

OŚRODEK ROBOTÓW PRZEMYSŁOWYCH

440

A

Główny wykonawca **dr inż. Andrzej Kobosko**

Wykonawcy **mgr inż. Marek Wójcik**

Konsultant **prof. dr inż. Tadeusz Miesala**

Nr zlecenia **9529**

Prace perspektywiczne w zakresie napędów elektrycznych robotów przemysłowych.

etap 1. Analiza kierunków prac dot. elektrycznych napędów robotów.

Zleceniodawca **praca własna**

Pracę rozpoczęto dnia **88.02.15**

zakończono dnia **88.10.30**

Kierownik Zespołu

Z-ca Dyr d/s Automatyki

Kierownik Oddziału

[Signature]
dr inż. R. Sowa

[Signature]
dr inż. T. Gałązka

[Signature]
mgr inż. L.H. Przybylski

Praca zawiera:

Rozdzielnik - ilość egz:

stron **28**

Egz. 1 **DOINTE** (oryginał na dyskiecie)

rysunków

Egz. 2 **0AR**

fotografii

Egz. 3 **0AR**

tabel

Egz. 4 **SN**

tablic

Egz. 5

załączników **2**

Egz. 6

Nr rejestr. **6152**

Analiza deskryptorowa

~~Roboty przemysłowe, Napędy elektryczne~~

Analiza dokumentacyjna

Sprawozdanie zawiera analizę występujących napędów w robotach przemysłowych oraz przedstawia kierunki rozwoju.

Przewiduje się rozwój zastosowań napędów bezpośrednich z wykorzystaniem wysokoenergetycznych magnesów.

Tytuły poprzednich sprawozdań

33845:62/69]002.4/2 Roboty przemysłowe

62-8.001.6/7 Napęd - m2w01

UKD

SPIS TRESCI

1. Wstęp.....	2.
2. Rodzaje napędów elektrycznych i sterowników.....	4.
3. Przegląd prac krajowych.....	9.
4. Stan zaawansowania prac w PIAP.....	13.
5. Kierunek rozwoju w koncernie ABB.....	16.
6. Podsumowanie i wnioski.....	18.
7. Literatura.....	20.
8. Załączniki.....	
8.1 Oferta Politechniki Warszawskiej dotycząca nowych materiałów magnetycznych.....	
8.2 Wstępne założenia Polskiej Akademii Nauk dla napędu bezpośredniego.....	

1. Wstęp

W światowej produkcji robotów przemysłowych, do roku 1985, w napęd elektryczny wyposażonych było około 30% robotów.

Obecnie obserwuje się dużą ekspansję napędów elektrycznych, stagnację w napędach hydraulicznych i zmniejszenie zastosowań napędu pneumatycznego.

Współczynnikiem charakteryzującym napęd jest współczynnik SP określający wartość uzyskiwanej siły z jednostki powierzchni.

W zakresie dużych wartości współczynnika SP w dalszym ciągu stosowane są napędy hydrauliczne. Mniejszą wartość współczynnika SP ma napęd pneumatyczny. Napęd elektryczny ma ten współczynnik najmniejszy.

Wynika on z budowy silnika elektrycznego i niekorzystnego stosunku jego momentu obrotowego do momentu bezwładności części ruchomych.

Ma to również wpływ na dynamikę samego napędu [1].

Wartości momentu obrotowego silników elektrycznych są ograniczone wartościami indukcji nasycenia materiałów ferromagnetycznych.

Dzięki zastosowaniu nowych wysokoenergetycznych materiałów magnetycznych i opracowaniu technologii udało się znacznie zwiększyć współczynnik SP i przybliżyć do wartości teoretycznej, która dla np. silników prądu stałego wynosi rzędu 175 N/cm^2 . Dla porównania wartość jego dla napędów hydraulicznych sięga kilku tysięcy.

Nowe materiały magnetyczne pojawiły się w sprzedaży od 1984 roku.

Postęp w konstrukcji maszyn elektrycznych spowodował również polepszenie własności samych napędów.

Do podstawowych zalet napędów elektrycznych w stosunku do pozostałych napędów należy dogodność zasilania i sterowania.

Kolejnymi zaletami to brak konieczności konwersji energii i stałość parametrów w czasie eksploatacji, a także wysoka precyzja pracy umożliwiająca uzyskiwanie dużych dokładności pozycjonowania robotów.

W konstrukcji robotów elektrycznych ostatnich lat, osiągnięto również znaczny postęp w dziedzinie sterowania, oprogramowania, i oprzyrządowania wynikający z rozwoju systemów mikroprocesorowych. Nie stanowią one bariery technicznej ograniczającej kierunku prac rozwojowych a wręcz odwrotnie ich potencjalne możliwości nie są w pełni wykorzystane. Dlatego najważniejszym zagadnieniem rozwoju w konstrukcji robotów stały się obecnie układy napędu elektrycznego i jego sterowania.

Zastosowanie elektrycznych napędów bezpośrednich [2] umożliwiło nie tylko opracowanie nowych bardzo szybkich robotów, zwiększyło ich niezawodność i tym samym umożliwiło powstanie nowych aplikacji robotów szczególnie w systemach zrobotyzowanych linii. Napęd z ogniw tradycyjnego w konstrukcji robota stał się więc czynnikiem stymulującym rozwój robotyzacji. Świadczy o tym również liczba zatrudnionych specjalistów z dziedziny napędów. W specjalistycznych biurach rozwojowych, przeszło 60 % ogółu zatrudnionych [ABB] zajmuje się tematyką napędów.

2. Rodzaje napędów elektrycznych i sterowników

We współczesnych robotach stosuje się następujące rodzaje napędów elektrycznych:

- napędy z silnikami prądu stałego
- napędy z silnikami prądu zmiennego
- napędy z silnikami skokowymi

Silniki w/w wymagają przekładni mechanicznych. Ostatnio pojawiły się napędy tzw. bezpośrednie- direct drive - w których stosowane są nowe wysokomomentowe silniki prądu stałego.

W napędach z silnikami prądu stałego, w robotach przemysłowych, stosowane były początkowo silniki obcowzbudne prądu stałego, które następnie zastępowano silnikami z magnesami trwałymi.

