



Przegląd rozwiązań konstrukcyjnych manipulatorów i głównych obszarów ich zastosowań

MICHAŁ NOWOSADZKI¹, ANDRZEJ TYPIAK², TOMASZ MUSZYŃSKI³

¹ Wojskowa Akademia Techniczna, Szkoła Doktorska, michal.nowosadzki@wat.edu.pl

² Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Inżynierii Mechanicznej,
Instytut Robotów i Konstrukcji Maszyn, andrzej.typiak@wat.edu.pl

³ Wojskowa Akademia Techniczna, Zespół Analiz i Ekspertyz,
ul. gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, tomasz.muszynski@wat.edu.pl

Streszczenie. Manipulatory to osprzęty robocze, w których kilka członów połączonych jest przegubami. Najczęściej stosowaną strukturą kinematyczną jest struktura szeregową, której końcowy element stanowi efektor w postaci głowicy technologicznej lub chwytaka. Do napędu manipulatorów stosuje się zazwyczaj jeden z trzech rodzajów układów napędowych: pneumatyczny, elektryczny lub hydrostatyczny. Obszar zastosowań takich osprzętów jest bardzo szeroki i determinuje go rodzaj wykorzystywanych efektorów, struktura kinematyczna, układ napędowy, a także platforma bazowa — stacjonarna lub mobilna. Od tego typu konstrukcji wymaga się możliwości realizacji zróżnicowanych zadań, w których konieczne jest, aby efektor dysponował wielopłaszczyznowym spektrum ruchów. Dodatkowo wskazana jest duża precyzja ruchu. Wielocłonowa konstrukcja o dużym stopniu swobody zapewnia manipulatorom wiele możliwości roboczych, ale jednocześnie sprawia trudności w efektywnym wykorzystaniu przy operowaniu manualnym. Stąd najczęściej wykorzystuje się je w robotach, w których część lub wszystkie ruchy są sterowane w sposób zautomatyzowany. Manipulatory zabudowane na platformie stacjonarnej (manipulatory robotyczne) są szeroko rozpowszechnione jako m.in. roboty przemysłowe, medyczne, badawcze. Szczególną grupą są manipulatory montowane na platformach mobilnych, zwane robotami mobilnymi. Najczęściej wykorzystuje się je do zadań specjalnych takich jak działania militarne oraz ratunkowe, a także do eksploracji trudno dostępnych terenów badawczych. Manipulatory te muszą być zdolne do przenoszenia dużych obciążeń, posiadać szeroki zakres obszaru roboczego i możliwość generowania dużych sił udźwigu. Wykorzystywanie ich do czynności niebezpiecznych chroni człowieka przed ryzykiem utraty życia lub zdrowia, a poprzez to podnosi efektywność wykonywanych prac. W ostatnich latach obserwuje się intensywny rozwój układów sterowania tego typu konstrukcji. **Słowa kluczowe:** inżynieria mechaniczna, manipulator, efektor, robot mobilny, układ napędowy, układ sterowania

DOI: 10.5604/01.3001.0015.8772

1. Wprowadzenie

Manipulatory to wieloczołonowe struktury — ramiona — połączone więzami przesuwными (złącza pryzmatyczne) lub więzami obrotowymi (przeguby), zdolne do wykonywania złożonych ruchów, zbliżone swoimi możliwościami do ludzkich rąk. Mogą one realizować zadania związane ze zmianą położenia obiektu oddziaływania.

Obiekt ten może być chwytny, przenoszony, przesuwany lub obracany. Połączenie tych ruchów daje dużą swobodę w operowaniu obiektami, utożsamianą z pojęciem manipulacji. Stąd też osprzęty takie nazywa się manipulatorami.

Najczęściej używa się ich do wykonywania powtarzalnych, żmudnych zadań (spawanie, pakowanie, operacje przeładunkowe), operacji montażowych, które wymagają bardzo małych tolerancji czasów taktu montażowego (produkcja i montaż elektroniki, zabiegi chirurgiczne, obróbka precyzyjna, kontrola jakości) oraz do nieergonomicznych dla człowieka zadań (podnoszenie/przenoszenie materiałów, załadunek/rozładunek środków transportowych). Powyższe zastosowania są najbardziej charakterystyczne dla manipulatorów stacjonarnych.

Manipulatory na platformach mobilnych wykorzystywane są do zadań specjalnych (militarnych oraz ratunkowych), usuwania materiałów niebezpiecznych oraz skutków katastrof (m.in. po trzęsieniach ziemi). Znajdują też zastosowanie w badaniach związanych z eksploracją przestrzeni kosmicznej.

W systemach kartezjańskich manipulator posiada ramię z trzema pryzmatycznymi złączami reprezentującymi kartezjańskie osie współrzędnych. Ramiona przegubowe podobne do rąk człowieka mają zwykle więcej niż trzy przeguby obrotowe i mogą wykonywać bardziej złożone ruchy niż manipulatory kartezjańskie, co pozwala na realizację bardziej wymagających zadań.

Do ostatniego członu manipulatora mocowane są elementy wykonawcze zwane efektorami. To one determinują zadania, jakie mogą być wykonywane przez manipulator, podobnie jak dłoń w odniesieniu do ludzkiej ręki. Służą do podnoszenia, mocowania i obsługi różnych przedmiotów lub urządzeń w otoczeniu manipulatora. Efektorami końcowymi mogą być chwytaki, łyżki, narzędzia spawalnicze i malarskie oraz zaciski.

W celu zwiększenia możliwości manipulatora stosuje się głowice technologiczne przystosowane do montażu różnego rodzaju narzędzi. Na przykład w zastosowaniach wojskowych wykorzystuje się manipulatory z możliwością montażu broni strzeleckiej oraz systemów kamer.

Aby zwiększyć użyteczność manipulatora, można do jego sterowania wykorzystać czujniki, np. podczerwieni (IR), siły, czujniki wizyjne, które umożliwiają pracę w środowisku niedostępnym dla wzroku operatora. Urządzenia takie jak żyroskopy i układy GPS mogą pomóc w lokalizacji manipulatora w jego środowisku działania, jego pozycjonowaniu i pracy na pochyłych powierzchniach. Ramiona oraz efekторы manipulatorów mogą być sterowane zdalnie lub pracować w pełni autonomicznie.

Manipulatory, ze względu na mobilność ich bazy, można podzielić na dwie podstawowe kategorie: manipulatory na platformie stacjonarnej (zwane często manipulatorami robotycznymi) i manipulatory na platformie mobilnej (roboty mobilne). Manipulatory robotyczne umożliwiają przenoszenie ładunków w obszarze roboczym ograniczonym zasięgiem ramion, czyli maksymalnego oddalenia ich efektora od nieruchomej bazy. Znajdują one szerokie zastosowanie w przemyśle. Stosowane są ze względu na wysokie wskaźniki produktywności, tzn. liczbę zrealizowanych cykli pracy w jednostce czasu, dużą precyzję ruchów, a także do zadań żmudnych, nudnych, powtarzalnych lub potencjalnie niebezpiecznych dla człowieka.

