

PRZEMYSŁOWY INSTYTUT AUTOMATYKI I POMIARÓW
MERA-PIAP

Al. Jerozolimskie 202 02-222 Warszawa Telefon 23-70-81

OSRODEK AUTOMATYKI ELEKTRYCZNEJ

071
Główny wykonawca prof. dr inż. Tadeusz Missala *Thinas* A

Wykonawcy mgr inż. Ewa Flejta
mgr inż. Wojciech Klimasara
mgr inż. Ryszard Mazurkiewicz

Konsultant

Nr zlecenia RP-210

Piezoelektryczny mikroprzetwornik wykonawczy dla robotów przemysłowych.

Pkt kontr. 2.

Opracowanie dokumentacji szkicowej, wykonanie i badania wstępne modelu laboratoryjnego mikroprzetwornika i bloku sterowania. Określenie zakresu i harmonogramu dalszych prac.

Zleceńodawca CPBR 7.1

Pracę rozpoczęto dnia 01.02.1990

zakończono dnia 31.10.1990
Kierownik Ośrodka

Z-ca Dyrektora d/s
Automatyki i Pomiarów

Stojny
dr inż. B. Kontrymowicz

T. Gałązka
doc. dr inż. T. Gałązka

Praca zawiera:

Rozdzielnik - ilość egz:

stron 10

Egz. 1 BOINTE

rysunków 13

Egz. 2 OAR

fotografii 1

Egz. 3 ORC

tabel

Egz. 4 OAE

tablic 4

Egz. 5 OAE

załączników 6

Egz. 6

Nr rejestr. 6543

Analiza deskryptorowa

ZJAWISKO, PIEZOELEKTRYCZNĄ^{1,7} + PRZETWORNIKI WYKONAWCZE +
ROBOTY PRZEMYSŁOWE

Analiza dokumentacyjna

Opisano model wykonanego mikroprzesuwnika skokowego, bazującego na stosie ceramicznym produkcji CERAD oraz model wzmacniacza sterującego. Przytoczono badania konstrukcyjne oraz załączono dokumentację szkicową mikroprzesuwnika i schemat wzmacniacza. Podano program, opis i wyniki przeprowadzonych badań oraz propozycje zakresu i harmonogramu dalszych prac.

Tytuły poprzednich sprawozdań

Piezoelektryczny mikroprzetwornik wykonawczy dla robotów przemysłowych. P.K. 1. Rozpoznanie stanu techniki na świecie na podstawie literatury i opisów patentowych. Rozpoznanie dostępności materiałów. Opracowanie założeń do budowy modelu laboratoryjnego mikroprzetwornika.

Nr rej. 6417

UKD

33845.62/63] 002 1 2 Reboń prętkose
681.586 Przetworniki
PIAP: 252/03-6000

SPIS TRESCI

1. WPROWADZENIE
2. OPIS BUDOWY MIKROPRZESUWNICA SKOKOWEGO-MODELU
3. OPIS BUDOWY WZMACNIACZA STERUJĄCEGO-MODELU
4. BADANIA WSTĘPNE MODELU
 - 4.1. Cel i program badań
 - 4.2. Stanowisko pomiarowe
 - 4.3. Wyniki pomiarów
 - 4.4. Wnioski z badań
5. ZAKRES I HARMONOGRAM DALSZYCH PRAC
6. LITERATURA
7. ZAŁĄCZNIKI
 - 7.1. ZAŁĄCZNIK 1: Obliczenia zatrzasku elektromagnetycznego
 - 7.2. ZAŁĄCZNIK 2: Obliczenia zatrzasku pneumatycznego
 - 7.3. ZAŁĄCZNIK 3: Dokumentacja szkicowa modelu mikroprzesuwnika skokowego
 - 7.4. ZAŁĄCZNIK 4: Dokumentacja szkicowa wzmacniacza sterującego
 - 7.5. ZAŁĄCZNIK 5: Karty pomiarów
 - 7.6. ZAŁĄCZNIK 6: Harmonogram dalszych prac

1. WPROWADZENIE

Pierwotnym zamiarem, przy rozpoczynaniu realizacji zlecenia, było wykonanie modelu laboratoryjnego przesuwnika elementarnego tj. obudowanego stosu płytek. Ponieważ jednak taki przetwornik elementarny otrzymano gotowy z Zakładów CERAD w Warszawie, powstała możliwość uczynienia znacznego zaawansowania pracy przez zbudowanie modelu laboratoryjnego mikroprzesuwnika skokowego, wykonującego ciąg skoków elementarnych, wzorowanego na silniku liniowym opisanym w p.3.4.e sprawozdania z pierwszego etapu pracy [6.1].

Elementem napędowym modelu był obudowany stos piezoceramiczny, którego dane techniczne umieszczono w tablicy 2.9, a charakterystykę na rys. 4.1 sprawozdania [6.1].

Początkowo założono, że zostaną zastosowane zatrzaski magnetyczne do blokowania stosu piezoceramicznego w jego krańcowych położeniach. Po wykonaniu obliczeń elektromagnetycznych (załącznik 1, p.7.1) okazało się, że:

- zatrzaski elektromagnetyczne są zbyt duże i cała konstrukcja byłaby niezgrabna i nie rokująca nadziei na zastosowanie w robocie;
- powstają znaczne trudności w sprzężeniu zatrzasków z torem jezdny mikroprzesuwnika skokowego.

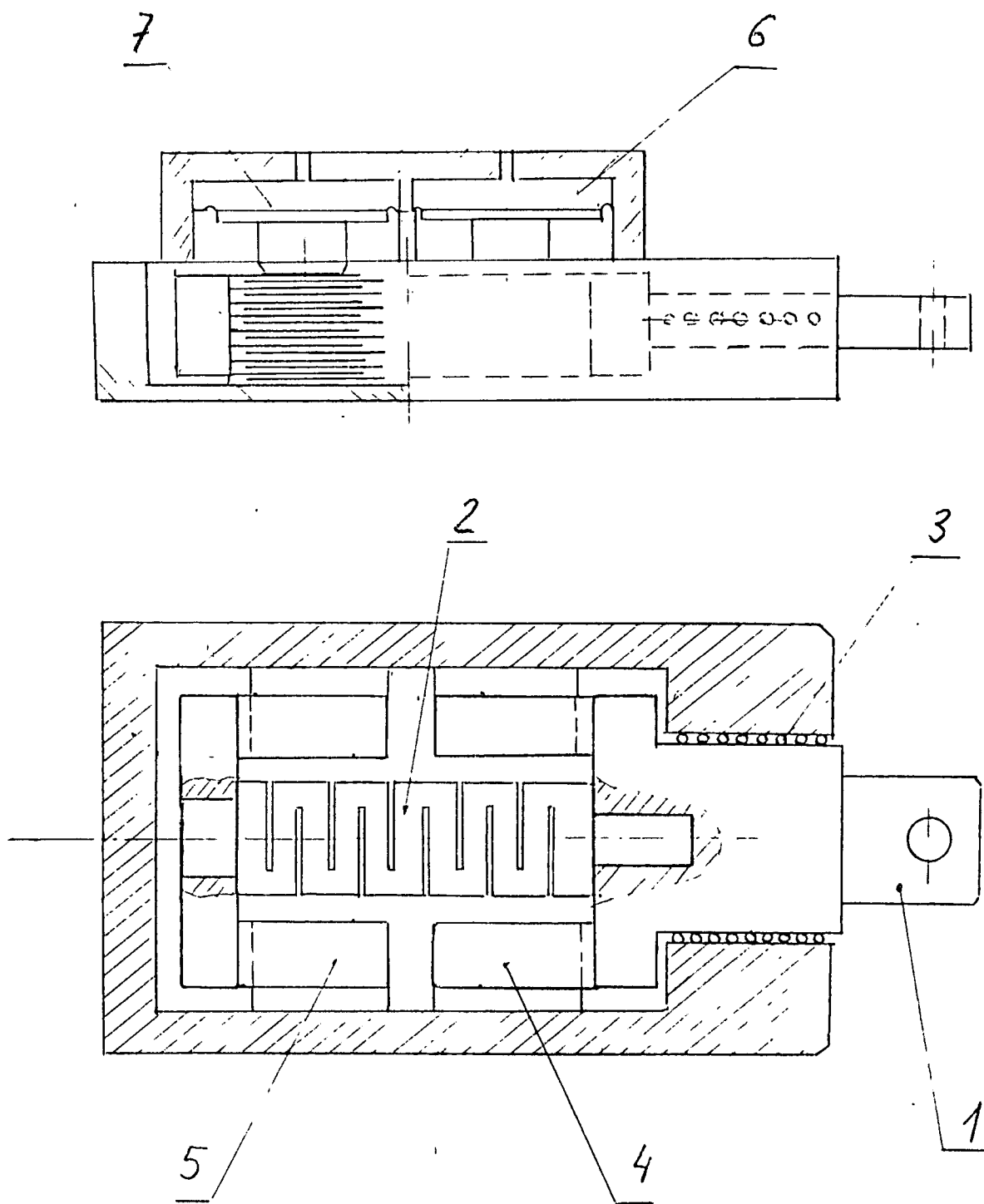
Postanowiono więc zaniechać konstrukcji wzorowanej na opisach literaturowych i wykorzystując fakt, że do robota IRp doprowadza się przewody sprzężonego powietrza zastosować zatrzaski pneumatyczne. Poza rozwiązaniem postawionego do realizacji zadania badawczo-konstrukcyjnego uzyskano rozwiązanie oryginalne, nie znalezione uprzednio ani w literaturze, ani w opisach patentowych, co umożliwiło zgłoszenie wniosku patentowego [6.2].

2. OPIS BUDOWY MIKROPRZESUWNIKA SKOKOWEGO-MODELU

Schemat budowy mikroprzesuwnika przedstawiono na rys. 2.1. Elementem wyjściowym mikroprzesuwnika jest linor 1. napędzany stosem piezoceramicznym 2. i ułożyskowany w prowadnicy tocznej 3. Stos piezoceramiczny jest umieszczony w zewnętrznej sprężynie walcowej. Jeden koniec stosu 2 jest połączony z linorem 1 oraz ruchomym blokiem płytek sprzęgła ciernego wielopłytkowego 4, stanowiącego zatrzask mikroprzesuwnika. Drugi koniec stosu jest połączony z ruchomym blokiem płytek sprzęgła ciernego wielopłytkowego 5, o podobnej budowie jak sprzęgło 4, a stanowiącego drugi zatrzask mikroprzesuwnika. Nieruchome stosy płytek sprzęgieł 4 i 5 są połączone na stałe z korpusem mikroprzesuwnika. Płytki stosów ruchomych i nieruchomych są umieszczone naprzemiennie. Załączenie zatrzasków 4 i 5, powodujące unieruchomienie końców stosu uzyskuje się przez ściskanie bloku płytek sprzęgła wskutek podania ciśnienia sprężonego powietrza do komór 6 i 7 membranowych siłowników pneumatycznych. Sprężone powietrze jest doprowadzane przez zawory elektropneumatyczne (nie pokazane na rysunku).

Mikroprzesuwnik jest sterowany ze wzmacniacza elektronicznego (zasilacza) trójwyjściowego, którego opis znajduje się w p.3 sprawozdania. Dwa z wyjść zasilacza sterują zawory elektromagnetyczne, doprowadzające sprężone powietrze do zatrzasków, trzecie wyjście steruje stos piezoceramiczny. Algorytm pracy mikroprzesuwnika jest następujący:

Podanie napięcia na zawór sterujący zatrzasku 5 powoduje jego zablokowanie i ustalenie położenia tylnego końca stosu piezoelektrycznego. Podanie napięcia sterującego na stos piezoceramiczny 2 wywołuje jego wydłużenie tj. wykonanie pierwszego skoku. Kolejno następuje podanie napięcia na zawór sterujący zatrzasku 4, co powoduje unieruchomienie przedniego końca stosu piezoelektrycznego 2 i linora 1. Następnie zdejmuje się napięcie sterujące stos 2; wynikiem jest powrót stosu do jego poprzedniej długości. Zablokowanie zatrzasku 5 poprzez podanie napięcia na jego zawór sterujący rozpoczyna odpracowanie kolej-



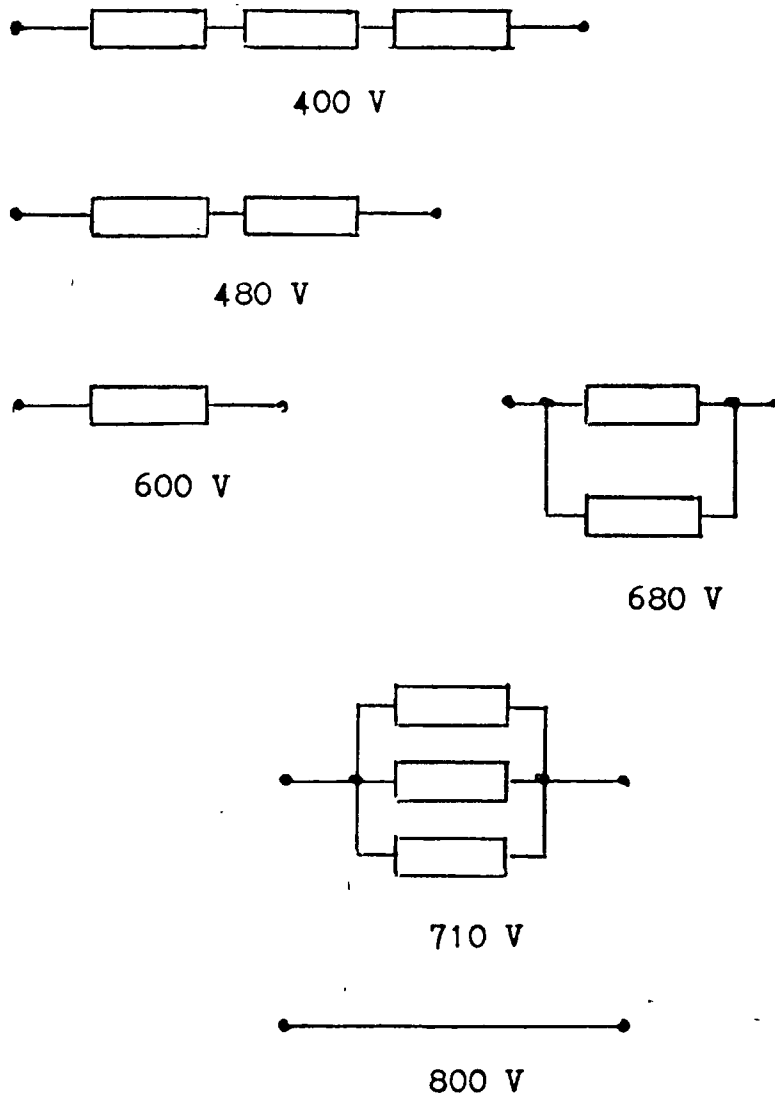
rys.2.1.Szkic budowy mikroprzesuwника.

nego skoku. Długość skoku może być zmieniana przez zmianę amplitudy napięcia podawanego na stos.

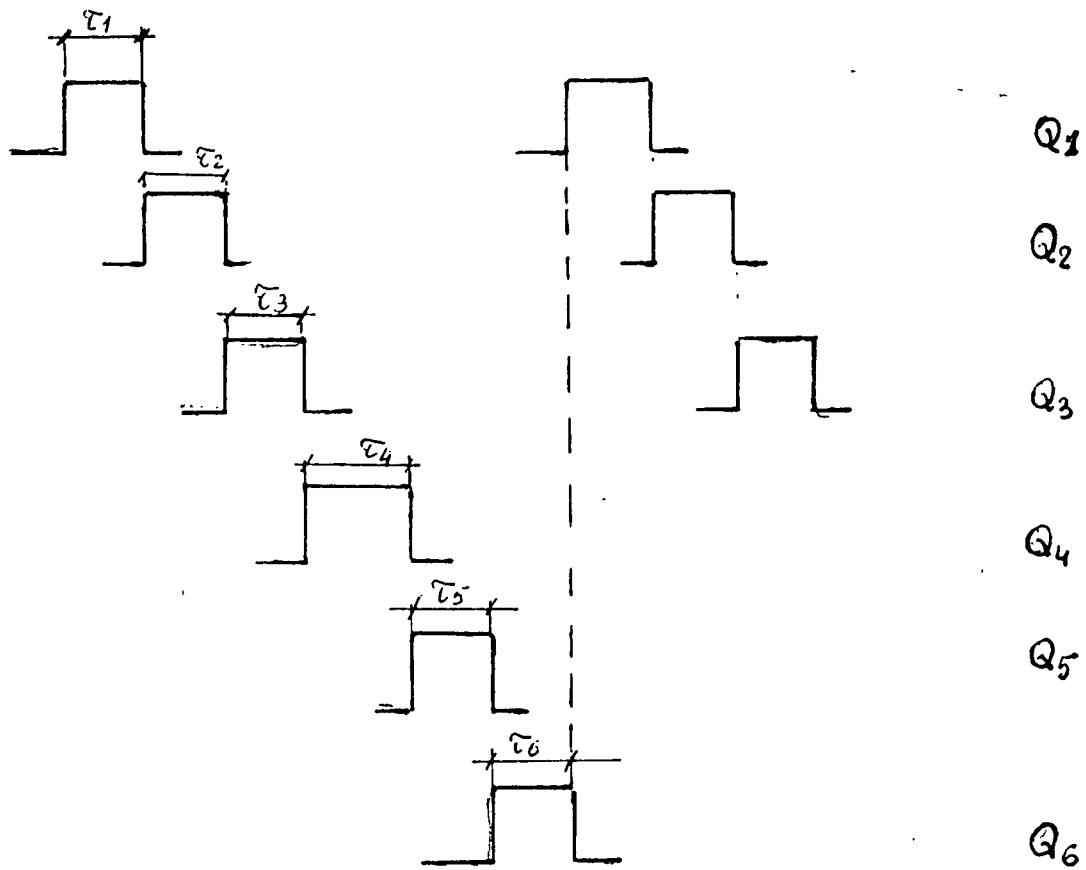
Algorytm odpracowania skoku jest 6-taktowy. Obliczenia zatrząsków pneumatycznych zamieszczono w załączniku 2. Dokumentację szkicową mikroprzesuwnika zamieszczono w załączniku 3.

3. OPIS BUDOWY WZMACNIACZA STERUJĄCEGO - MODELU

Zadaniem wzmacniacza sterującego jest spowodowanie ruchu skokowego mikroprzesuwnika piezoelektrycznego w dwóch sekwencjach: "w przód" i "wstecz". Każdy skok mikroprzesuwnika jest realizowany w 6. taktach, drogą wytworzenia odpowiedniego stanu (podanie napięcia lub jego brak) na wyjściach M1, M2 i S w każdym takcie. Wyjścia M1 i M2 sterują zawory elektropneumatyczne zatrząsków pneumatycznych mikroprzesuwnika, natomiast wyjście S uaktywnia stos piezoceramiczny, powodując jego wydłużenie. Dla napięć wyjściowych wyjść M1 i M2 przyjęto wartość 24V, wynikającą z parametrów zaworów. Napięcie na wyjście S może być nastawiane w granicach od 400V do ok. 800V, za pomocą rezystora R (patrz schemat w załączniku 4). W modelu zrealizowano to (dla uproszczenia) przez przelutowywanie rezystorów, zgodnie ze szkicem - rys.3.1. Stany wyjść M1, M2, S dla poszczególnych taktów przy ruchu "w przód" i "wstecz" przedstawiono w tablicy 3.1. Schemat elektryczny wzmacniacza sterującego znajduje się na rysunku, stanowiącym załącznik 4 do sprawozdania. Generator taktów zbudowano z 6 przerzutników monostabilnych (MCY74047)_{I..VI}. Każdy i -ty przerzutnik jest wyzwany narastającym zboczem wyjścia \bar{Q}_{i-1} poprzedniego, w ten sposób generując się na wyjściach Q_i sekwencja taktów, której przebieg pokazano na rys. 3.2. Czas trwania każdego taktu τ_i jest nastawiany potencjometrem w zakresie od ok. 0,5s do ok. 3s. Powstrzymujące się kolejne sekwencje taktów mogą być wygaszane lub wznowiane przyciskiem START-STOP powodującym zablokowanie lub odblokowanie bramki AND3 układu MCY74081_{II}. Zatrzymanie sekwencji taktów następuje zawsze na takcie 1.



rys.3.1. Układy rezystorów 33k dla nastawiania napięcia wyjściowego na wyjściu S wzmacniacza sterującego.



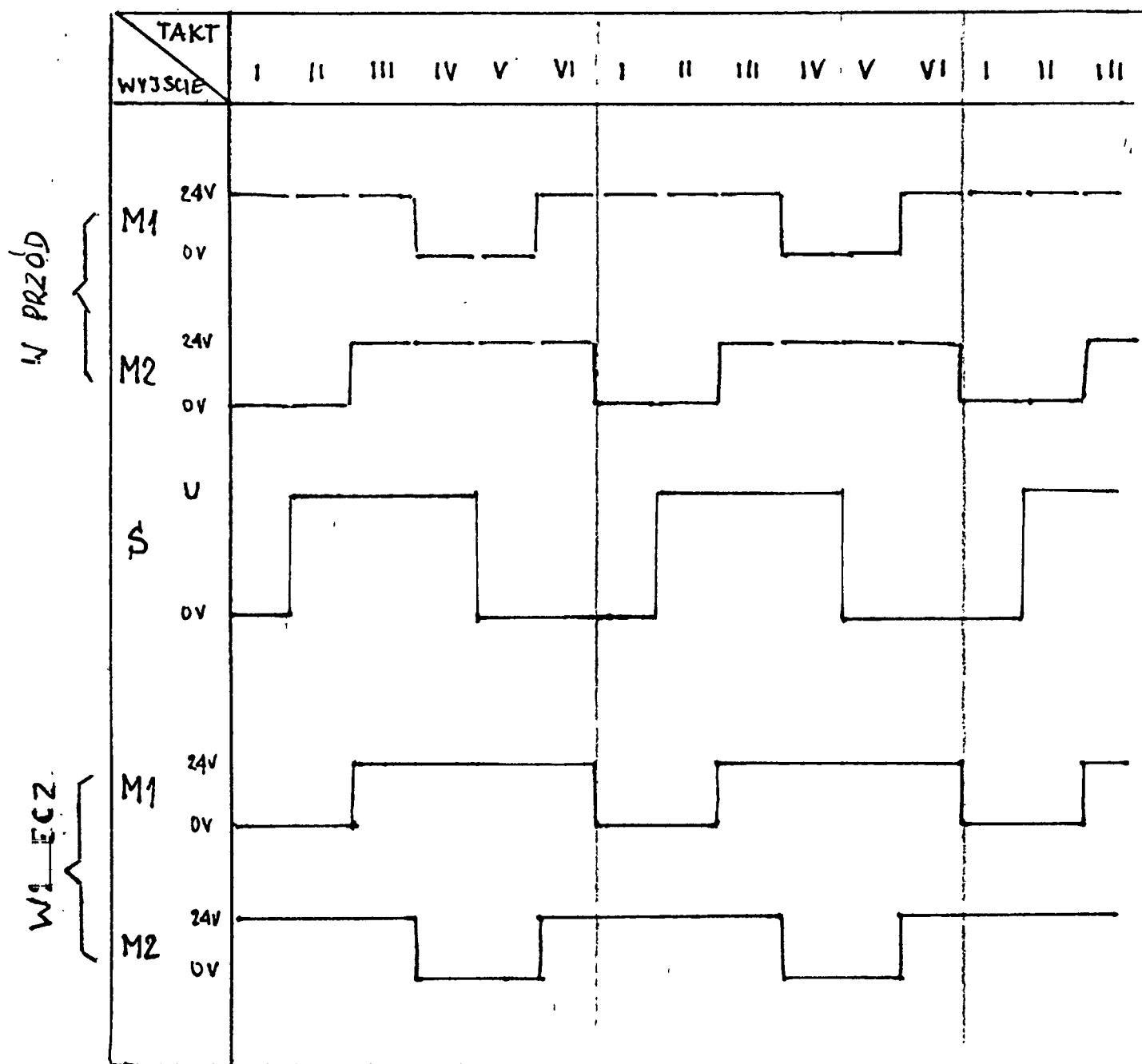
rys.3.2.Przebiegi impulsów taktowych.

Tablica 3.1. Przebiegi napięć wyjściowych

1skok 1

skok 2

skok 3



Impulsy generowane w poszczególnych taktach kolejno ładują lub zerują trzy przerzutniki typu D (układy MCY74013). Stany wyjść przerzutników pierwszego i drugiego 1Q i 2Q, poprzez bramki AND układu MCY74081_I i zanegowane bramkami NOR układu MCY74001 sterują odwracając fazę wzmacniacza wyjść M1 i M2, zbudowane na tranzystorach T1 i T2 oraz T3 i T4. Przełącznikiem WSTECZ-W PRZOD zamienia się, poprzez bramki AND, działanie stanów wyjść 1Q i 2Q na wzmacniacze wyjściowe dla M1 i M2, zgodnie z tablicą 3.1. Stan zanegowanego wyjścia trzeciego przerzutnika D-1Q steruje odwracający fazę wzmacniacz wyjścia S, zbudowany na tranzystorach T5 i T6.

