny niweluje niedoskonałości organizmu człowieka - robotowi automatyczna „ręka” nie drgnie nawet przez wiele godzin w trakcie operacji. AESOP wykorzystywano w Katowicach Ochojcu do przeprowadzania małoinwazyjnych operacji serca oraz operacji innych narządów wewnętrznych. Należy zaznaczyć, że nowoczesna kardiochirurgia stara się minimalizować uraz związany z operacjami narządów wewnętrznych, w tym podczas zabiegów na sercu. Dzięki zastosowaniu robota operacje takie mogą być prowadzone bez zatrzymywania akcji serca i bez stosowania krążenia pozaustrojowego. Zastosowanie robota operującego narzędziami typu laparoskopowego pozwala na prowadzenie operacji we wnętrzu ciała przez kilka niewielkich nacięć w powłokach zewnętrznych. Mniejszy uraz to szybsza rehabilitacja, a więc mniejsze koszty leczenia. Należy jednak pamiętać, że „małe cięcia” to dla chirurga utrudniony dostęp do pola operacyjnego i znacznie trudniejsze warunki do wykonania precyzyjnych zespoleń. W tej sytuacji robot stał się nieodzownym narzędziem wspomagającym pracę lekarza-operatora. Miniaturowe narzędzie o średnicy 4-8 mm umocowane w odpowiednim przegubie na cienkim długim wysięgniku i wprowadzone do wnętrza ciała, napędzane zdalnie przez układ elektro-mechaniczny sterowany elektronicznie, dokładnie naśladuje i odtwarza ruchy ręki chirurga-operatora. Może ono operować w niewielkiej przestrzeni pomiędzy organami wewnętrznymi wytworzonej przez wpompowany do tego obszaru gaz (dwutlenek węgla) pod niewielkim ciśnieniem. Ruchy narzędzia są przekalowanymi ruchami ręki operatora, przesunięcie ręki chirurga o kilka cm powoduje wielokrotnie mniejszy ruch miniaturowego narzędzia na dystansie ok. od ułamka do kilku mm. W roku 2002 klinika w Katowicach Ochojcu wypożyczyła do celów badawczych na okres ok. 3 miesięcy robota ZEUS od firmy Computer Motion w Kalifornii. Inicjatorem badań w zakresie wykorzystania robota w operacjach na sercu był prof. A. Bochenek. Robot ZEUS w tym czasie był najbardziej rozwiniętym tech-

nologicznie robotem operacyjnym. Rok wcześniej robot taki uczestniczył w „operacji Lindbergh”, tj. operacji chirurgicznej przez Ocean Atlantycki. Dotyczyła ona resekcji woreczka żółciowego u pacjentki w klinice w Strasburgu, podczas gdy lekarz-operator obsługiwał konsolę operatorską znajdującą się w jednym ze szpitali w Nowym Yorku.

Zeus pozwalał prowadzić operacje interwencyjne w sposób nie wymagający bezpośredniej obecności lekarza-operatora przy stole operacyjnym. Operacja na sercu z jego zastosowaniem jest możliwa bez rozcinania klatki piersiowej pacjenta. Operacja taka



Rys. 3. Elementy zrobotyzowanych stanowisk operacyjnych FRK Zabrze: Robot Robin Heart Vision (u góry), zrobotyzowane narzędzie do obsługi ręcznej lub obsługi przez robota (z lewej)

wymaga jedynie wykonania trzech pięciomilimetrowych nacięć w powłokach ciała, w których montuje się trokary (porty z wentylami zabezpieczającymi wyciek gazu) do wprowadzania narzędzi robota. Narzędzia są typu laparoskopowego. Chirurg w trakcie operacji siedzi wygodnie w fotelu przed sterowniczą konsolą operacyjną, na uszach ma założone słuchawki z mikrofonem, a na oczach okulary polaryzacyjne. Okulary pozwalają na selektywną obserwację obu oczami dwóch obrazów pola operacyjnego z dwóch kamer endoskopowych o rozsuniętych względem siebie układach optycznych, co stwarza wrażenie widzenia trójwymiarowego. Lekarz-operator wydaje polecenia dla ramienia robota trzymającego kamerę endowizyjną, robot dokładnie reaguje na te polecenia kierując kamerę w interesujący obszar pola operacyjnego.