Zadania manipulatora muszą być tak zaprogramowane, aby wszystkie montowane elementy były w jego zasięgu. Przemieszczanie manipulowanych obiektów poza ten obszar realizowane jest za pomocą dodatkowych urządzeń, np. przenośników taśmowych.

Roboty mobilne to mobilne platformy wyposażone w manipulator oraz systemy sterowania i czujniki. Można je podzielić na jeżdżące, pływające i latające.

Przestrzeń robocza robotów mobilnych jest zdecydowanie większa niż w przypadku manipulatorów stacjonarnych. Ruchoma baza sprawia, że w płaszczyźnie jej przemieszczania się przestrzeń robocza jest teoretycznie nieograniczona. Nie występuje w ich przypadku konieczność stosowania dodatkowych urządzeń umożliwiających przeniesienie podejmowanego obiektu w zasięg manipulatora. Mogą być używane do inspekcji budynków lub terenu, zastosowań wojskowych, eksploracji kosmosu i celów rozrywkowych.

Przedmiotem artykułu jest przegląd manipulatorów uwzględniający ich cechy konstrukcyjne oraz obszary zastosowań.

2. Rozwiązania konstrukcyjne manipulatorów

W konstrukcji manipulatorów możemy wyróżnić strukturę wykonawczą, która determinowana jest głównie układem kinematycznym opisującym sposób połączenia ruchowego poszczególnych członów, układ napędowy i efektor. W rozdziale zostaną przedstawione rozwiązania stosowane/spotykane w każdym z tych obszarów.

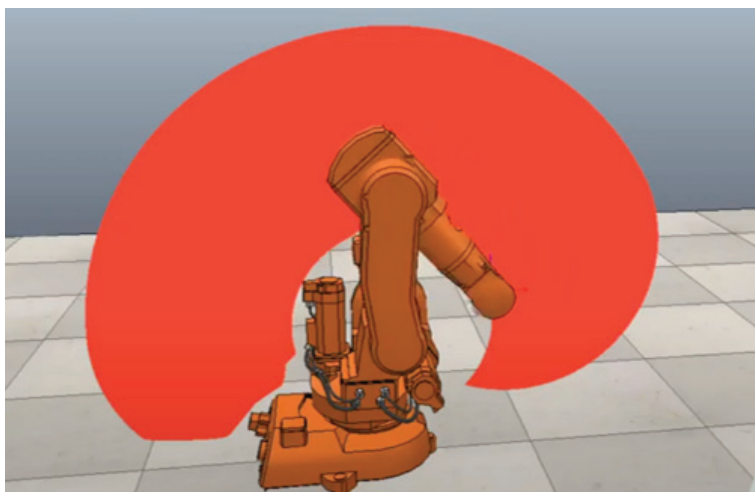
2.1. Układy kinematyczne manipulatorów

Pod względem kinematycznym manipulator jest układem ciał połączonych ruchowo, stanowiąc tym samym łańcuch kinematyczny o otwartej strukturze. W zależności od struktury kinematycznej wyróżnia się manipulatory:

- szeregowe:
 - kartezyjskie — trzy liniowe zespoły ruchu (konfiguracja ma prostokątny układ osi współrzędnych oraz prostopadłościenną przestrzeń ruchu),

- cylindryczne — jeden obrotowy i dwa liniowe zespoły ruchu (konfiguracja ma walcowy układ osi współrzędnych oraz cylindryczne przestrzenie ruchu),
- sferyczne — jeden liniowy i dwa obrotowe zespoły ruchu,
- przegubowe — wszystkie osie obrotowe,
- kombinowane/hybrydowe/zunifikowane, np. typu SCARA (*Selective Compliant Articulated Robot Arm*) — trzy równoległe osie, dwie o ruchu obrotowym, a jedna o postępowym;
- równoległe;
- szeregowo-równoległe (hybrydowe) [7].

W zależności od rodzaju struktury kinematycznej narzędzie robocze zajmuje różne pozycje w przestrzeni, a obszar określający zakres tych przestrzeni to obszar roboczy. Zależy on od geometrii i kinematyki poszczególnych członów. W obszarze roboczym manipulatora realizowane są możliwe trajektorie ruchu narzędzia roboczego (rys. 1) [10, 12].



Rys. 1. Symulacja obszaru roboczego manipulatora robotycznego [12]

Uwzględniając różnorodność konstrukcji manipulatorów stosowanych w wielu gałęziach przemysłu, można stwierdzić, że najpopularniejszą strukturą kinematyczną osprzętów robotów jest struktura szeregowo-równoległa.

2.2. Układy napędowe manipulatorów

Możliwość przemieszczania się elementów roboczych manipulatora zapewnia jego zespół napędowy. Z reguły dla każdego stopnia swobody przydzielony jest oddzielny napęd do zmiany jego położenia.

W zależności od rodzaju energii wykorzystanej do realizacji ruchu w poszczególnych mechanizmach można wyróżnić trzy główne typy napędu manipulatorów:

- elektryczny,
- pneumatyczny,
- hydrauliczny.

Typ zastosowanego napędu wynika głównie z przeznaczenia manipulatora, ale wpływ mają również: wielkość obciążenia manipulatora, parametry kinematyczne (np. prędkość, dokładność pozycjonowania, przyspieszenia), fizyczne cechy obiektu manipulacji oraz warunki pracy robota (np. strefa zagrożona wybuchem, wysoka temperatura pracy). Układy napędowe manipulatorów powinny charakteryzować się:

- dużą dokładnością pozycjonowania elementu roboczego,
- precyzją realizacji ruchu w procesach dynamicznych,
- zdolnością do pracy ze znacznymi obciążeniami,
- zdolnością do długotrwałej pracy w stanie zawieszenia elementu roboczego [14].

Elektryczne układy napędowe

Obecnie większość występujących na rynku manipulatorów stosowanych do zadań niewymagających dużego udźwigu wyposażona jest w napęd elektryczny. Cechuje się on wysoką całkowitą sprawnością przetwarzania energii, co powoduje ich powszechne zastosowanie w robotyce (rys. 2). Elementami wykonawczymi w przypadku napędów elektrycznych są silniki elektryczne zasilane z sieci energetycznej lub z akumulatorów.

Do zalet elektrycznych układów napędowych możemy zaliczyć: mały koszt pozyskania i proste doprowadzenie energii do silników, niezmiennosc parametrów pracy, zwartą konstrukcję silników i małe wymiary urządzeń sterujących. Duże znaczenie ma też cicha praca (niski poziom szumu i wibracji), brak zanieczyszczenia otoczenia i bezpieczeństwo pracy, duża szybkość działania, wysoka dokładność przemieszczeń oraz możliwość uzyskiwania maksymalnego momentu obrotowego od początku ruchu.



