

074

A

**OSRODEK MECHATRONIKI**

Nazwa ONB/ZNB.

Główny wykonawca

mgr inż. Maciej Oleksiuk

Wykonawcy:

Kierunki rozwoju napędów manipulatorów sterowanych programalnymi sterownikami stosowanych przy automatyzacji prac za- i wyładowczych w ESP.

(Tytuł pracy, numer i tytuł etapu)

Zleceniodawca

KBN

Kierownik Ośrodka Mechatroniki

mgr inż. Maciej Oleksiuk

Pracę zakończono dnia 1996-06-14

Nr arch. 7306

Nr zlecenia S1665

# Analiza deskryptorowa

**manipulatory , napędy**

## Abstrakt

Praca zawiera przegląd napędów stosowanych w manipulatorach przystosowanych do współpracy w elastycznych systemach produkcyjnych. Przedstawiono podstawowe właściwości tych napędów, ich zalety i wady oraz obszar zastosowań. Dokonano analizy wymagań stawianych napędom.

## Tytuły poprzednich sprawozdań

nie było

## Rozdzielnik

Egz. 1. .... **OIN** .....

Egz. 2. .... **OME** .....

Egz. 3. ....



## 1. Wstęp.

Rosnąca konkurencja stanowi istotny przyczynę dążenia producentów do wzrostu produktywności i poprawy jakości swego produktu. Jednym ze środków stosowanych dla osiągnięcia tego celu jest automatyzacja procesu produkcyjnego. Wśród narzędzi niezbędnych przy automatyzacji oprócz sterowników i systemów czujnikowo- pomiarowych znajdują się różnorodne napędy.

Celem niniejszej pracy jest dokonanie przeglądu specyficznych wymagań stawianych napędom sterownym programowalnymi sterownikami przemysłowymi pracującymi w elastycznych systemach produkcyjnych oraz przeglądu oferty rynkowej. Analiza właściwości poszczególnych napędów pozwala na wskazanie ich zalet i wad, co pomaga w prawidłowym doborze napędu do konkretnego zadania.

W niniejszej pracy pod pojęciem elastycznych systemów produkcyjnych rozumie się wszystkie systemy produkcyjne, które w sposób automatyczny dostosowują swe parametry technologiczne do zmieniającego się produktu.

Przy omawianiu napędów ograniczono się do ich części wykonawczej.

## 2. Wytyczne doboru napędów manipulatorów pracujących w elastycznych systemach produkcyjnych.

Programowalne sterowniki przemysłowe bardzo dobrze nadają się do współpracy ze wszelkimi napędami. W przypadku sterowania napędami dwustanowymi pneumatycznymi, hydraulicznymi bądź elektrycznymi wykorzystuje się moduły wyjść cyfrowych. Przy sterowaniu serwonapędami stosuje się moduły wyjść analogowych o standardowym zwykle sygnale napięciowym 0- 10 V DC lub prądowym 4- 20 mA.

Nowoczesna technika napędów niesie ze sobą niezwykle szeroką ofertę. Optymalny wybór może zostać dokonany po dokładnej analizie kryteriów, wśród których wymienić należy:

- stopień wymaganej elastyczności użytego napędu,
- warunki otoczenia, a w szczególności temperatura i jej wahania, wilgotność, środowisko agresywne (pary i gazy), warunki zagrożenia wybuchem itp.
- dokładność i powtarzalność,
- maksymalną prędkość,
- przenoszone masy lub występujące obciążenia zewnętrzne,
- zasięg ruchu,
- trwałość,
- czas ruchu,
- charakter pracy,
- wymagana niezawodność, w tym skutki ewentualnej awarii,
- możliwość konserwacji i serwisowania,
- sposoby doprowadzenia energii.

### Stopień wymaganej elastyczności użytego napędu.

Podstawową trudnością przed jaką stoją manipulatory i napędy pracujące w elastycznych systemach produkcyjnych jest zmienność wymiarów i mas przenoszonych detali. Oznacza to konieczność automatycznego dostosowania zakresu a czasem też i prędkości ruchu

do konkretnego detalu. W skrajnych, choć nie rzadkich przypadkach, wymaga zmiany ruchu zakresu a czasem też prędkości w każdym kolejnym cyklu.

Przy elastyczności ograniczonej do dwu- trzech wariantów możliwe jest stosowanie napędów dwustanowych- np. cylindry pneumatyczne lub hydrauliczne. W przypadku konieczności adaptacji trajektorii do większej liczby wariantów niezbędne jest zastosowanie serwonapędów. W tych przypadkach adaptacja następować będzie na drodze programowej.

