

Testowanie robotów medycznych

Testing of Medical Robots

Artykuł recenzowany

Streszczenie

Artykuł przedstawia zagadnienie badań przedwdrożeniowych robotów medycznych na podstawie doświadczeń zespołu pracującego nad polskim robotem chirurgicznym Robin Heart. W cyklu badań laboratoryjnych (*in vitro*), na zwierzętach (*in vivo*), w dobrej komunikacji z przyszłymi użytkownikami przygotowywane jest rozwiązanie rynkowe – nowy robot medyczny.

Abstract

The article presents the issue of pre-implementation tests of medical robots based on the experience of the team working on the Polish Robin Heart surgical robot. In a cycle of laboratory tests (*in vitro*), on animals (*in vivo*), in a good communication with future users a market solution is being prepared – a new medical robot.

ZBIGNIEW NAWRAT^{1,2}

¹Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii im. prof. Zbigniewa Religi w Zabrze
²Katedra i Zakład Biofizyki w Zabrze, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach

Słowa kluczowe:
robot medyczny, robot chirurgiczny, narzędzia endoskopowe, testowanie, urządzenia treningowe

Keywords:
medical robot, surgical robot, endoscopic tools, testing, training devices

WPROWADZENIE

Kluczem do nowoczesnej medycyny jest wzrost produktywności. Nie da się tego uczynić bez automatyzacji i robotyzacji – od procesów decyzyjnych do terapii i rehabilitacji.

Po postępach telekomunikacji – przesyłania na odległość informacji, czas na przesyłanie na odległość DZIAŁANIA. Do tego niezbędne są roboty. Roboty do diagnostyki, terapii, rehabilitacji, ratowania od zagrożeń i opieki nad osobami w potrzebie w domu.

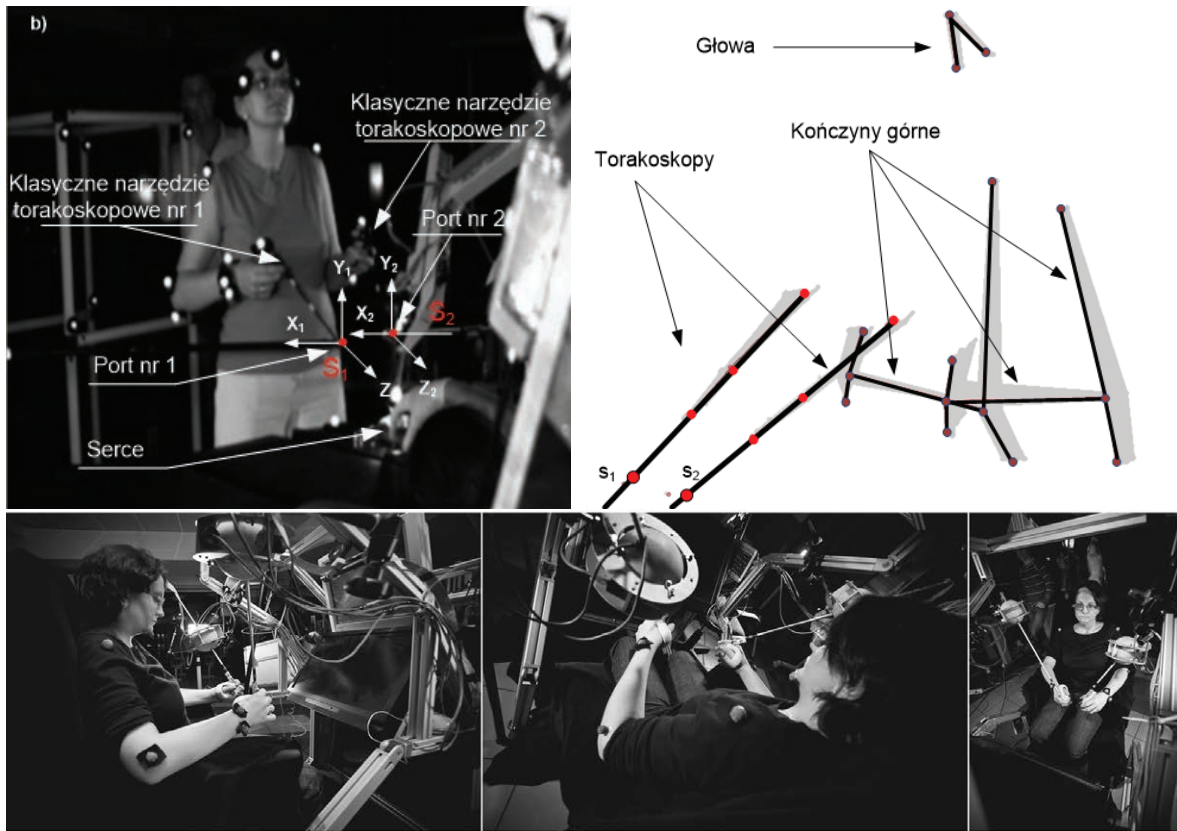
Roboty wchodzące na nowe obszary stawiają szereg wyzwań również pod względem organizacyjnym i prawnym. Do dzisiaj tylko w wybranych obszarach; np. teleradiologii, udało się rozwiązać problemy wprowadzenia technologii telemedycznych do usług medycznych. Przed nami rozwiązania dotyczące robotów, tworzenie reguł, przepisów, prawnych i finansowych.

System urządzeń testujących oraz metodologia badań robotów powinna być zgodna ze standardem. Niestety, pewnie z powodu silnego rozwoju dziedzi-

ny i pojawiających się nowych problemów, do dzisiaj nie udało się osiągnąć celu stawianego podgrupie TC 299: opracowanie standardu w obszarze kontrolowanych automatycznie lub programowalnych telemanipulatorów i urządzeń robotowych. Cytuję prosto ze strony organizacji ISO: „IEC/FDIS 80601-2-78 **Medical electrical equipment – Part 2-78: Particular requirements for basic safety and essential performance of medical robots for rehabilitation, assessment, compensation or alleviation. Status: Under development** (<https://www.iso.org/standard/68474.html>)”. Oczywiście robot jako urządzenie mechatroniczne i urządzenie w różny sposób stosowane medycznie musi spełnić wszystkie obowiązujące standardy odnoszące się do konstrukcji i zastosowań.

Robot to inteligentne połączenie percepcji (sensorów) z działaniem (pracą mechaniczną) dla wykonania wybranych czynności człowieka.