Sterując manetkami podobnymi do myszy komputerowych lekarz uruchamia dwa miniaturowe narzędzia do prowadzenia operacji. W ten sposób można przeprowadzać skomplikowane operacje serca bez rozcinania klatki piersiowej pacjentów. To bardzo precyzyjne narzędzie obwarowane szeregiem zabezpieczeń elektronicznych, poprawiające precyzję wykonania operacji – komentował pracę robotem profesor A. Bochenek w 2002 roku.

W I Klinice Kardiologii, do 2010 roku zoperowano ponad 20.000 chorych. Prof. Andrzej Bochenek wyszkolił 13 specjalistów w zakresie kardiologii i 13 specjalistów chirurgii ogólnej, stopień doktora nauk medycznych uzyskało 12 lekarzy, a 4 lekarzy uzyskało tytuł doktora habilitowanego. Klinika jest znana z dużego doświadczenia w chirurgicznym leczeniu choroby wieńcowej, operacji małoinwazyjnych choroby wieńcowej z użyciem endoskopii (MID-CAB) i operacji endowizyjnych zastawki mitralnej. W Klinice wykonuje się operacje wieńcowe i zastawkowe u chorych z zaawansowaną niewydolnością serca. Dzięki prowadzeniu programów naukowych Klinika wprowadza najnowsze osiągnięcia chirurgii serca np. małoinwazyjne i przeszłone implantacje zastawki aortalnej, leczenie operacyjne zaburzeń rytmu serca oraz naprawy zastawki dwudzielnej metodą małoinwazyjną.

ROBOTY CHIRURGICZNE FUNDACJI ROZWOJU KARDIOCHIRURGII

Projekt polskiego robota kardiologicznego został zapoczątkowany w Fundacji Rozwoju Kardiologii w 2000 roku w ramach projektu badawczego Komitetu Badań Naukowych.

Inicjatorem i koordynatorem projektu robota był dr Zbigniew Nawrat. Uwiarygodnił go prof Zbigniew Religa, szef pierwszego projektu i znany ze swojej pasji do innowacji technicznych znakomity kardiolog. Do dzisiaj zabrzański zespół FRK pełni rolę dominującą w dziedzinie robotyki medycznej w Polsce.

W projekcie poza zespołem z FRK kierowanym przez dr Z. Nawrata, brały udział zespoły dr K. Mianowskiego z ITLiMS z Politechniki Warszawskiej i prof. L. Podśędkowski z ITiBM z Politechniki Łódzkiej. W rezultacie powstało kilka rozwiązań prototypowych robotów chirurgicznych, jak Robin Heart 0, Robin Heart 1, Robin Heart 2, których rozwiązania stanowiły sprawdzian założeń wyjściowych, pozwoliły na dopracowanie założeń ogólnych dla kolejnych wersji i doprowadziły do wykonania dwóch rzeczywistych operacji na zwierzętach. Rozwiązania te charakteryzują się tzw. stałopunktowością kinematyczną, ich kinematyka jest opisana dokładnymi zależnościami manipulatora kulistego co pozwala na intuicyjne sterowanie w układzie master-slave. Manipulatory dysponują trzema stopniami swobody, montowane na nich narzędzia typu laparoskopowego mają od dwóch do czterech stopni swobody.

WDROŻONY W POLSCE SYSTEM OPERACYJNY DAVINCI

W roku 2008 prof. Wojciech Witkiewicz – rys. 4, dla Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Wojewódzkiego Szpitala Specjalistycznego we Wrocławiu ze środ-

ków Funduszu Nauki i Technologii Polskiej rozpoczął zabiegi zakupu pierwszego robota chirurgicznego da Vinci.

