

074
**PRZEMYSŁOWY INSTYTUT AUTOMATYKI I POMIARÓW
MERA-PIAP**

Al. Jerozolimskie 202

02-222 Warszawa

Telefon 23-70-81

Ośrodek Robotów Przemysłowych

Zespół Budowy Robotów Przemysłowych, Pracownia Konstrukcji

Elektropneumatycznych Robotów Przemysłowych

~~Główny wykonawca~~

Wykonawcy

mgr inż. Wojciech Klimasara

mgr inż. Zofia Jasińska

Konsultant

Nr zlecenia RP.27.1

Rozwój modułowych robotów przemysłowych PR-02.

1. Moduły PR-02 z napędem elektrycznym

1.1. Opracowanie wymagań i założeń konstrukcyjnych

Zleceńodawca Centralny Plan Badawczo-Rozwojowy 7.1

Pracę rozpoczęto dnia 86.06.15

Kierownik Zespołu

mgr inż. A. Socha

Z-ca Dyr. d/s Automatyki

dr inż. T. Gałazka

zakończono dnia 86.12.15

Kierownik Ośrodka

mgr inż. L. Przybylski

Praca zawiera:

stron 42
rysunków 23
fotografii -
tabel 6
tablic 4
załączników 5

Rozdzielnik - ilość egz:

Egz. 1 OAR
Egz. 2 OAR
Egz. 3 BOINTE
Egz. 4 TECHMA-ROBOT
Egz. 5
Egz. 6

Nr rejestr.

5732.

Analiza deskryptorowa Roboty przemysłowe PR-02 + moduły miniaturowe +
+ badania prototypów + badania konfiguracji + zastosowania.

Analiza dokumentacyjna Wymagania i założenia konstrukcyjne modułowych
robotów PR-02E w zakresie części manipulacyjnej.

Tytuły poprzednich sprawozdań - nie było.

338.45:62/69].002.1/2 Roboty przemysłowe

UKD

MAP-252/63-6000

SPIS TRESCI

1. Przedmiot pracy.	4
2. Formalne uzasadnienie podjęcia pracy.	4
3. Merytoryczne uzasadnienie podjęcia pracy.	4
4. Krótki przegląd produkowanych modułowych robotów przemysłowych z napędami mieszanymi.	6
4.1. Modułowy system robotów APR2,5 firmy VUKOV-Czechosłowacja.	6
4.2. Robot RB241/lic.FANUC - Japonia/ oferowany przez MACHINOEXPORT - Bułgaria.	7
4.3. System modułów robota przemysłowego firmy METO-FER AG. Szwajcaria.	8
4.4. Modułowy robot przemysłowy firmy BOSCH.	9
4.4.1. Charakterystyka modułów z napędem elektrycznym firmy BOSCH.	10
4.5. Wnioski.	13
5. Dane wyjściowe do założeń konstrukcyjnych modułów z napędem elektrycznym.	14
6. Podstawowe schematy kinematyczne.	16
7. Obliczanie podstawowych parametrów dynamicznych modułów robota PR-02 z napędem elektrycznym	18
7.1. Założenie ogólne.	18
7.2. Wyprowadzenia i rozwiązania równań ruchu.	20
7.2.1. Przypadek pokazany na rys.6.1.	20
7.2.1.1. Faza ruchu jednostajnie przyspieszonego.	21
7.2.1.2. Faza ruchu z wykładniczo narastającą prędkością / dla $t \geq t_0$ /	
7.2.2. Przypadek pokazany na rys. 6.2.	23
7.2.2.1. Faza ruchu jednostajnie przyspieszonego.	24
7.2.2.2. Faza ruchu z wykładniczo narastającą prędkością.	24

7.2.3. Przypadek pracy modułu liniowego jako pionowej kolumny / rys. 6.3 /	25
7.3. Wyniki obliczeń	27
7.3.1. Założenia.	27
7.3.1.1. Założenia dotyczące parametrów silnika.	27
7.3.1.2. Założenia dotyczące śrub kulowych oraz prowadnic. .27	
7.3.1.2. Pozostałe założenia.	28
7.4. Dyskusja wyników.	31
7.5. Wnioski końcowe.	33
8. Konkluzja.	34

Załączniki

Załącznik 1 : Karty katalogowe robotów przemysłowych z napędami mieszanymi

Załącznik 2 : Krótka charakterystyka silników wykonawczych prądu stałego typu PZTK88-35TRR oraz PZTK-13-07-TRR

Załącznik 3 : Charakterystyka śrub kulowych produkowanych przez F.O.P. AVIA

Załącznik 4 : Rozwiązanie równań ruchu dla schematu kinematycznego pokazanego na rysunku 6.1

Załącznik 5 : Wyprowadzenie i rozwiązanie równań ruchu dla schematu kinematycznego pokazanego na rysunku 6.2

Rysunki

Wykresy

1. Przedmiot pracy.

Przedmiotem pracy są założenia konstrukcyjne do opracowania modułów PR-02. z napędem elektrycznym, stanowiących wraz z istniejącym zestawem pneumatycznych modułów dwupołożeniowych bazę, do budowy konfiguracji robotów przemysłowych PR-02 o napędach mieszanych/elektrycznym i pneumatycznym/, sterowanych ze wspólnego układu umożliwiającego sterowanie P.T.P oraz dwupołożeniowe.

Niniejsze opracowanie odnosi się tylko do modułów z napędem elektrycznym.

Układ sterowania robotów PR02-E o budowie modułowej i mieszanych napędach jest przedmiotem oddzielnej pracy.

2. Formalne uzasadnienie podjęcia pracy.

Opracowanie modułów z napędem elektrycznym zostało podjęte na zlecenie C.P.B.R. nr 7.1 w ramach celu realizacyjnego 27 pt. "Rozwój modułowych robotów PR-02".

Ze względu na organizację pracy w Instytucie w ramach celu 27 zostały wyodrębnione dwa cele cząstkowe :- *tematy*

- 27.1. "Moduły PR-02 z napędem elektrycznym",

- 27.2. "Układ sterowania P.T.P".

Niniejsze opracowanie dotyczy tylko celu 27.1. *130 229*

3. Merytoryczne uzasadnienie podjęcia pracy

W wielu zastosowaniach robotów przemysłowych odczuwa się w kraju brak robotów o udźwigu ok. 10kg, które mogłyby wypełnić lukę między złożonymi robotami przemysłowymi /np. IRb, a robotami prostymi /np. PR-02/. Zastosowanie robota IRb jest w wielu przypadkach nieopłacalne ekonomicznie zaś roboty PR-02 w dotychczasowej postaci mimo szerokiego pola zastosowań nie mogą być stosowane w tych aplikacjach, gdzie wymagana jest konieczność pozycjonowania w dowolnym punkcie zakresu ruchu. Wynika to z napędu pneumatycznego oraz

pozycjonowania dwupołożeniowego realizowanego przez ustawienie mechanicznych ograniczników ruchu "twarde zderzaki"/.

Zmiana zakresu przemieszczeń w w/w rozwiązaniu wymaga ingerencji obsługi polegającej na przestawieniu odpowiednich zderzaków.

Dwuupołożeniowe pozycjonowanie powoduje ograniczenie możliwości zastosowania robotów PR-02 w takich pracach jak ^{np} paletyzacja ^{lub też} automatyzacja montażu w tych czynnościach w których wymagana jest konieczność zatrzymywania w dowolnym punkcie zakresu ruchu. Znane są konstrukcje robotów z napędem pneumatycznym, w których osiągnięcie pozycji pośrednich w cyklu pracy realizowane jest przez :

- wysuwanie kolejnych zderzaków pomocniczych /np. robot PR-16 prod. VUKOV - Czechosłowacja/
- zastosowanie obrotowego trzpienia z wieloma zderzakami /modułki liniowe firmy METO-FER-AG.

Ponieważ jednak liczba pozycji pośrednich możliwych do osiągnięcia w wielozderzakowych systemach pozycjonowania nie przekracza kilkunastu więc zakres zastosowania takich rozwiązań jest również ograniczony.

Rozwiązanie konstrukcyjne robotów przemysłowych z napędem pneumatycznym pozwalające na uzyskiwanie dowolnych pośrednich pozycji zatrzymania polegają na sprzęganiu napędów pneumatycznych z:

- ciernymi hamulcami elektromagnetycznymi lub pneumatycznymi,
- hamulcami hydraulicznymi.

Konstrukcje powyższe nie są rozwijane ponieważ wymagają złożonych układów sterujących oraz skomplikowanej obsługi. Zostają stopniowo wypierane przez serwonapędy elektryczne, posiadające szereg zalet do których zaliczyć można między innymi :

- mały koszt uzyskiwania energii,
- łatwa konserwacja,
- cicha praca,
- brak zanieczyszczeń otoczenia.

Alternatywnym rozwiązaniem do wyżej wymienionych rozwiązań napędów

pneumatycznych jest system modułowych robotów przemysłowych o napędach mieszanych. W skład zestawu modułów takiego systemu wchodzi dwupołożeniowe moduły o napędach pneumatycznych oraz moduły o napędach elektrycznych ze sterowaniem P.T.P. System taki pozwala w optymalny sposób wykorzystać zalety napędu pneumatycznego i elektrycznego. /Przykładem może być tu modułowy robot montażowy firmy BOSCH opisany szerzej w p.4.4./

Merytorycznymi przesłankami do opracowania w PIAP modułów robota PR-02 o udźwigu ok.10 kg z napędem elektrycznym są:

- potrzeba wypełnienia luki między modułowymi robotami PR-02 z napędem pneumatycznym, a złożonymi robotami o stałej kinematyce jak np. IRb.
- możliwość wykorzystania do tych modułów serwonapędów elektrycznych stosowanych w robotach IRb.

4. Krótki przegląd produkowanych modułowych robotów przemysłowych z napędami mieszanymi.

Celowość stosowania modułowych robotów przemysłowych z napędami mieszanymi została dostrzeżona przez firmy produkujące roboty zarówno w krajach RWPG jak również krajach kapitalistycznych. Niniejszy przegląd został ograniczony do przedstawienia rozwiązań robotów przemysłowych prezentowanych przez :

- VUKOV - Czechosłowacja,
- MACHINOEXPORT - Bułgaria,
- METO-FER-AG - Szwajcaria,
- BOSCH - RFN.

Karty katalogowe robotów w/w firm zostały zamieszczone na końcu niniejszego opracowania /Załącznik nr 1/.

4.1. Modułowy system robotów APR2,5 firmy VUKOV - Czechosłowacja / rys.4.1 /

Obejmuje zestaw modułów liniowych i obrotowych z napędem elektrycznym i pneumatycznym. Przykładem robota zbudowanego na

bazie tego systemu jest robot RPR2,5-01 w skład którego wchodzi:

- elektryczny moduł obrotowy / obrotowa podstawa/ EMRVO300,
- elektryczny moduł ruchu liniowego przewidziany do pracy w płaszczyźnie pionowej - kolumna EMLVO300,
- elektryczny moduł ruchu liniowego przeznaczony do pracy w płaszczyźnie poziomej - ramię EMLHO300,
- pneumatyczny dwupołożeniowy moduł obrotowy chwytaka PMRHO180.

Dane techniczne robota

- udźwig 2,5 kg
- Liczba stopni swobody 4
- powtarzalność pozycjonowania ± 0,05 mm

Zakresy, ruchu :

- obrotowa podstawa - 300°
- pionowa kolumna - 300 mm
- poziome ramię - 300 mm
- obrót chwytaka - 180°

Maksymalne prędkości

- obrotowa podstawa - 120°/s
- pionowa kolumna - 0,6 m/s
- poziome ramię - 1 m/s
- obrót chwytaka - 180°/s

4.2. Robot RB241 /lic. FANUC - Japonia/ oferowany przez
MACHINOEXPORT - Bułgaria.

Zbudowany jest z następujących zespołów z napędami elektrycznymi :

- obrotowej podstawy - kąt obrotu 300°
- pionowej kolumny - max zakres ruchu 500 mm
- ruchomego ramienia - max zakres ruchu 800 mm lub II wielkość 1100 mm
- obrót chwytaków - kąt obrotu 180°

Robot wyposażony jest w pneumatyczny chwytak.

Udźwig robota wynosi 20 kg, dokładność pozycjonowania ± 1 mm.

Robot wraz z pokazaniem przestrzeni manipulacji przedstawia rys.42.

4.3. System modułów robota przemysłowego firmy METO-FER AG. - Szwajcaria.

System ten został opracowany z przeznaczeniem do automatyzacji montażu w przemyśle elektrotechnicznym i elektronicznym. W skład systemu wchodzi moduły dwu i wielopłożeniowe z napędem pneumatycznym, stolik współrzędnościowy do paletyzacji oraz jeden numerycznie sterowany moduł NCL32 /rys.43/ przewidziany do szeregowego połączenia z dwupłożeniowymi modułami pneumatycznymi. Moduł ten może pracować jedynie w zestawieniu z liniowymi modułami pneumatycznymi ponieważ konstrukcja jego wyklucza możliwość osobnego wykorzystania. Moduł NCL32 może być wyposażony do wyboru, w jeden lub dwa napędy realizowane za pomocą silników krokowych.

W przypadku wyposażenia modułu w jeden silnik sterowany numerycznie jest tylko ruch w jednym kierunku. W przypadku dwóch silników możliwe jest sterowanie numerycznie ruchem modułu w obu kierunkach.

Do sterowania numerycznego służy sterownik PC zaś do sterowania pneumatycznego sterownik SMC.

Dane techniczne modułu NCL32 połączonego z liniowym modułem pneumatycznym o skoku 200 mm :

- zakres ruchu /mm/ - 200,
- dokładność pozycjonowania - $\pm 0,03$ mm,
- najmniejsza droga programowalna /mm/ - 0,025 mm
- prędkość ruchu przy zastosowaniu sterownika PC - 8 + 10 mm/s
- prędkość ruchu przy zastosowaniu sterownika SMC - 200 mm/s.

4.4. Modułowy robot przemysłowy firmy BOSCH.

Przykład konfiguracji przedstawiono na rysunku 4.4.

Głównym przeznaczeniem robota jest automatyzacja montażu. Przesłankami do opracowania robota były :

- konieczność kompleksowej automatyzacji montażu w fabrykach firmy BOSCH
- mała przydatność do automatyzacji montażu istniejących prostych robotów przemysłowych jak również robotów złożonych ale o stałej kinematyce,

Głównymi założeniami do opracowania robota montażowego były :

- możliwość kombinacji prostych dwupołożeniowych modułów z modułami wielopozycyjnymi posiadającymi możliwość zatrzymania w dowolnych zaprogramowanych punktach pozycjonowania,
- niższe koszty związane z wytworzeniem, instalacją i eksploatacją robota modułowego w stosunku do robotów złożonych o stałej kinematyce.
- duża dokładność i powtarzalność pozycjonowania,
- małe zapotrzebowanie miejsca
- duża elastyczność pod względem możliwości zastosowań.
- prosta obsługa,
- dostateczna szybkość działania pozwalająca na zwiększenie wydajności pracy,
- możliwość instalowania modułów w dowolnym położeniu,

Mając na uwadze powyższe założenia opracowano 2 zestawy modułów wzajemnie zastępowalnych o dwóch rodzajach napędów :

- zestawu prostych dwupołożeniowych modułów z napędem pneumatycznym,
- zestawu modułów z napędem elektrycznym dających możliwość zatrzymania w dowolnie zaprogramowanym punkcie z zakresu ruchu modułu.

Zestaw modułów pneumatycznych obejmuje :

- Moduły liniowe dla realizacji ruchów regionalnych,
- Moduły obrotowe chwytaka,

- Moduły liniowe dla realizacji lokalnych ruchów chwytaka,
- Chwytaaki,
- Statywy i elementy mocujące.

Zestaw modułów pneumatycznych przedstawione na rys. 45a /poszczególne jednostki występują w kilku wersjach wielkościowych/.

Zestaw modułów z napędem elektrycznym przewidziany do realizacji ruchów regionalnych zawiera :

- Moduły ruchu liniowego, typ I - /trzy wielkości/
- Moduły ruchu liniowego, typ II - / 5 wielkości/
- Moduły ruchu obrotowego, typ II i III.

4.4.1. Charakterystyka modułów z napędem elektrycznym firmy BOSCH.

Moduł ruchu liniowego, typ I /rys. 45b i 46/

Moduły elektryczne liniowe odpowiadają w głównych zarysach modułom liniowym pneumatycznym i są nimi współzastępowalne. Napęd od silnika przenoszony jest przez przekładnię zębnik - prowadnica z ząbkami powodując wysuw ruchomego zespołu modułu. Zespół napędu elektrycznego mocowany jest do nieruchomego korpusu modułu. Moduły ruchu liniowego typ I występują w 3-ech wersjach wielkościowych o max skoku 160, 240 i 400 mm.

Dane techniczne modułów typu I.

- | | |
|--|--------------------------------------|
| - prędkość przy max obciążeniu | - 1 m/s |
| - dokładność pozycjonowania | - $\pm 0,05$ mm |
| - maksymalne przyspieszenie | - 6 m/s^2 |
| - najmniejsza możliwa droga do zaprogramowania | - 0,01 mm |
| - zakresy ruchu | - 160, 240, 400 mm |
| - udźwig przy poziomej pracy modułu | - 10kg, 10kg, 5kg |
| - udźwig przy pionowej pracy modułu | - 5 kg niezależnie od zakresu ruchu. |

11

Moduł ruchu liniowego, typ II /rys.4.7/

Zbudowany jest z następujących zespołów :

- napędu składającego się z : silnika prądu stałego, rozdzielacza, ~~składającego się z silnika~~, tachogeneratora.
- przekładni,
- hamulca,
- ruchomego zespołu prowadzącego / sanie/
- korpusu,
- zespołu kabla.

Zespołem nieruchomym jest korpus z walcowanego profilu aluminiowego z wykonanymi rowkami teowymi służącymi do mocowania modułów na stanowiskach pracy. Zespołem ruchomym są sanie prowadzące z których związana jest dowolnie z prawej lub lewej strony jednostka napędowa wraz z przekładnią i hamulcem.

Doprowadzenie energii elektrycznej do silnika następuje poprzez kábel umieszczony w elastycznej przewodnicy łańcuchowej.

Napęd z silnika przenoszony jest przez przekładnię : zębnik - prowadnica z zazębieniem powodując przesuw liniowy saní względem korpusu modułu.

Moduł może pracować w pozycji poziomej oraz pionowej. Przy pracy w pozycji pionowej konieczne jest wyposażenie modułu w przeciwwagę /zrównoważenie ciężaru/ oraz hamulec, działający w sytuacji zaniku napięcia zasilania.

Dane techniczne:

zakres ruchu /mm/	400, 800, 1200, 1600, 2000
prędkości ruchu: /m/s/ Vmax	0,35 0,5 , 0,7
przyspieszenie : / m/s ² / a	2,9 0,32 3,5
długość saní /mm/ ls	200 , 320 ,
pozycja pracy	pozioma lub pionowa / dla pracy pionowej konieczny hamulec.

hamulec bez / z
dokładność pozycjonowania / mm/ $\pm 0,1$
powtarzalność pozycjonowania /mm/ $\pm 0,05$
udźwig poziomo : 750 N dla ls = 200
1500 N dla ls = 320
pionowo : 800 N

Elektryczne moduły obrotowe typ II i III /rys. 4.5a/

służą mogą np. jako obrotowe podstawy w zestawieniu konfiguracji robotów lub jako programowalne stoły obrotowe. Dane techniczne modułów :

	Typ II	Typ III
1. Średnica tarczy obrotowej	400 mm	630 mm
2. Prędkość obrotowa	90°/s	120°/s
3. Zakres obrotu	370°	370°
4. Dokładność pozycjonowania	0,02°	0,02°
5. Powtarzalność pozycjonowania	$\pm 0,01^\circ$	$\pm 0,01^\circ$
6. Znamionowy moment bezwładności od części ruchomych robota mocowanych na module obrotowym	10 kgm ²	20 kgm ²
7. Przyspieszenie kątowe	6 rad/s ²	6 rad/s ²
8. Moment krótkotrwały	250 Nm	450 Nm
9. L.punktów pozycjonowania	240	240

4.5. Wnioski

Parametry techniczno-eksploatacyjne opisanych modułów z napędem elektrycznym zostały zestawione w tabelach 4.1 i 4.2.

Tabela 4.1

Moduły liniowe

Pozycja pracy modułu Rodzaj parametru	Wysuwne poziome ramię	Pionowa kolumna	Przesuwna podstawa
Udźwig /kg/	2,5 - 12. kg	80 kg	150 kg
Zakres ruchu /mm/	160 - 1100	400 - 1000	400 - 2000
Prędkość maksymalna /m/sek/	1 m/s	0,35-0,7m/s	0,35-0,7m/s
Maksymalne przyspieszenie /m/s ² /	6	nie podano	nie podano
Powtarzalność pozycjonowania /mm/	± 0,05	± 0,05	± 0,05
Najmniejsza programowalna droga /mm/	0,01	0,01	0,01

Tabela 4.2

Moduły obrotowe

Nazwa parametru	Wartość
Prędkość obrotowa	90 ⁰ - 120 ⁰ /sek.
Kąt obrotu	300 ⁰ - 370 ⁰
Powtarzalność pozycjonowania	± 0,01 ⁰
Znamionowy moment bezwładności od części ruchomych robota mocowanych na modale obrotowym	10 ÷ 20 kg m ²
Przyspieszenie dla znamionowego momentu bezwładności	6 rad/s ²

Przedstawiony wyżej przegląd rozwiązań konstrukcyjnych robotów modułowych z napędem elektrycznym oraz analiza ich parametrów zawarta w

14

tabelach 4.1 i 4.2 stanowić może punkt wyjścia do opracowania założeń konstrukcyjnych modułów z napędem elektrycznym robota PR-02E o udźwigu ok. 10 kg.

