6638

PRZEMYSŁOWY INSTYTUT AUTOMATYKI I POMIARÓW
MERA-PIAP
Al. Jerozolimskie 202 02-222 Warszawa Telefon 23-70-81

ZESPÓŁ AUTOMATYKI ELEKTRONICZNEJ

074

Główny wykonawca prof. dr inż. Tadeusz Missala

Wykonawcy mgr inż. Wojciech Klimasara
prof.dr Tadeusz Missala

Konsultant —

Nr zlecenia K-210

Piezoelektryczny mikroprzetwornik wykonawczy dla robotow przemysłowych. Opracowanie i wykonanie prototypu zespołu napędowego piezoelektrycznego do zwierciadła uchylnego spawarek laserowych dla robotów i urządzenia sterująco-zasilającego.

Pkt.kontr.Nr 2. Wykonanie dokumentacji technicznej do prototypu zespołu napędowego.

Zleceniodawca
Komitet Badań Naukowych

Pracę rozpoczęto dnia 01.01.1991 **zakończono dnia** 28.02.1991

Z-ca Dyrektora d/s Badawczo-Rozwojowych
dr inż. J.Jabłkowski

Kierownik Zespołu
doc.dr inż. J.Korytkowski

Praca zawiera:		**Rozdzielnik - ilość egz:**	
stron	12	**Egz. 1**	BOINTE
rysunków	4	**Egz. 2**	ZAE
fotografii	–	**Egz. 3**	OAR
tabel	–	**Egz. 4**	ORC
tablic	–	**Egz. 5**	
załączników	2	**Egz. 6**	
Nr rejestr.	6638		

Analiza deskryptorowa

~~ZJAWISKO~~ PIEZOELEKTRYCZNE (KA)
+ PRZETWORNIKI ~~WYKONAWCZE~~ + ROBOTY PRZEMYSŁOWE + SPAWARKI + LASERY.

Analiza dokumentacyjna

Przedstawiono dokumentację wykonawczą mikroprzesuwnika napędzającego lustro skansera dla spawarki laserowej lub innych urządzeń optycznych (mikroskopów, urządzeniach do nanoszenia napisów itp.). Dokumentacja zawiera obliczenia oraz rysunki warsztatowe.

Tytuły poprzednich sprawozdań

1. Piezoelektryczny mikroprzetwornik wykonawczy dla robotów przemysłowych P.K.1. Rozpoznanie stanu techniki na świecie na podstawie literatury i opsów patentowych. Rozpoznanie dostępności materiałów. Opracowanie założeń do budowy modelu laboratoryjnego mikroprzetwornika. Nr rej.6417
2. Piezoelektryczny mikroprzetwornik wykonawczy dla robotów przemysłowych.P.K.2 Opracowanie dokumentacji szkicowej,wykonanie i badania wstępne modelu laboratoryjnego mikroprzetwornika i bloku sterowania. Określenie zakresu i harmonogramu dalszych prac. **Nr rej.6543**
3. Piezoelektryczny mikroprzetwornik wykonawczy dla robotów przemysłowych.P.K.1.Opracowanie i wykonanie prototypu zespołu napędowego piezoelektrycznego do zwierciadła uchylnego spawarek laserowych dla robotów i urządzenia sterująco-zasilającego.
   1.1. Opracowanie założeń do budowy prototypów zespołu napędowego i zasilacza. **Nr rej.6610**

621.3.082.75 Zjawisko piezoelektryczne
UKD 338.45:62/69:002 11.2 Roboty przemysłowe
PIAP 41/88 10000

SPIS TREŚCI

1. Wstęp
2. Obliczenia parametrów geometrycznych skanera.
2.1. Określenie sztywności sprężyny zwrotnej.
2.2. Określenie długości ramienia dźwigni.
2.3. Określenie obciążenia przetwornika siłami bezwładności.
2.4. Określenie wymiarów geometrycznych sprężyny zwrotnej.
2.4.1. Maksymalne naprężenia w sprężynie.
2.4.2. Grubość sprężyny.
3. Wyznaczenie częstotliwości rezonansowej.
4. Wnioski.
5. Literatura.
Załączniki:
1. Parametry przetwornika PND-50/800.
2. Dokumentacja konstrukcyjna skanera.

1.Wstęp

1. W sprawozdaniu nr 6610 przedstawiono schemat konstrukcyjny głowicy skanera (Rys.8).
   Zwierciadło jest zamocowane na dźwigni dwuramiennej. Jeden z końców dźwigni połączony jest łącznikiem z dźwignią jednoramienną na którą działa trzpień przetwornika piezoelektrycznego napięcie-deformacja.
2. Po wstępnej analizie powyższego rozwiązania autorzy doszli do wniosku, że konstrukcja powyższa posiada tą wadę, że jest zbyt skomplikowana wykonawczo, zaś złożony łańcuch kinematyczny oraz związane z nim masy mogą ograniczyć częstotliwość rezonansową skanera do wartości uniemożliwiającej jego stabilną pracę przy założonej częstotliwości pracy 1kHz.
3. Poszukiwano prostszej konstrukcji wolnej od wady wymienionej w p.2.
   Wynikiem tych poszukiwań jest konstrukcja której schemat przedstawiono na rys.1 niniejszego sprawozdania.
   W rozwiązaniu tym zwierciadło stanowi wypolerowaną powierzchnię czołową walca 2 umocowanego sprężyście na belce połączonej z korpusem 1 mieszczącym przetwornik napięcie deformacja. Trzpień przetwornika zakończony stalową, hartowaną kulką działa na walec 2 w punkcie A wytwarzając moment zginający belkę i powodujący wychylenie zwierciadła o kąt $\Delta\alpha$ (rys.2 i 3). Belka stanowiąca mocowanie zwierciadła do korpusu stanowi jednocześnie sprężynę zwrotną.
   Właściwy dobór wymiarów belki pozwala na rezygnację z dodatkowej sprężyny oraz śruby adiustacyjnej (sprawozdanie nr 6610 rys.8).
4. Do napędu lustra zastosowano przetwornik przesunięcie-deformacja prod.ZakLadów Ceramiki Radiowej - CERAD.
   Charakterystykę przetwornika przedstawiono w Zał.1.

