

**XI OGÓLNOPOLSKA KONFERENCJA TEORII MASZYN
I MECHANIZMÓW****11th POLISH CONFERENCE ON THE THEORY OF MACHINES
AND MECHANISMS****27—30. 04. 1987 ZAKOPANE**

Adam MORECKI

Instytut Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej
Politechnika Warszawska**WYBRANE ZAGADNIENIA BIOMECHANIKI I ROBOTYKI
ORAZ ICH WZAJEMNE POWIĄZANIA**

Streszczenie. W pracy, opierając się na danym zakresie dyscyplin biomechaniki i robotyki, omówiono tematykę tych obu dziedzin nauki i techniki, ich związki wzajemne oraz powiązania z innymi dyscyplinami nauki, jak bioniką, biocybernetyką i inżynierią rehabilitacyjną.

Omówiono również metody i narzędzia stosowane w badaniach biomechanicznych i w zakresie robotyki. Podkreślono szczególną rolę modelowania matematycznego, metod doświadczalnych, obliczeniowych i techniki komputerowej w badaniach podstawowych oraz w zastosowaniach.

Ponieważ badania w tych obu dziedzinach wiedzy noszą wyraźnie interdyscyplinarny charakter, w pracy krótko omawia się różne zagadnienia towarzyszące, a mianowicie kwestię współpracy w mieszanych zespołach inżyniersko-biologiczno-medycznych, terminologii oraz zasad, którymi należy kierować się budując urządzenia techniczne, wykorzystujące pewne własności organizmów żywych do budowy urządzeń technicznych.

1. Pewne zagadnienia biomechaniki

Biomechanika jest dziedziną zajmującą się badaniem ruchu oraz mechanizmów ruch ten wywołujący ze szczególnym uwzględnieniem człowieka oraz zwierząt i owadów [1].

Jako dziedzina zbliżona do mechaniki i mechaniki maszyn, biologii, medycyny, sportu, ergonomii i innych jest szczególnie trudna do szczegółowego zdefiniowania. Łatwiejsze jest określenie zakresu badań i zastosowań biomechaniki.

Według podziału przyjętego na VII Międzynarodowym Kongresie Biomechaniki, który odbył się w Warszawie w dniach 18-21.09.1979 roku [2], można wyróżnić następujące działy biomechaniki

biomechanikę inżynierską,

biomechanikę medyczną,
biomechanikę sportu,
biomechanikę ogólną,

które związane są z bioniką, biocybernetyką, inżynierią biomedyczną, ergonomią i inżynierią rehabilitacyjną, a w ostatnich latach z teorią manipulatorów i robotów lub ogólnie z robotyką.

W ostatnich 30 latach można zaobserwować, że do tej dziedziny, która była tradycyjnie domeną działalności fizjologów, chirurgów, ortopedów i wychowawców fizycznych włączyli się matematycy, fizycy i inżynierowie, którzy w "posagu" wnieśli i nadal wnoszą metody i metodyki badań ścisłych, eksperymentalnych i inżynierskich. Stąd biomechanika medyczna i sportu w coraz większym stopniu wykorzystują metody fizycznego i matematycznego modelowania oraz metody badań inżynierskich w zakresie obliczeń, projektowania, pomiarów i eksploatacji.

Ponieważ obiekt badań - żywy organizm lub jego część, jest bardzo skomplikowany pod względem budowy i funkcji, często badacz musi łączyć sztukę profesjonalną z niezbędnym ładunkiem wiedzy ścisłej, nie mówiąc już o intuicji. Stąd zadaniem specjalistów z dziedzin pozainżynierskich jest konieczność podwyższenia swojego poziomu wiedzy ścisłej, a zadaniem matematyków i inżynierów zwiększenie zasobu wiedzy z biologii, nauk medycznych i wychowania fizycznego, w celu stworzenia korzystniejszych warunków współpracy między sobą w mieszanym zespole z jednej strony oraz z pacjentami lub sportowcami z drugiej strony.

Omówimy pokrótce tematykę badawczą biomechaniki. W zakresie biomechaniki inżynierskiej (biomechanics of engineering) przedmiotem zainteresowania badaczy są: studia i modelowanie ruchu, techniki pomiarowe ruchu, lokomocja (chód, bieg, skok, lot), badanie postawy, badanie własności mechanicznych i elektrycznych mięśni, kości, tkanki łącznej, ścięgien, płynów biologicznych, własności mechanicznych i regulacyjnych układu szkieletowo-mięśniowego, synteza i projektowanie urządzeń wspomagających lub zastępujących utracone funkcje kończyn lub innych narządów i organów zarówno wewnętrznych, jak i zewnętrznych, inżynieria rehabilitacyjna, ochrona organizmu przed skutkami drgań, zderzeń, hałasu oraz zagadnienia na styku człowiek-maszyna lub system, a ostatnio maszyna z określonym poziomem, "inteligencji" maszynowej.