5. Dane wyjściowe do założeń konstrukcyjnych modułów z napędem elektrycznym.

Podstawowe dane wyjściowe do założeń konstrukcyjnych zostały zawarte w karcie zadania wdrożeniowego celu nr 27.1 i obejmują następujące parametry techniczno-eksploatacyjne :

- udźwig robota do 10 kg
- napęd elektryczny i pneumatyczny
- zakres przemieszczeń dla modułów ruchów liniowych do 1 m
- zakres kąta obrotu dla modułów ruchów obrotowych do 360°
- powtarzalność pozycjonowania $\pm 0,1 + \pm 0,3$ mm
- sterowanie P.T.P. + dwupołożeniowe.

Parametry wyjściowe odpowiadają w zasadzie parametrom modułowych robotów przemysłowych które były przedmiotem analizy w rozdziale 4 niniejszego opracowania.

- Przewiduje się opracowanie trzech typów modułów z napędem elektrycznym, które będą wykorzystywane do budowy konfiguracji robotów zawierających moduły elektryczne i pneumatyczne.

Powyższa koncepcja zmierza więc do rozszerzenia istniejącego już systemu pneumatycznych dwupołożeniowych modułów PR-02 o zestaw podstawowych modułów z napędem elektrycznym.

Zakłada się opracowanie konstrukcji modeli następujących typów modułów sterowanych elektrycznie P.T.P.:

1. Moduł ruchu liniowego z przeznaczeniem do pracy jako poziome wysuwne ramię o zakresie ruchów 0 - 1000 mm/moduł MA1000E/
2. Moduł ruchu liniowego z przeznaczeniem do pracy jako pionowa kolumna lub jako pozioma przesuwna podstawa o zakresie ruchów 0 - 600 mm/moduł MB600E/

3. Moduł ruchu obrotowego o zakresie przemieszczeń kątowych $0-340^{\circ}$ stanowiący obrotową podstawę/moduł MD340E/.

Zakłada się opracowanie konstrukcji modułu MD340E o zespół napędowy osi φ robota przemysłowego IRb-6.

- Ze względu na jednoczesne występowanie w robocie dwóch rodzajów napędów należy przewidzieć:

- zespoły zasilania sprężonym powietrzem modułów pneumatycznych ruchów lokalnych, poprzez moduły z napędem elektrycznym, w sposób podobny do rozwiązania obecnie występującego w modułach pneumatycznych PR-02.

- Zakłada się wyposażenie modułów we wszelkie niezbędne elementy uwzględniające specyfikę pracy układów sterowania P.T.P. /czujniki końca zakresu ruchu, czujnik niezbędny do synchronizacji robota/.

- Zakłada się możliwość automatycznego unieruchomienia modułów elektrycznych po zaniku energii zasilającej przez zastosowanie luzowników elektromagnetycznych.

- Zakłada się pełne oddzielenie instalacji elektrycznej modułów z napędem elektrycznym od instalacji elektrycznej modułów pneumatycznych /osobne kable/.

W przypadku modułów ruchów liniowych w rozdziale 7 zostanie dokonana szczegółowa analiza ich własności dynamicznych dla określonego sposobu przeniesienia napędu, rodzaju stosowanej śruby kulowej oraz silnika.

Przeprowadzona analiza pozwoli na najbardziej odpowiedni wybór konstrukcji modułów.

6. Podstawowe schematy kinematyczne

Przedstawiony poniżej przegląd schematów nie wyczerpuje wszystkich możliwych rozwiązań przeniesienia napędu modułów elektrycznych robotów.

Ze względu na dostępność gotowych zespołów napędowych robotów IRb składających się z przekładni śrubowo - tocznych prod. FOP AVIA oraz silników wykonawczych prądu stałego prod. IEL ograniczono rozważania do schematów pokazanych na rys. 6.1 ; 6.2; 6.3; 6.4.

W rozwiązaniu pokazanym na rys. 6.1 / śruba kulowa 1 / ułożyskowana jest na obu końcach w ruchomej części modułu 2/ i obracana jest silnikiem 3. Nakrętka 4 mocowana jest w nieruchomej części modułu 5.

Masa G reprezentuje obciążenie modułu.

Z powyższego schematu widać, że prędkość maksymalna ruchu części ruchomej modułu / przy pominięciu siły tarcia / wyraża się wzorem:

$$1/ \quad v \quad \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] = \frac{1}{6} \cdot 10^{-4} \cdot n \cdot h$$

gdzie :

n - maksymalna prędkość obrotowa silnika / obr/min/

h - skok śruby / mm /

Dla $h = 5 \text{ mm}$, $n = 2800 \text{ obr/min}$.

$$v = 0,23 \text{ m/s}$$

zaś minimalne możliwe do zaprogramowania przesunięcie Δ / mm / :

$$2/ \quad \Delta = \frac{h \cdot R}{360}$$

gdzie :

R - zdolność rozdzielacza rezolwera w $^{\circ}$.

W rozwiązaniu pokazanym na rys. 6.2 śruba kulowa 1 jest zamocowana

sztynno w ruchomej części modułu 2/. Śruba 3/ ułożyskowana jest w części nieruchomej modułu.

Napęd od silnika 4 przenoszony jest na śrubę za pośrednictwem przekładni pasowej-zębatej o przełożeniu i prędkości maksymalnej / przy pominięciu sił tarcia/ wyraża się wzorem :

$$3/ \quad v \left[\frac{m}{s} \right] = \frac{1}{6} \cdot 10^{-4} \cdot n \cdot h \cdot i$$

zaś minimalne możliwe do zaprogramowania przesunięcie Δ /mm/:

$$4/ \quad \Delta = \frac{h \cdot i \cdot R}{360 \cdot \text{°}}$$

W rozwiązaniu pokazanym na rys. 6.3:

Napęd przenoszony jest w identyczny sposób jak w rozwiązaniu pokazanym na rys. 6.1.

Gdy punkt pozycjonowania znajduje się wewnątrz zakresu ruchu siła

F równoważona jest siłą $\frac{2\pi}{h} \cdot M$, gdzie :

M - moment " równoważący" siłę F

Wartość momentu $M \leq M_{DO}$, gdzie

M_{DO} / dopuszczalny moment długotrwały przy prędkości $n = 0$ /

Wartość momentu M_{DO} ogranicza udźwig modułu do masy G.

/bez uwzględnienia siły tarcia oraz zakładając, że sprawność przekładni śrubowej tocznej $\eta = 1$ /

$$5/ \quad G \leq \frac{2\pi}{h} \cdot \frac{M_{DO}}{g}$$

gdzie G : masa wszystkich ruchomych części robota z uwzględnieniem masy modułów do niego mocowanych wraz z masą przenoszonyego przedmiotu.

Ponieważ moment M_{DO} jest wielokrotnie mniejszy od momentu maksymalnego M_{max} dopuszczalnego ze względu na ograniczenie prądowe

silnika / np. $\frac{M_{max}}{M_{DO}} = 3,45$ dla silnika PZTK-88-35-TRR lub

$\frac{M_{max}}{M_{DO}} = 5,1$ dla silnika PZTK-13-07-TRR /celowe jest stosowanie :

- a/ luzowników elektromagnetycznych unieruchamiających śrubę w przypadku osiągnięcia punktu pozycjonowania lub
- b/ dodatkowego siłownika pneumatycznego /rys.6.4/ równoważącego siłę $G \cdot g$.

Zastosowanie siłownika ma tę zaletę, że pozwala na znaczne ~~poprawienie~~ -prawienie dynamiki pracy modułu.

Pozwala bowiem na znaczne skrócenie czasu rozprędzania oraz uzyskiwanie większych prędkości maksymalnych.

W następnym rozdziale zostanie przeprowadzona szczegółowa analiza powyższych rozwiązań konstrukcyjnych pod kątem ich parametrów dynamicznych.

7. Obliczanie podstawowych parametrów dynamicznych modułów robota PR-02 z napędem elektrycznym.

7.1. Założenia ogólne:

Przytoczone obliczenia mają charakter wstępny. Głównym ich celem jest sprawdzenie przydatności zespołów złożonych z silnika prądu stałego PZTK 88-35TRR lub PZTK 13-07-TRR produkcji IEL oraz przekładni śrubowej - tocznej produkcji F.O.P. "AVIA" do napędu modułów robota PR-02E.

Przydatność w/w zespołów zostanie oceniona na podstawie parametrów dynamicznych do których zalicza się :

- a/ maksymalne przyspieszenie,
- b/ przyspieszenie średnie,
- c/ czas rozruchu / czas rozprędzania modułu od położenia spoczynkowego do prędkości maksymalnej.
- d/ droga rozprędzania modułu do prędkości maksymalnej.

Uzyskane wyniki obliczeniowe pozwolą na

właściwy wybór :

- typu silnika /PZTK88-35TRR lub PZTK 13-07-TRR/,
- typu przekładni śrubowej-tocznej /zn.średnicy i skoku/.

opracowaniu.

Podany na rys.7.0. przebieg prędkości wynika z charakterystyki silnika prądu stałego oraz ~~zastosowaniu~~ zastosowaniu w sterowniku ograniczenia prądowego. Przebiegi charakterystyk silników podano w załączniku 2.

Należy podkreślić, że przedstawiony na rys.7.0. przebieg prędkości dotyczy pełnego zakresu ruchu modułu z maksymalną możliwą do uzyskania prędkością dla określonego rodzaju przeniesienia napędu /skok śruby h, przełożenie przekładni pasowej-zębatej/ oraz zastosowanie danego typu silnika.

Obliczenia przeprowadzone zostaną dla modułów ruchów liniowych o następujących pozycjach pracy i sposobach przeniesienia napędu :

20

- a/ pozycja pracy pozioma, silnik napędza śrubę /rys.6.1/
- b/ pozycja pracy pozioma, silnik napędza nakrętkę przez przekładnię z gumowym paskiem zębatym.

Sruba pozostaje sztywno zamocowana / /rys.6.2/

- c/ pozycja pracy pionowa, silnik napędza śrubę /rys.6.3/.

Charakterystyki silników PZTK88-35TRR wraz z krótkim opisem podano w załączniku 2, zaś opis podstawowych parametrów przekładni śrubowych-tocznych wraz z podaniem niezbędnych parametrów podano w załączniku 3.

7.2. Wprowadzenia i rozwiązania równań ruchu.

7.2.1. Przypadek pokazany na rys. 6.1

Założenia :

G - /kg/ - masa wszystkich ruchomych części robota /wraz z przenoszonym przedmiotem/,

T - /N/ - siła tarcia /uwzględnia tarcie w łożyskach oraz tarcie uszczeltek zgarniających o prowadnice/,

J_s - /kgm²/ - moment bezwładności śruby /dla danej długości/,

J_r - /kgm²/ - moment bezwładności wirnika silnika.

η - sprawność przekładni śrubowej-tocznej,

x, \dot{x}, \ddot{x} - droga, prędkość, przyspieszenie / $\frac{m}{s}$, $-\frac{m}{s^2}$, $\frac{m}{s^2}$ - t

K_N - stała momentowa silnika,

K_u - stała napięciowa silnika,

α - kąt obrotu śruby /rad/,

$\dot{\alpha}, \omega$ - prędkość obrót. śruby /rad/s/,

$\ddot{\alpha}, \varepsilon$ - przyspieszenie kątowe śruby /rad/s²/

h - skok śruby /m/

U - /V/ - napięcie na zaciskach silnika,

ΔU_p - spadek napięcia na szczotkach silnika,

a/ Związek między ruchem liniowym X , a ruchem kątowym śruby :

$$1/ \quad x = \frac{h}{2\pi} \cdot \omega \quad \dot{x} = \frac{h}{2\pi} \cdot \dot{\omega} \quad \ddot{x} = \frac{h}{2\pi} \cdot \ddot{\omega}$$

b/ Związek między prędkością kątową $\dot{\omega}$ wału silnika a napięciem U/t/ na zaciskach dla momentu obciążającego M

$$2/ \quad \dot{\omega} = \frac{U - \Delta U_p}{K_E} - K_N \cdot M$$

Ponieważ spadek napięcia $\Delta U_p \approx 1,5V$ i jest w przybliżeniu stały przyjmujemy dalej :

$$3/ \quad \dot{\omega} = \frac{U}{K_E} - K_N \cdot M$$

Równanie 3/ obowiązuje dla $M \leq M_{max}$.

Ze względu na ograniczenie prądowe zastosowanie w sterowniku silnika mamy:

$$\dot{\omega} = 0 \quad \text{dla} \quad M > M_{max}$$

7.2.1.1. Faza ruchu jednostajnie przyspieszonego

Z zasady d'Alemberta dla ruchu obrotowego otrzymujemy

$$4/ \quad \eta \cdot M_{max} = \ddot{\omega} (J_s + J_r) + \ddot{\omega} \frac{h^2}{4\pi^2} \cdot G + \frac{h}{2\pi} \cdot T$$

stąd

$$5/ \quad \ddot{\omega} = \frac{\eta \cdot M_{max} - \frac{h}{2\pi} T}{J_s + J_r + \frac{h^2}{4\pi^2} \cdot G} = const = \ddot{\omega}_0$$

lub

$$6/ \quad \ddot{x} = \frac{\frac{2\pi}{h} \cdot \eta \cdot M_{max} - T}{\frac{4\pi^2}{h^2} (J_s + J_r) + G} = \frac{E}{B} = const$$

$$7/ \quad \text{gdzie} \quad E = \frac{2\pi}{h} \cdot \eta \cdot M_{max} - T$$

$$8/ \quad B = \frac{4\pi^2}{h^2} (J_s + J_r) + G$$

Ruch jest możliwy gdy $E > 0$

$$\text{czyli gdy} \quad M_{max} > \frac{1}{\eta} \cdot \frac{h}{2\pi} \cdot T$$

20

- Czas trwania fazy ruchu jednostajnie przyspieszonego :

$$9/ \quad t_0 = \frac{\omega_0}{\ddot{\alpha}_0} = \omega_0 \cdot \frac{h}{2\pi} \cdot \frac{B}{E}$$

- Prędkość maksymalna \dot{x}_0 fazy ruchu jednostajnie przyspieszonego:

$$10/ \quad \dot{x}_0 = \frac{h}{2\pi} \cdot \omega_0$$

- Droga fazy ruchu jednostajnie przyspieszonego :

$$11/ \quad x_0 = \omega_0 \cdot \frac{h^2}{8\pi^2} \cdot \frac{\frac{4\pi^2}{h^2} (J_s + J_r) + G}{\frac{2\pi}{h} \cdot \eta \cdot M_{max} - T} = \omega_0 \cdot \frac{h^2}{8\pi^2} \cdot \frac{B}{E}$$

7.2.1.2. Faza ruchu z wykładniczo narastającą prędkością /dla $t \geq t_0$ /

Z zasady d'Alemberta dla ruchu obrotowego otrzymujemy :

$$12/ \quad \eta \cdot M(t) = \ddot{\alpha} (J_s + J_r) + \ddot{\alpha} \cdot \frac{h^2}{4\pi^2} \cdot G + \frac{h}{2\pi} \cdot T$$

Uwzględniając M ze wzoru 3/ i wstawiając do wzoru 12/ oraz uwzględniając zależność 1/ otrzymujemy po uporządkowaniu :

$$13/ \quad \ddot{\alpha} \cdot \left[\frac{4\pi^2}{h^2} (J_s + J_r) + G \right] + \dot{\alpha} \cdot \frac{4\pi^2}{h^2} \cdot \frac{1}{KN} \cdot \eta = \frac{2\pi}{h} \cdot \frac{1}{K_N \cdot K_E} \cdot U(t) - T(t)$$

Szczegóły rozwiązania równania 13/ podano w Załączniku 4.

Rozwiązanie dla $t \geq t_0$ oraz dla warunków początkowych

$$X(t_0) = x_0, \quad \dot{X}(t_0) = \dot{x}_0 \text{ oraz dla } U(t) = U_{max},$$

$$T(t) = T = \text{const ma postać:}$$

$$14/ \quad X(t) = x_0 + \frac{A}{C} (t - t_0) + \left(\dot{x}_0 \frac{B}{C} - \frac{AB}{C^2} \right) \left(1 - e^{-\frac{C}{B} (t - t_0)} \right)$$

$$15/ \quad \dot{X}(t) = \dot{x}_0 e^{-\frac{C}{B} (t - t_0)} + \frac{A}{C} \left(1 - e^{-\frac{C}{B} (t - t_0)} \right)$$

$$16/ \quad \ddot{x}(t) = \left(\frac{A}{B} - \frac{C}{B} \cdot \dot{x}_0 \right) \cdot e^{-\frac{C}{B}(t - t_0)}$$

gdzie t_0 - określa się wzorem 7/

zaś :

$$17/ \quad A = \frac{2\pi}{h} \cdot \frac{\eta}{K_N \cdot K_E} U_{max} \cdot T \quad \left| \frac{\text{kgm}}{\text{sek}^2} \right|$$

B - określa wzór 8/ / kg /

$$18/ \quad C = \frac{4\pi^2}{h^2} \cdot \frac{1}{K_N} \cdot \eta \quad \left| \frac{\text{kg}}{\text{sek}} \right|$$

Czas T rozpędzania modułu do prędkości maksymalnej /rys.34/

$$19/ \quad T = \frac{B}{C} \cdot \left[3 + \ln \left(1 - \dot{x}_0 \cdot \frac{C}{A} \right) \right] + t_0$$

7.2.2. Przypadek pokazany na rys.6.2

Dla schematu kinematycznego pokazanego na rys.6.2 równania ruchu powinny uwzględniać również przełożenie przekładni pasowej-zębatej

Założenia :

M - moment napędowy silnika

M_1 - moment reakcji od bezwładności silnika,

M_2 - moment reakcji od bezwładności części ruchomych modułu, nakrętki śruby kulowej oraz przekładni pasowej-zębatej.

η - sprawność ogólna zespołu przekładni śrubowej tocznej,

T - siła tarcia oraz przekładni pasowej-zębatej,

$i = \frac{\omega_2}{\omega_1}$ - przełożenie przekładni zębatej,

h - skok śruby,

J_r - moment bezwładności wirnika silnika,

J_s - moment bezwładności nakrętki i przekładni pasowej odniesiony do osi śruby.

Szczegóły rozwiązań równań ruchu dla tego przypadku podano w załączniku 5. W tym miejscu zostaną podane jedynie rozwiązania.

7.2.2.1. Faza ruchu jednostajnie przyspieszonego:

→ Przyspieszenie \ddot{X}_0 :

$$20/ \ddot{X}_0 = \frac{\frac{\eta}{i} \cdot \frac{2\pi}{h} \cdot M_{\max} - T}{\frac{4\pi^2}{h^2} \left(\frac{\eta}{i^2} \cdot J_r + J_s \right) + G} = \frac{E}{B} = \text{const } c$$

21/ gdzie $B = \frac{4\pi^2}{h^2} \left(\frac{\eta}{i^2} \cdot J_r + J_s \right) + G$

22/ $E = \frac{\eta}{i} \cdot \frac{2\pi}{h} \cdot M_{\max} - T$

- Prędkość maksymalna \dot{X}_0 :

23/ $\dot{X}_0 = i \cdot \frac{h}{2\pi} \cdot \omega_{10}$

- Czas trwania fazy ruchu jednostajnie przyspieszonego:

24/ $t_0 = \omega_{10} \cdot i \cdot \frac{h}{2\pi} \cdot \frac{B}{E}$

- Długość drogi na której realizuje się faza ruchu jednostajnie przyspieszonego:

25/ $X_0 = \frac{h^2}{8\pi^2} \cdot i^2 \cdot \omega_{10}^2 \cdot \frac{B}{E}$

7.2.2.2. Faza ruchu z wykładniczo narastającą prędkością

(dla $t \geq t_0$)

Droga :

$$26/ \quad X(t) = X_0 + \frac{A}{C} (t - t_0) + \left(\frac{B}{C} \cdot \dot{X}_0 - \frac{AB}{C^2} \right) \left(1 - e^{-\frac{C}{B} (t - t_0)} \right)$$

Prędkość

$$27/ \quad \dot{X}(t) = \dot{X}_0 \cdot e^{-\frac{C}{B} (t - t_0)} + \frac{A}{C} \left(1 - e^{-\frac{C}{B} (t - t_0)} \right)$$

Przyspieszenie

$$28/ \quad \ddot{X}(t) = \left(\frac{A}{B} - \dot{X}_0 \cdot \frac{C}{B} \right) \cdot e^{-\frac{C}{B} (t - t_0)}$$

Czas rozpędzania T określa się wzorem 19/

zaś :

$$29/ \quad A = \frac{2\pi}{h} \cdot \frac{\eta}{i} \cdot \frac{U_{\max}}{K_N \cdot K_E} - T$$

B - określa się wzorem 21/

$$30/ \quad C = \frac{4\pi^2}{h^2} \cdot \frac{\eta}{i^2} \cdot \frac{1}{K_N}$$

7.2.3. Przypadek pracy modułu liniowego jako pionowej kolumny

/ rys. 6.3/

Rozwiązania ruchu mają identyczną postać jak dla p.7.2.1.

Dla ruchu w górę do siły tarcia T dodaje się siła ciężkości G części ruchomej robota *

Tak więc współczynniki A, B, C, E w równaniach ruchu będą wyrażać się wzorami :

$$31/ \quad A = \frac{2\pi}{h} \cdot \frac{\eta}{K_N \cdot K_E} \cdot U_{\max} - T - G \cdot g \left[\frac{\text{kgm}}{\text{sek}^2} \right]$$

$$32/ \quad B = \frac{4\pi^2}{h} \left(J_s + J_r \right) + G \quad [\text{kg}]$$

$$33/ \quad C = \frac{4\pi^2}{h} \cdot \frac{1}{K_N} \cdot \eta \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{sek}} \right]$$

$$34/ \quad E = \frac{2\pi}{h} \cdot \eta \cdot M_{\max} - T - G \cdot g \quad \left[\frac{\text{kgm}}{\text{sek}^2} \right]$$

Gdy zaprogramowany punkt pozycjonowania modułu znajdzie się ,
gdzieś wewnątrz zakresu przemieszczeń to masa G ruchomych części
modułu jest "podpierana" siłą wynikającą z momentu obrotowego roz-
wijanego przez silnik. Wartość długotrwałego momentu dla prędkości
obrotowej $\omega = 0$ jest ograniczona i wynosi M_{DO} /punkt ten
został oznaczony na charakterystykach silników /.