Rys. 2. Manipulator Viper Arm o elektrycznym układzie napędowym [16]

Do wad elektrycznych układów napędowych należą: ograniczona trwałość szczotek w komutatorach silnika prądu stałego, ograniczone wykorzystanie w środowisku zagrożonym wybuchem oraz trudność z odprowadzaniem ciepła przy dużych obciążeniach. W większości przypadków bardzo istotną wadą jest konieczność stosowania dodatkowych przekładni między silnikiem elektrycznym a elementem wykonawczym robota oraz brak samohamowności [3, 14].

Pneumatyczne układy napędowe

Manipulatory z napędami pneumatycznymi charakteryzują się stosunkowo niewielkim udźwigiem. Głównym czynnikiem roboczym jest sprężone powietrze (czynnik roboczy do fazy roboczej jest przygotowywany przez sprężarkę), odpowiedzialne m.in. za przenoszenie energii i sygnałów sterujących. Proces sterowania odbywa się za pomocą elektromagnetycznych zaworów rozdzielających. Elementem wykonawczym przeważnie jest siłownik pneumatyczny, którego skrajne położenia ramienia ustawiane są przez zderzaki ograniczniki (rys. 3).



Rys. 3. Manipulator Dalmec o pneumatycznym układzie napędowym [17]

Zalety pneumatycznych układów napędowych to: prosta i niezawodna konstrukcja, duża prędkość elementu wyjściowego napędu (w przypadku przemieszczeń liniowych do 1 m/s, prędkości obrotowej do 60 obr/min), możliwość użycia sprężonego powietrza z zakładowej sieci, proste sterowanie sekwencyjne (pozycjonowanie odbywa się za pomocą zderzaków), możliwość pracy w środowisku agresywnym i zagrożonym pożarem, duży współczynnik sprawności (do 0,8), mały stosunek masy napędu do uzyskiwanej mocy, mały koszt napędu i eksploatacji, odporność na przeciążenia i wibracje.

Natomiast istotną wadą pneumatycznych układów napędowych jest zmienna prędkość członu wyjściowego napędu w przypadku zmian obciążeń, spowodowana dużą ściśliwością czynnika roboczego. Ponadto: ograniczona liczba punktów pozycjonowania (najczęściej dwa punkty) w napędach ze sterowaniem cyklicznym (zwiększenie liczby punktów pozycjonowania wymaga stosowania dodatkowych urządzeń pozycjonujących) oraz konieczność wyhamowania członu wyjściowego napędu w końcowej fazie ruchu, głośna praca napędu, nagrzewanie układu [3, 10].

Hydrauliczne układy napędowe

Manipulatory przeznaczone do zadań, w których wymagane są znaczne udźwigi (powyżej 50 kg), wykorzystują bardzo często hydrauliczne układy napędowe. Tego typu układy można podzielić na hydrokinetyczne (napędy jazdy) i hydrostatyczne (stosowane w manipulatorach oraz ich mobilnych platformach w przypadku robotów mobilnych). Najczęściej są używane do zadań specjalnych (militarnych oraz ratunkowych), ale znajdują też zastosowanie w robotach przemysłowych (rys. 4).

Elementami wykonawczymi w hydrostatycznych układach napędowych manipulatora są siłowniki i silniki hydrauliczne. Ich ruch zapewniony jest przez obieg czynnika roboczego (oleju hydraulicznego) sterowanego za pomocą zaworów lub rozdzielaczy [2, 13, 15].



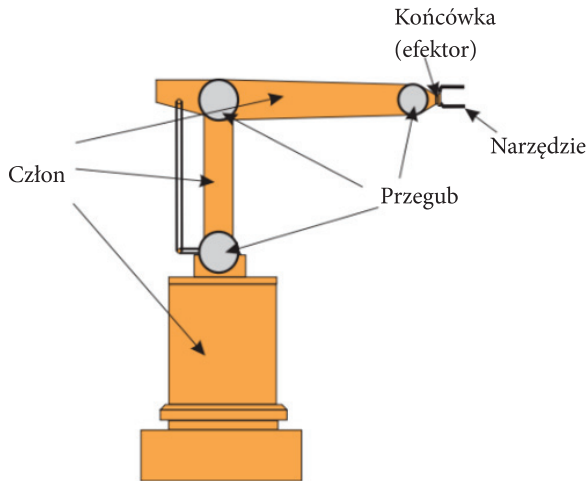
Rys. 4. Manipulator HYDRA-MP o hydraulicznym układzie napędowym [18]

Zastosowania manipulatorów o napędzie hydraulicznym wynikają przede wszystkim z takich zalet jak: możliwość rozwijania dużej mocy przy małych wymiarach i małej masie odbiorników hydraulicznych (wartość współczynnika masy na jednostkę rozwijanej mocy jest o jeden rząd większa niż np. dla silników elektrycznych), duża łatwość sterowania (znacznie większa niż w układach mechanicznych i porównywalna z układami elektrycznymi dużej mocy). Napędy hydrauliczne mają dobre własności dynamiczne wynikające z małej wartości masowych momentów bezwładności obracających się elementów silników hydraulicznych, dzięki czemu wartość ich przyspieszeń jest o dwa do trzech rzędów większa niż dla silników elektrycznych. Ponadto zapewniają dobre odprowadzanie ciepła, gdyż czynnik roboczy jest jednocześnie czynnikiem chłodniczym, przenoszącym moc i sygnały sterujące. Ta właściwość zabezpiecza również układ przed przeciążeniem i zapewnia samohamowność elementów wykonawczych.

Do wad hydraulicznych układów napędowych należy zaliczyć: konieczność stosowania układów zasilających (zasilaczy hydraulicznych), większy koszt energii niż w przypadku napędów elektrycznych, głośną pracę, szczególnie przy dużych prędkościach obrotowych i ciśnieniach, wrażliwość na zanieczyszczenie czynnika roboczego, możliwość występowania wycieków ograniczających stosowanie w niektórych procesach produkcyjnych, wysoką cenę elementów napędu w stosunku do napędów elektrycznych i pneumatycznych [15].

2.3. Efektory manipulatorów

Manipulatory robotów wyposażone są w końcówki manipulacyjne zwane efektorami (rys. 5). Mogą być nimi chwytaki lub głowice technologiczne, do których montuje się różnego rodzaju narzędzia, np.: końcówki tnące, narzędzia spawające, wierzące, gwintujące, zgrzewające oraz inne w zależności od obszaru zastosowań. Analiza rozwiązań i zastosowań manipulatorów wykazała, że najczęściej stosowanymi efektorami są chwytaki.