W grupie silników prądu stałego stosowane są różne konstrukcje wirnika:

- wirniki bezżłobkowe
- silniki z wirnikami tarczowymi

Bardzo wysokim momentem maksymalnym w stosunku do momentu nominalnego charakteryzują się silniki z magnesami wykonanymi ze stopów alnico i najnowsze ze spieków ziem rzadkich Nd-Fe-B oraz Sm-Co-Fe. Wadą silników z Nd-Fe-B jest ograniczenie temperatury ich pracy, ponieważ magnesy Nd-Fe-B tracą swoje właściwości magnetyczne powyżej 100°C.

Pod koniec lat 70 zastosowano w robotach silniki prądu zmiennego. Można stosunkowo dużo je przeciążać do wartości 8-krotnej momentu rozruchowego bez obawy cieplnego rozmagnesowania. W tych napędach, wadą jest skomplikowany system sterowania z konwertorem częstotli-

wości i regulacją amplitudy opanowany w sposób zadawalający przez kilka firm produkujących głównie napędy do obrabiarek.

Napędy z silnikami skokowymi są często stosowane w małych robotach stosowanych również do celów dydaktycznych. Sterowanie silników skokowych jest stosunkowo proste i polega na bezpośredniej zamianie sygnału cyfrowego, zgodnie z przyjętym algorytmem, na położenie katowe wirnika, czyli na wykonanie skoków o odpowiedni kąt. Mogą one pracować bez pętli sprzężenia zwrotnego. Ponieważ wartość skoku jest ściśle ustalona więc w położeniu równowagi wirnik może oscylować. W celu eliminacji drgań wprowadza się różnego typu tłumiki, które jednak pogarszają własności dynamiczne napędu. Kolejną wadą jest gubienie "skoków" występujące przy wysokich prędkościach obrotowych. Ogranicza się więc prędkość obrotową lub wprowadza się pozycyjne sprzężenie zwrotne.

Rozróżnia się silniki skokowe reluktancyjne - niskomomentowe i magnetoelektryczne - wysokomomentowe. Oba te typy silników stosowane są w robotach z przekładnią mechaniczną podobnie jak w pozostałych typach napędu.

Coraz szersze zastosowanie znajduje obecnie napęd bezpośredni, w którym wyeliminowano przekładnię mechaniczną lub znacznie ją zredukowano. Zaletą tego napędu jest znaczne zmniejszenie luzów mechanicznych, tarcia i histerezy a także obniżenie wartości momentu bezwładności. Podwyższona zostaje dokładność pozycjonowania i szybkość reakcji przy znacznie uproszczonej konstrukcji mechanicznej. W robotach z napędem bezpośrednim lokuje się napęd w punktach obrotu ramion.

W najnowszej generacji robotów MPR (skrót niemiecki - odpowiednik

angielskiego ozn. "Assembly Gantry Robot" -robot ramowy, szynowy) [2]
koncernu ABB dzięki zastosowaniu napędu bezpośredniego uzyskano
duże prędkości i przyspieszenia : "v" rzędu 5 m/s i "a" powyżej
30 m/s². Napęd bezpośredni, w tych robotach, składa się z typowego
silnika prądu stałego z komutatorem elektronicznym. Cały cykl jego
pracy sprowadza się do kilku obrotów silnika.

Roboty MPR mają niewielką siłę udźwigu rzędu 1,5kg ale sygnalizowane
są prace dotyczące już napędów o większych mocach.

Dzięki wprowadzeniu napędu bezpośredniego otrzymano robota szybkiego,
o większej niezawodności. Jest on szczególnie przydatny w zroboty-
zowanych liniach w których dotychczasowe roboty były za wolne lub
ich stosowanie nie było uzasadnione ekonomicznie. Powstał więc nowy
obszar aplikacji.

Napęd bezpośredni jest rozwiązywany również z użyciem specjalnie
skonstruowanych silników elektrycznych, wysokomomentowych, opisanych
w najnowszych katalogach amerykańskich i japońskich a także w książce
z dziedziny napędu bezpośredniego [15, 23, 24].

Zasadniczą cechą tych silników jest zastosowanie w nich nowych spie-
ków magnetycznych, specjalny ich kształt i co ciekawe powrót do tra-
dycyjnych komutatorów mechanicznych. Niewielka ich ilość obrotów,
w porównaniu z silnikiem klasycznym prądu stałego, powoduje że w
całkowitym okresie eksploatacji zużycie komutatora jest niewielkie.
Konstruktorzy napędu bezpośredniego podkreślają również że w poró-
wnaniu z tym napędem, napęd z silnikami prądu zmiennego jest zbyt
ciężki w stosunku do osiągnięć (momentów) i ma rozbudowany system
sterowania o dużej zawodności.

W silnikach z magnesami "alnico" prądu stałego i zmiennego stosowanych, w robotach występuje również ujemne zjawisko obniżania indukcji magnetycznej w funkcji czasu - rozmagnesowanie. Ponieważ w silnikach napędu bezpośredniego stosowane są magnesy ziem rzadkich w których zjawisko to nie występuje w tak ostrej formie więc i pod tym względem napęd ten jest lepszy. Trzeba jednak dodać, że magnesy ziem rzadkich rozmagnesowują się w funkcji temperatury np powyżej 100°C i dlatego silnik może pracować tylko poniżej tej temperatury.

Również ważnym zagadnieniem jak konstrukcja silników elektrycznych jest zagadnienie ich sterowników. Tworzą one z napędem elektrycznym i przetwornikami wielkości mechanicznych cały serwomechanizm.

Sterowniki można podzielić ze względu na ich strukturę, budowę i zastosowane elementy energoelektroniczne. W sterownikach robotów IRb istnieją dwie pętle sprzężenia zwrotnego od położenia i prędkości. Można więc wyróżnić sterowniki położenia i prędkości. Ich optymalną strukturą jest przedmiotem analiz kilku ośrodków akademickich. W zależności od przyjętej struktury [13], przy tym samym napędie, zależy czas odpowiedzi - czyli szybkość reakcji ramienia robota oraz wartość przeregulowań i np.:

dla struktur typu PD czas odpowiedzi wynosi ~ 16 ms.

dla struktur PID czas odpowiedzi wynosi ~ 7 ms.

dla struktur PI/PI czas odpowiedzi wynosi $\sim 2,2$ ms.