Miało to być wydarzenie bezprecedensowe w skali kraju, stanowiące pierwszy krok dla rozwoju chirurgii robotowej w Polsce i stawiające Polskę w gronie najbardziej rozwiniętych medycznie krajów świata. Pierwszy w Polsce robot chirurgiczny da Vinci rozpoczął pracę we wrocławskim Wojewódzkim Szpitalu Specjalistycznym w grudniu 2010 r, wtedy też odbyła się pierwsza operacja z jego wykorzystaniem, która zakończyła się sukcesem. Pacjentem był 71-letni mężczyzna chory na raka jelita grubego. W kolejnych miesiącach przeprowadzono m.in. operację histerektomii (usunięcie macicy). Można powiedzieć, że dzięki temu polska chirurgia nadążyła za najnowszymi osiągnięciami światowymi w zakresie użytkowania nowoczesnego sprzętu medycznego.



Rys. 4a. Operacja z wykorzystaniem robota daVinci: prof. Wojciech Witkiewicz przy konsoli operatorskiej.



Rys. 4b. Stanowisko operacyjne z robotem daVinci.

Zdaniem prof. Witkiewicza robot da Vinci stwarza możliwość leczenia chorych z wykorzystaniem najnowszych osiągnięć chirurgii małoinwazyjnej. Technika ta może być stosowana w poprawie metod leczenia chorób nowotworowych, np. nowotworu odbytnicy, jelita grubego, prostaty, macicy z przydatkami, nerek, a ponadto stwarza szansę kształcenia chirurgów w tym zakresie w kraju, czego dotychczas nie było.

Zastosowanie robota da Vinci zrewolucjonizowało współczesne zabiegi z dziedziny chirurgii ogól-

nej, urologii, ginekologii oraz kardiologii. Robot z powodzeniem jest stosowany w diagnostyce i terapii chorób prostaty (gruczołu krokowego) oraz w zabiegach histerektomii (usunięcia macicy). Poprawa wyników klinicznych pacjentów wiąże się także z zastosowaniem robotyki w dziedzinie kardiologii, w tym m.in. w zakresie zabiegów naprawy zastawki mitralnej czy operacjach by-passów. We wrocławskim Wojewódzkim Szpitalu Specjalistycznym we Wrocławiu Ośrodku Badawczo – Rozwojowym robot jest wykorzystywany na oddziałach chirurgii ogólnej, naczyniowej i onkologicznej, a także urologii, ginekologii i kardiologii. Odbywają się też szkolenia przygotowujące lekarzy i pielęgniarki do pracy z robotem. Robot da Vinci umożliwia precyzyjne operacje, szczególnie w trudno dostępnych miejscach w ciele pacjenta. Charakteryzują się one minimalnym urazem operacyjnym, z małą utratą krwi i z bardzo szybką rekonwalescencją. Robot umożliwia bezpieczny dostęp do takich miejsc organizmu, do których do tej pory wgląd w sposób tradycyjny był bardzo trudny m.in. zmiany nowotworowe w miednicy małej (macica z przydatkami, odbytnica, prostata), czy guzy w okolicy podstawy czaszki. System ten pozwala ponadto na bardzo precyzyjne rozdzielanie szczegółów anatomicznych nerwów, naczyń i mięśni, co czyni operacje precyzyjną, a jednocześnie zmniejsza do minimum okaleczenie chorego przy rozległych operacjach. Warto podkreślić, że robot jest narzędziem, które obsługiwane w sposób bardzo intuicyjny przedłuża możliwość pracy rąk chirurga. Robot nie jest autonomiczny i nie operuje sam, lecz to chirurg operuje z zastosowaniem robota. Należy zaznaczyć, że robot da Vinci jest wykorzystywany do operacji, które dotychczas były bardzo uciążliwe i drogie lub były uznawane za niemożliwe do przeprowadzenia. Przykładem jest przeszczep nerki. Polega on na pobraniu narządu od dawcy osobie chorej na niewydolność nerek i może być wykonany przez dwa zespoły chirurgów. W wypadku zespołu prof. Witkiewicza zabieg pobrania nerki trwał ok. dwóch godzin, a operacja wszczepienia narządu – kolejne dwie godziny. Pacjent, od którego pobierano nerkę, opuścił szpital z dobrym samopoczuciem ogólnym w ciągu następnych 3 dni. Profesor myślał że pojawią się jakieś kłopoty, ale wszystko się udało, pacjent-dawca nie stracił ani kropli krwi, a dzięki wykorzystaniu robota można było narząd pobrać w ten sposób, aby był w jak najlepszej kondycji. Przeszczepiona nerka z powodzeniem podjęła swoją funkcję.