Rys. 5. Umiejscowienie efektora w schematycznej budowie manipulatora [19]

Cykl pracy manipulatora wyposażonego w chwytak realizowany jest w trzech etapach: pobraniu w fazie początkowej obiektu, który zostanie poddany manipulacji, trzymaniu obiektu w trakcie czynności manipulacyjnych oraz zwolnieniu obiektu w miejscu spoczynku po zakończonych czynnościach manipulacyjnych.

Każdy z tych etapów może się wiązać z realizacją wielu operacji: rozpoznania obiektu manipulacji, określenia jego pozycji i orientacji oraz przemieszczenia członów mechanizmu chwytaka powodującego uchwycenie obiektu.

Poprawne uchwycenie obiektu manipulacji jest zależne od:

- sposobu unieruchomienia obiektu w chwytaku,
- parametrów obiektu manipulacji,
- wzajemnego początkowego ustawienia chwytaka i obiektu,
- warunków dynamicznych procesu manipulacji.

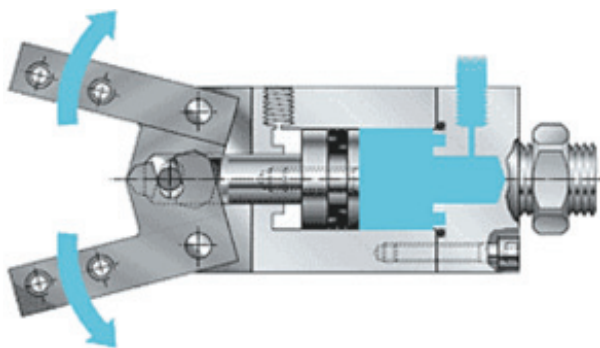
Sposób unieruchomienia powinien zagwarantować niezmiennność położenia obiektu względem chwytaka w czasie trwania procesu manipulacji. Parametry obiektu manipulacji (np. kształt i gabaryty, masa, rodzaj materiału, odporność na naprężenia

zewnątrzne, gładkość powierzchni) mają wpływ na konstrukcję chwytaka — siłę zacisku, sposób przemieszczania szczęk, zastosowanie odpowiednich czujników.

Przy niedokładnym wzajemnym początkowym ustawieniu chwytaka i obiektu podczas chwytania mogą wystąpić niepożądane obciążenia, które mogą być przejmowane przez obiekt, jednostkę kinematyczną manipulatora, a także urządzenia współpracujące i stanowić zagrożenie dla poprawnej pracy.

Warunki dynamiczne procesu manipulacji (rodzaj wykonywanych ruchów oraz przyspieszenia) powodują znaczne zmiany wartości oraz kierunku i zwrotu sił wypadkowych działających na obiekt. Poprawne uchwycenie polega na unieruchomieniu obiektu w chwytaku — powinno być ono możliwe nawet w najbardziej niekorzystnych warunkach dynamicznych.

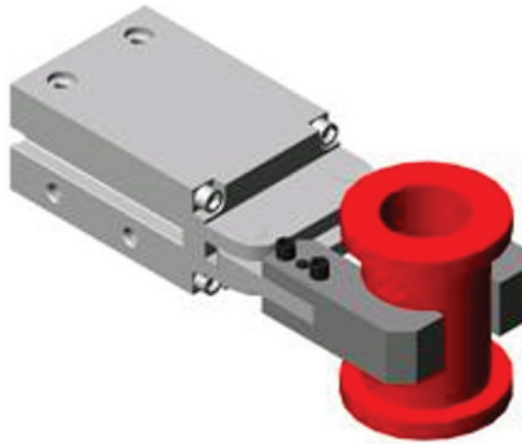
Unieruchomienie obiektu manipulowanego może zostać zrealizowane przez wytworzenie układu sił działających na ten obiekt lub poprzez pozbawienie manipulowanego obiektu wszystkich stopni swobody za pomocą odpowiednio w tym celu ukształtowanych końcówek chwytaka. Samo pochwycenie obiektu może zostać zrealizowane jako siłowe (rys. 6), kształtowe (rys. 7) lub siłowo-kształtowe (rys. 8) [22].



Rys. 6. Schemat chwytaka siłowego [27]



Rys. 7. Schemat chwytaka kształtowego [26]



Rys. 8. Model bryłowy chwytaka siłowo-kształtowego [20]

W zależności od stosowanego rodzaju chwytaka ze względu na sposób pochwylenia mniejsze lub większe znaczenie odgrywa precyzja sterowania (najmniejsza wymagana jest przy chwytakach siłowych).

3. Sterowanie manipulatorami

Funkcjonalność i zakres zastosowań manipulatorów w dużym stopniu zależą od systemu sterowania. Jest on odpowiedzialny za przeniesienie zamierzeń operatora lub algorytmu sterującego na poszczególne człony manipulatora, a zwłaszcza jego efektor. Musi on połączyć oczekiwania w zakresie precyzji i dynamiki realizacji funkcji roboczych z charakterystyką układu napędowego. Najmniejsze wymagania w tym zakresie mają elektryczne układy napędowe i stąd wynika przede wszystkim ich największa popularność w manipulatorach. Jest to zasługa stosunkowo prostego kształtowania sygnału sterującego, stanowiącego najczęściej jednocześnie źródło zasilania układu wykonawczego (silnika). Natomiast w manipulatorach montowanych na platformach mobilnych, od których wymaga się dużych sił udźwigu przy stosunkowo niewielkiej masie samego osprzętu, bardzo często wykorzystuje się hydrostatyczne układy napędowe z uwagi na specyfikę zastosowań (ciężkie prace terenowe).

Obecnie manipulatory montowane na platformach mobilnych sterowane są najczęściej w trybie teleoperacji. Spotyka się również rozwiązania, w których część ruchów jest autonomizowana, ale dotyczy to najprostszych czynności takich jak np. przechodzenie osprzętu z położenia transportowego do roboczego czy na odwrót.

Aktualny poziom rozwoju systemów rozpoznania otoczenia powoduje, że pojawiają się opracowania (prace badawcze), w których rozwija się autonomiczne systemy pracy. Rozumiane jest to (w zależności od stopnia zautonomizowania) jako całkowita lub częściowa możliwość wygenerowania przez układ sterujący zadanej trajektorii ruchu, która bez konieczności zaangażowania operatora umożliwi realizację celu. Dostępna literatura nie zawiera wielu przykładów zastosowania takich układów sterowania w manipulatorach o napędzie hydrostatycznym z uwagi m.in. na charakterystykę takiego układu, która utrudnia uzyskanie wysokiego stopnia precyzji sterowania. Natomiast poza wpływem układu napędowego istotnym czynnikiem (wspólnym z manipulatorami o napędzie elektrycznym) jest powiązanie manipulatora z jego środowiskiem pracy. Możliwości takiego powiązania są dwie:

- powiązania otwarte — środowiskowo niezależne,
- powiązania zamknięte — środowiskowo zależne.