Struktury te realizowane były początkowo w technice analogowej, później w analogowo - cyfrowej, a ostatnio tylko w cyfrowej.

Ważnym zagadnieniem jest człon mocy sterowników, który zależy od rodzaju silnika napędowego. Początkowo stosowano do małych silników układy z tranzystorami mocy, następnie układy tyrystorowe i triako-

we, a ostatnio, w związku z postępowaniem w energoelektronice, wysokonapięciowe tranzystory mocy.

Nowoczesne roboty mają również sterowniki osi zewnętrznych /poza robotem/ 6,7,8 itp. Ich budowa i struktura niewiele się różni od sterowników robota.

Większe różnice występują już w samym zewnętrznym napędzie, przekładniach mechanicznych itp. Należy się jednak liczyć, że wraz ze wzrostem prac aplikacyjnych, robotów sterowniki te będą ulegały już niezależnemu od robotów rozwojowi wymuszonemu przez urządzenia współpracujące.

Sterowniki robotów pełnią jeszcze dosyć istotną funkcję "forsowania" parametrów napędu np prądu lub napięcia, a także chronią silniki przed ich uszkodzeniem.

Dobór parametrów dynamicznych sterowników, z punktu widzenia optymalnej pracy napędu, nie jest jeszcze zadawalająco rozwiązany i stanowi przedmiot własnych prac i osiągnięć konstruktorów robotów. Dlatego stanowi zagadnienie równie ważne jak rodzaj i budowa samego napędu.

Przetworniki przyrostowe - rezolwery - i tachogeneratory są już obecnie na wysokim poziomie. Zauważa się zastępowanie tachogeneratorów przez przetworniki impulsowe lub wykorzystanie impulsów odwzorowujących prędkość bezpośrednio z rezolwera. W napędach bezpośrednich wraca się również do przetworników wartości bezwzględnych, które w tym zastosowaniu wcale nie muszą mieć tak wysokich parametrów jak z napędem z przekładnią.

3. Przegląd prac krajowych

Prace z dziedziny napędów elektrycznych do robotów i ich systemów sterowania wykonywane są obecnie w ramach Centralnych Programów Badańczo Rozwojowych nr: 7.1 i 7.2, Centralny Program Badańczo Rozwojowy 2.4 [Nowe materiały i technologie], Centralnego Programu Badań Podstawowych nr: 02.13. Zestawienie ważniejszych prac znajduje się w wykazie literatury [pozycja od 1 do 15]. W wykazie umieszczono również referaty z II Krajowej Konferencji Robotyki [Wzeseń 1988r./Wrocław] i z 18 Międzynarodowego Sympozjum Robotów Przemysłowych [Kwiecień 1988r./Lozanna], oraz konferencji dotyczącej materiałów magnetycznych, Wisła, październik 1988r. Są również nowe publikacje znanych koncernów: ABB i Stromag i katalogi przedsiębiorstwa ZPA Rumunia a także jedyna książka wydana w 1987r. z zakresu napędów bezpośrednich.

Prace krajowe wykonywane są przez Instytuty PAN, AGH, Politechniki, Instytut Elektrotechniki i PIAP.

Najwięcej prac dotyczy opracowania układów sterowania i silników elektrycznych prądu zmiennego. Prowadzone są prace na Politechnice Warszawskiej i w Instytucie Elektrotechniki w ramach 2-ch różnych CPBR. Wydaje się, że w niedługim czasie zostaną opracowane odpowiednie krajowe układy napędowe. W kwietniu br. CBKO zorganizowało seminarium f-my Stromag /Austria/, na której zaprezentowano produkowane już układy napędowe prądu zmiennego ze sterowaniem do obrabiarek i robotów przemysłowych. Kilka takich układów zostało już zakupionych do Polski i powinny być przedmiotem badań. Będzie można uzupełnić wiadomości o parametrach, których wartości są zbyt wygórowane, albo brak o nich informacji. Ogólną wadą prac z napędu o

charakterze odtwórczym, jakim jest opracowanie napędu robota jest brak badań wzorców zagranicznych. Powstają problemy naukowe i techniczne, angażujące dużą grupę fachowców, które po ich rozwiązaniu będą mocno przestarzałe. Napęd za pomocą maszyn prądu zmiennego i układy sterowania rozwiązano już nawet w Rumunii [15].

Bardzo interesujące prace są prowadzone na Politechnice Rzeszowskiej z zakresu optymalizacji algorytmów i struktur sterowników napędów. Prace te mają charakter teoretyczny i wymagają doświadczalnego sprawdzenia przekraczającego możliwości ośrodka akademickiego. Proponuje się w nich między innymi zmianę struktury w robotach IRb, które zdaniem autorów, polepszą dynamikę robotów. Odpowiedzi na te pytania może udzielić eksperyment w wyspecjalizowanym laboratorium, którego dotychczas brak.

W małych robotach i robotach dydaktycznych opracowanych w AGH i na Politechnice Poznańskiej zastosowano silniki skokowe produkcji krajowej /TONSIL/. Otrzymano dobre rezultaty, ale udźwigi robotów były zbyt małe, przez co rozwiązanie to nie kwalifikuje się do zastosowań przemysłowych. Większych silników skokowych nie produkuje się i nie ma potrzeby ze względu na trudności w ich sterowaniu. Na Politechnice Warszawskiej opracowano technologię wytwarzania magnesów trwałych z ziem rzadkich Nd-Fe-B w oparciu o materiał krajowy. Magnesy wysokoenergetyczne tego typu pojawiły się na świecie sprzedaży w 1984r. W bieżącym roku na Politechnice wykonano magnesy do robotów IRB/P-6;60 i stosowane do synchronizacji osi robota. Magnesy te okazały się nawet lepsze od zagranicznych i importowanych do robotów. Badania zostały wykonane w PIAP w ramach niniejszej pracy, a obecnie trwają długotrwałe badania nad rozmagnesowaniem. Poszukuje

