

Spis treści

1.	Wstęp	3
2.	Wymagania	3
2.1.	Kryteria doboru podstawowych elementów mechanizmów napędowych	6
2.2.	Obliczenia	7
2.3.	Konfiguracja układu sterowania	12
2.4.	Wymagania ogólne	12
3.	Podsumowanie i wnioski	14

ZAŁĄCZNIKI:

Załącznik 1. Przykłady obliczeń napędów, optymalizacja doboru przekładni.

Załącznik 2. Pismo do firmy Bosch GmbH w sprawie konfiguracji napędów.

1. Wstęp.

Celem niniejszej pracy jest przeprowadzenie analizy wymagań pod kątem przyszłych zastosowań i określenie dwu koncepcji robotów z napędami produkcji Robert Bosch GmbH. Zakres merytoryczny pracy ograniczony jest przez poniższe założenia:

- A) Jako konstrukcja mechaniczna części manipulacyjnej wykorzystany zostanie prototyp manipulatora robota URP 120.
- B) Robot powinien charakteryzować się możliwie szerokim zakresem zastosowań.
- C) Kinematyka opracowanych koncepcji odpowiadać będzie kinematyce istniejącej części manipulacyjnej.
- D) Biorąc pod uwagę konieczność minimalizacji kosztów, przeróbki konstrukcyjne wymagające wykonywania prac warsztatowych należy ograniczyć do niezbędnych.

2. Wymagania.

Przy opracowywaniu koncepcji robota, stanowiącego uniwersalny środek automatyzacji produkcji, należy mieć na uwadze dwa częściowo wykluczające się zespoły wymagań:

- wymagania wynikające z chęci zapewnienia takich cech, aby urządzenie było możliwie uniwersalne, o różnorodnych możliwościach,
- wymagania spełnienia oczekiwań użytkowników zamierzających wykorzystywać robota w konkretnym zastosowaniu.

Chęć spełnienia wymagań pierwszej z wymienionych grup prowadzi do komplikowania konstrukcji i wzrostu kosztów. Pewnym rozwiązaniem w tym zakresie może być niekiedy modułowa budowa zapewniająca możliwość konfigurowania urządzenia do konkretnych potrzeb. Niestety charakter konstrukcji robota antropomorficznego ogranicza w praktyce to rozwiązanie. Dlatego, opracowując koncepcję robota spróbowano określić prawdopodobny obszar jego zastosowań i na tej podstawie ustalić wymagania.

Dla ciężkiego robota, o udźwigu 120- 150 kg oraz wymiarach i przestrzeni roboczej jak na rys 1 przewidziano zastosowanie do dwu rodzajów prac:

- a) w stanowiskach zrobotyzowanego zgrzewania,
- b) w systemach transportu bezpośredniego np. na stanowisku załadowczo- rozładowczym maszyn, w tym pras, przy obsłudze transporterów, do paletyzacji.

W powyższych przypadkach charakter pracy robota jest nieco inny i inne są jego obciążenia oraz wymagania stawiane przed konstrukcją.

Przy realizacji zadania zgrzewania na obciążenie manipulatora składają się:

- obciążenia o charakterze stałym:
 - masa kleszczy wraz z ich napędem,
 - masa transformatora zgrzewarki,
- obciążenia o charakterze dynamicznym- oddziaływania instalacji elektrycznej, pneumatycznej a przede wszystkim chłodzącej.

Przy zastosowaniach ciężkich zgrzewarek o dużej mocy transformator i kleszcze są niekiedy konstrukcyjnie rozdzielone, co pozwala na umieszczenie transformatora w takim

miejscu manipulatora, aby zmniejszyć moment bezwładności całego zespołu a przez to poprawić właściwości dynamiczne. Siły sprężyste napięcia odciągów przewodów instalacji elektro-energetycznej, pneumatycznej oraz chłodzenia wodą stanowią obciążenie czynne. Przy dużych mocach zgrzewania zwłaszcza te ostatnie powodują szczególnie duże obciążenie ze względu na znaczne przekroje przewodów i masy przewodów.

Ruch roboczy końcówki robota jest wypadkową niewielkich przyrostowych ruchów kilku osi, które powinny być wykonywane z maksymalnym przyspieszeniem. Ze względu na krótkotrwałość tych skokowych przemieszczeń podczas zgrzewania, robot w żadnym przypadku nie będzie osiągał prędkości maksymalnych. Natomiast powrotny ruch jałowy robota powinien odbywać się w czasie możliwie najkrótszym, przy czym obciążenia bierne podczas tego ruchu są identyczne jak przy ruchu roboczym a obciążenia czynne mogą być większe z powodu dynamicznego oddziaływania rozciągniętych instalacji.

Zupełnie inny charakter ma praca robota przy obsłudze maszyn. Obciążenia bierne stanowią przede wszystkim masy chwytaka oraz przenoszonego elementu. Obciążenia bierne są różne podczas ruchu roboczego i jałowego, gdy brak jest elementu przenoszonego. Natomiast obciążenia czynne wynikają głównie z zastosowania układu kompensującego działanie siły ciężenia. Jeżeli układ kompensujący wyregulowany zostanie dla zrównoważenia masy ramion, przegubu, chwytaka oraz połowy masy noszonego elementu, to pionowa składowa obciążenia czynnego będzie miała zwrot skierowany w dół przy ruchu roboczym, a w górę przy ruchu jałowym.

Napędy ruchów lokalnych, pozbawione układu równoważenia sił ciężenia, będą musiały przenosić pełne obciążenia od siły ciężkości, przy czym jego wartość będzie oczywiście różna w zależności od tego, czy ruch odbywa się z przenoszonym detalem czy bez niego.

Charakter ruchu robota jest również zupełnie inny. Osie globalne pracować będą często w znacznym zakresie i oprócz fazy rozpędzania i hamowania występować będzie faza ruchu z jednostajną prędkością napędu. Osie lokalne mogą pracować w bardzo różnym zakresie ruchów.

Specyficznym zadaniem wśród prac załadowczo- wyladowczych jest obsługa pras pracujących w bardzo krótkim cyklu. Specyfika ta wynika z oczekiwania rozwijania przez robota bardzo dużych prędkości średnich przy jednoczesnych dużych wysięgach. W ogólności nie musi to jednak oznaczać dużych prędkości maksymalnych.