STAN DZIEDZINY I STAN NAUCZANIA ROBOTYKI MEDYCZNEJ W POLSCE

Zaintersowanie robotyką medyczną w działalności dydaktycznej było stymulowane przez dr Zbigniewa Nawrata, który postawił sobie za cel nie tylko wykonanie i wdrożenie pierwszego polskiego robota

chirurgicznego ale również popularyzację tej nowej dziedziny z pogranicza medycyny i techniki. Z założenia prowadzony przez niego projekt Robin Heart był szeroko otwarty na współpracę dla specjalistów wielu dziedzin: od mechaniki po wzornictwo przemysłowe. Od 2002 r. Z.Nawrat organizuje otwarte dla publiczności specjalistyczne konferencje poświęcone robotyce medycznej gromadzące rosnącą liczbę naukowców z kraju i zagranicy. Konferencje wzbudzały również duże zainteresowanie mediów ponieważ w ich trakcie prezentowano tradycyjnie postępy prowadzonych prac nad robotem Robin Heart w tym pierwszy na żywo eksperyment operacji na odległość (Zabrze-Katowice). W FRK organizowane są wykłady, pokazy i warsztaty chirurgiczne, które pozwalają na porównanie różnych typów narzędzi chirurgicznych i metod operacji. O popularności zabrzańskich spotkań niech świadczy, że do tej pory tylko w warsztatach chirurgicznych operowania robotem wypróbowano ok 1500 młodych pasjonatów chirurgii i inżynierii biomedycznej. Zbigniew Nawrat jest również pionierem działalności akademickiej bowiem wprowadził element robotyki medycznej do swoich wykładów prowadzonych w Śląskim Uniwersytecie Medycznym dla medycyny oraz w Uniwersytecie Śląskim dla fizyków medycznych. W 2007 r. wydał pierwszą w Polsce książkę Roboty Medyczne/Medical Robots będąca zbiorem aktualnej wiedzy na ten temat (Roboty Medyczne M Studio 2007 ISBN 978-83-88427-71-8 red. Z.Nawrat). O oryginalnym sposobie działania Z.Nawrat świadczy również i to że książkę (500 egzemplarzy) rozdał a wersja elektroniczna książki jest powszechnie dostępna w portal internetowym www.e-nawrat.pl i www.medicalrobots.eu. Obraz aktywności tego polskiego pioniera robotyki medycznej dopełnia założenie przez niego w 2010 r. Międzynarodowej Organizacji na rzecz Robotyki Medycznej (International Society for Medical Robotics) i specjalistycznego czasopisma Medical Robotics Reports.

Institucją wiodącą w zakresie działalności naukowej i szkoleniowej w zakresie skojarzonym z robotyką medyczną jest Instytut Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej PAN oraz Międzynarodowe Centrum Biocybernetyki PAN. Podejmuje się następującą problematykę badawczą: biosystemy, biopomiary, sztuczne narządy, biomateriały, biomechanika i inżynieria rehabilitacyjna, sieci neuronowe, systemy komputerowe i teleinformatyczne w służbie zdrowia, fizyka medyczna. Twórcami polskiej szkoły biomechaniki i biorobotyki byli prof. dr inż. Adam Morecki (1929-2001) i prof. dr hab. Kazimierz Fidelus (1928-1998). We współpracy Instytutu Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej Politechniki Warszawskiej, Akademii Wychowania Fizycznego i Instytutu Sportu w Warszawie oraz Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie powstały teoretyczne opisy współdziałania mięśni, prototypy napędów typu sztuczne mięśnie, pierwsze biomanipulatory (sztuczna ręka

warszawska) i automatycznie sterowane wózki kompleksowo obsługujące paraplegików. Na Wydziale Mechanicznym Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej już w latach osiemdziesiątych XX wieku prowadzono prace dyplomowe z zakresu projektowania robotów i manipulatorów.