Stąd wartość dopuszczalnej masy G_{dop} ; wynosi :

$$36/ \quad G_{dop} < \frac{2\pi}{h} \cdot \eta \cdot \frac{M_{DO}}{g} + \frac{T}{g}$$

Wartość G_r dopuszczalnej masy przy której możliwy jest ruch do
góry wynosi :

$$37/ \quad G_r < \frac{2\pi}{h} \cdot \eta \cdot \frac{M_{\max}}{g} - \frac{T}{g}$$

ponieważ $M_{DO} \ll M_{\max}$ stąd

$$G_{dop} < G_r$$

7.3. Wyniki obliczeń

7.3.1. Założenia

Obliczenia wykonano przyjmując następujące założenia:

7.3.1.1. Założenia dotyczące parametrów silników

Tabela 7.1.

Typ silnika	Uzas	ω_0	K_N	K_E	M_{DO}	M_{max}	Jr	Gs
	V	rad/s	rad/Nms	Vs/rad	Nm	Nm ²	kgm ² ·10 ⁻⁴	kg
1	33	187,5	75	0,105	0,55	1,9	1,45	3,2
2	88	249,4	6	0,253	3,2	16,4	14,6	9,6

1 - silnik PZTK-88-35TRR

2 - silnik PZTK-13-07TRR

Uzas - napięcie zasilania silnika z uwzględnieniem spadku napięcia na szczotkach

- prędkość kątowna odpowiadająca momentowi Mmax /punkt "P" - charakterystyki/ Zał. 2 /

K_N - stała momentowa

K_E - stała napięciowa

M_{DO} - moment długotrwały obciążający

M_{max} - moment maksymalny

Jr - moment bezwładności wirnika

Gs - masa silnika.

7.3.1.2. Założenia dotyczące parametrów śrub kulowych oraz przewodnic.

Tabela 7.2.

Typ śruby	Sprawność	Długość śruby kulowej /mm/					
		740 /dla skoku 300/		1050 /dla skoku 600/		~1450 /dla skoku 1000/	
	2	Masa	Momenty bezwł. Js	Masa	Momenty bezwł. Js	Masa	Momenty bezwł. Js
			kg	kgm ² ·10 ⁻⁵	kg	kgm ² ·10 ⁻⁵	kg
1	0,85	3,6	18	5,1	25,5	7,1	35,5
2	0,9	4,64	59,4	6,6	84,5	9,1	116,5

28

- 1 - śruba 20 x 5
- 2 - śruba 32 x 10

Tablica 7.3.

Długość przewodnicy \varnothing 30	740 /dla skoku 300/	1050 /dla skoku 600/	1450 /dla skoku 1000
Masa [kg]	4,08	5,8	8

7.3.1.2. Pozostałe założenia

W przypadku schematów kinematycznych pokazanych na rys.6.2, 6.3, 6.4 przyjęto ponadto, że :

- ogólna sprawność przekładni śrubowej-tocznej wraz z przekładnią pasową - zębatą $\eta = 0,65$

- moment bezwładności J_s przekładni pasowej zębatej /z uwzględnieniem momentu bezwładności nakrętki/ odniesiony do osi śruby kulowej wynosi :

$J_s = 15 \times 10^{-5} \text{ kgm}^2$ w przypadku zastosowania śruby 20 x 5

$J_s = 30 \times 10^{-5} \text{ kgm}^2$ " " " " 32 x 10

Obliczenia parametrów dynamicznych przeprowadzono dla :

- a/ różnych wariantów przeniesienia napędu, /rys.6.2, 6.3, 6.4/
- b/ pozycji pracy poziomej i pionowej
- c/ zakresu ruchu - 300, 600, 1000 mm
- d/ obciążenia - 0, 10, 20 ~~kg~~ dla pracy w pozycji poziomej
- 0, 30, 60kg dla pracy w pozycji pionowej
- e/ śrub 20 x 5, 32 x 10
- f/ silników PZTK-88-35TRR, PZTK-13-07-TRR

Ad.d/ przez obciążenie modułu rozumie się tu obciążenie użyteczne na które składają się :

- masa przenoszonego przedmiotu,
- masa chwytaka,
- masa modułów ruchów lokalnych
- masa elementów łączących moduły ruchów lokalnych z chwytakami

/wsporników płyty itp/.

Masy innych części ruchomych modułu takich jak :

- masa korpusu,
- masa prowadnic,
- masa śruby kulowej wraz z nakrętką,
- masa silnika .

zostały również uwzględnione w odpowiednich wzorach obliczeniowych.

Obliczenia zostały wykonane na programowalnym kalkulatorze SR-56 firmy Texas Instruments, zaś wyniki obliczeń zamieszczono w tabeli 7.4.

WYNIKI OBLICZEŃ

Tabela 7.4

LP	L	G	GC	MT	SR	V	I	A	B	C	E	PO	TO	VO	SO	TC	S
-	mm	kg	kg	1-2	1-2	m/s	-	kgm/s ²	kg	kg/s	kgm/s ²	m/s ²	s	m/s	m	s	m
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1		0	19	1	2	0,52	1	2458,0	310,74	4737,4	1044,4	3,36	0,088	0,298	0,0132	0,228	0,0730
2	0,3	10	29	1	2	0,52	1	—	320,74	—	—	3,25	0,091	—	0,0136	0,236	0,0760
3		20	39	1	2	0,52	1	—	330,74	—	—	3,15	0,094	—	0,0141	0,248	0,0800
4		0	24,5	1	2	0,52	1	—	415,33	—	—	2,51	0,118	—	0,0177	0,306	0,0940
5	0,6	10	34,5	1	2	0,52	1	—	425,33	—	—	2,45	0,121	—	0,0181	0,313	0,0980
6		20	44,5	1	2	0,52	1	—	435,33	—	—	2,39	0,124	—	0,0185	0,321	0,1027
7		0	31,3	1	2	0,52	1	—	548,46	—	—	1,90	0,156	—	0,0233	0,404	0,1294
8	1,0	10	41,3	1	2	0,52	1	—	558,46	—	—	1,87	0,159	—	0,023	0,411	0,1298
9		20	51,3	1	2	0,52	1	—	568,46	—	—	1,83	0,162	—	0,0242	0,419	0,1302
10	1,0	0	38,7	2	2	0,52	1	32705,2	1075,05	59220	9244	8,59	0,046	0,39	0,0091	0,078	0,0243
11	1,0	20	58,7	2	2	0,52	1	32705,2	1095,05	59220	9244	8,44	0,047	0,39	0,0093	0,079	0,0245
12	1,0	0	28	2	2*	0,52	1	23615,8	240,10	42770	6664	27,76	0,014	0,39	0,0028	0,0239	0,075
13	1,0	20	48	2	2*	0,52	1	23615,8	260,10	42770	6664	25,62	0,015	0,39	0,0030	0,0257	0,080
14	1,0	0	28	2	2*	1,04	2	11807,9	240,10	10692,5	3317	13,81	0,057	0,79	0,022	0,0961	0,059
15	1,0	20	48	2	2*	1,04	2	11807,9	260,10	10692,5	3317	12,75	0,062	0,79	0,024	0,1044	0,064
16		0	14,8	1	1*	0,52	2	1767,0	288,85	3421,4	745,97	2,58	0,115	0,298	0,0172	0,296	0,094
17	0,3	10	24,8	1	1*	0,52	2	—	298,85	—	—	2,49	0,119	—	0,0178	0,306	0,0968
18		20	34,8	1	1*	0,52	2	—	308,85	—	—	2,41	0,123	—	0,0184	0,316	0,1007
19		0	19,8	1	1*	0,52	2	—	293,80	—	—	2,54	0,117	—	0,0175	0,301	0,0960
20	0,6	10	29,8	1	1*	0,52	2	—	303,8	—	—	2,45	0,121	—	0,0181	0,311	0,0981
21		20	39,8	1	1*	0,52	2	—	313,8	—	—	2,38	0,125	—	0,0187	0,321	0,1022
22	1,0	0	26,1	1	1*	0,52	2	—	300,1	—	—	2,48	0,120	—	0,0179	0,308	0,0981
23		10	36,1	1	1*	0,52	2	—	310,1	—	—	2,40	0,124	—	0,0185	0,318	0,1001
24		20	46,1	1	1*	0,52	2	—	320,1	—	—	2,33	0,128	—	0,0191	0,328	0,1044
25	1	20	46,1	1	1*	1,02	4	868,5	292,4	855,36	357,98	1,22	0,487	0,596	0,0360	1,209	0,6430

31

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
26	0,3	0	15,8	1	2*	0,52	1	1767,0	137,7	3414,7	745,97	5,42	0,055	0,298	0,0082	0,141	0,044
27	0,3	20	35,8	1	2*	0,52	1	1767,0	157,7	—	—	4,73	0,063	—	0,0094	0,162	0,051
28	0,6	0	21,2	1	2*	0,52	1	—	143,1	—	—	5,21	0,057	—	0,0085	0,147	0,046
29	0,6	20	41,2	1	2*	0,52	1	—	163,1	—	—	4,57	0,065	—	0,0097	0,167	0,053
30	1,0	0	28,1	1	2*	0,52	1	—	150,0	—	—	4,97	0,060	—	0,009	0,154	0,049
31	1,0	20	48,1	1	2*	0,52	1	—	170,0	—	—	4,38	0,068	—	0,010	0,174	0,055
32		0	19	1	2*	1,02	2	868,5	146,7	855,36	357,78	2,440	0,244	0,597	0,073	0,606	0,377
33	0,3	10	29	1	2*	1,02	2	—	156,7	—	—	2,284	0,261	—	0,078	0,648	0,402
34		20	30	1	2*	1,02	2	—	166,7	—	—	2,147	0,277	—	0,083	0,689	0,429
35		0	24,5	1	2*	1,02	2	—	152,24	—	—	2,351	0,254	—	0,078	0,630	0,392
36	0,6	10	34,5	1	2*	1,02	2	—	162,24	—	—	2,206	0,271	—	0,081	0,672	0,409
37		20	54,5	1	2*	1,02	2	—	172,24	—	—	2,078	0,287	—	0,086	0,713	0,444
38		0	31,5	1	2*	1,02	2	—	159,04	—	—	2,251	0,256	—	0,079	0,649	0,409
39	1,0	10	41,5	1	2*	1,02	2	—	169,04	—	—	2,118	0,282	—	0,084	0,700	0,430
40		20	51,5	1	2*	1,02	2	—	179,04	—	—	1,999	0,299	—	0,089	0,741	0,460
41		0	15	1**	2	0,52	1	2456,88	405,75	4737,4	1044,4	2,57	0,116	0,298	0,0173	0,2997	0,095
42	0,6	30	45	1**	2	0,52	1	300,75	435,75	—	—	2,39	0,124	—	0,0185	0,3213	0,101
43	PION	60	75	1**	2	0,52	1	—	465,75	—	—	2,24	0,133	—	0,0198	0,3439	0,110
44		0	15	1	2	0,48	1	2309,73	405,75	—	896,7	2,21	0,135	—	0,0201	0,3110	0,091
45	0,6	30	45	1	2	0,42	1	2015,43	435,75	—	602,43	1,38	0,413	—	0,0321	0,5780	0,092
46	PION	60	75	1	2	0,36	1	1721,13	465,75	—	308,13	0,662	0,451	—	0,0672	0,7258	0,164
47		0	15	2**	2	0,55	1	32735,2	924,78	59205,0	9239,3	9,99	0,040	0,39	0,0078	0,0677	0,020
48	0,6	30	45	2**	2	0,55	1	—	954,78	—	—	9,67	0,041	—	0,0081	0,0697	0,021
49	PION	60	75	2**	2	0,55	1	32735,2	984,78	—	—	9,38	0,042	—	0,0083	0,0715	0,022
50		0	15	2	2	0,55	1	32618,06	924,78	—	9092,13	9,832	0,040	—	0,0079	0,0676	0,021
51	0,6	30	45	2	2	0,54	1	32323,76	954,78	—	8797,83	9,215	0,043	—	0,0085	0,0711	0,021
52	PION	60	75	2	2	0,54	1	32029,76	984,78	—	8503,53	8,635	0,045	—	0,0090	0,0736	0,022

22

Oznaczenia do tabeli 7.4.

1. Liczba porządkowa
2. L - maksymalny zakres ruchu modułu /skok/
3. G - obciążenie modułu
4. GC - masa wszystkich przemieszczanych części robota na którą składają się :
 - obciążenie modułu G,
 - masa prowadnic,
 - masa śruby kulowej
 - masa silnika,
 - masa innych części robota /płyty łączące itp./
5. MT - rodzaj silnika :
 - 1 - silnik PZTK-88-35TRR
 - 2 - silnik PZTK-13-07TRR
- ~~*/~~ - oznacza pracę z siłownikiem odciążającym /tylko dla pozycji pionowej - rys. 6.4 /
6. SR - rodzaj śruby kulowej :
 - 1 - śruba 20 x 5
 - 2 - śruba 32 x 10
- ~~*~~ - oznacza śrubę sztywno zamocowaną na końcach /rys. 6.2 /
7. V - prędkość maksymalna wynikająca z :
 - rodzaju silnika,
 - skoku śruby kulowej
 - przełożenia przekładni pasowej-zębatej
 - obciążenia modułu /dla pracy w pozycji pionowej/
8. I - przełożenie przekładni pasowej - zębatej
/jeśli przekładnia nie występuje to $I = 1$ /
9. A - Współczynnik obliczany ze wzorów : 17/, 29/, 31/
10. B.- " " " " 8/, 21/, 32/,
11. C - " " " " 18/, 30/,
12. E - " " " " 7/, 22/, 34/,

13. - PO - przyspieszenie maksymalne obliczane ze wzorów 6/, 20/,
14. - TO - czas trwania fazy ruchu jednostajnie przyspieszonego:
obliczany ze wzorów 9/, 24/,
15. - VO - prędkość końcową fazy, ruchu jednostajnie przyspieszonego:
- obliczana ze wzorów : 19/, 23/,
16. a SO - droga fazy ruchu jednostajnie przyspieszonego
- obliczana ze wzorów : 11/, 25/,
17. - TC - czas rozruchu /czas po którym osiąga się $0,95 \frac{V}{max}$
- obliczany ze wzoru : 19/.
18. - S - droga rozruchu
- obliczana ze wzoru 14/.

Założono, że siła tarcia $T = 30 \text{ N}$.

7.4. Dyskusja wyników obliczeń

Wyniki obliczeń zawarte w tabeli 7.4 w celu łatwiejszej interpretacji zostały w wybranych przypadkach zilustrowane wykresami zamieszczonymi na rysunkach 7,1 - 7.7.

- 1/ Z wykresów tych widać, że zastosowanie silnika PZTK-88-35TRR do napędu modułu liniowego pracującego w pozycji poziomej pozwala uzyskać przyspieszenie maksymalne rzędu $4,5 \text{ m/s}^2$ przy prędkości ok. $0,5 \text{ m/s}$ oraz ok. $2,5 \text{ m/s}^2$ przy prędkości ok. 1 m/s .
Zastosowanie silnika PZTK-13-07-TRR pozwala na uzyskanie przyspieszenia maksymalnych rzędu 10 m/s^2 przy prędkości ok. 1 m/s .
- 2/ Z rysunków 7.8 i 7.9 oraz przytoczonych obliczeń wynika, że decydujące znaczenie ma wartość uzyskiwanego przyspieszenia masy wirujące, a więc śruba kulowa oraz wirnik silnika. Udział masy wirujących wynosi ok. 90% ogólnego obciążenia, a w tym udział śruby kulowej wynosi 60 - 80 %. Oznacza to, że 60 - 80% energii przekazywanej przez silnik jest zużywanej na wprawianie w ruch i hamowanie śruby kulowej /dotyczy schematu kinematycznego pokazanego na rys. 6.1/ Udział obciążenia użytecznego wynosi od 3-5%

ogólnego obciążenia. Podobny jest udział obciążenia wynikającego z innych części konstrukcyjnych modułu ulegających przemieszczaniu. Dlatego też nawet niezbyt dokładne oszacowanie mas G_K /rys.7.8, rys.7.9/ nie wpływa znacząco na rezultaty obliczeń.

Ponieważ moment bezwładności śruby kulowej rośnie liniowo wraz z długością, moduł o dłuższym skoku będzie miał gorszą dynamikę ruchu niż moduł o skoku krótkim. Ilustrują to wyraźnie wykresy A/,B/,C/, na rys.7.7. Dlatego też dla dłuższych skoków bardziej celowe jest stosowanie przeniesienia napędu wg schematu pokazanego na rys.6.2.

3/ Zastosowanie schematu kinematycznego wg rys.6.2 pozwala ograniczyć wpływ momentu bezwładności śruby. Wystąpi tu oczywiście moment bezwładności nakrętki i przekładni pasowej zębatej. Konstrukcja tego węzła powinna być możliwie lekka. Rysunek 7.7 /wykresy A,C/ wskazuje że możliwe jest tu uzyskanie przyspieszenia ponad 2 -krotnie większego niż w przypadku przeniesienia napędu bezpośrednio na śrubę /rys.6.1/. Odpowiednie przełożenie przekładni pasowej pozwala na osiąganie zadanej prędkości maksymalnej. Zastosowanie przełożenia $I = 4$ pozwala na wzrost prędkości jednak powoduje to wyraźny spadek przyspieszenia /rys.7.1 wykres 5/

4/ W przypadku pracy modułu jako pionowej kolumny /rys.6.3/ przy zastosowaniu silnika PZTK-88-35TRR dla pełnego obciążenia użytecznego /60kg/ następuje spadek prędkości o 35% /rys.7.4/ oraz 3-krotny spadek przyspieszenia maksymalnego. W celu poprawy dynamiki ruchu stosuje się siłownik równoważący siłę ciężkości /rys.6.4/. Rozwiązanie takie stosuje się między innymi w robotach VUKOV APR 2,5-0,1 /rys. 4.1/ oraz RB241 /rys.4.2/ produkcji bułgarskiej.

Zastosowanie silnika PZTK-13-07-TRR pozwala na uzyskanie przyspieszenia maksymalnego rzędu 10 m/s^2 . Silnik posiada dużą rezerwę mocy i nie widać potrzeby stosowania siłownika równoważącego siłę ciężkości /rys.7.4 wykresy 5,6,7,8/.

7.5. Wnioski końcowe

1/ Dla długich skoków modułu /: powyżej 1000 mm / napęd robota poprzez śrubę kulową należy uznać za niedogodny ze względu na znaczny wówczas udział momentu bezwładności ~~silnika~~ ~~Bardziej~~ śruby kulowej w całkowitym obciążeniu silnika. Bardziej dogodny wydaje się wówczas układ przeniesienia napędu poprzez zębatkę naciętą np. na prowadnicy.

Zaletą przekładni śrubowych tocznych jako zespołów przeniesienia napędu jest ich gwarantowana wysoka jakość, pewność działania jak również brak konieczności stosowania złożonych układów kasowania luzów / co występuje np. przy stosowaniu zębatki/.

2/ Silnik PZTK-13-07-TRR pozwala uzyskać dobre rezultaty przy zastosowaniu do napędu modułów pracujących w pozycji poziomej i pionowej /odpada wówczas konieczność stosowania siłownika odciążającego. Zastosowanie silnika PZTK-13-07-TRR do napędu modułu w pozycji poziomej jest możliwe /silnik pracowałby wówczas przy znacznej rezerwie mocy ponieważ przyspieszenia rzędu 10m/s^2 nie są potrzebne/. Bardziej celowe z ekonomicznego punktu widzenia oraz zwartości i lekkości konstrukcji modułów byłoby zastosowanie ^{tu} silnika o mniejszej mocy, nie silnik PZTK-13-07-TRR, lecz o mocy większej niż silnik PZTK-88-35TRR. Wymaganą moc silnika dla złożonego przyspieszenia oraz prędkości modułu można łatwo oszacować korzystając ze wzorów obliczeniowych zawartych w rozdziale 7.

3/ Osobnego rozważenia wymagać będzie zagadnienie pracy robota PR-02E przy realizowaniu złożonej trajektorii ruchu z zadaną prędkością, wymagającej jednoczesnego sterowania P.T.P. wielu osi. Ze względu na modułową budowę robota możliwa jest praca w różnych konfiguracjach co wymagać będzie odpowiedniego oprogramowania w układzie sterowania P.T.P.

4/ Z uwagi na możliwość pracy modułu MA1000E również w pozycji pionowej (np robot portalowy) jak również dla ujednoczenia napędów modułów MA1000E: MA600E celowe może być zastosowanie silnika PZTK-13-07TRR w obu typach modułów liniowych.

W niniejszym opracowaniu pominięto obliczenia dotyczące prędkości krytycznej śruby kulowej, trwałości łożysk itp., ^{ponieważ} są to obliczenia rutynowe dokonywane zwykle na podstawie danych i wykresów zawartych w katalogach, poradnikach itp.