Dla dokonania doboru napędów dla istniejącej konstrukcji części manipulacyjnej sformułowano dwa przypadki stanu obciążeń, wynikające z powyższych rozważań.

Wersja ciężka.

Założono obciążenie robota zgrzewarką. Masa transformatora dużej zgrzewarki (o prądzie 5,4 kA) produkcji Aro bez kleszczy wynosi 78 kg. Po uwzględnieniu nadto masy kleszczy, masy przewodów chłodzenia wypełnionych wodą, występowania sił skierowanych w górę pochodzących od odciągów przewodów jak również wymiarów geometrycznych zgrzewarki oraz kleszczy do obliczeń przyjęto, że robot obciążony jest masą 120 kg umieszczoną punktowo w odległości 450 mm od płaszczyzny tarczki oraz 250 mm od jej osi.

Powyższy przypadek obciążenia stanowi pewne hipotetyczne obciążenie jedną z największych zgrzewarek ze stosowanych obecnie w zrobotyzowanych stanowiskach zgrzewania. Rzeczywiste obciążenie może jednak znacznie różnić się, na przykład w przypadku zastosowania innych zgrzewarek czy kleszczy. Jak pokazują doświadczenia, istotny wpływ na siły obciążające mechanizmy robota ma też sposób mocowania kabli i przewodów (rozmieszczenie odciągów, prowadzenie przewodów po konstrukcji manipulatora itd). Konstrukcja stanowiska zrobotyzowanego musi uwzględniać trajektorię ruchu robota oraz możliwość jej modyfikacji w przypadku zmian programu roboczego w wyniku zmiany czy modernizacji produkcji. A zatem konstrukcja stanowiska wpływa również na rzeczywiste obciążenie robota.

Rzeczywiste czasy poszczególnych ruchów zależą od rzeczywistych wartości obciążeń. Pojęcie nośności robota jest pojęciem nieprecyzyjnym. Rzeczywistym obciążeniem jest bowiem moment bezwładności, którego reprezentacją jest masa skupiona, zamocowana na ramieniu. W zależności od wartości tego momentu, robot poruszać będzie się z mniejszą lub większą dynamiką. Można przyjąć pewną, graniczną wartość przyspieszenia np. pewien współczynnik ułamkowy maksymalnego przyspieszenia danej osi przy robocie nieobciążonym i założyć, że robot nie powinien być obciążany bezwładnością większą niż taka, która spowoduje zmniejszenie dynamiki poniżej tego współczynnika. Ustalenie jego wartości ma jednak charakter arbitralny i należy przyjąć, że w pewnych przypadkach możliwe będzie również wdrożenie robota z bardzo dużym obciążeniem, jeśli tylko jego dynamika będzie akceptowalna.

Inny charakter wpływu na zachowanie się robota ma obciążenie go siłą czynną, w tym siłą ciężkości. Warunkiem wykonania ruchu danej osi roboczej jest, aby moment napędu zredukowany do wybranej osi był większy od momentu oporów oraz momentu obciążeń zredukowanych do tej samej osi. Nadwyżka tego momentu stanowić będzie o możliwościach dynamicznych w danej osi robota.

Wersja szybka.

Do analizy zjawisk zachodzących podczas ruchu robota w wersji szybkiej jako model przyjęto jego pracę przy obsłudze prasy. W tym przypadku maksymalne obciążenie stanowi chwytak z dużą wypraską. Założono masę chwytaka 30 kg, masę wypraski 30 kg, środek ciężkości układu oddalony o 800 mm od płaszczyzny tarczki i 300 mm od jej osi. Są to warunki zbliżone do tych, jakie wystąpić mogą przy obsłudze ciężkich pras, np. przy produkcji nadwozi samochodowych.

Prezentowane powyżej rozważania odnośnie nośności dotyczą również wersji szybkiej z zastrzeżeniem, iż nie należy w tym przypadku oczekiwać przekroczenia maksymalnych dopuszczalnych obciążeń.

Ze względu na znaczne zakresy ruchów roboczych, cykl pracy poszczególnych osi będzie składał się z trzech faz: rozpędzania, ruchu z prędkością jednostajną napędu i hamowania. Minimalizacja czasu trwania całego cyklu polega więc na minimalizacji sumy czasów tych trzech faz. Przykład obliczeń minimum przedstawiono w załączniku.

Wychodząc z określonych we wstępie założeń, przyjęto następujący tok obliczeń:

- wstępny dobór napędów,
- dobór przekładni,
- sprawdzenie dynamiki,
- sprawdzenie wytrzymałości,

- określenie dopuszczalnych obciążeń,
- weryfikacja wyników i ewentualna zmiana napędów,
- powtórzenie iteracji.

2.1. Kryteria doboru podstawowych elementów mechanizmów napędowych.

Pole wyboru jest ograniczone przez:

- istniejącą już kinematykę części manipulacyjnej,
- momenty bezwładności poszczególnych osi roboczych, wynikające z istniejącej konstrukcji,
- wytrzymałość poszczególnych węzłów konstrukcyjnych a w szczególności pożądaną sztywność konstrukcji,
- oczekiwanie minimalizacji kosztów ewentualnej przeróbki i zmian konstrukcyjnych istniejącej części manipulacyjnej.

Tak sformułowane założenia prowadzą do ograniczenia procesu opracowania koncepcji części manipulacyjnych robotów do doboru napędów i przekładni, a prace projektowe do wkomponowania dobranych elementów w istniejącą konstrukcję.