Aktualnie na wielu uczelniach w Polsce wprowadzono kierunki i specjalności związane z robotyką medyczną, biorobotyką, biomechaniką, robotyką rehabilitacyjną. Dotyczą one głównie kształcenia kadry dla zaplecza naukowo-technicznego w nowej, prężnie rozwijającej się dziedzinie. Wydaje się wiele pozycji literaturowych, odbywają się konferencje i seminaria naukowe, organizowane są wystawy i konkursy.

W Politechnice Warszawskiej na Wydziale MEiL jest prowadzony kierunek Automatyka i Robotyka, w ramach którego istnieje specjalność biorobotyka. W ramach tego kierunku wprowadzono przedmioty „Roboty medyczne” i „Robotyka medyczna”. Celem nauki jest zapoznanie studentów ze współczesnymi rozwiązaniami stanowisk i sal operacyjnych z zastosowaniem robotów do operacji laparoskopowych kardiologicznych, neurologicznych i ortopedycznych, w tym przedstawienie podstawowych właściwości systemów wizyjnych endoskopowych i problematyki dokładności, kontroli i sterowania robotami chirurgicznymi i medycznymi i wykorzystanie systemów zrobotyzowanych w rehabilitacji. W ramach laboratorium, studenci zapoznają się także z współczesnymi technikami obrazowania w medycynie, robotyzacją operacji chirurgicznych w ortopedii a także praktycznie z badaniem układu sterowania robota chirurgicznego oraz z wyznaczaniem jego charakterystyk kinematycznych i dokładnościowych. Po zaliczeniu przedmiotu student będzie potrafił wykonać analizę stanu techniki w zakresie dostępności elementów składowych zrobotyzowanej sali operacyjnej w celu skompletowania wymaganego wyposażenia takiej sali oraz nabędzie praktyczne umiejętności dotyczące doradztwa merytorycznego w tym zakresie podstawowych charakterystyk funkcjonalnych robota chirurgicznego.

W Politechnice Łódzkiej na kierunku robotyka studenci zdobywają wiedzę potrzebną do automatyzacji, modernizacji i komputeryzacji procesów produkcyjnych oraz budowy i sterowania robotów przemysłowych. Studenci mają przygotowanie interdyscyplinarne z zakresu mechaniki, automatyki, elektroniki i teorii sterowania. Duży nacisk skierowany jest również na opanowanie nowych technik komputerowych oraz umiejętności zestawiania oprogramowania i doboru nastaw układów automatyki przemysłowej. Program studiów na kierunku Automatyka i Robotyka obejmuje ogólne przedmioty humanizujące, takie jak język obcy, ekonomia, prawo, przedmioty podstawowe, takie jak matematyka, fizyka, informatyka oraz przedmioty ogólnotechniczne, jak np. podstawy konstrukcji maszyn, wytrzymałość ma-

teriałów, teoria mechanizmów. W programie są też przedmioty kierunkowe, jak np. podstawy automatyki, teoria sterowania, teoria manipulatorów, robotyka i przedmioty specjalistyczne, jak np. konstrukcja robotów, zagadnienia sztucznej inteligencji, zastosowania robotów przemysłowych. Specjalność Robotyka. Absolwent specjalności Robotyka posiadać będzie: znajomość podstaw automatyzacji systemów, zasad budowy robotów i manipulatorów, działania elastycznych systemów wytwarzania, zastosowania manipulatorów i robotów przemysłowych, systemów sterowania, metod i form organizacyjnych w produkcji zautomatyzowanej;; umiejętność pisania programów, projektowania i modernizacji robotów i manipulatorów, przygotowania produkcji do wprowadzania robotyzacji;; znajomość poza przemysłowych zastosowań robotów (w medycynie, transporcie, badaniach, systemach ochrony i bezpieczeństwa), metod sztucznej inteligencji i systemów eksperckich.

Profesor L. Podśędkowski w ramach kierunku kształci również studentów doktorantów w obszarze robotyki medycznej. Podręcznik „Roboty medyczne” autorstwa L. Podśędkowskiego przedstawia przegląd robotów stosowanych w medycynie, oparty o klasyfikację biorącą pod uwagę rolę robota jaką pełni on na sali operacyjnej. Podręcznik zawiera opisy robotów do trzymania kamery laparoskopowej, telemanipulatory, manipulatory pasywne pomocy nawigacyjnej, systemy dokładnego pozycjonowania i systemy dokładnego przemieszczania. Dla każdej z klas przedstawione są typowe wymagania oraz przegląd istniejących konstrukcji.