Biomechanika medyczna zajmuje się głównie neurofizjologicznymi aspektami układu mięśniowo-stawowego, elektromiografią, elektroencefalografią, klinicznymi aspektami przepływu płynów biologicznych, funkcjonalną stymulacją elektryczną mięśni, nerwów i kości, FSE zastosowaną do eliminacji bólu, protetyka, ortotyka, badaniem chodu w patologii, implantami, skutecznymi metodami rehabilitacji.

Biomechanika sportu zajmuje się m.in. badaniem i modelowaniem ruchu zawodnika wykonującego różne ćwiczenia gimnastyczne, podnoszenie ciężarów, skoki o tyczce, pływanie, jazdę na nartach, kołowrót wielki, rzut dyskiem i wiele innych.

Biomechanika ogólna zajmuje się metodami i metodykami badawczymi, ogólnymi zagadnieniami mierniczymi i aparaturowymi, technikami komputerowymi, biomateriałami i innymi.

Należy podkreślić, że przyjęty podział tematyczny jest umowny i należy go traktować jako porządkujący. Często granice między wyróżnionymi działami biomechaniki zacierają się [3].

Jak już podkreślono, obiekt badań jest bardzo złożony i stąd istotne trudności związane z jego pełną analizą. Badacze stają więc przed koniecznością dokonywania przy wyborze modelu niezbędnych uproszczeń zarówno samego modelu, jak i jego opisu, rozwiązania i wnioskowania.

Jednocześnie występowanie zjawisk mechanicznych, elektrycznych, chemicznych, przepływowch, cieplnych powoduje, że budując model np. do badania mechanizmu skracania mięśnia świadomie przyjmujemy tylko model mechaniczny lub elektryczny lub biochemiczny w zależności od celu badawczego i przygotowania badacza. Ponadto jednoczesne badanie złożonego modelu mechaniczno-elektryczno-biochemicznego nie wydaje się na razie możliwe. Model mechaniczny okazuje się użyteczny do badania różnych charakterystyk mechanicznych, jak np. zależności siła-długość, siła-prędkość, moc-prędkość. Ponieważ każdej działalności mięśnia towarzyszy działalność elektryczna do określenia związku siła-elektromiogram, należy zbudować specjalny model, różny w zależności od warunków pracy, statycznych lub dynamicznych. Do wytłumaczenia mechanizmu skracania mięśnia nie wystarczy prosty model mechaniczny lub elektryczny, należy więc sięgnąć do zjawisk biomechanicznych. Powszechnie uznanym modelem jest tutaj model ślizgowej teorii skracania włókienka mięśniowego [4].

W ostatnich latach zainteresowania badaczy zajmujących się biomechaniką inżynierską, skupiają się na następujących zagadnieniach: ustalania uściślonych danych geometrycznych, kinematycznych, dynamicznych i regulacyjnych całego człowieka, jego części, mięśnia, zespołu mięśni, stawów, ścięgien i innych; wyboru modeli dynamicznych służących do analizy i symulacji postawy ciała, lokomocji dwunożnej człowieka oraz technik i metod mierniczych do badania chodu, biegu i skoku: ustalania modeli do badania przenoszenia obciążeń przez poszczególne stawy oraz obciążeń występujących pomiędzy stopą a podłożem podczas chodu i biegu dla celów poznawczych i rehabilitacyjnych.

Nadal aktualnym zagadnieniem badawczym pozostaje wyznaczanie charakterystyk siła-długość, siła-prędkość niezbędnych do prowadzenia różnych analiz biomechanicznych.

Kontynuowane są prace z zakresu oceny współdziałań mięśni w realizacji ruchów kończyn w warunkach statycznych i dynamicznych.

Wymieniona przykładowo tematyka badawcza jest na ogół podejmowana przez inżynierów mechaników, automatyków, cybernetyków, fizyków i matematyków we współpracy z biologami, biochemikami, fizjologami, neurofizjologami i ortopedami oraz ze specjalistami teorii sportu i kultury fizycznej. Omówimy bliżej niektóre z wymienionych zagadnień ilustrując je uzyskanymi ostatnio wynikami badań.

Identyfikacja własności geometrycznych mięśni wbudowanych, jak: położenia przyczepów, przebieg włókien mięśniowych, zmiany przekroju poprzecznego mięśnia podczas jego skracania, zmiana promieni sił mięśniowych w funkcji kąta obrotu w stawie, nie jest sprawą banalną. Dotychczasowe metody badania na zwłokach oraz zwierzętach okazują się niewystarczające. Bardziej korzystne są wyniki uzyskane bezpośrednio na badanych. Z grupy nieinwazyjnych metod pomiarowych rokujące nadzieje wydają się: metoda izotopów znaczonych oraz ultrasonograficzna. Te metody umożliwiają uzyskanie różnych danych o mięśniu nawet położonym dość głęboko oraz jego odtworzenie metodami symulacji komputerowej. Interesująca również wydaje się metoda tomografii komputerowej do ustalania przekrojów poprzecznych mięśni. Wprawdzie pomiary są uciążliwe i bardziej jakościowe, niemniej jednak na tej drodze udaje się uzyskać dotąd niedostępne informacje [5].