się obecnie wytwórcy magnesów, który mógłby zaspokoić potrzeby producentów robotów. Nie została jeszcze zrealizowana technicznie technologia wytwarzania magnesów gabarytowo większych i dostosowanych do silników napędowych robotów. Autorzy technologii spodziewają się dofinansowania z UPNTiW na uruchomienie seryjnej produkcji i wykonywanie różnych wyprasek. Jeżeli stosowne decyzje zapadną, będzie można opracować silniki nowej generacji, w tym napędu bezpośredniego, w oparciu o surowce krajowe z odpadów przemysłowych [16]. Zakup z importu jest bardzo kosztowny, rzędu 3000 DM za kilogram magnezu, a krajowego kilkakrotnie taniej i bez wkładu dewizowego. W celu właściwego wykorzystania magnesów wysokoenergetycznych nie wystarczy zastąpić nimi obecnie stosowane magnesy, gdyż zysk będzie widoczny, ale niewielki. Technolodzy zalecają tutaj gruntowne przeprojektowanie konstrukcji. Przemysł materiałów magnetycznych zainteresowany jest robotami o niewielkich momentach, ale dużej szybkości działania. Jest to interesująca oferta, ponieważ przemysł ten dostarcza znaczną ilość dewiz w przemyśle elektronicznym [17]. W oparciu o w/w materiały magnetyczne PAN dosłał do PIAP Umową na opracowanie silnika do robotów tzw. napędu bezpośredniego. PAN gotowy jest opracować model silnika, znaleźć producenta i wdrożyć do produkcji. PIAP ze swej strony opracowałby układy sterowania, przeprowadziłby badania i zamontowałby w robocie. Byłby to istotny krok w kierunku nowoczesnych napędów. Na Politechnice Warszawskiej prowadzone są również prace nad zupełnie nowymi silnikami do robotów. Prace mają charakter badań poznawczych i trudno już coś powiedzieć o ich wyniku. Na podstawie rezultatów osiągniętych w 1987 r. można stwierdzić, że silniki te są

konkurencyjne w stosunku do napędów z silnikami skokowymi w zakresie małych momentów obciążenia.

Również w Politechnice Warszawskiej we współpracy z ZAP powstają Inteligentne Urządzenia Wykonawcze (IUW). IUW spełniają funkcję sterowników siłowników elektrycznych, regulatorów autonomicznych adaptacyjnych oraz napędów dodatkowych osi robotów. Przeznaczone są do elastycznych systemów automatyki. Jest to kontynuacja prac PIAP-u, zapoczątkowane opracowaniem w latach 70-tych rodziny sterowników ADF, ADK i ADI. Prowadzone są tam również badania robotów ZAP-IRp-6 i współpracy ich z napędami zewnętrznymi [PW-IMRC].

Pracę prowadzone przez PAN z udziałem specjalistów z Instytutu Elektrotechniki powinny doprowadzić do powstania specjalnych konstrukcji silników wysokomomentowych z magnesami z ziem rzadkich. Produkcję tego typu silników rozpoczęto od 1985r w Japonii i USA. W silnikach tych np. zrezygnowano z komutacji elektronicznej i zastosowano tradycyjny typ komutacji uważając, że w wolnoobrotowych silnikach zużycie komutatorów jest pomijalnie małym stosunku do osiągnięcia wyższej niezawodności. W kraju w 1987r. wykonano dwa modele napędów bezpośrednich dla WAT i dla Instytutu Lotnictwa - informacja z Instytutu Elektrotechniki, październik 88r.

W nowej licencji samochodu "Fiat X" mają być zastosowane silniki elektryczne z magnesami z samaru [17]. Ponieważ będzie to znaczna produkcja więc prawdopodobnie będzie można wykorzystywać te magnesy do innych celów np. do nowej konstrukcji napędu bezpośredniego do robotów.

5. Stan zaawansowania prac w PIAP.

W latach siedemdziesiątych opracowano w PIAP rodzinę sterowników do silowników elektrycznych. Prace zostały wdrożone w ZAP Ostrów Wlkp. i nie były dalej kontynuowane w PIAP. Ponieważ prace nad nowymi silownikami, w ZAP biegły w dalszym ciągu i okazało się, że stare już sterowniki nie nadawały się do nowych aplikacji.

Dlatego prace z tej dziedziny zlecone zostały przez ZAP innym kontrahentom i kontynuowane są na Politechnice Warszawskiej. Ponieważ tematyka jest obszerna, prowadzona w ramach tzw. Inteligentnych Urzędzeń Wykonawczych, wskazane jest, aby włączył się do jej realizacji PIAP. Również w latach 70-tych został opracowany w PIAP układ sterowania silownikami hydraulicznymi charakteryzujący się tzw. podkładem [ślizgiem]. Układy ślizgowe sterowania są obecnie prawie powszechnie stosowane w napędach hydraulicznych robotów przemysłowych. Instytut Mechaniki Precyzyjnej w swoich pracach wykonywanych na zlecenie PIAP-u jest już obecnie bliski powtórzenia wyników uzyskanych w PIAP z ruchem ślizgowym do opracowanych robotów. W latach siedemdziesiątych opracowany był również w PIAP pierwszy model napędu bezpośredniego do sterowania listwy paliwowej silników spalinyowych. Prace te były wówczas całkowicie oryginalne i dopiero kilka lat później ukazały się prospekty amerykańskiej firmy Barber-Colmann. Prace z tej dziedziny trwają w PIAP do chwili obecnej. Prowadzone są również prace dotyczące sterowników cyfrowych do napędu robotów przemysłowych. Nie obejmują one obecnie silników napędowych wraz z częścią mocy sterowników. Prace nad nowymi konstrukcjami silnika z komutacją elektroniczną

hamowane są brakiem odpowiednich magnesów, ponieważ dopiero ostatnio powstała możliwość ich produkcji w kraju, a nie było wcześniej możliwości ich importu. Jak wiadomo zagadnienia napędowe są obecnie najważniejszymi w konstrukcji robotów przemysłowych. Wymaga to prowadzenia prac rozpoznawczych i badań wzorców zagranicznych oraz opracowania nowych konstrukcji napędów i układów sterowania. Doświadczenie i potencjał fachowy w PIAP jest wystarczający. Powinny być zakupione lub wypożyczone odpowiednie wzorce zagraniczne i wskazane jest przeszkolenie specjalistów w renomowanych firmach/ABB/, ponieważ koszty nowych opracowań będą wówczas mniejsze.