W przypadku powiązań otwartych środowisko jest odpowiednio przygotowane, zapewnione są niezmiennie, jednakowe dla każdego cyklu warunki pracy. Urządzenia sensoryczne mogą być rozmieszczone na manipulatorze, chwytaku lub w określonych miejscach stanowiska produkcyjnego oraz na maszynach i urządzeniach technologicznych. Układ sensoryczny ma wygenerować informacje, na podstawie których układ sterowania wypracowuje sygnały sterujące nie tylko dla manipulatora i efektora, lecz także dla wszystkich elementów i urządzeń tworzących stanowisko produkcyjne.

W przypadku powiązań zamkniętych układ sterujący poprzez urządzenia i układy sensoryczne rozpoznaje środowisko i wypracowuje sygnały umożliwiające podejmowanie decyzji o realizacji zadań, adekwatnie do stanu środowiska. Wiąże się to z dokładnością odwzorowania sygnału sterującego przez układ wykonawczy. W tym zagadnieniu oprócz samej konstrukcji manipulatora należy także uwzględnić zaburzenia ruchu wnoszone przez jego układ napędowy. Manipulatory dla obiektów o wymaganych dużych siłach udźwigu wyposaża się, jak wspomniano wcześniej, w hydrostatyczne układy napędowe. Przede wszystkim wynika to z korzystnego stosunku rozwijanej siły do masy, a także zapewnienia samohamowności elementów wykonawczych.

Dokładność i powtarzalność zaprojektowanego algorytmu sterowania charakteryzuje zdolność manipulatora do przemieszczenia efektora końcowego wzdłuż zadanej trajektorii podczas wielokrotnego ruchu w przeciwnych kierunkach. W sensie fizycznym jest to maksymalna różnica pomiędzy trajektorią zadaną a torem będącym trajektorią średnią. Powtarzalność trajektorii wyraża stopień zgodności pomiędzy uzyskiwanymi trajektoriami przy ich wielokrotnej realizacji.

Odchyłki dotyczące zmiany kierunku ruchu opisują zmiany trajektorii rzeczywistej względem zadanej. Parametry dokładności trajektorii stanowią podstawę do oceny manipulatora pod względem wykonania zadań technologicznych związanych z prowadzeniem efektora końcowego wzdłuż zadanej trajektorii.

Biorąc pod uwagę wymaganą dokładność sterowania, co w przypadku manipulatorów sprowadza się do pożądanego pozycjonowania i orientacji jego narzędzia roboczego, zasadniczym elementem odpowiedzialnym za przekazywanie sygnału sterującego od operatora do elementów wykonawczych układu napędowego są zaburzenia generowane przez czynnik roboczy (prąd elektryczny, powietrze, olej hydrauliczny).

Rozwiązanie tych problemów i postępująca autonomizacja manipulatorów mogą być kolejnym etapem rozwoju manipulatorów robotów mobilnych. Efektem tego będzie możliwość realizacji zadań w trudnym środowisku, ograniczając rolę operatora dzięki autonomicznemu systemowi sterowania lub systemowi z elementami autonomicznymi [15].

4. Obszary zastosowań manipulatorów robotycznych

Manipulatory opisane w poprzednich rozdziałach od strony konstrukcyjnej znajdują zastosowanie w wielu obszarach życia ludzkiego — od przemysłu po działania służb ratunkowych. Rozwój konstrukcji, w tym osprzętów roboczych, wpływa na poszerzanie obszarów, gdzie manipulatory są wykorzystywane. Najczęściej stosowane są manipulatory umożliwiające wykonywanie złożonych zadań przy zachowaniu wysokiej precyzji realizowanego procesu.

Manipulatory przemysłowe

Manipulatory przemysłowe to zazwyczaj zlokalizowane w zakładach produkcyjnych urządzenia zabudowane na platformie stacjonarnej, przeznaczone głównie do prac montażowych, które wymagają wykonywania czynności poza obszarem podwieszenia lub podparcia (rys. 9). Stosowane są, gdy środek ciężkości przenoszonego ładunku znajduje się poza punktem zawieszenia ładunku, kiedy mamy do czynienia z dużymi, nieregularnymi kształtami, których uchwycenie stanowi problem, a ich środek ciężkości wywołuje moment reakcyjny. Manipulator jest niezbędny także przy pracach montażowych, gdy zachodzi potrzeba reorientacji przenoszonego ładunku w przestrzeni w celu jego zamontowania. Sprawdza się w szczególności w pracy powtarzalnej, ciągłej, uciążliwej, wymagającej od pracownika wymuszonej pozycji na liniach montażowych, stanowiskach kompletacji dostaw, w centrach obróbczych [8, 9, 10, 14].

Manipulatory przemysłowe wyposażane są w głowice technologiczne, na których montowane są różnorodne narzędzia:

- spawalnicze,
- wiertnicze,
- tnące,
- zgrzewające,
- gwintujące,
- reakcyjne wspomagające montaż.



Rys. 9. Manipulator przemysłowy Dalmec Partner PS [8]

Manipulatory naukowo-szkoleniowe i badawcze

Prace badawcze polegające na wykonywaniu często powtarzanych zadań i wymagające dużej precyzji w celu uzyskania prawidłowych wyników są kolejnym obszarem zastosowania manipulatorów. Stosowane są w laboratoriach biologicznych i chemicznych, ale także pracowniach mechaniki, hydrauliki i stanowiskach przeznaczonych do badań związanych z automatyką. Do korzyści stosowania manipulatorów w laboratoriach należy zapewnienie powtarzalności ruchów oraz automatyzacja systemów zmniejszająca różnice w liczbie komponentów (rys. 10). Usunięcie ograniczeń związanych z zaangażowaniem człowieka (np. czasu pracy i koordynacji) pozwala zwiększyć wydajność laboratoriów. Na lepszą wydajność wpływa również zmniejszenie ilości odpadów wynikające z precyzji wykonywanych zadań, jaką zapewniają naukowe manipulatory. Użycie robotów do manipulowania niebezpiecznymi substancjami zwiększa bezpieczeństwo pracowników.



Rys. 10. Robot szkoleniowy firmy Universal Robots [1]

Zastosowanie automatyki i robotyki w laboratoriach umożliwia pracownikom i studentom zaangażowanie się w opracowywanie wyników badań, zamiast spędzania większości czasu na wykonywaniu powtarzalnych zadań [14].

Manipulatory medyczne

Manipulatory medyczne to głównie narzędzia w rękę chirurga, pozwalają na wykonywanie w sposób bardzo precyzyjny operacji chirurgicznych w bardzo trudnych okolicach anatomicznych ludzkiego ciała (rys. 11). W większości przypadków manipulatory medyczne to telemanipulatory, które łączą działanie lekarza oraz efektora po drugiej stronie. Lekarz poprzez odpowiedni sposób sterowania ruchami manipulatora decyduje o tym, jakie zadanie ma być wykonane. Natomiast zadaniem ramienia jest wykonanie w sposób precyzyjny polecenia narzuconego przez chirurga [10].