8. Konkluzja

Na podstawie dokonanej w rozdziale 7 szczegółowej analizy własności dynamicznych różnych rozwiązań konstrukcyjnych modułów liniowych zakłada się opracowanie dokumentacji modeli modułów o następujących parametrach :

1. Moduł MA1000E :

- a/ zakres ruchu 0 - 1000 mm,
- b/ układ przeniesienia napędu wg rys. 6.2
- c/ silnik PZTK(7)-07-TRR
- d/ przekładnia śrubowa toczna 32 x 10
- e/ prędkość maksymalna ok. 1 m/s

2. Moduł MB 600E:

- a/ zakres ruchu 0 - 600 mm
- b/ układ przeniesienia napędu wg rys. 6.3
- c/ silnik PZTK-13-07-TRR
- d/ przekładnia śrubowa - toczna 32 x 10
- e/ prędkość maksymalna ok. 0,5 m/s

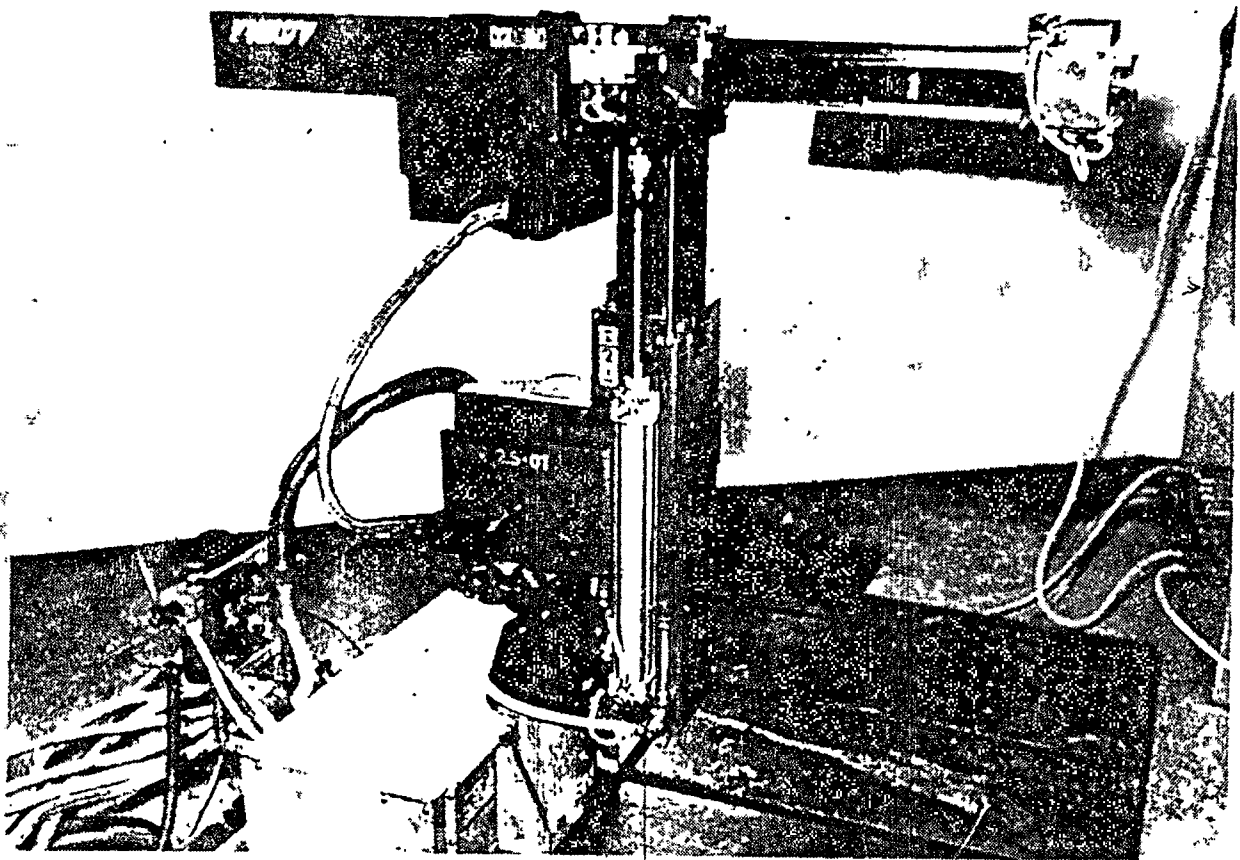
Konstrukcja modułu obrotowego MD340E zostanie opracowana w oparciu o zespół napędowy ^{osiu}robotu IRb-6.

Pozostałe założenia dotyczące konstrukcji modułów zostały podane w rozdziale 5.

Załącznik 1.

Karty katalogowe robotów przemysłowych z napędami mieszanymi.

Adaptívny priemyselný robot APR 2,5—01



MTAK 7

skupený ústav kovopriemyslu Prešov

Rys 4.139

Bewegungen

Der Roboter RB 241 arbeitet im zylindrischen Koordinatensystem mit aufeinander folgenden Bewegungen in den einzelnen Achsen.

Regionalbewegungen

- Horizontalverstellung - vorwärts/rückwärts (R)
- Vertikalverstellung - aufwärts/abwärts (Z)
- Drehung (θ)

Lokalbewegungen

- Drehung (α)
- Biegung (β)

ДВИЖЕНИЯ

РБ 241 работает в цилиндрической координатной системе с последовательным движением по отдельным осям.

Региональные:

- горизонтальный ход - вперед/назад (R);
- вертикальный ход - вверх/вниз (Z);
- вращение (θ).

Локальные:

- вращение (α).
- выгибание (β).

Ausführung

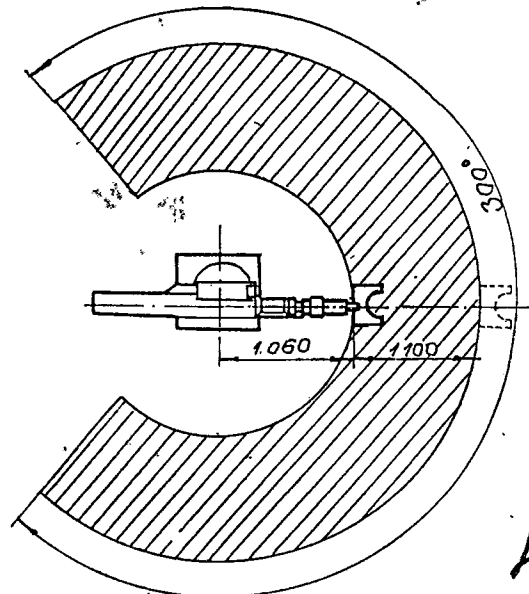
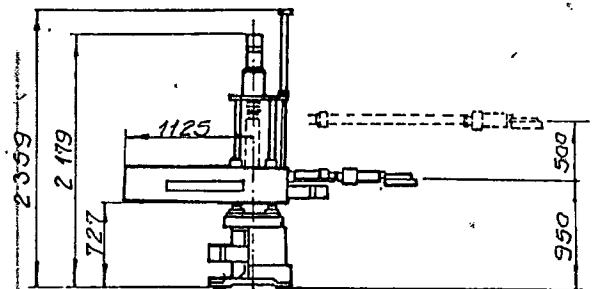
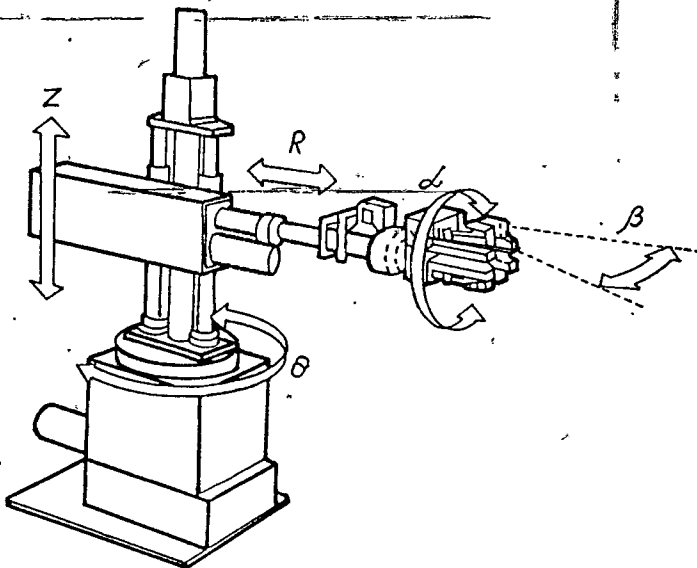
- Der Industrieroboter RB 241 besteht aus einem Manipulator und einer Steuereinheit
- Es ist ein Handhaben von Werkstücken mit einer Masse von 20 kg (2×10 kg) möglich
- Verschiedene Arten von Palettisieren von Werkstücken mit Servosteuerung
- Antrieb durch Gleichstrom-Servomotore.

ИСПОЛНЕНИЕ

Промышленный робот РБ 241 состоит из манипулятора и управляющего устройства.

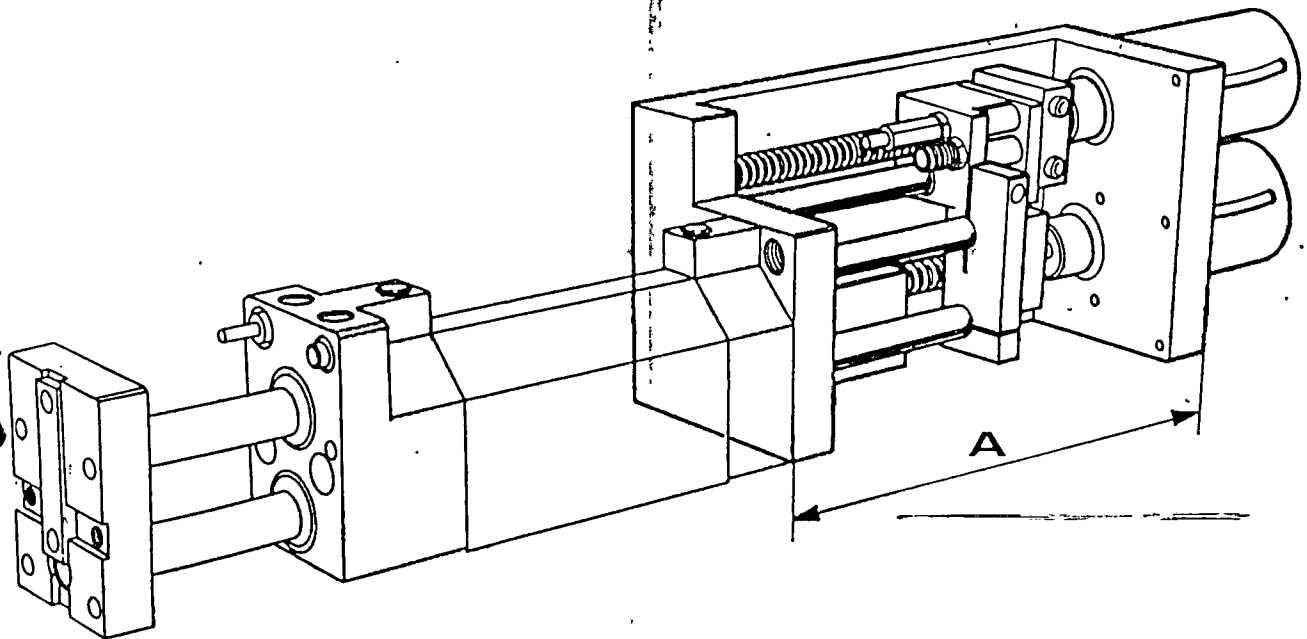
Возможны манипуляции деталями весом до 20 кг (или 2×10 кг). Различные способы палетизации деталей сервоуправлением.

Привод высокомоментными электродвигателями постоянного тока.



40
Rys. 4.2

Numerikmodul NCL 32



Das freiprogrammierbare Numerikmodul NCL 32 (CH-Pat.angemeldet), mit dem die pneumatischen Linearmodule der Baureihe LM 32 aus-oder nachgerüstet werden können, eröffnet neuartige und kostengünstige Alternativen zu komplexen Roboterlösungen.

Wahlweise ausgerüstet mit einem oder zwei Schrittmotor-Antrieben wird mit minimalem Energieaufwand der Hub des Linearmoduls LM 32 vorne, hinten oder beidseitig verstellbar begrenzt.

Für Anwendungen mit kurzen Verstellwegen oder geringer Verstellhäufigkeit werden die Schrittmotoren ohne zusätzliche Elektronik direkt von einer freiprogrammierbaren Steuerung (PC) kontrolliert und angetrieben. Für hohe Kadenz bei kurzen Taktzeiten steht eine Hochleistungs-Schrittmotorsteuerung (SMC) zur Verfügung.

Technische Daten:

	Modul	Art.Nr.	Modul	Art.Nr.
Linearmodul pneumatisch	LM 32/200	2.10.2000	LM 32/300	2.10.300
Numerikmodul,Anschlag vorne	NCL 32/200/A	2.10.2050	NCL 32/300/A	2.10.3050
Numerikmodul,Anschlag hinten	NCL 32/200/B	2.10.2052	NCL 32/300/B	2.10.3052
Numerikmodul,Anschlag beidseitig	NCL 32/200/C	2.10.2054	NCL 32/300/C	2.10.3054
Modullänge A	370 mm		470 mm	
Verstellweg der Anschläge	0-200 mm		0-300 mm	
Positioniergenauigkeit LM 32	+/- 0,01 mm		+/- 0,01 mm	
Kleinster programmierbarer Weg	0,025 mm		0,025 mm	
Verstellgeschwindigkeit mit PC	8-10 mm/s		8-10 mm/s	
Verstellgeschwindigkeit mit SMC	200 mm/s		200 mm/s	

Rys 4.3
HU



BOSCH

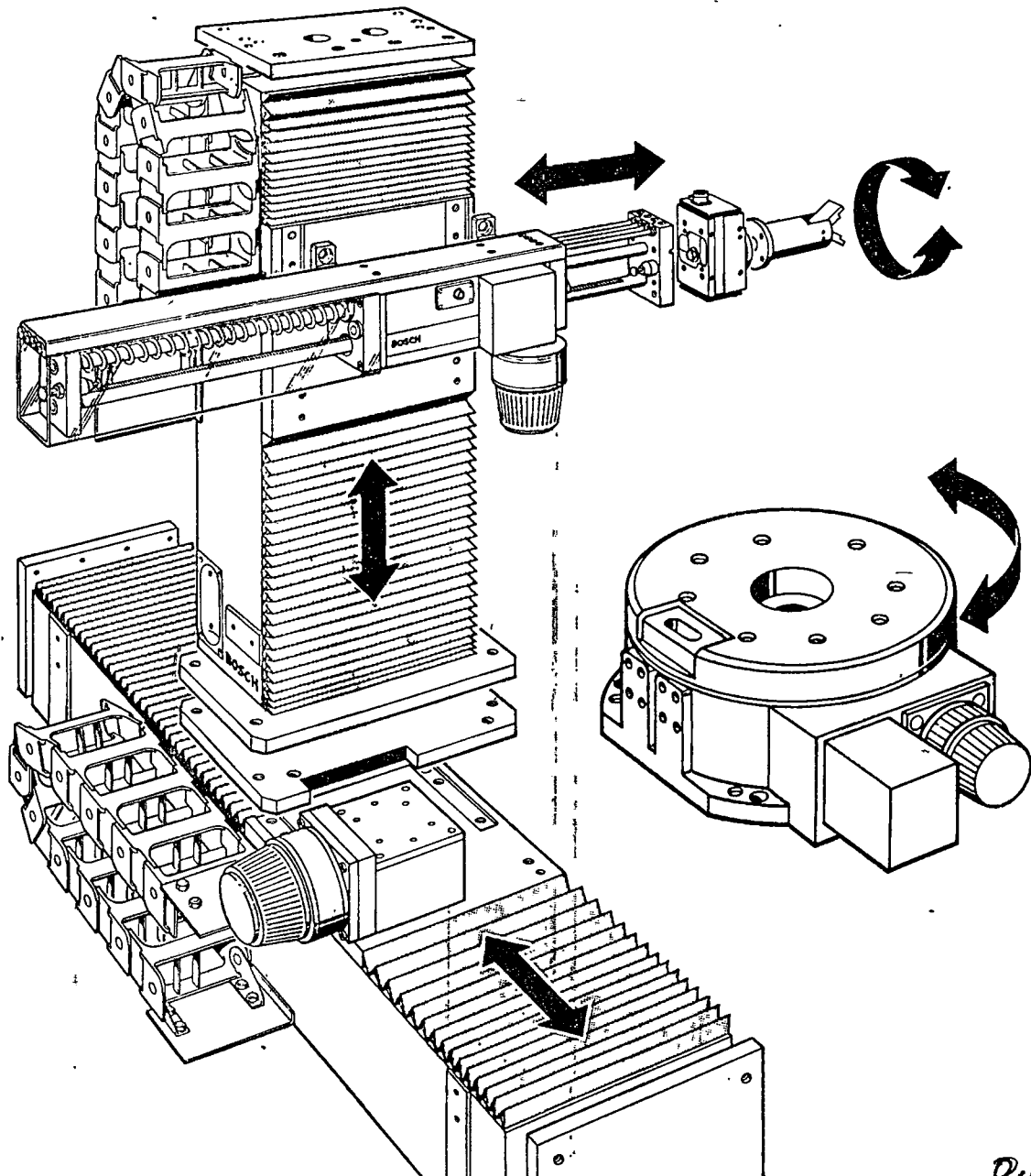
Flexible Automation

WJK

1. Nachtrag zum Katalog 4.81

Bosch-Handhabungstechnik

Pneumatische und elektrische Module für die
Werkstückhandhabung in der Montage und Fertigung



Rys 4.4 / 2

Dieser Nachtrag zum Katalog **Bosch-Handhabungstechnik Pneumatische und elektrische Module für die Werkstückhandhabung in der Montage und Fertigung** ergänzt das bisherige Programm und ist mit diesem kompakt.

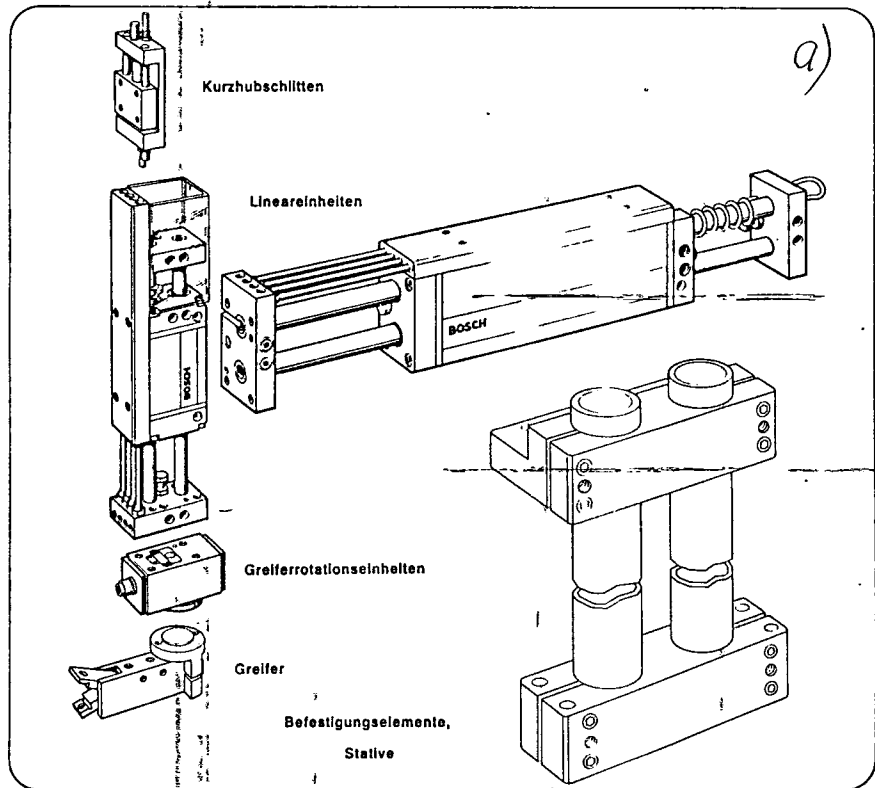
Es ermöglicht dem Anwender noch mehr Lösungsmöglichkeiten selbst von schwierigen Handhabungsaufgaben mit standardisierten Modulen, kostengünstig und wirtschaftlich.

Pneumatische Handhabungsmodule Baugröße 0

- Lineareinheiten
- Greiferrotationseinheiten
- Kurzhubschlitzen
- Greifer
- Stative und Befestigungselemente

Diese neuen Module der Baugröße 0 sind systemgerecht auf die Baugrößen I und II abgestimmt. Die elektrische und pneumatische Energieführung entspricht der Baugröße I und II (siehe Bosch-Handhabungstechnik-Katalog Seite 8 und 9).

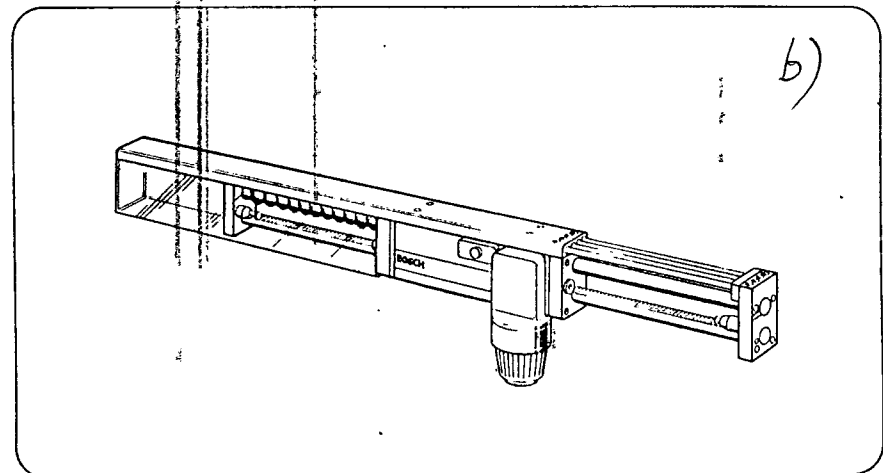
Rys 1.