Nadal aktualną sprawą pozostaje ustalenie związku pomiędzy siłą rozwijaną przez mięsień w ruchu a towarzyszącymi zjawiskami elektrycznymi. Ze względu na złożoną budowę mięśnia ustalenie jego globalnej aktywności elektrycznej w postaci transmitancji operatorowej nie jest sprawą prostą i wymaga dalszych badań.

Znając geometrię i usytuowanie zespołu mięśni obsługujących dany staw oraz występujące zjawiska elektryczne, po dokonaniu wyboru modelu stawu, można ocenić współdziałły mięśni w różnych aktach ruchowych, np. szybkiego zginania lub prostowania w stawie łokciowym. W warunkach statycznych rozwiązanie przybliżone takiego zadania jest stosunkowo proste dla stawów o jednym lub dwóch stopniach swobody. W przypadku stawu o trzech stopniach swobody zadanie to nie zostało dotąd rozwiązane nawet w sposób przybliżony i jest nadal przedmiotem badań [6].

Oddzielną sprawą pozostaje wybór kryterium współdziałania mięśni. Czasami wystarcza prosta zgodność momentu zewnętrznego i sumy momentów sił mięśniowych dla badanego zakresu ruchu, obciążeń i prędkości. Czasami należy sięgnąć do innych kryteriów, jak minimum siły lub reakcji w stawie. Zagadnienie badania współdziałania mięśni w warunkach dynamicznych komplikuje się. Użyteczne okazują się tutaj modele dynamiczno-regulacyjne. Związki typu siła-długość, siła-prędkość, siła-elektromiogram dla ruchów szybkich mają odmienny przebieg niż dla sytuacji w statyce lub quasi-statyce. Ich ustalenie nawet dla prostych stawów nie jest łatwe. Nie jest również sprawą prostą ustalenie niezbędnych do obliczeń parametrów dynamicznych stawu. Również wybór kryterium zgodności dla sytuacji dynamicznych nie jest sprawą prostą. Interesujące okazało się przyjęcie kryterium minimalno-czasowego do oceny szybkich ruchów w stawie o jednym stopniu swobody [7, 8]. Wydaje się celowe skorzystanie tutaj również z kryterium dokładności położenia w przestrzeni, jak również kryterium energetycznego [9].

Kolejnym zagadnieniem, które krótko zasygnalizujemy, jest zagadnienie postawy człowieka tzn. równowagi postawy przy różnych wymuszeniach. W niniejszym artykule nie będziemy się tym zajmować, natomiast jako model przyjmuje się

otwarty łańcuch kinematyczny o 3,5 lub siedmiu stopniach swobody. Decyzja o zastąpieniu układu posiadającego 240-250 stopni swobody obsługiwanego przez około 600 siłowników mięśniowych przez układ o kilku stopniach swobody, jest oczywiście grubym przybliżeniem, ale umożliwia prowadzenie takich badań. Po ustaleniu modelu oraz sposobu wymuszenia (np. platforma ruchoma-obrotowa) można ustalić dopuszczalne wychylenia każdego z członów łańcucha, przy których układ pozostaje w równowadze, tzn. nie przewraca się [10, 11]. Badanie chodu lub biegu prowadzone jest przy wykorzystaniu modeli posiadających od 5,7 do 15 stopni swobody, płaskich i przestrzennych. Głównym celem tych badań jest przy zadanej geometrii, kinematyce i parametrach dynamicznych (masy, momenty bezwładności), wyznaczenie momentów w głównych stawach w funkcji kątów stawowych. Znajomość momentów jest niezbędna do różnych celów technicznych, medycznych (rehabilitacyjnych) oraz treningu sportowego. Badanie chodu lub biegu jest prowadzone na drodze doświadczalnej przy wykorzystaniu różnych technik pomiarowych, jak filmu, telewizji, lasera w połączeniu z rejestracją reakcji podłoża (rozkładu nacisków) przy użyciu wyspecjalizowanych platform tensometrycznych. Wykresy rozkładu nacisków (wektorowe lub przestrzenne) pozwalają na wnioskowanie o rodzaju chodu i postępach w procesie rehabilitacji [12, 13, 14]. Kończąc omawianie wybranych przykładów badawczych w zakresie biomechaniki inżynierskiej, pragniemy zwrócić uwagę na pewne sprawy metodyczne. Na gruncie analizy statycznej i dynamicznej staramy się sprowadzić analizowane zagadnienie do możliwie prostego modelu i opisu poddającego się analizie numerycznej. Jeżeli przedmiotem analizy jest badanie własności mechanicznych obiektu, np. typu kończyna lub cały człowiek, stosuje się modele typu otwartych łańcuchów kinematycznych płaskich lub przestrzennych o kilku lub kilkunastu stopniach swobody. Na ogół w pierwszym przybliżeniu pomija się tarcie i luzy w połączeniach. Jeżeli analiza dotyczy zagadnień drganiowych, to korzystamy z wielomasowych modeli dyskretnych, na ogół liniowych. Stopień komplikacji modelu zależy od celu badawczego z jednej strony oraz możliwości ustalenia parametrów masowych, sztywnościowych lub tłumienia z drugiej strony [15].