#### Warunki otoczenia

Warunki otoczenia często decydują o doborze techniki napędu. W środowisku zagrożonym wybuchem, w warunkach podwyższonej wilgotności często stosowane mogą być tylko napędy płynowe. Choć oczywiście producenci napędów elektrycznych oferują wykonania Ex (dla środowisk zagrożonych wybuchem) lub IP 66 i lepiej dla narażeń parą wodną lub bryzgami wody. Należy liczyć się z tym, że wykonania specjalne oznaczają wyższe koszty (co najmniej 10 do 50%) oraz dłuższy czas realizacji zamówienia.

Przy analizie należy też uwzględnić występujące często różnice pomiędzy narażeniem samego napędu a narażeniem jego sterowania, które w skrajnych przypadkach może być oddalone o wiele metrów i znajdować się wręcz w innym pomieszczeniu i w innych warunkach.

#### Dokładność i powtarzalność.

To jeden z podstawowych parametrów napędu. Do najdokładniejszych należą, oczywiście mikronapędy piezoelektryczne lub magnetostrykcyjne, które pozwalają na osiągnięcie dokładności lepszej niż 1  $\mu\text{m}$ . Z wielu powodów napędy te mają jednak ograniczony zakres zastosowań.

Dokładności rzędu 0,01 mm osiągają serwonapędy elektryczne i hydrauliczne a także w pewnych warunkach silniki skokowe. W pewnych przypadkach, zwłaszcza przy niedużych obciążeniach możliwa jest do osiągnięcia taka dokładność przy zastosowaniu napędów płynowych dwupołożeniowych z mechanicznym zatrzaskiem.

W przypadku wymaganej dokładności 0,1 mm możliwe są do wykorzystania serwonapędy pneumatyczne, napędy dwustanowe pneumatyczne bądź hydraulicznie pozycjonowane na zatrzaskach.

Przy mniejszych dokładnościach, bądź stosowaniu pozycjonowania w położeniach zatrzymania możliwe jest stosowanie silników trójfazowych.

Przy doborze napędu obrotowego realizującego ruch liniowy należy uwzględnić błędy przekładni zwłaszcza przy wymaganej dużej powtarzalności ruchu.

#### Maksymalna prędkość.

Przy wymaganiu dużej prędkości celowe może być zastosowanie beztłoczkowych napędów pneumatycznych. Niektórzy producenci dopuszczają pracę z prędkością do 3,5 m/s.

Przy zastosowaniu napędów o ruchu obrotowym ograniczenie prędkości liniowej stanowią przekładnie. Przekładnia zębata paskowa dopuszcza prace z prędkościami do 2 m/s. Natomiast dla przekładni ze śrubą kulową graniczną prędkością jest zwykle 1 m/s. Również dla napędów płynowych tłoczkowych większość producentów nie dopuszcza pracy z wyższą prędkością niż 1m/s, choć można w tym względzie znaleźć wyjątki.

Przekroczenie dopuszczalnej przez producenta prędkości niesie ze sobą zmniejszenie trwałości napędu i utratę gwarancji w przypadku ewentualnej awarii, ale może być w pewnych przypadkach akceptowalne.

W przypadku zastosowania napędu pneumatycznego należy sprawdzić czy istnieją odpowiednie warunki zasilania umożliwiające pracę z założoną prędkością.

### Obciążenia.

Obciążenie manipulatora ma dwojaki charakter:

- obciążenie bierne w postaci bezwładności niesionej masy oraz oporów tarcia,
- obciążenie czynne w postaci sił zewnętrznych w tym siły grawitacji.

Rozwiązanie zadania doboru napędu z punktu widzenia zapewnienia odpowiedniej dynamiki ruchu manipulatora a w szczególności minimalizacji czasu wykonania ruchu na zadanej drodze przy występowaniu obciążeń zewnętrznych przedstawiono na licznych przykładach w sprawozdaniu [1].

Należy podkreślić, że w przypadku konieczności rozwijania znacznych sił najkorzystniejsze jest stosowanie napędów hydraulicznych, charakteryzujących się największą mocą uzyskaną z jednostki ciężaru.

### Zasięg ruchu.

W przypadku konieczności przemieszczania na wielometrową odległość najwygodniejsze jest zastosowanie dowolnego napędu obrotowego z przekładnią paskową zębata.

Ostatnie lata przyniosły znaczny postęp w konstrukcji bełtoczyskowych napędów pneumatycznych. Oferowane są obecnie napędy o skoku do 7m.

### Trwałość.

Parametr ten rzadko stanowi kryterium wyboru rodzaju napędu. Jest on jednak niezwykle istotny przy określaniu niezawodności napędu.

Większość producentów napędów hydraulicznych gwarantuje co najmniej  $10^6$  zadziałań, choć czasami oferowane są rozwiązania o rząd lepsze.

Standardem w napędach pneumatycznych jest  $10^7$  zadziałań.