5. Obliczenia konstrukcyjne umieszczone w niniejszym sprawozdaniu zawierają:
   - obliczenia geometrycznych i wytrzymałościowych belki stanowiącej zamocowanie zwierciadła.
   - obliczenia częstotliwości rezonansowej skanera.

   Obliczenia te potwierdzają uwagę p.2 wstępu.

2.1. Określenie sztywności sprężyny zwrotnej

Przy pełnym wychyleniu zwierciadła o kąt $\Delta\alpha$ (Rys.2) siły w p.A równoważą się, tzn.

$$F_{spr} = F_{stosu} \tag{1}$$

$$F_{spr} = C_S \cdot \Delta X$$

$$F_{stosu} = C_T \cdot \Delta X_o \cdot \left(1 - \frac{C_T}{C_T + C_S}\right) \tag{2}$$

gdzie F_{stosu} – siła działania przetwornika

napięcie – deformacja na zwierciadło w p.A po podaniu maksymalnego napięcia.

ΔX – wydłużenie przetwornika obciążonego siłą F_{sp} pod wpływem maksymalnego napięcia.

ΔX_o – wydłużenie przetwornika nieobciążonego pod wpływem maksymalnego napięcia.

Ponieważ

$$\Delta X = \Delta X_o \cdot \left(1 - \frac{C_T}{C_T + C_S}\right) \tag{3}$$

ze wzorów 2) i 3) wynika, że

$$C_S = C_T \tag{4}$$

$$\Delta X = \frac{\Delta X_o}{2} \tag{5}$$

2.2 Określenie długości ramienia dźwigni OA.

Ramię dźwigni OA (rys.1 i 2) dające pełne wychylenie zwierciadła o kąt $\Delta\alpha$ pod wpływem maksymalnego napięcia powinno mieć długość a:

gdzie a :

$$a = \frac{\Delta X}{\Delta\alpha} = \frac{\Delta X_o}{2\Delta\alpha} \qquad (6)$$

$$a = \frac{50 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10 \cdot 10^{-3}} \approx 2{,}5\text{mm}$$

2.3. Określenie obciążenia przetwornika siłami bezwładności.

W p.A przetwornik obciążony jest siłą bezwładności pochodzącą od momentu bezwładności zwierciadła.

Zakładając,że:

J_o - moment bezwładności zwierciadła względem osi przechodzącej w p.O (rys.1)

$$J_o = M \cdot \frac{\frac{3}{4}D^2 + b^2}{12} \qquad (7)$$

Gdzie M - masa zwierciadła

$$M = \frac{\pi}{4} D^2 \cdot b \cdot \varrho$$

ϱ - gęstość stali ($7{,}8 \frac{9}{cm^3}$)

Stąd

$$J_o = \frac{\pi}{48} \cdot \varrho \cdot D^2 \cdot b \cdot (\tfrac{3}{4} D^2 + b^2) \qquad (8)$$

Zwierciadło o momencie bezwładności J_o stanowi dla przetwornika obciążenie siłami bezwładności od zastępczej masy M' :

$$M' = \frac{J_o}{a^2}$$

stąd

$$M' = \frac{\pi}{48} \cdot \varsigma \cdot D^2 \cdot \frac{b}{a^2} \cdot \left(\frac{3}{4} D^2 + b^2\right) \qquad (9)$$

Traktując belkę na której mocowane jest zwierciadło jako sprężynę płaską można wyznaczyć jej sztywność $C_S = \frac{F}{\Delta X}$ (rys.3) na podstawie parametrów geometrycznych.

Dla zginanej belki

$$E \cdot J \cdot \frac{1}{\varsigma} = F \cdot a \qquad (10)$$

gdzie:

E - moduł Younga

J - moment bezwładności zginanego przekroju belki

ς - promień zakrzywienia belki

$$\varsigma = \frac{e}{\Delta\alpha} \qquad (11)$$

Pamiętając, że $J = \frac{D \cdot h^3}{12}$

wstawiając do wzoru 10 otrzymujemy

$$\Delta\alpha = \frac{12 \cdot F \cdot a \cdot e}{E \cdot D \cdot h^3}$$

ponieważ $\Delta\alpha \cdot a = \Delta X$

otrzymujemy:

$$C_S = \frac{F}{\Delta X} = \frac{D \cdot E \cdot h^3}{12 \cdot a^2 \cdot e} \qquad (12)$$

2.4. Określenie wymiarów geometrycznych sprężyny zwrotnej.

2.4.1. Maksymalne naprężenia w sprężynie

Ponieważ $C_S = C_T$ ze wzoru (12) wynika, że:

$$h = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot C_T a^2 \cdot e}{(D-S) \cdot E}} \qquad (13)$$

Naprężenia maksymalne σ_{max} występujące w skrajnych włóknach sprężyny (Rys.3) wyznacza się ze wzoru

$$\sigma_{max} = \frac{M_{gmax}}{W} \leqslant kg \qquad (14)$$

gdzie:

kg - naprężenia dopuszczalne

stąd:

$$\sigma_{max} = \frac{6 \cdot \Delta X \cdot C_T \cdot a}{(D-s) \cdot h^2} \qquad (15)$$