Napięcia stałe są uzyskiwane z prostowników mostkowych przyłączonych do uzwojeń wtórnych transformatora sieciowego TRS 250. Załączenie sieci jest sygnalizowane świeceniem diody emitującej światło czerwone. Stabilizator TDD1615 daje napięcie +15V zasilające układy scalone. Napięcie +24V zasila wzmacniacze wyjściowe dla wyjść M1 i M2. Napięcie 800V, poprzez filtr dolnoprzepustowy złożony z dwóch kondensatorów 4 μ F/1000V i rezystora R o nastawianej wartości, zasila wzmacniacz wyjścia S.

4. BADANIA WSTĘPNE MODELU

4.1. Cel i program badań

Celem przeprowadzonych badań wstępnych modelu mikroprzesuwnika było sprawdzenie podstawowych parametrów wykonanej konstrukcji.

W związku z tym program badań obejmował:

- a) sprawdzenie zakresu przenoszonych sił;
- b) sprawdzenie skuteczności działania zatrząsków pneumatycznych
- c) wyznaczenie charakterystyk drogi odpracowywanej w funkcji i liczby skoków, napięcia sterowania i siły obciążającej.

Wykonanie badań wymagało zbudowania specjalnego stanowiska pomiarowego. Opis badań i ich wyniki zostaną podane po omówieniu budowy stanowiska pomiarowego.

4.2. Stanowisko pomiarowe

Szkic budowy stanowiska pomiarowego przedstawiono na rys.4.1, zaś na rysunku 4.2 fotografii stanowiska wraz z zamontowanym mikroprzesuwnikiem, wzmacniaczem sterującym i przyrządami pomiarowymi.

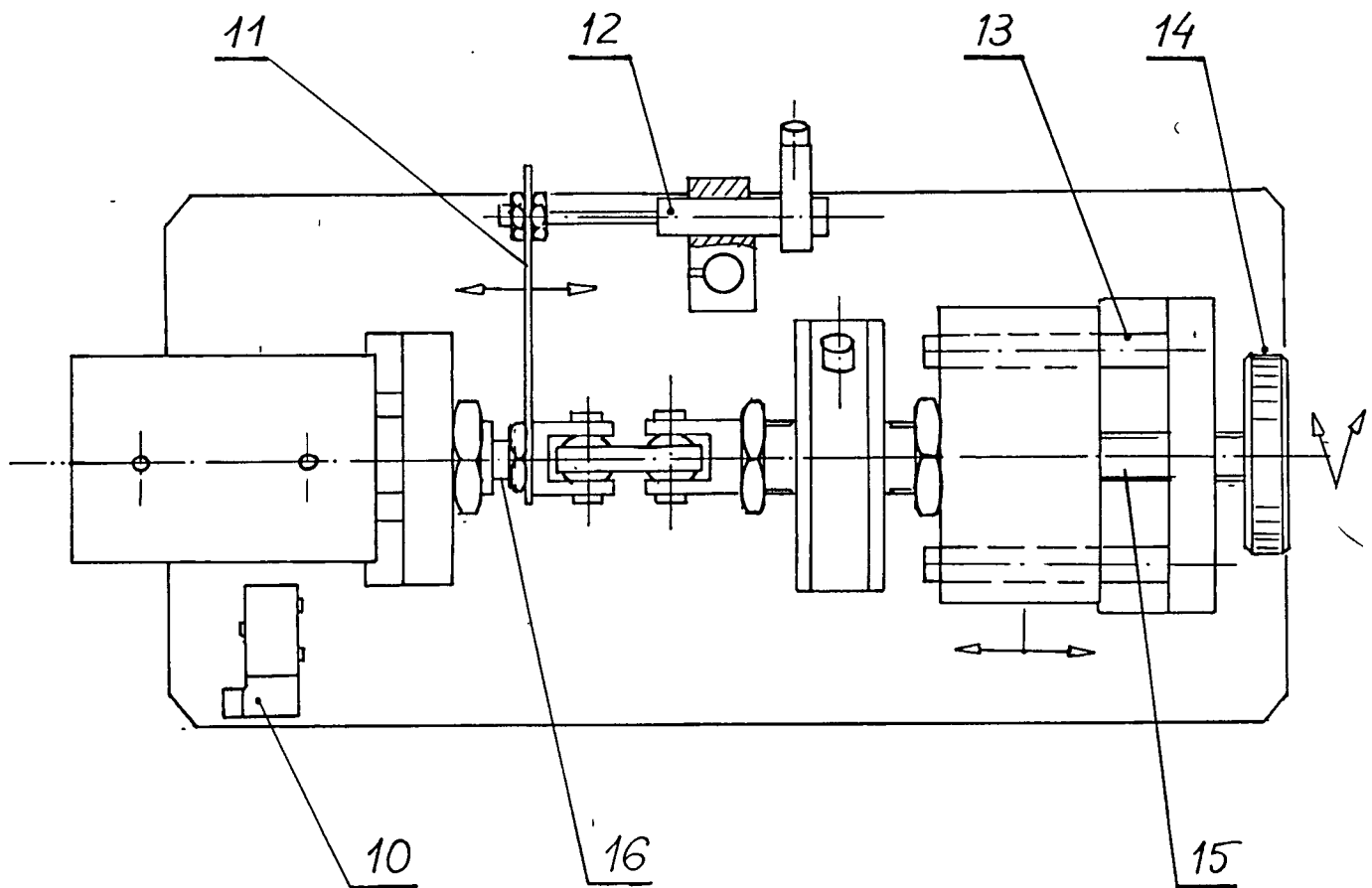
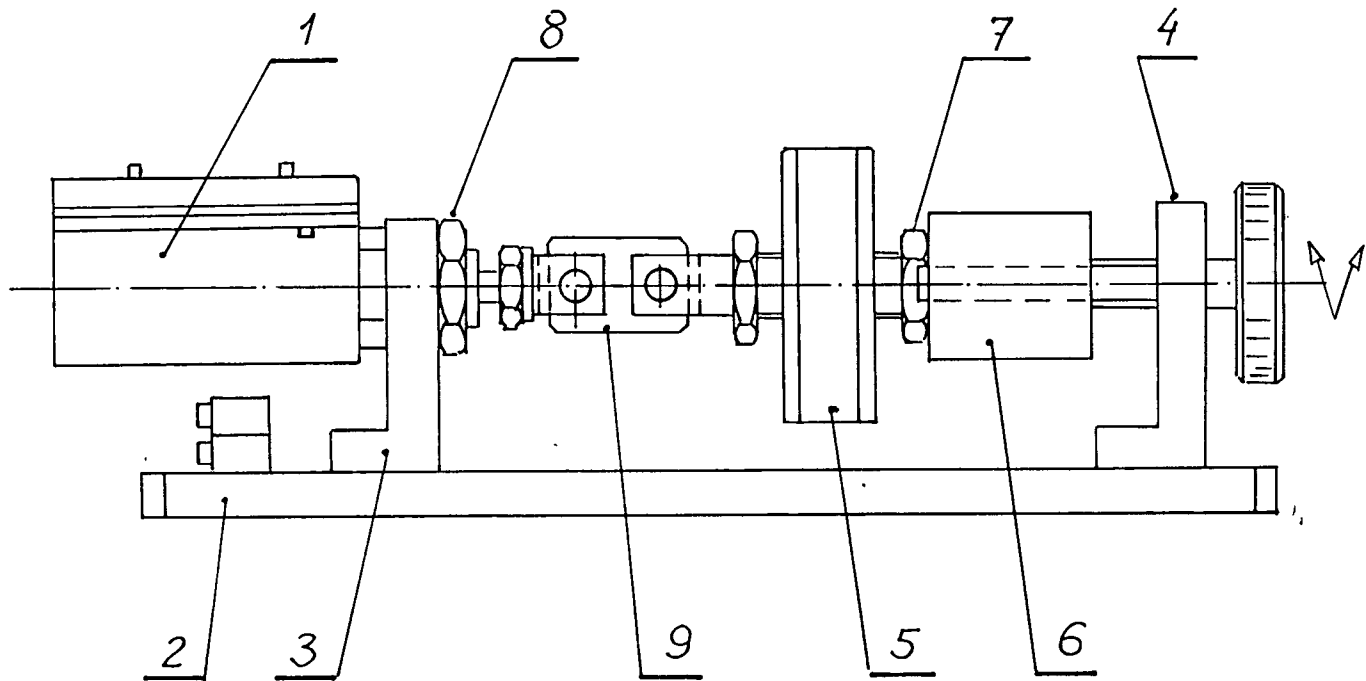
Na sztywnej płycie 2 stanowiącej podstawę stanowiska pomiarowego ustawiono badany mikroprzesuwnik 1 oraz przetworniki pomiarowe drogi 12 i siły 5. Mikroprzesuwnik został przymocowany do podstawy za pomocą wspornika 3 i nakrętki 8. Listwa 11 sprzęga trzpień wyjściowy (linor) mikroprzesuwnika z przetwornikiem pomiarowym drogi. Łącznik 9 sprzęga linor mikroprzesuwnika z przetwornikiem pomiarowym siły. Konstrukcja łącznika, dzięki zastosowaniu łożysk wahliwych eliminuje wpływ ewentualnych niedokładności montażowych na wyniki pomiarów. Siła obciążająca linor mikroprzesuwnika jest zadawana pokrętle 14 przez śrubę 15 i sanie 6, poruszające się po prowadnicy 13. Zawory elektropneumatyczne 10 służą do sterowania zatrząsków pneumatycznych mikroprzesuwnika i są uruchamiane przez wzmacniacz sterujący (rys.4.2)

Tak przetwornik pomiarowy drogi - transformator różnicowy o liniowym ruchu rdzenia, jak i przetwornik pomiarowy siły - mostek tensometryczny dają wyjściowy sygnał elektryczny napięciowy. Sygnały wyjściowe przetworników są mierzone za pomocą woltomierzy cyfrowych (rys.4.2) typu V541 MERATRONIK. Przed przystąpieniem do pomiarów przetworniki wywzorcowano.

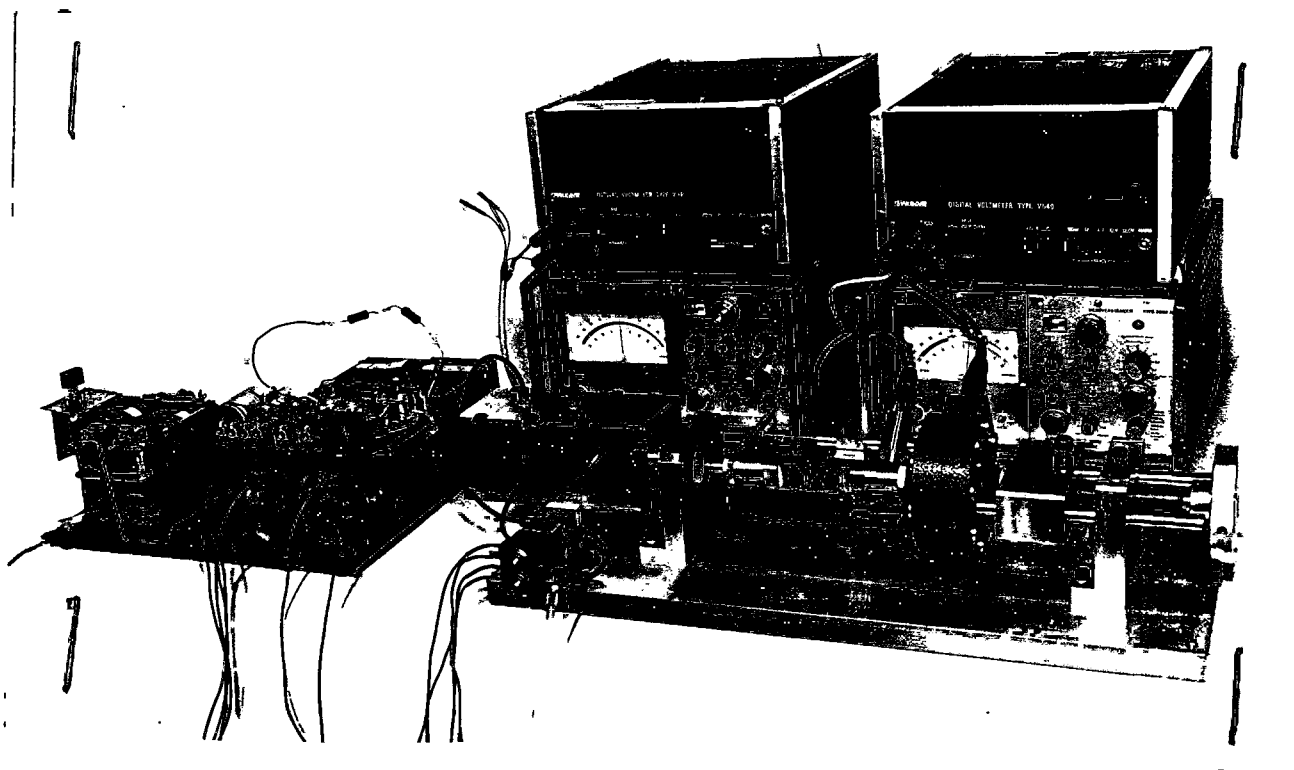
Wyniki wzorcowania podano:

- dla przetwornika drogi w tablicy 4.1;
- dla przetwornika siły w tablicy 4.2.

Po przeliczaniu wartości napięć mierzonych na wartości drogi lub siły stosowano interpolację liniową w ramach poszczególnych podzakresów wzorcowania.



rys.4.1



Rys.4.1 Stanowisko do badań mikroprzesuwника

1 - mikroprzesuwник, 2 - podstawa, 3 - wspornik do mocowania mikroprzesuwnika, 4 - wspornik sań, 5 - tensometryczny czujnik typ 612013 f-my HOTINGER, 6 - sanie, 7 - nakrętka, 8 - nakrętka do mocowania mikroprzesuwnika do wspornika 3, 9 - łącznik, 10 - zespół zaworów elektropneumatycznych, 11 - listwa, 12 - transformatorowy czujnik przesunięcia, 13 - przewodnice sań, 14 - pokrętło, 15 - śruba nastawcza, 16 - wrzeciono mikroprzesuwnika (linor)

Rys.4.2 Stanowisko pomiarowe z zamontowanym mikroprzesuwnikiem

TABLICA 4.1. Wzorcowanie przetwornika pomiarowego drogi typu W10 Nr fabr. 6944 firmy HOTTINGER, o zakresie pomiarowym 0-5 mm ze wzmacniaczem pomiarowym typ KWS 3082A Nr fabr.88024

| Przesunięcie [mm] | | 0 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 4,5 | 5,0 |
|-------------------|--------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| napięcie woltów | w górę | 0 | 1,09 | 2,08 | 3,07 | 4,05 | 5,04 | 6,03 | 7,02 | 8,01 | 9,01 | 10,0 |
| | w dół | 0 | 0,99 | 1,98 | 2,97 | 3,96 | 4,95 | 5,94 | 6,93 | 7,92 | 8,91 | — |

TABLICA 4.2. Wzorcowanie przetwornika pomiarowego siły (mostka tensometrycznego) firmy HOTTINGER typu G.12013 Nr fabr.1174 o zakresie pomiarowym 0-100kG, ze wzmacniaczem pomiarowym typu KWS3082A Nr fabr. 88025.

| | | | | |
|-----------------|---|------|-------|------|
| Siła [kG] | 0 | 0,8 | 24,20 | 50 |
| Napięcie woltów | 0 | 0,24 | 4,84 | 10,0 |

4.3. Wyniki pomiarów

4.3.1. Sprawdzenie zakresu przenoszonych sił

Mikroprzesuwnik ustawiony na stanowisku pomiarowym zasilano napięciem 710V ze wzmacniacza sterującego i obciążano siłą skierowaną przeciwnie do przewidywanego ruchu linora. Siłę zadawano pokrętle 14 (rys.4.1). Następnie włączano cykl odpracowania jednego skoku. Jeżeli skok został wykonany, zwiększano obciążenie, aż do zablokowania mikroprzesuwnika. Zablokowanie to nastąpiło przy działaniu siły 375N.

4.3.2. Sprawdzenie skuteczności działania zatrząsków pneumatycznych

Mikroprzesuwnik ustawiono na stanowisku pomiarowym, następnie wysunięto go z położenia początkowego o ok.10 kroków. Zdjęto napięcie sterowania, poczym zablokowano przedni zatrząsk pneumatyczny (bliższy przetwornika pomiarowego siły). Pokrętle 14 (rys.4.1) zadawano siłę aż do wystąpienia poślizgu.

Zaobserwowano:

- wystąpienie drobnego skoku przy obciążeniu 225N;
- wystąpienie drugiego małego skoku przy obciążeniu 470N;
- dalszą pewną pracę aż do obciążenia 500N tj. granicy pomiaru.

Pomiar ten był wykonany nie niedotartych w czasie eksploatacji płytkach sprzęgła, stanowiącego zatrząsk. Przy realizacji prototypu należy przewidzieć docieranie zespołu sprzęgieł.

Otrzymane wyniki nie stanowią przeszkody dla przeprowadzenia dalszych pomiarów.

4.3.3. Wyznaczenie charakterystyk

Mikroprzesuwnik ustawiono na stanowisku pomiarowym. Pomiar charakterystyk przeprowadzono według następującej procedury:

- mikroprzesuwnik pracował w reżimie wykonywania pojedynczych skoków;
- po wykonaniu każdego skoku mierzono jego długość;
- pomiary wykonywano dla 10 skoków w przód i 10 skoków wstecz;
- pomiary dla nieobciążonego mikroprzesuwnika wykonywano przy rozłączonym łączniku 9 (rys.4.1);
- siłę zadawano pokrętle 14, tak by była ona skierowana przeciwnie do kierunku ruchu linora;
- ponieważ układ pomiarowy nie utrzymywał stałej wartości siły, nastawiano ją przed i po odpracowaniu każdego kroku;
- pomiary wykonano dla napięć sterowania: 710V, 600V i 400V, przy czym dla każdego z napięć wykonywano pomiary dla obciążeń (kolejno) 0, 50, 100, 150, 200 i 250 N, dla każdego obciąże-

- nia przy ruchu w przód i wstecz. Następnie przełączano na inną wartość napięcia sterowania;
- ponieważ zauważono, że przy ruchu wstecz mikroprzesuwnik przenosi mniejsze obciążenia, zmniejszono je o 25N, otrzymano tym sposobem pewne dodatkowe informacje;
 - przy wyliczaniu długości skoków w ruchu wstecz liczone je od położenia końcowego osiągniętego przy ruchu w przód i oznaczano jako ujemne. Wyniki pomiarów zestawiono w kartach pomiarowych zamieszczonych w załączniku 5. Na ich podstawie sporządzono wykresy przesunięcia w funkcji liczby skoków n przy stałych wartościach napięcia sterowania i siły, które przedstawiono na rys.4.3 do 4.11 włącznie. Wartości przesunięć po 10 skokach zestawiono w tabelicy 4.3.

TABLICA 4.3. Wartości przesunięć po 10 skokach [μm]

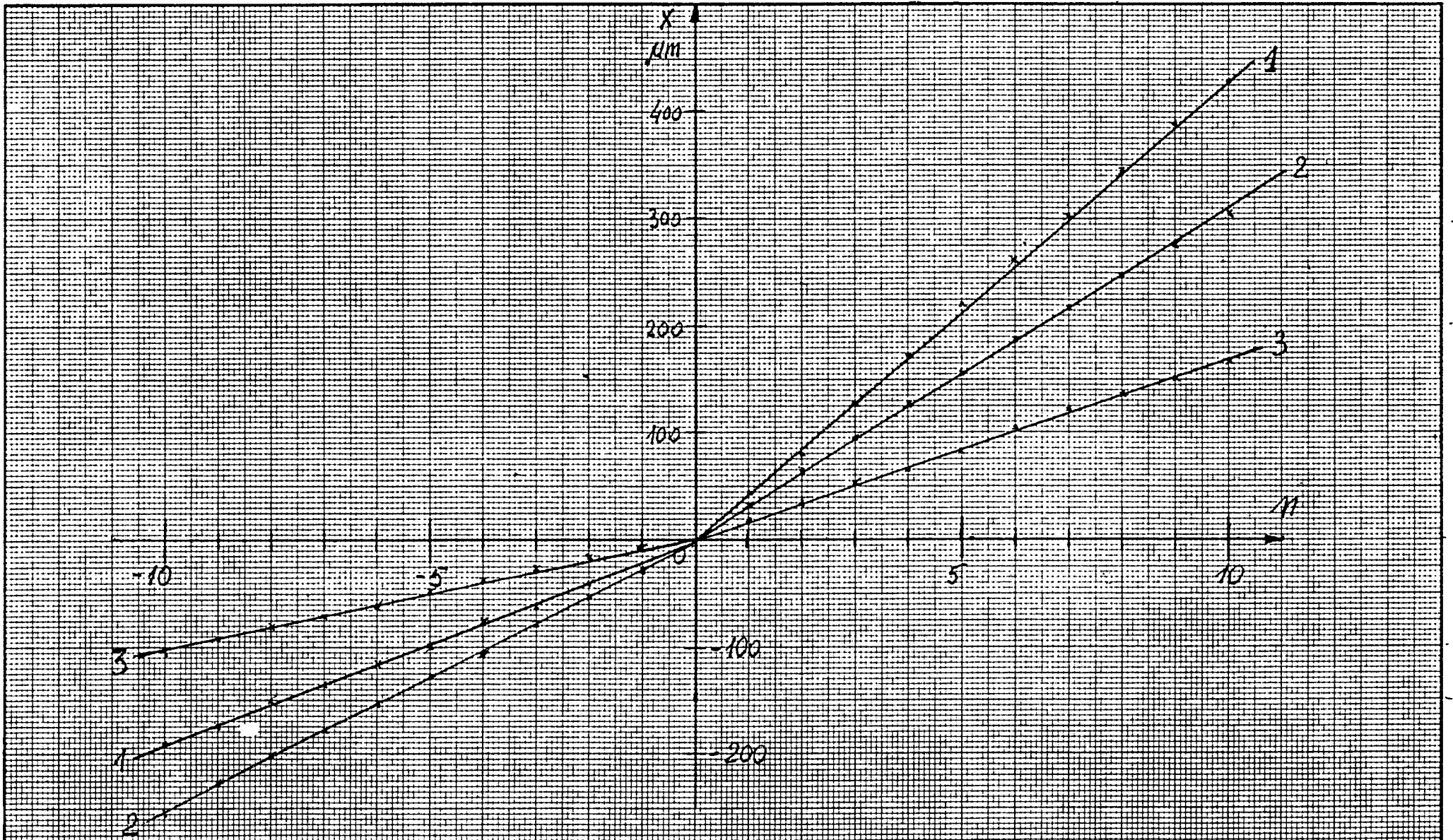
| F_N | U_V | 710 | | 600 | | 400 | |
|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | + | - | + | - | + | - |
| 0 | | 431 | 192 | 306 | 252 | 214 | 159 |
| 50 | | 305 | 212 | 228 | 179 | 167 | 102 |
| 100 | | 210 | 132 | 183 | 107 | 117 | 77* |
| 150 | | 207 | 55 | 152 | 98* | 87 | - |
| 200 | | 158 | - | 127 | - | 71 | - |
| 250 | | 111 | - | 82 | - | 48 | - |