### Czas ruchu

Parametr ten ściśle wiąże się z siłą lub momentem rozwijanymi przez napęd i jego mocą. Czas realizacji zadanego ruchu jest sumą czasu rozpędzania, ruchu jednostajnego i hamowania. Czas rozpędzania i hamowania jest zależny od siły rozwijanej przez napęd, bezwładności obciążenia oraz sił oporu. Natomiast czas ruchu jednostajnego zależy od parametrów kinematycznych napędu. Jest oczywiste, że dla osiągnięcia minimalizacji czasu trwania ruchu należy dobierać napęd o możliwie dużym nadmiarze momentu lub siły w stosunku do występujących biernych i czynnych oporów ruchu. Natomiast parametry przełożenia mają wpływ niejednoznaczny: przy ruchu jednostajnym im mniejsza redukcja, tym krótszy czas wykonania ruchu na określonej drodze. W przypadku ruchu zmiennego zwiększenie redukcji skraca czas rozpędzania dzięki zmniejszeniu masy lub momentu bezwładności zredukowanych do osi napędu.

Dlatego przy doborze napędu ze względu na kryterium czasu ruchu należy wykonać obliczenia wstępne, zakładając parametry takie, jak momenty bezwładności i masy, siły oporów, siły tarcia, przełożenia, gdyż zwykle na tym etapie pracy dokładne wartości tych wielkości nie są jeszcze znane. Szczegółowe przykłady obliczeń przedstawiono w sprawozdaniu [1].

### Charakter pracy.

Charakter pracy dla wielu napędów ma istotne znaczenie. Z punktu widzenia niezawodności pracy urządzeń rozróżnia się prace:

- okresową,
- jednozmianową,
- tryzmiannową,
- ciągłą.

Cylindry pneumatyczne i hydrauliczne mają zwykle określoną w km trwałość uszczelnień. Z charakteru pracy wynika częstotliwość wymiany uszczelnień, a więc rozwiązania konstrukcyjne zapewniające dostęp do napędu. W przypadku wymaganej pracy ciągłej o zmiennym obciążeniu momentem lub prędkością napędów elektrycznych należy to skonsultować z producentem napędu.

### Niezawodność.

Niezawodność pracy każdego urządzenia jest jednym z jego podstawowych parametrów i o problemach tych traktuje cała rozwijająca się prężnie gałąź wiedzy. Chciałbym zwrócić uwagę czytelnika na jeden tylko aspekt tego zagadnienia. W procesie wyboru napędu cały czas dokonywane jest poszukiwanie rozwiązania optymalnego; w tym przypadku chodzi o znalezienie napędu możliwie taniego ale wystarczająco niezawodnego. Kluczem jest tu pojęcie „wystarczająco”. Należy rozważyć skutki awarii napędu. Jeżeli jest to tylko zatrzymanie procesu i zmniejszenie liczby wyprodukowanych detali, koszty awarii można uznać za niewielkie. Jeżeli jednak awaria napędu spowodować może uszkodzenie maszyny lub linii produkcyjnej o wielkiej wartości lub zatrzymanie wysoko wydajnego procesu na dłuższy czas, straty mogą być ogromne i nie opłaca się oszczędzać na niezawodności.

Najważniejsze natomiast jest bezpieczeństwo obsługi lub osób postronnych. W przypadku wystąpienia zagrożenia zdrowia lub życia ludzkiego przez awarię napędu niezbędne jest zastosowanie najwyższej jakości napędów z systemem przeciwwawaryjnym (podwojone napędy, napędy rezerwowe w stanie gotowości, blokady bezpieczeństwa itp...).

### Możliwość konserwacji i serwisowania.

To ważna cecha związana jest przeważnie ze sposobem zabudowania napędu. Istotne może być natomiast ograniczenie częstotliwości dostępu do napędu, w przypadku zastosowania go w urządzeniach pracujących ciągle, bez możliwości ich odłączenia. W takim przypadku zaleca się stosowanie napędów niewymagających serwisowania (przede wszystkim elektrycznych).

### Sposoby i możliwości doprowadzenia energii.

Problem ten trzeba rozważyć w przypadku doboru techniki napędu. Często doprowadzenie energii hydraulicznej bądź elektrycznej może być utrudnione.

## **3. Napędy pneumatyczne**

Napędy pneumatyczne od wielu lat stosowane są jako podstawowy napęd we wszelkiego rodzaju manipulatorach. Jego popularność nie spada, co można tłumaczyć między innymi stałym rozwojem konstrukcji a w szczególności:

- opracowaniu pneumatycznych zaworów proporcjonalnych, co poszerzyło zakres zastosowań napędów pneumatycznych o zadania wymagające dostosowywania się do oczekiwań elastycznych systemów produkcji,

- opracowywaniu coraz to nowych rozwiązań konstrukcyjnych ułatwiających bezpośredni montaż- cylindry krótkoskokowe,
- wyposażaniu cylindrów w dodatkowe elementy ułatwiające ich współpracę z programowalnymi sterownikami,
- opracowaniu cylindrów o owalnych tłokach, co upraszcza konstrukcję manipulatorów,
- opracowaniu długoskokowych cylindrów beztłoczyskowych charakteryzujących się dużymi prędkościami ruchu,
- upowszechnienie uszczelnień umożliwiających pracę na suchym powietrzu, co pozwala na zastosowanie napędów pneumatycznych w obszarach o wymaganej podwyższonej czystości (np. przemysł spożywczy, niektóre technologie przemysłu chemicznego itp...).