Wstawiając h wg wzoru (13) do wzoru (15) otrzymujemy:

$$\sigma_{max} = \frac{6 \cdot \Delta X \cdot C_T \cdot a}{(D-S) \cdot \left[\frac{12 \cdot C_T \cdot a^2 \cdot e}{(D-S) \cdot E}\right]^{\frac{2}{3}}} \qquad (16)$$

Po uporządkowaniu otrzymujemy:

$$\sigma_{max} = 6 \cdot (12)^{-\frac{2}{3}} \cdot E^{\frac{2}{3}} \cdot C_T^{\frac{1}{3}} \cdot a^{-\frac{1}{3}} \cdot \Delta X \cdot (D-S)^{-\frac{1}{3}} \cdot e^{-\frac{2}{3}} \leqslant kg$$

Po wstawieniu wartości liczbowych:

$\Delta X = 50 \cdot 10^{-6}$ [m]

$a = 2,5 \cdot 10^{-3}$ [m]

$C_T = 100 \frac{N}{\mu m} = 10^8 [\frac{N}{m^2}]$

$E = 2,1 \cdot 10^{11} [\frac{N}{m^2}]$

$kg = 200 \cdot 10^6 [\frac{N}{m^2}]$

$$\sigma_{max} = 6 \cdot (12)^{-\frac{2}{3}} \cdot (2,1)^{\frac{2}{3}} \cdot 10^{11 \cdot \frac{2}{3}} \cdot 10^{\frac{8}{3}} \cdot 50 \cdot 10^{-6} \cdot (2,5)^{-\frac{1}{3}} \times$$

$$\times 10^{-3(-\frac{1}{3})} \cdot (D-S)^{-\frac{1}{3}} \cdot e^{-\frac{2}{3}} \leqslant 200 \cdot 10^6$$

$$\sigma_{max} = 1,3831 \cdot 10^6 (D-S)^{-\frac{1}{3}} \cdot e^{-\frac{2}{3}} \leqslant 200 \cdot 10^6$$

Zakładając, że:

D = 20mm, S = 10mm

$$1,3831 \cdot 10^{-2 \cdot (-\frac{1}{3})} \cdot e^{-\frac{2}{3}} \leqslant 1\ 44,60$$

stąd:

$e = (31,15)^{-\frac{3}{2}} = 0,00575$ [m]

$\underline{e = 5.75 \text{ mm}}$

2.4.2. Grubość sprężyny

Wstawiając wartość e do wzoru (13) obliczamy grubość sprężyny:

$$h = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot 10^{8} \cdot 2,5^{2} \cdot 10^{-6} \cdot 5,75 \cdot 10^{3}}{10^{-2} \cdot 2,1 \cdot 10^{11}}}$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot 2,5^{2} \cdot 5,75}{2,1} \cdot 10^{-10}} = \sqrt[3]{2,0535 \cdot 10^{-8}} =$$

$$= 0,002738 \text{ [m]}$$

$$\underline{h = 2,7 \text{[mm]}}$$

3. Wyznaczenie częstotliwości rezonansowej

Zakłada się, że maksymalna częstotliwość pracy f_{max}(1kHz) powinna być conajmniej 3 krotnie mniejsza od częstotliwości rezonansowej f_o' skanera. Przyjmuje się więc że $f_{max} \leqslant \frac{1}{3} f_o'$. Częstotliwość f_o' skanera wyznacza się ze wzoru

$$f_o' = f_o \cdot \sqrt{\frac{m}{m + 2M}} \qquad (17)$$

gdzie

m – masa przetwornika

M – masa obciążenia zewnętrznego (Rys.4b)

f_o – częstotliwość rezonansowa przetwornika nieobciążonego zewnętrznymi siłami bezwładności

$$f_o = \frac{1}{2\Pi} \cdot \sqrt{\frac{C_T}{mef}} \qquad (18)$$

11

gdzie:

$$mef = \frac{m}{2}$$

Dla przetwornika PND-50/800 (wg zał.1)

$$f_o = \frac{1}{2\Pi}\sqrt{\frac{100 \cdot 10 \frac{\sigma\ kgm}{s^2 \cdot m}}{\frac{1}{2} \cdot 0{,}135\ kg}} = 6{,}1 \cdot 10^3 Hz$$

$$f_o = 6{,}1 kHz$$

Zakładając, że b = 7 mm

oraz wstawiając wyrażenia 9) i 17) do wzoru 18) otrzymujemy:

$$f_o' = \frac{1}{2\Pi} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot C_T}{m + \frac{\pi}{24} \cdot \rho \cdot D^2 \cdot \frac{b}{a^2} \cdot (\frac{3}{4} D^2 + b^2)}} \geq 3 f_{max} \quad (19)$$