*) przy obciążeniu mniejszym o 25N

4.4. Wnioski z badań

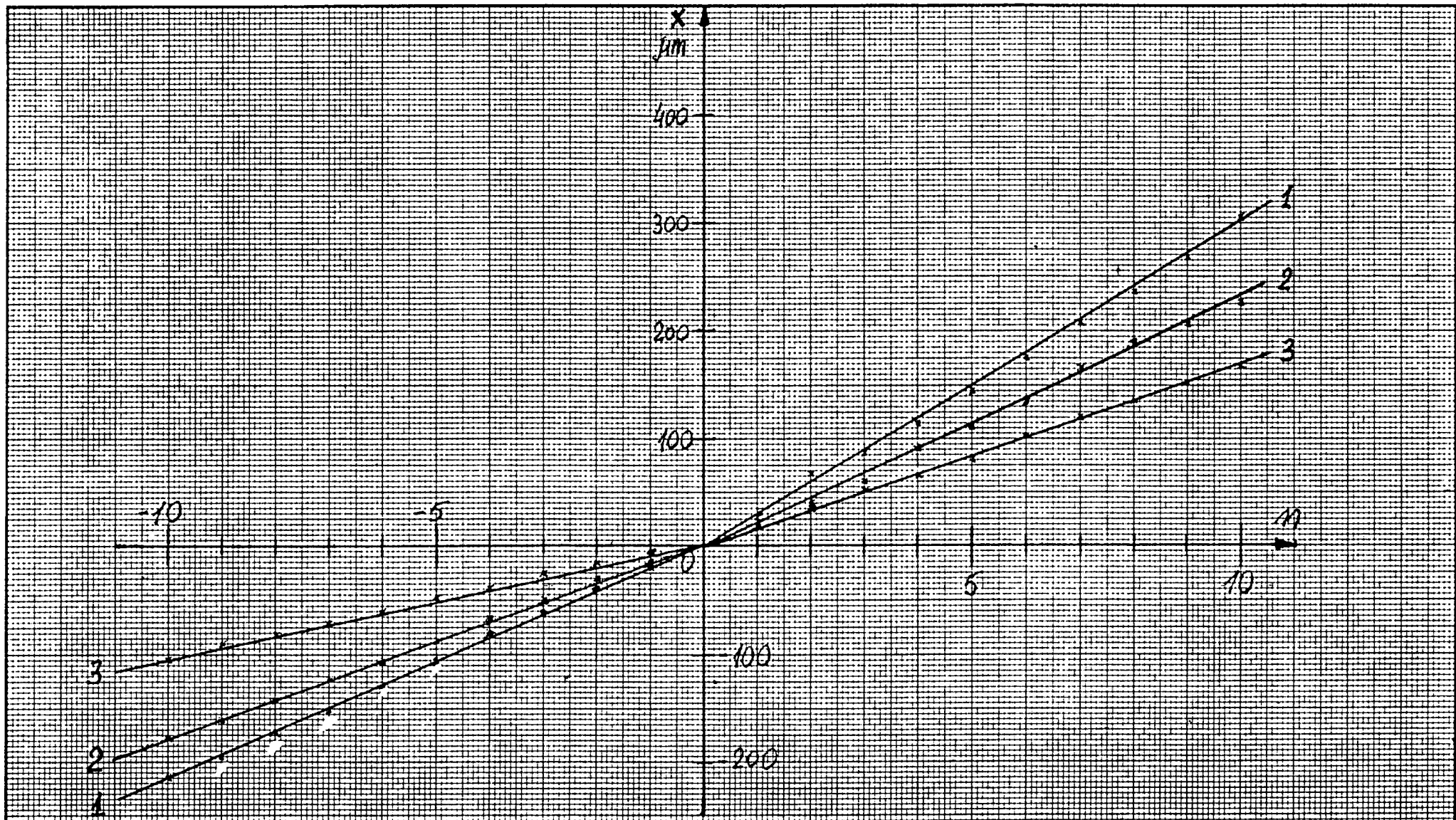
Przedstawione powyżej wyniki badań upoważniają do sformułowania następujących wniosków:

- a) mikroprzesuwnik działa pewnie, w granicach przenoszonych obciążeń;
- b) charakterystyki przesunięcia w funkcji liczby wykonywanych skoków są liniowe, w granicach mierzonych przesunięć;

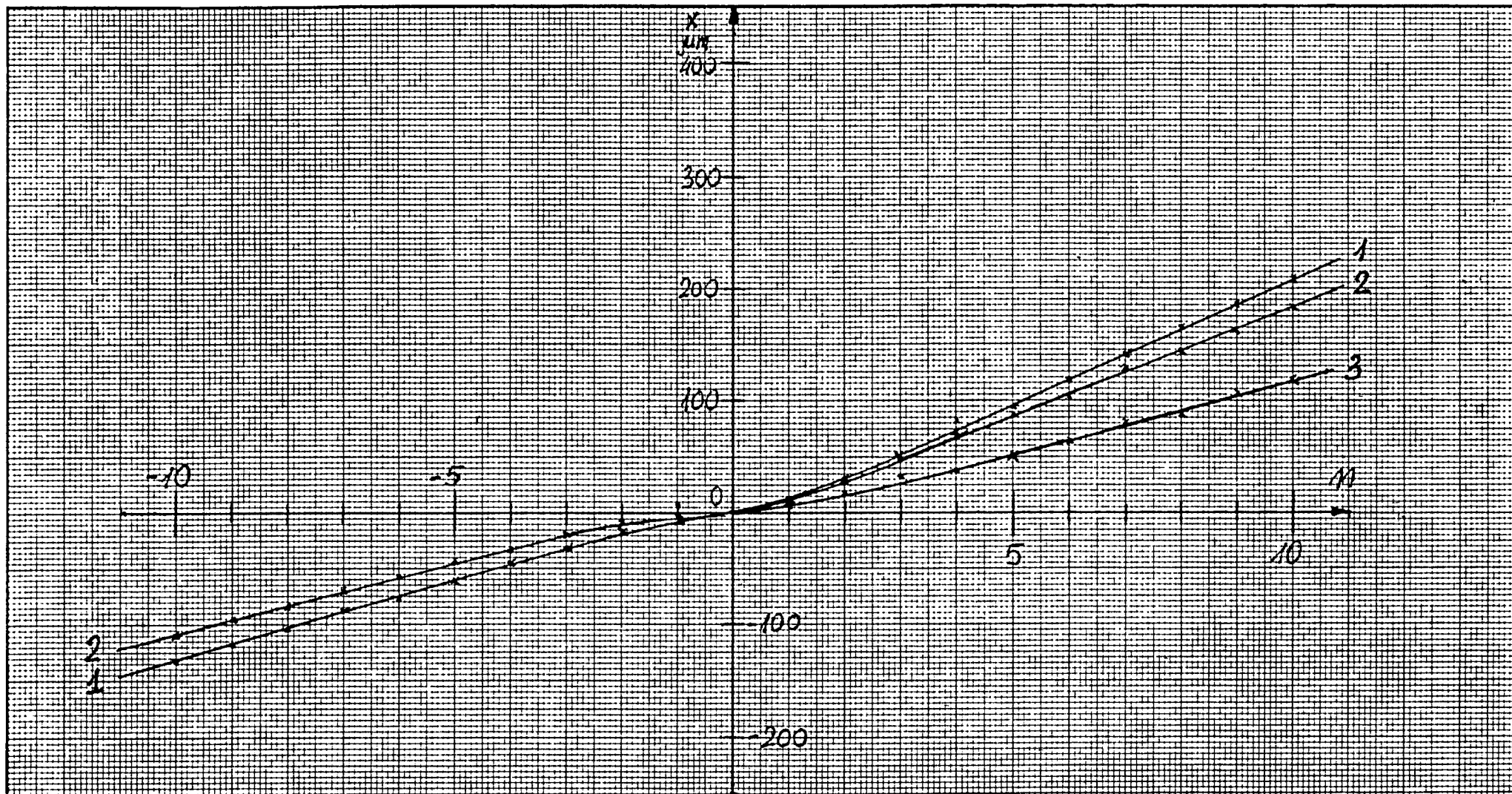


rys. 4.3. Charakterystyki $X = f(M, U_s)$ przy $F = 0$. 1 - $U_s = 110\text{V}$; 2 - $U_s = 600\text{V}$; 3 - $U_s = 400\text{V}$.

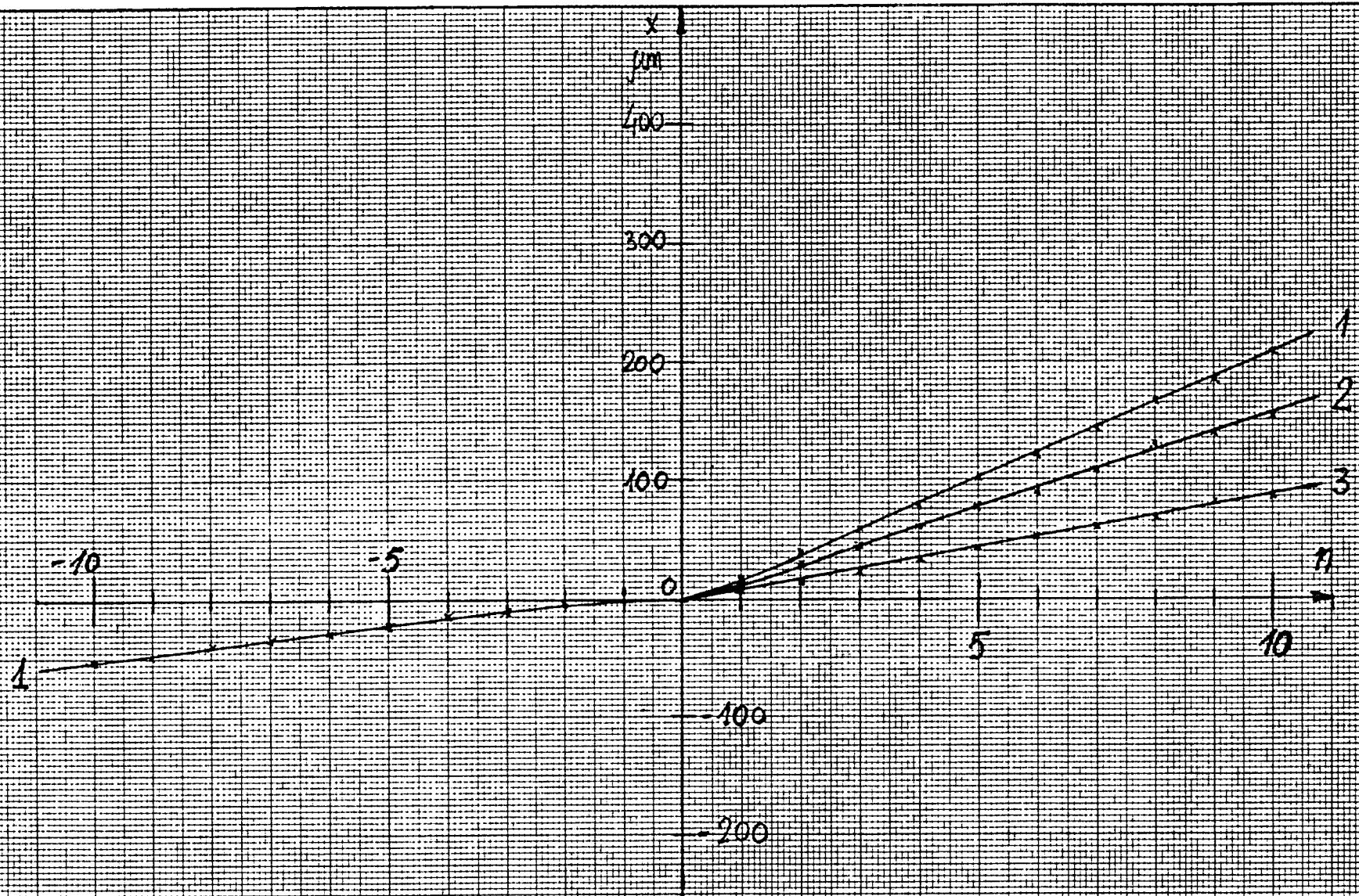
6K
19



rys. 4.6. Charakterystyki $x=f(m, U_s)$ przy $F=50\text{N}$; 1- $U_s=210\text{V}$; 2- $U_s=600\text{V}$; 3- $U_s=400\text{V}$.

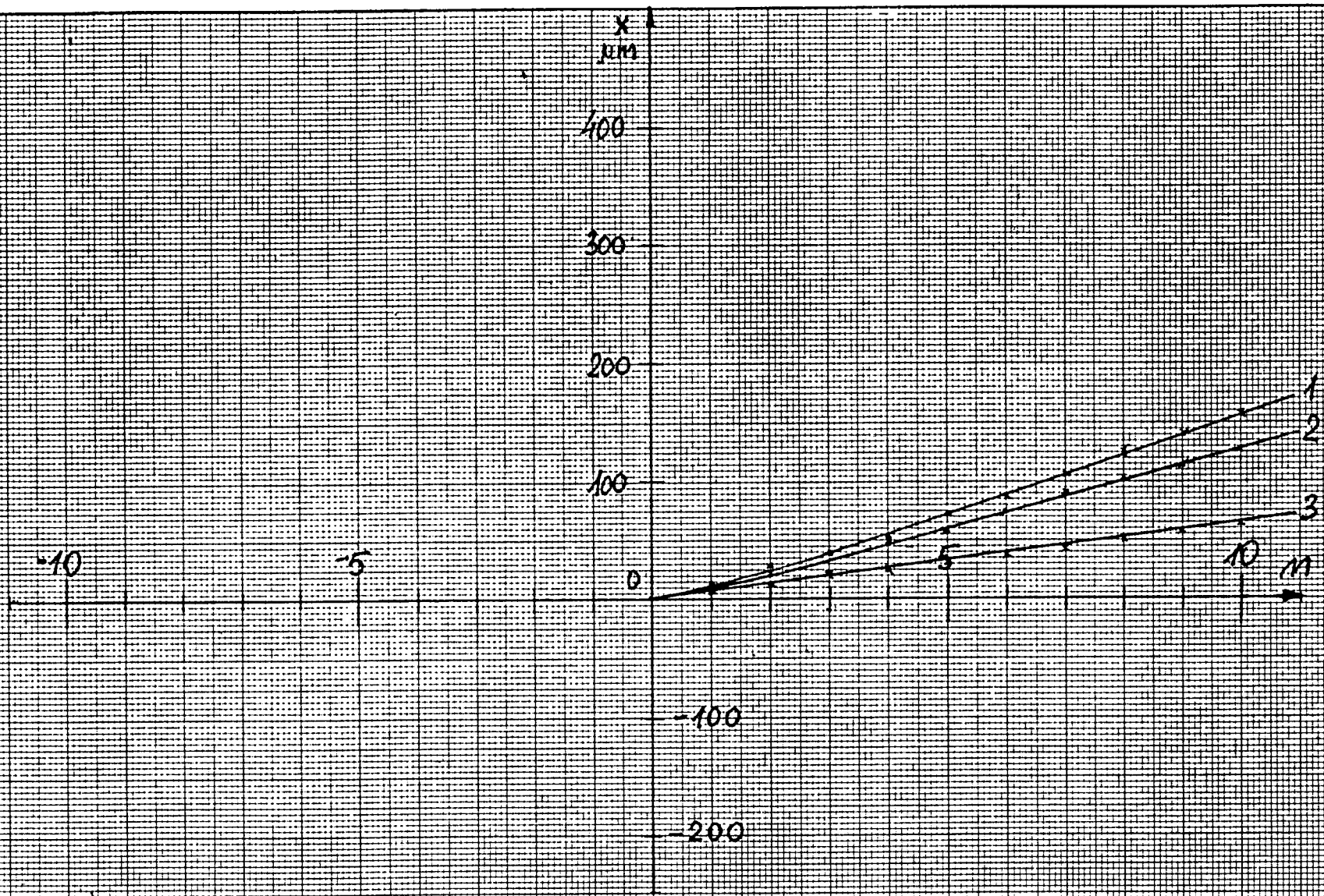


rys. 4.5 Charakterystyki $x=f(m, U_s)$ przy $F=100\text{ N}$; 1- $U_s=710\text{ V}$; 2- $U_s=600\text{ V}$; 3- $U_s=400\text{ V}$.



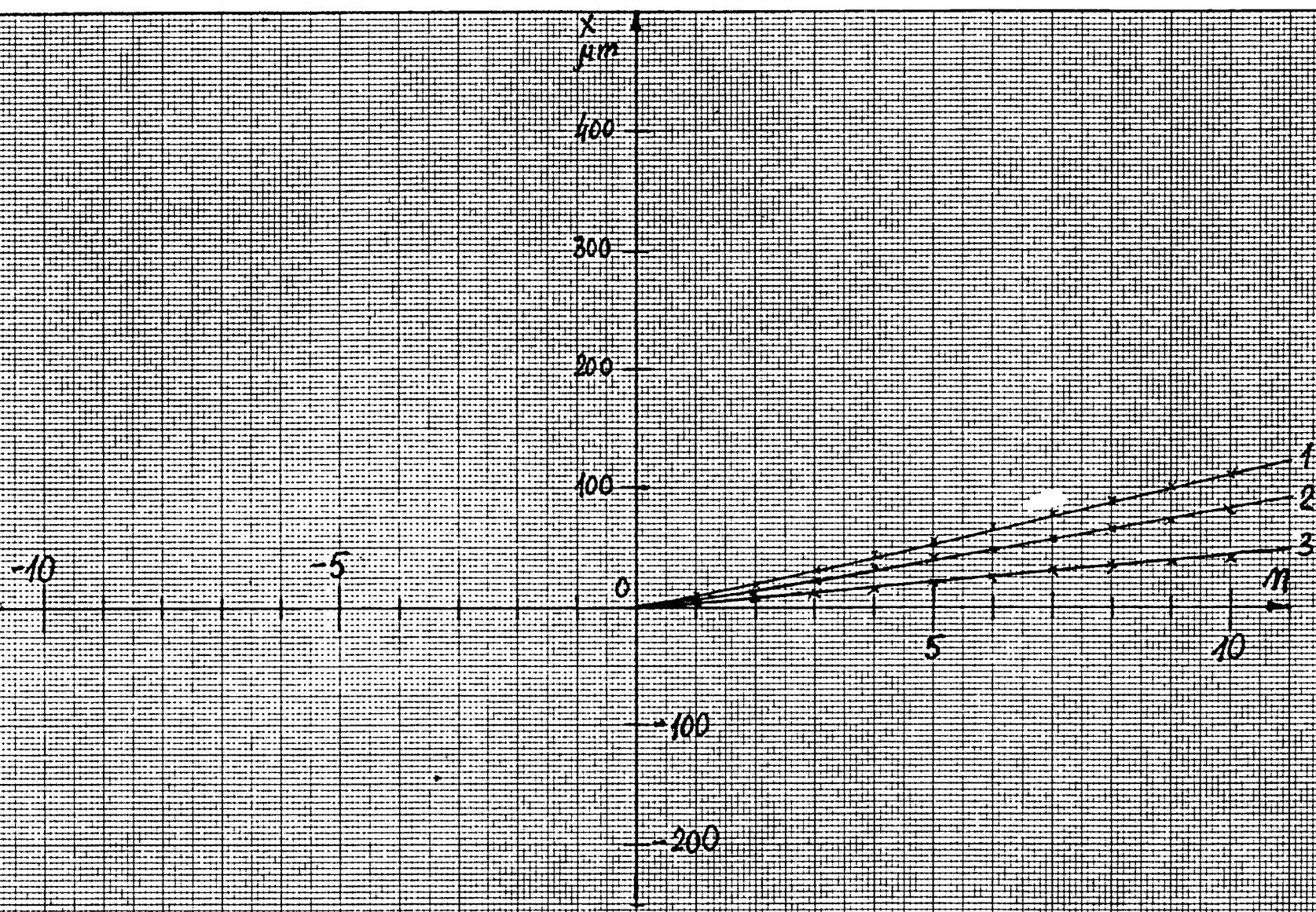
rys. 4.6. Charakterystyki $x=f(t, U_s)$ przy $F=150\text{ N}$

17/10
60



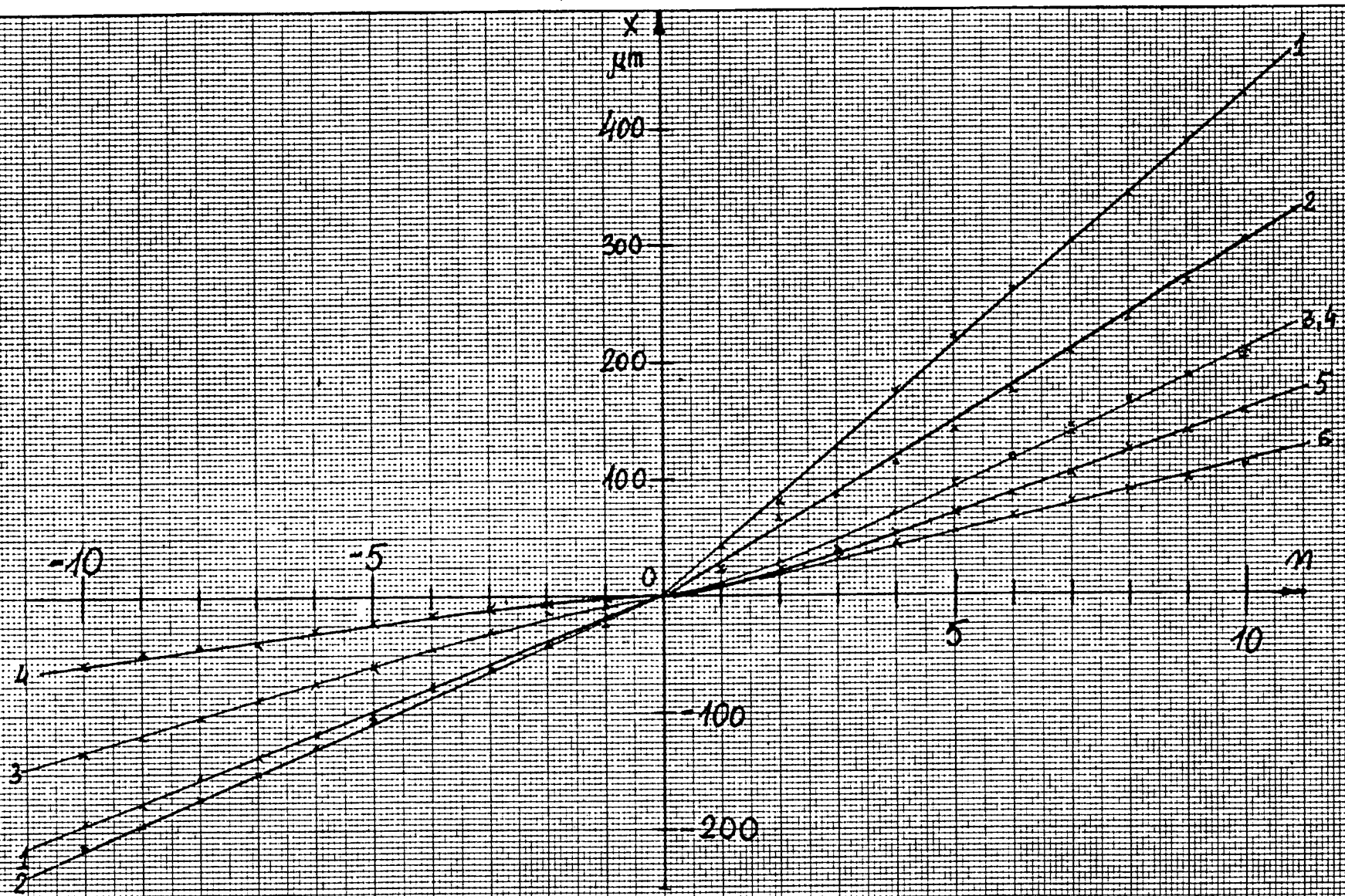
rys. 4-7 Charakterystyka $x=f(F, U_s)$ przy $F=200\text{N}$; 1- $U_s=710\text{V}$; 2- $U_s=600\text{V}$; 3- $U_s=400\text{V}$

20



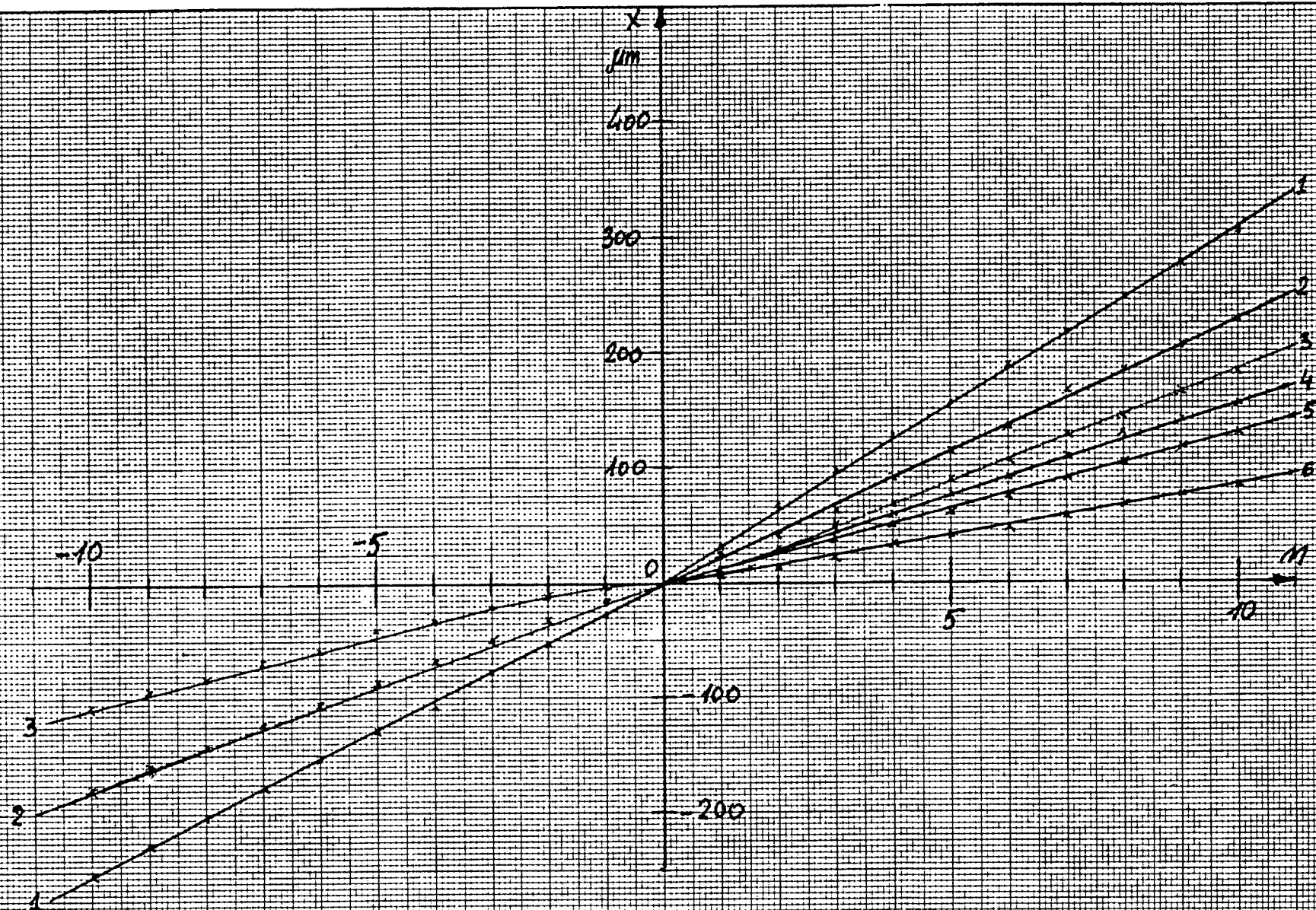
rys. 4.8. Charakterystyki $x = f(m, U_s)$ przy $F = 250 \text{ N}$; 1- $U_s = 710 \text{ V}$; 2- $U_s = 600 \text{ V}$; 3- $U_s = 400 \text{ V}$