Do zalet napędów pneumatycznych zaliczyć należy:

- niską cenę,
- dużą niezawodność,
- łatwość konserwacji,
- możliwość pracy w warunkach zagrożenia wybuchem oraz agresywnej atmosferze,
- łatwość sterowania.

Ponieważ parametry napędów różnych producentów nie odbiegają od siebie a niektóre typów cylindrów zostały wręcz znormalizowane, w Tab. 1. przedstawiono jedynie podstawowe parametry napędów stosowanych w manipulatorach.

Napęd	Parametry	
Cylindry beztłoczyskowe	Maks. skok	6.800 mm
	Maks. siła	1.870 N
	Dop. prędkość	3,5 m/s
Cylindry wahliwe	Maks. moment obr.	150 Nm
	Maks. kąt obrotu	360°
Cylindry tłoczyskowe	Maks. skok	2.000 mm
	Maks. siła	43,4 kN
	Dop. prędkość	2 m/s

Tab. 1. Zestawienie podstawowych parametrów użytkowych napędów pneumatycznych.

W celu zapewnienia wygody użytkownika producenci oferują cylindry wyposażone już w czujniki położenia tłoka oraz nastawiane zawory hamowania ruchu krańcowego. Ponadto istnieje możliwość zainstalowania hamulca na tłoczysku utrzymującego cylinder w danej pozycji niezależnie od obciążenia mechanicznego oraz spadku ciśnienia zasilania. Innym udogodnieniem jest oferta kompletu: cylinder + prowadnice.

Powyższe rozwiązania mają na celu ofertę kompletnego napędu wyposażonego przez producenta w elementy ułatwiają jego pracę w zautomatyzowanej linii sterowanej sterownikiem przemysłowym.

## 4. Napędy elektryczne

### 4.1. Napędy z silnikami trójfazowymi prądu przemiennego.

Do zalet tych napędów należy:

- niska cena,
- duża niezawodność,
- prostota obsługi i konserwacji.



Wśród podstawowych wad wymienia się:

- niewielka dokładność i powtarzalność,
- niewielki moment startowy,
- ograniczone możliwości hamowania.

Napędy z silnikami trójfazowymi prądu przemiennego stosowane są przeważnie w dwu rozwiązaniach:

- do zapewnienia przemieszczenia na dłuższym odcinku o zadany skok,
- do napędu transporterów taśmowych, rolkowych itp...; urządzenia te nie wchodzi wprawdzie w zakres niniejszej pracy, ale silnie wiążą się z systemami załadowniczo-rozładowniczymi i manipulacyjnymi pracującymi w ESP.

W pierwszym przypadku napęd składa się zwykle z:

- silnika prądu przemiennego,
- przekładni pasowej zębatej,
- przemiennik częstotliwości,
- czujników dwustanowych potwierdzających wybrane położenia,
- konstrukcji nośnej,
- zespołów pozycjonowania w wybranych miejscach (np. zatrząsków).

Przemiennik częstotliwości zapewnia łagodny start i hamowanie oraz możliwość doboru prędkości. Czujniki są niezbędne dla zapewnienia właściwego sterownia ruchem i pozycjonowaniem napędu. Mechaniczne pozycjonowanie zapewnia dokładność zatrzymania w żądanym miejscu, gdyż sposób sterowania silnika wyklucza zachowanie wymaganej zwykle powtarzalności. Jednocześnie zatrząski mogą utrzymać zadane położenie w przypadku występowania sił czynnych (np. grawitacji) w miejscu zatrzymania, zwłaszcza w przypadku znacznej wartości tych sił. Od konstrukcji nośnej wymaga się odpowiedniej sztywności i tłumienia drgań występujących podczas ruchu i hamowania, co ma szczególne znaczenie przy ruchu znacznych mas oraz znacznych przyspieszeń lub opóźnień.

Elastyczność tego napędu jest ograniczona możliwą do zastosowania liczbą zatrząsków. Pozostałe elementy można nastawiać przez wybór odpowiednich parametrów programu sterownika.

W drugim przypadku w skład napędu wchodzi zwykle:

- silnik prądu przemiennego,
- reduktor,
- przemiennik częstotliwości,
- napęd taśmociągu,
- czujniki.