W obecnej fazie badań wydaje się celowe pominięcie różnych nieliniowości, które na ogół bardzo komplikują badania.

W przypadku prowadzenia analizy związanej ze sterowaniem lub regulacją korzysta się zwykle z modeli stosowanych w teorii sterowania i automatyce. W przypadku analizy przepływu płynów biologicznych korzysta się z różnych metod mechaniki płynów. Analiza zjawisk cieplnych wymaga korzystania z metod i modeli termodynamicznych. Badania wytrzymałościowe lub zmęczeniowe prowadzone są przy wykorzystaniu metod stosowanych w technicznych badaniach wytrzymałości materiałów i konstrukcji zarówno metalowych, jak i plastikowych. Oczywiście bezpośrednio stosowanie modeli mechanicznych, elektrycznych, regulacyjnych, przepływowych, cieplnych do obiektu żywego nie jest możliwe. Należy podchodzić do tej sprawy ostrożnie i w miarę możliwości uwzględnić skomplikowaną naturę obiektu biologicznego. Weryfikacja doświadczalna bardzo pomaga w badaniach, należy jednak bardzo ostrożnie wyciągać

wnioski z badań. Nawet pozorna zgodność wyników badań teoretycznych, symulacyjnych czy eksperymentalnych nie świadczy o poprawności analizy i opisu przebiegu zjawiska.

2. Wybrane zagadnienia robotyki

Robotyka jest dziedziną nauki i techniki zajmującą się wszystkimi problemami dotyczącymi mechaniki, sterowania ruchem, sensoryki, inteligencji maszynowej, projektowania, zastosowań i eksploatacji manipulatorów, robotów i maszyn kroczących [16].

Można wyróżnić następujące działy robotyki:

- robotykę teoretyczną (teorię manipulatorów i robotów),
- robotykę przemysłową (zastosowanie manipulatorów i robotów w przemyśle, budownictwie, rolnictwie, transporcie, chemii, górnictwie, energetyce, łączności, do prac pod wodą i w przestrzeni kosmicznej),
- robotykę medyczną i rehabilitacyjną (manipulatory i roboty rehabilitacyjne, układy człowiek - maszyna (system),
- robotykę maszyn kroczących (jedno-, dwu-, cztero-, sześćo- i wielonożnych, mieszanych kołowo-nożnych),
- robotykę ogólną (metody, aspekty ekonomiczne, socjalne, społeczne, kształcenia, terminologii, rozwój i tendencje).

Problematyka badawcza robotyki teoretycznej dotyczy zagadnień mechaniki w zakresie analizy i syntezy łańcuchów kinematycznych manipulatorów i robotów z uwzględnieniem tarcia, luzów, podatności dokładności, zagadnień doboru i projektowania napędów i ich układów sterowania ruchem, sensorów i inteligencji maszynowej.

Przedmiotem szczególnego zainteresowania badaczy są w ostatnim okresie badania: dokładności pozycjonowania, realizacji trajektorii w przestrzeni z przeszkodami (unikanie kolizji), czynnego sterowania siłowego, projektowania robotów wspomagane komputerem. komunikacji głosowej, własności elastycznych manipulatorów.

Przy rozwiązywaniu tych zagadnień korzysta się z całej klasy metod mechaniki, teorii sterowania, informatyki, cybernetyki, teorii systemów, miernictwa oraz wyspecjalizowanych działów matematyki współczesnej. Główną domeną działania robotyki przemysłowej jest kompleks zagadnień związanych z aplikacją manipulatorów i robotów przemysłowych do celów robotyzacji takich procesów produkcyjnych, jak odlewnictwo, spawalnictwo, malarstwo i lakiernictwo, montaż, obsługa pras i wiele innych procesów przemysłowych, wymagających znacznego wysiłku fizycznego, szkodliwych i niebezpiecznych dla człowieka [17, 18].

Zastosowania robotów przemysłowych w ostatnich latach wybiegają poza obszar szeroko pojętego przemysłu elektromaszynowego i dotyczą: przemysłów: górniczego, hutniczego, lotniczego, okrętowego, rolnictwa, transportu, bu-

downictwa, łączności, chemii, leśnictwa i wielu innych. Rozwijającym się działem są tutaj badania podwodne oraz w przestrzeni kosmicznej i na innych planetach.

Przyszłość robotyki przemysłowej to elastyczne systemy produkcyjne oraz bezludne fabryki [19].