HTC

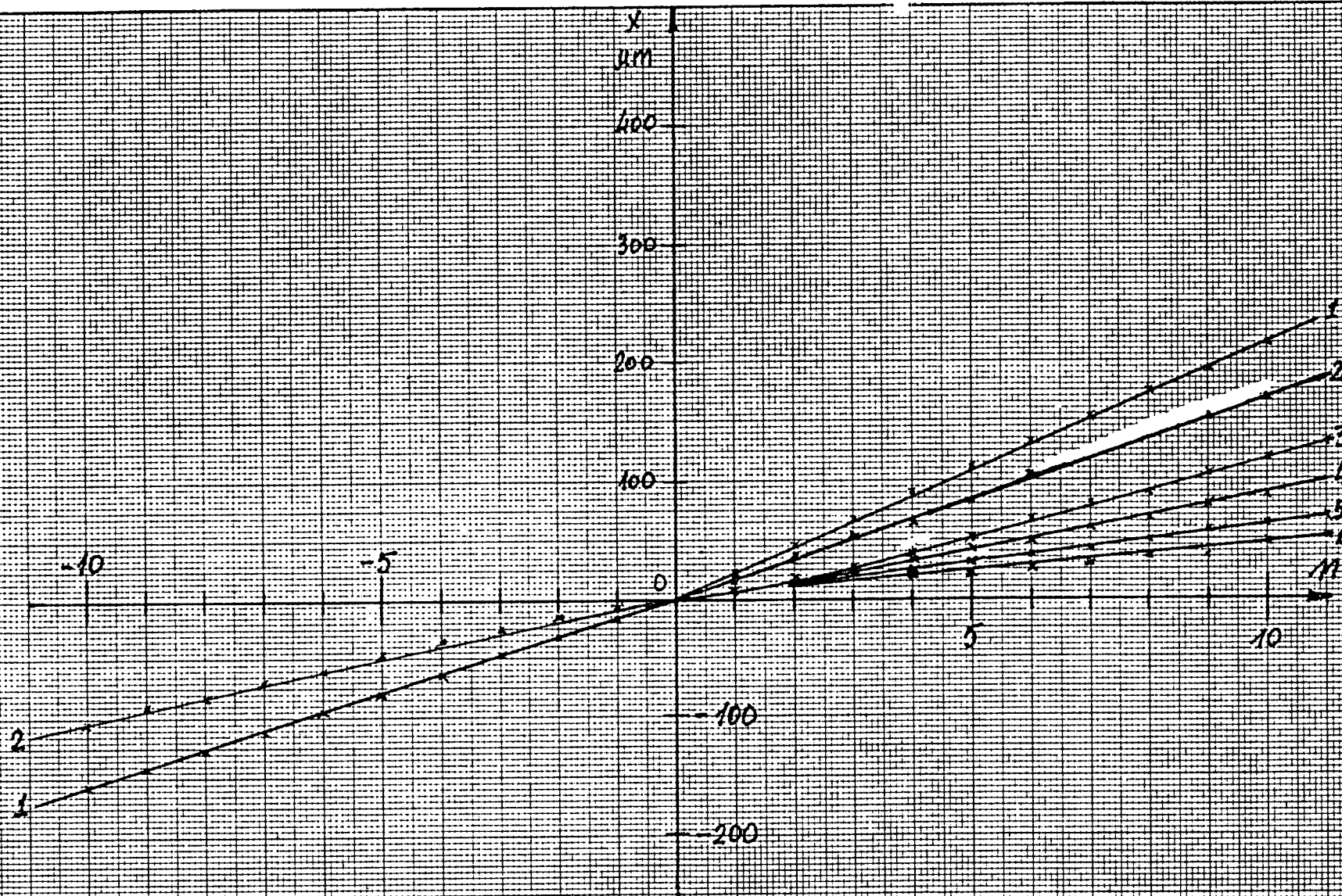


rys. 4.9. Charakterystyka $x = f(n, F)$ przy $U_s = 710 \text{ V}$; 1- $F=0$; 2- $F=50 \text{ N}$; 3- $F=100 \text{ N}$; 4- $F=150 \text{ N}$; 5- $F=200 \text{ N}$; 6- $F=250 \text{ N}$.

976



rys. 4.10. Charakterystyka $x = f(F)$ przy $U_s = 600 \text{ V}$; 1- $F=0$; 2- $F=50 \text{ N}$; 3- $F=100 \text{ N}$; 4- $F=150 \text{ N}$; 5- $F=200 \text{ N}$; 6- $F=250 \text{ N}$;



rys. 4.11. Charakterystyki $x=f(m, F)$ przy $U_s=400V$; 1- $F=0$; 2- $F=50N$; 3- $F=100N$; 4- $F=150N$; 5- $F=200N$; 6- $F=225N$.

76

- c) układ wzajemny charakterystyk jest zgodny z danymi wynikającymi z teorii zjawiska piezoelektrycznego odwrotnego, wyjątek stanowi charakterystyka dla $U=710V$, $F=0$ i biegu "wstecz" prawdopodobnie wskutek niedotarcia zatrząsków;
- d) nieliniowości ujawniają się przy większych obciążeniach w obszarze początkowych skoków;
- e) przy pracy "wstecz" mikroprzesuwnik wykonuje mniejsze skoki i przenosi mniejsze obciążenia, zjawisko to powinno być dokładniej zbadane przy kontynuowaniu opracowania.

Wnioskiem generalnym jest, że mikroprzesuwnik z zatrząskami pneumatycznymi, taki jak opracowano i zbadano, może być podstawą dla prowadzenia dalszych prac konstrukcyjnych zmierzających do opracowania urządzenia prototypowego. Można więc uznać, że etap prac modelowych spełnił zadanie w sensie pozytywnym.

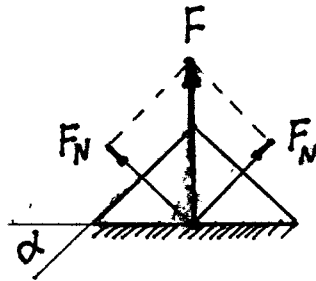
5. ZAKRES I HARMONOGRAM DALSZYCH PRAC

Doświadczenie uzyskane w trakcie prac modelowych upoważnia do podjęcia prac nad zbudowaniem głowicy współrzędnościowej x-y, przeznaczonej do montowania łącznie z chwytakiem robota i przeznaczonej do korygowania położenia narzędzia lub przedmiotu manipulowanego przez robota w strefie jego błędu pozycjonowania.

Proponowany harmonogram prac umieszczono w załączniku 6, został on zgłoszony drogą służbową do zatwierdzenia do realizacji.

6. LITERATURA

- 6.1. Missala T. i inni: Piezoelektryczny mikroprzetwornik wykonawczy dla robotów przemysłowych. P.K.1 Sprawozdanie PIAP nr rej. 6417. Warszawa, styczeń 1990r.
- 6.2. Missala T., Klimasara W., Flejta E.: Mikroprzesuwnik skokowy z napędem piezoelektrycznym. Zgłoszenie patentowe nr 20/90 (wewnętrzny nr PIAP).
- 6.3. Elbaum J.: Elektromagnesy przemysłowe. WNT. Warszawa 1964.

OBLICZENIA ZATRZASKU ELEKTROMAGNETYCZNEGO1. BIEŻNIA

$$\alpha = \frac{\pi}{4}$$

F - siła naciągu elektromagnesu

F_N - siła nacisku na bieżnię

$F_T \perp$ pł. (F, F_N) - siła tarcia o bieżnię

Rys. Z1-1

$$(1.1) \quad F_N = F \cdot \cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{2}} F$$

$$(1.2) \quad F_T = \mu F_N = \mu \frac{1}{\sqrt{2}} F$$

całkowita siła utrzymująca stopę na bieżni F_d

$$(1.3) \quad F_d = 2F_T = \mu\sqrt{2} \cdot F$$

[Jeżeli założyć, że siła pociągowa przesuwnika ma być F_p , to:

$$(1.4) \quad F_d = kF_p$$

k - wp bezpieczeństwa: $k \approx 1,5$; niech $k = \sqrt{2} \rightarrow$

$$F_d = kF_p \rightarrow \mu\sqrt{2} \cdot F = \sqrt{2} \cdot F_p \quad]$$

$$(1.5) \quad F = \frac{F_p}{\mu}$$

2. ELEKTROMAGNES

2.1. Dane

Zakłada się, że siła pociągowa przesuwnika ma być (przewidziany do montażu dobowych elementów):

$$F_p = 50 \text{ N}$$

Siła utrzymująca stopę na bieżni i przy zastosowaniu współczynnika bezpieczeństwa $k=1,5$ będzie:

$$(2.1) \quad F_d = \mu F_p = 1,5 \cdot 50 = 75 \text{ N}$$

Ze wzoru (1.3) wynika siła udźwigu elektromagnesu:

$$(2.2) \quad F = \mu \frac{1}{\sqrt{2}} F_d = \frac{75}{0,4 \cdot \sqrt{2}} = 132,6 \text{ N} \cong 135 \text{ N}$$

przyjęto $\mu = 0,4$ (stal - stal na sucho)

Ta siła ma być rozwijana przy zredukowanej szczelinie tj. w chwili docisku stopy do bieżni. Sama stopa będzie lekka (o masie rzędu $0,1 \div 0,2 \text{ kg}$).

Przyjmuje się dane:

| | | |
|---|---|--|
| Siła udźwigu przy szczelinie zredukowanej | - | $F = 135 \text{ N}$ |
| Skok | - | $d = 1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$ |
| Napięcie zasilania | - | $U = 12 \text{ V DC}$ |
| Praca przerywana | - | $40\% \Rightarrow \frac{t_z}{t_i} = 0,4$ |
| Dopuszczalny przyrost temper. uzwojenia | - | 75°C |
| Szkic wg rys. Z 1-2 | | |
| Obliczenia prowadzi się wg [6.3] | | |

2.2. Zależności podstawowe

Przy małej założonej szczelinie cała siła udźwigu pochodzi ze szczeliny głównej.

Wg Konarskiego t.I str.466 wzór (84.7) siła ta jest równa:

$$(2.3) \quad F = \frac{S}{2\mu_0} \cdot B_d^2$$

gdzie: B_d - indukcja magnetyczna w szczelinie głównej
 S - pole powierzchni nura
 μ_0 - przenikalność magnetyczna próżni

Przyjmując promień nura równy r [cm] otrzymuje się:

$$F = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}} B_d^2 \Rightarrow F = \frac{r^2 B_d^2}{8} \cdot 10^3 \Rightarrow$$

$$(2.4) \quad \boxed{r^2 \cdot B_d^2 = 8 \cdot F \cdot 10^{-3}}$$

Ewentualne działanie strumieni rozproszenia i pola krawędziowego zwiększy współczynnik bezpieczeństwa "k".

2.3. Wymiary podstawowe i uzwojenie

Z danych wg p.2.1 otrzymuje się:

$$(2.5) \quad r^2 \cdot B_d^2 = 8 \cdot 135 \cdot 10^{-3} = 1,08 \Rightarrow r B_d = 1,039 \approx 1,04$$

Przyjmuję indukcję $B_d = 1,2T$ \Rightarrow

$$(2.6) \quad r = 0,87 \text{ cm}$$

Przyjmuję $r=0,9 \text{ cm} = 9 \text{ mm} \Rightarrow D_1 = 18 \text{ mm} = 1,8 \text{ cm} = \underline{1,8 \cdot 10^{-2} \text{ m}}$

Sila udźwigu będzie teraz $S_1 = 2,54 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

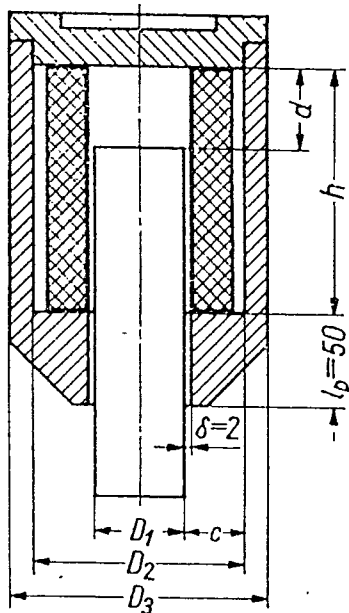
$$(2.7) \quad F = \frac{0,9^2 \cdot 1,2^2}{8} \cdot 10^3 = \underline{145,8 \text{ N}}$$

Z rys. Z 1-3 wynika dla:

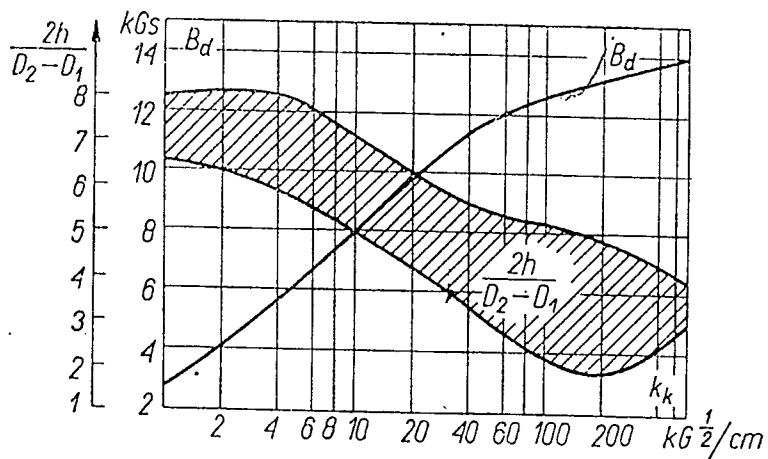
$$(2.8) \quad k_k = \frac{\sqrt{F}}{d} = \frac{\sqrt{13,5}}{0,1} = 36,74 \text{ kg } \frac{1}{2/\text{cm}}$$

proporcja okna

$$(2.9) \quad \frac{2h}{D_2 - D_1} = 0,35 \div 0,55$$



Rys. 21-2 Alternatywne rozwiązanie elektromagnetsu napędowego



Rys. 21-3 Granice ekonomiczności elektromagnetsu garnekowego z rys. 21-2

oraz indukcję w szczelinie $1,1 \div 1,2T$

Przyjmuję $B_d = 1,2T$ co jest zgodne z rys. Z 1-3 [6.3]

Przepływ (I przybliżenie)

$$(2.10) \quad \Theta = \frac{B_d \cdot d}{0,6 \cdot \mu_0} = \frac{1,2 \cdot 10^{-3}}{0,6 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}} = 1,59 \cdot 10^3 A = 1590 A$$

Całkowita długość uzwojenia $h=50 \text{ mm} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$

stąd przepływ na jednostkę długości:

$$(2.11) \quad m = \frac{\Theta}{h} = \frac{1590}{5} = 318 \text{ A/cm} = 31,8 \cdot 10^3 \text{ A/m}$$

Wobec bardzo małej szczeliny roboczej przyjmuję, że cała siła będzie pochodzić z pola między powierzchniami nura i stopy, stąd średnica nura będzie:

$$(2.12) \quad D_1 = \frac{2 \cdot 10^{-1}}{B_d} \sqrt{24,65 \frac{F}{\pi} 1,0} = \frac{0,2}{1,2} \sqrt{24,65 \frac{13,5}{\pi} 1,0} = 1,715 \text{ cm}$$

co jest zgodne z (2.6). Przyjmuje się: $D_1 = 1,8 \text{ cm} = 18 \text{ mm}$.

Różnica średnic zewnętrznej i wewnętrznej okna będzie:

$$(2.13) \quad D_2 - D_1 = \frac{\rho(\alpha\Theta)^2}{k_N k_z \vartheta_{\max} h^2} = \frac{\rho \alpha^2}{k_N k_z \vartheta_{\max}} \left(\frac{\Theta}{h}\right)^2 = \frac{\rho \frac{t_z}{t_c}}{k_N k_z \vartheta_{\max}} \text{ m}^2$$

gdzie: ρ - rezystywność materiału przewodowego w stanie nagrzany dla miedzi w temp. 90°C ($20+70$) jest $\rho=2,1 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$

$\alpha = \sqrt{\frac{t_z}{t_c}}$; t_z - czas załączania; t_c - czas trwania skoku

$\Theta = 1590A$ wg (2.10); $m = 318 \text{ A/m}$ wg (2.11)

k_N - współczynnik Newtona oddawania ciepła na jednostkę różnicy temperatury i jednostkę powierzchni chłodzenia, tu:

$$k_N = 12,5 \cdot 10^{-4} \text{ W/cm}^2 \text{ }^\circ\text{C} = 12,5 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

ϑ_{\max} - dopuszczalny przyrost temperatury; tu $\vartheta_{\max} = 70^\circ\text{C}$

Po podstawieniu wartości liczbowych do (2.14) otrzymuje się:

$$(2.14) \quad D_2 - D_1 = \frac{2,1 \cdot 10^{-8}}{12,5 \cdot 70} \cdot 31,8^2 \cdot 10^6 \cong 2,43 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

stąd

$$(2.15) \quad D_2 = (1,8 + 2,43) 10^{-2} = 4,23 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

przyjmuję:

$$\underline{D_2 = 4,3 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 43 \text{ mm}} ; \quad D_2 - D_1 = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$\text{Proporcja okna: } \frac{2h}{D_2 - D_1} = \frac{10 \cdot 10^{-2}}{2,5 \cdot 10^{-2}} = 4,0$$

co jest zgodne z (2.9).

Srednica zewnętrzna, z warunku by przekrój korpusu był równy przekrojowi nura, będzie:

$$(2.16) \quad D_3 \cong \sqrt{D_2^2 + D_1^2} = \sqrt{4,3^2 + 1,8^2} \cdot 10^{-2} = 4,66 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

Przyjmuję:

$$\underline{D_3 = 4,7 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 47 \text{ mm}}$$

grubość ścianki korpusu:

$$(2.17) \quad \underline{b} = \frac{D_3 - D_2}{2} = \frac{47 - 43}{2} = \underline{2 \text{ mm}}$$

Srednia długość zwoju uzwojenia będzie:

$$(2.18) \quad \underline{l_{sr}} = \pi \frac{D_1 + D_2}{2} = \pi \frac{1,8 + 4,3}{2} \cdot 10^{-2} = \underline{9,58 \cdot 10^{-2} \text{ m}}$$

Rezystancja średniego zwoju będzie:

$$(2.18) \quad r = \frac{U}{\Theta} = \frac{12}{1,59 \cdot 10^3} \cong 7,55 \cdot 10^{-3} \Omega$$

Przekrój drutu miedzianego ($\rho = 2,1 \cdot 10^{-8} \Omega \text{ m} = 0,021 \Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$):

$$(2.20) \quad S_{\text{Cu}} = \rho \frac{l_{sr}}{r} = 0,021 \frac{9,58 \cdot 10^{-2}}{7,55 \cdot 10^{-3}} = 0,266 \text{ mm}^2$$

najbliższe średnice i przekroje znormalizowane:

$$(W_1) \quad \underline{d_{Cu} = 0,60 \text{ mm}; S_{Cu} = 0,2826; d_i = 0,669}$$

$$(W_2) \quad d_{Cu} = 0,55 \text{ mm}; S_{Cu} = 0,2376; d_i = 0,619$$

Wariant 1 $d_{Cu} = 0,6 \text{ mm}$

Współczynnik wypełnienia miedzią, przy wsp. 0,93 dla luzów, jest:

$$(2.21) \quad k_z^1 = \frac{0,93 S_{Cu}}{d_i^2} = \frac{0,93 \cdot 0,2826}{0,669^2} = 0,585$$

Przyjmując na izolację i luzy z każdej strony po 1,0 mm na wysokości i 0,75 mm na średnicy, otrzymuje się współczynnik zapelnienia okna:

$$(2.22) \quad k_z = k_z^1 \left(1 - \frac{h_1 + h_2}{h}\right) \left(1 - \frac{C_1 + C_2}{C}\right) = 0,585 \left(1 - \frac{2}{50}\right) \left(1 - \frac{1,5}{1,25}\right) = \\ = 0,585 \cdot 0,96 \cdot 0,88 = 0,494 \approx 0,49$$

liczba zwojów:

$$(2.23) \quad z = \frac{k_z Q}{S_{Cu}} = \frac{0,49 \cdot 6,25 \cdot 10^{-4}}{0,2826 \cdot 10^{-6}} \cong 1084 \text{ zwoje}$$

gdzie powierzchnia okna

$$(2.24) \quad Q = c \cdot h = (1,25 \cdot 5,0) 10^{-4} = 6,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Rezystancja całkowita na gorąco:

$$(2.25) \quad R_g = \rho \frac{l_{gr} z}{S_{Cu}} = 0,021 \frac{9,58 \cdot 10^{-2} \cdot 1,084 \cdot 10^3}{0,2826} = 7,17 \Omega$$

Prąd:

$$(2.26) \quad I = \frac{U}{R_g} = \frac{12}{7,17} = 1,674 \text{ A}$$

Przepływ:

$$(2.27) \quad \Theta = zI = 1084 \cdot 1,674 \cong 1814 \text{ A} \quad (\text{Wymagany } 1590 \text{ A}) \\ (\text{można zmniejszyć } z \text{ do } 950)$$

Nie trzeba sprawdzać wariantu 2 (W2).

Ze względów technologicznych wskazane byłoby zmniejszenie liczby zwojów do

$$\underline{z = 1000}$$

Wówczas:

$$(2.24a) \quad R_g = 0,021 \frac{9,58 \cdot 10^{-2} \cdot 10,00 \cdot 10^2}{0,2826} = 7,12 \, \Omega$$

$$(2.25a) \quad I = \frac{12}{7,12} = 1,685 \, A$$

$$(2.26a) \quad \Theta = 1000 \cdot 1,685 = 1685 \, A$$

Wybór wariantu będzie zależał od wyników obliczenia magnetycznych spadków napięć.

2.4. Obliczenia magnetyczne

2.4.1. Strumień roboczy i strumienie rozproszenia

Z uwagi na małą szczelinę między nurem a stopą, strumień rozproszenia z krawędzi nura można pominąć. Natomiast strumień zamykający się pomiędzy krawędzią nura a stopą zwiększy strumień główny i też nie wymaga obliczenia.

Do obliczenia zostają:

- strumień szczeliny roboczej
- spadki napięcia magnetycznego w szczelinie roboczej i w szczelinie pasożytniczej między nurem a pokrywą dolną
- strumień rozproszenia między nurem a korpusem.

Przewodność szczeliny roboczej (tylko część jednorodna).

$$(2.28) \quad G_o = \mu_o \frac{S_1}{d} = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{2,54 \cdot 10^{-4}}{1 \cdot 10^{-3}} = 31,92 \cdot 10^{-8} \, H$$

Strumień roboczy:

$$(2.29) \quad \Phi_o = G_o U\mu_d = 31,92 \cdot 10^{-8} U\mu_d$$

gdzie $U\mu_d$ jest to część przepływu, które idzie na magnesowanie nura i szczeliny roboczej.