Przy doborze elementów należy pamiętać, że w przypadku pracy indeksowej transportera, za każdym razem następuje start i zatrzymanie całej poruszającej się po transporterze masy, co stwarza trudne warunki pracy zarówno dla silnika jak i reduktora i wymaga często znacznej nadwyżki mocy i momentu dla zapewnienia niezawodnej pracy. Indeksowy tryb pracy jest bardzo często stosowany w systemach transportu międzyoperacyjnego.

Elastyczność takiego napędu zapewnia programowalny sterownik.

Powszechniejsze w ciągu ostatnich lat stosowanie silników prądu przemiennego w manipulatorach umożliwiły przemienniki częstotliwości charakteryzujące się:

- płynną regulacją prędkości obrotowej silników,
- możliwością zdalnego sterownia z komputera najczęściej przez złącza RS 232 i RS 485,
- możliwością programowania zakresu częstotliwości, dynamiki momentu rozruchowego, charakterystyki momentu w funkcji częstotliwości itp...,
- elektronicznego blokowania silnika w stanie zatrzymania (w ograniczonym zakresie),

- możliwością pracy jako regulatory P, PI, PID.

Zestaw silnika prądu przemiennego z przemiennikiem częstotliwości stanowi w wielu zastosowaniach wygodną i tanią alternatywę w stosunku do wielu innych technik napędów.

## 4.2. Napędy z silnikami skokowymi.

Napęd taki złożony jest zwykle z:

- silnika skokowego sterowanego sterownikiem,
- przekładni; zestaw najczęściej stosowanych przekładni przedstawiono w p.7 niniejszej pracy,
- czujnika położenia zerowego (in home).

Napędy te charakteryzuje stosunkowo niska cena przy wysokiej dokładności i niezawodności. Czujnik położenia zerowego pełni ważną funkcję korekty położenia ze względu na możliwość „zgubienia” jednego skoku. W przypadku długotrwałej pracy taki błąd może narastać. Okresowa korekta wykonywana automatycznie (nadzorowana przez programowalny sterownik) co pewien czas zapewnia utrzymanie żądanej powtarzalności.

W Tab. 2. podano przykłady niektórych silników wybranych producentów i ich podstawowe parametry. Wśród nowych rozwiązań silników widać tendencję do:

- poszerzenia zakresu wielkości,
- oferowania silników w wykonaniu bryzgoszczelnym,
- zmniejszenia kąta skoku,
- oferowania silników wyposażonych nie tylko w przekładnię i hamulce ale też w elementy ułatwiające ich współpracę ze sterowaniem automatycznym- enkodery lub rezolwery.

Producent	Typ	Podstawowe parametry
Phytron-Elektronik GmbH Postfach 1255 D-82180 Gröbenzell Industristr. 12/14 Fax. 08142/503-190	RSS i RSH ZSS	Skok 1,8°, moment 0,65 do 14,5 Nm, IP 54 (IP65) Skok 0,72° do 45°, moment 0.03 do 0,5 Nm, możliwość wyposażenia w enkoder, przekładnię, hamulec
Berger Lahr GmbH D-7630 Lahr, Breslauer Str. 7 Fax. 07821/582313 Transpol, Warszawa, Fax. 637 63 68	RDM VRDM	Skok 1,8° do 15°, moment 0,016 do 0,1Nm, Skok 0,72/0,36°, moment 0,3 do 10 Nm, silnik 5/10 faz, .
Kollmorgen Motion Technologies Group 49 Mall Drive Commack, NY 11725 Fax. 516/864-2084	PJT STM PB	Skok 1,8°, moment 27,8 do 111,1 [oz-in] Skok 1,8°, moment 156 do 469 [oz-in] Skok 0,72/0,36°, moment 27,7 do 111 [oz-in], silnik 5/10 faz,
Portescap GmbH 7530 Pforzheim, Gülichstr. 12 Fax. 07231/490020	escap® P	Skok 1,8° do 6°, moment 0,01 do 1,55Nm,

Tab. 2. Zestawienie podstawowych parametrów mechanicznych niektórych silników skokowych.

Pewną odmianę stanowi skokowy napęd liniowy. Rozwiązanie to pozwala na eliminację drogich mechanizmów zamiany rodzaju ruchu. Oferowane napędy zapewniają prędkość do 1 m/s, przy powtarzalności  $\pm 0,005$  mm.

### 4.3. Napędy z silnikami bezszczotkowymi.

Silniki bezszczotkowe są najbardziej predestynowane do wykorzystania do napędu manipulatorów ze względu na dużą dokładność, duży moment, dobrą dynamikę, odporność na nieprzyjemne warunki otoczenia, możliwość kontroli położenia we wszystkich fazach ruchu.

Typowy napęd składa się z:

- silnika,
- prądnicy tachometrycznej,
- enkodera lub rezolwera,
- sterownika,
- zasilacza.