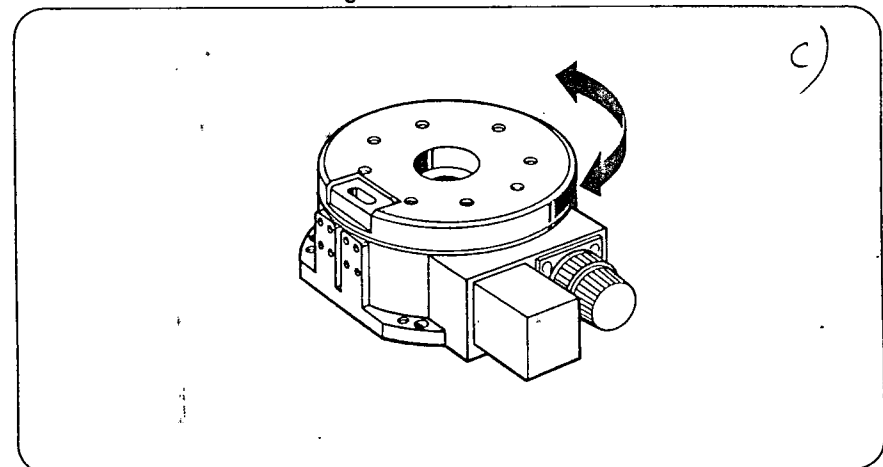
Elektrische Handhabungsmodule

- Lineareinheiten Baugröße I
- Grundrotationseinheiten Baugröße II und III

Die Beschreibung der Steuerung, Programmierung, NC-Einschubkarte und des Servoverstärkers ist im Bosch-Handhabungstechnik-Katalog auf den Seiten 19, 25, 26, 27, 28 und 29 enthalten. Auf eventuelle Abweichungen wird in diesem Nachtrag hingewiesen.



Elektrische Lineareinheit Baugröße I



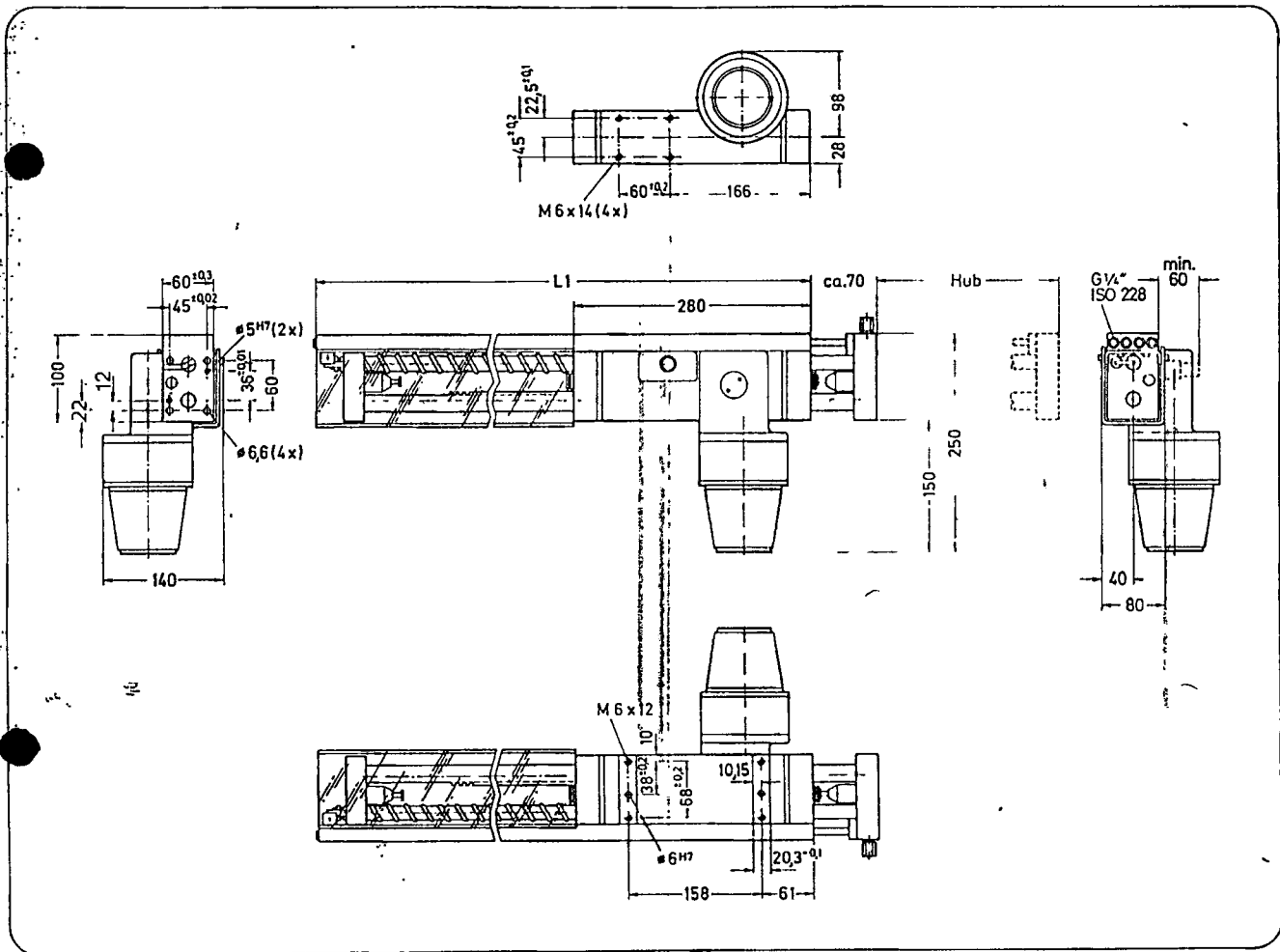
Elektrische Grundrotationseinheit Baugröße II und III

43
Rys 4.5

Die elektrischen Lineareinheiten entsprechen in Design und Abmessungen im wesentlichen den pneumatischen Lineareinheiten und sind mit diesen kompatibel. Die Kraftübertragung erfolgt über Ritzel und Verzahnung der Führungsstange. Der Grundkörper hat für alle Hublängen die gleichen Abmessungen. Die elektrische Energieführung für Endschalter sowie für nachgeschaltete Einheiten erfolgt integriert wie bei den pneumatischen Einheiten.

Verfahrgeschwindigkeit bei max. Last	1 m/s
Nutzlast max. ¹⁾	12 kg
Positioniergenauigkeit	± 0,1 mm
Wiederholgenauigkeit	± 0,05 mm
Vorschubkraft kurzzeitig (<0,5 s)	400 N
Beschleunigung max.	6 m/s ²
Kleinster programmierbarer Weg	0,01 mm
Programmierbare Positionen	240 mm

¹⁾ Nachgeschaltete Einheiten wie Greiferrotationseinheit, Greifer usw., vermindern die max. Nutzlast entsprechend.



Steuerungsmodule

Steuerung:	PC 1000 oder 4000	Technische Daten und Beschreibung siehe Bosch-Handhabungstechnik-Katalog Seite 19, 25, 26, 27, 28 und 29.
NC-Einschubkarte:	PU 4000	
Servoverstärker:	TR 6-60	
Trafo:	DT 50-5	
Schutzdrossel:	D 0,9-18-6	

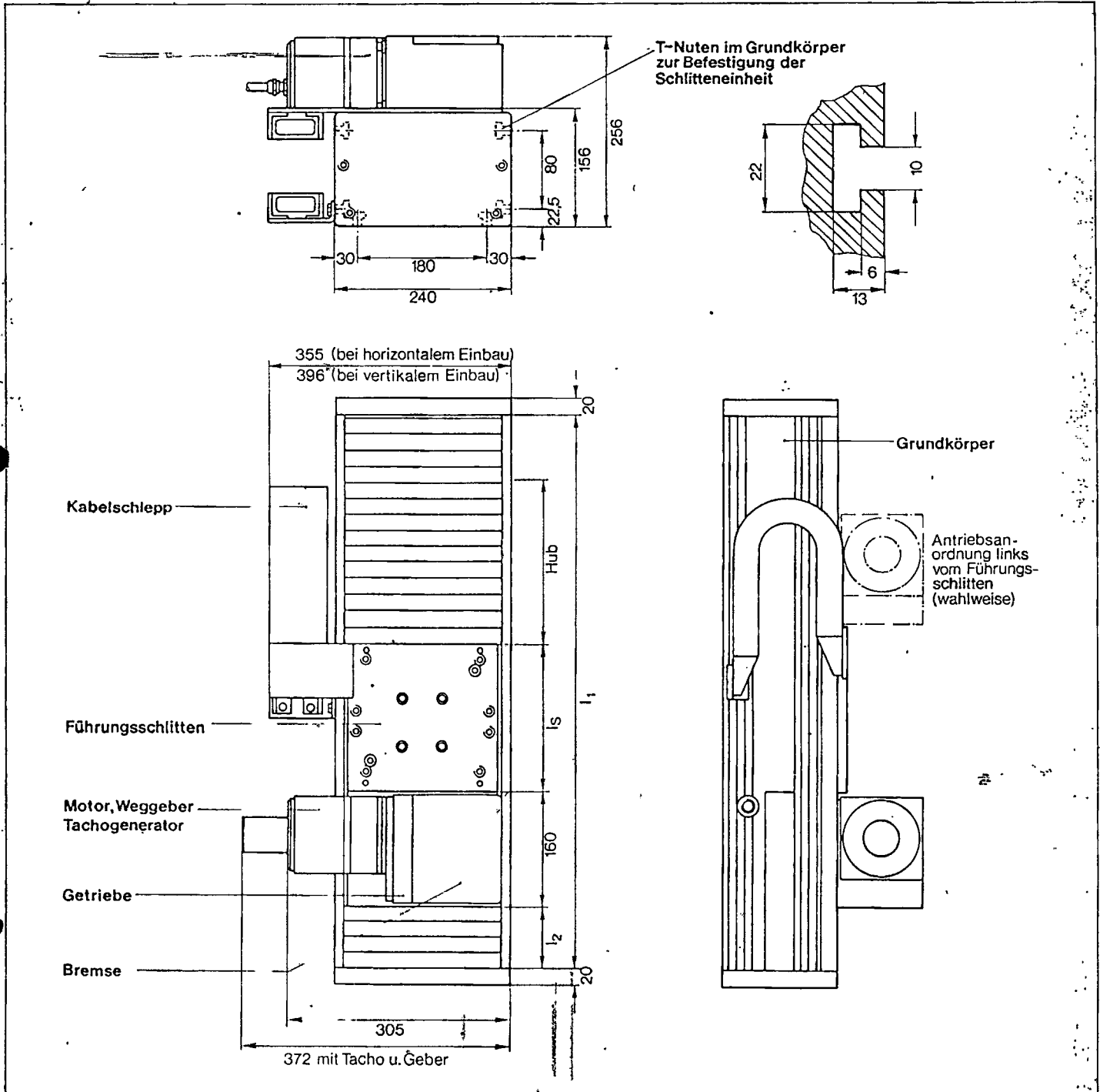
abgezogene wichtige auch, elektrische praca.

Hub (mm)	L ₁ (mm)	Nutzlast max. ¹⁾ bei (kg)		Gewicht (kg)	Bestellnummer
		horizontalem Betrieb	vertikalem Betrieb		
160	570	10	5	13	0842 250 231
240	650	10	5	14	0842 250 232
400	810	5	5	15	0842 250 233

¹⁾ Nachgeschaltete Einheiten wie Greiferrotationseinheit, Greifer usw. vermindern die max. Nutzlast entsprechend.

44 Rys 4.6

Übersicht, Aufbau und Funktion



$$l_1 = h + l_s + l_F + 320$$

$$l_2 = \frac{l_F + 160}{2}$$

h = Hub

l_s = Führungsschlittenlänge

l_F = nur bei Ausführung mit Faltenbalg. abhängig von h:

h	l_F
800	30
800 = 1200	80
1200 = 1600	130
1600 = 2000	180

Faltenbalg nur bis h = 2000

Grundkörper
Gestell aus Alu-Strangpreßprofil mit gezogenen T-Nuten zum Befestigen der Einheit, z. B. an FMS-Aluprofilen.

Führungsschlitten
Element zum Aufbau weiterer FMS-Handhabungsmodule, Vorrichtungen usw. Führungsschlitten sind in zwei Ausführungen unterschiedlicher Länge lieferbar (Bild 2) und werden auf vorgespannten Kugelbuchsen über Führungsstangen geführt.

415
Rys 4.7

Załącznik 2

Krótką charakterystyka silników wykonawczych prądu stałego typu PZTK 88-35TRR oraz PZTK-13-07-TRR

Silniki w/w typów produkowane są w Zakładzie Doświadczalnym Instytutu Elektrotechniki z przeznaczeniem głównie do napędu osi robotów przemysłowych IRb-6 oraz IRb-60.

Wyposażone zostały w rezolwery oraz prądnice tachometryczne.

Silnik PZTK-88-35TRR stosowany jest do napędu robota IRb-6.

Charakterystyka silnika $n = f(M)$ dla napięcia $U_{max} = 35V$ została pokazana na wykresie 1. Ze względu na ograniczenie prądowe moment obciążający M nie może przekraczać 1,9 Nm, zaś moment długotrwały obciążający dla $n = 0$ nie powinien przekraczać wartości 0,55Nm.

Silnik PZTK 13-07-TRR stosowany jest do napędu robota IRb-60.

Charakterystyka silnika $n = f(M)$ dla napięcia $U_{max} = 90V$ została pokazana na wykresie 2. Ze względu na ograniczenie prądowe maksymalny moment obciążający podczas biegu nie powinien przekraczać 16,4 Nm, zaś moment długotrwały obciążający dla $n = 0$ nie powinien przekraczać 3,2 Nm.

Pozostałe dane silników są zawarte w kartach katalogowych.

4) Charakterystyka $n - T(M)$ silnika prądu stałego typu PTK-38-35 TRR

dla $U_{max} = 35 [V]$

$J_r = 1,45 \cdot 10^{-4} [kg \cdot m^2]$ moment bezwładności

$M_{DO} = 0,55 [Nm]$ - moment długotrwali

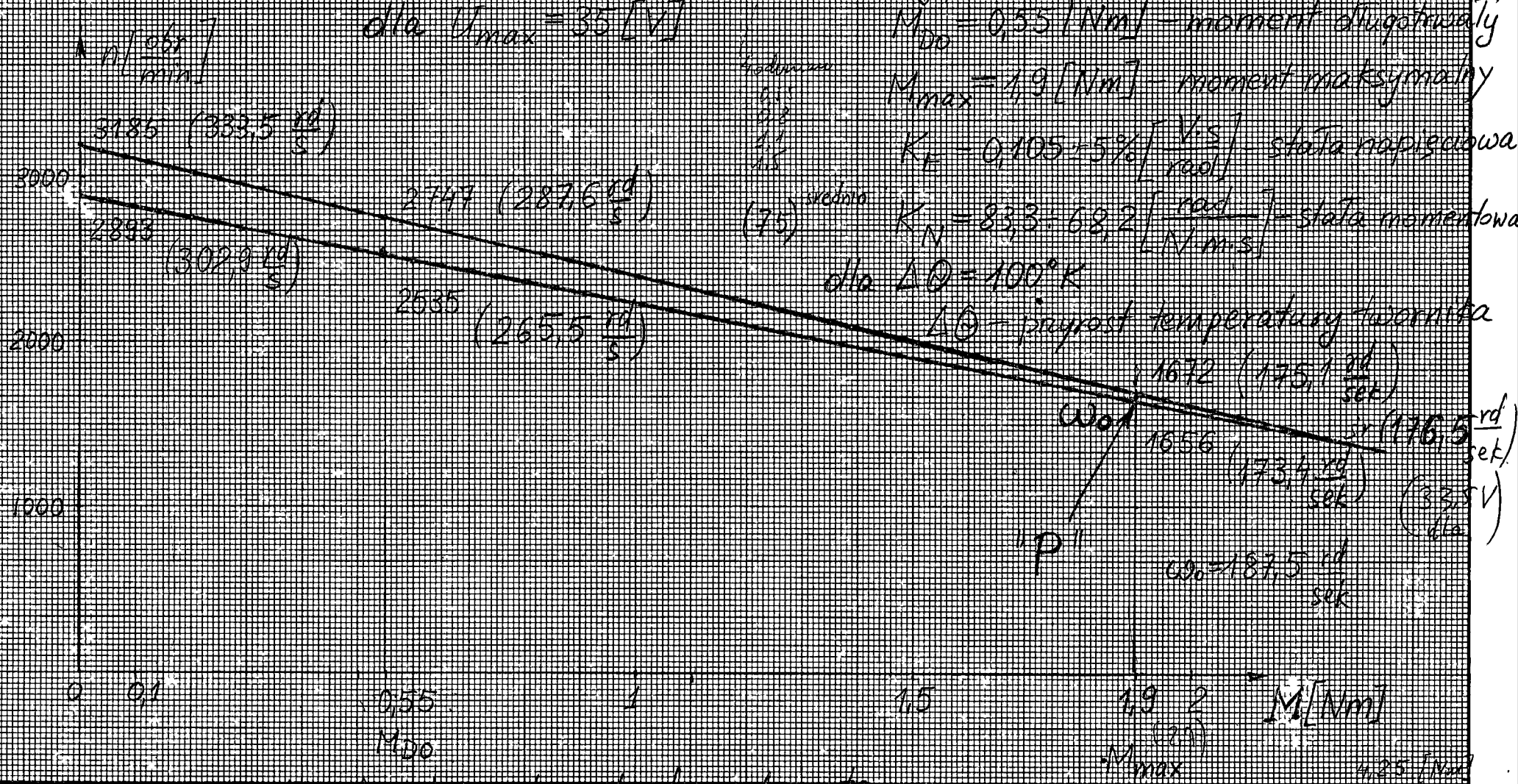
$M_{max} = 1,9 [Nm]$ - moment maksymalny

$K_T = 0,105 \pm 5\% [V \cdot s / rad]$ stała napięciowa

$K_N = 83,3 - 68,2 [rad / (V \cdot s)]$ - stała momentowa

dla $\Delta Q = 100^\circ K$

ΔQ - przyrost temperatury twornika

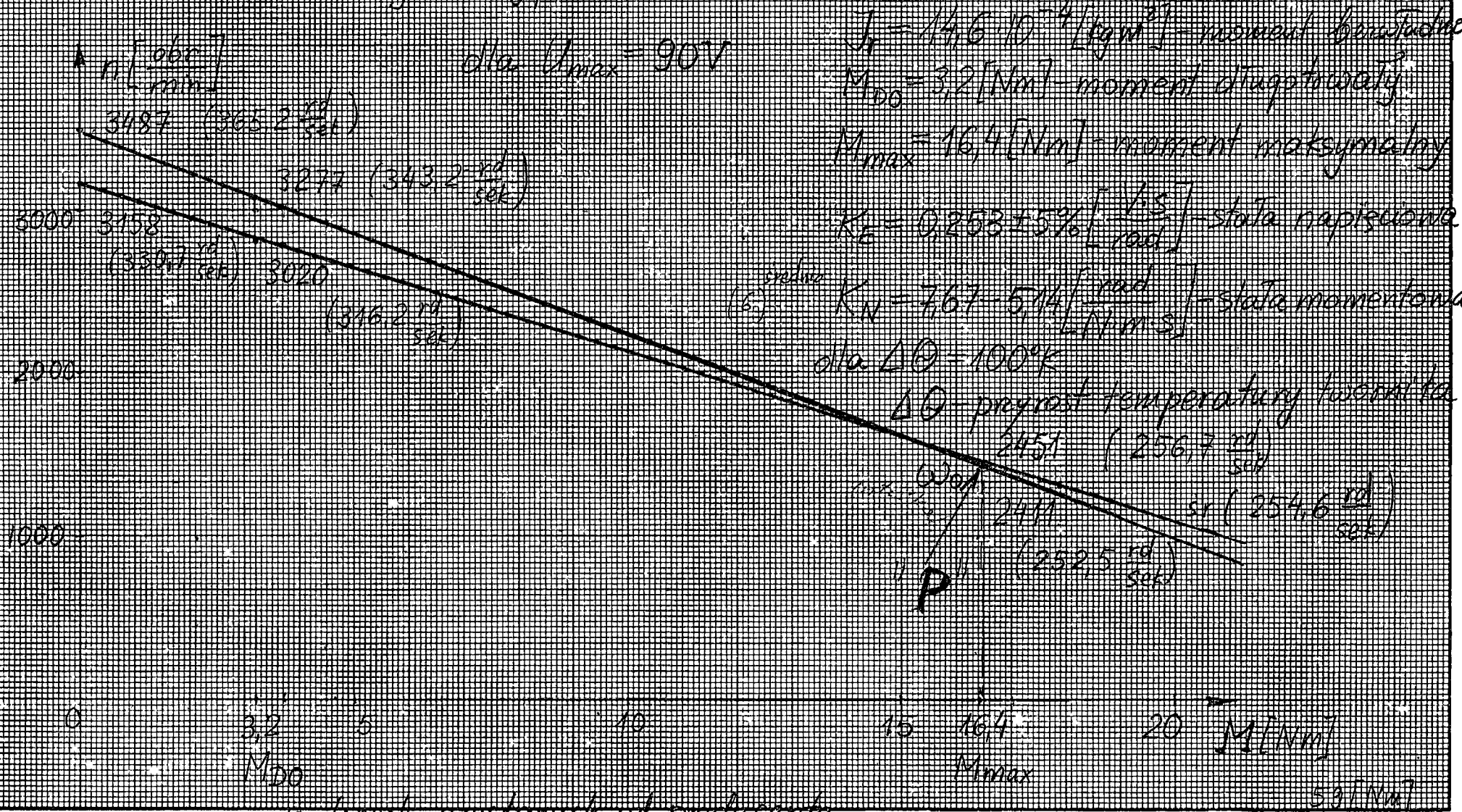


Wg danych uzyskanych od producenta.

dla $\omega = 0$

117

2/ Charakterystyka $n = f(M)$ silnika prądu stałego typu PZTK-13-07-TRR



wg danych wystających od producenta

Załącznik 3

Charakterystyka śrub kulowych produkowanych przez F.O.P. "ABIA".