Kryteria doboru napędów:

- 1) Wszystkie osie napędzane będą serwonapędami typu SE produkcji firmy Robert Bosch GmbH, ze sprzężeniami zwrotnymi wyposażonymi w hamulec,
- 2) Napęd powinien zapewniać możliwie dużą dynamikę,
- 3) Napęd powinien zapewniać moment niezbędny do pokonania czynnych i biernych oporów ruchu,
- 4) Siły rozwijane przez napęd nie mogą pogarszać wytrzymałości i sztywności konstrukcji manipulatora,
- 5) Dobrane napędy, w miarę możliwości, nie powinny powodować konieczności przekonstruowania węzłów ich mocowania, a jeśli już to maksymalnie ograniczać zakres tych prac.

ad 1) Przyjęto, że założone wstępnie warunki temperaturowe pracy napędów, ich poziom ochrony, możliwie jak najszerszy zakres osiąganych (dopuszczalnych) momentów, prędkości obrotowych oraz dobre właściwości dynamiczne i niewielkie momenty bezwładności umożliwią dobór napędu odpowiedniego do warunków pracy poszczególnych osi roboczych.

ad 2) Każda z osi powinna być możliwie jak najszybsza. Ograniczeniem są tu wymagania wytrzymałościowe mechanizmu i sztywnościowe konstrukcji nośnej oraz dopuszczalne prędkości ruchu zastosowanych przekładni. Ze względu na uniwersalność robota nierealne jest określenie w tym przypadku konkretnych wartości liczbowych.

ad 3) Każda z osi powinna być możliwie silna. Ograniczeniem w tym względzie są parametry innych elementów mechanizmu i wymagania zachowania sztywności konstrukcji nośnej. Ze względu na uniwersalność robota nierealne jest określenie w tym przypadku konkretnych wartości liczbowych.

ad 4) Zgodnie z podstawowymi zasadami konstruowania, wytrzymałość poszczególnych elementów konstrukcji lub mechanizmu powinna być zbliżona. Wobec faktu istnienia już konstrukcji manipulatora, od napędów należy wymagać, aby nie pogorszyły sztywności tej konstrukcji. Ponieważ pętla sprzężenia zwrotnego robota zamyka się na osi silnika, dokładność i powtarzalność robota zależy od sprężystości konstrukcji. Konstrukcja ta została zaprojektowana w taki sposób, że obciążona siłą 120 kg na tarczy robota ugnie się o 0,1 mm. Daje to współczynnik bezpieczeństwa ok. 20. Ponieważ konstrukcję nośną stanowią spawane, duralowe, zamknięte korpusy, trudno mówić o wyraźnej i jednoznacznej

graniczy plastyczności. Dlatego trudno jest też określić, na ile można dopuścić wzrost obciążeń konstrukcji przez zwiększone momenty użytych silników tym bardziej, że nie przeprowadzono prób żadnych zmęczeniowych i statycznych, niszczących prób wytrzymałościowych.

ad 5) Dobór napędów odbywać się powinien tak, aby nie powodować kolizji z istniejącą konstrukcją. Zagrożenie takie występuje przede wszystkim w osi γ_2 , ale również w osiach ϕ , t oraz γ_1 .

Kryteria doboru przekładni:

- 1) Przekładnia powinna zapewniać możliwie dużą dynamikę osi roboczej,
- 2) Przekładnia musi przenosić maksymalny moment silnika,
- 3) Należy dążyć do zachowania istniejących przekładni a nowo dobrane przekładnie nie powinny, w miarę możliwości, prowadzić do zmiany konstrukcji węzłów ich mocowania a jeśli tak, to maksymalnie ograniczać zakres tych prac.

2.2. Obliczenia

W zał. 1 przedstawiono obliczenia czasu trwania ruchów poszczególnych osi dla dwu wariantów obciążenia dokonano i dla kilku wariantów zakresu ruchów. Tam też zamieszczono opis metody obliczeń. W załączniku prezentowane są 22 przykłady obliczeń. Na tej podstawie dokonano wstępnego doboru silników:

Oś ϕ -silnik SE-LB3-075-030

Podstawowe parametry mechaniczne:

moment maksymalny [Nm]	19,7
zakres momentu nominalnego [Nm]	8,7- 7,8
prędkość maksymalna [obr/min]	3000
moment bezwładności [kgm ²]	0,00166

Oś θ - silnik SE-LB3-075-060

Podstawowe parametry mechaniczne:

moment maksymalny [Nm]	22,0
zakres momentu nominalnego [Nm]	8,2- 6,0
prędkość maksymalna [obr/min]	6000
moment bezwładności [kgm ²]	0,00166

Oś α - silnik SE-LB3-055-060

Podstawowe parametry mechaniczne:

moment maksymalny [Nm]	13,4
zakres momentu nominalnego [Nm]	5,5- 4,0
prędkość maksymalna [obr/min]	6000
moment bezwładności [kgm ²]	0,00124

Oś $\gamma 2$ - silnik SE-LB3-055-060

Podstawowe parametry mechaniczne:

moment maksymalny [Nm]	13,4
zakres momentu nominalnego [Nm]	5,5- 4,0
prędkość maksymalna [obr/min]	6000
moment bezwładności [kgm ²]	0,00124

Oś t - silnik SE-LB3-055-060

Podstawowe parametry mechaniczne:

moment maksymalny [Nm]	13,4
zakres momentu nominalnego [Nm]	5,5- 4,0
prędkość maksymalna [obr/min]	6000
moment bezwładności [kgm ²]	0,00124

Oś $\gamma 1$ - silnik SE-LB3-033-060

Podstawowe parametry mechaniczne:

moment maksymalny [Nm]	9,5
zakres momentu nominalnego [Nm]	3,3-2,8
prędkość maksymalna [obr/min]	6000
moment bezwładności [kgm ²]	0,0008

Biorąc pod uwagę ograniczenia przekładni należy dokonać weryfikacji napędów.

- Oś ϕ

Ze względu na parametry przekładni założono prędkość maksymalną silnika 2850 obr/min. Obliczeń dokonano dla dwu wersji konstrukcyjnych:

A - z przekładnią o przełożeniu $i=1:194$,

B - z przekładnią o przełożeniu $i= 1:96$.

Robot w wersji A obracać się będzie wokół osi pionowej z prędkością maksymalną 88°/sek, a maksymalny moment wynosi 1270 Nm.

Robot w wersji B obracać się będzie wokół osi pionowej z prędkością maksymalną 176°/sek, a maksymalny moment wynosi 616 Nm.

Przy określeniu momentów uwzględniono dopuszczenie przeciążenia silnika podczas hamowania o 50% oraz założono sprawność przekładni 0,8.

Założono ustawienie robota w trzech pozycjach:

- 1 - robot w pozycji "złożonej"- ramię górne poziome, ramię dolne obrócone tak, że ramię górne jest cofnięte o 1 m od położenia "zerowego",
- 2 - robot w pozycji "zerowej"- dolne ramię pionowe, górne ramię poziome,
- 3 - robot w pozycji "wysuniętej"- górne ramię poziome, dolne ramię obrócone o kąt taki, że górne ramię jest wysunięte o 1 m o pozycji "zerowej".