W ciągu ostatnich lat znacznie poszerzyła się lista producentów tych napędów. W Tab. 3. przedstawiono parametry trzech przykładowych firm produkujących te napędy. Napędy te oferowane są także w komplecie z przekładniami. Dla wygody użytkownika oferowane są także sterowania kilku napędów współpracujących ze sobą.

Producent	Podstawowe parametry	
Allen Bradley 1201 South Second Str. Milwaukee WI 53204 Fax. (414)382 4444	Moment	27,8 Nm
	Prędkość obrotowa do	5000 obr./min.
	Wykonanie	IP 64
Indramat, Mannesmann- Rexroth, 05 800 Pruszkow, Fax 758 64 09	Moment	12 Nm
	Prędkość obrotowa	9000 obr./min.
	Podziałka enkodera do	24576
	imp./obr.	
	Wykonanie	IP 65
	Możliwość pracy jako silnik skokowy	
Robert Bosch, D- 64701 Erbach Fax. 06062/78 428	Moment	66 Nm
	Prędkość obrotowa	6000 obr./min.
	Czas osiągnięcia prędk. max	55 ms
	Podziałka enkodera do	3600
	imp./obr.	
	Wykonanie	IP 64

Tab. 3. Przykładowe parametry napędów bezszczotkowych

### 5. Napędy hydrauliczne.

Podstawowymi zaletami tych napędów są:

- duża moc w jednostce masy,
- dobra dynamika,
- duża dokładność przy zastosowaniu sterownika za pomocą wzmacniacza hydraulicznego lub proporcjonalnego rozdzielacza,
- odporność na agresywne środowisko,
- możliwość pracy w środowisku wybuchowym.

Wśród wad wymienia się:

- możliwość występowania przecieków,

- ograniczoną trwałość uszczelnień,
- konieczność prowadzenia oprzewodowania.

Dobłą dynamikę i dużą dokładność uzyskano dzięki zastosowaniu sterowań proporcjonalnych. W skład typowego serwonapędu hydraulicznego wchodzi:

- napęd (cylinder lub silnik),
- rozdzielacz proporcjonalny lub wzmacniacz hydrauliczny,
- czujnik położenia zabudowany często w cylindrze,
- sterownik rozdzielacza.

Niektórzy producenci oferują rozdzielacz z zabudowanym sterownikiem, który może być bezpośrednio sterowany z analogowego wyjścia programowalnego sterownika przemysłowego lub komputera klasy PC.

Stosowane są trzy rodzaje napędów hydraulicznych, których parametry nie zależą praktycznie od wybranego producenta (Tab.4).

Napęd	Parametry
Cylinder	Siła do 150 kN, Skok do 6000 mm,
Silnik	Prędkość obrotowa od 4 do 6000 obr/min, moment do 25 kNm
Silnik wahliwy	Kąt obrotu do 720°, moment do 600 Nm

Tab. 4. Podstawowe parametry napędów hydraulicznych.

Ostatnie lata przyniosły znaczne zmiany w napędach hydraulicznych wynikające z:

- upowszechnienia się sterowań elektronicznych i ich ścisłą współpracą z częścią wykonawczą (hydrauliczną),
- wdrażaniem płynów przyjaznych środowisku naturalnemu,
- postępem w opracowaniu cichobieżnych pomp.

Konsekwencją powyższych trendów hydrauliki było znalezienie nowych zastosowań oraz dostosowania materiałów przede wszystkim uszczelnień do warunków pracy. Od konstrukcji manipulatorów wymaga się natomiast zapewnieniu łatwej wymiany płynów roboczych, której należy dokonywać częściej w przypadku zastosowania płynów nie degradujących środowiska naturalnego.

## 6. Mikronapędy.

Mikronapędy w ostatnich latach zrobiły ogromną karierę. Należy spodziewać się dalszego ich upowszechniania w wielu zastosowaniach, w których wykorzystywane są obecnie elektromagnesy.

W mikronapędach wykorzystuje się dwa zjawiska - piezoelektryczne i magnetostrykcję. Opracowanie niskonapięciowych (pracujących w przedziale 100 - 200 V) napędów piezoelektrycznych spowodowało ich upowszechnienie [2]. Wśród zalet tych napędów wymienia się:

- wysoką dokładność  $\sim 1$  nm,
- szybkość działania  $\sim 10$   $\mu$ s,
- dużą siłę z jednostki powierzchni  $\sim 30$  N/mm<sup>2</sup>.