Do obliczeń wybrano śruby 32 x 10 oraz 20 x 5 ze względu na ich stosowanie w robotach IRb.

Śruba 32 x 10 posiada średnicę nominalną 32 mm, skok 10 mm i stosowana jest do przeniesienia napędu w robocie IRb-60.

Sprawność przekładni śrubowej - tocznej wynosi w tym przypadku

$\eta = 0,9$ / dla $\mu = 0,015$ i kąta pochylenia linii śrubowej ok. 6° /
Śruba 20 x 5 stosowana będzie do przeniesienia napędu w robocie IRb-6. Sprawność przekładni śrubowej - tocznej wynosi $\eta = 0,85$ / dla $\mu = 0,015$ i kąta pochylenia linii śrubowej ok. $4,5^\circ$ /

Załącznik 4

Rozwiązanie równań ruchu dla schematu kinematycznego pokazanego na rys. 6.1.

$$1/ \ddot{X} \cdot \left[\frac{4\pi^2}{h^2} (J_S + J_r) + G \right] + \dot{X} \cdot \frac{4\pi^2}{h^2} \cdot \frac{1}{K_N} \cdot \eta = \frac{2\pi}{h} \cdot \frac{\eta}{K_N \cdot K_E} U(t) - T(t)$$

dla warunków początkowych :

$$X(0^+) = X_0, \quad \dot{X}(0^+) = \dot{X}_0 \quad \text{oraz :}$$

$$U(t) = U_{\max} = \text{const.}$$

$$T(t) = T = \text{const.}$$

Dla uproszczenia zapisu oznaczamy :

$$A = \frac{2\pi}{h} \cdot \frac{\eta}{K_N \cdot K_E} \cdot U(t) - T(t)$$

$$B = \frac{4\pi^2}{h^2} (J_S + J_r) + G$$

$$C = \frac{4\pi^2}{h^2} \cdot \frac{1}{K_N} \cdot \eta$$

Równanie 1/ przyjmie wówczas postać:

$$2/ \ddot{X} \cdot B + \dot{X} \cdot C = A$$

Stosując przekształcenie Laplace'a do obu stron równania 2/ oraz uwzględniając warunki początkowe otrzymujemy :

$$B \cdot [s^2 \cdot X(s) - s \cdot X_0 - \dot{X}_0] + C[s \cdot X(s) - X_0] = \frac{A}{s}$$

$$Bs^2 X(s) + B \cdot s X_0 + B \cdot \dot{X}_0 + C \cdot s X(s) - C \cdot X_0 = \frac{A}{s}$$

Stąd po uporządkowaniu :

$$X(s) = \frac{\frac{A}{s} + s \cdot B \cdot X_0 + C \cdot X_0 + B \cdot \dot{X}_0}{B \cdot s \cdot \left[s + \frac{C}{B} \right]}$$

Po rozłożeniu na czynniki :

$$X(s) = \frac{X_0}{s} = \frac{A}{C} \cdot \frac{1}{s^2} + \left(\frac{B}{C} \cdot \dot{X}_0 - \frac{AB}{C^2} \right) \cdot \frac{1}{1 + \frac{C}{B}}$$

Stosując odwrotną przekształcenie Laplace'a otrzymujemy :

$$3/ X(t) = X_0 + \frac{A}{C} \cdot t + \left(\frac{B}{C} \cdot \dot{X}_0 - \frac{AB}{C^2} \right) \left(1 - e^{-\frac{C}{B} \cdot t} \right)$$

po zróżniczkowaniu otrzymujemy :

$$4/ \dot{X}(t) = \frac{A}{C} + \frac{B}{C} \cdot X_0 - \frac{AB}{C^2} - \frac{C}{B} \cdot e^{-\frac{C}{B} \cdot t}$$

$$\text{lub } \dot{X}(t) = X_0 \cdot e^{-\frac{C}{B} \cdot t} + \frac{A}{C} \left(1 - e^{-\frac{C}{B} \cdot t} \right)$$

$$5/ \ddot{X}(t) = \left(\frac{A}{B} - X_0 \cdot \frac{C}{B} \right) e^{-\frac{C}{B} \cdot t}$$

lub dla skali czasu t przesuniętej o wartość t_0 w lewo /na rys 10/ otrzymujemy dla $t \geq t_0$:

$$6/ X(t) = X_0 + \frac{A}{C} (t - t_0) + \left(\frac{B}{C} \cdot \dot{X}_0 - \frac{AB}{C^2} \right) \left(1 - e^{-\frac{C}{B} (t - t_0)} \right)$$

$$7/ \dot{X}(t) = X_0 \cdot e^{-\frac{C}{B} (t - t_0)} + \frac{A}{C} \left(1 - e^{-\frac{C}{B} (t - t_0)} \right)$$

$$8/ \ddot{X}(t) = \left(\frac{A}{B} - X_0 \cdot \frac{C}{B} \right) \cdot e^{-\frac{C}{B} (t - t_0)}$$

Czas T rozpędzania modułu do prędkości V_{max} można wyznaczyć ze wzoru 7/

Ponieważ $\dot{X}(t) \rightarrow \frac{A}{C}$ dla $t \rightarrow \infty$ przyjmujemy ze wystarczającą dokładnością, że :

$$V_{max} = 0,95 \cdot \frac{A}{C}$$

stąd po wstawieniu do wzoru 7/ i uporządkowaniu otrzymujemy:

$$9/ \quad T = \frac{B}{C} \cdot \left[3 + \ln \left(1 - X_0 \cdot \frac{C}{A} \right) \right] + t_0$$

Załącznik 5

Wyprowadzenie i rozwiązanie równań ruchu dla schematu kinematycznego pokazanego na rys. 8.2.

Równanie równowagi momentów czynnych i biernych.:

$$1/ \quad M = \bar{M}_1 + i \cdot M_2$$

$$2/ \quad M = \varepsilon_{11} \cdot Jr + \frac{1}{\gamma} \cdot i \cdot \left(G \frac{h^2}{4\pi^2} \cdot \varepsilon_2 + Js \cdot \varepsilon_2 + \frac{h}{2\pi} \cdot T \right)$$

ponieważ $\varepsilon_1 = \frac{1}{i} \varepsilon_2$

zaś $\ddot{X} = \frac{h}{2\pi} \cdot \varepsilon_2$

Wstawiając te zależności do wzoru 2/ otrzymujemy po uporządkowaniu :

$$\ddot{X} \cdot \left[\frac{1}{i^2} \cdot \frac{4\pi^2}{h^2} \cdot \gamma \cdot Jr + G + \frac{4\pi^2}{h^2} \cdot Js \right] = M \cdot \frac{\gamma}{i} \cdot \frac{2\pi}{h} - T$$

Stąd

$$3/ \quad \ddot{X} = \frac{\frac{\gamma}{i} \cdot \frac{2\pi}{h} \cdot M - T}{\frac{\gamma}{i^2} \cdot \frac{4\pi^2}{h^2} \cdot Jr + \frac{4\pi^2}{h^2} \cdot Js + G}$$

Dla fazy ruchu jednostajnie przyspieszonego :

$$4/ \quad \ddot{X} = \frac{\frac{\gamma}{i} \cdot \frac{2\pi}{h} \cdot M_{\max} - T}{\frac{\gamma}{i^2} \cdot \frac{4\pi^2}{h^2} \cdot Jr + \frac{4\pi^2}{h^2} \cdot Js + G} = \frac{E}{B}$$

gdzie :

$$E = \frac{\gamma}{i} \cdot \frac{2\pi}{h} \cdot M_{\max} - T$$

$$B = \frac{4\pi^2}{h^2} \cdot \left(\frac{\gamma}{i^2} \cdot Jr + Js \right) + G$$

Czas trwania fazy ruchu jednostajnie przyspieszonego :

$$5/ \quad t_0 = \omega_{10} \cdot i \cdot \frac{h}{2\pi} \cdot \frac{1}{X_0} = \omega_{10} \cdot i \cdot \frac{h}{2\pi} \cdot \frac{B}{E}$$

Prędkość maksymalna ruchu jednostajnie przyspieszonego :

$$6/ \quad X_0 = i \cdot \frac{h}{2\pi} \cdot \omega_{10}$$

gdzie ω_{10} - minimalna prędkość kątowna wału silnika dla której stosuje się wzór 3 / na stronie 21 / Jest to punkt "P" charakterystyki silnika

Długość drogi na której realizuje się faza ruchu jednostajnie przyspieszonego.

$$7/ \quad X_0 = \ddot{X} \cdot \frac{t_0^2}{2} = \frac{h^2}{8\pi^2} \cdot i^2 \cdot \omega_{10}^2 \cdot \frac{B}{E}$$

Dla fazy ruchu wykładniczo zmiennego równanie ruchu ma postać:

$$8/ \quad M = \mathcal{E}_1 \cdot J_r + \frac{1}{\gamma} \cdot i \cdot \left(\frac{h^2}{4\pi^2} \cdot \mathcal{E}_2 + J_s \cdot \mathcal{E}_2 + \frac{h}{2\pi} \cdot T \right)$$

gdzie:

$$M = \frac{U}{K_N \cdot K_E} - \frac{1}{K_N} \cdot \omega_{10}$$

ponieważ

$$\mathcal{E}_1 = \frac{1}{i} \cdot \frac{2\pi}{h} \cdot \ddot{X}$$

$$\mathcal{E}_2 = \frac{2\pi}{h} \cdot \ddot{X}$$

$$\text{zaś} \quad \omega_{10} = \frac{1}{i} \cdot \frac{2\pi}{h} \cdot \dot{X}$$

Stąd po wstawieniu do wzoru 8/ i uporządkowaniu otrzymujemy :

$$9/ \ddot{X} \left[\frac{4\pi^2}{h^2} \left(\frac{\eta}{i^2} J_r + J_s \right) + G \right] + \dot{X} \cdot \frac{4\pi^2 \eta}{h^2 i^2} \cdot \frac{1}{K_N} \cdot \frac{2\pi}{h} \cdot \frac{1}{i} \cdot \frac{U(t)}{K_N K_E} = T$$

Oznaczając

$$10/ \frac{4\pi^2}{h^2} \left(\frac{\eta}{i^2} J_r + J_s \right) + G = B$$

$$11/ \frac{4\pi^2}{h^2} \cdot \frac{\eta}{i^2} \cdot \frac{1}{K_N} = C$$

$$12/ \frac{2\pi}{h} \cdot \frac{\eta}{i} \cdot \frac{U_{\max}}{K_N K_E} = T = A$$

Otrzymujemy równanie

$$13/ \ddot{X} \cdot B + \dot{X} C = A$$

które ma identyczną postać jak równanie 2/ w załączniku 4.

Dla warunków początkowych

$$X(t_0) = X_0, \quad \dot{X}(t_0) = \dot{X}_0 \text{ oraz przy założeniu}$$

$$U(t) = U_{\max} = \text{const}, \quad T(t) = T = \text{const dla } t \geq t_0$$

otrzymujemy rozwiązanie:

$$14/ X(t) = X_0 + \frac{A}{C} (t - t_0) + \left(\frac{B}{C} \cdot \dot{X}_0 - \frac{AB}{C^2} \right) \left(1 - e^{-\frac{C}{B}(t - t_0)} \right)$$

gdzie to określone jest wzorem 5/.

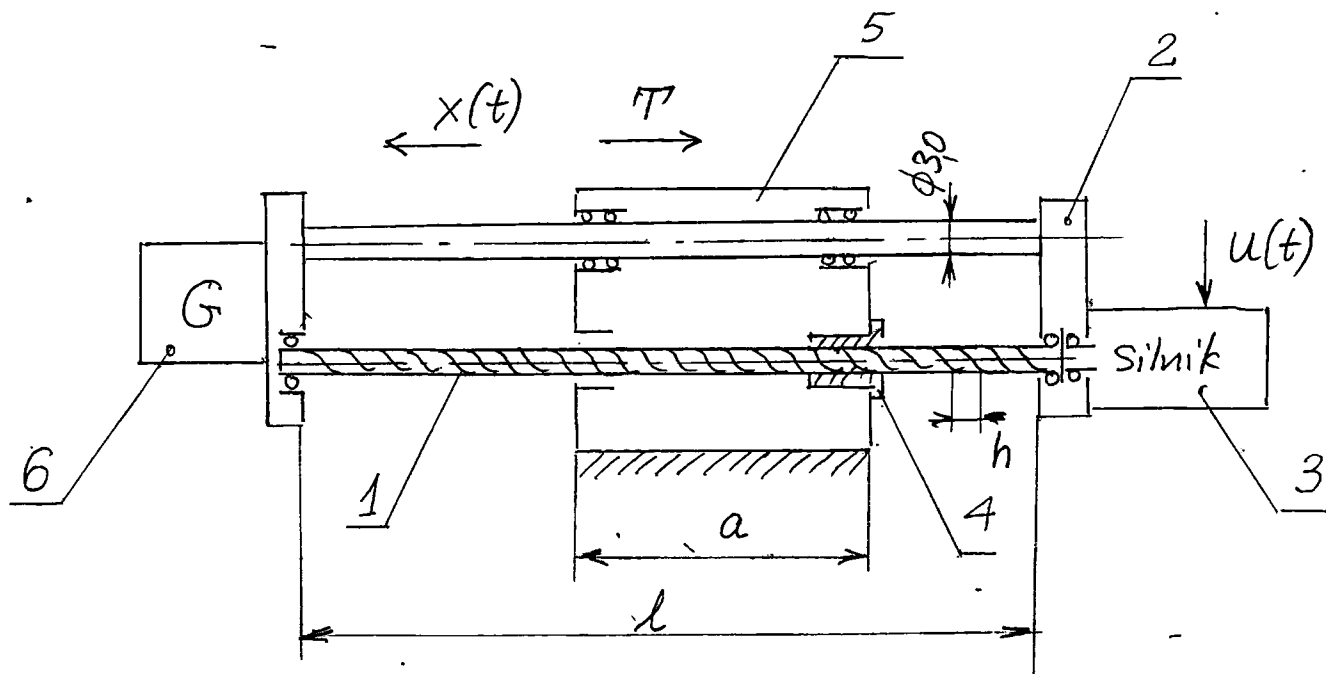
Po zrózniczkowaniu otrzymujemy:

$$15/ \dot{X}(t) = \dot{X}_0 \cdot e^{-\frac{C}{B}(t - t_0)} + \frac{A}{C} \cdot \left(1 - e^{-\frac{C}{B}(t - t_0)} \right)$$

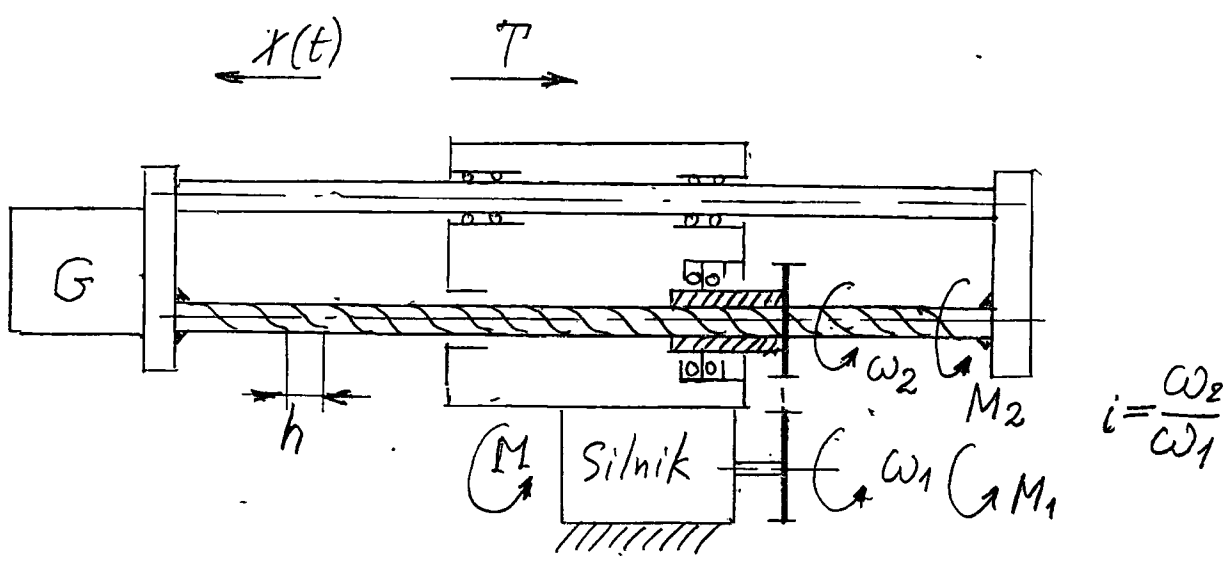
$$16/ \ddot{X}(t) = \left(\frac{A}{B} - \dot{X}_0 \cdot \frac{C}{B} \right) \cdot e^{-\frac{C}{B}(t - t_0)}$$

Rysunki :

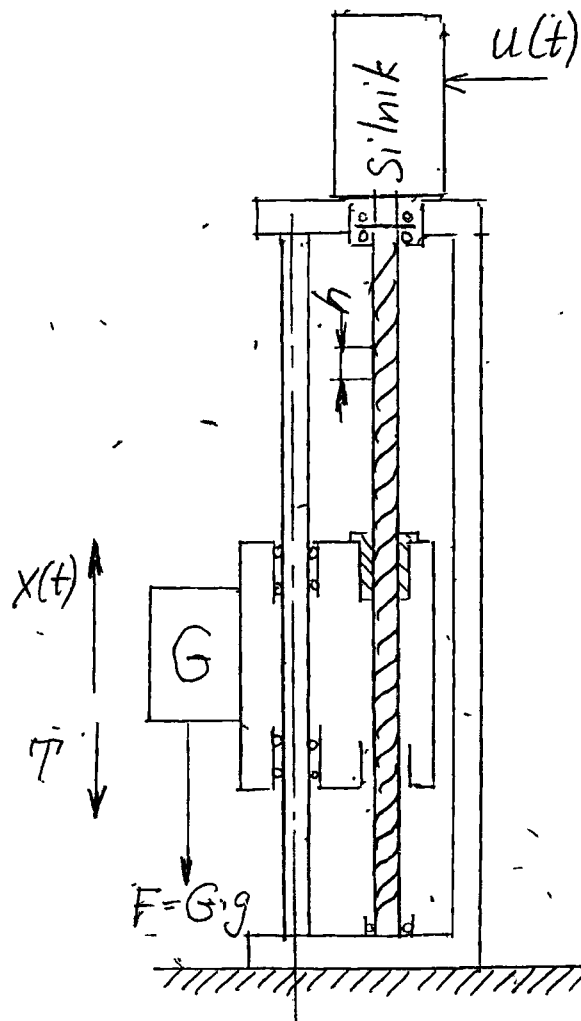
Wykresy :



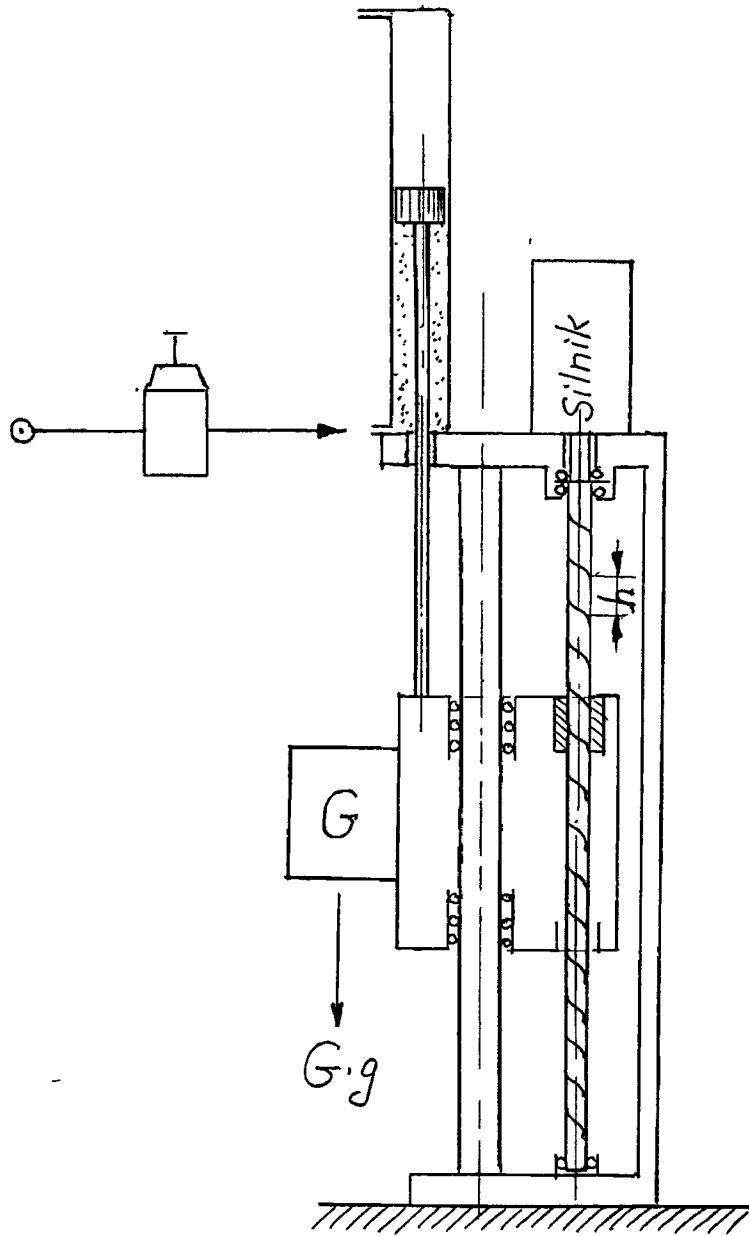
Rys.6.1 Silnik napędza śrubę,
Nakrętka zamocowana jest do
korpusu modułu.