Roboty medyczne należą do grupy robotów usługowych. **Robot usługowy**, zgodnie z definicją Międzynarodowej Federacji Robotyki, działa półauto-



Rysunek 1. Testy biometryczne. Łańcuch biokinematyczny kardiochirurga i ścieżka ruchu – sterowanie dwoma narzędziami endoskopowymi a następnie badania w konsoli Robin Heart Shell 1 [2]

Figure 1. Biometric tests. Biokinematic chain of cardiac surgeon and path of movement - movement control of two endoscopic tools and then testing in the Robin Heart Shell 1 console [2]

nomicznie lub autonomicznie, wykonując usługi dla ludzi (np. roboty ratunkowe, rehabilitacyjne lub rozrywkowe) oraz sprzętu (serwisowanie, dokonywanie napraw oraz czyszczenie).

Roboty medyczne możemy podzielić na:

- roboty diagnostyczne,
- roboty chirurgiczne,
- roboty opiekuńcze,
- roboty rehabilitacyjne,
- roboty ratunkowe,
- sztuczne narządy,
- bioroboty,
- edukacyjne roboty medyczne.

Roboty służą do nowoczesnej, cyfrowej, 3D diagnostyki obrazowej; jako narzędzia zwiększają jakość, precyzję interwencji chirurgicznej i zmniejszają inwazyjność operacji; zwiększają jakość życia i samodzielność ludzi starszych, zniedołężniałych, z niewydolnymi narządami ruchu; służą do terapii, treningu, rehabilitacji poprzez kontrolowany ruch rehabilitowanych narządów ruchu lub stosowane są jako robotowe elementy zastępcze niektórych narządów organizmu człowieka. Roboty stosowane są do akcji ratunkowych w różnym środowisku i różnych warunkach zagrożenia życia. Jeśli mamy problem ze zrozumieniem zjawisk biologicznych mogą być ele-

mentem modelowania – roboty naukowe naśladują ludzi lub zwierzęta, są wykorzystywane dla celów poznawczych – neurofizjologii, patologii mózgu czy badań samoorganizacji społecznej. Studenci uczelni medycznych z powodzeniem wykorzystują roboty w procesie edukacji ćwicząc na robot-manekinach.

Obecnie roboty medyczne terapii to głównie teleroboty kontrolowane przez lekarzy. Główną ich zaletą jest precyzja, powtarzalność, możliwość standaryzacji oraz multiplikacji czynności na wiele pacjentów i działania na odległość w ramach wykonywanych usług medycznych.

Robot medyczny ma zatem, pod względem funkcjonalnym, wiele różnych znaczeń, stosuje bardzo różne rozwiązania techniczne. Od wielu lat trwają próby znormalizowania robotów medycznych, co napotyka ogromne problemy m.in. związane z multidyscyplinarnością zagadnienia oraz multidyscyplinarnością i multispecjalistycznym wykorzystaniem tychże. Technologia wyprzedza reguły. Nie zmienia to jednak faktu, że wdrażając nowe urządzenia medyczne musimy wykonać odpowiednie badania laboratoryjne i *in vivo* dla zapewnienia bezpieczeństwa pacjentów i personelu medycznego oraz realizacji celów działania urządzenia. Wykonujemy zatem często, jako wynalazcy i potencjalni producenci, bada-



Rysunek 2. Badania. Oryginalne stanowiska badawczo-treningowe podczas warsztatów chirurgicznych
Figure 2. Research. Original test and training station at Surgical Workshop

nia techniczne, biologiczne i funkcjonalne robotów wg swoich założeń metodycznych. Budujemy własne stanowiska badawcze, by sprawdzić wypełnienie założeń i osiągnięcie zamierzonych celów. Konsultujemy i testujemy cechy funkcjonalne robotów z przyszłymi użytkownikami.

Jednym ze sposobów testowania, oszczędnym i wygodnym, jest modelowanie komputerowe, które zwykle wyprzedza fazę budowania prototypu. Modelowanie jako metoda poznawcza odgrywa szczególną rolę w naukach medycznych, w których metoda eksperymentu fizycznego jest trudna do zrealizowania z względu na ingerencję w obiekt żywy oraz ze względów etycznych. Modelowanie tkanek oraz elementów operacji stanowi podstawę określenia założeń dla konstrukcji i sterowania robotami, a także planowania operacji robotem.

Omówmy zatem wybrane elementy testowania robotów medycznych na podstawie doświadczeń własnych projektu Robin Heart. Przedstawiony poniżej opis w znacznej części stanowi skrót materiału przedstawionego w publikacjach autora [1] i [2]. **System badawczy i doświadczenie zespołu Fundacji Rozwoju Kardiochirurgii im. Prof. Zbigniewa Religa są oferowane do dyspozycji beneficjentów projektu Digital Innovation Hub Robotics in Healthcare.**