Przewodność rozproszenia jednostkowa między nurem i korpusem:

$$(2.30) \quad g = \frac{2\pi\mu_0}{\ln \frac{D_2}{D_1}} = \frac{8\pi^2 \cdot 10^{-7}}{\ln \frac{4,3}{1,8}} = 90,67 \frac{\text{H}}{\text{m}}$$

Srednie napięcie rozproszenia między objęta uzwojeniem częścią nura a korpusem

$$(2.31) \quad U\mu_r \cong \frac{1}{2} U\mu_d \cdot \frac{h-d}{h} = \frac{1}{2} \cdot \frac{5-0,1}{5} U\mu_d = 0,49 U\mu_d$$

Strumień rozproszenia:

$$(2.32) \quad \Phi_r = g(h-d)U\mu_r = 90 \cdot 10^{-7} \cdot 4,9 \cdot 10^{-2} \cdot 0,49 U\mu_d = \\ = 21,6 \cdot 10^{-8} U\mu_d$$

Strumień w nurze blisko miejsca przejścia przez pokrywę będzie sumą tych dwóch strumieni tj.

$$(2.33) \quad \Phi_n = \Phi_o + \Phi_r = (31,92+21,6) \cdot 10^{-8} U\mu_d = 53,52 \cdot 10^{-8} U\mu_d$$

Zakładając $U\mu_d = 0,6\text{⊙} = 0,6 \cdot 1685 = 1011 \text{ A}$ (⊙ wg 2.26a)

$$(2.34) \quad \begin{cases} \Phi_n = 5,40 \cdot 10^{-4} \text{ Vs} \\ \Phi_o = 3,25 \cdot 10^{-4} \text{ Vs} \\ \Phi_r = 2,15 \cdot 10^{-4} \end{cases}$$

Strumień główny z założonej indukcji i przekroju będzie:

$$\Phi_o = 1,2 \cdot 2,54 \cdot 10^{-4} = 3,048 \cdot 10^{-4} \text{ Vs}$$

a więc należy przyjąć mniejsze $U\mu_d$, a mianowicie:

$$U\mu_d = 955 \text{ A}$$

$$(2.34a) \quad \begin{cases} \Phi_n = 5,11 \cdot 10^{-4} \text{ Vs} \\ \Phi_o = 3,05 \cdot 10^{-4} \text{ Vs} \\ \Phi_r = 2,06 \cdot 10^{-4} \\ \text{⊙} = 1591,6 \text{ A} \end{cases}$$

2.4.2. Indukcje i magnetyczne spadki napięć

Indukcja w nurze przy pokrywie będzie (wg 2.34a)

$$(2.35) \quad B_n = \frac{\Phi_n}{S_1} = \frac{5,11 \cdot 10^{-4}}{2,54 \cdot 10^{-4}} = 2,01 \text{ T}$$

Odpowiednie natężenie pola dla ARMC0 E4 będzie:

$$(2.35a) \quad H_n = 25 \text{ 000 A/m}$$

(ale może być nieco niższa indukcja!)

Indukcja w szczelinie roboczej jest (na pow. udowej nura)

$$(2.36) \quad B_d = B_o = 1,2 \text{ T}$$

Odpowiednie natężenie pola jest:

$$(2.36a) \quad H_o = 250 \text{ A/m}$$

Na długości nura indukcja będzie wzrastać od B_o do B_n nieliniowo w przybliżeniu będzie to wzrost paraboliczny wg zależności:

$$(2.37) \quad B_x = B_n - kx^2$$

gdzie:

x - odległość od pokrywy

B_x - indukcja na osległości x

Mamy:

$$(2.38) \quad B_o = B_n - k(h - d)^2 \quad \rightarrow$$

$$(2.39) \quad k = \frac{B_n - B_o}{(h-d)^2} \quad \text{oraz}$$

$$(2.40) \quad B_x = B_n - (B_n - B_o) \left(\frac{x}{h-d}\right)^2$$

co po podstawieniu poprzednich zależności daje:

$$(2.41) \quad B_x = 2,0 - 0,8 \left(\frac{x}{4,9}\right)^2$$

Stąd na granicach odcinków mamy indukcję i natężenie pola:

$$\begin{array}{lll} X_1 = 4; & B_1 = 1,47 \text{ T}; & H_1 = 1400 \text{ A/m} \\ X_2 = 3; & B_2 = 1,70 \text{ T}; & H_2 = 9000 \text{ A/m} \\ X_3 = 2; & B_3 = 1,87 \text{ T}; & H_3 = 18654 \text{ A/m} \\ X_4 = 1; & B_4 = 1,97 \text{ T}; & H_4 = 24423 \text{ A/m} \end{array}$$

Wartości średnie natężenia pola:

$$\begin{aligned} H_{1\text{sr}} &= \frac{H_0 + H_1}{2} = \frac{250 + 1400}{2} = 825 \text{ A/m} \\ H_{2\text{sr}} &= \frac{H_1 + H_2}{2} = \frac{1400 + 9000}{2} = 5200 \text{ A/m} \\ H_{3\text{sr}} &= \frac{H_2 + H_3}{2} = \frac{9000 + 18654}{2} = 13830 \text{ A/m} \\ H_{4\text{sr}} &= \frac{H_3 + H_4}{2} = \frac{18654 + 24423}{2} = 21540 \text{ A/m} \\ H_{5\text{sr}} &= \frac{H_4 + H_n}{2} = \frac{24423 + 25000}{2} = 24700 \text{ A/m} \end{aligned}$$

Spadek napięcia magnetycznego w żelazie oblicza się jako podwójny spadek napięcia magnetycznego w nurze, gdyż przyjęto przekrój płaszcza taki jak przekrój nura, stąd:

$$\begin{aligned} (2.42) \quad \Delta U_{\mu_{\text{Fe}}} &= 2 \frac{h-d}{5} \sum H_{\text{sr}} = 2 \frac{4,9}{5} (825 + 5200 + 13830 + 21540 + 24700) \cdot \\ &\cdot 10^{-2} = 1295 \text{ A} \quad \text{To jest bardzo dużo!} \end{aligned}$$

Przez porównanie z innymi konstrukcjami obwodów magnetycznych z małą szczeliną przyjmuję, że strumień rozproszenia będzie ok. 20% strumienia głównego tj.:

$$(2.34b) \quad \begin{cases} \Phi_r = 0,2\Phi_o = 0,610 \cdot 10^{-4} \text{ Vs} \rightarrow \\ \Phi_n = 1,2\Phi_o = 3,66 \cdot 10^{-4} \text{ Vs} \end{cases}$$

i stąd:

$$(2.35b) \quad B_n = \frac{\Phi_n}{S_1} = \frac{3,66 \cdot 10^{-4}}{2,54 \cdot 10^{-4}} = 1,441 \text{ T} \quad H_n = 750 \text{ A/m}$$

Przyjmując wzory (2.37) i (2.40) otrzymuje się:

$$(2.41a) \quad B_x = 1,44 - 0,24\left(\frac{x}{4,9}\right)^2$$

z której wynika:

| | | |
|------------|-------------------------|-------------------------|
| $X_1 = 4;$ | $B_1 = 1,29 \text{ T};$ | $H_1 = 350 \text{ A/m}$ |
| $X_2 = 3;$ | $B_2 = 1,35 \text{ T};$ | $H_2 = 480 \text{ A/m}$ |
| $X_3 = 2;$ | $B_3 = 1,40 \text{ T};$ | $H_3 = 640 \text{ A/m}$ |
| $X_4 = 1;$ | $B_4 = 1,43 \text{ T};$ | $H_4 = 750 \text{ A/m}$ |

Wartości średnie natężenia pola:

$$H_{1\text{śr}} = \frac{H_0 + H_1}{2} = \frac{250 + 350}{2} = 300 \text{ A/m}$$

$$H_{2\text{śr}} = \frac{H_1 + H_2}{2} = \frac{350 + 480}{2} = 415 \text{ A/m}$$

$$H_{3\text{śr}} = \frac{H_2 + H_3}{2} = \frac{480 + 640}{2} = 560 \text{ A/m}$$

$$H_{4\text{śr}} = \frac{H_3 + H_4}{2} = \frac{640 + 750}{2} = 695 \text{ A/m}$$

$$H_{5\text{śr}} = \frac{H_4 + H_n}{2} = 750 \text{ A/m}$$

Spadek napięcia magnetycznego w żelazie:

$$(2.42a) \quad \Delta U_{\mu_{\text{Fe}}} = 2 \frac{h-d}{5} \sum H_{\text{śr}} = 2 \frac{4,9}{5} (300+415+560+695+750) \cdot 10^{-2} =$$

$$= 53,31 \text{ A} \approx 54 \text{ A}$$

Przyjmując grubość tuleji brązowej $d_p = 0,5 \text{ mm} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ m}$ otrzymuje się spadek napięcia w szczelinie pasożytniczej:

$$(2.49a) \quad \Delta U_{\mu_p} \cong \frac{B_p}{\mu_0} d_p = \frac{1,08}{4\pi \cdot 10^{-7}} \cdot 5 \cdot 10^{-4} \cong 430 \text{ A}$$

gdzie:

$$(2.48a) \quad B_p = \frac{\Phi_n}{\pi D_1 l_p} = \frac{3,66 \cdot 10^{-4}}{\pi \cdot 1,8 \cdot 0,6 \cdot 10^{-4}} = 1,08 \text{ T}$$

$$l_p = 6 \text{ mm} = 0,6 \text{ cm} \text{ (grubość pokrywy)}$$

Dla indukcji w szczelinie wg (2.36) i dla jej długości 1 mm spadek napięcia magnetycznego w szczelinie głównej będzie:

$$(2.36a) \quad U\mu_d = l_d H_d = 10^{-3} \cdot \frac{B_d}{\mu_0} = 10^{-3} \cdot \frac{1,2}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 955 \text{ A}$$

Dla wytworzenia wymienionych strumieni będzie wymagany przepływ

$$(2.50) \quad \Theta = U\mu_d + U\mu_{Fe} + U\mu_p = 955 + 54 + 430 \cong 1440 \text{ A}$$

Założono wg (2.27a) przepływ 1685A. Jest więc zapas ok.17%)

2.5. Sprawdzenie nagrzewania

F = 135 N;

$$(2.51) \quad \Delta\theta_{\max} = \frac{t_z}{tc} \cdot \frac{\Theta^2}{k_N k_u S} = 0,4 \frac{1,685^2 \cdot 10^6}{12,5 \cdot 14,05 \cdot 10^{-4} \cdot 95,8 \cdot 10^{-4}} =$$

$$= 67,5^\circ\text{C} < 75^\circ\text{C}$$

gdzie:

$$k_u = \frac{z^2}{R_g} = \frac{10^6}{7,12} = 14,05 \cdot 10^4 \quad (\text{wg 2.24a})$$

$$S = 2l_{gr} h = 2 \cdot 9,58 \cdot 10^{-2} \cdot 5 \cdot 10^{-2} = 9,58 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 95,8 \text{ cm}^2$$

$$k_N = 12,5 \cdot 10^{-4} \text{ W/cm}^2\text{ }^\circ\text{C} = 12,5 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C} \quad - \text{wsp. oddawania ciepła}$$

2.6. Zestawienie danych konstrukcyjnych

| | | | | |
|-------------------------------|---|-----------------|---|---------|
| Srednica nura | - | D ₁ | = | 18 mm |
| Srednica wewnętrzna płaszczka | - | D ₂ | = | 43 mm |
| Srednica zewnętrzna płaszczka | - | D ₃ | = | 47 mm |
| Liczba zwojów | - | z | = | 1000 |
| Wysokość uzwojenia z karkasem | - | h | = | 50 mm |
| Grubość ścianki płaszczka | - | b | = | 2 mm |
| Srednia drutu nawojowego | - | d _{Cu} | = | 0,6 mm |
| Rezystancja na gorąco | - | R _g | = | 7,12 Ω |
| Prąd | - | I | = | 1,685 A |
| Grubość tarczy | - | l _p | = | 6 mm |
| Grubość tuleji brązowej | - | d _p | = | 0,5 mm |

41

2.7. Wnioski

Elektromagnes o tak dużych wymiarach spowoduje niezgrabność i nieprzydatność konstrukcji. Należy szukać innego rodzaju zatrzasku np. pneumatycznego.

OBLICZENIA ZATRZASKU PNEUMATYCZNEGO1. ZAŁOŻENIA OGÓLNE

Zatrząskiem pneumatycznym będzie sprzęgło wielopłytkowe złożone z płytek z blachy z brązu fosforowego, ma ono przenosić siłę $F = 750 \text{ N}$. Płytki dociskane będą pod wpływem tłoka pneumatycznego silownika membranowego (rys. Z2-1). Minimalne ciśnienie zasilania silownika $p_{\min} = 0,4 \text{ MPa}$

2. PRZYJĘTE OZNACZENIA

| | | |
|--|---|------------------------------|
| Minimalne ciśnienie zasilania | – | $p_{\min} = 0,4 \text{ MPa}$ |
| Srednica membrany | – | $D = 38 \text{ mm}$ |
| Srednica tłoka | – | $d = 35 \text{ mm}$ |
| Sprawność silownika membranowego | – | $\eta_1 = 0,8$ |
| Współczynnik tarcia występujący między płytkami sprzęgła | – | $\mu = 0,05$ |
| Siła przenoszona przez jedną płytkę sprzęgła | – | $F' \text{ [N]}$ |
| Nacisk wywierany na płytki pod wpływem tłoka | – | $N \text{ [N]}$ |
| Siła tarcia występująca na powierzchni płytki sprzęgła pod wpływem nacisku tłoka | – | $T \text{ [N]}$ |
| Siła przenoszona przez sprzęgło | – | $F \text{ [N]}$ |
| Ilość płytek sprzęgła | – | n |
| Sprawność sprzęgła | – | $\eta_a = 0,7$ |

3. OBLICZENIA

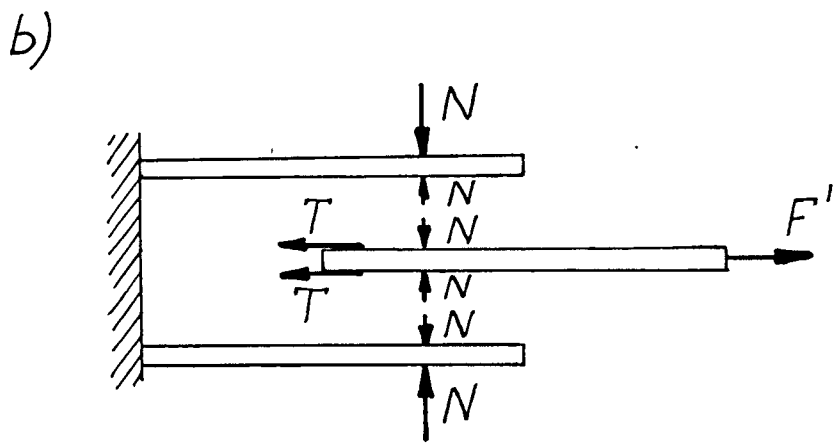
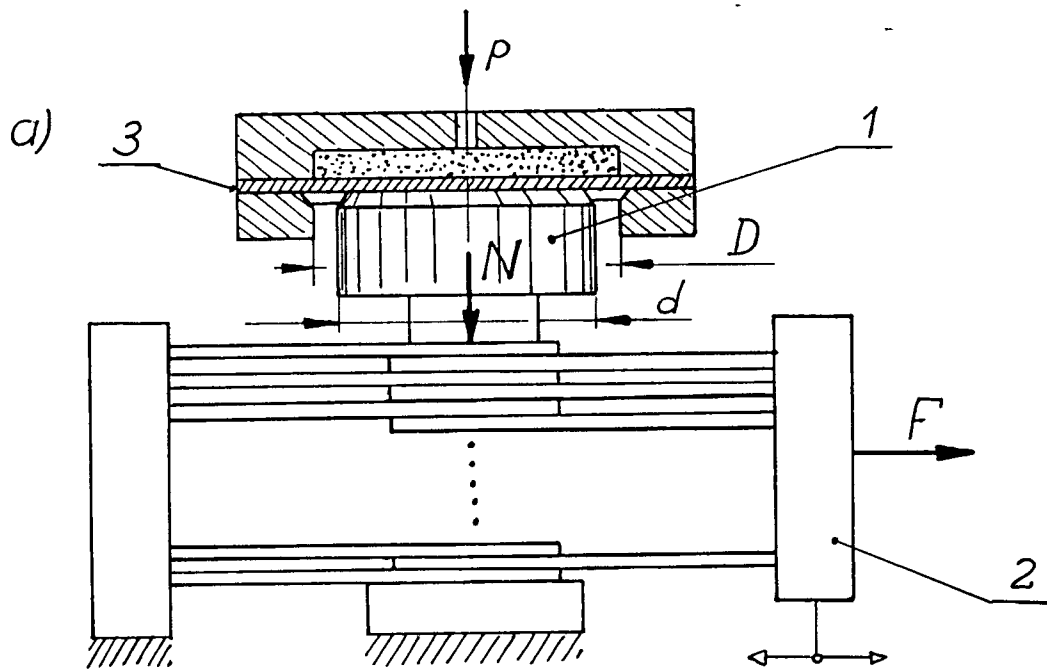
$$(1) \quad N = \frac{\pi}{12} \cdot (D^2 + D \cdot d + d^2) \cdot p_{\min} \cdot \eta_1 \quad [\text{N}]$$

$$(2) \quad F' = 2 \cdot T \quad [\text{N}]$$

$$(3) \quad F = F' \cdot n \cdot \eta_2 \quad [\text{N}]$$

stąd

$$(4) \quad F = \frac{\pi}{6} (D^2 + Dd + d^2) \mu \cdot n \cdot p_{\min} \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \quad [\text{N}]$$



rys.22-1 .Sprzęgło wielopłytkowe.

- a/ schemat
- b/ rozkład sił

1 - tłok, 2 - ruchomy zespół płytek
 3 - membrana

HH

Wymagana ilość płytek sprzęgła n:

$$(5) \quad n \geq \frac{F}{\frac{\pi}{6}(D^2 + D \cdot d + d^2) \cdot \mu \cdot p_{\min} \cdot \eta_1 \cdot \eta_2}$$

Po wstawieniu wartości liczbowych:

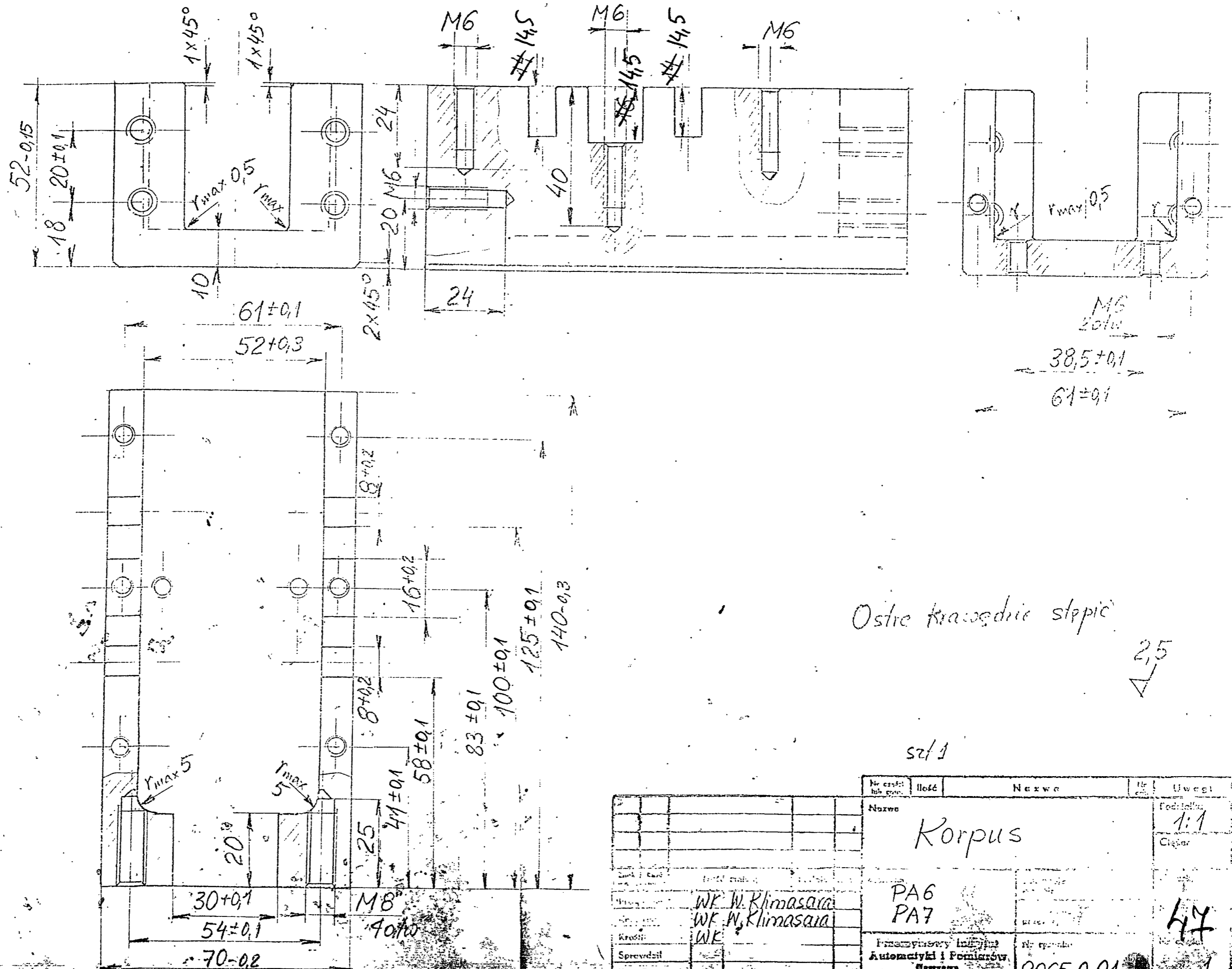
$$(6) \quad n \geq \frac{750}{\frac{\pi}{6}(38^2 \cdot 10^{-6} + 38 \cdot 35 \cdot 10^{-6} + 35^2 \cdot 10^{-6}) \cdot 0,05 \cdot 0,4 \cdot 10^6 \cdot 0,8 \cdot 0,7};$$

$$n \geq 31,9$$

Przyjmuje się n = 32

ZAŁĄCZNIK 3

DOKUMENTACJA SZKICOWA
modelu mikroprzesuwника skokowego



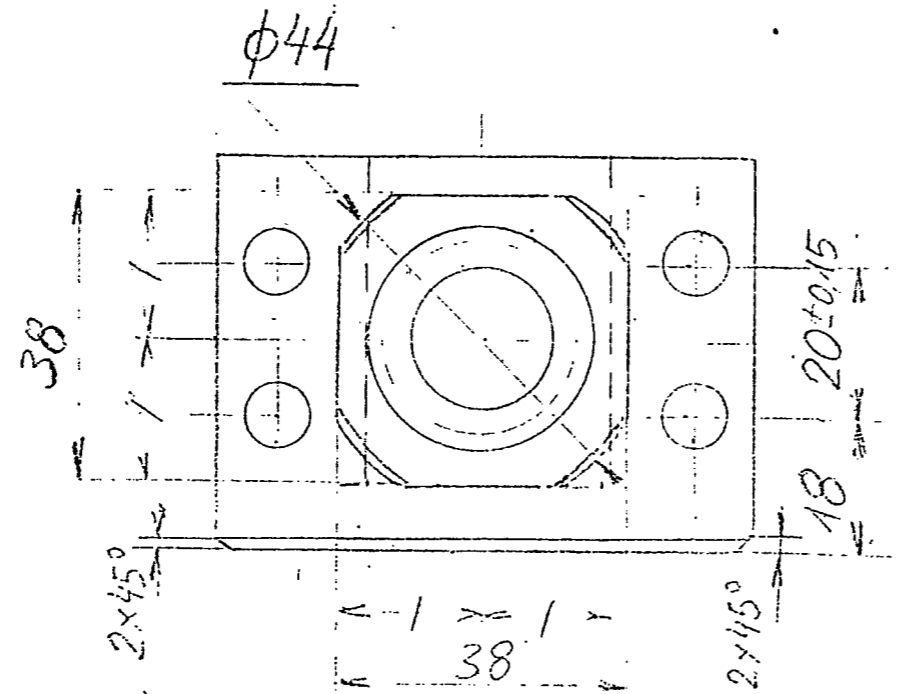
Materialy:
zlec
RP210

Ostre krawędzie stepić

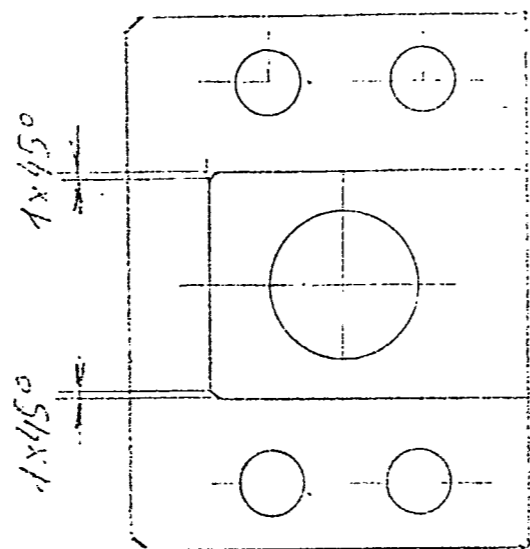
sz/1

| No czysci: lub gran. | Ilość | Nazwa | Uwagi |
|-------------------------|-------|---|-----------------|
| | | Nazwa | |
| | | Korpus | Podobnie 1:1 |
| | | PA6 | Clasa |
| | | PA7 | |
| | | Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów Warszawa | |
| | | No sporząd. 8065.0.01 | |
| | | Zakład 0AE | |