Po wstawieniu wartości liczbowych:

$$m = 0{,}135 [kg]$$

$$\rho = 7{,}8 \cdot 10^3 [\frac{kg}{m^3}] \quad \text{(dla stali)}$$

$$f_o' = \frac{1}{2\Pi}\sqrt{\frac{2 \cdot 10^{\sigma}}{0{,}135 + \frac{\pi}{24} \cdot 7{,}8 \cdot 10^3 \cdot 2^2 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{7 \cdot 10^{-2}}{2{,}5^2 \cdot 10^{-\sigma}} (\frac{3}{4} \cdot 4 \cdot 10^{-4} + 0{,}49 \cdot 10^{-4})}}$$

$$f_o' = 4697 Hz \approx 4{,}7 kHz$$

$f_o' > 3 f_{max}$ warunek wyrażony wzorem (19) został spełniony

4. Wnioski

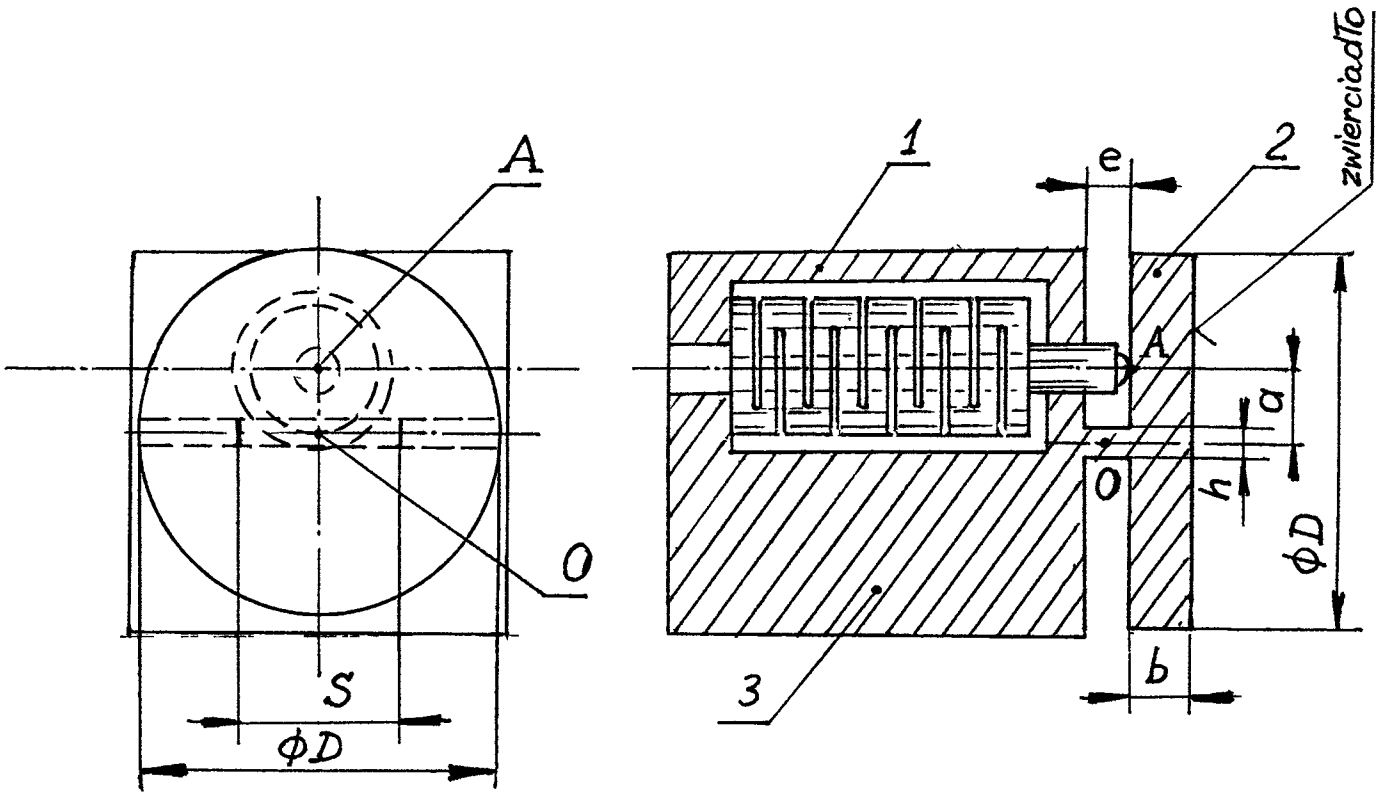
1. Obliczenia potwierdzają uwagę p.2 wstępu. Wg przeprowadzonych obliczeń częstotliwość rezonansowa skanera wg rys.1 wynosi 4,7 kH. Należy wnioskować, że częstotliwość rezonansowa skanera wg rys.8 (sprawozdanie 6610) byłaby znacznie niższa ze względu na większą złożoność konstrukcji oraz związaną z tym bezwładnością elementów konstrukcyjnych.
2. Z przeprowadzonych rozważań wynika, że parametry geometryczne skanera są ściśle związane z parametrami zastosowanego przetwornika piezoelektrycznego napięcie - deformacja. Wymiary geometryczne skanera wg załączonej dokumentacji wynikają z zastosowanego przetwornika prod. Zakładów CERAD.

Literatura

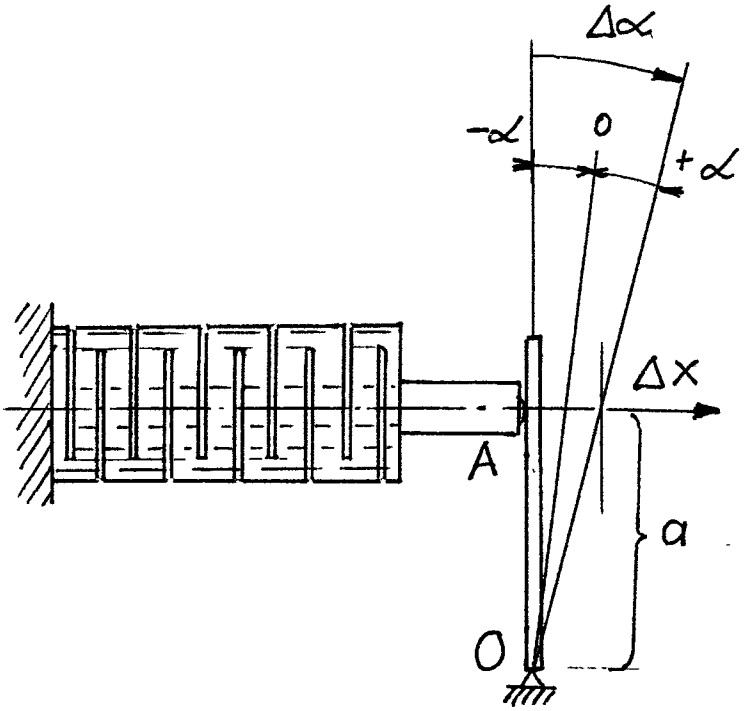
1. Missala T. i inni: Piezoelektryczny mikroprzetwornik wykonawczy dla robotów przemysłowych P.K.1.
Sprawozdanie nr rej.6417. Warszawa, styczeń 1990r.