Manipulatory medyczne są wykorzystywane w wielu dziedzinach medycyny. Możemy wśród nich wymienić manipulatory:

- chirurgiczne — ich główną zaletą jest niezwykła precyzja podczas wykonywanego zabiegu oraz mniejsze ryzyko błędów;
- nawigacyjne bierne — są stosowane głównie w neurochirurgii, mają na celu precyzyjne pozycjonowanie i utrzymanie odpowiedniego toru narzędzi w czasie operacji.



Rys. 11. Manipulator medyczny Versius [6]

5. Obszary zastosowań manipulatorów w robotach mobilnych

Manipulatory są wykorzystywane nie tylko na stacjonarnych platformach, lecz także na mobilnych, które mają możliwość przemieszczania się, zazwyczaj w dwuwymiarowej płaszczyźnie. Takie konstrukcje określa się mianem robotów mobilnych. Mogą być one nośnikami jedynie czujników, posiadać przestrzeń transportową i być wykorzystywane do tego celu, mieć zabudowany manipulator zdolny do wykonywania czynności manipulacyjnych lub łączyć wszystkie te funkcjonalności. Tego typu urządzenia są zazwyczaj wykorzystywane do zadań specjalnych takich jak działania militarne, wojskowe, eksploracyjne.

Biorąc pod uwagę wymagania dla manipulatorów przeznaczonych do tego typu obszarów zastosowań, które wiążą się ze znacznymi udźwigami i zasięgami pracy, oprócz konstrukcji o szeregowych łańcuchach kinematycznych występują konstrukcje o strukturach szeregowo-równoległych. Najczęściej manipulatory takie charakteryzują się ruchliwością od pięciu do nawet trzynastu stopni swobody. Jedynie manipulatory o strukturach równoległych nie znalazły szerszego zastosowania jako osprzęty manipulatorów robotów mobilnych.

Roboty eksploracyjne

Manipulatory badawcze poza pracą w warunkach laboratoryjnych znajdują zastosowanie również w działaniach zewnętrznych w przypadku badań prowadzonych

w okolicach wulkanów, lodowców, a także jako łaziki kosmiczne do eksploracji powierzchni innych planet i księżyców. Określa się je mianem robotów eksploracyjnych. Zazwyczaj są to mobilne platformy przenoszące zestawy czujników przeznaczone do pomiarów charakterystycznych dla badanego środowiska, np. badania powierzchni Marsa. Osprzęt manipulatorowy umożliwia podejmowanie skał, wydobywanie próbek lub w sytuacjach kryzysowych takich jak zaklinowanie, utrata stateczności pomaga wydostać się z pułapki terenowej. Tego typu konstrukcje zazwyczaj wyposażane są w elektryczne układy napędowe.



Rys. 12. Łazik marsjański RED [4]

Przykładem eksploracyjnego robota mobilnego jest łazik RED, zaprojektowany z myślą o badaniu powierzchni Marsa (rys. 12). W założeniach według konstruktorów zadania robota będą następujące: m.in. naprawa zepsutego urządzenia, pomoc astronauty, pokonanie przeszkód w postaci wzniesień, a ponadto zadania serwisowe, np. napełnienie reaktora paliwem. Robot wyposażony jest w manipulator robotyczny z efekтором w postaci trójpalczastego chwytaka i koszyki do transportu ładunku, ma także pięć kamer pokładowych. Konstrukcja jest przygotowana, by m.in. pobrać próbkę ziemi z głębokości 5 cm i zmierzyć temperaturę terenu na głębokości 10 cm [21].

Roboty wojskowe

Szczególną grupą robotów mobilnych są roboty do zadań specjalnych, tzn. roboty wojskowe oraz ratunkowe. Ich osprzętem zazwyczaj są manipulatory, a ich wykorzystanie do tego typu zadań jest uargumentowane przez: możliwość zdalnego

sterowania, wyposażenie w narzędzia umożliwiające np. chwytanie oraz przenoszenie przedmiotów, systemy wizji i detekcji, a także wysoką mobilność w trudnym i niebezpiecznym dla człowieka terenie.

Na podstawie opisanych w literaturze przykładów konstrukcji można stwierdzić, że na działania robotów do zadań specjalnych z osprzętem manipulatorowym w zakresie zadań militarnych składają się np.:

- podejmowanie ładunków potencjalnie groźnych i niebezpiecznych (IED — improwizowane ładunki wybuchowe, EOD — unieszkodliwienie ładunków wybuchowych), np. amunicji artyleryjskiej, raketowej oraz lotniczej o zróżnicowanej geometrii i masie;
- usuwanie przeszkód poprzez wyciąganie, przewracanie, przepychanie itp.;
- realizacja czynności przeładunkowych;
- pośredniczenie w działaniach negocjacyjnych na linii służby — napastnicy;
- rozpoznanie zagrożonego terenu, lokalizacja ładunku wybuchowego, transport oraz neutralizacja na bezpiecznym dla operatora terenie;
- inspekcja i rozpoznanie obszaru/obiektu potencjalnie zagrożonego ładunkami wybuchowymi.



Rys. 13. Robot wojskowy Inspector [11]

Przykładem robota mobilnego wykorzystywanego do wymiennych zadań jest robot mobilny Inspector (rys. 13) wyposażony w manipulator o napędzie elektrycznym. Liczba robotów wykorzystywanych do działań militarnych oraz zakres ich

zastosowań w obszarze operacji wojskowych stale się zwiększają. Na przykład do ciężkich zadań stosowane są roboty mobilne z hydrostatycznym układem napędowym z serii URAN, które również posiadają zabudowany manipulator. Innym przykładem takiej konstrukcji jest robot mobilny Marek, którego manipulator umożliwia podnoszenie ładunku o masie 200 kg na wysięgu 4,5 m (rys. 14).



Rys. 14. Robot wojskowy Marek [27]

Robot posiada manipulator o napędzie hydrostatycznym z zabudowanym na jego końcu chwytakiem zdolnym do podejmowania na przykład pocisków bądź usuwania przeszkód. Dodatkowym osprzętem roboczym Marka jest lemiesz pełniący rolę wsparcia dla osprzętu manipulatorowego — zapewnia na przykład dodatkowy punkt podparcia przy podejmowaniu ciężkich ładunków w trudnym terenie.

Roboty ratunkowe

Innym obszarem zastosowania robotów są działania ratunkowe. Roboty wyposażone w osprzęt manipulatorowy wspierają działania ratowników przy przeszukiwaniu gruzowisk, wydobywaniu ofiar oraz pracy w terenie stanowiącym zagrożenie dla operatora. Pomagają także w działaniach:

- służb granicznych i celnych, ratownictwa i ochrony środowiska,
- oddziałów obrony cywilnej,
- służb ochrony obiektów oraz w miejscach wymagających stałego nadzoru w celu zapewnienia bezpieczeństwa, np.: w portach lotniczych i samolotach, na przystaniach pasażerskich, na statkach i promach, na dworcach kolejowych i w pociągach, na dworcach autobusowych i w autobusach [14, 15].