Obciążenie zewnętrzne robota założono jak w wariancie lekkim (symulacja pracy przy obsłudze pras) - "L" oraz jak w wariancie ciężkim (praca ze zgrzewarką) - "C".

Przedstawiono obliczenia czasu obrotu robota wokół osi pionowej o kąt 180° wg metody jak w zał nr 1. Oznaczenia przyjęto jak w zał. 1.

Momenty bezwładności zredukowane do osi obrotu ϕ [kgm²]:

	L 1	L 2	L 3	C 1	C 2	C 3
A	377,5	732	1703	411	925	2192
B	330,3	676	1656	364	878	2145

Przyspieszenia ϵ_r (opóźnienia ϵ_h) podczas ruchu dla poszczególnych przypadków [1/s²]:

	L	L	L	C	C	C
	1	2	3	1	2	3
ϵ_r A	3,36	1,73	0,74	3,01	1,37	0,60
ϵ_h A	7,96	4,10	1,76	7,30	3,24	1,36
ϵ_r B	1,87	0,91	0,37	1,69	0,70	0,29
ϵ_h B	4,54	2,21	0,90	4,11	1,71	0,70

Wersja z przekładnią B wykonuje ruch dwufazowy: rozpędza się na odcinku 2,21 rad nie osiągając prędkości maksymalnej 1760°/sek i hamuje na odcinku 0,93 rad. Nierównomierny podział na obie fazy ruchu wytłumaczyć można znacznie większym momentem hamowania niż napędowym powiększonym o odwrotne działanie pracy tarcia w przekładni (przy hamowaniu tarcie zwiększa moment hamowania).

Wartości w sekundach czasów rozpędzania i hamowania oraz sumarycznego czasu wykonania obrotu o kąt półpełny, przy określonych ustawieniach robota w dwu wariantach obciążenia, przedstawia poniższa tabela:

	L	L	L	C	C	C
	1	2	3	1	2	3
tr	1,54	2,20	3,46	1,62	2,25	3,90
th	0,64	0,92	1,44	0,67	1,04	1,63
tA	2,18	3,12	4,90	2,39	3,55	5,33

Wersja z przekładnią A wykonuje ruch trójfazowy: rozpędza się do wartości prędkości maksymalnej, porusza się z tą prędkością ruchem jednostajnym obrotowym przez pewien czas, poczym hamuje. Podział drogi ruchu w postaci kąta półpełnego na poszczególne fazy wyrażony w radianach przedstawia się następująco:

	L	L	L	C	C	C
	1	2	3	1	2	3
α_r	0,352	0,685	1,60	0,394	0,865	1,98
α_j	2,64	2,17	0,87	2,58	1,91	0,29
α_h	0,149	0,289	0,674	0,162	0,366	0,866

Niezbędny czas dla wykonania tego ruchu wynosi [sek]:

	L	L	L	C	C	C
	1	2	3	1	2	3
tr A	0,46	0,89	2,08	0,51	1,12	2,57
tj A	1,71	1,41	0,56	1,67	1,24	0,19
th B	0,19	0,37	0,87	0,21	0,47	1,12
t B	2,36	2,67	3,51	2,39	2,83	3,88

Wyniki te dla lepszej ilustracji przedstawiono na wykresie 1.

Uzyskane wyniki wskazują, że niezależnie od wersji obciążenia znacznie korzystniejsza jest przekładnia o większym przełożeniu. Oznacza to, że czas obrotu robota w osi pionowej o kąt 180° będzie krótszy dla napędu o mniejszej prędkości maksymalnej i że to właśnie przełożenie, a nie wartość prędkości maksymalnej decyduje o czasie obrotu.

Ten wynik pozwala zweryfikować początkowe wymagania i każe nieco inaczej spojrzeć na katalogowe parametry robotów.

• Oś θ

Na podstawie wyników wstępnych obliczeń czasu ruchu w pełnym zakresie (przykład nr 19 w zał. nr 1) przyjęto założenie, że pozostawiona zostanie przekładnia w postaci śruby kulowej. Maksymalna prędkość obrotowa wynosi:

$$n = k \cdot k_1 \cdot d_r / l^2 = 120.000.000 \cdot 0,8 \cdot 36,7 / 8502 = 4876 \text{ obr/min};$$

gdzie:

k- współczynnik zależny od warunków pracy i sposobu mocowania śruby,

k_1 - współczynnik bezpieczeństwa,

d_r - średnica rdzenia śruby,

l- długość śruby.

Przyjęto następujące założenia:

przełożenie $i=223$, co stanowi wartość średnią; ze względu na charakter mechanizmu rzeczywiste przełożenie jest zmienne w przedziale od 261 do 185,

moment napędowy $M_r=1737 \text{ Nm}$,

moment hamujący $M_h=2887 \text{ Nm}$ (założono możliwość przeciążenia silnika o 50%),

moment bezwładności (dla wersji ciężkiej) $J=842,3 \text{ kgm}^2$,

przyspieszenie $\epsilon_r=2,06 \text{ 1/s}^2$

opóźnienie $\epsilon_h=3,43 \text{ 1/s}^2$

kąt ruchu przyspieszonego $\alpha_r=0,98$

kąt ruchu opóźnionego $\alpha_h=0,59$

czas ruchu przyspieszonego $t_r=0,97 \text{ sek}$,

czas ruchu opóźnionego $t_h=0,59 \text{ sek}$,

czas ruchu w pełnym zasięgu osi $t=1,56 \text{ sek}$.

Uwzględniając błędy wynikające z uśrednienia przełożenia i momentu w całym zakresie ruchu, czas ruchu osi w pełnym zakresie zasięgu i tak jest dostatecznie krótki.

- Oś α

Oś α wyposażona jest w identyczną śrubę jak oś θ , co nakazuje przyjęcie tego samego ograniczenia prędkości maksymalnej do 4850 obr/min.

Obliczenie czasu obrotu o kąt 90° .