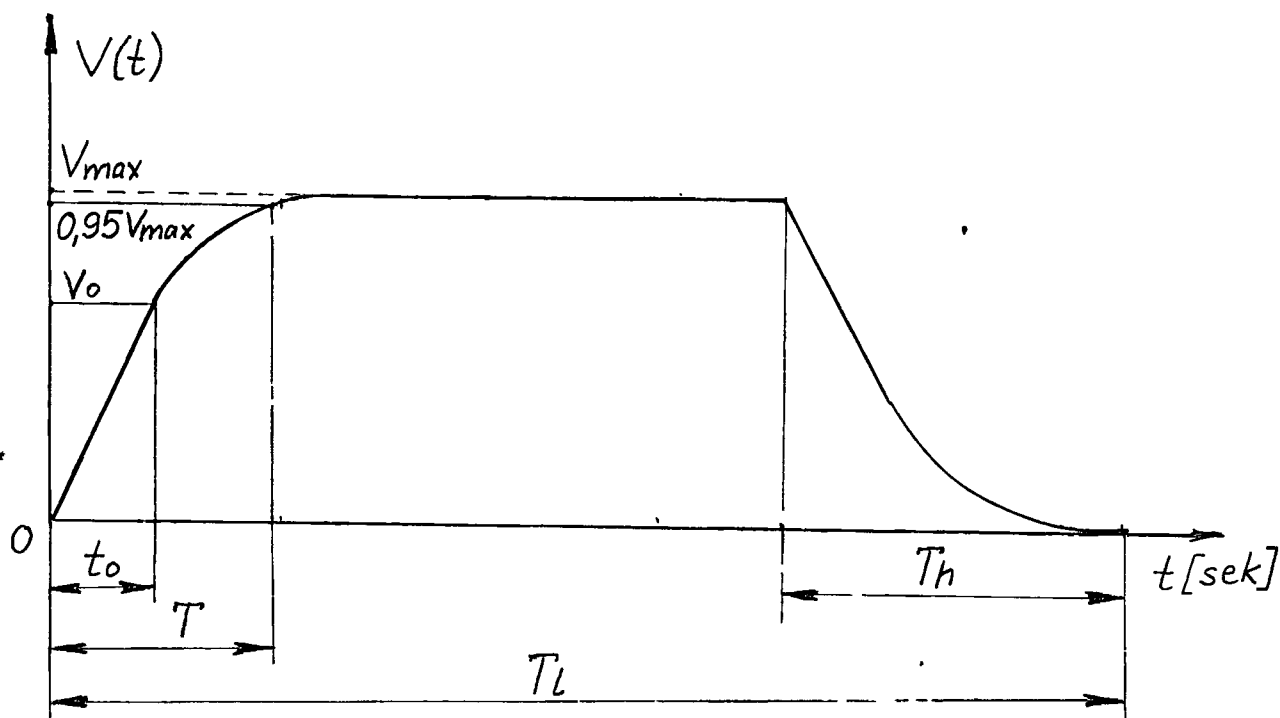
Rys.6.2 Silnik napędza nakrętkę śruby
przez przekładnię z paskiem zębatym
Śruba pozostaje zamocowana sztywno
do modułu robota.



Rys 6.3 Silnik napędza śruby.



Rys.6.4. Praca modułu liniowego jako pionowej kolumny z pneumatycznym zrównoważeniem siły ciężkości $G \cdot g$



Rys 7.0. Typowy przebieg prędkości $V(t)$ modułu liniowego dla pełnego zakresu ruchu.

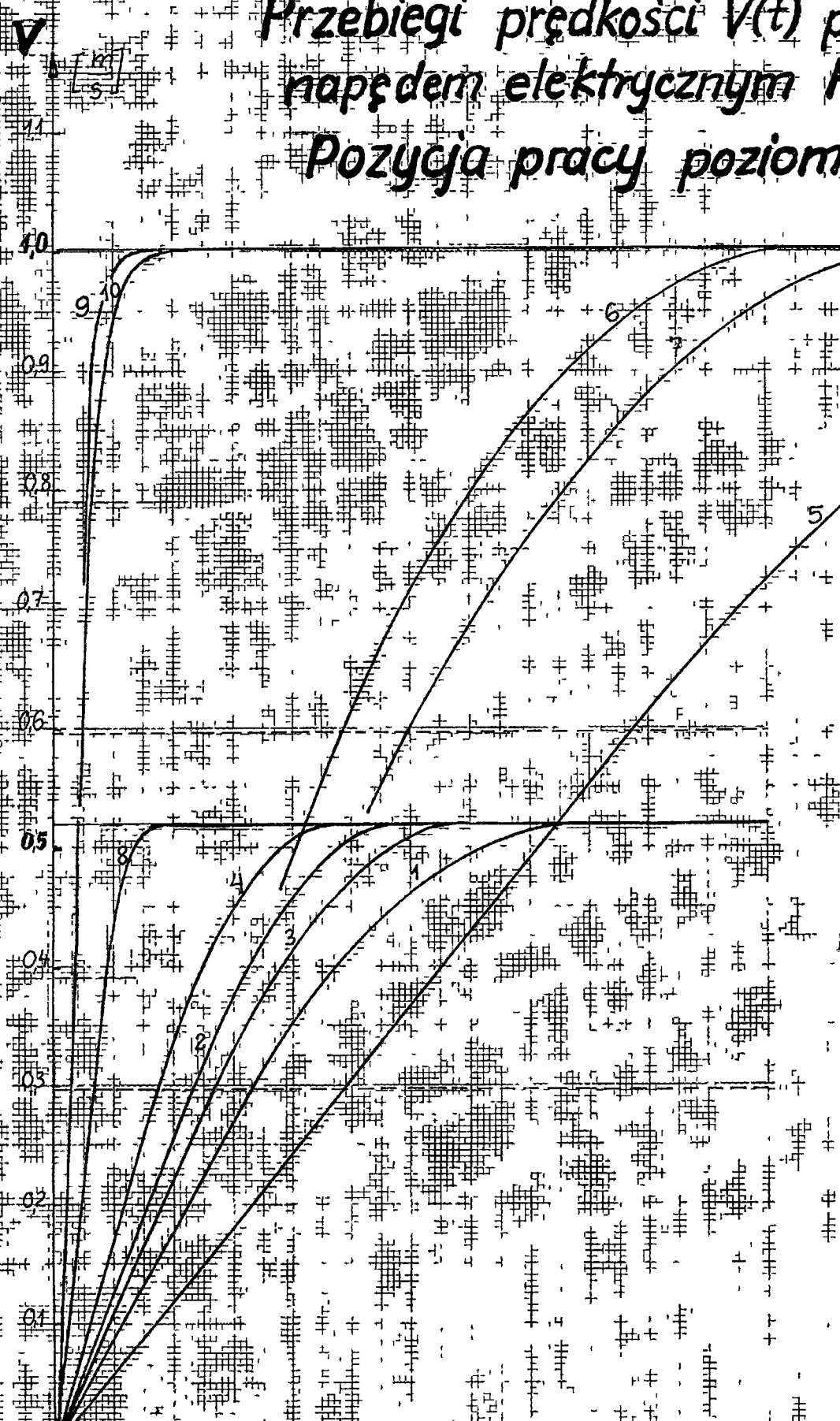
t_0 — czas trwania fazy ruchu jednostajnie przyspieszonego,

V_0 — prędkość maksymalna dla fazy ruchu jednostajnie przyspieszonego

T — czas rozruchu

T_h — czas hamowania

Przebiegi prędkości $V(t)$ przy rozruchu modułów robota z napędem elektrycznym PR-02E
Pozycja pracy pozioma



Lp.	Zakres ruchu [mm]	Obciążenie [kg]	Siła 1-tryb 2-tryb	Śruba	Przetężenie przekładni	V_{max} [m/s]	V_{max} [m/s]	Czas rozruchu [sek]	Długość drogi [m]
1	1000	20	1	32x10	1	0,52	4,83	0,42	0,13
2	300	10	1	20x5	2	0,52	2,58	0,30	0,09
3	1000	20	1	20x5*	2	0,52	2,33	0,33	0,10
4	1000	20	1	32x10*	1	0,52	3,66	0,21	0,06
5	1000	20	1	20x5*	4	1,02	4,22	1,21	0,64
6	300	0	1	32x10*	2	1,02	2,44	0,61	0,38
7	1000	20	1	32x10*	2	1,02	2,0	0,74	0,46
8	1000	0	2,4	32x10	1,4	0,52	8,6	0,68	0,02
9	1000	0	2	32x10*	2	1,04	13,8	0,09	0,06
10	1000	20	2	32x10*	2	1,04	12,8	0,10	0,06

* śruba sztywno zamontowana tryb 2

Rys. 7.1

Przebiegi przyspieszeń $\dot{V}(t)$ przy rozruchu modułów robota z napędem elektrycznym PR-02E

Pozycja pracy pozioma

Lp.	Zakres ruchu [mm]	Obciążenie [kg]	Silnik 1-moty 2-doty	Śruba	Przełożenie przekładni	V_{max} [m/s]	\dot{V}_{max} [m/s ²]	Czas przemieszcz. [sek]
1	1000	20	1	20x5*	4	4,02	1,22	0,24
2	300	0	1	32x10*	2	1,02	2,44	0,61
3	300	20	1	32x10*	2	4,02	2,15	0,69
4	600	0	1	32x10*	2	4,02	2,01	0,71
5	1000	20	1	32x10*	2	1,02	2,0	0,74

* - śruba sztywno zamocowana rys. 6.21

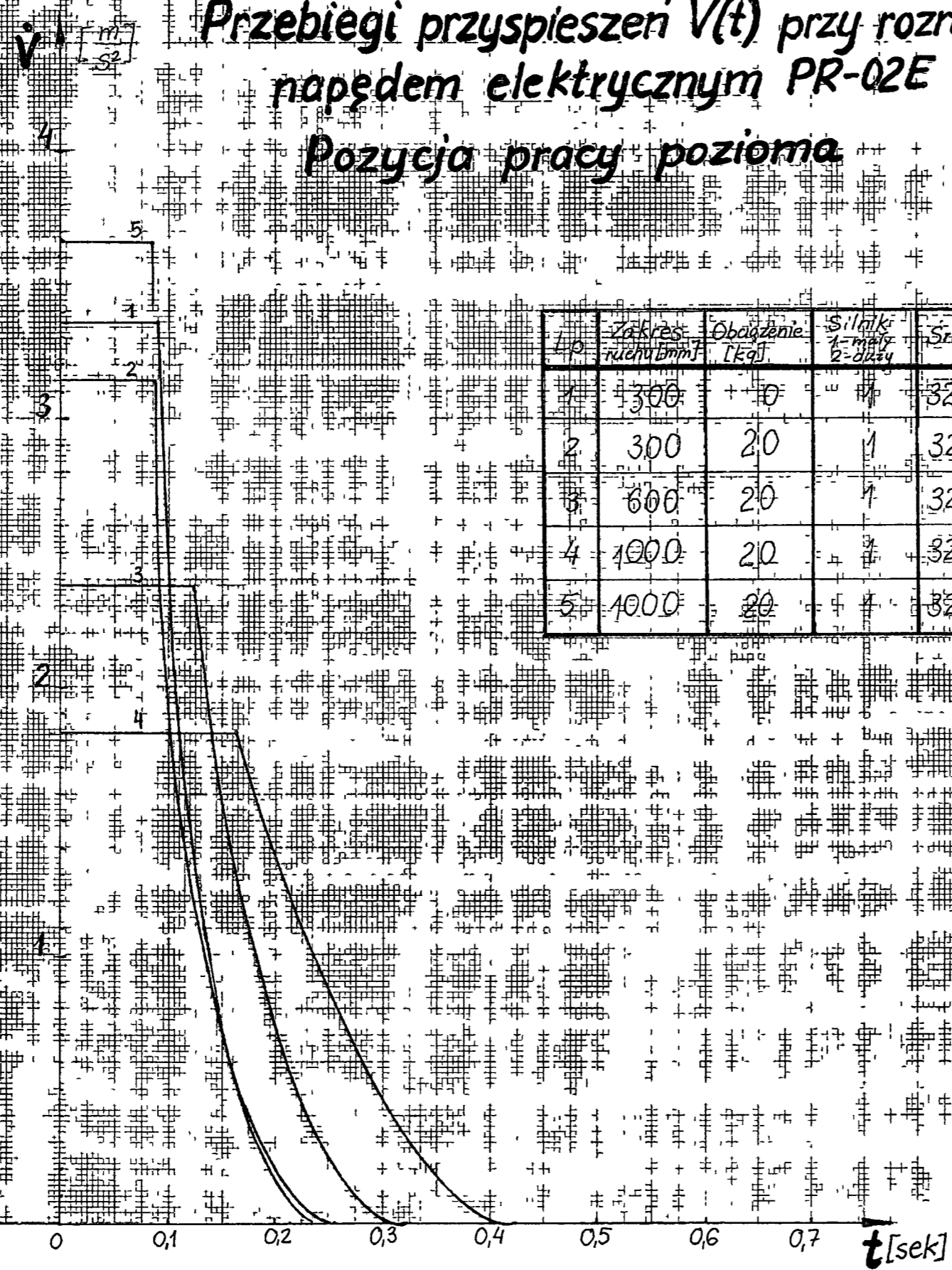
Rys. 7.2

Przebiegi przyspieszenia $V(t)$ przy rozruchu modułów robota z napędem elektrycznym PR-02E

Pozycja pracy pozioma

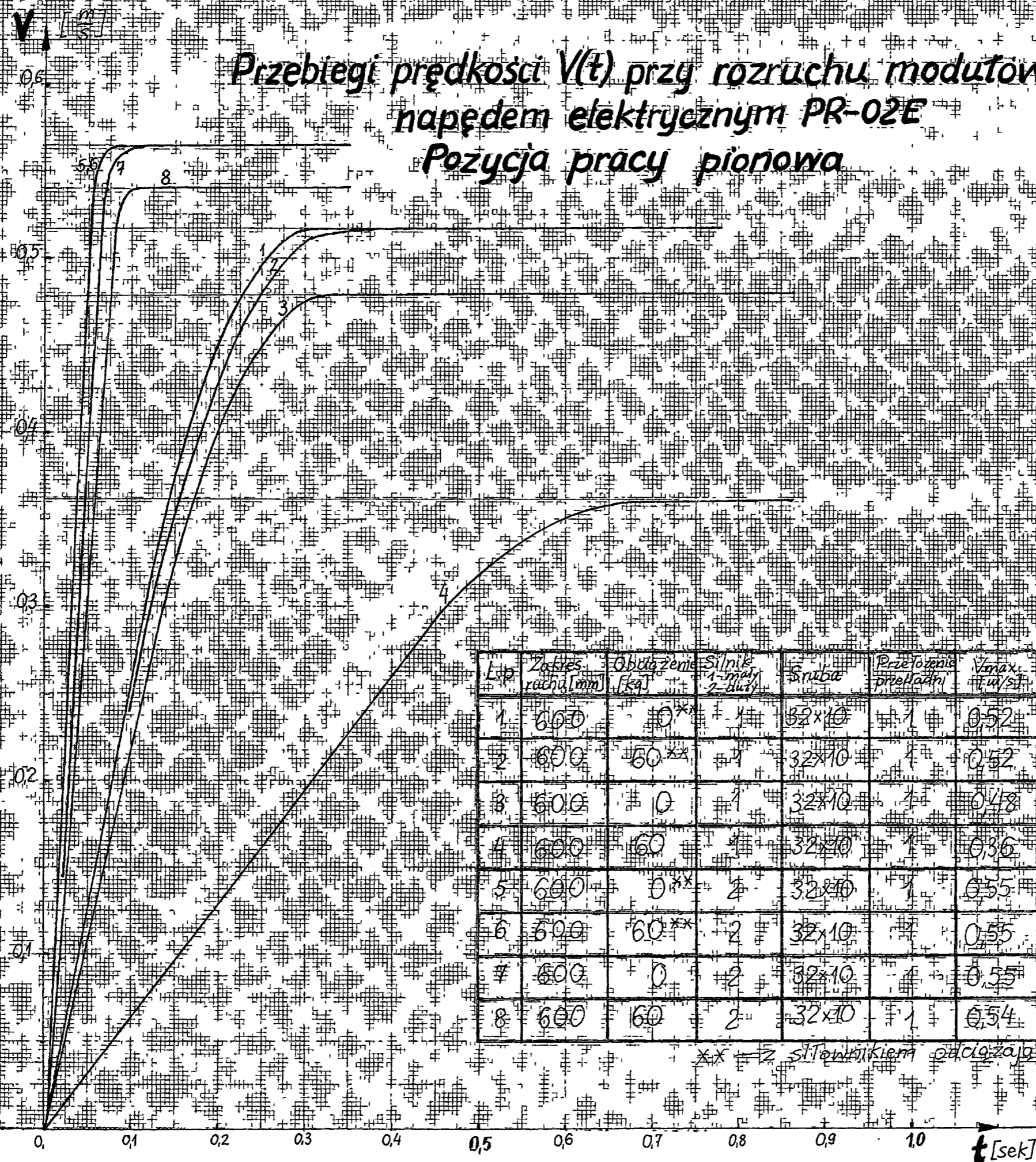
Lp	Zakres ruchu [mm]	Obciążenie [kg]	Silnik 1-moty 2-dźw	Śruba	Przełożenie przekładni	V_{max} [m/s]	V_{max} [m/s ²]	Czas rozruchu [sek]
1	300	10	1	32x10	1	0,52	3,36	0,23
2	300	20	1	32x10	1	0,52	3,45	0,24
3	600	20	1	32x10	1	0,52	2,39	0,32
4	1000	20	1	32x10	1	0,52	1,83	0,42
5	1000	20	1	32x10*	1	0,52	3,66	0,21

* śruba satywno zamocowana (rys 62)



Rys. 7.3

Przebiegi prędkości $V(t)$ przy rozruchu modułów robota z napędem elektrycznym PR-02E
Pozycja pracy pionowa



Lp	Zakres ruchu [mm]	Obciążenie [kg]	Silnik 1-rodny 2-duty	Śruba	Przełożenie przekładni	V_{max} [m/s]	V_{max} [cm/s]	Czas rozruchu [sek]	Droga rozruchu [cm]
1	600	0**	1	32x10	1	0,52	257	0,30	0,09
2	600	60**	1	32x10	1	0,52	2,24	0,34	0,11
3	600	10	1	32x10	1	0,48	2,60	0,31	0,09
4	600	60	1	32x10	1	0,36	0,62	0,72	0,16
5	600	0**	2	32x10	1	0,55	10,0	0,07	0,02
6	600	60**	2	32x10	1	0,55	9,4	0,07	0,02
7	600	0	2	32x10	1	0,55	9,8	0,07	0,02
8	600	60	2	32x10	1	0,54	8,6	0,07	0,02

** z silnikiem odciążającym (rys. 6.4)

Rys. 7.4

Przebiegi przyspieszenia $\ddot{V}(t)$ przy rozruchu modułów robota z napędem elektrycznym PR-02E

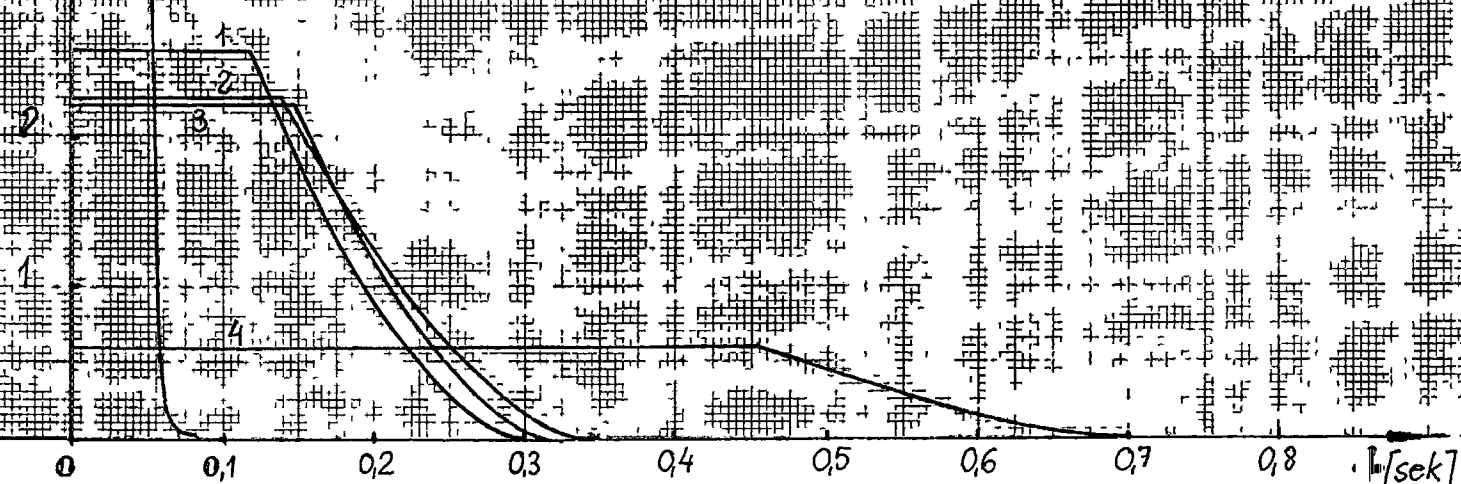
Pozycja pracy pionowa

\ddot{V} [m/s²]