Wymagania techniczne na napędy robotów są trudne do spełnienia przez obecnie wykonywane modele napędu z silnikami prądu zmiennego, szczególnie w zakresie parametrów dynamicznych. Rozpatrując serwomechanizm sterowniki je spełniają, natomiast silniki napędów są zbyt wolne. Nie należy wykluczać, że są to wymagania za wysokie, ale dopiero badania porównawcze odpowiedników zagranicznych dadzą wiarygodną odpowiedź. W kraju przez kilka miesięcy znajdował się w CBKO-Pruszków odpowiedni wzorzec napędu prądu zmiennego firmy Stromag-Austria;RFN. Niestety nie był on udostępniony do badań i ich nie przeprowadzono ani w Instytucie Elektrotechniki ani w PIAP. W PIAP, jak wiadomo nie ma jeszcze odpowiedniego laboratorium, które byłoby w stanie przeprowadzić badania. Tworzenie oddzielnych wymagań dla samych napędów do robotów nie ułatwia, ale nieraz paraliżuje prace nad nowymi napędami. Funkcją celu bowiem jest robot i jego parametry, na podstawie jego wymagań powinny być określane wymagania w stosunku do napędu. Kierunek prac rozwojowych wykonywanych w CPBR 7.1 powinien również uwzględniać doświadczenia koncernu ABB uzyskane z robotami

serii IRb 1000 i IRb 2000 oraz AGR. Podobnie, dotyczy układów sterowania i programowania, a także rozwiązań konstrukcyjnych, które są już realizowane w serii IRp. Prowadzone są również prace o charakterze poznawczym i konstrukcyjnym we współpracujących ośrodkach akademickich i instytutach branżowych. Prace te o nieraz bardzo interesujących wynikach teoretycznych można nieraz wykorzystać nie tylko do zadań dydaktycznych polegających na szkoleniu przyszłych kadr i wyposażeniu uczelni w sprzęt do badań. Dla przykładu, w ramach jednego z celów zleconych wytypowanym przez PIAP koordynatorów /Politechnikę Warszawską/ realizuje się tematykę doboru optymalnych nastaw regulatorów układów napędowych robota przy założeniu istnienia regulatora PID. Korzyści z takiej pracy dla rozwoju układów napędowych mogły być większe, gdyby zagadnienia teoretyczne w nich rozważane, znalazły odbicie w badaniach eksperymentalnych.

Zagadnienie rozwoju napędu z silnikami prądu zmiennego jest trudne, a ze względów techniczno-ekonomicznych obserwuje się, w firmach produkujących roboty, odchodzenie od tego napędu.

Współpraca międzynarodowa w zakresie napędów koncentrowała się głównie na rozmowach z przedstawicielami rumuńskimi. Mają oni niezłe rozwinięte układy sterowania i silniki prądu zmiennego. Niestety przepływ informacji dotyczących poszczególnych parametrów tego napędu, od instytucji zainteresowanych do PIAP-u jest bardzo długi. Wskazane jest jednak kontynuowanie w/w rozmów w zależności od rezultatów osiąganych w kraju. Obecnie przygotowanie PIAP-u do realizacji tematyki napędowej związanej z rozwojem robotyki jest nie najlepsze, aparatura pomiarowa wyeksploatowana.

Mimo to, jeśli ma być kontynuowany rozwój konstrukcji robotów to

oprócz zagadnień programowania i adaptacji systemów komputerowych, napęd i jego sterowanie powinien zająć kluczową rolę w realizacji tych celów. Podobnie przedstawia się tematyka napędów urządzeń współpracujących z robotami i z zrobotyzowanymi liniami technologicznymi.

6. Kierunki rozwoju w koncernie ABB /ASEA+BBC/

Koncern ABB powstał w 1986 i 87r. głównie z połączenia firmy ASEA i BBC. W sierpniu 1988r. odbyła się, w szwedzkim mieście Västerås, Konferencja akcjonariuszy i pracowników koncernu ABB w której uczestniczyłem. Zreferowano na niej planowaną działalność koncernu. W zakresie robotyzacji ASEA-Robotic /ABB/ kontynuowała prace nad udoskonaleniem robotów IRB. Pierwsze roboty z tej serii, jak wiadomo zaczęto opracowywać przed 20 laty i stanowiły przedmiot licencji do Polski. Mimo, że były one bardzo nowoczesne, jak na tamte czasy, ulegały ciągłej modernizacji na życzenie odbiorców i powstały na ich bazie kolejne rodziny IRB 1000; 2000; 3000, a ostatnio opracowywana jest rodzina serii 4000. W latach 80 w ASEA nastąpiła stagnacja w sprzedaży wywołana również słabnącym zainteresowaniem robotami serii IRB. Nastąpiło to ze względu na przewidywane nowe obszary aplikacji i konkurencję ze strony innych firm. Nawet dla pobliskich zakładów Volvo zakupiono roboty firmy GEC, a nie z ASEA. Produkowane wówczas roboty okazywały się często za wolne, co ograniczało ich zastosowania np. w zrobotyzowanych liniach produkcyjnych. Opracowanie dla robotów IRB specjalnych systemów komputerowych, zamiast stosować gotowe komputery profesjonalne, wpłynęło na ich wysoki koszt. Kolejne zmiany ekonomiczne polegające na wykupieniu akcji koncernu szwedzkiego