Prace badawcze i aplikacyjne w dziedzinie robotyki medycznej i rehabilitacyjnej koncentrują się na wykorzystaniu pewnych istniejących typów manipulatorów i robotów do celów chirurgii, terapii wspomagania narządu ruchu, obsługi pacjentów. Występuje tutaj cały kompleks zagadnień na styku człowiek - maszyna (system), a ostatnio człowiek (pacjent) - "inteligenta" maszyna lub system (manipulator lub robot stacjonarny lub mobilny). Wiele znanych rozwiązań stosowanych w warunkach przemysłowych nie daje się bezpośrednio wykorzystać do tych celów i należy poszukiwać tutaj nowych rozwiązań, szczególnie w zakresie sterowania ruchem, sensoryki oraz rozpoznawania sytuacji w otoczeniu. Jest to dziedzina stosunkowo nowa i ciągle jeszcze nieukształtowana. Ze względu na styk człowieka z urządzeniem technicznym w wielu przypadkach zagadnienia antropomorfizmu lub bioniczności umożliwiają lepszą komunikację i współpracę [20, 21].

Robotyka maszyn kroczących jest dziedziną zajmującą się mechaniką, projektowaniem i sterowaniem ruchu jedno-, dwu-, cztero-, sześci- i wielonożnych maszyn kroczących lub mieszanych nożno-kołowych. Wykorzystuje się do tego celu różne własności ruchu owadów lub ssaków palcochodnych, ich budowy, własności sterowniczych odnoży lub kończyn, rodzajów chodu, biegu lub skoku.

Wobec dużego bogactwa i typów lokomocji nożnej spotykanych w przyrodzie, wybór optymalnego rodzaju chodu maszyny jest jednym z podstawowych i trudnych zagadnień. Kolejnym trudnym zagadnieniem jest wybór modelu maszyny, struktury nogi, liczby nóg, ich konfiguracji oraz układu sensorów i sterowania ruchem nóg i całej maszyny. Zagadnienia ukształtowania terenu, rozpoznawania sytuacji, kwestie stabilności maszyny stanowią dodatkowe utrudnienie podczas analizy i projektowania. Stopień trudności realizacji maszyny kroczącej lub skaczącej wzrasta wraz ze zmniejszeniem się liczby nóg. Maszyny jedno- i dwunożne są tutaj odpowiednim przykładem.

Specjalną klasę maszyn stanowią maszyny dwunożne o dużym stopniu antropomorfizmu - człekokształtne.

Najbardziej zaawansowaną konstrukcją lat ostatnich jest tutaj robot - muzyk [22].

Odpowiednie wykorzystanie wielopoziomowych układów sterowania, ekstremalnych regulatorów, inteligencji maszynowej, wydaje się niezbędne dla dalszego rozwoju tych maszyn i umożliwi im przejścia od kroczenia (zwanego czasem peżaniem) do ruchu szybkiego i z czasem biegu [23, 24, 25, 26]. Interesującym kierunkiem wydaje się tutaj maszyna o ruchu wężopodobnym, która w realizacji technicznej jest maszyną kołowo-nożną. Robotyka ogólna zajmuje się różnymi aspektami robotyki, a mianowicie ekonomicznymi, socjalnymi, społecznymi, kształcenia, ochrony i bezpieczeństwa pracy. Ważnym działem jest tutaj terminologia i jej standaryzacja.

Jest to stosunkowo słabo rozwinięty dział robotyki i jak dotąd nie dysponuje się własnymi i pewnymi metodami oceny skutków ekonomicznych, socjalnych i społecznych robotyzacji. Również sprawa terminologii nie jest ustalona jednoznacznie.

3. Wykorzystanie własności biomechanicznych człowieka, zwierząt i owadów do budowy manipulatorów, robotów i maszyn kroczących

Wykorzystując omówioną w poprzednich rozdziałach tematykę badawczą biomechaniki i robotyki, na kilku przykładach zilustrujemy możliwości wykorzystania pewnych własności strukturalnych, napędu, sterowania, receptorów i inteligencji do budowy bardziej rozwiniętych manipulatorów, robotów i maszyn kroczących [16].

Uproszczona struktura kończyny górnej i dolnej człowieka została wykorzystana pod względem konfiguracji par kinematycznych i ich rozmieszczenia oraz przestrzeni roboczej do budowy klasy manipulatorów typu kończyna. Duże uproszczenia w stosunku do oryginału wynikają z trudności sterowania parami wyższych klas, rozmieszczenia napędów oraz specjalizacji manipulatora bądź robota.

Cecha wielostawowości napędów łańcucha manipulatora typu kończyna górna i dolna człowieka lub zwierzęcia, jest stosunkowo słabo wykorzystana w budowie manipulatorów, z wyjątkiem klasy manipulatorów kopiujących typu linkowego [27]. Wydaje się, że ta kwestia jest wciąż otwarta i napęd tego typu posiada wiele zalet w porównaniu do klasycznego napędu indywidualnego stosowanego w budowie maszyn. Napęd jednostronnego działania wymaga wprawdzie większej liczby siłowników, ale zapewnia większą elastyczność sterowania, oszczędności energetyczne i większą pewność pracy [28].