2. Missala T. i inni: Piezoelektryczny mikroprzetwornik wykonawczy dla robotów przemysłowych.Pkt.kontr.1.
Sprawozdanie nr rej.6610. Warszawa,luty 1991r.

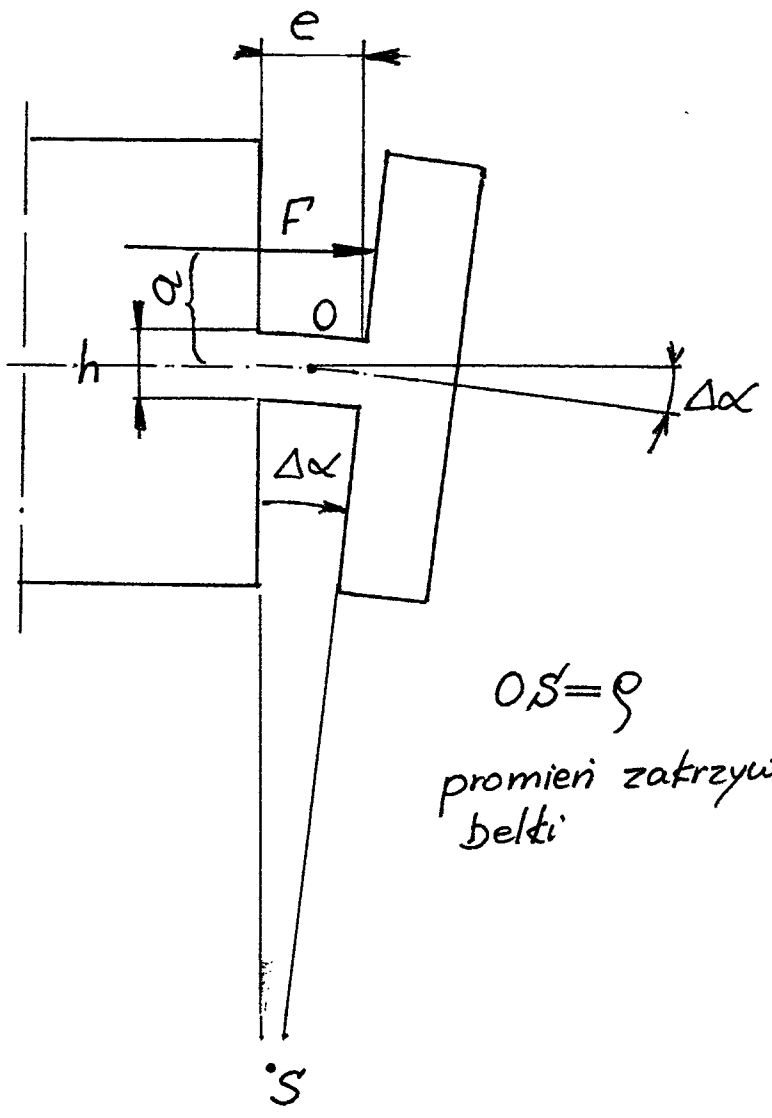
3. Katalog firmy Physik Instrumente.