ASEA przez kapitał fiński oraz powstanie międzynarodowego koncernu z dużym rynkiem zbytu EWG spowodował ożywienie w oferowanych konstrukcjach. Mianowicie dawna ASEA-Robotic podjęła współpracę z firmami z tego samego koncernu w Wielkiej Brytanii i stąd najnowsze opracowanie rodziny IRB 4000. W Szwajcarii, w centrum koncernu ABB/BBC/, powstała rodzina robotów MPR o dużych szybkościach i spełniających nowe wymagania. Biura konstrukcyjne w Szwajcarii stały się obecnie wiodące w koncernie zatrudniając znaczną część konstruktorów z Västeras, w tym ABB Robotic. Niezależnie od zmian organizacyjno-finansowych w samym koncernie, trzeba stwierdzić, że obecnie ABB prowadzi we własnym zakresie prace aplikacyjne i serwis swoich robotów i urządzeń. Nawet drobne zmiany programowe wprowadzone przez użytkownika wymagają akceptacji firmy. Z przeprowadzonych rozmów wynika, że rozwój rodziny IRB konstruktorzy uzależniają w znacznym stopniu od postępu w napędzie elektrycznym. W robotach firmy ASEA stosowano początkowo klasyczne napędy prądu stałego, silniki tarczowe, silniki z komutacją elektroniczną, silniki prądu zmiennego, a ostatnio napędy bezpośrednie z komutacją elektroniczną. W ABB-Robotic rozwijane są również nowe napędy elektryczne współpracujące z robotami np; kilka typów podajników drutów spawalniczych itp. Wydaje się, że obecnie najnowsze konstrukcje powstają w ABB Szwajcaria i z tym oddziałem warto nawiązać współpracę. Równocześnie informujemy, że na terenie PIAP-u znajdują się najnowsze publikacje /prospekty/ koncernu ABB wraz z dyskietkami do programowania komputerów Turbo Pascal 3E, który to język programów jest obecnie najczęściej stosowany w koncernie.

6. Podsumowanie i wnioski.

1. Tematyka napędów i układów jego sterowania przeznaczonych do robotów przemysłowych powinna być przedmiotem szczególnego zainteresowania w PIAP, ponieważ od niej zależy w znacznym stopniu jakość bieżącej produkcji oraz kierunek rozwoju konstrukcji.

2. W robotach elektrycznych obserwuje się od kilku lat zastosowanie napędu bezpośredniego, który wyeliminował luzy przekładni mechanicznych, histerezę oraz spowodował podwyższenie dokładności pracy i szybkości działania. Prace z tej dziedziny powinny być jak najszybciej podjęte w PIAP w szerokiej kooperacji z jednostkami n-b opracowującymi nowe wysokoenergetyczne magnesy z ziem rzadkich i silniki elektryczne /PAN+IEL/. Wskazana jest również współpraca międzynarodowa np; w ramach RWPG oraz z koncernem ABB. Ze względu na specyficzny kształt silników wysokomomentowych przyszłe roboty z napędem bezpośrednim nie koniecznie muszą być kompatybilne z robotami IRb/IRp.

3. Wymagania dotyczące nowych napędów i układów sterowania powinny być zdefiniowane po sprecyzowaniu kierunku rozwoju części manipulacyjnej robotów przemysłowych oraz urządzeń współpracujących.

4. Celowe jest, aby na terenie PIAP-u prowadzone były badania porównawcze odpowiednich wzorców zagranicznych. Wyniki badań wzorców pozwolą na analizę i ewentualnie weryfikację założeń technicznych nowych konstrukcji napędów.

5. Uzyskane już pozytywne wyniki badań wysokoenergetycznych magnesów ziem rzadkich wykonanych specjalnie dla PIAP-u przez Instytut Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej mogą być podstawą do zawarcia umowy wdrożeniowo-produkcyjnej i w dalszej perspektywie wstrzymaniem importu magnesów.

Magnesy te mają zastosowanie do synchronizacji osi robotów i importowane są ze strefy KK.

6. Propozycja zakresu tematyki napędów i jego sterowania, w oparciu o przedstawioną w niniejszej pracy analizę oraz dyskusję na Seminarium, zostanie przekazana Dyrekcji PIAP.

7. Literatura

1. Budowa ramienia robota o wysokiej dokładności pozycjonowania-AGH, Instytut Mechaniki i Wibroakustyki, CPBP/02.13, 1987r.
2. Rozwój rodziny robotów wysokiej szybkości- Development of High-speed robot family ; N.Bjoern, K.Hlovicę ABB/Szwajcaria/ Międzynarodowe Sympozjum Robotów Przemysłowych, Lozanna, 1988r.
3. Projektowanie i optymalizacja elektrycznych układów napędowych- Politechnika Śląska Instytut Podstawowych Problemów Elektrotechniki i Energoelektroniki, CPBP 02.13 1987r.
4. Analiza dynamiki napędów elektrycznych w robotach ze sztuczną inteligencją-Politechnika Łódzka, Instytut Automatyki, CPBP 02.13
5. Serwonapędy tranzystorowe z silnikami indukcyjnymi oraz synchronicznymi dla maszyn roboczych, pojazdów i innych układów zrobotyzowanych.
Opracowania, wykonanie i badanie modeli falowników tranzystorowych do zasilania serwonapędów z silnikiem asynchronicznym i silnikiem synchronicznym.-Politechnika Warszawska, Instytut Sterowania i Elektroniki Przemysłowej.
6. Serwonapędy z silnikami indukcyjnymi dla robotów przemysłowych- budowa i wyniki badań modeli Instytutu Elektrotechniki, CPBR 7.1
7. Cyfrowy układ regulacji do elektrycznych napędów robotów przemysłowych- prace studialne i założenia techniczne PIAP, CPBR 7.1
8. Elektryczny silnik o ruchu złożonym oraz silnik liniowy prądu stałego do napędów robotów przemysłowych, projekty wstępne węzłów konstrukcyjnych modeli- Politechnika Warszawska, Instytut Maszyn Elektrycznych, CPBR 7.1