Współczesne układy sterowania manipulatorów i robotów nie wykorzystują własności hierarchii, wielopoziomowości i autonomii właściwych układom żywym. Ciekawa właściwość autonomii określonych poziomów sterowania oraz zachowanie decyzji dla poziomów wyższych w przypadku organizmów żywych dają określone korzyści informacyjne, energetyczne nie angażując wyższych poziomów do czynności typowych oraz posiadają ważną własność uczenia się i doskonalenia czynności ruchowych. W zakresie układu sensorycznego współczesne roboty znacznie ustępują możliwościom człowieka, zwierząt i owadów. O ile narząd wzroku i dotyku zaczyna być coraz powszechniej stosowany w budowie manipulatorów i robotów, to narządy słuchu, mowy, smaku, węchu są raczej w stadium badań laboratoryjnych. Pod względem liczby receptorów najbardziej zaawansowane urządzenia techniczne jest bardzo "zacofane" w stosunku do układu biologicznego.

Własności ruchu falowego odnoży owadów są już wykorzystywane w konstrukcji maszyn kroczących. Również hierarchiczne układy sterowania zaczynają tutaj odgrywać pewną rolę. Jak dotąd są to tylko jednak działające modele i prototypy maszyn kroczących [25].

Są bardzo powolne i nie mają możliwości realizacji ruchu szybkiego. Składa się na to wiele przyczyn, z których na plan pierwszy wysuwa się niedoskonałość konstrukcji mechanicznej, kwestie stabilności oraz ograniczone możliwości komputerowe w zakresie przetwarzania informacji. Również i w tym zakresie istnieją duże możliwości usprawnienia konstrukcji istniejących przez zwiększenie stopnia ich bioniczności rozwiązania. Wymaga to jednak pogłębionych badań w zakresie mechanizmów sterowania ruchem u owadów i ssaków palcochodnych.

Duże możliwości stwarza wykorzystanie ruchu wężopodobnego, trąby słońca i języka do budowy nowej klasy manipulatorów elastycznych. Interesujące możliwości stwarzają tutaj materiały posiadające własność pamięci kształtu [29, 30].

Należy tutaj wyraźnie podkreślić, że kopiowania różnych własności biomechanicznych człowieka, zwierząt lub owadów nie jest celowe ani możliwe ze względu na różnice materiałowe, budowy i własności organizmów żywych. Rozwiązania techniczne umożliwiają ponadto realizację ruchów, które nie występują w przyrodzie (np. koło lub para postępową). Wydaje się jednak interesujące wykorzystanie pewnych własności strukturalnych, napędu, sterowania, czucia i rozpoznawania w budowie bionicznych i antropomorficznych manipulatorów i robotów. Należy również podkreślić celowość podjęcia odpowiednich badań w zakresie biomechanicznych własności organizmów żywych w celu ich wykorzystania w robotyce.

4. Zagadnienia towarzyszące badaniom interdyscyplinarnym

Badania na styku kilku dyscyplin wymagają współpracy specjalistów reprezentujących wiedzę o obiekcie z jednej strony oraz wiedzę ścisłą, inżynierską i eksperymentalną z drugiej strony. Jak już wspomniano, wymagany jest określony stopień przygotowania obu stron w celu zapewnienia lepszej komunikacji i porozumienia różnych specjalistów. Ważną rolę odgrywają tutaj sprawy terminologiczne [31], metodologiczne, umiejętność prowadzenia badań doświadczalnych, zbierania i opracowywania danych oraz wnioskowania [32, 33, 34, 35, 36]. Prawidłowe sformułowanie celu badawczego, umiejętność wyboru obiektu badań, narzędzi oraz metody i metodyki badawczej wymagają głębokiego przedyskutowania różnych aspektów zagadnienia przez odpowiednio dobrany zespół ekspertów. Decydujący głos należy jednak do największego znawcy badanego obiektu. Stałe seminarium służące do wymiany poglądów w trakcie prowadzenia badań ułatwia lepsze ukierunkowanie dalszych prac i zrozumienie zagadnienia oraz służy kształceniu młodych badaczy. Konfrontacja własnych wyników na forach szerszych zarówno krajowych, jak i zagranicznych jest dalszym krokiem na drodze weryfikacji poziomu i oryginalności badań.