W Akademii Górniczo Hutniczej jest prowadzony kierunek „Inżynieria Biomedyczna” gdzie na specjalności „bionanotechnologie” jest prowadzony przedmiot „Telechirurgia i robotyka medyczna”. W ramach przedmiotu student ma opanować podstawy robotyki medycznej i budowy wybranych typów robotów medycznych, stosowanych narzędzi laparoskopowych oraz zasady prowadzenia operacji na odległość (telerobotyka). W związku z tym musi nauczyć projektowania wybranych podzespołów robota oraz zasad planowania trajektorii dla wieloczołowych narzędzi robotów. Wykład dotyczy technologii chirurgii minimalnie inwazyjnej, prowadzenia telekonferencji, telekonsultacji i operacji medycznych na odległość, metod wirtualnej rzeczywistości w obrazowaniu pola operacyjnego, przeglądu konstrukcji robotów chirurgicznych, omówienia współczesnych robotów medycznych w zakresie napędów w robotach, układów sensorycznych, układów nadzorowania i programowania pracy robotów. Są też omawiane struktury kinematyczne ramion manipulatorów robotów medycznych, człony i przeguby manipulatorów, struktury kinematyczne i mechanizmy kiści, narzędzia chirurgiczne. Kinematyka jest analizowana z wykorzystaniem notacji Denavita-Hartenberga.

Przedstawiane są metody planowania operacji z użyciem robotów medycznych, metody oceny własności, dokładności i bezpieczeństwa robotów medycznych oraz sposoby wyznaczania i pomiarów pozycji narzędzia (chwybaka). W ramach wykładu przedstawiane są metody kalibracji geometrycznej robotów, układy sensoryczne narzędzi chirurgicznych, układy wymienny narzędzi – uchwyty i magazyny, chwytaki i narzędzia wielozadaniowe o strukturze ludzkiej dłoni. Wykład kończy omówienie kierunków rozwoju robotyki medycznej. Ćwiczenia laboratoryjne dotyczą budowy i działania robotów o strukturze antropomorficznej oraz typu SCARA, języków programowania robotów, programowania w języku MELFA, programowania w języku V+, układów współrzędnych, definiowania zmiennych pozycyjnych, transformacji względnych, instrukcji ruchu, zmiany prędkości i przyspieszeń. programowania z wykorzystaniem podprogramów, obsługi przerw, instrukcji wejścia-wyjścia. Omawia się też narzędzia laparoskopowe w zakresie podziału, budowy, typowych rozwiązań laparoskopów i trokarów. Odrębnym zagadnieniem jest stereowizja, są omawiane metody i narzędzia do obserwacji stereoskopowej, sposoby wykonywania zabiegów laparoskopowych pod kontrolą wizji (w sprzężeniu wizyjnym), studenci ćwiczą wykonywanie drobnych zabiegów narzędziami laparoskopowymi, jak cięcie, szycie, przekładanie i montaż elementów o złożonych kształtach.

Warto zaznaczyć, że problematyka robotów medycznych jest podejmowana również na różnych uczelniach technicznych. Przykładem jest Politechnika Gdańska, gdzie od pewnego czasu [7] jest prowadzony międzyuczelniany kierunek studiów inżynieria mechaniczno-medyczna. Jest on prowadzony wspólnie z Wydziałem Lekarskim Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego i łączy wiedzę techniczną z problematyką medyczną. Studenci pozyskują wiedzę oraz umiejętności z zakresu nowoczesnego projektowania urządzeń medycznych, korzystając ze współczesnych narzędzi obliczeniowych, uczą się nowoczesnych metod wytwarzania, budowy i eksploatacji maszyn oraz zagadnień z zakresu inżynierii medycznej, opanowują też podstawową wiedzę medyczną. Kierunek obejmuje bardzo szeroki wachlarz przedmiotów medycznych, na co składa się ok. 500 godzin zajęć na pierwszym etapie studiów. Wśród nich są takie przedmioty jak: podstawy anatomii i fizjologii człowieka, podstawy chirurgii, propedeutyka nauk medycznych i interny, organizacja i zarządzanie zapleczem technicznym służby zdrowia, fizyka medyczna, biochemia, podstawy ortopedii, podstawy kardiologii, podstawy laryngologii, podstawy neurologii, podstawy rehabilitacji, endoprotezy, implanty i sztuczne narządy, podstawy immunologii, podstawy reumatologii, podstawy ratownictwa medycznego, prawne i etyczne aspekty inżynierii mechaniczno medycznej. Poza elementami klasycznej inżynierii mechanicz-