Przyjęto następujące założenia:

przełożenie $i=223$, co stanowi wartość średnią; ze względu na charakter mechanizmu rzeczywiste przełożenie zmienia się w przedziale od 261 do 185,

moment napędowy $M_r=1165 \text{ Nm}$,

moment hamujący $M_h=1936 \text{ Nm}$ (zakładamy możliwość przeciążenia silnika o 50%),

moment bezwładności (dla wersji ciężkiej) $J=842,9 \text{ kgm}^2$,

przyspieszenie $\epsilon_r=1,38 \text{ 1/s}^2$

opóźnienie $\epsilon_h=2,29 \text{ 1/s}^2$

kąt ruchu przyspieszonego $\alpha_r=0,98$

kąt ruchu opóźnionego $\alpha_h=0,59$

czas ruchu przyspieszonego $t_r=1,19 \text{ sek}$,

czas ruchu opóźnionego $t_h=0,72 \text{ sek}$,

czas ruchu w pełnym zasięgu osi $t=1,91 \text{ sek}$.

Uwzględniając błędy polegające na uśrednieniu przełożenia i momentu w zakresie kąta 90° czas obrotu o 90° i tak jest dostatecznie krótki.

Obliczenia dla osi przegubu przedstawione w zał. nr 1 wykazują bardzo dobrą dynamikę tych osi.

Podstawową trudnością w przewidywaniu reżimu pracy, a co za tym idzie określeniu wymagań dla napędów przegubu (dla ruchów lokalnych), jest określenie dopuszczalnego momentu czynnego przenoszonych przez daną oś pochodzącego od siły ciążenia. Wartość tego momentu zależy od kąta obrotu zgodnie z funkcją $\cos$.

Warunek równowagi momentu jest następujący:

$$J\alpha'' + m g r \cos(\alpha) - M_p = M_n - M_t; \text{ gdzie:}$$

M_n - moment napędowy zredukowany do osi ramienia, $M_n = M_{\text{siln } i}$;

i - przełożenie przekładni

M_t - moment tarcia zredukowany do osi ramienia,

J - moment bezwładności,

m - masa zredukowana obciążenia zewnętrznego,

r - odległość środka masy zredukowanej od osi obrotu rozpatrywanej osi robota.

M_p - moment układu wyrównowazenia pneumatycznego osi.

W pierwszym przybliżeniu można uznać, że moment tarcia reprezentowany jest przez straty energii w formie sprawności przekładni. Dla osi niezrównoważonych $M_p=0$. Efektywny moment silnika "pracuje" więc na przezwyciężenie siły ciężkości, a jego nadwyżka powinna zapewnić odpowiednią dynamikę ruchu. Przykładowy przebieg momentu w funkcji kąta obrotu dla osi γ_1 , t_1 i γ_2 przedstawiono na rys 2. Wynika z niego, że właściwości dynamiczne danej osi silnie zależą od obciążenia momentem statycznym oraz od bieżącej pozycji. Określenie minimalnej nadwyżki momentu, zapewniającej odpowiednią dynamikę podczas startu z najniekorzystniejszej pozycji ma charakter arbitralny. Zasadniczym parametrem jest w tym przypadku dopuszczalny moment obciążenia tarczki. Rozpatrywane wyżej warianty wskazują na obciążenie odpowiednio 470 Nm dla wariantu lekkiego- obsługa pras ciężkich i 529 Nm dla wariantu ciężkiego- stanowisko zgrzewania. Przyjęto, że wartość tego momentu wynosi 530 Nm. Wykres dopuszczalnego obciążenia robota (nośności), w zależności od środka masy przedstawiono na rys. 3.

2.3. Konfiguracja układu sterowania.

Układ sterowania powinien zapewniać możliwość sterowania oraz programowania robota zgodnie z założonymi wymaganiami i w określonych warunkach. Zdefiniowanie na etapie założeń wstępnych producenta sprzętu, określa dopuszczalne warunki eksploatacyjne oraz możliwości i standardy programowania.

Założono następującą konfigurację układu sterowania RHO-3:

1. Pakiet podstawowy 2 nr 010020 bez servo 3 (pakiet CP/MEM z pamięcią użytkownika 128 kB),
2. Pakiet servo 6i,
3. Panel programowania PGH 3.

2.4. Wymagania ogólne

Konstrukcja antropomorficznego, sześćoosiowego robota przemysłowego powinna spełniać wymagania odpowiednich norm i przepisów, a w szczególności:

- A) normy ISO 10218 i Dyrektywy 89/392/EWG w zakresie bezpieczeństwa pracy,
- B) DTR 11062 w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej.

Ponadto przy konstruowaniu należy spełnić wymagania określone w normach środowiskowych oraz ogólnych normach dotyczących bezpieczeństwa użytkowania maszyn i urządzeń.

W ramach opracowania koncepcji robota, rozważano różnorodne aspekty bezpieczeństwa konstrukcji, mające na celu całkowite zabezpieczenie robota przed awarią lub minimalizację prawdopodobieństwa jej wystąpienia, zwłaszcza awarią podczas programowania robota w sytuacji obecności człowieka w strefie pracy robota. Przedsięwzięcia mające na celu bezpieczeństwo użytkowania należy przeprowadzać zarówno na etapie projektowania i wykonania jak też badań i eksploatacji.

Implementowane oprogramowanie powinno posiadać narzędzia, zabezpieczenia dla ochrony operatora przed skutkami popełnionego błędu prowadzącego do awarii lub wypadku jak również przed wypadkiem spowodowanym awarią układów zasilających.

W ramach opracowania dtr należy szczególnie starannie określić warunki bezpiecznego transportu, rozładowania i posadowienia robota a także sformułować wymagania dotyczące przeglądów okresowych.

Układ sterowania powinien posiadać zabezpieczenia przed wpływem zakłóceń mogących spowodować niezaprogramowany ruch części manipulacyjnej.

Stop awaryjny, umieszczony na panelu programowania, powinien być wyzwalany puszczeniem przez operatora i powodować natychmiastowe zatrzymanie się wszystkich osi. Ponowne uruchomienie możliwe może być jedynie w przypadku potwierdzenia pełnej sprawności wszystkich układów oraz prawidłowości nastaw tych parametrów, które decydują o bezpieczeństwie.