LITERATURA

- [1] MORECKI A.: (Editor), Biomechanics of Motion. CISM, Courses and Lectures. No 263. Springer-Verlag. Wien-New York, 1980.
- [2] MORECKI A., FIDELUS K., KĘDZIOR K., WIT A.: (Editors), Biomechanics VII-A, Proceedings of the Seventh International Congress of Biomechanics. Warsaw, Poland 18-21 Sept. 1979. Polish Scientific Publishers, Warsaw University Park Press, Baltimore, 1981.
- [3] MORECKI A.: Modern Biomechanics, Its Foundations and Objectives in Engineering, Medicine and Sport. Proceedings of the Fifth World Congress on the Theory of Machines and Mechanisms. Vol. 1, July 8-13, Montreal, Canada.
- [4] MORECKI A.: Manipulatory bioniczne. PWN, Warszawa 1976.
- [5] DĄBROWSKA A. and KĘDZIOR K.: Modelling of the spatial structure of man's upper limb. "Biology of Sport". Vol. VIII. No 3 PWN Warsaw, 1986 (in printing).
- [6] GIELO K.: Metoda określenia roli i udziałów siłowników mięśniowych w połączeniu obrotowych wyższej klasy (na przykładzie stawu ramiennego). (Praca doktorska).
- [7] MORECKI A., KĘDZIOR K., BIEŻANOWSKA E., DĄBROWSKA A. and PAŚNICZEK R.: Cooperation of Muscles under Dynamic Conditions with Stimulation Control. Control Aspects of Prosthetics and Orthotics. Proceedings of the IFAC Symposium, Ohio, USA, 7-9 May 1982. Ed. by R.M. Cambell Published for the IFAC by Pergamon Press, 1983.
- [8] MORECKI A. and KĘDZIOR K.: Dynamic Modelling and Synthesis of Biomechanical Systems. Proceedings of the 1984 Summer Computer Simulation Conference. July 23-25 1984. Printed in the USA.
- [9] MACUKOW B.: Modelowanie układów sterowania ruchem manipulatorów bionicznych. Rozprawa habilitacyjna. WPW, Warszawa 1985.
- [10] KOCZEKANANI S.H., BARIN R., MCGHEE R.B. and CHANG.: A. Recursive Free-Body Approach to Computer Simulation of Human Postural Dynamics. Control Aspects of Prosthetics and Orthotics. Proceedings of the IFAC Symposium, Ohio, USA, 7-9 May. 1982. Edited by R.M. Cambell. Published for the IFAC by Pergamon Press, 1983.
- [11] DMOWSKA E.: Badanie stabilności postawy otwartych łańcuchów kinematycznych człowieka metodami symulacji komputerowej. Praca magisterska, Wydział MEiL P.W. Sierpień 1984.
- [12] MCGHEE R.B.: Computer Simulation of Human Movements. Biomechanics of Motion (Ed. A. Morecki). CISM. Courses and Lectures - No 263. Springer Verlag. Wien-New York, 1980.
- [13] MORECKI A., OLSZEWSKI J., JAWOREK K., MCGHEE R.B., KOOZAKANANI S.H. and BURNETT C.N.: Automatic Computer Analysis of Human Gait, Biomechanics VII-B Proceedings of the Seventh Inter. Congress of Biomechanics. Warsaw, Poland. PWN, University Park Press Baltimore, 1981.
- [14] PEDOTTI A., FRIGO C., ASSENTE R., FEERRIGNO G.: Analysis of Human Locomotion by Advanced Technologies and Methodologies, Biomechanics of Motion. Advanced School Coordinated by A. Morecki, Udine, June 24-28, 1985 (in preparation).
- [15] BAJON W., NADER M.: The Analysis of Locomotive Drivers Reaction on Certain Dynamical Loads. Proceedings of the First International CISM-IFTOMM Symposium, Man under Vibrations. Moscow, April 8-12, 1985. Nader M., Vibration Model for Man-Vehicle System. Proceedings of "Biomechanics Human Movement - Applications to Ergonomics, Sport and Rehabilitation". June 16-21 1986. Italy.
- [16] MORECKI A. and KĘDZIOR K.: Biomechanical Aspects in Robotics. Theory and Practice of Robots and Manipulators. Proceedings of the Ro. Man. Sy '84 : The Fifth CISM-IFTOMM Symposium. Ed. by A. Morecki, G. Bianchi and K. Kędzior. Kogan Page, London, Hermes Publishing, 1985.