nej w programie nauczania zawarto szereg specjalistycznych przedmiotów technicznych powiązanych z medycyną, jak automatyka i robotyka w medycynie, akustyka i ochrona słuchu, klimatyzacja i wentylacja w obiektach medycznych, hydraulika i pneumatyka w inżynierii mechaniczno-medycznej, biomechanika inżynierska, biomateriały, aparatura medyczna, inżynieria rehabilitacji ruchowej. Absolwenci tego kierunku studiów mają być przygotowani do wykonywania prac projektowych, konstrukcyjnych i technologicznych związanych z ogólnie pojętą techniką medyczną oraz do kierowania produkcją i eksploatacją mechanicznych urządzeń stosowanych w zabiegach operacyjnych, procedurach leczniczych i rehabilitacyjnych. Zdobędą przygotowanie do prowadzenia małych i średnich przedsiębiorstw wytwarzających sprzęt rehabilitacyjny i urządzenia wyposażenia medycznego. Absolwenci będą mogli podjąć pracę w zakładach projektowania i produkcji sprzętu medycznego, urządzeń rehabilitacyjnych; w firmach specjalizujących się w projektowaniu oraz wytwarzaniu sztucznych narządów i protez, a także w zakładach usługowych zajmujących się doborem, zakupem, instalacją i naprawą wymienionych urządzeń. Dotyczy to zarówno produkcji, stosowania i rozwoju sprzętu typowo medycznego, używanego w salach operacyjnych, sprzętu sanitarnego, urządzeń technicznych związanych z infrastrukturą jednostek medycznych, projektowania ciągów komunikacyjnych i instalacji specjalistycznych.

PODSUMOWANIE

Roboty medyczne i chirurgiczne powstałe w ramach projektów Pentagonu i NASA w początku lat dziewięćdziesiątych XX wieku przyjęły się z powo-

dzeniem w praktyce medycznej. Aktualnie również w Polsce powstają i operują roboty medyczne zarówno produkcji amerykańskiej (daVinci) jak i polski robot Robin Heart (w wersji prototypowej robota wykonano dwie operacje na świnia). Fakty te napawają optymizmem, że w niedalekiej przyszłości roboty na stałe wejdą do praktyki medycznej, usprawnią prowadzenie zabiegów chirurgicznych, skrócą czasy zabiegów, obniżą ich koszty oraz uczynią pracę lekarza lżejszą i łatwiejszą a pacjentom przyniosą szybszą ulgę i efektywniejszy powrót do zdrowia.

MATERIAŁY ŹRÓDŁOWE:

- [1] Morecki A.: Podstawy robotyki, teoria i elementy manipulatorów i robotów, WNT, Warszawa 1999,
- [2] http://pl.wikipedia.org/wiki/Andrzej_Bochenek,
- [3] WPROST nr 37/1999 (876)
- [4] <http://www.pwpss.pl/teksty/recenzenci/recenzenci.html>
- [5] <http://www.medicalnet.pl/Miedzynarodowy-Kongres-Chirurgii-Robotowej,wiadomosc,24,luty,2012.aspx>
- [6] http://www.up.wroc.pl/aktualnosci/14864/profesor_wojciech_witkiewicz.html
- [7] Nałęcz N.: Biocybernetyka i Inżynieria Biomedyczna 2000, Biomechanika i inżynieria rehabilitacyjna, Akad. Oficyna Wyd. EXIT, Warszawa 2004,
- [8] <https://ects.coi.pw.edu.pl/kartapredmiotu>
- [9] <http://syllabuskrk.agh.edu.pl/2012-2013/pl/>
- [10] <http://www.imm.pg.gda.pl/>