Należy opracować program i przeprowadzić odpowiednie szkolenia dla obsługi robota, w którym podkreślone zostaną narażenia występujące podczas pracy w sąsiedztwie robota oraz wymagania, które należy spełnić dla bezpiecznego programowania i eksploatacji.

Założone podstawowe parametry.

Antropomorficzny, sześćoosiowy robot przemysłowy 120BS składać będzie się z następujących trzech podzespołów konstrukcyjnych, połączonych ze sobą odpowiednim okablowaniem:

- a) część manipulacyjna,
- b) szafa z układem sterowania,
- c) panel programowania.

Z funkcjonalnego punktu widzenia, robot stanowi urządzenie złożone z:

- a) mechanizmu wykonawczego,
- b) napędów wraz ze sterownikami mocy,
- c) programowalnego układu sterowania,
- d) oprogramowania.

Robot powinien prawidłowo pracować w określonych warunkach eksploatacyjnych wynikających z przewidywanego obszaru zastosowań. Wśród podstawowych warunków wymienić należy:

- a) dopuszczalna temperatura otoczenia:
 - dla szafy sterowniczej $5^{\circ} - 40^{\circ} \text{C}$
 - dla części manipulacyjnej $5^{\circ} - 50^{\circ} \text{C}$
- b) wilgotność względna 5 - 90%
- c) zasilanie $3 \times 380 + 10\% + N + PE$, 50 Hz ± 1 Hz.
- d) odporność na zakłócenia wg IEC 801-2, IEC 801-4, IEC 1000-2-1 i 2 oraz IEC 801-5,

Parametry techniczne:

- a) dopuszczalne obciążenie na tarczce robota (łącznie z masą chwytaka) 150 kg z uwzględnieniem wykresu na rys.3,
- b) powtarzalność (dokładność) pozycjonowania $\pm 0,8 \text{ mm}$,
- c) zakresy ruchów poszczególnych stopni swobody:
 - obrót wokół podstawy ϕ 350°
 - obrót ramienia dolnego θ $\pm 45^{\circ}$
 - obrót ramienia górnego α $+30^{\circ} / - 60^{\circ}$
 - obrót przegubu γ_1 350°
 - odchylanie przegubu t 240°
 - obrót tarczki γ_2 350°
- d) wymiary przestrzeni roboczej wg rys.
- e) prędkości maksymalne
 - obrót wokół podstawy ϕ $95,5^{\circ}/s$
 - obrót ramienia dolnego θ $111,5^{\circ}/s$
 - obrót ramienia górnego α $111,5^{\circ}/s$
 - obrót przegubu γ_1 $243^{\circ}/s$
 - odchylanie przegubu t $161^{\circ}/s$
 - obrót tarczki γ_2 $105^{\circ}/s$
- f) wejścia/ wyjścia użytkownika
 - liczba wejść dwustanowych
 - liczba wyjść dwustanowych

- g) sterownik programowalny
- h) pamięć programu użytkownika 128 kB
- i) masy podstawowych zespołów robota
 - część manipulacyjna 850 kg,
 - szafa sterująca 350 kg

3. Podsumowanie i wnioski.

3.1. Analiza warunków pracy oraz wymagań dla dwu koncepcji rozwiązania konstrukcyjnego robota pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

a) Warunki pracy robota obsługującego prasę (wariant superszybki) są wbrew oczekiwaniom trudniejsze niż robota zgrzewającego (wariant ciężki). Wynika to z tego, że:

- * Nie ma możliwości pełnego wyrównoważenia części manipulacyjnej robota realizującego prace załadowczo- wyładowcze ; dla przykładu, przy masie chwytaka 30 kg i masie przekładanego detalu 30 kg, obciążenie robota wynosi przez pewien czas cyklu 30, a w części cyklu 60 kg. Przy stałej nastawie ciśnienia w cylindrze wyrównowazającym, ustawionej na wartość średnią, podczas ruchu roboczego będziemy mieli do czynienia z niewyrównoważeniem masy 15 kg a podczas ruchu jałowego silniki będą musiały pokonywać opór czynny cylindra. Dotyczy to obu ramion. Z kolei w przypadku robota zgrzewającego noszącego przez cały czas zgrzewarkę o masie (wraz z kleszczami) rzędu 120 kg istnieje możliwość pełnego wyrównoważenia.
- ** Mimo mniejszej masy przenoszonej przez robot w przypadku wersji superszybkiej, moment bezwładności tej masy może być większy niż dla wariantu ze zgrzewarką, a przecież to moment a nie tylko sama masa decyduje o obciążeniu manipulatora oraz napędów i mechanizmów.
- *** Z charakteru ruchu wynika, że robot superszybki powinien charakteryzować się zarówno dużymi przyspieszeniami jak i prędkościami maksymalnymi, co stoi w sprzeczności zwłaszcza przy doborze przekładni (przekładnia o małym przełożeniu zapewnia dużą prędkość maksymalną przy niewielkich przyspieszeniach, przekładnia o dużym przełożeniu zapewnia duże przyspieszenia przy niewielkich prędkościach maksymalnych). Tak więc dobór przekładni jest możliwy przy założeniu z góry określonych kryteriów wyjściowych. W tej pracy, jako kryterium przyjęto minimalizację czasu wykonania ruchu na drodze uznanej arbitralnie, na podstawie dotychczasowych doświadczeń za najczęściej występującą przy typowych zadaniach manipulowania masą; ruch ma być wykonany z największym spodziewanym obciążeniem.