Przykładem konstrukcji wykorzystywanej do powyższych zadań jest Robot Florian (rys. 15).



Rys. 15. Robot Florian [26]

Obszar zastosowania robota Florian obejmuje m.in. działania prowadzone w strefach zagrożonych wybuchem substancji łatwopalnych, w rejonach różnego typu skażeń czy też na obiektach o naruszonej strukturze nośnej lub konstrukcyjnej, stwarzającej groźbę niekontrolowanej destrukcji. Robot wyposażony jest w lemiesz oraz manipulator z chwytakiem, dzięki czemu posiada duże zdolności manipulacyjne [5]. Przykładami innych rozwiązań robotów ratunkowych są roboty wyposażone w manipulatory antropomorficzne, takie jak T-52 i T-53 firmy Tmsuk (rys. 16).

a)



b)



Rys. 16. Roboty firmy Tmsuk: a) T-52, b) T-53 [15]

Do zadań powyższych robotów należy pomoc przy usuwaniu skutków katastrof i klęsk żywiołowych. Dzięki zastosowanym osprzętom manipulatorowym opartym na hydrostatycznych układach napędowych są zdolne do podnoszenia, przesuwania, przenoszenia części betonowych konstrukcji, metalowych prętów itp. Powyższe konstrukcje manipulatorów antropomorficznych zamontowanych na mobilnych platformach bazują na otwartym łańcuchu kinematycznym. Napęd hydrostatyczny, którym dysponują, zapewnia im wysoką odporność na przeciążenia. Potrzeba ta wynika głównie ze specyfiki zadań, jakie wykonują, środowiska pracy, a także wielkości mas, jakie są w stanie podjąć. Sterowanie odbywa się za pośrednictwem układów kopiujących ruchy ręki operatora, co zapewnia dużą intuicyjność obsługi [15].

Obszary zastosowań robotów wyposażonych w manipulatory są szerokie. Z wysoką skutecznością wykorzystuje się je w specjalistycznych zadaniach jako wsparcie działań człowieka lub całkowicie go zastępują w wykonywaniu różnych czynności.

6. Wnioski

W ostatnich latach następuje dynamiczny rozwój manipulatorów, zarówno w obszarze ich struktur, jak i napędów oraz układów sterowania. W zależności od stopnia wyspecjalizowania czynności wykonywanej przez manipulator i rodzaju manipulowanego obiektu urządzenie to jest wyposażone w chwytak lub głowicę, której trajektoria ruchu i kinematyka członów manipulatora wyznaczają jego pole robocze.

Manipulatory stacjonarne znajdują główne zastosowanie jako roboty badawcze, medyczne oraz przemysłowe.

Rozwój techniki, przede wszystkim systemów rozpoznania otoczenia, łączności bezprzewodowej i przetwarzania danych, sprawia, że pojawia się coraz więcej bezzałogowych platform mobilnych, na których zabudowane są manipulatory. Wpływa to znacząco na możliwość poszerzenia ich pola operacji. Dla robotów mobilnych to chwytak jest najczęściej stosowanym efektem w manipulatorze.

Manipulatory zamontowane na platformach stacjonarnych często wykorzystują głowice technologiczne. Za ich pomocą mogą wykonywać powtarzalne czynności typowe dla linii produkcyjnych, a ich obszar roboczy jest zdeterminowany zasięgiem ramion manipulatora.

W celu realizacji ruchu poszczególnych członów stosuje się trzy podstawowe rodzaje układów napędowych: elektryczne, pneumatyczne i hydrauliczne. Zakres zastosowań robota ściśle warunkuje wymagania stawiane układowi napędowemu.

Z uwagi m.in. na łatwość i precyzję sterowania w manipulatorach najpowszechniej stosowane są napędy elektryczne (często wykorzystywane w manipulatorach przemysłowych lub małych robotach inspekcyjnych). Manipulatory robotyczne,

zwłaszcza te o napędzie elektrycznym, są powszechnie stosowane w przemyśle i dość bogato opisane w literaturze naukowej.

W manipulatorach przemysłowych stosowane są również pneumatyczne układy napędowe, natomiast z uwagi na wady tego typu rozwiązania, takie jak m.in.: nagrzewanie komponentów układu, mała powtarzalność realizowanego ruchu przy zmiennych obciążeniach, a także ze względu na poziom kompresji czynnika roboczego (ściśliwość gazu) są one stosowane do wykonywania czynności bezpośrednio nadzorowanych przez człowieka.

Specyfika zadań manipulatorów mobilnych wymusza rozwój ich zdolności do pracy w trudnych warunkach (zagrożenie pożarowe, gruzowiska) oraz możliwość osiągnięcia dużych udźwignięć. Są to zadania charakterystyczne dla robotów stosowanych w zadaniach specjalnych (działania militarne, ratunkowe), gdzie najczęściej wykorzystywane są hydrostatyczne układy napędowe będące jednym z typów (szeroko rozumianych) hydraulicznych układów napędowych.

W ostatnich latach można zauważyć intensywny rozwój robotów mobilnych, przede wszystkim zwiększają się możliwości robocze ich osprzętu manipulatorowego. Rozwój manipulatorów dotyczy nie tylko rozbudowy narzędzi roboczych (efektorów) oraz struktury kinematycznej, lecz także w głównej mierze skupia się na wprowadzaniu nowych algorytmów zapewniających zmniejszenie wpływu układu napędowego na precyzję sterowania.

Analiza wprowadzanych nowych rozwiązań pokazuje, że liczba tego typu rozwiązań konstrukcyjnych będzie stale rosła, a zagadnienie autonomizacji procesu sterowania jest problemem badawczym mającym duży potencjał do dalszego rozwoju.

Źródło finansowania pracy — działalność statutowa Wojskowej Akademii Technicznej.

Artykuł wpłynął do redakcji 12.01.2022. Zatwierdzono do publikacji 21.02.2022.

Michał Nowosadzki <https://orcid.org/0000-0003-0049-3338>

Andrzej Typiak <https://orcid.org/0000-0003-1992-015X>

Tomasz Muszyński <https://orcid.org/0000-0001-6119-7896>

LITERATURA

- [1] PIĄTEK Z., *Dwa centra szkoleniowe Universal Robots w Polsce*, *Industry 4.0*, 21.05.2019, <https://przemysl-40.pl/index.php/2019/05/21/dwa-centra-szkoleniowe-universal-robots-w-polsce> [dostęp: 12.01.2022].
- [2] GALAL RABIE M., *Fluid power engineering*, Wydawnictwo McGraw-Hill, New York 2009.
- [3] Strona AutomatykaOnline.pl, artykuł Roboty i manipulatory, <https://automatykaonline.pl/Artykuly/Robotyka/Roboty-i-manipulatory> [dostęp: 12.01.2022].
- [4] MACIEJEWSKA E., *Polskie łaziki marsjańskie docenione na świecie!*, *Bankomania*, 6.06.2016, <https://bankomania.pkobp.pl/bankopasje/odpowiedzialnosc-spoeczna/polskie-laziki-marsjanskie-docenione-na-swiecie/> [dostęp: 12.01.2022].