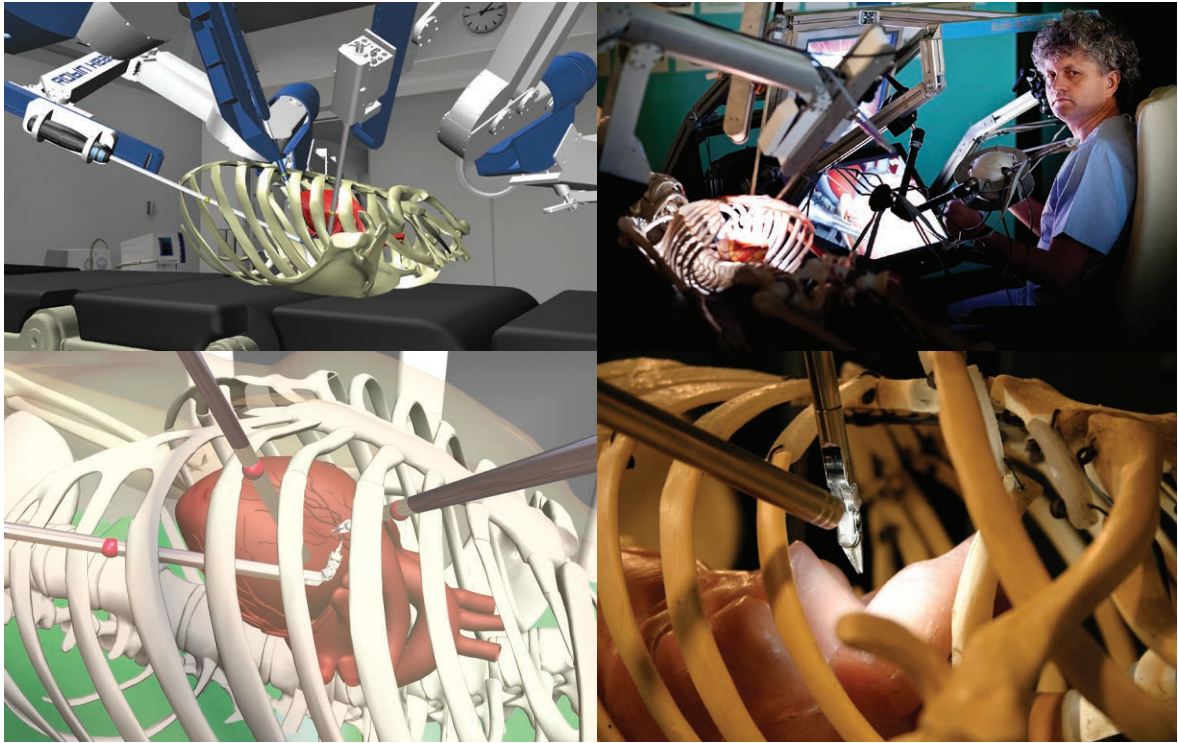
TESTY

Testy robota chirurgicznego typu Robin Heart obejmują badania układów mechanicznych, układów sterowania, badania symulacyjne i laboratoryjne operowania oraz badania na zwierzętach i planowane badania kliniczne.

Funkcjonalność robota i jego zalety związane są głównie z możliwością osiągnięcia wysokiej, niedostępnej inną techniką, precyzji operowania.

W robotyce jakość pozycjonowania końcówki robota jest określona przez trzy parametry: dokładność, powtarzalność i rozdzielczość. Dokładność manipulatorów (określa, jak blisko manipulator może dojść do zadanego punktu w przestrzeni roboczej) najłatwiej osiągnąć przez nadanie im dużej sztywności, w innym wypadku niezbędne jest zastosowanie bezpośrednich czujników położenia końcówki roboczej lub zastosowanie skomplikowanych algorytmów sterowania. Na powtarzalność zdecydowanie wpływa rozdzielczość układu sterowania, czyli najmniejszy przyrost ruchu, który układ sterowania może rozpoznać. Zwykle dokładność pozycjonowania robotów (mierzona w układzie absolutnym) jest znacznie mniejsza niż powtarzalność (wielkość przyrostowa) pozycjonowania.

Stosowane obecnie roboty chirurgiczne są telemanipulatorami, co – jeśli chodzi o precyzję działania – oznacza, że za skuteczne działanie robota, tzn. osiągnięcie określonego położenia i uruchomienie odpowiedniego oddziaływania na tkanki organizmu, odpowiada chirurg sterujący robotem. Technika cyfrowej rejestracji optycznej – lub krótko wideorejestracja – pozwala na analizę układów złożonych, wielocłonowych w naturalnym środowisku. W procesie tworzenia warunków środowiska pracy chirurga – konsoli sterowania robotem – wykorzystano obserwacje i badania rejestracji ruchów wykonywanych przez chirurga podczas operacji klasycznych i laparoskopowych. Doświadczenia i wyniki pozwoliły na zaprojektowanie ergonomicznego i funkcjonalnego, wysoce specjalistycznego stanowiska dla operatorów z określonymi doświadczeniami zawodowymi. Na podstawie tych badań przeprowadzono analizę pracy chirurga laparoskopowego oraz studia ergonomiczne różnych zadajników ruchu i konstruk-



Rysunek 3. Badania. Prace badawcze wykonywano wykorzystując modele fizyczne i wirtualne [1, 2]

Figure 3. Research. Virtual and real condition for testing the Robin Heart robot. Using a Virtual Reality technology an interactive model of surgery room equipped with a Robin Heart system was created using EON Professional software [1, 2]

cji konsoli sterowania robotem (analiza wzajemnych powiązań między ruchami w układzie telemanipulator – zadajnik ruchu – kończyna górna chirurga).

Planowanie poprzedzające operację określa anatomiczne i techniczne (oparte na znajomości geometrii i zasad działania robota) cechy przestrzeni operacji.

Do realizacji projektu Robin Heart przyjęto program obejmujący pełny zakres badań podstawowych, projektowych, badań prototypów: laboratoryjnych oraz eksperymentalnych badań na zwierzętach.

TESTY IN VITRO

Zakres prac badawczych (Rys. 1-9) [2]:

- Badania narzędzie-tkanka: badania wstępne określające cechy mechaniczne oddziaływania narzędzi z tkankami.
- Badania przestrzeni operacji: modelowanie fizyczne i komputerowe operacji chirurgicznych, metody planowania operacji oparte na technologii wirtualnej rzeczywistości.
- Modele robotów: projekt, wykonanie, badania techniczne modeli robotów i mechatronicznych narzędzi chirurgicznych.
- Testy modeli: testy laboratoryjne i funkcjonalne (warsztaty) modeli robotów, wykonanie specjalnych stanowisk badawczych prototypów.

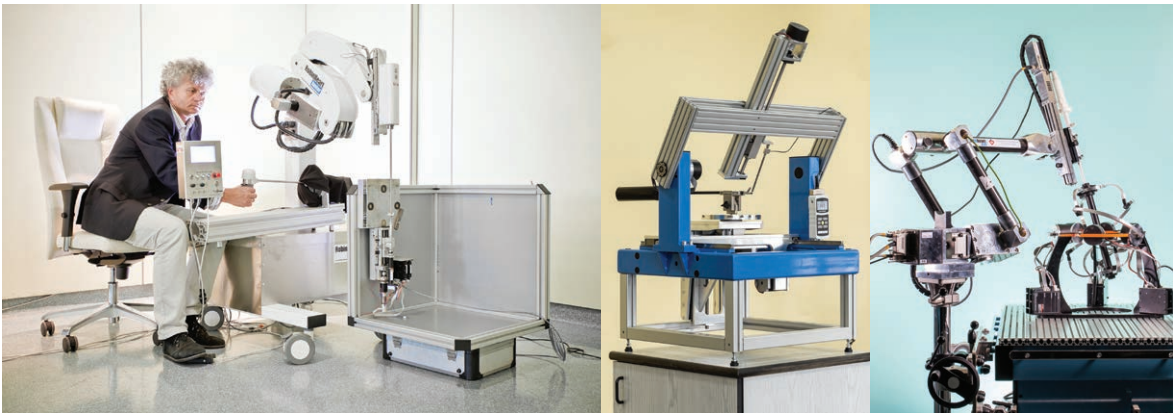
- Prototypy: projekt, wykonanie, badania techniczne prototypowych robotów i mechatronicznych narzędzi chirurgicznych.
- Stanowisko pracy operatora robota: projekt, wykonanie zadajników ruchu oraz konsoli sterowania robotem oraz badania wybranych cech funkcjonalnych kontaktu człowiek – maszyna w aspekcie specjalizacji operatora (chirurg), w tym elementy ergonomii pracy (m.in. badania wideorejestracji).
- Eksperymentalne badania na zwierzętach: badania robota w warunkach sali operacyjnej na modelu zwierzęcym.
- Modelowanie teleoperacji: badania możliwości wykonania operacji na odległość.