Natomiast podstawową wadą jest niewielki skok rzędu maksymalnie do 0,15 do 1 mm. Napędy te zastąpić mogą silniki skokowe wszędzie tam, gdzie silniki te są zbyt wolne lub za mało dokładne. Duże siły i duża czułość umożliwiają wykorzystanie ich do konstrukcji osi manipulatora po zastosowaniu odpowiedniej przekładni mechanicznej. Przykład działania takiego napędu przedstawiono na Rys 1. W skład napędu wchodzi cztery silniki

piezoelektryczne pracujące na przemian parami. Ich wahliwe zawieszenie powoduje, że w wyniku wydłużenia jednej pary następuje jednocześnie obrót o kąt wynikający z luzu pomiędzy wałem roboczym i silnikami i skoku. Obrót ten powoduje przemieszczenie wału o jeden skok. Naprzemienna praca silników umożliwia wykonywanie kolejnych skoków wału. Ze względu na dużą częstotliwość pracy silnika piezoelektrycznego w zastosowaniach praktycznych osiągnąć można prędkości rzędu 25 mm/s przy skoku 0,3  $\mu\text{m}$ . Zwiększenie skoku pozwala zwiększenie prędkości maksymalnej.

## 7. Przekładnie mechaniczne stosowane w napędach manipulatorów.

Przekładnia stanowi integralną część napędu a jej parametry w równym co silnik stopniu decydują o jakości napędu. Przekładnia w napędzie pełni dwie funkcje:

- zamiana ruchu, zwykle z obrotowego na posuwisto- zwrotny,
- zmiany (zwykle redukcji) prędkości obrotowej silnika.

Od przekładni wymaga się:

- wytrzymałości,
- sztywności,
- minimalnego luzu zwrotnego,
- wysokiej sprawności.

### Wytrzymałość.

Obciążenie przekładni wynika z prędkości obrotowej i momentu silnika oraz momentu obciążenia zewnętrznego. Przy doborze przekładni należy zwrócić uwagę na możliwe przeciążenia udarowe, częstotliwość załączeń oraz obciążeń nawrotnych. Szczególnie niebezpieczne mogą być wahania i drgania występujące przy obciążeniu znacznym momentem bezwładności.

### Sztywność i luz zwrotny.

Sztywność przekładni wpływa na dokładność pozycjonowania manipulatora w przypadku obciążenia jej siłą czynną przy zatrzymanym napędzie, o ile manipulator nie jest wyposażony w zatrzask pozycjonujący. W elastycznych systemach produkcyjnych możliwości stosowania takich zatrzasków są niestety ograniczone.

W innych przypadkach istotne znaczenie dla zachowania wymaganej powtarzalności manipulatora ma luz zwrotny lub histereza przekładni [3].

W manipulatorach najczęściej stosuje się następujące przekładnie mechaniczne:

- przekładnie harmoniczne,
- przekładnie planetarne,
- przekładnie cykloidalne,
- przekładnie śrubowe toczne,
- przekładnie zębate paskowe.

W tabeli przedstawiono podstawowe parametry tych przekładni oraz niektórych producentów. Ostatnie lata przyniosły burzliwy wzrost zastosowań przekładni zębatych paskowych, co wynika z jej wielu zalet:

- zapewnienie powtarzalności  $\pm 0,1$  mm wystarczającej w wielu zastosowaniach przy pracach manipulacyjnych,
- trwałość i utrzymanie niezmiennych parametrów podczas długotrwałej eksploatacji (znaczną zaletą w stosunku do łańcuchów),
- cichobieżność,
- możliwość pracy z dużymi prędkościami i przy dużym obciążeniu,
- łatwość montażu,