- [5] Robot Florian, strona firmy Hydromega, https://hydromega.com.pl/badania_i_rozwoj/florian/ [dostęp: 12.01.2022].
- [6] LAURISZ M., *Łódzkie Centrum Medyczne Salve Medica jako pierwsze w Polsce zakupiło od firmy CMR Surgical robota chirurgicznego nowej generacji Versius*, IT Reseller, 24.08.2021, <https://itreseller.com.pl/lodzkie-centrum-medyczne-salve-medica-jako-pierwsze-w-polsce-zakupilo-od-firmy-cmr-surgical-robota-chirurgicznego-nowej-generacji-versius/> [dostęp: 12.01.2022].
- [7] *Klasyfikacja układów manipulacyjnych i robotów*, portal Strefa inżyniera.pl, <https://strefainzyniera.pl/artukul/11587/klasyfikacja-ukladow-manipulacyjnych-i-robotow> [dostęp: 12.01.2022].
- [8] Strona Vertistire.com.au, informacje o narzędziu Dalmec Partner – PS, <https://vertistore.com.au/dalmec-products/dalmec-partner-ps/> [dostęp: 12.01.2022].
- [9] *Napędy robotów przemysłowych – rodzaje, zastosowanie*, Wiedza EBMiA.pl, 20.03.2020, <https://www.ebmia.pl/wiedza/porady/automatyka-porady/napedy-robotow-przemyslowych/> [dostęp: 12.01.2022].
- [10] *Rodzaje robotów przemysłowych i ich zastosowanie*, Wiedza EBMiA.pl, 4.04.2020, <https://www.ebmia.pl/wiedza/porady/automatyka-porady/rodzaje-robotow-przemyslowych/> [dostęp: 12.01.2022].
- [11] Portal Pinerest, informacje o robocie INSPECTOR oraz zdjęcie, <https://www.pinterest.es/pin/737534876446712495/> [dostęp: 12.01.2022].
- [12] ARMESTO L., *Computing the workspace of a 6 DoF Robot arm. CoppeliaSim (V-REP)*, film w serwisie YouTube, 28.06.2020, <https://www.youtube.com/watch?v=w4hqVeXa4e4> [dostęp: 12.01.2022].
- [13] PIZOŃ A., *Elektrohydrauliczne analogowe i cyfrowe układy automatyki*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1995.
- [14] Zakład Automatyki i Elktorniki CHIP, <https://www.chip-elektronika.pl/blog/rodzaje-robotow-przemyslowych/> [dostęp: 12.01.2022].
- [15] KROGUL P., *Badania wpływu hydrostatycznego układu napędowego na trajektorię narzędzia manipulatora robota inżynierskiego*, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2019.
- [16] *Viper manipulator*, strona firmy Kraft TeleRobotics, <http://krafttelerobotics.com/products/viper.htm> [dostęp: 12.01.2022].
- [17] *Pneumatic manipulator for drums*, strona firmy Dalmec, <https://com/pneumatic-manipulator-for-drums/> [dostęp: 12.01.2022].
- [18] Strona Trade Korea, HYDRA-MP(HYDraulic Robot Arm - Manipulator), [https://www.tradekorea.com/product/detail/P357081/41805/HYDRA-MP\(HYDraulic-Robot-Arator\).html?minisite-prodgroupno=41805](https://www.tradekorea.com/product/detail/P357081/41805/HYDRA-MP(HYDraulic-Robot-Arator).html?minisite-prodgroupno=41805) [dostęp: 12.01.2022].
- [19] https://www.researchgate.net/profile/Dominika-Krzyszczyk/publication/344491564_Virtual_Arm_Prosthetic_PL_version_Wirtualna_proteza_ramienia/links/5f7c3c4d92851c14bcb17445/Virtual-Arm-Prosthetic-PL-version-Wirtualna-proteza-ramienia.pdf [dostęp: 12.01.2022].
- [20] *Chwytyki siłowe*, Robotyka.pl, <https://robotyka.pl/4-1-1-chwytyki-sil/>, *Jest kolejna wersja polskiego łazika marsjańskiego*, [dostęp: 12.01.2022].
- [21] https://docs.pickit3d.com/en/2.1/robot-integrations/techman/pick_and_place_program.html [dostęp: 12.01.2022].
- [22] <http://www.chwytyki.com.pl/artukul/4552/jak-dobrac-wlasciwy-chwytak/> [dostęp: 12.01.2022].
- [23] Robot „Florian”, Samorząd Studencki WAT, profil na Facebooku, 3.04.2018, <https://www.facebook.com/SamorzadWAT/photos/wato-wiedzie%C4%87naukowcy-z-wojskowej-akademii-technicznej-konstruu%C4%85-zdalnie-sterow/1005157039625082/> [dostęp: 12.01.2022].
- [24] *E-raport MSPO 3/2010 – Roboty z WAT*, Agencja lotnicza Altair, 7.09.2010, https://www.altair.com.pl/e-report/view?article_id=228 [dostęp: 12.01.2022].

M. NOWOSADZKI, A. TYPIAK, T. MUSZYŃSKI**Review of design solutions for manipulators and main areas of their application**

Abstract. Manipulators are multi-part constructions whose members are connected by joints. The most common kinematic structure is the series structure. The effector at the end of the structure is a process head or a gripper. The most commonly used kinematic structure is a series structure, and the effector at the end of it is a technological head or a gripper. The area of application of manipulators is very wide and it determines the type of tools used, the kinematic structure, the drive system, and the base platform – stationary or mobile one. As industrial, medical, and research robots there are used the manipulators built on a stationary platform. A construction of this type requires a high degree of repeatability and precision in the movements performed. A multi-part structure with a large number of degrees of freedom provides the manipulators with a large working capacity, but at the same time makes it difficult to use them effectively for manual operation. This is why they are most commonly used for robots in which some or all movements are controlled automatically. Manipulators, mounted on mobile platforms, are a special group, called in short mobile robots. They are most often used for special tasks, such as military and rescue operations, as well as for the exploration of hard-to-reach research areas. Manipulators used there must be able to carry heavy loads, have a wide range of workspace and the ability to generate large lifting forces. Their use for dangerous activities protects people from the risk of loss of their life or health, and thus it increases the efficiency of the work. In recent years, there has been observed an intensive development in constructions of this type.

Keywords: mechanical engineering, manipulator, effector, mobile robot, drive system, control system
DOI: 10.5604/01.3001.0015.8772