Założono, że zadawanie położenia końcówki roboczej będzie realizowane intuicyjnie. Chirurg zza konsoli przemieszczając uchwyt, decyduje o odpowiednim ustawieniu trzech, orientacyjnych stopni swobody ramienia robota. Zadawanie funkcji wykonawczych narzędzia (takich jak otwarcie, zamknięcie nożyczek) oraz dodatkowych stopni swobody i zadań (np. koagulacja) końcówki roboczej odbywa się przez naciśnięcie określonego przycisku lub zmianę położenia minidżoystika.

Dostosowanie przeskalowania ruchu oraz filtru usuwającego drżenie ręki do indywidualnych potrzeb chirurga pozwala na optymalizację dokładności kon-



Rysunek 4. Badania. Testy konsoli z obrazem w przestrzeni wirtualnej i naturalnej
Figure 4. Research. Console tests with image in virtual and natural space



Rysunek 5. Badania. Trzy rozwiązania systemu symulacji mechanicznej tkanki dla testów narzędzi robotycznych [4, 5]
Figure 5. Research. Three solutions of mechanical tissue simulation system for testing of robotic tools [4, 5]

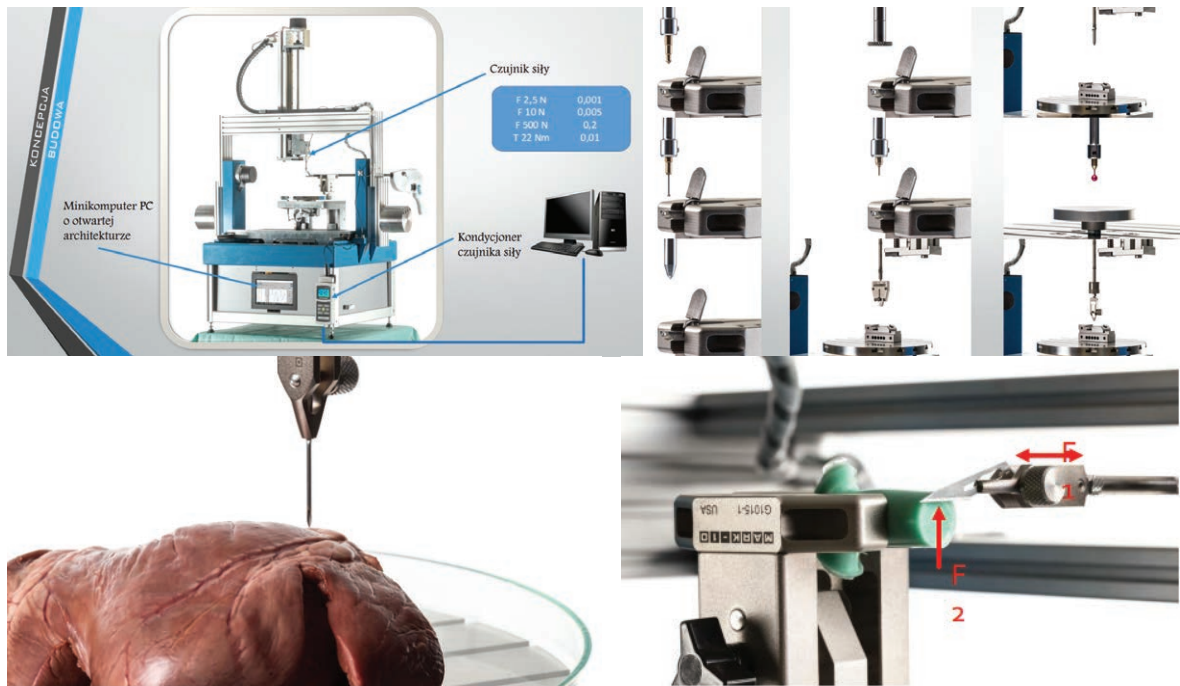
trólowania ruchu i zadań narzędzia. Układ sterowania telemanipulatora musi zapewnić wymaganą dokładność i rozdzielczość ruchu, przeskalowywanie zakresu ruchu dłoni na zakres ruchu narzędzi i eliminować efekt drżenia rąk operatora. W latach 2000-2010 w Pracowni Biocybernetyki FRK opracowano kilka projektów urządzeń typu Master zadających ruch robota (interfejsów lekarz – robot), wykorzystujących zarówno głos lekarza (komendy wydawane głosem), jak i zadania sprecyzowane ruchem dłoni za pomocą różnego rodzaju zadajników. Konsola Robin Heart Shell 1 (z zadajnikiem ruchu narzędzia system RiH Uni System) została zweryfikowana w pierwszych eksperymentach na zwierzętach w 2009 roku, konsola Robin Heart Shell 2 (z obserwacją stereowizyjną i siłowym sprzężeniem ruchu) podczas eksperymentu w 2010 roku.

W ramach prac laboratoryjnych wykonano następujące badania robota Robin Heart (Rys. 1-8):

- Pomiar położenia punktu stałego robota (badania wykonuje się w celu określenia lokalizacji przestrzennej stałego punktu podczas

pełnego zakresu ruchu ramienia sferycznego robota).