10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0

Lp	Zakres ruchu [mm]	Obciążenie [kg]	Sitka 1-matry 2-dziół	Sztuba	Przełożenie przekładni	Vmax [m/s]	Vmax [m/s ²]	Czas rozruchu [sek]	Droga rozruchu [m]
1	600	0**	1	32x10	1	0,518	2,57	0,30	0,09
2	600	60**	1	32x10	1	0,518	2,24	0,34	0,11
3	600	0	1	32x10	1	0,48	2,21	0,31	0,09
4	600	60	1	32x10	1	0,36	0,66	0,72	0,16
5	600	0**	2	32x10	1	0,55	9,99	0,07	0,02
6	600	60**	2	32x10	1	0,55	9,38	0,07	0,02
7	600	0	2	32x10	1	0,55	9,83	0,07	0,02
8	600	60	2	32x10	1	0,54	8,63	0,07	0,02

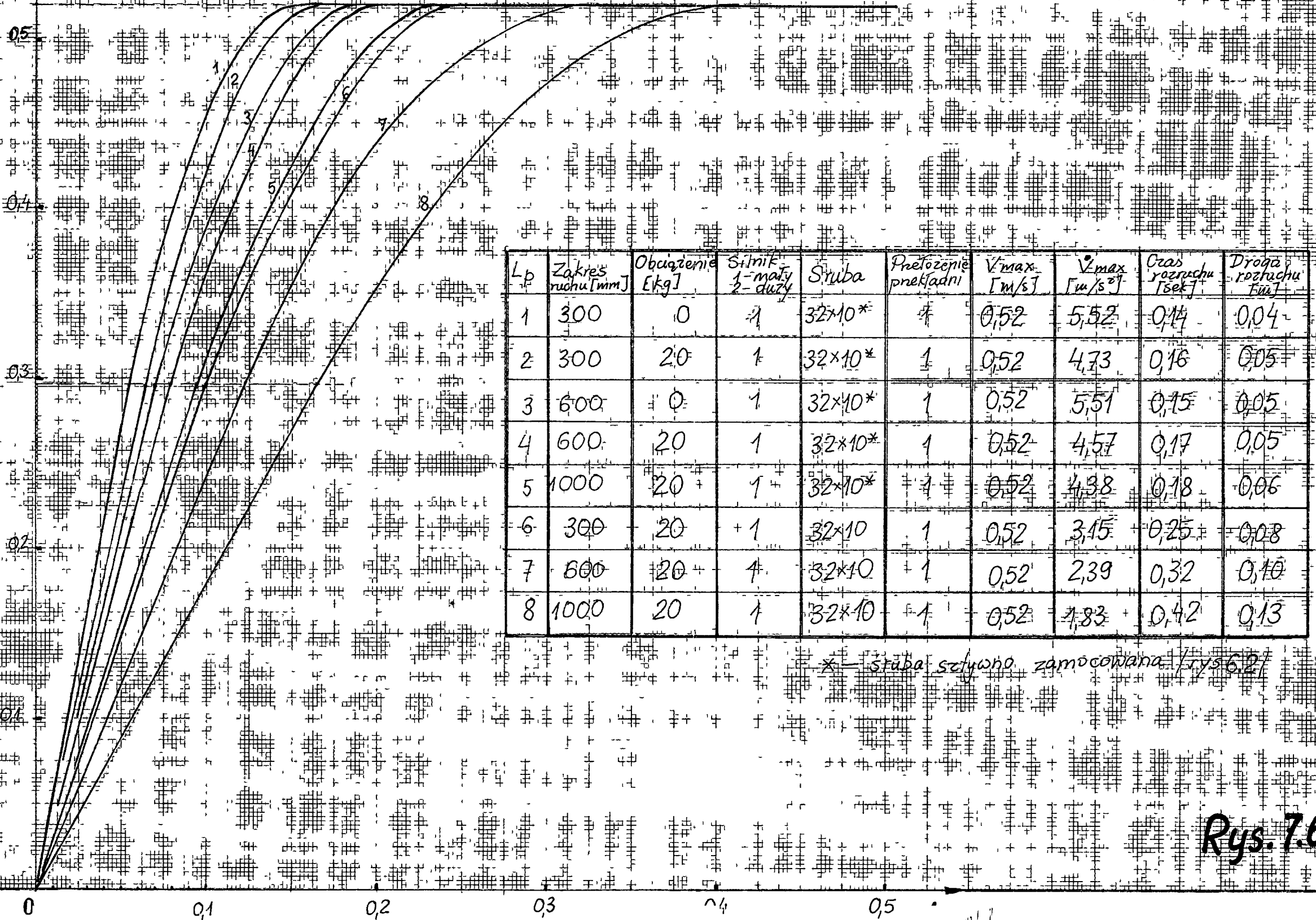
** z sitownikiem oddziałującym rys. 6.4/



Rys. 7.5

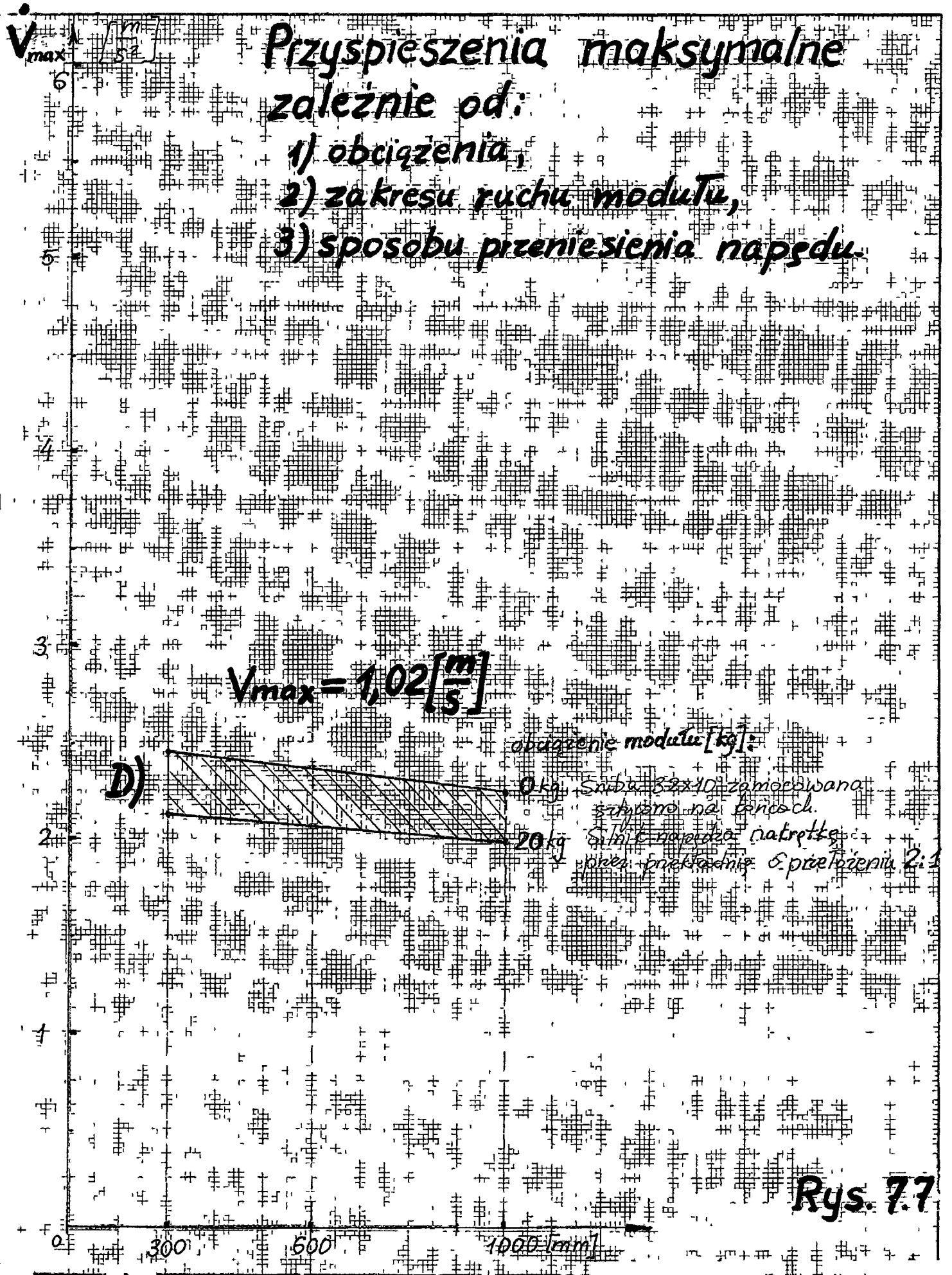
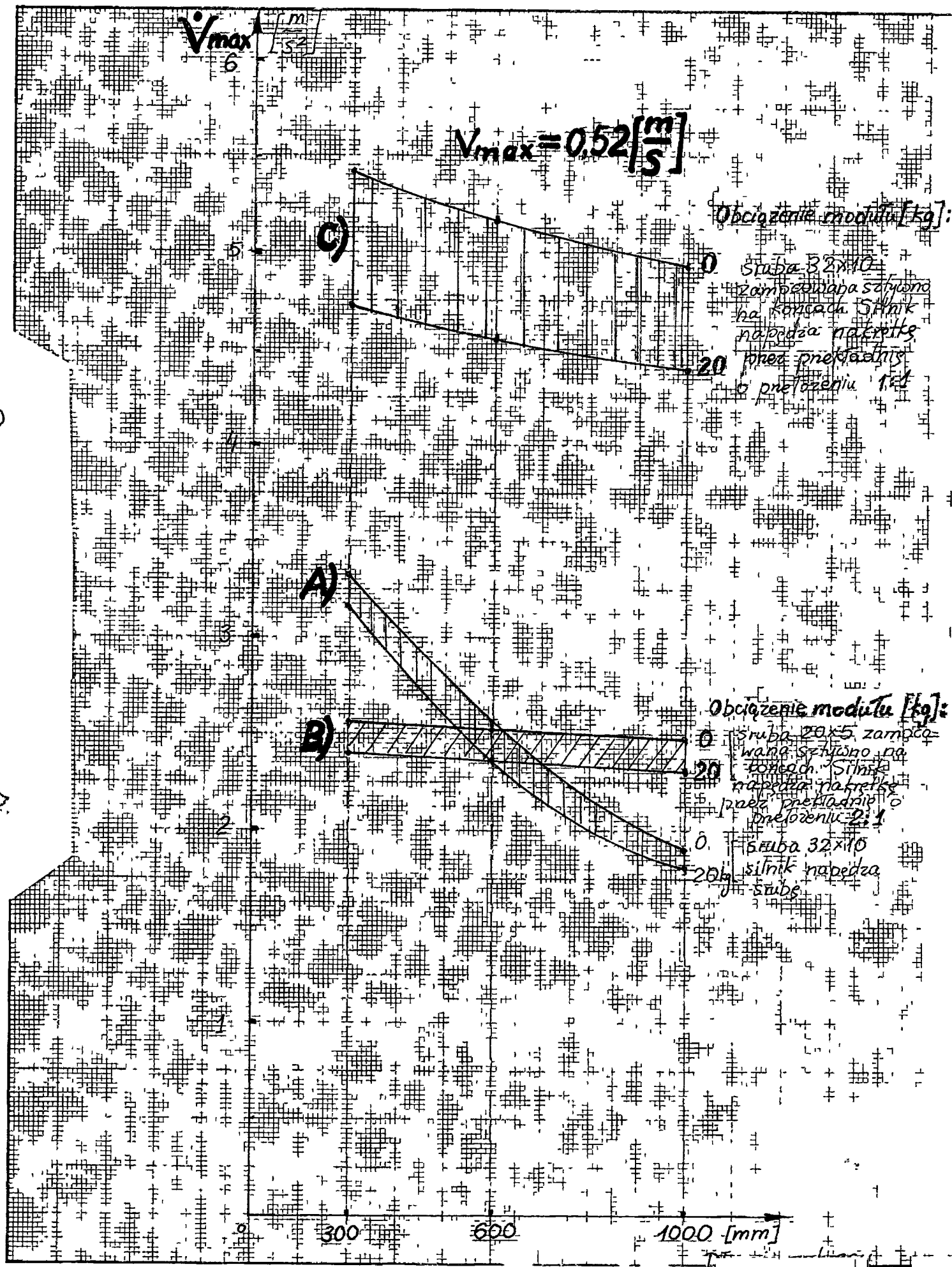
Porównanie przebiegu prędkości $V(t)$ przy rozpędzaniu modułu z napędem elektrycznym dla różnych sposobów przeniesienia napędu. pozycja pracy pozioma

V [m/s]



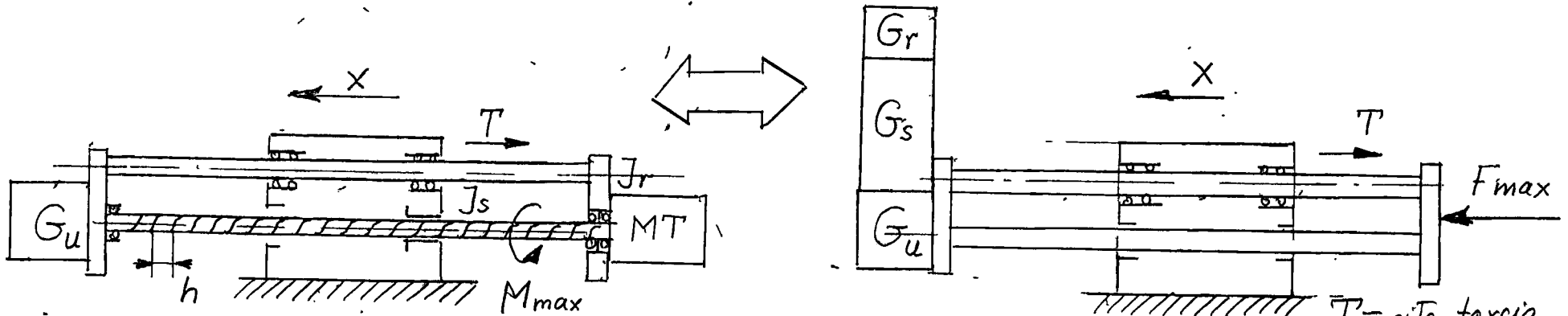
* - śruba ślizowo zamocowana (rys. 6.2)

Rys. 7.6



Rys. 7.7

Układy równoważne pod względem przyspieszenia maksymalnego



wzór 6):

$$\ddot{x}_{\max} = \frac{\frac{2\pi}{h} \cdot \eta \cdot M_{\max} - T}{\underbrace{\frac{4\pi^2}{h^2} \cdot J_s}_{= G_s} + \underbrace{\frac{4\pi^2}{h^2} \cdot J_r}_{= G_r} + G_u + G_k} = \frac{F_{\max} - T}{G_s + G_r + G_u + G_k}$$

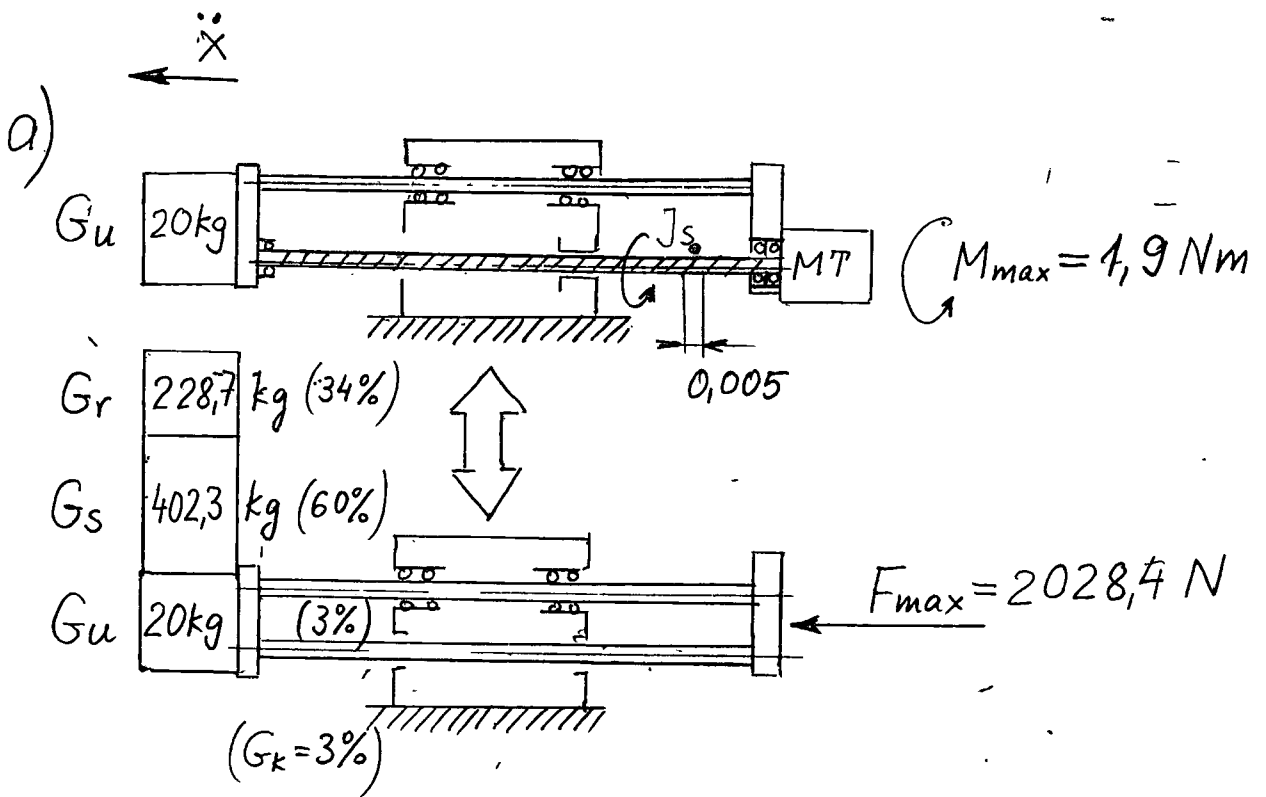
T - siła tarcia
 G_u - obciążenie użyteczne.

G_k - masa konstrukcji ulegającej przemieszczeniu

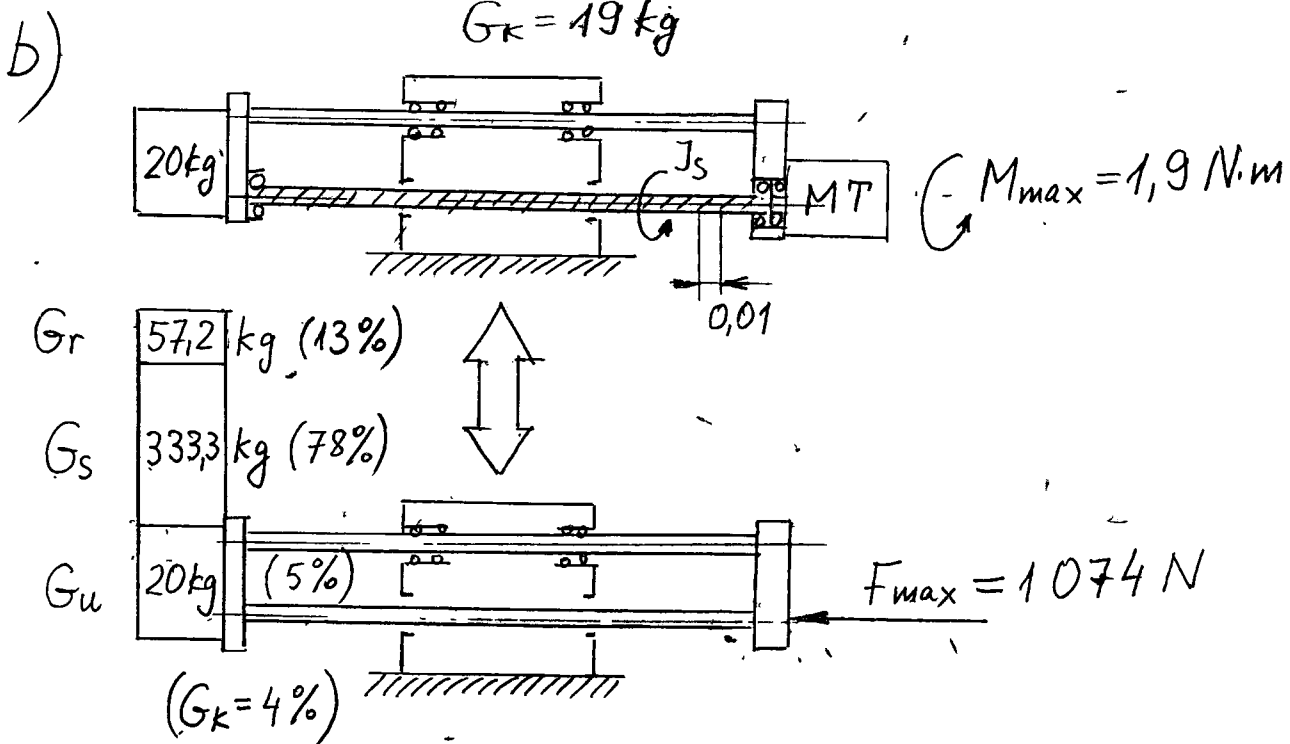
$G_k = \text{const}$

G_s - masa równoważna od momentu bezw. J_s śruby.

G_r - masa równoważna od momentu bezw. J_r silnika



G_k - masa konstrukcji ulegającej przemieszczeniu
 $G_k = 49 \text{ kg}$



Rys. 7.9 Przykłady układów równoważnych pod względem przyspieszenia maksymalnego (zakres ruchu modułu równy 600 mm) 69