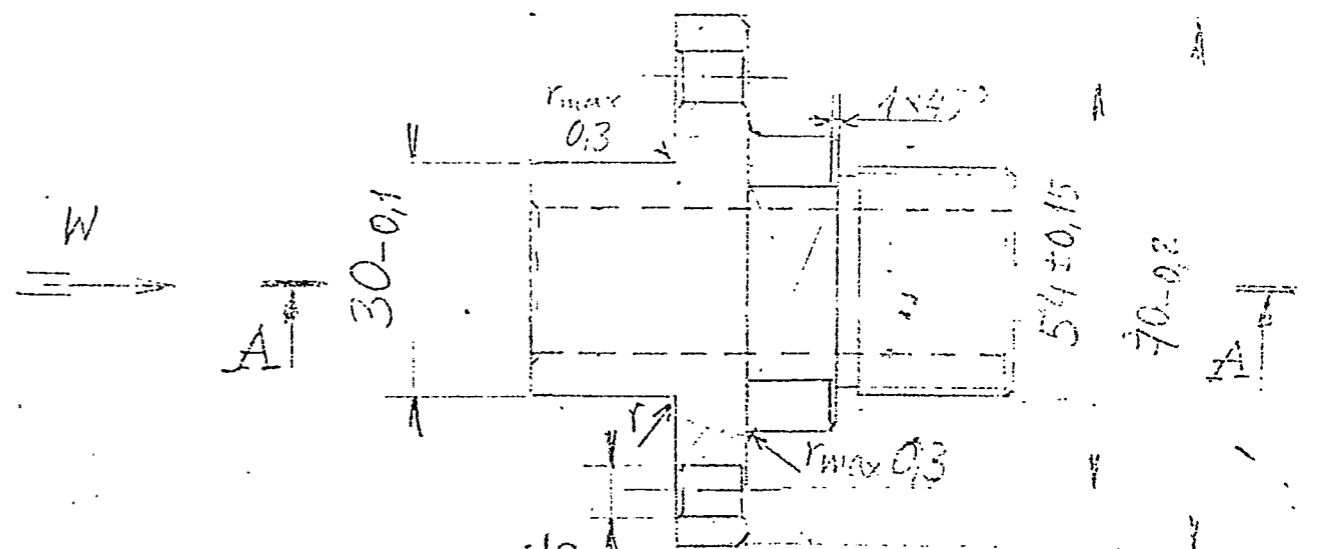
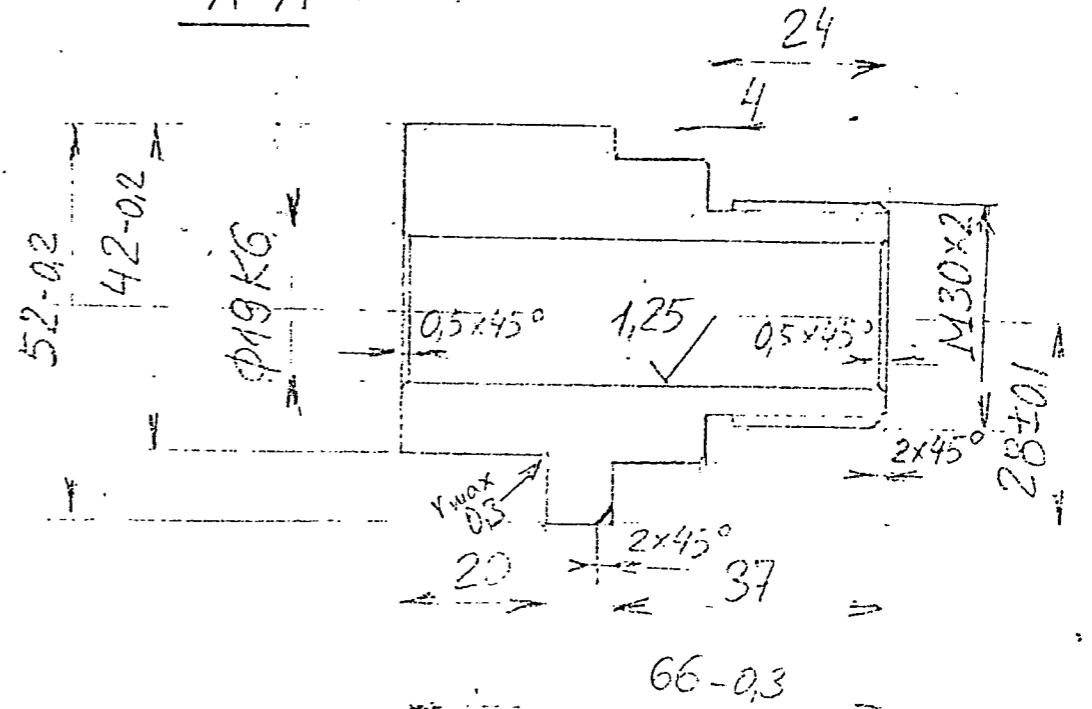
47



Widok z kierunku W

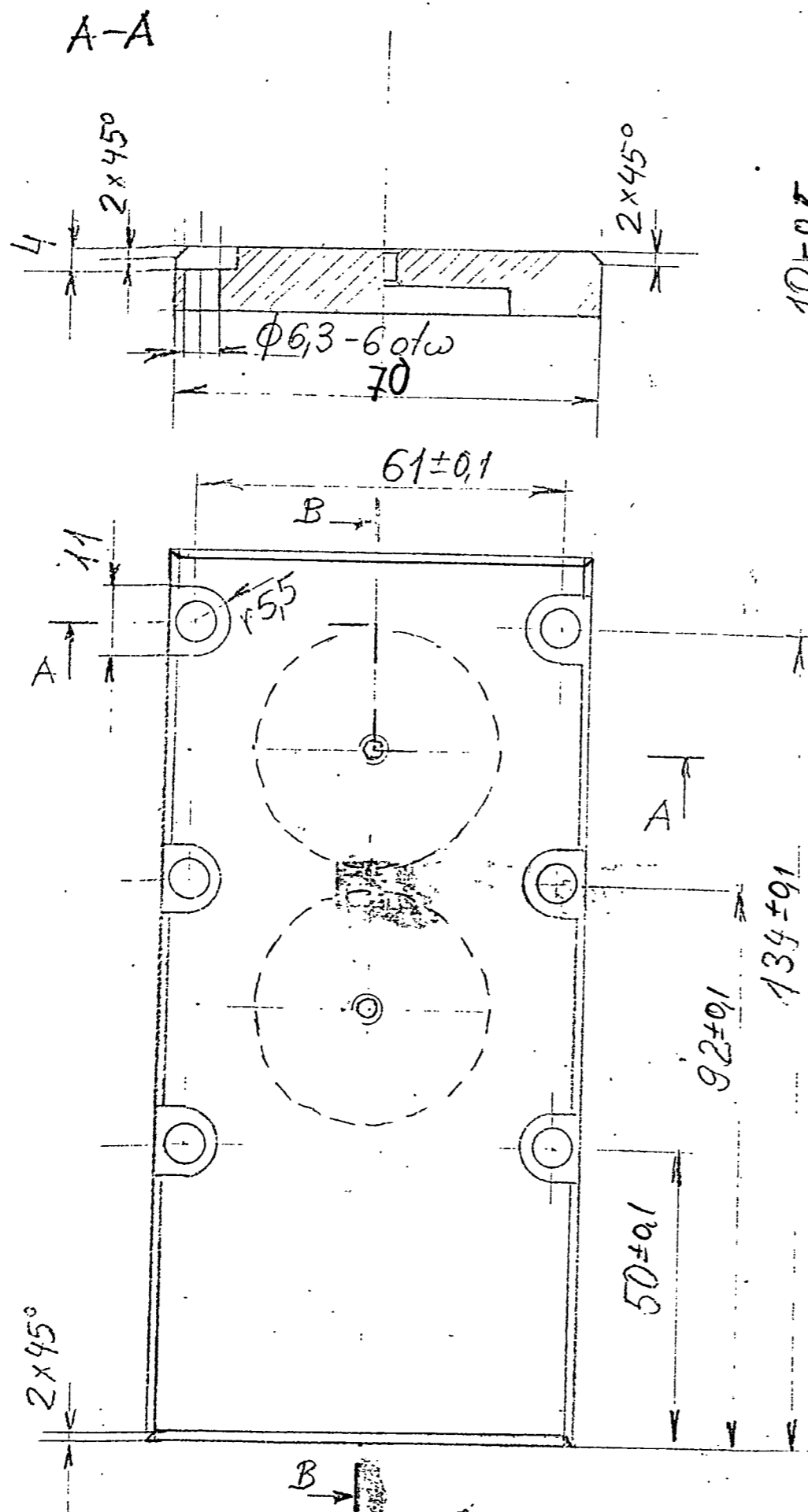


A-A

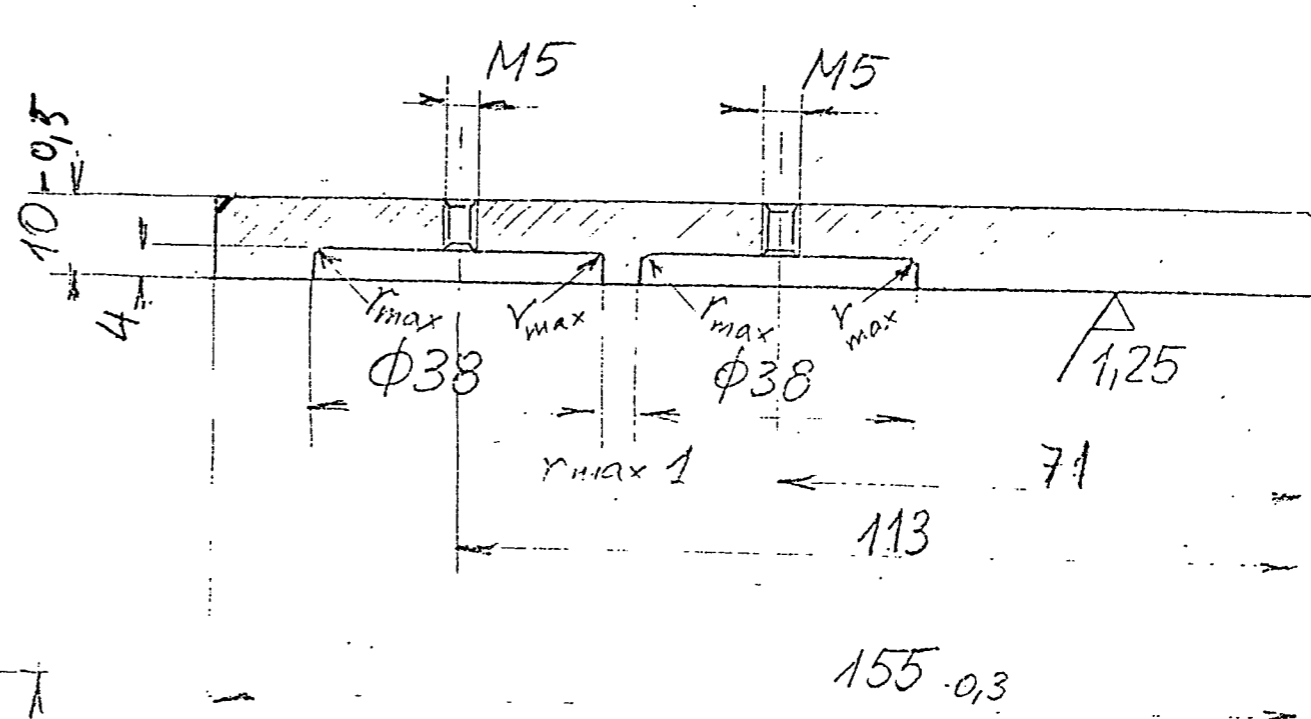


φ8,5
4ofw
Ostre krawędzie
stępie
szk 1
2,5 1,25

| № części lub poz. | Ilość | Nazwa | № | Uwagi |
|----------------------|-------|---|------------------------|----------|
| | | Nazwa | | Skala |
| | | Tuleja Torystkowa | | 1:1 |
| | | PA6 | | |
| | | Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów Warszawa | № rysunku 8065.0.02 | № części |
| | | Kier. Zakładu | | |



B-B



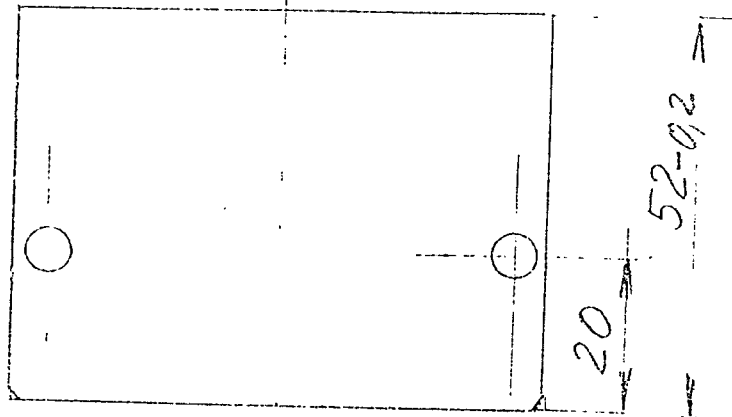
Ostre krawędzie stępic

2,5 / (1,25)
 ✓ (✓)

szk 1
 125

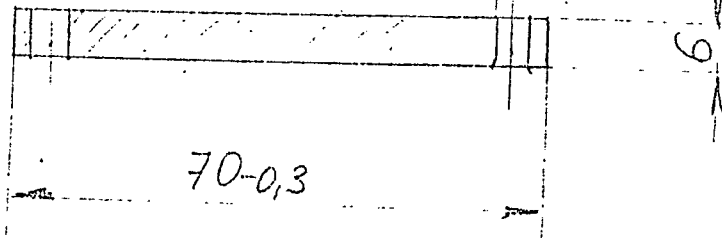
| Nr rysunku | | Ilość | | Nazwa | | Nr | | Uwagi | |
|-----------------|--|--------------|--|-----------------|--|-----------|--|---|--|
| | | | | Nazwa | | Podziałka | | 1:1 | |
| | | | | Pokrywa górna | | Część | | | |
| Projektant | | Ilość zmiany | | Podpis | | Data | | Materiał | |
| WE W. Klimaszko | | | | WE W. Klimaszko | | | | PA6 | |
| Konstruktor | | | | WE W. Klimaszko | | | | PA7 | |
| Sprawdził | | | | | | | | Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów Warszawa | |
| Kier. Pracowni | | | | | | | | Nr rysunku | |
| Kier. Zakładu | | | | | | | | 8065.0.03 | |
| | | | | Zakład | | OAE | | Nr części | |

2x45° - 2 naroża



61±0,1

∅6,3 20kw



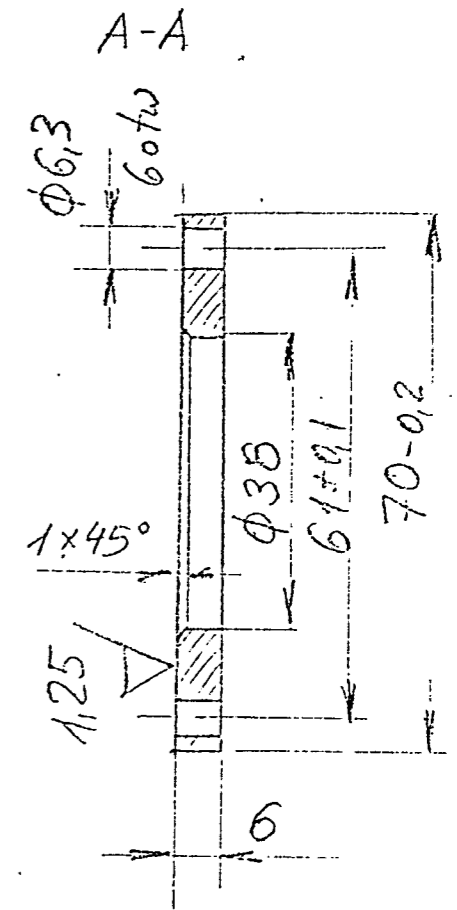
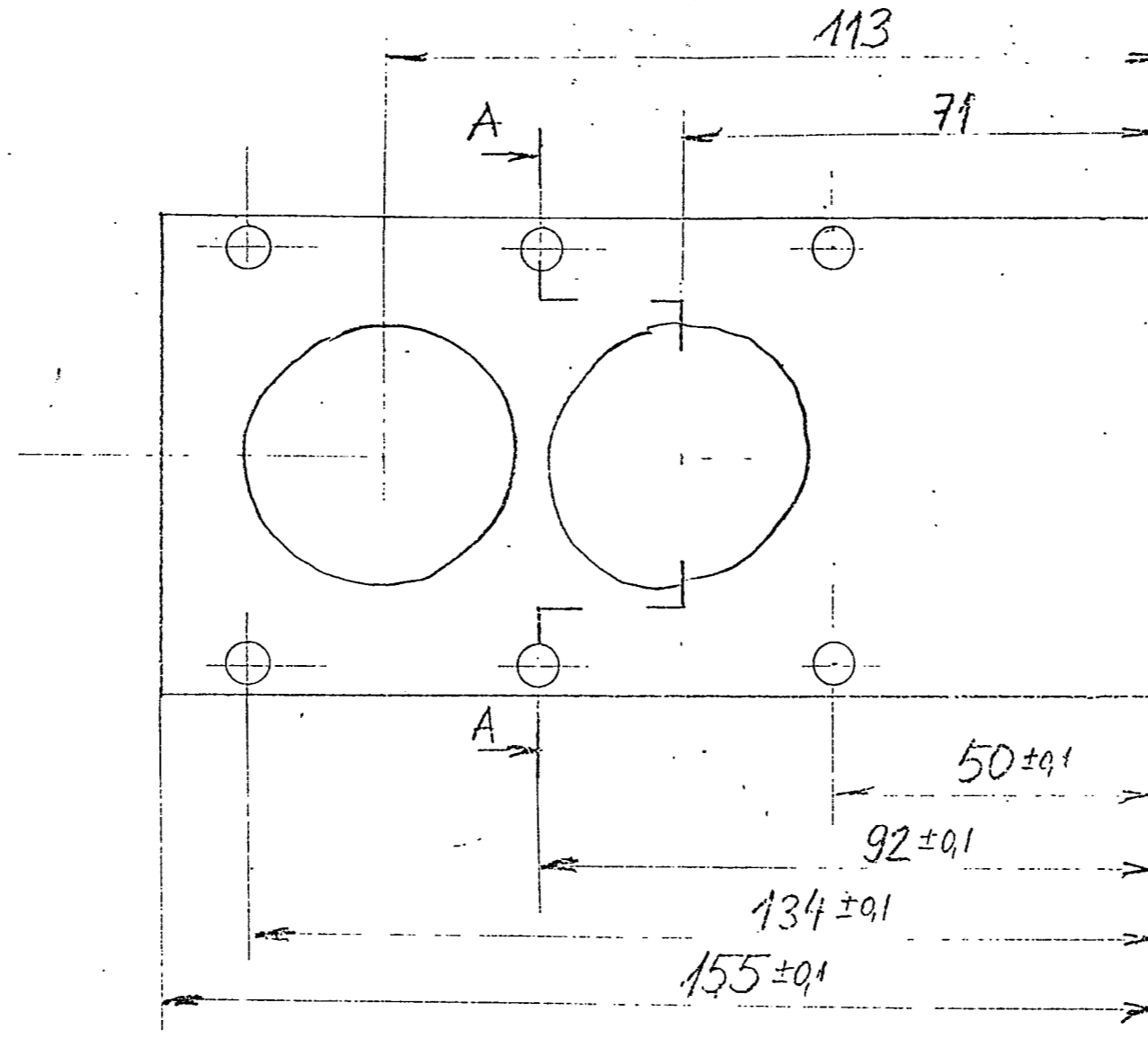
6

2,5 / ∇

osie prowadzące
stepie'

str. 1

| Lp. rysunku lub serii | | Hotel | Materiał | Nr zak. | Uwagi |
|--|--|-------|----------|------------|-----------------|
| Nazwa | | | | | Podstawa |
| Pokrywa tylna | | | | | 1:1 |
| Wykonanie | | | | | Opis |
| WF W. Klimasara | | | | | |
| WF W. Klimasara | | | | | |
| WF | | | | | |
| PA6 | | | | | |
| PA7 | | | | | |
| Instytut Automatyki i Pomiarów Warszawa | | | | | Nr rysunku |
| Kier. Zakładu | | | | | 8065.0.04 |
| Zakład OAF | | | | | 50 ⁴ |

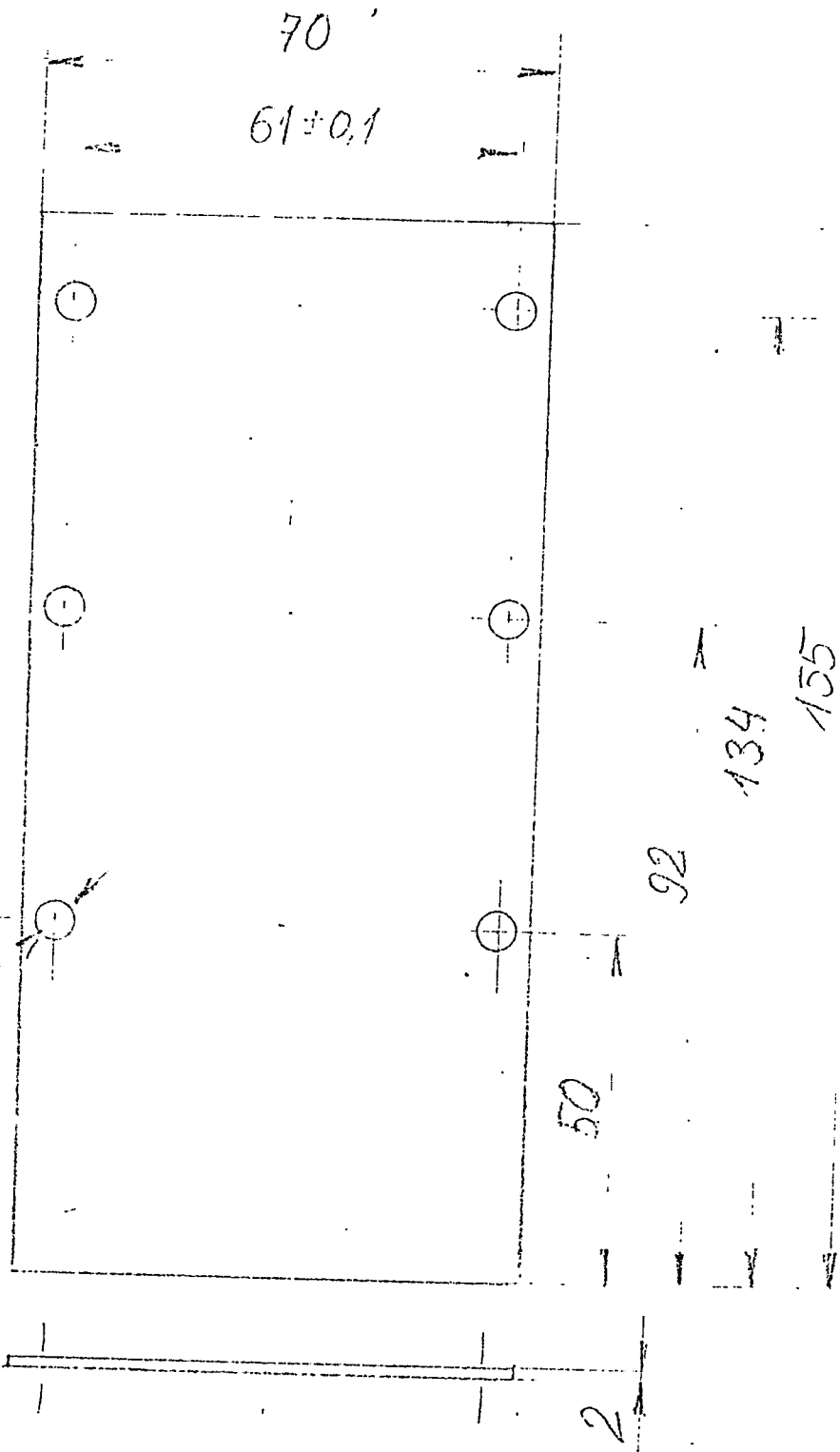


Ostre krawędzie
stępic'