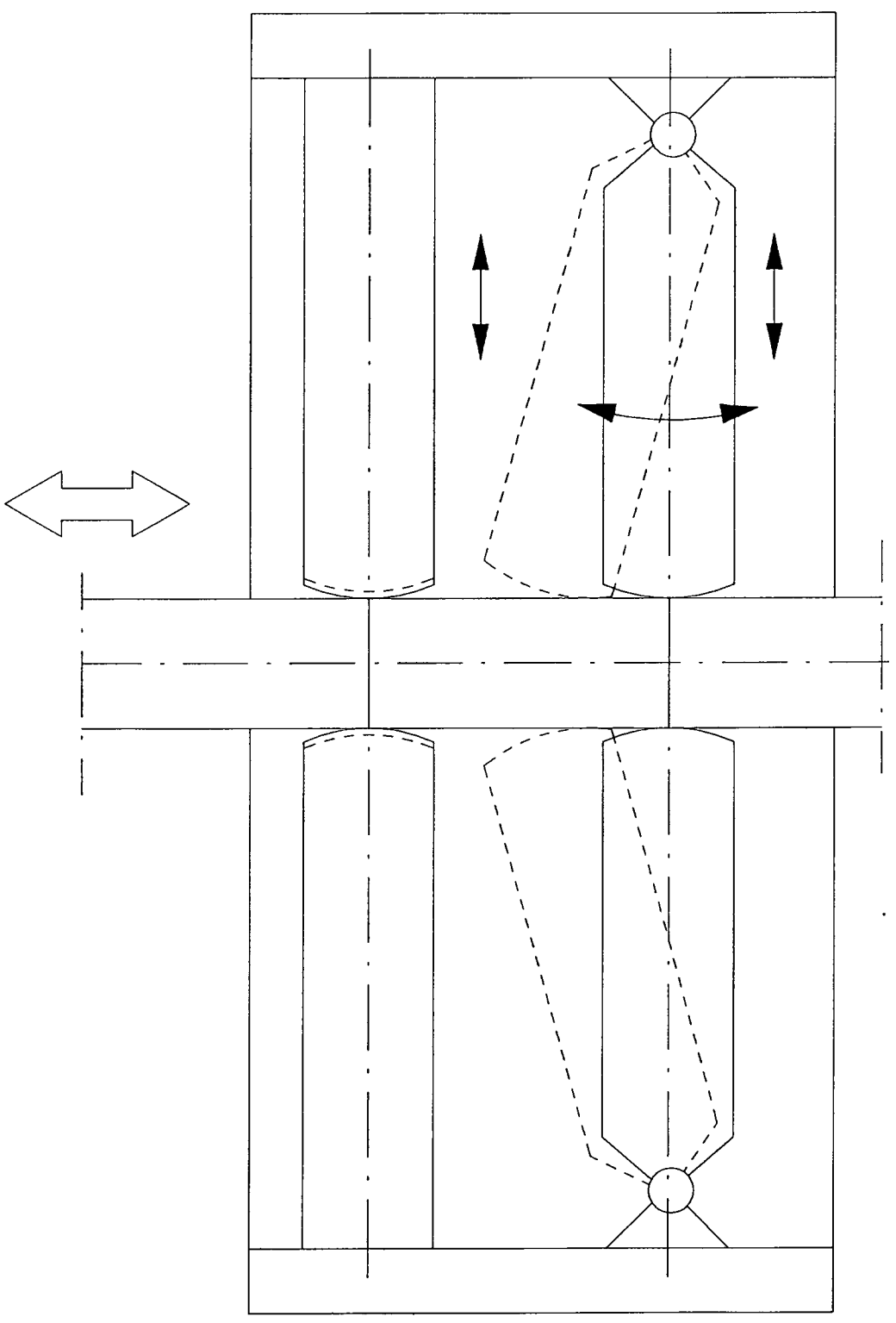
- odporność na nieprzyjazne środowisko, zanieczyszczenie, wilgoć,
- niewielką masę,
- niewielką histerezę,
- ograniczone wymagania konserwacji.

Szczególnie chętnie stosowane są te przekładnie do napędu trawersów i innych urządzeń o dużym skoku. Wielu producentów oferuje je w zestawach z silnikami obrotowymi.

Typ przekładni	Producent	Podstawowe parametry
Harmoniczna	Harmonic Drive Antriebstechnik, 65536 Limburg/Lahn, Fax 06431/5008-18	Luz zwrotny 30" Prędkość obr. do 4500 obr/min Moment do 4000 Nm Przełożenie 50 do 320
Planetarna	ZF Friedrichshafen AG D-88038 Fridrichshafen Fax. 07541/773470	Luz zwrotny 3" Prędkość obr. do 5000 obr/min Moment do 5000 Nm Przełożenie 76 do 214
Śrubowa toczna	AVIA Warszawa	Skok 5 do 20 Nośność do 618 kN Szttywność do 4 kN/μm
Zębata paskowa	Siegle, 8900 Augaburg Fax. 0821/7905155	Szerokość 6-100 mm Podziałka 5 mm do 2"
Zębata paskowa	Lenze GmbH, Postfach 1791, 71307 Waiblingen Fax. 07151/18586	Szerokość 6-400 mm Podziałka 0,08" do 1 1/4" Siła do 21 kN.
Cykloidalna	Stromag Antriebe A-2355 Wiener Neudorf, Fax 02236/62 997	Luz zwrotny 3" Prędkość obr. do 6000 obr/min Moment do 6500 Nm Przełożenie 11 do 111

#### Bibliografia:

- [1] Oleksiuk M., Sołtyk T. i inni: „Opracowanie i uruchomienie produkcji uniwersalnego robota sześćoosiowego o udźwigu 120/150 kg dużym obszarze pracy i dużych prędkościach. Etap 7a. Opracowanie koncepcji dwu wersji robota z napędami Boscha: wersji 120/150B, wersji superszybkiej 120BS.” sprawozdanie z prac PIAP nr rej.7152.
- [2] Voigt K.: „Piezoaktuatorische Antriebe für den industriellen Einsatz”, F&M 1-2/95.
- [3] Oleksiuk M.: „Badanie przekładni falowych”, Biuletyn PIAP 4/91.



Zasada działania napędu piezoelektrycznego "bez końca".