- Sztywność robota (badania wykonuje się w celu określenia odkształcalności statycznej i dynamicznej robota dla wszystkich stopni swobody).
- Wibracje i drgania własne robota (badania wykonuje się w celu określenia charakterystycznych częstotliwości związanych z cechami konstrukcji (geometria, materiały, wykonanie) robota w zakresie przenoszenia i powstawania drgań).
- Filtrowanie drgań i przeskalowanie systemu ruchu (element badania systemu bezpieczeństwa układu sterowania gdzie wykonywane są do oceny skuteczności systemu filtrowania układu ruchu dla ruchów przypadkowych, nieskoordynowanych i szkodliwych dla działania robota).
- Powtarzalność i dokładność pozycjonowania końcówki robota (celem badań jest określenie, jak dokładnie możemy ustawić w przestrzeni narzędzie chirurgiczne).



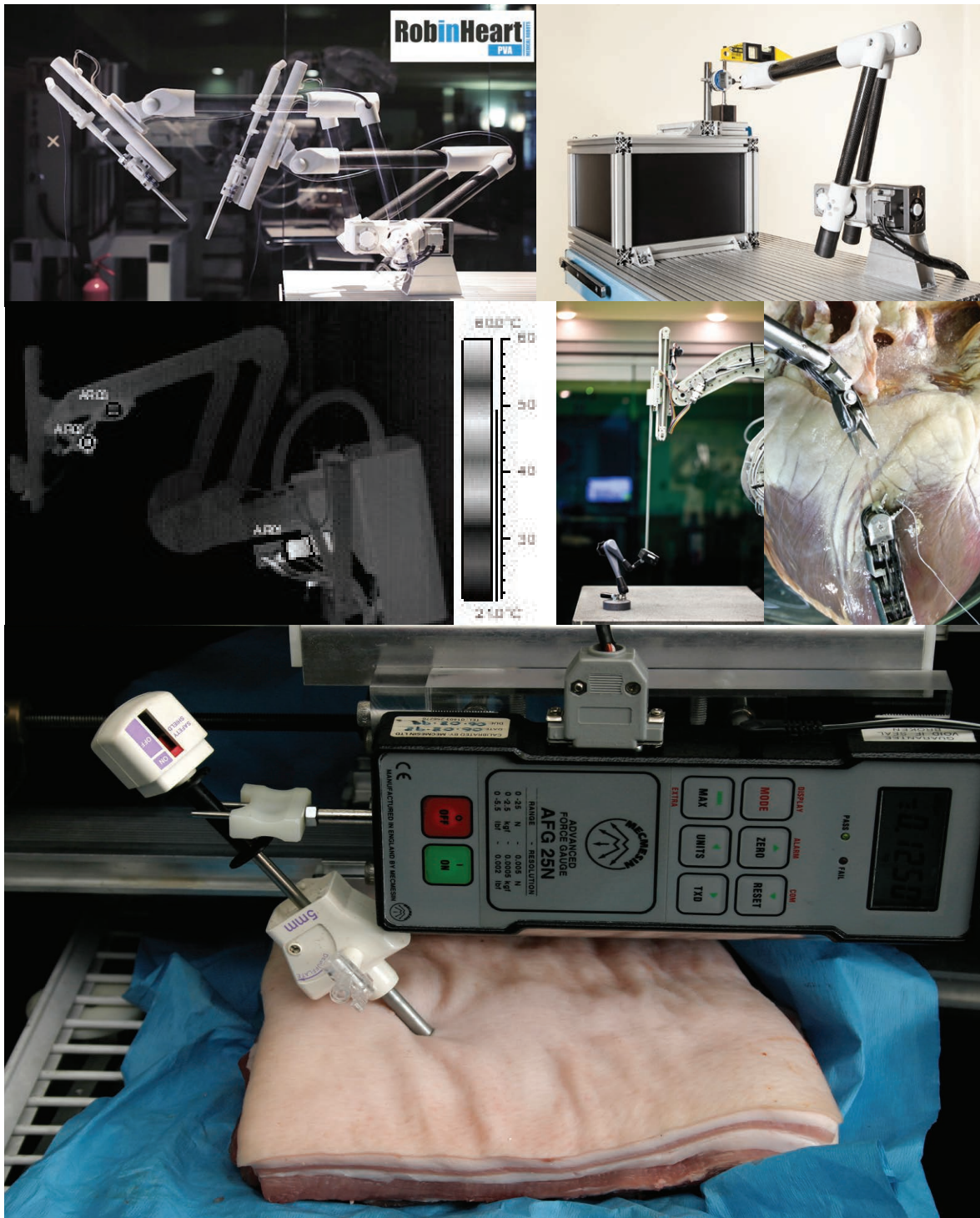
Rysunek 6. Badania. Oryginalne stanowisko testowania narzędzi chirurgicznych i robotów [5]
 Figure 6. Research. Original testing station for surgical instruments and robots [5]

- Pomiar wielkości sił generowanych przez robota (celem badań jest określenie sił oddziaływania zarówno końcówki narzędziowej robota na tkankę i otoczenie, jak i ramienia robota w różnych ustawieniach przestrzennych, a także podczas stosowania różnych sposobów sterowania).
- Badania z fantomami naturalnymi (najistotniejsze badania dotyczą oddziaływania robota z tkanką w miejscu przecięcia powłok ciała pacjenta oraz oddziaływania efektora na tkanki).
- Badania układu sterowania (celem badań jest optymalizacja sposobu sterowania – programu sterującego dla danych układów napędowych i danej konstrukcji robota np. dobór nastaw regulatorów dla kolejnych silników robota).
- Badania ergonomii i intuicyjności (celem badań jest optymalizacja układu zadawania ruchu i przekazywania decyzji oraz informacji między operatorem i robotem stosując różne techniki badań: od wideorejestracji ruchu operatora i robota, poprzez badania w zakresie dokładności wykonywania różnych wybranych zadań przez układ teleoperatora, po badania krzywej uczenia, czyli szybkości przyswajania procedur sterowania robotem).
- Badania układu przesyłania i jakości informacji (m.in. optymalizacja informacji obrazowej i akustycznej dla operatora robota w kategoriach Czas (opóźnienia), Obraz przestrzeni pra-

cy, Obraz sali operacyjnej, Obrazy, prezentacja doradczych informacji, Dźwięk – system kontaktu głosowego oraz sygnalizacja dźwiękowa, System bezpieczeństwa oraz Teleoperacje).