9. Dokładne sterowanie cyfrowe końcowymi fazami ruchów robotów przemysłowych.- Politechnika Rzeszowska, Zakład Automatyki i Informatyki, CPBR 7.1/203
10. Inteligentne Urządzenie Wykonawcze, IUW 01,02 Politechnika Warszawska, Instytut Maszyn Roboczych Ciężkich, CPBR 7,2
11. Robotyka teoretyczna i przemysłowa - A.Moręcki; Referat II krajowej konferencji robotyki. Tom 1.
12. St. Dwojak - Prognoza w zakresie automatyki i robotyki procesów dyskretnych do roku 2010; Referat II krajowej konferencji robotyki. Tom 1. Wrocław, 1988r.
13. L. Trybus - Dobór nastaw serwomechanizmów PID o strukturze jak w robotach IRB; Referat II krajowej konferencji robotyki. Tom 2
14. Missala T.- Błąd pozycjonowania robota wywołany błędami rezolwera; Referat II krajowej konferencji robotyki. Wrocław, 1988 Tom 1
15. Napęd bezpośredni robotów: teoria i praktyka; Direct drive robots: Theory and practise- Haruhito Asad, Komet Koucef- Toumi /The MIT Press/ 1987r.
16. Materiały z II krajowej konferencji robotyki. Wrocław 1988r.
17. Materiały z konferencji pt.: Stan aktualny produkcji w kraju materiałów magnetycznie twardych /magnesów/ Wisła 1988r.
18. Inkremental Vinkelgiväre med O-Plus /Resolwer/ firmy Leine och Linde /Szwecja/
19. Volvo På VAG - Biuletyn firmy Volvo nr.3/1988r.
20. Prospekty silników napędów bezpośrednich firm amerykańskich i japońskich.
21. Katalogi firmy: Stromag /Wien, Austria/: Bosch ; Industrial Drives:

Materialy z Sympozjum 88r. IPA, Rumuniã

22. Roboty obniżają koszty produkcji, - Robot lowers productions.
Holmqvist, Ing. Ostman ABB Review 1/88
23. Katalog firmy Sierracin/ Magnedyne -USA, 1985r.
24. Katalog firmy Presilec - Francja, 1986r.

POLITECHNIKA WARSZAWSKA
INSTYTUT INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ

(NA PRAWACH WYDZIAŁU)

02-524 WARSZAWA, UL. NARSUTTA 65

CENTRALA — 49-98-71, DYR. 49-99-29 lub w. 451, DZIEK. 49-99-35 lub 451



BOJNTE

Przebieg o kierunku dla DP, DIV, DAE, DAM, DAR

Warszawa, 1987.11.30

[Signature]
87-XII-16

L.dz. JJM-1180/87

Przemysłowy Instytut Automatyki
i Pomiarów "MERA-PIAP"
Al. Jerozolimskie 202
02-222 WARSZAWA

O F E R T A

W ramach CPER 2.4 "Nowe materiały i ich technologie" opracowana została technologia wytwarzania magnesów trwałych z materiałów typu Nd-Fe-B. Materiały tego typu nadal jeszcze są nowością na rynkach światowych i, według prognoz, powinny w licznych zastosowaniach wyprzeć tradycyjne materiały magnetycznie twarde. Decydują o tym zarówno bardzo dobre ich własności magnetyczne, jak i stosunkowo niski koszt wytwarzania.

Uruchomienie produkcji magnesów Nd-Fe-B wymaga podjęcia działań organizacyjnych i odpowiednich nakładów finansowych, o które zamierzamy wystąpić do UPNTiW, w ramach istniejących przepisów o jednostkach innowacyjno-wdrożeniowych. Uwarunkowane jest to jednak rozpoznaniem zainteresowania w/w wyrobem i zapotrzebowania na magnesy Nd-Fe-B.

W związku z tym, zwracamy się z uprzejmą prośbą o oszacowanie zapotrzebowania na magnesy Nd-Fe-B. Ze względu na rozpoznawczy charakter niniejszej oferty, prosimy jednocześnie o informacje dotyczące wymiarów żądanych magnesów, co będzie przydatne przy określaniu profilu produkcji.

CAR/983/87
87.12.28

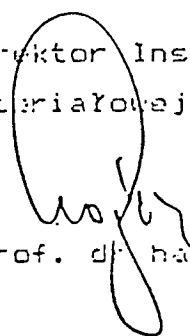
25

Wypełniony formularz prosimy kierować na adres:

dr inż. Anna Frączkiewicz
Instytut Inżynierii Materiałowej
Politechnika Warszawska
ul. Narbutta 85
02-524 Warszawa

Na odpowiedzi czekamy do dnia 31 stycznia 1988r. Będziemy również zobowiązani za wszelkie dodatkowe informacje, wiążące się z powyższym zagadnieniem. Ewentualne pytania prosimy kierować do dr inż. Anny Frączkiewicz lub do dr inż. Tomasza Dymkowskiego (IIM PW, tel. 48-06-33). *do. Louavitz Mnin*

Dyrektor Instytutu Inżynierii
Materiałowej PW


/prof. dr hab. S. Wojciechowski/

ORIENTACYJNE CHARAKTERYSTYKI MAGNESÓW TYPU Nd-Fe-B

siła koercji H_c : 440 - 560 kA/m;

pozostałość magnetyczna B_r : 1.0 - 1.1 T;

gęstość energii magnetycznej: $(BH)_{max}$: 200 - 225 kJ/m³;

gęstość: 7,0 g/cm³;

opuszczalna temperatura pracy: 100°C;