2,5 1,25
∇ (∇)

szt 1

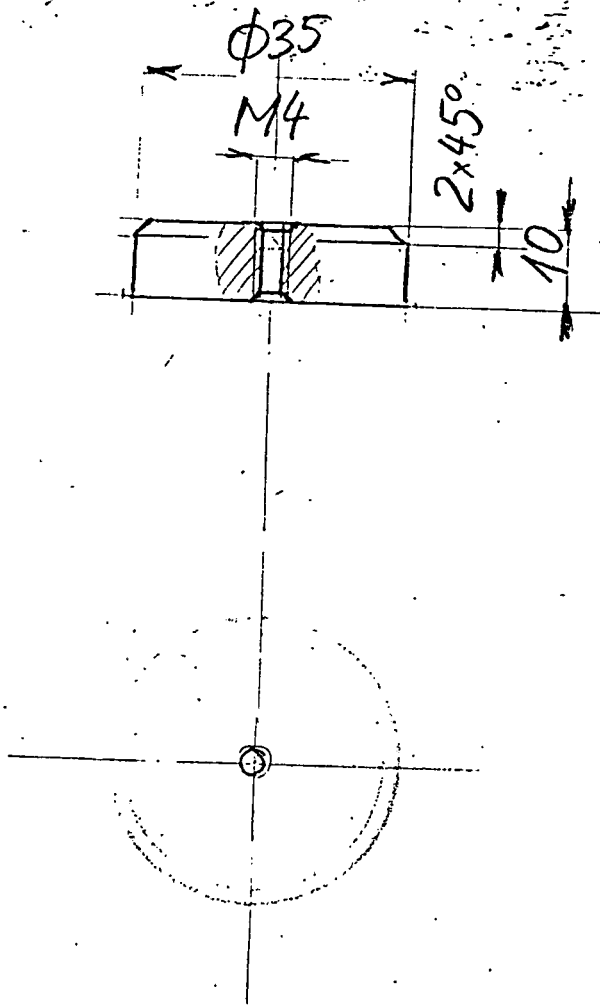
| Nr części lub poz. | Ilość | Nazwa | Nr rys. | Uwagi |
|--------------------|-------|---|----------------------|---------------|
| | | Nazwa | | Skala 1:1 |
| | | Podkładka | | |
| | | PAG | | |
| | | PA7 | | |
| | | Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów Warszawa | | |
| | | | Nr rysunku 8065.0.05 | Nr części 575 |
| | | Kier. Zakładu | Zakład OAE | |



$\phi 6$
6060

set 1

| | | | | | | | |
|---|--|--------|--|------------|--|------------|--|
| Nr części lub rysunku | | Ilość | | Nazwa | | Nr rysunku | |
| Nazwa | | | | | | Podziałka | |
| Podkładka gumowa | | | | | | 1:1 | |
| Treść zmiany | | Podpis | | Data | | Czas | |
| Zaprojektował | | | | | | | |
| Zakonstruował | | | | | | | |
| Wzrost | | | | | | | |
| Zaprojektował | | | | | | | |
| Kier. Pracowni | | | | | | | |
| Kier. Zakładu | | | | | | | |
| Materiał | | | | Nr rysunku | | | |
| guma #2 | | | | 8065.0.06 | | | |
| Przemysłowy Instytut Automatyki i Fenomenów | | | | Zakład | | | |
| Warszawa | | | | OAE | | | |
| | | | | | | 652 | |

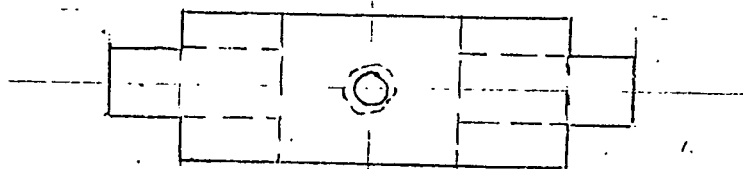
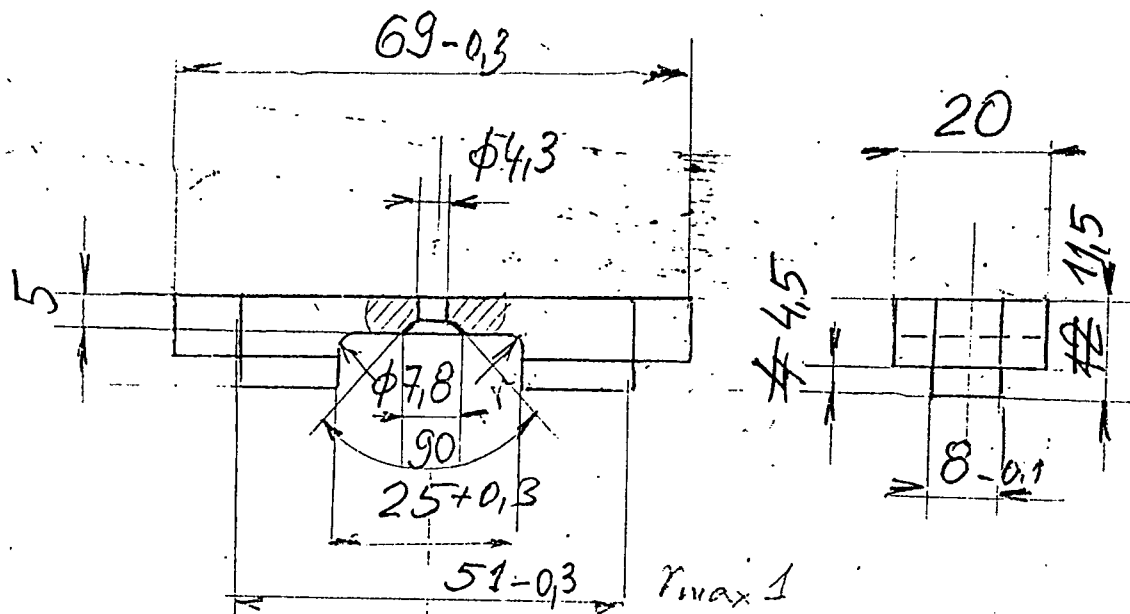


ostre prowadnice
nitować

25
▽

str 2

| Nr części lub rysa | | Ilość | Nazwa | | Nr ark. | Uwagi |
|--|--|--------|-------|----------------|--------------------------|-------|
| Nazwa | | | | | Podziałka | |
| Tłok | | | | | 1/1 | |
| Materiał | | | | | Zastępuje rys. Nr | |
| PA6 PA7 | | | | | Zastąpiono przez rys. Nr | |
| Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów | | | | | Nr rysunku | |
| Warszawa | | | | | 8065.0.07 | |
| Zakład | | | | | 537 | |
| Ilość zmiany | | Podpis | Data | Kier. Pracowni | | |
| W. Klimaszewicz | | | | Kier. Zakładu | | |
| W. Klimaszewicz | | | | | | |
| Sprawdził | | | | | | |

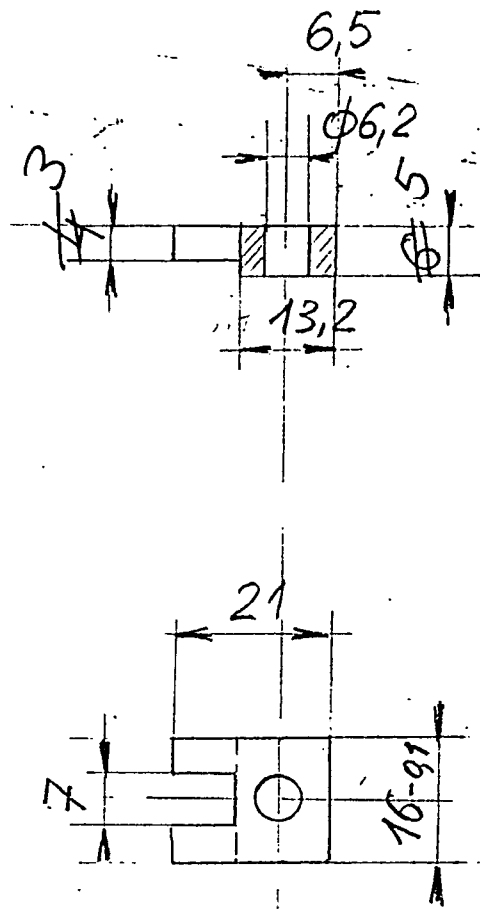


2.5
▽

Ostre krawędzie
stepie

szt 2

| Nr. części lub nazwa | | Nazwa | | Materiał | | Uwagi | |
|-------------------------|--|-------------------|--|---|--|----------------|--|
| Nazwa | | | | Mostek | | Podział 1:1 | |
| Liczba części | | Kod | | Dane | | Czas | |
| Wzrost | | St 3 ÷ 7 | | Zestawienie ry. Nr | | Nr. części | |
| Konsultacja | | WF W. Klimaszczak | | Zestawienie rys. ry. Nr | | Nr. części | |
| Kontrola | | WF W. Klimaszczak | | Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów Warszawa | | Nr. rysunku | |
| Sprawdzil | | | | Zakład OAF | | 8065.0.08 | |
| Kier. Produkcji | | | | | | 57.8 | |
| Kier. Zakładu | | | | | | | |

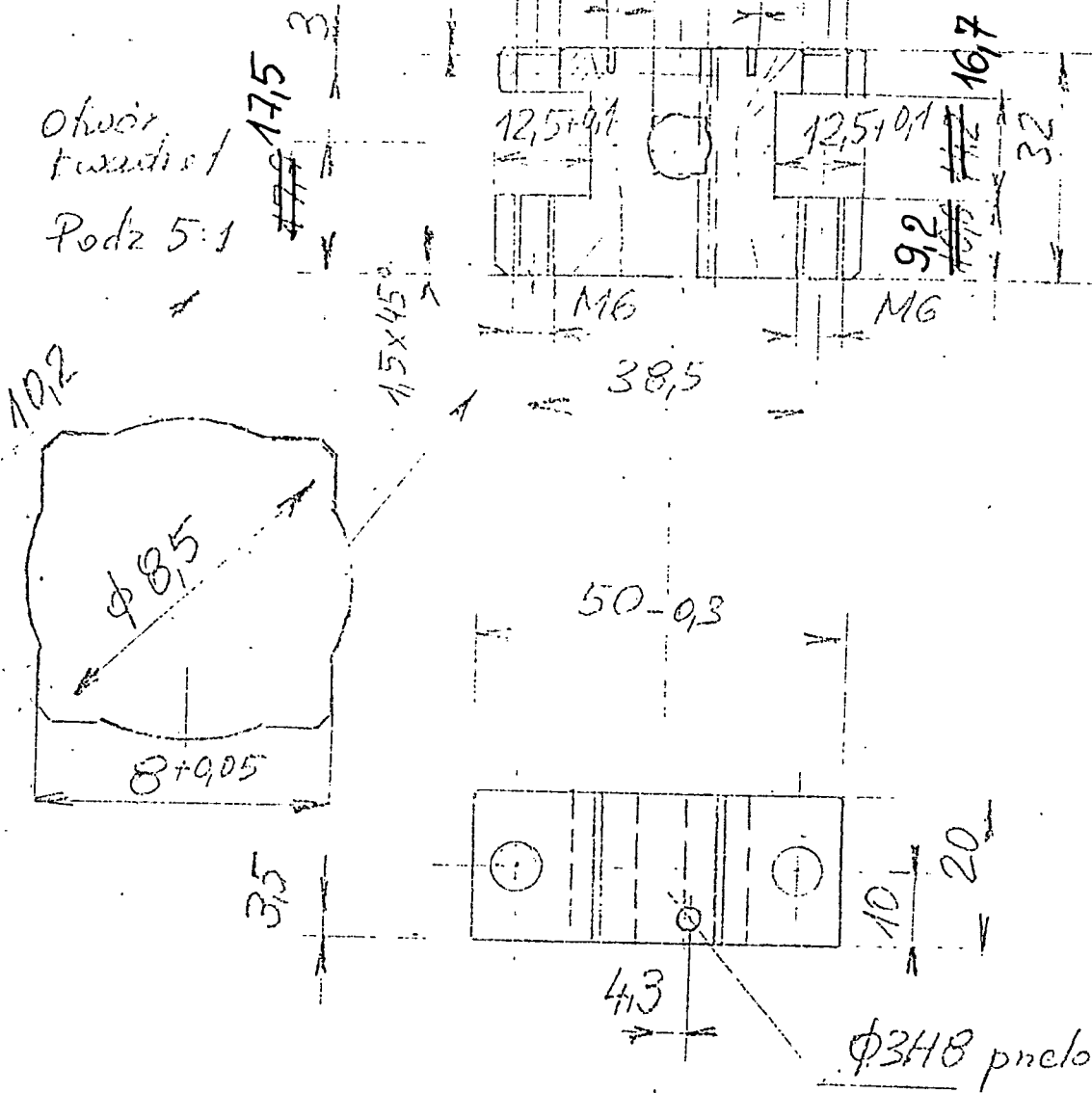


Ostre frezowane stopic' 2,5 ∇

szt 2

| | | | | Nr części lub wersja | Ilość | Nazwa | Nr art. | Uwagi | |
|----------------|--|-------------|--|---|-------|-------|--------------------------|----------|--|
| | | | | Nazwa | | | Podziałka | | |
| | | | | Wspornik | | | 1:1 | | |
| | | | | Materiał | | | Zastępuje rys. Nr | | |
| | | | | PA6 | | | Zastąpiona przez rys. Nr | | |
| | | | | PA7 | | | Nr rysunku | | |
| | | | | Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów Warszawa | | | Nr 8065.0.09 | | |
| | | | | Zakład | | | 559 | | |
| Ilość | | Ilość zmian | | Podpis | | Data | | Materiał | |
| 1 | | WK | | W. Klimaszyn | | | | Materiał | |
| 1 | | WF | | W. Klimaszyn | | | | Materiał | |
| 1 | | WF | | | | | | Materiał | |
| Sprawdz. | | | | | | | | Materiał | |
| Kier. Pracowni | | | | | | | | Materiał | |
| Kier. Zakładu | | | | | | | | Materiał | |

Okwiar
tworzywa
Podz 5:1

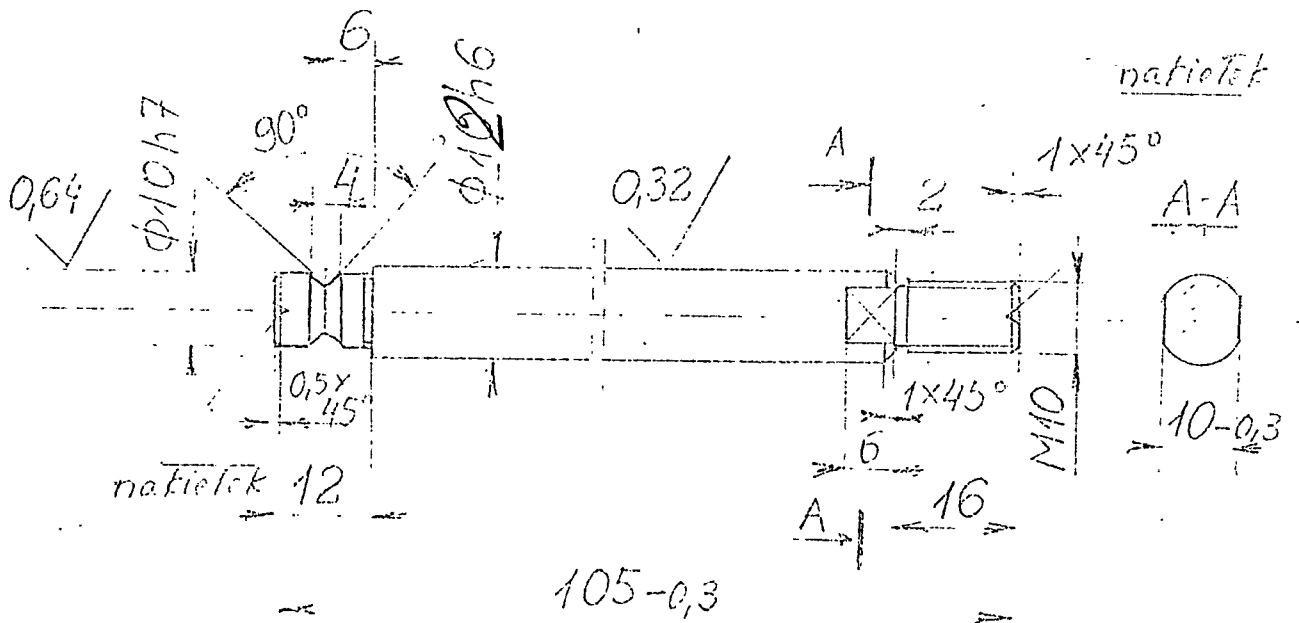


Ostre
krawędzie
stepic

sól

2,5
∇

| | | | | Nr rysunku lub ozn. | Ilość | Nazwa | Nr zak. | Uwagi |
|--|--|--|--|---|-------|-------|--------------------------|-------|
| | | | | Nazwa | | | Podobnie | |
| | | | | Uchwyt tylny | | | 1:1 | |
| | | | | | | | Ciepior | |
| | | | | | | | Nr zak. | |
| | | | | | | | Zastąpiono przez rys. Nr | |
| | | | | | | | Zastąpiono przez rys. Nr | |
| | | | | | | | Nr rysunku | |
| | | | | | | | Nr części | |
| | | | | Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów Warszawa | | | 8065.0.11 | |
| | | | | Zakład OAF | | | 11 | |
| | | | | | | | 57 | |



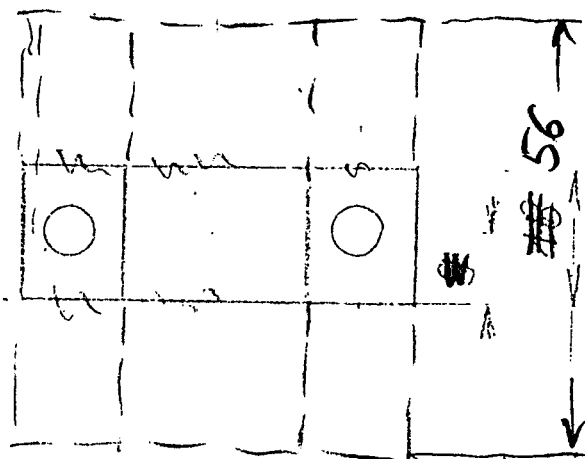
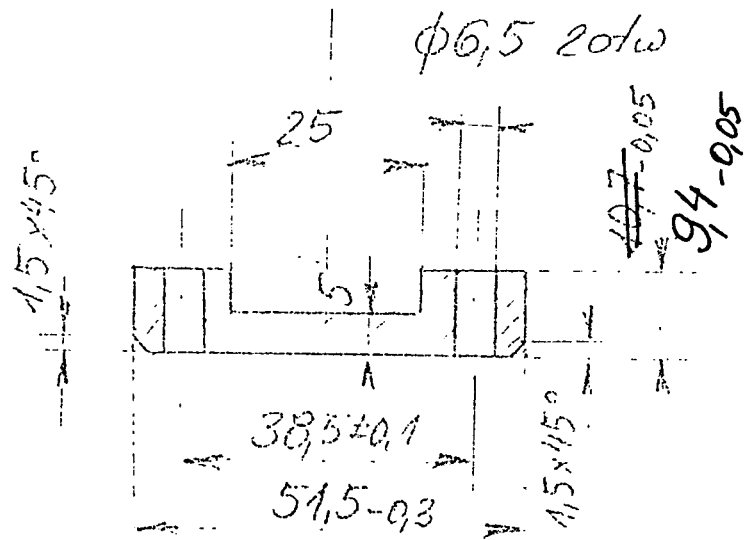
Flanowar 60 HRC

5 / ($\sqrt{0,32}$, $\sqrt{0,64}$)

Ostre frawdnic
stępic'

sz 1

| Znak miej. | | Ref. akten | Stronę zmiany | Podpis | Data | Nr specyfikacji lub rys. | Ilość | Nazwa | Nr cz. | Uwagi |
|---------------|--|---------------|------------------|--------|------|---|-------|-------|-----------------------------|-------|
| | | | | | | Nazwa | | | Podziałka 1:1 | |
| | | | | | | Prowadnica bieźni | | | Ciepota | |
| | | | | | | Materiał | | | Zastępuje rys. Nr | |
| | | | | | | ŁH15 (NC10) | | | Zastępieno pracę rys. Nr | |
| | | | | | | Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów Warszawa | | | Nr rysunku | |
| | | | | | | Zakład OAE | | | 8065.0.12 | |
| | | | | | | | | | 12 | |
| | | | | | | | | | 58 | |



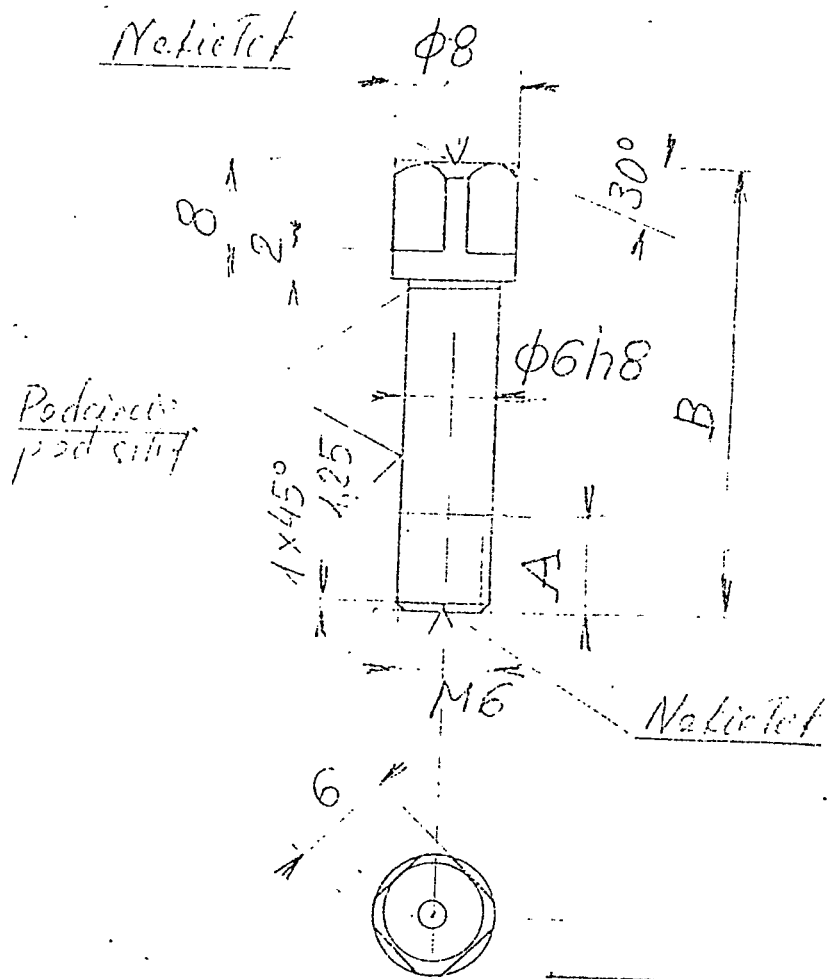
Ośrodek prowadzić

stopie 25



sit 1

| Lp. pozycji | | Klasa | | Nazwa | | Miejsce | | Uwagi | |
|---|--|-------|--|-------|--|---------------|--|-------|--|
| Podstawka | | | | | | Podziałka 1:1 | | | |
| PA6 | | | | | | | | | |
| PA7 | | | | | | | | | |
| Pracownicy Instytutu Automatyki i Pomiarów Warszawa | | | | | | Nr zadania | | | |
| Zakład OAF | | | | | | 8065.0.13 | | | |
| Kier. Pracowni | | | | | | 13 | | | |
| Kier. Zakładu | | | | | | 59 | | | |

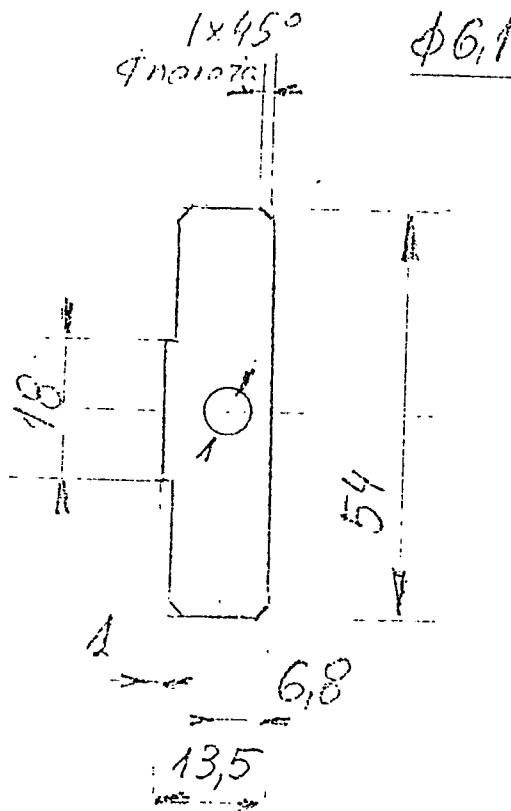


| Wym Wyk | A | B | |
|------------|----|----|-------|
| I | 10 | 40 | szt 4 |
| II | 12 | 50 | szt 2 |