Badania systemu sterowania łączą cechy układu kontroli ruchu i realizacji zadań robota z układami kontroli bezpieczeństwa systemu. Robin Heart jest telemanipulatorem, więc zbadano również ograniczenia i możliwości rozwoju koncepcji zdalnego sterowania robota na różne odległości. Między innymi wykonano testy teleoperacji na odległość – Zabrze (FRK) – Katowice (CMD SUM) – wykorzystując drogę komunikacji radiowej. Opóźnienia czasowe sygnału sterowania poniżej 1 ms są akceptowalne, opóźnienie przesyłu obrazu powyżej 200 ms należy uznać za wymagające poprawy. Istnieje możliwość uzyskania lepszych rezultatów poprzez wymianę części stosowanej aparatury.

Jednym z wyzwań, które postawiliśmy przed sobą było stanowisko testów narzędzi i robotów symulujące zachowania w środowisku naturalnym. Konstruowane urządzenia mechatroniczne pozwalały na zaprogramowanie odpowiedzi układu z zetknięciem narzędzia (kończynki roboczej robota) z układem, który reagował w sposób mechaniczny odpowiadający wybranym sytuacjom klinicznym. Skonstruowaliśmy kilka urządzeń technicznych spełniających te wymagania. Można je wykorzystać do badań funkcjonalnych (ocenić czy uzyskamy określoną rucho-



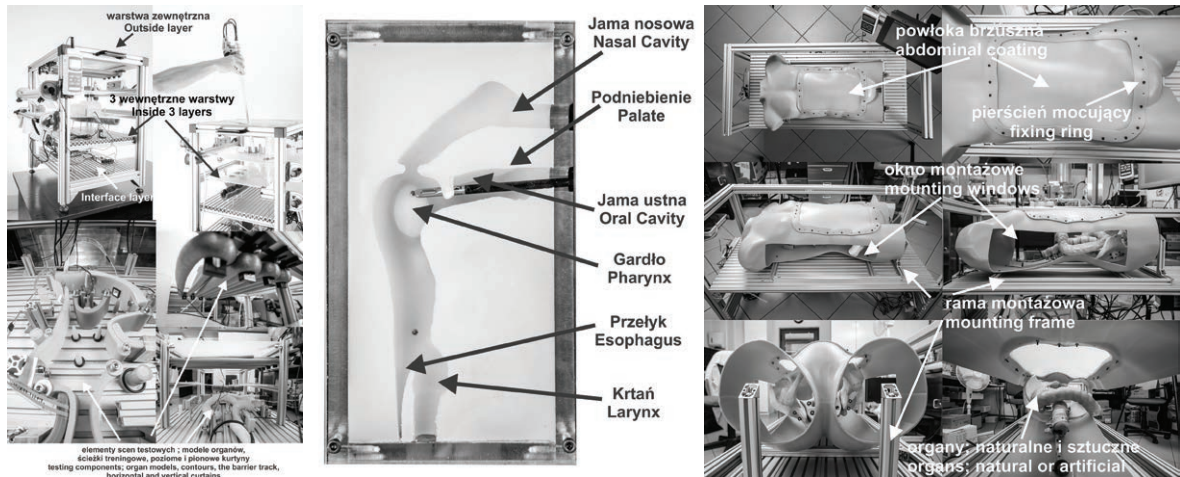
Rysunek 7. Badania. Wybrane badania robotów i narzędzi robotowych wykonywanych w FRK [2]
 Figure 7. Research. Selected investigations of robots and robot tools made in the FRK [2]

mość i efekt siłowy) lub wytrzymałościowych (testy zmęczeniowe gotowych modeli, ocena materiałów, technologii i konstrukcji).

Po osiągnięciu założonych celów udokumentowanych wynikami badań laboratoryjnych można przystąpić do przygotowań do prób na zwierzętach.

SYSTEM WSPARCIA UŻYTKOWNIKÓW: PROGRAMY DORADCZE I URZĄDZENIA TRENINGOWE

Chirurgia endoskopowa i zrobotyzowana wymagają odpowiedniej wyobraźni i umiejętności manualnych. Według zaleceń Europejskiej Unii Specjali-



Rysunek 8. Sceny chirurgiczne specjalizowane – fotografie przedstawiają wykonane w FRK symulatory operacji dla narzędzi o zmiennej sztywności i geometrii opracowywane w ramach projektu EU Stiff Flop [5, 6]
Figure 8. Specialized surgical scenes - the photos show the operation simulators made in the FRK for tools with variable stiffness and geometry developed as part of the EU Stiff Flop project [5, 6]

stów Medycznych (UEMS), szkolenie powinno być postrzegane jako przywilej dla zainteresowanych i zdolnych do poświęcenia chirurgów; to nie tylko demonstracja technik, ale interaktywne nauczanie, ściśle nadzorowanie i ocena postępu szkolenia, dialog, a także kierowanie karierą zawodową. Portal IRCAD w Strasburgu (www.websurg.com), strony internetowe ILS w Bordeaux (www.e-laparoscopy.com), EAES (www.eaes-eur.org), SAGES (www.sages.org), centrum laparoskopowe w Delhi (www.laparoscopyhospital.com) i inne (np. www.laparoscopy.com) są bogatym źródłem wiedzy o chirurgii małoinwazyjnej. Ćwiczenia na zwierzętach zastępowane są obecnie przez szkolenie na endotrenażerach (endotrenażerach) oraz symulatorach wykorzystujących rzeczywistość wirtualną. Symulatory dają również możliwość kontroli nabytych podczas szkolenia umiejętności przez nadzorującego chirurga oraz pozwalają na ilościową ocenę np. ekonomiki i celowości ruchów, czasu, liczby popełnionych błędów.