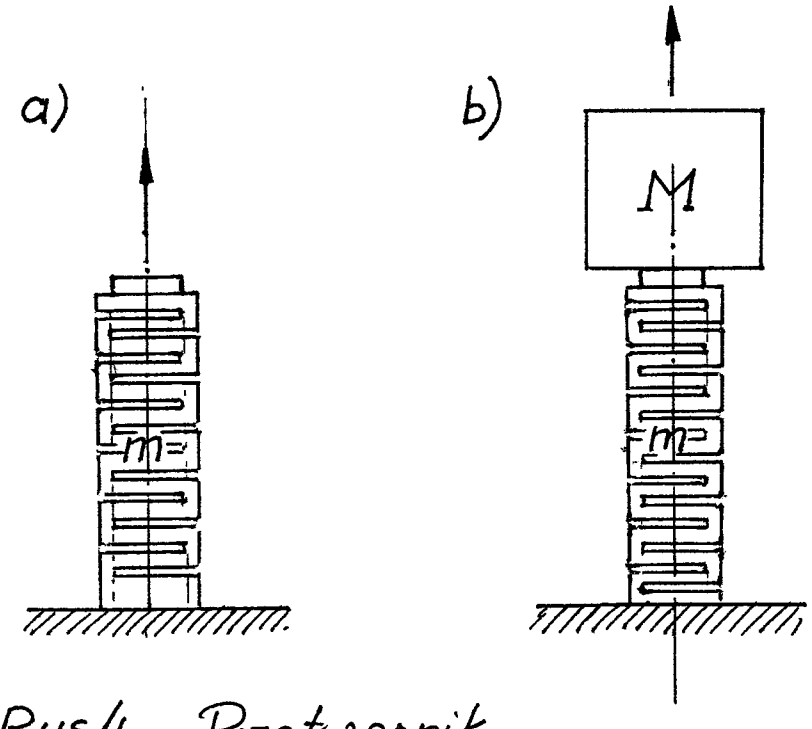
Rys 1. Schemat konstrukcyjny skanera



Rys 2. Schemat kinematyczny



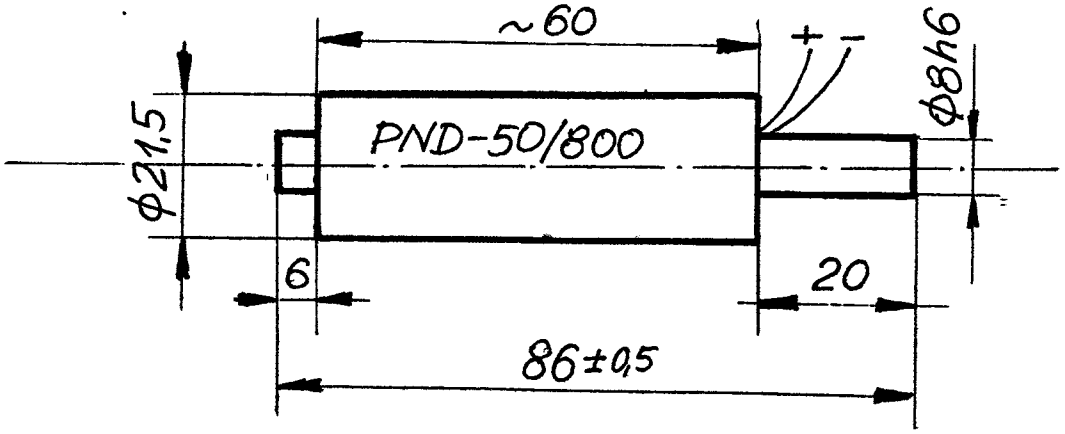
Rys 3. Odkształcenie belki



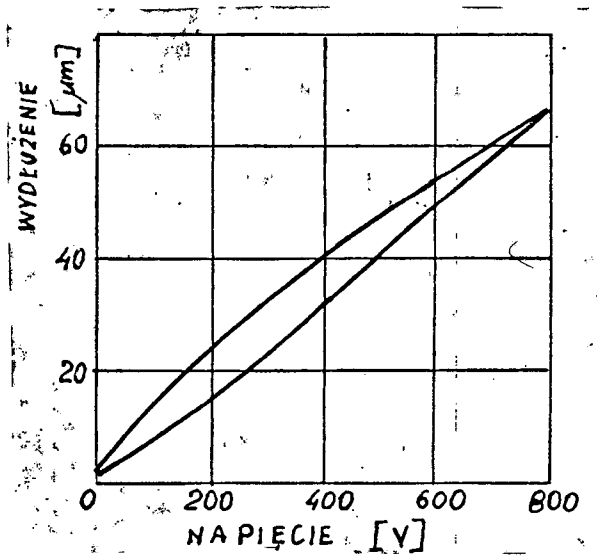
Rys 4. Przetwornik
a - nieobciążony
b - obciążony masą M