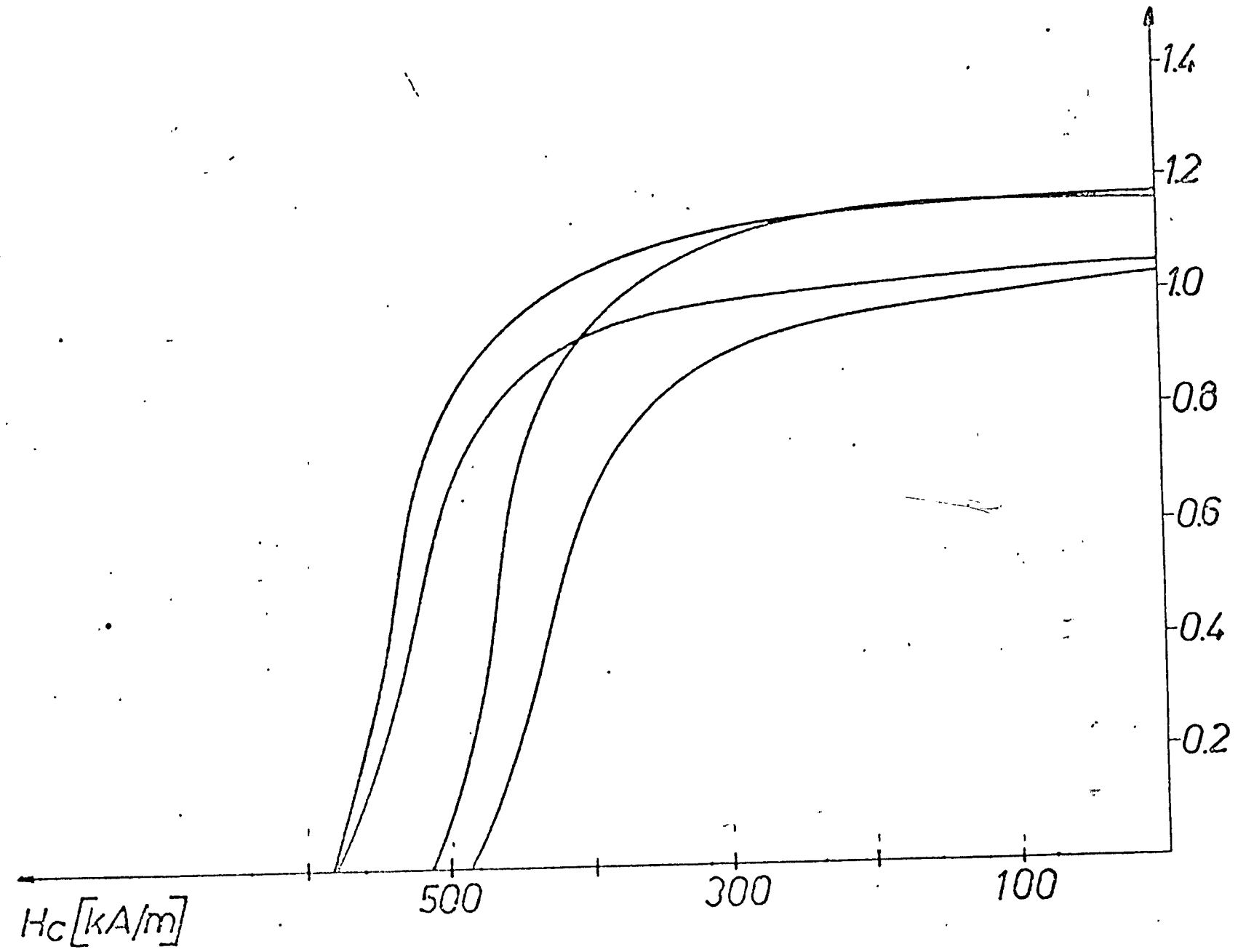
temperatura Curia: ok. 310°C;

kształty: cylindryczne lub prostocaołoscienne

Załączniki:

1. przykładowe krzywe odmagnewiania;
2. formularz ankiety dotyczącej zapotrzebowania na magnesy Nd-Fe-B

Br [T] 78



Wymagania techniczno ekonomiczne do wykonania
modelu silnika do bezpośredniego napędu ramienia
roboty IRp-6

Stosowanie przekładni mechanicznych stwarza szereg kłopotów w układach napędowych robotów. Są to nieuniknione luzy w zębach i związana z tym histereza co utrudnia dokładność pozycjonowania. Wykonanie przekładni falowych jest trudne i jak dotąd nie zostało skutecznie rozwiązane. w sensie długotrwałej pracy w krajach RWPG. W ostatnich dwóch-trzech latach w USA i Japonii pojawiły się konstrukcje silników elektrycznych rozwijających duży moment obrotowy, dzięki czemu przekładnia mechaniczna może być pominięta. Możliwość taka jest wynikiem postępu technicznego w materiałach magnetycznych a zwłaszcza stosowanie magnesów z ziem rzadkich.

Jak wiadomo na wielkość rozwijanego przez silnik momentu obrotowego mają wpływ dwa parametry: indukcja magnetyczna wytworzona przez magnes oraz prąd elektryczny płynący w uzwojeniu. Dotychczasowe magnesy ze stopów AlNiCo mają wprawdzie duże wartości indukcji, ale łatwo ulegają rozmagnesowaniu w przypadku dużych prądów uzwojenia. Nowe magnesy typu ziem rzadkich mają bardzo duże natężenie powściągające pola magnetycznego, dzięki czemu nie ulegają rozmagnesowaniu nawet przy dużych prądach wirnika. Ta właśnie ich cecha daje możliwość wzrostu momentu obrotowego silnika, co w połączeniu z odpowiednią geometrią konstrukcji silnika stwarza nowe możliwości jego zastosowania zwłaszcza w robotach i manipulatorach.

Jako materiał nowych magnesów ziem rzadkich stosuje się drogie pierwiastki: samar lub neodym. Dodatek neodymu pozwala na uzyskanie lepszych parametrów magnesu niż samaru, ale ma tę wadę, że posiada stabilne parametry tylko do 100°C.

W Polsce wydobywa się neodym (Kowary na Dolnym Śląsku) i są obecnie podejmowane prace nad uruchomieniem produkcji magnesów w skali półtechnicznej. (Instytut Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej)

Potencjalni producenci poszukują możliwości zastosowania tych magnesów w nowych wyrobach, zwłaszcza w silnikach elektrycznych. Dlatego zaprojektowanie i wykonanie pierwszego modelu silnika przy wykorzystaniu tych magnesów będzie miało duże znaczenie zarówno w

zakresie upraszczania konstrukcji robota jak również wprowadzenia nowych materiałów na polski rynek. Jest jeszcze przedwczesne prowadzenie dokładnej analizy ekonomicznej wspomnianego silnika, można jednak stwierdzić, że wyeliminuje on przekładnię falową której koszt jest znaczny oraz zwiększy niezawodność pracy robota. O ile wzrośnie koszt samego silnika można będzie określić po wykonaniu prototypu, wiadomo jednak, że do jego wykonania nie przewiduje się materiałów z importu.

Podstawowym parametrem silnika modelowego jest maksymalny moment obrotowy, który przyjmuje się ok. 50 Nm przy prędkości obrotowej do 30 obr/min i zakresie ruchu ok. 300°. W stosunku do wymiarów gabarytowych silnika nie stawia się ograniczeń. Napięcie zasilania poniżej 100V. Pierwszy zbudowany model będzie miał charakter naukowo-badawczy.

KIEROWNIK ZAKŁADU
Biomechaniki i Robotyki
Prof. dr. inż. *[Signature]*