Ulepszać ~ 40HRC
Ostre krawędzie
stepic

2,5 / (1,25)
✓ (✓)

| Nr części lub poz. | | Ilość | Nazwa | Nr art. | Uwagi |
|---|------|--------------|-------------------------|------------|-------|
| Nazwa | | | Szuba wienicowa | | |
| Materiał | | | Stal 45 | | |
| Przerobiony Instytut Automatyki i Pomiarów Warszawa | | | Nr rysunku 8065.0.14 | | |
| Zakład | | | 60 14 | | |
| Inst. | Asp. | Ilość zmiany | Podpis | Data | |
| | | WK | W. Klimaszczak | | |
| | | WK | W. Klimaszczak | | |
| | | WK | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |



$\neq 0,22$

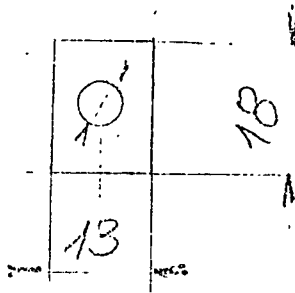
6 sze. drzewiane
stepic

szt 66

| Nr części lub poz. | | Ilość | Nazwa | | Nr ark. | Uwagi |
|-----------------------|--|--------|-------|---|-----------------------------|----------------|
| Nazwa | | | | | Podstawa | |
| Płyta sprzęgła | | | | | 1/1 | |
| | | | | | Ciepła | |
| Ilość zmiany | | Podpis | Data | Materiał | Zastępuje rys. Nr | Nr ark. |
| WK W. Klimaszak | | | | Brz $\neq 0,22$ | | |
| WK W. Klimaszak | | | | B7 | Zastępieno przez rys. nr | Nr rys. techn. |
| | | | | Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów Warszawa | Nr rysunku | Nr części |
| | | | | Zakład OAE | 8065.0.16 | 16 |

61

φ6,2

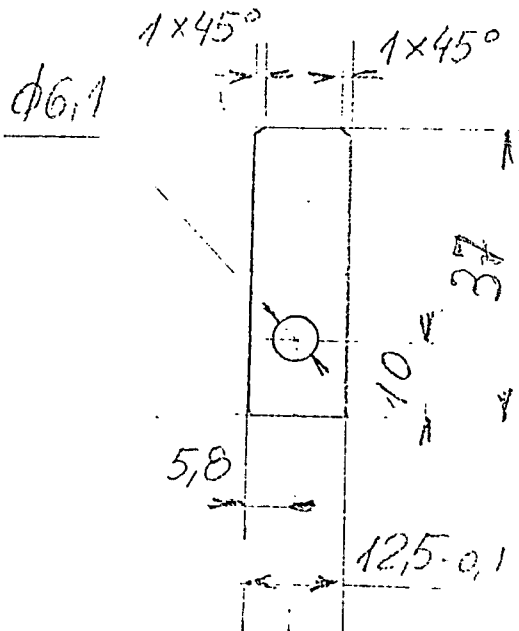


~~φ0,25~~
0,3

Ostre prowadnie
stepie'

str 64

| Znak | | Baki | | Nazwa | | Numer | | Uwagi | |
|----------------|--|----------------|--|---|--|--------------------------------|--|------------------|--|
| Lokalizacja | | Rodzaj | | Nazwa | | Numer | | Uwagi | |
| | | | | Przekładka | | | | Podziałka 4:1 | |
| | | | | | | | | Ciepło | |
| Znak | | Baki | | Metoda | | Zasiglowanie | | Nr rysunku | |
| Lokalizacja | | Rodzaj | | Braz φ0,25 B7 φ0,30 | | Zasiglowanie przez otw. br. | | 8065.0.17 | |
| Kierownik | | W.K. Klimaszyn | | Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów Warszawa | | Nr rysunku | | 17 | |
| Sprawdził | | W.K. | | Zakład | | | | 62 | |
| Kier. Pracowni | | | | | | | | | |
| Kier. Zakładu | | | | | | | | | |



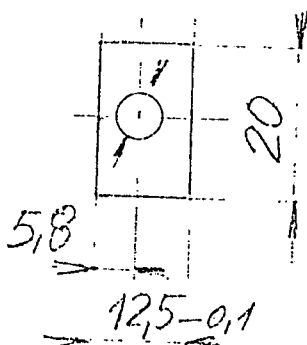
~~≠~~
0,22

Ostre trawienie
stepic'

szk 128.

| | | | | Nr rysunku lub poz. | Ilość | Nazwa | Nr zak. | Uwagi |
|----------------|--|--------------|--|---|-------|-------|-----------------------------|-------|
| | | | | Nazwa | | | Podziałka 1:1 | |
| | | | | Płyta sprężyta | | | Ciętar | |
| | | | | Materiał | | | Zastępuje rys. Nr | |
| | | | | Brz ≠ B7 ≠ 0,22 | | | Zastąpiono przez rys. Nr | |
| | | | | Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów Warszawa | | | Nr rysunku | |
| | | | | Zakład OAE | | | 8065.0.18 | |
| | | | | | | | 18 | |
| | | | | | | | 63 | |
| Projektował | | W. Klimaszko | | | | | | |
| Konstruował | | W. Klimaszko | | | | | | |
| Kreślił | | W. Klimaszko | | | | | | |
| Sprawdził | | | | | | | | |
| Kier. Pracowni | | | | | | | | |
| Kier. Zakładu | | | | | | | | |

$\phi 6,2$



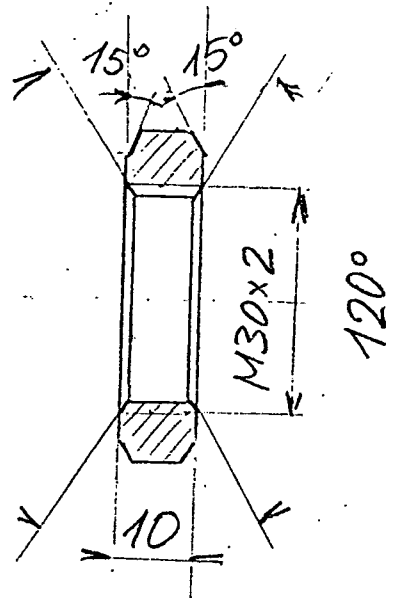
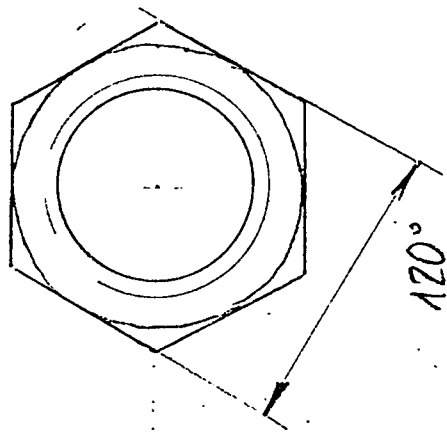
$\neq \phi 2,5$
0,3

Ostre krawędzie
stępnie

str 124

| Nr czajki lub poz. | | Ilość | Nazwa | Nr art. | Uwagi |
|-----------------------|--|------------------|------------|---|----------------------------|
| Nazwa | | | Przekładka | | Podziałka 1:1 |
| Tytuł | | | | | Ciętar |
| Tytuł | | Podpis | Data | Materiał | Zastępuje rys. Nr |
| WF W. Kłopotajko | | WF W. Kłopotajko | | Brąz $\neq \phi 2,5$ | Nr art. |
| WF W. Kłopotajko | | WF W. Kłopotajko | | B7 $\neq \phi 30$ | Zastępuje przekrys. 1:1 |
| WF W. Kłopotajko | | WF W. Kłopotajko | | Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów Guzanera | Nr rysunku |
| Sprawdził | | | | | Nr czajki |
| Kier. Prac. | | | | | 8065.0.19 |
| Kier. Zakładu | | | | Zakład OAE | 19 |

64



Ostre krawędzie
stępic'

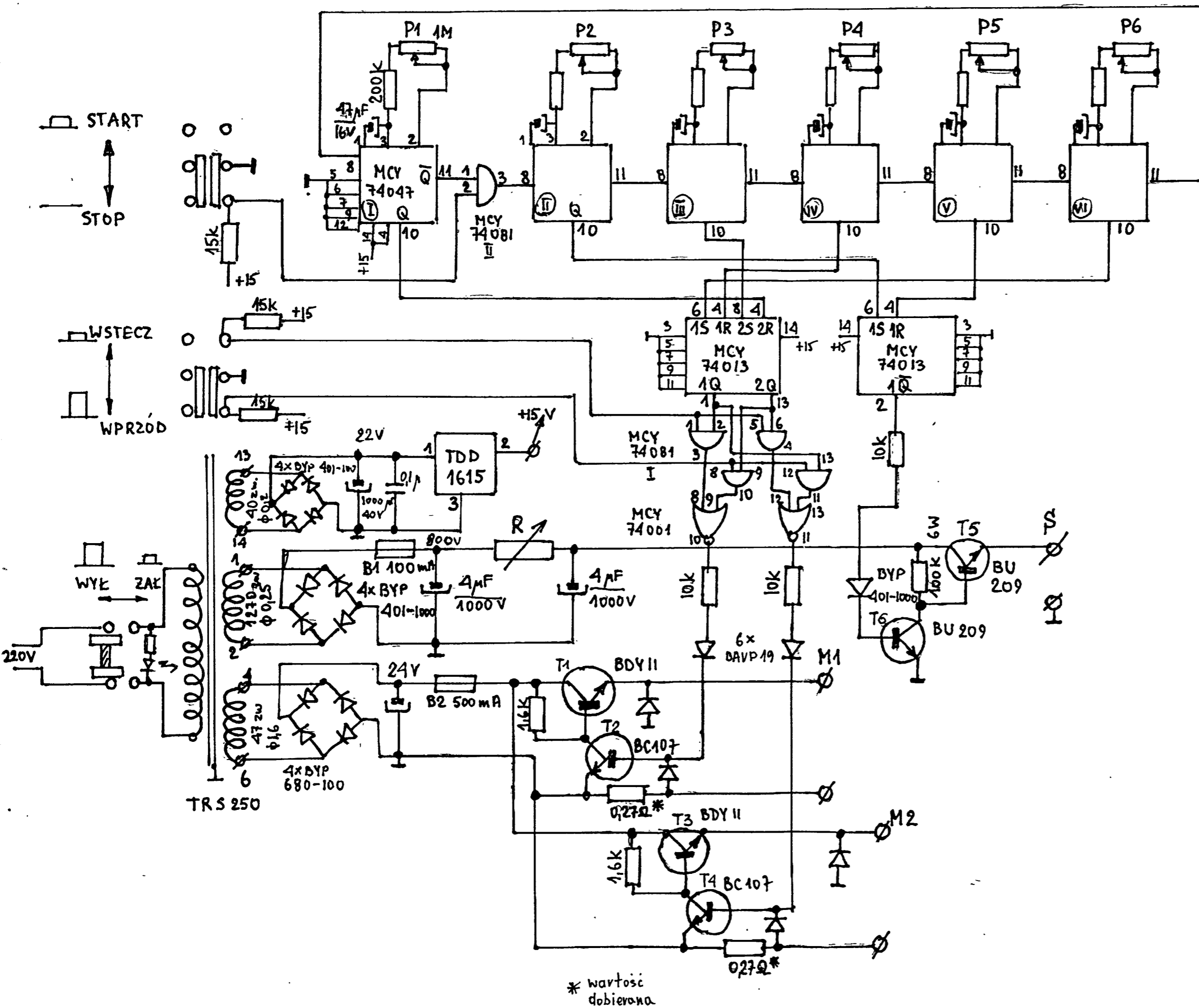
2,5
▽

szk1

| Znak i data pomiaru, uwagi | | Ilość | Nazwa | Nr ark. | Uwagi |
|-------------------------------|--|---------|--|----------------------------|-----------------|
| | | | Nazwa | | Podstawa 1:1 |
| | | | | | Ciężar |
| Ilość części | | rodzaje | Wzrost | Zastąpiła rys. Nr | Nr ark. |
| Projektował | | | M063 | Zastąpiła przez rys. Nr | Nr rys. sent. |
| Kierował | | | | | |
| Kreślił | | | | | |
| Sprawdził | | | Przemysław Instytut Automatyki i Pomiarów Warszawa | Nr rysunku | Nr części |
| Kier. Pracowni | | | | 8065.0.20 | |
| Kier. Zakładu | | | Zakład | | 65-20 |

DOKUMENTACJA SZKICOWA
(SCHEMAT)

modelu wzmacniacza sterującego



ZALĄCZNIK 5

KARTY POMIARÓW

PROTOKÓŁ POMIARÓW PRZESUNIĘCIA

$U_s = 710 \text{ V}$; $F = 0 \text{ N}$; kierunek ruchu: + (w przód)

| NR KROKU | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| U mV | 100 | 180 | 280 | 380 | 480 | 570 | 660 | 750 | 850 | 940 |
| X μm | 45,9 | 82,5 | 128,4 | 174,3 | 220,2 | 261,5 | 302,8 | 344,0 | 389,9 | 431,2 |

$U_s = 710 \text{ V}$; $F = 0 \text{ N}$; kierunek ruchu: - (wstecz)

| NR KROKU | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| U mV | -50 | -80 | -120 | -150 | -200 | -230 | -270 | -300 | -350 | -380 |
| X μm | -25,3 | -40,4 | -60,6 | -75,6 | -101,0 | -116,2 | -136,4 | -151,5 | -176,8 | -191,9 |

$U_s = 710 \text{ V}$; $F = 50 \text{ N}$; kierunek ruchu: + (w przód)

| NR KROKU | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| U mV | 58 | 149 | 190 | 254 | 314 | 384 | 454 | 514 | 586 | 665 |
| X μm | 26,6 | 68,4 | 87,2 | 116,5 | 144,0 | 176,2 | 208,3 | 235,8 | 268,8 | 305,0 |

$U_s = 710 \text{ V}$; $F = 50 \text{ N}$; kierunek ruchu: - (wstecz)

| NR KROKU | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|------|------|
| U mV | -40 | -80 | -121 | -162 | -210 | -255 | -300 | -344 | -384 | -420 |
| X μm | -20,2 | -40,4 | -61,1 | -81,8 | -106,8 | -128,8 | -151,5 | -173,7 | -194 | -212 |

$U_s = 710 \text{ V}$; $F = 100 \text{ N}$; Kierunek ruchu: + (w przód)

| NR KROKU | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| U mV | 23 | 66 | 107 | 158 | 207 | 257 | 308 | 358 | 411 | 457 |
| X μm | 10,55 | 30,1 | 49,1 | 72,5 | 95,0 | 117,9 | 141,3 | 164,2 | 188,5 | 209,6 |

19

PROTOKÓŁ POMIARÓW PRZEŚUNIĘCIA

$U_s = 710 \text{ V}$; $F = 100 \text{ N}$; kierunek ruchu: - (wstecz)

| NR KROKU | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| U mV | -13 | -32 | -60 | -89 | -117 | -147 | -173 | -204 | -233 | -261 |
| X μm | -6,6 | -16,2 | -30,3 | -44,9 | -59,1 | -74,2 | -87,4 | -103 | -118 | -132 |

$U_s = 710 \text{ V}$; $F = 150 \text{ N}$; kierunek ruchu: + (w przód)

| NR KROKU | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| U mV | 38 | 86 | 127 | 173 | 217 | 264 | 317 | 364 | 407 | 452 |
| X μm | 17,4 | 39,5 | 58,3 | 79,4 | 99,5 | 121,1 | 145,4 | 167,0 | 186,7 | 207,3 |

$U_s = 710 \text{ V}$; $F = 150 \text{ N}$; kierunek ruchu: - (wstecz)

| NR KROKU | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| U mV | -2 | -11 | -22 | -32 | -44 | -57 | -69 | -81 | -95 | -109 |
| X μm | -1,0 | -5,6 | -11,1 | -16,2 | -22,2 | -28,8 | -34,8 | -40,9 | -48,0 | -55,0 |

$U_s = 710 \text{ V}$; $F = 200 \text{ N}$; kierunek ruchu: + (w przód)

| NR KROKU | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| U mV | 28 | 53 | 88 | 121 | 157 | 193 | 228 | 274 | 307 | 344 |
| X μm | 12,8 | 24,3 | 40,4 | 55,5 | 72,0 | 88,5 | 104,6 | 125,7 | 140,8 | 157,8 |

$U_s = 710 \text{ V}$; $F = 250 \text{ N}$; Kierunek ruchu:

| NR KROKU | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| U mV | 26 | 46 | 70 | 96 | 122 | 147 | 173 | 196 | 220 | 243 |
| X μm | 11,9 | 21,1 | 32,1 | 44,0 | 56,0 | 67,4 | 79,4 | 89,5 | 100,9 | 111,5 |

PROTOKÓŁ POMIARU PRZESUNIĘCIA

$U_s = 600 \text{ V}$; $F = 0 \text{ N}$; kierunek ruchu: + (w przód)

| NR KROKU | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| U mV | 70 | 139 | 207 | 275 | 341 | 408 | 474 | 539 | 603 | 667 |
| X μm | 32,1 | 63,8 | 95,0 | 126,2 | 156,4 | 187,2 | 217,4 | 247,3 | 276,6 | 306 |

$U_s = 600 \text{ V}$; $F = 0 \text{ N}$; kierunek ruchu: - (wstecz)

| NR KROKU | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|
| U mV | -54 | -105 | -156 | -206 | -255 | -304 | -354 | -402 | -450 | -499 |
| X μm | -27,3 | -53,0 | -78,8 | -104,0 | -128,8 | -153,5 | -178,8 | -203,0 | -227,3 | -252 |

$U_s = 600 \text{ V}$; $F = 50 \text{ N}$; kierunek ruchu: + (w przód)

| NR KROKU | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| U mV | 42 | 90 | 131 | 195 | 245 | 295 | 360 | 402 | 446 | 498 |
| X μm | 19,3 | 41,3 | 60,1 | 89,5 | 112,4 | 135,3 | 165,1 | 184,4 | 204,6 | 228,4 |

$U_s = 600 \text{ V}$; $F = 50 \text{ N}$; kierunek ruchu: - (wstecz)

| NR KROKU | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| U mV | -28 | -62 | -98 | -135 | -172 | -208 | -245 | -282 | -318 | -354 |
| X μm | -14,2 | -31,3 | -49,5 | -68,2 | -86,9 | -105,0 | -123,8 | -142,4 | -160,6 | -178,8 |

$U_s = 600 \text{ V}$; $F = 100 \text{ N}$; kierunek ruchu: + (w przód)

| NR KROKU | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| U mV | 28 | 68 | 110 | 149 | 191 | 230 | 277 | 312 | 355 | 399 |
| X μm | 12,8 | 31,2 | 50,5 | 68,3 | 87,6 | 105,5 | 127,1 | 143,1 | 162,8 | 183,0 |

PROTOKÓŁ POMIARU PRZESUNIĘCIA

$U_s = 600 \text{ V}$; $F = 100 \text{ N}$; kierunek ruchu: - (wstecz)

| NR KROKU | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| U mV | 3 | 19 | 38 | 63 | 86 | 113 | 138 | 163 | 188 | 212 |
| X μm | 1,5 | 9,6 | 19,2 | 31,8 | 43,4 | 57,1 | 69,7 | 82,3 | 95,0 | 107,0 |

$U_s = 600 \text{ V}$; $F = 150 \text{ N}$; kierunek ruchu: + (w przód)

| NR KROKU | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|-------|-----|-----|-----|
| U mV | 32 | 65 | 97 | 131 | 165 | 198 | 237 | 281 | 305 | 331 |
| X μm | 14,7 | 29,8 | 44,5 | 60,1 | 76,7 | 90,8 | 108,7 | 129 | 140 | 152 |

$U_s = 600 \text{ V}$; $F = 125 \text{ N}$; kierunek ruchu: - (wstecz)

| NR KROKU | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| U mV | 23 | 38 | 58 | 80 | 98 | 119 | 135 | 154 | 175 | 194 |
| X μm | 11,6 | 19,2 | 29,3 | 40,4 | 49,5 | 60,1 | 68,2 | 77,8 | 88,4 | 98 |

$U_s = 600 \text{ V}$; $F = 200 \text{ N}$; kierunek ruchu: + (w przód)

| NR KROKU | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|----|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| U mV | 37 | 65 | 82 | 107 | 130 | 165 | 194 | 224 | 250 | 278 |
| X μm | 17 | 29,8 | 37,6 | 49,1 | 59,6 | 75,7 | 89,0 | 102,8 | 114,7 | 127,5 |

$U_s = 600 \text{ V}$; $F = 250 \text{ N}$; kierunek ruchu: + (w przód)

| NR KROKU | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|-----|------|----|------|------|------|------|------|------|------|
| U mV | 16 | 34 | 50 | 73 | 89 | 105 | 125 | 145 | 161 | 178 |
| X μm | 7,3 | 15,6 | 23 | 33,5 | 40,8 | 48,2 | 57,3 | 66,5 | 73,9 | 81,7 |

PROTOKOŁ POMIARU PRZESUNIĘCIA

$U_s = 400 \text{ V}$; $F = 0 \text{ N}$; kierunek ruchu: + (W przód)

| NR KROKU | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|------|----|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| U mV | 49 | 98 | 143 | 191 | 238 | 284 | 329 | 375 | 421 | 467 |
| X μm | 22,5 | 45 | 65,6 | 87,6 | 109,2 | 130,3 | 150,9 | 172,0 | 193,0 | 214,0 |

$U_s = 400 \text{ V}$; $F = 0 \text{ N}$; kierunek ruchu: - (Wstecz)

| NR KROKU | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| U mV | -32 | -65 | -96 | -128 | -159 | -190 | -221 | -252 | -283 | -314 |
| X μm | -16,2 | -32,8 | -48,5 | -64,6 | -80,3 | -96,0 | -111,6 | -127,3 | -143,0 | -158,6 |

$U_s = 400 \text{ V}$; $F = 50 \text{ N}$; kierunek ruchu: + (W przód)

| NR KROKU | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-----|
| U mV | 43 | 80 | 115 | 143 | 178 | 224 | 267 | 297 | 330 | 364 |
| X μm | 19,7 | 36,7 | 52,8 | 65,6 | 81,7 | 102,8 | 122,5 | 136,2 | 151,4 | 167 |

$U_s = 400 \text{ V}$; $F = 50 \text{ N}$; kierunek ruchu: - (Wstecz)

| NR KROKU | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| U mV | -11 | -31 | -52 | -73 | -95 | -117 | -138 | -161 | -182 | -203 |
| X μm | -5,6 | -15,7 | -26,3 | -36,9 | -48,0 | -59,1 | -69,7 | -81,3 | -91,9 | -102,5 |

$U_s = 400 \text{ V}$; $F = 100 \text{ N}$; Kierunek ruchu: + (W przód)

| NR KROKU | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|-----|------|------|----|-----|------|------|------|-------|-------|
| U mV | 15 | 38 | 56 | 83 | 109 | 142 | 174 | 192 | 232 | 256 |
| X μm | 6,9 | 17,4 | 25,7 | 38 | 50 | 65,1 | 79,8 | 88,1 | 106,4 | 117,4 |

Załącznik Nr 6
CPBR 7.1
Cel 210

HARMONOGRAM TEMATU: Piezoelektryczny mikroprzetwornik wykonawczy dla robotów przemysłowych.
.....
..... stanowiący załącznik do umowy nr z dnia 19 r .

| Lp. | Wyszczególnienie etapu | Wykonawca | Wynagrodzenie wykonawcy za dany etap | Termin zakończenia etapu |
|------|--|------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| 3. | Opracowanie i wykonanie prototypu głowicy współrzędnościowej o napędzie piezoelektrycznym do chwytaka robota oraz urządzenia sterująco-zasilającego. | | | 31.10.1991 |
| 3.1. | Opracowanie założeń do budowy prototypów głowicy i zasilacza | OAE, OAR + ORC | | 31.01.1991 |
| 3.2. | Wykonanie dokumentacji technicznej do prototypu głowicy | OAE+OAR | | 30.04.1991 |
| 3.3. | Wykonanie dokumentacji technicznej i prototypu urządzenia sterująco-zasilającego | OAE+ORC | | 31.10.1991 |
| 3.4. | Wykonanie prototypu głowicy | OAE+OAR | | 31.10.1991 |
| 4. | Badania prototypów głowicy współrzędnościowej o napędzie piezoelektrycznym do chwytaka robota oraz urządzenia sterująco-zasilającego | | | 30.04.1992 |
| 4.1. | Badania pełne | OAE+OBN+ OAR+ORC | | 28.02.1992 |
| 4.2. | Opracowanie programu użytkowego do współpracy z robotem | OAE | | 28.02.1992 |
| 4.3. | Badania współpracy z robotem | OAE | | 30.04.1992 |

PHH-130785-507

Kierownik Zakładu

Kierownik Działu
Planowania

D Y R E K T O R