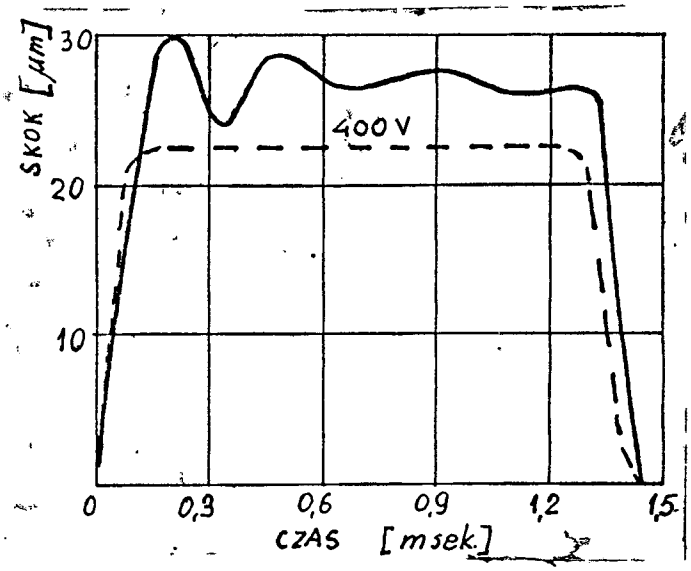
Przetwornik napięcie-deformacja

Prod. Z-dy Ceramiki Radiowej CERAD, W-wa

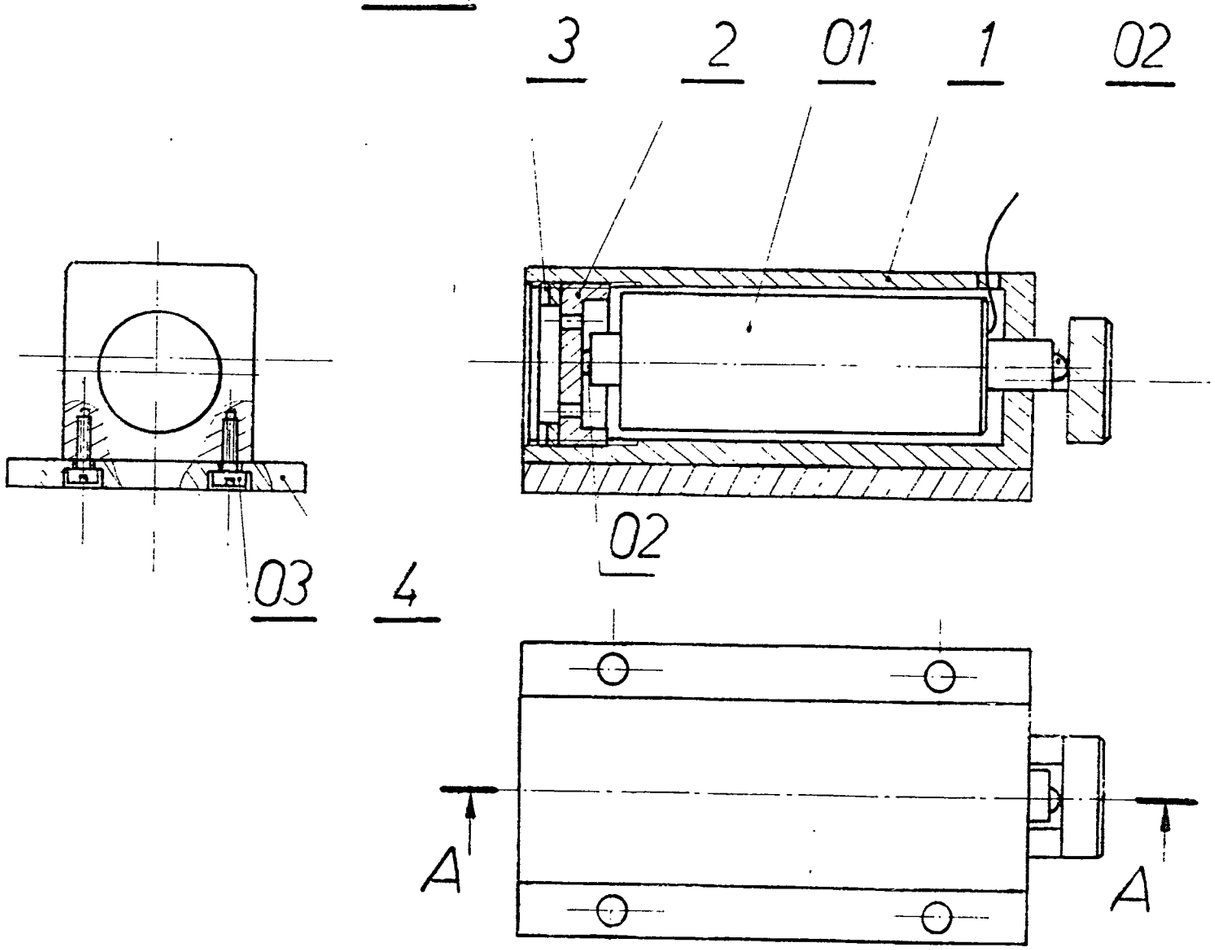


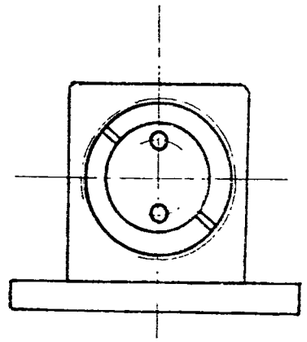
Parametr	Jedn.	Wartość
Długość x Średnica	mm x mm	60 x 18
Deformacja /skok/ 0-500V 0-800V	μm	 30 50
Pojemność statyczna	nF	320
Sztywność C_T	N/μm	100
Średnie wydłuż. na 1V	μm/V	0,06
Maksym. siła ściskająca	N	3000
Masa m	kg	0,135





A-A





Nr części lub zesp.	Ilość	Nazwa	Nr ark.	Uwagi
03.	4	Wkręt M4×8		PN-74 M-82231
02.	2	Kulka łożysk Ø4		
01	1	Przetwornik		Producent CERAD
4	1	Płytka		
3	1	Wkrętka		
2	1	Wkrętka		
1	1	Korpus		

Znak zmiany	Ilość zmian	Treść zmiany	Podpis	Data
Projektował		WK	W.K.LIMASARA	
Konstruował		WK	-"-	
Kreślił		W.K	-"-	
Sprawdził				
Kier. Prac.				
Kier. Zakładu				

Nazwa: **Głowica skanera**

Podziałka: 1:1

Ciężar:

Materiał: —

Zastępuje rys. Nr:

Zastąpiono przez rys. Nr:

Nr ark.:

Nr rys. zest.:

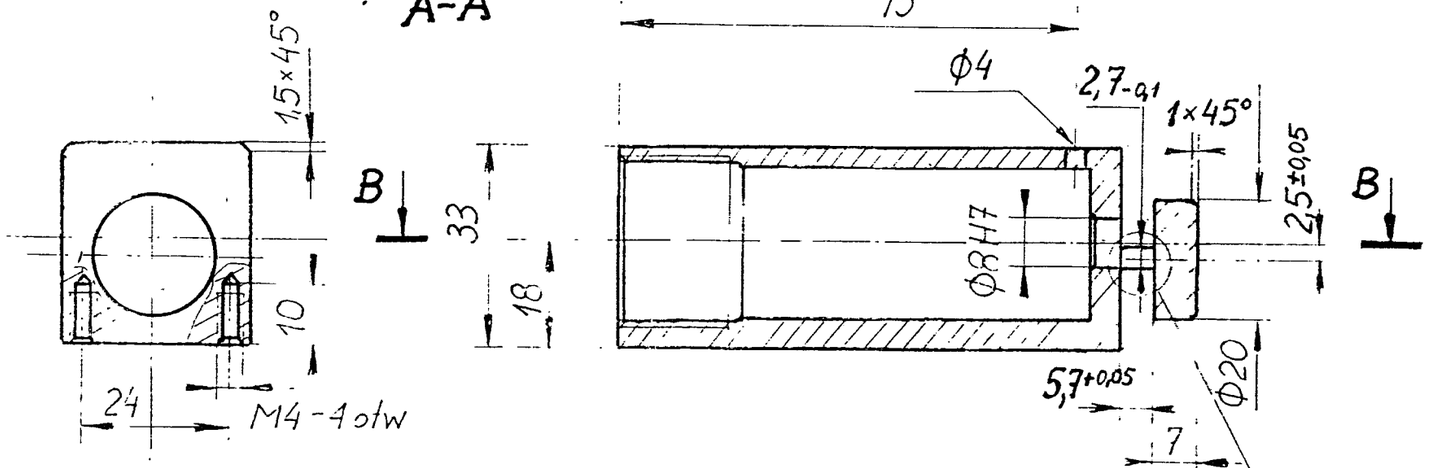
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów Warszawa