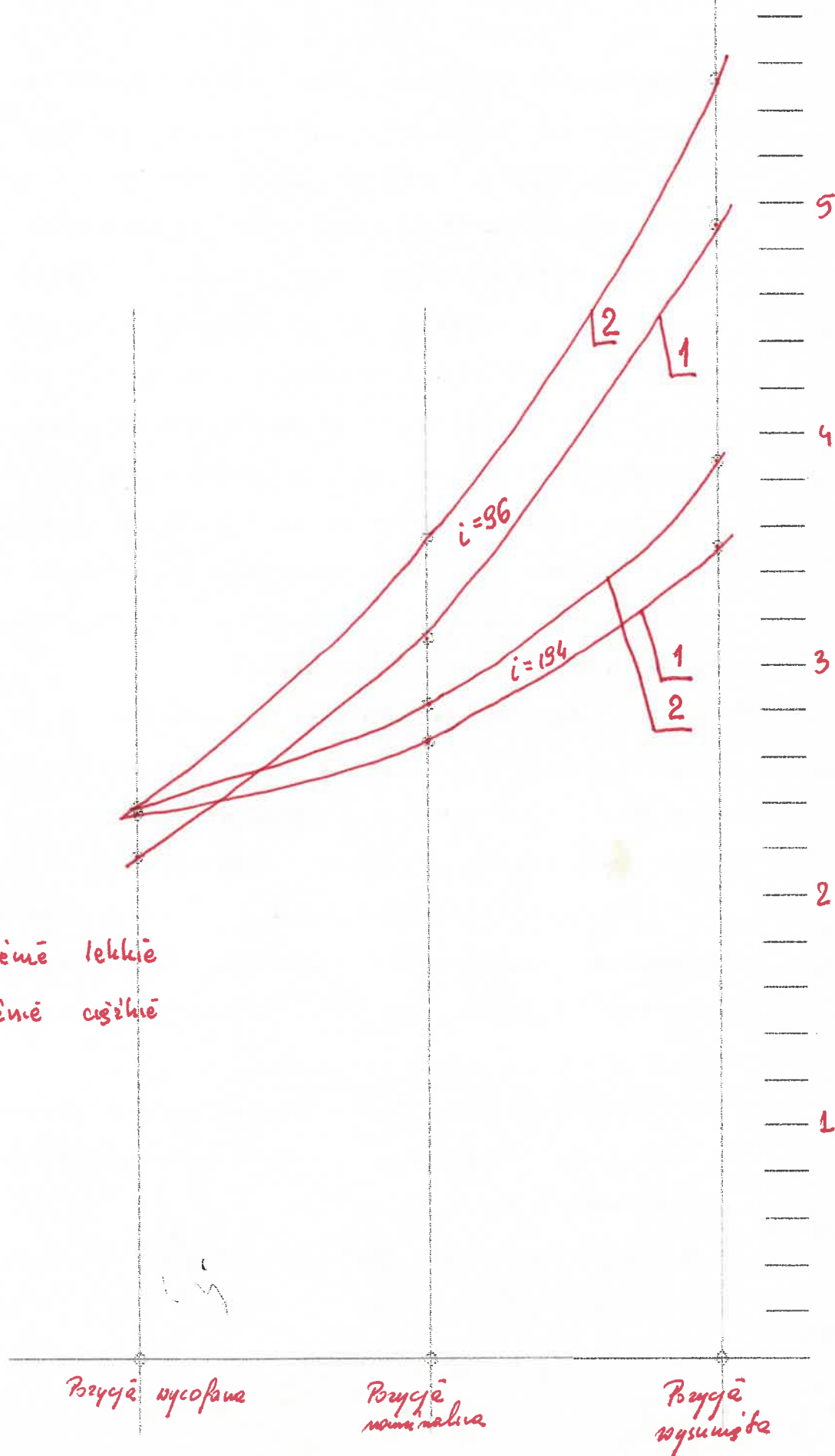
**** Dobór przekładni dla robota ciężkiego jest znacznie łatwiejszy.

- b) Wersja robota powinna być opracowana na podstawie analizy konkretnego zastosowania. Zastosowanie napędów firmy Bosch wybranych z oferowanego typoszerogu pozwala na optymalizację i modularyzację konstrukcji robota. Dotyczy to w szczególności napędów ruchów globalnych. Tak więc pojęcie uniwersalności robota o dużym udźwigu jest w tym sensie ograniczone, że ostateczna konfiguracja dobierana jest do konkretnych potrzeb. Taki kierunek rozwoju obserwowany jest również u innych producentów robotów przemysłowych (np ABB).

- c) Taka sama procedura może dotyczyć przekładni Robus, które dla danej wielkości (wytrzymałości i mocy) mają te same wymiary przyłączeniowe przy różnych przełożeniach. Umożliwia to ich dużą wymiennność w zależności od konkretnych wymagań i stwarza całą paletę możliwości doboru napędów (silnika i przekładni) w zależności od rzeczywistych potrzeb użytkownika.
- 3.2. Przedstawiona koncepcja elastycznego konfigurowania napędów dostosowanych do potrzeb zapewnia optymalizację konstrukcji. Oczywiście wymiana silników wiązać się może z koniecznością wymiany ich sterowników, umieszczonych w szafie z układem sterowania. Nie wymaga to jednak wymiany jednostki centralnej. Dzięki temu podejściu możliwe jest stworzenie wielu, a nie tylko dwu odmian robota 120/150.