- [17] MORECKI A.: Robotyka - Kierunki prac badawczych i aplikacyjnych na świecie i w Polsce. I Krajowa Konferencja Robotyki. Prace Naukowe ICP Politechniki Wrocławskiej. Nr 65, 1985.
- [18] Economic Commission for Europe: Production and Use of Industrial Robots. United Nation, New York 1985.
- [19] Economic Commission for Europe. Recent Trends in Flexible Manufacturing. United Nations. New York 1986.
- [20] International Conference on Telemanipulators for the Physically Handicapped. Colloques IRIA. 4-6 Sept. 1978, Paris, France.
- [21] MORECKI A.: Control Aspects of Artificial Hand. IFAC Monograph (in printing).
- [22] Bulletin of Science and Engineering Research Laboratory. Waseda University, No 112 Special Issue on Wabot-2. Japan, 1985.
- [23] Theory and Practice of Robots and Manipulators. Proceedings of Ro. man. sy '84: the Fifth CISM-IFTOMM Symposium. Ed. by A. Morecki, G. Bianchi and K. Kędzior. Part. 6. Kogan Page, London, Hermes Publishing, 1985.
- [24] JAWOREK K., POGORZELSKI W.: Chód czteronożnej maszyny kroczącej i jej sterowanie w układzie otwartym. X Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Dydaktyczna Teorii Maszyn i Mechanizmów (Zbiór referatów). Warszawa 2-5.XII.1984.
- [25] WILCZEK-ZIELIŃSKA T.: Modelowanie chodu czteronożnej maszyny kroczącej. Praca doktorska. Wydział MEiL. Politechniki Warszawskiej, 1986.
- [26] MCGHEE R.B.: Vehicular Legged Locomotion, Chapter 7. Advanced in Automation and Robotics (Ed. by G.N. Saridis). Vol. 1, 1985.
- [27] VERTUT Jean and COIFFET Phillipe: Teleoperation and Robotics. Evaluation and Development. Robots Technology. A. series of Eight Volumes. Hermes Publishing, London-Paris-Loussanne, 1984.
- [28] MORECKI A., BUSKO Z., JAWOREK K. and GASZTOLD H.: Control and Dynamic Properties of Anthropomorphic Arm Proceedings of the 16 ISIR, 29 Sept. -2nd Oct. 1986, Brussels, Belgium.
- [29] HIROSE S., IKUTA K. and UMETANI Y.: A. New Design Method of Servo-Actuators Based on the Shape Memory Effect. Theory and Practice of Robots and Manipulators. Proceedings of Ro. Man. sy '84: the Fifth CISM-ITToMM Symposium. Ed. by A. Morecki, G. Bianchi and K. Kędzior. Kogan Page London, Hermes Publishing, 1985.
- [30] MALCZYK G. and MORECKI A.: A. Mathematical Model of a Flexible Manipulator of the Elephant's-Trunke-Type. Six CISM-IFTOMM Symposium on Theory and Practice of Robots and Manipulators. PREPRINTS. Ro. man. sy '86, 9-12 September 1986. Cracow, Poland.
- [31] MORECKI A.: On the Study of the Standardization of Terminology in Interdisciplinary Sciences. MMT Journal. Vol. 18. No 3, 1983.
- [32] MORECKI A., EKIEL J., FIDELUS K.: Cybernetics Systems of Limb Movements in Man, Animals and Robots. Ellis Horwood. Publishers. Chichester PWN - Polisch Scientific Publishers. Warszawa 1984.
- [33] HUISKES R.K., DICK H. van CAMPEN, JOOAST R. de VIJN (editors): Biomechanics: Principles and Applications. Martinus Nijhoff Publishers. The Hague (Boston) London 1982.
- [34] THRING M.W.: Robots and Telechirs. Ellis Horwood Limited. Publishers. Chichester. 1983.
- [35] Podstawowe Problemy Współczesnej Techniki. Robotyka. (Pod redakcją A. Moreckiego) (PWN w druku).
- [36] BERME N. Ed. i Biomechanics of Normal and Pathological Human Articulating Joints. NATO ASI Series E. No 93, 1985.

ИЗБРАННЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОМЕХАНИКИ И РОБОТОТЕХНИКИ
А ТАКЖЕ ИХ ВЗАИМНОЕ СОЕДИНЕНИЕ

Р е з ю м е

В работе, на основании учения биомеханики и робототехники, даётся обзор научных и технических проблем этих дисциплин, их взаимные соотношения и связи с такими научными дисциплинами как бионика, биокibernетика и прочие. Рассмотряются также методы, применяемые в биомеханических исследованиях, а также в области робототехники. Подчёркивается особая роль математического моделирования, экспериментальных и расчётных методов и вычислительной техники в основных и практических исследованиях.

Так как исследования в этих областях имеют интердисциплинарный характер, в работе коротко обсуждаются различные попутные проблемы, а именно: вопросы сотрудничества в смешанных инженерных, биологических и медицинских группах учёных; вопросы терминологии и принципы, которыми надо руководиться при строении технических устройств, базируя на живых организмах.

CHOSEN PROBLEMS OF ROBOTICS
AND BIOMECHANICS AND THEIR CONNECTIONS

S u m m a r y

In this paper, based on the descriptive definitions of the biomechanics and robots, the oven of interest of the above mentioned disciplines and its connections with each other and bionics, biocybernetics and rehabilitation engineering are discussed. The methods and research methodology in biomechanics and robotics are presented. The rule of mathematical modelling, experimental methods, analytical description and computer calculations in the fundamental and research is underlined. Because of interdyscyplinarity of biomechanics and robotics in this paper some other factors like necessity of cooperation in interdyscyplinary team are discussed. Terminology and bionic aspect in the design process of technical devices are shortly presented.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Józef Wojnarowski

Wpłynęło do redakcji 12.VIII.1986 r.