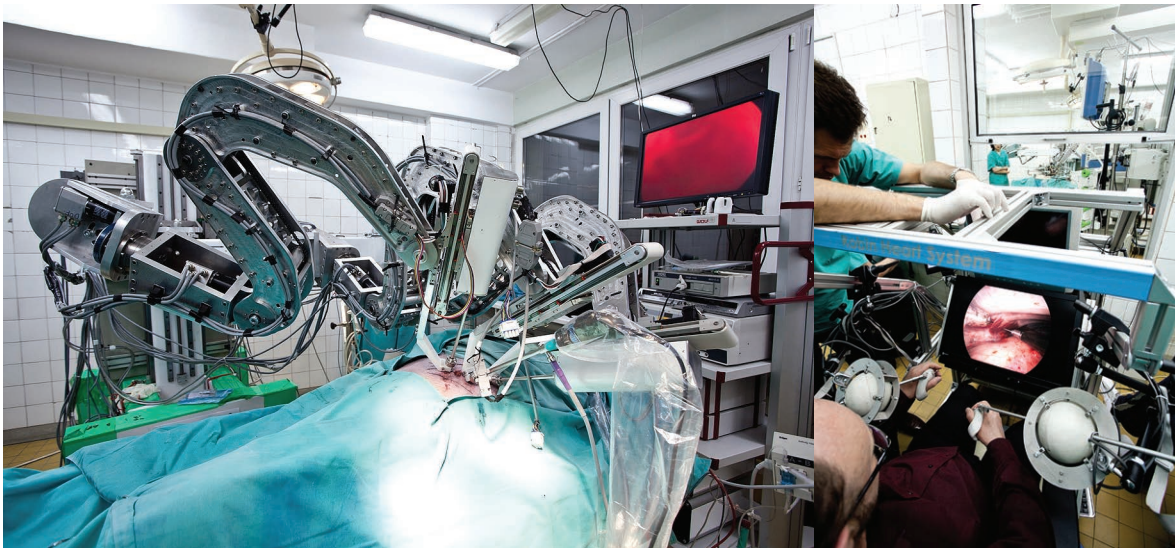
W ramach programu edukacyjnego towarzyszącego projektowi Robin Heart wykonano wiele oryginalnych stanowisk do treningu i testowania narzędzi endoskopowych, mechatronicznych i robotów [3, 4, 5, 6]. Kolejnym ważnym elementem wpływającym na sukces producenta narzędzi robotowych, lekarza i jego pacjenta jest właściwe planowanie zabiegu.

Planowanie operacji obejmuje analizę informacji diagnostycznych pacjenta, a także wiele działań dotyczących wyboru materiałów, środków i urządzeń oraz metod do realizacji określonych zadań zmierzających do likwidacji patologicznych zmian w organizmie poprzez ingerencję chirurgiczną. Odpowiednie zaplanowanie ustawienia robota przy stole operacyjnym, właściwa lokalizacja otworów w powło-

kach ciała pacjenta, przez którą zostaną wsunięte narzędzia o określonej funkcjonalności i przestrzeni roboczej, mają duży wpływ na bezpieczne wykonanie zabiegu operacyjnego. Przedmiotem planowania jest również sekwencja ruchów robota (choreografia) oraz dobór właściwych narzędzi. Ważnym sposobem realizacji planowania operacji jest wykorzystanie technologii przestrzeni wirtualnej. W ramach projektu Robin Heart w FRK opracowano pierwszą w Polsce wirtualną i zrobotyzowaną salę operacyjną. Możliwość operowania w przestrzeni wirtualnego ciała pacjenta pozwala chirurgowi na stwierdzenie, czy dane narzędzie o określonych wymiarach geometrycznych i określonych stopniach swobody dysponuje właściwym zasięgiem do wykonania zaplanowanych czynności. Technologia wirtualnej rzeczywistości to idealny język porozumienia z chirurgami i pole testów innowacyjnych rozwiązań [2]. Z powodzeniem było wykorzystywane do weryfikacji rozwiązań konstrukcyjnych robota na podstawie ich użyteczności do określonej procedury chirurgicznej. Sala została wyposażona we wszystkie projektowane roboty, narzędzia mechatroniczne (Robin Heart Uni System) oraz wybrane typowe narzędzia chirurgiczne i elementy sali operacyjnej. Technologia wirtualnej rzeczywistości może doskonale służyć jako interaktywne narzędzie szkoleniowe ale również jako wizualizacja programów doradczych zwiększająca skuteczność podejmowanych decyzji oraz precyzję wykonywanych zadań.

■ TESTY IN VIVO

Wydana przez Komisję Etyczną decyzja (uchwała nr 78/2008 z dnia 15 grudnia 2008 r.) obejmowała zgodę na wykonanie trzech różnych eksperymentów na



Rysunek 9. Roboty. In vivo. Robin Heart mc² i jego użycie podczas eksperymentu na zwierzętach [2]
 Figure 9. Robots. In vivo. Robin Heart mc² and usage of this robot on animal experiments [2]

zwierzętach (świniach) robotami Robin Heart: operację pęcherzyka żółciowego, operację naprawczą zastawek serca oraz pomostowanie naczyń wieńcowych. Badania sfinansowała Fundacja Rozwoju Kardiologii w Zabrze. Poddano testom następujące modele robotów chirurgicznych: Robin Heart 1 i Robin Heart 2 (2003), Robin Heart 3 (2007), Robin Heart Vision (2007) oraz Robin Heart mc² (2010) różniące się m.in. koncepcją sterowania i mocowania [2].

Celem projektu było przetestowanie prototypowych zrobotyzowanych narzędzi chirurgicznych na zwierzętach i określenie ich właściwości funkcjonalnych do wykonania typowych zabiegów chirurgicznych. Na podstawie wiedzy o zakresie stosowania robotów dokonano wyboru reprezentatywnych eksperymentów, które przeprowadzono w Centrum Medycyny Doświadczalnej Śląskiego Uniwersytetu Medycznego (CMD SUM, Rys. 9):

- Usunięcie pęcherzyka żółciowego; od takiej operacji w 1997 roku zaczęła się historia zrobotyzowanej chirurgii.
- Pomostowanie aortalno-wieńcowe z użyciem robota chirurgicznego (TECAB); główny obszar zainteresowania twórców i odbiorców robotów w latach 90., pierwsze próby kliniczne w 1999 roku.
- Operacja zastawki mitralnej; ten rodzaj operacji otwiera w 1998 roku historię zrobotyzowanej kardiologii.

Wykonane próby pozwoliły na wyciągnięcie wniosków o gotowości wdrożeniowej robota toru wizyjnego Robin Heart Vision oraz weryfikacji pozytywnej koncepcji oraz rozwiązań konstrukcyjnych systemu

narzędzi mechatronicznych Robin Heart Uni System i nowego, multizestawowego, modułowego robota Robin Heart mc². Zespół konstruktorów uzyskał niezbędne informacje i rekomendacje dotyczące dalszych prac zmierzających do przygotowania produktu rynkowego.

■ PODSUMOWANIE

Ramy tej publikacji nie pozwalają na podanie pełnych danych dotyczących prowadzonych badań robotów przez nasz zespół, przez prawie 20 lat, ale mam nadzieję, że podane informacje mogą być przydatne dla twórców robotów poszukujących inspiracji oraz partnerów do prowadzonego procesu badawczo-wdrożeniowego.