os φ obrot o 180°

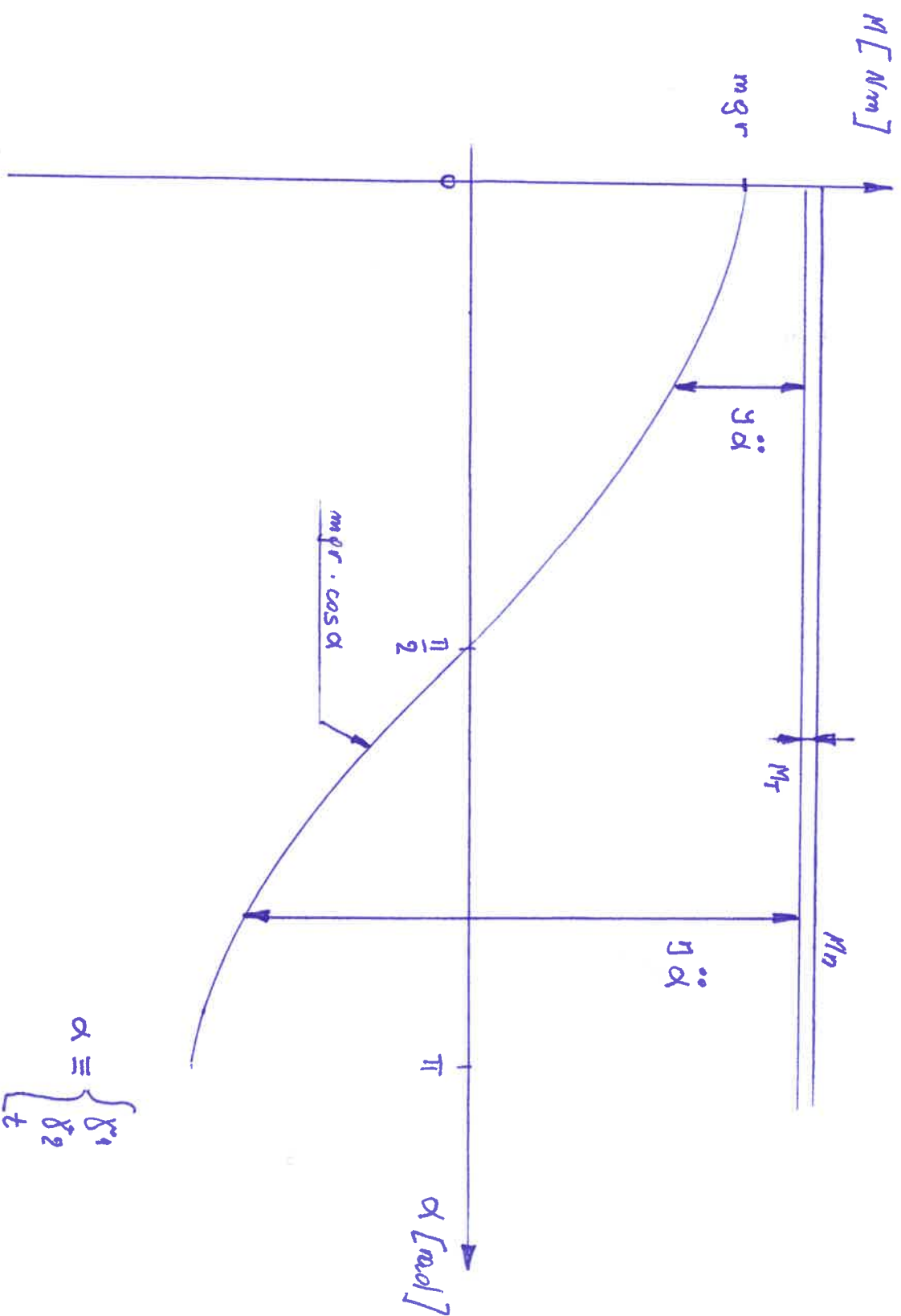
t [sek]

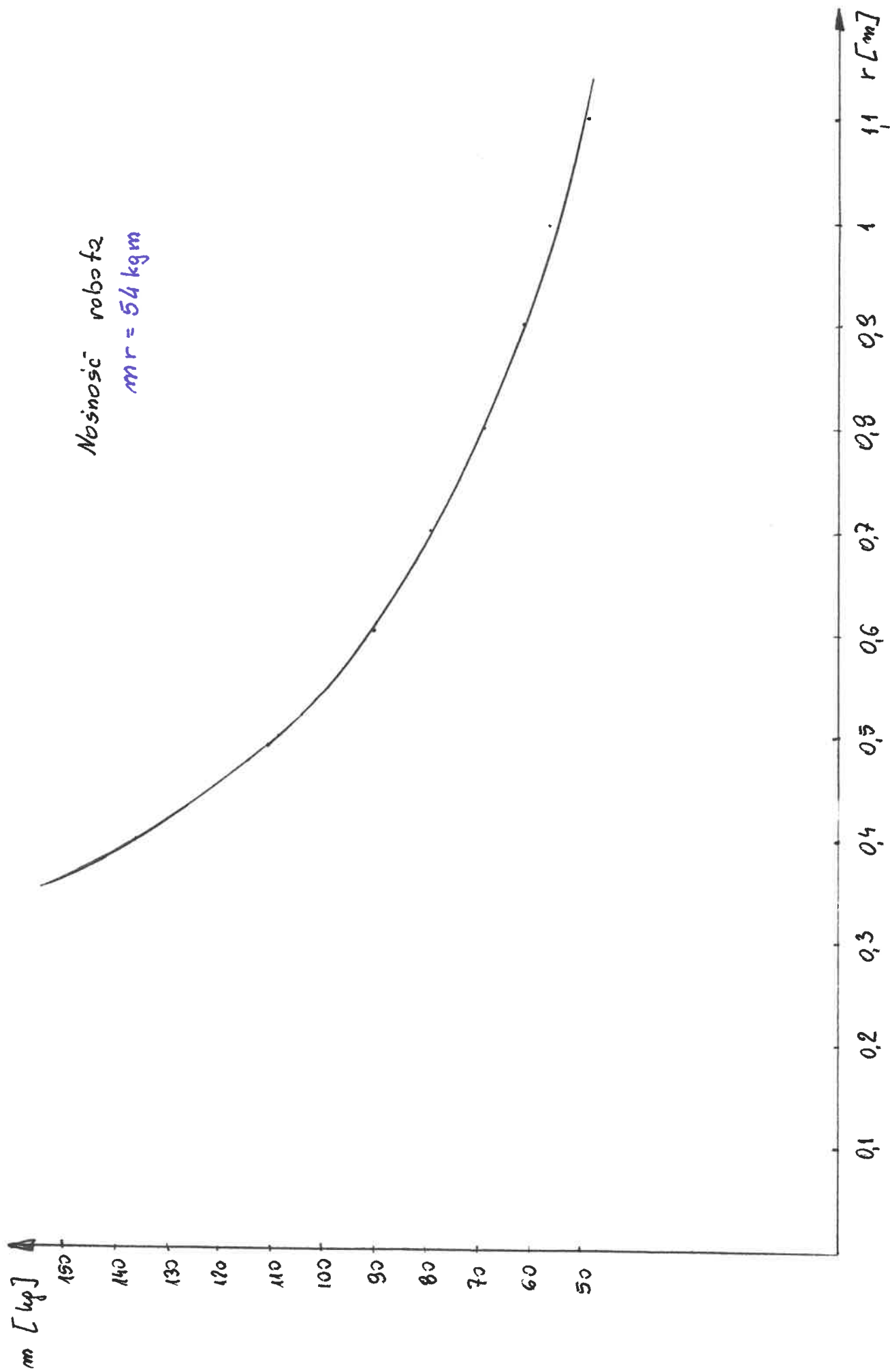


1 - obciążenie lekkie

2 - obciążenie ciężkie

Rys 1





Rys 3.

Robot URP-120
Konfiguracija i obrar
pracy