Nasz robot toru wizyjnego Robin Heart PortVision-Able przygotowywany jest do wdrożenia. Licencja FRK została sprzedana firmie Meden Inmed z Koszalina. Zabrzeński zespół, w ramach dostępnych środków, rozwija robota chirurgicznego wzmacniając jego funkcjonalności o sprzężenie siłowe i nowe narzędzia.

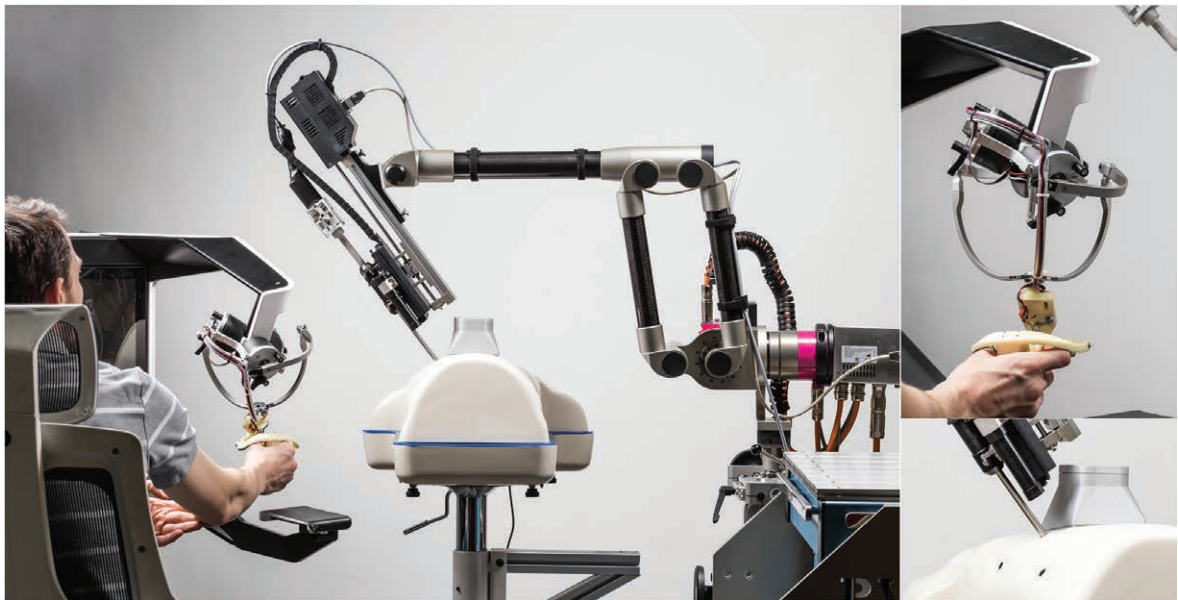
Celem tej publikacji było również przedstawienie możliwości FRK jako partnera badawczego dla MŚP wspieranych przez projekt Digital Innovation Hub Robotics in Healthcare HERO. Dlatego zdecydowałem się na przedstawienie wizualne wybranych elementów systemu badawczego w postaci ilustracji z podpisami dwujęzycznymi – co w zamierzeniu ma stanowić poznawczą narrację dla potencjalnych beneficjentów.

Roboty medyczne warto robić, dobrze i tanio, by były dostępne dla wszystkich. Czekają na nich lekarze i ich pacjenci. Będą, są ważne dla każdego z nas.



Rysunek 10. Badania. Teleoperacja Zabrze (FRK) – Katowice (CMD SUM) [2]

Figure 10. Research. Teleoperation on tissue model in human phantom at distance Zabrze (FRK) – Katowice (CMD SUM) [2]



Rysunek 11. Badania. Stanowisko badawcze sprzężenia siłowego [7]

Figure 11. Research. Test stand for force feedback [7]

■ PODZIĘKOWANIA

Autor składa podziękowania swoim współpracownikom i wszystkim, którzy w jakikolwiek sposób wsparli projekt. Projekt Robin Heart był finansowany przez Fundację Rozwoju Kardiochirurgii, sponsorów i wykonywany w ramach grantów krajowych: KBN 8 T11E 001 18, PW-004/ITE/02/2004, R1303301, R13 0058 06/2009, NCBR: R1303301 and R13 0058 06/2009, Robin PVA – nr 178576, TeleRobin – nr 181019 oraz europejskich STIFF-FLOP FP7 European project FP7/ICT-2011-7-287728, ENIAC “INCITE” project No.621278.

■ BIBLIOGRAFIA

- [1] Nawrat Z.: Roboty i manipulatory w medycynie. Mechanika Techniczna. Tom 12. Biomechanika. Red. R. Będziński. Warszawa: IPPT PAN 2011, 753–827.
- [2] Nawrat Z.: Robot chirurgiczny – projekty, prototypy, badania, perspektywy, Rozprawa habilitacyjna, Katowice 2011
- [3] EP 15179357.7 Tool manipulator for a training and testing medical device 31.07.2015. Twórcy: Nawrat Z., Lis K, Lehrich K., Mucha Ł., Rohr K., Publikacja 06.06.2018
- [4] P.422691 Urządzenie testujące do celów medycznych Twórcy Z. Nawrat, K. Lis, K. Lehrich, Ł. Mucha, Złożony 13.09.2017
- [5] Malota Z., Nawrat Z., Sadowski W., Symulatory chirurgii małoinwazyjnej. Inżynieria Biomateriałów, Numer 126, Rok XVII, Lipiec 2014, str. 2-11, Minimally invasive surgery simulation, Engineering of Biomaterials, Number 126, Volume XVII, July 2014, 2-11, ISSN 1429-7248
- [6] Malota Z., Nawrat Z., Sadowski W.; Benchmarking for Surgery Simulators, Soft and Stiffness-controllable Robotics Solutions for Minimally Invasive Surgery: The STIFF-FLOP Approach River Publishers Series in Automation, Control and Robotics Editors: Jelizaveta Konstantinova, Helge Wurdemann, Ali Shafiq, Ali Shiva, Kaspar Althoefer, pp 309-32, 2018
- [7] Krawczyk D., Mucha Ł., Lis K., Nawrat Z., Robot medyczny Robin Heart Duo - badania funkcjonalne sprzężenia siłowego. Wydawnictwo Naukowe TYGIEL sp. z o.o. 2019 – w druku materiały pokonferencyjne