Nr rysunku: 8841

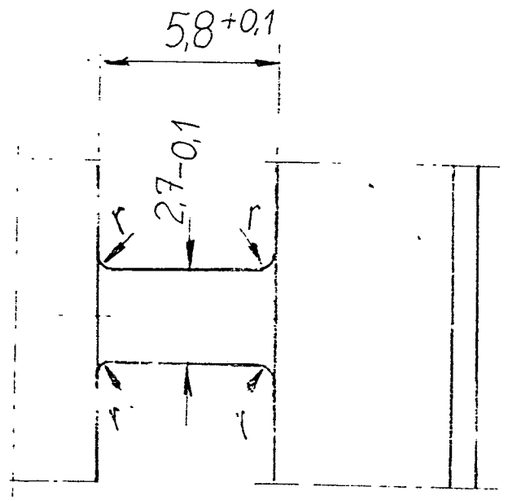
Nr części: 18

Zakład OAR

A-A

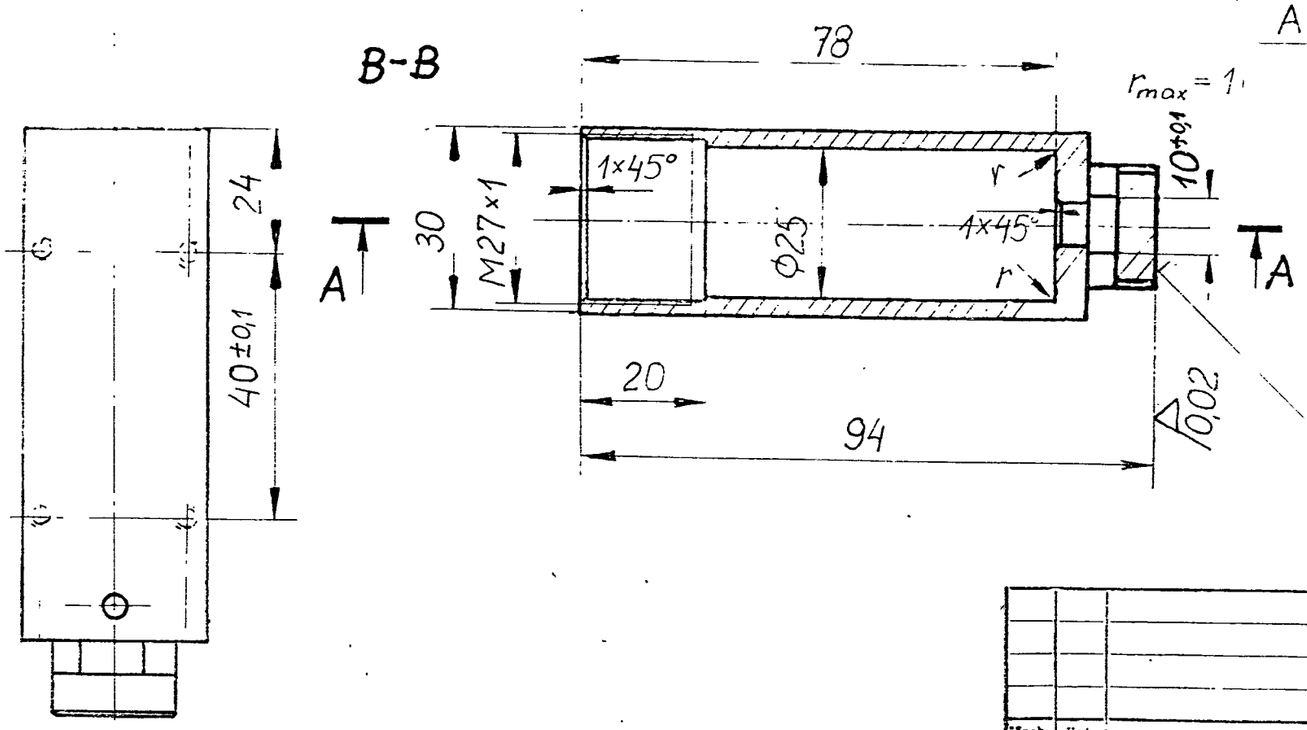


Szczegół A



$r = 0{,}3 \pm 0{,}1$

B-B



2,5 (0,02)

Ostre krawędzie stępić

Nr części lub zesp	Ilość	Nazwa	Nr ark.	Uwagi

Znak zmiany	Ilość zmia	Treść zmiany	Podpis	Data

Projektował	WK	W. Klimasara
Konstruował	WK	
Kreślił	WK	
Sprawdził		
Kier. Prac.		
Kier. Zakładu		

Nazwa: Korpus

Podziałka: 1:1

Ciężar:

Materiał: 1H18N9

Zastępuje rys. Nr:

Zastąpiono przez rys. Nr:

Nr ark.:

Nr rys. zest.:

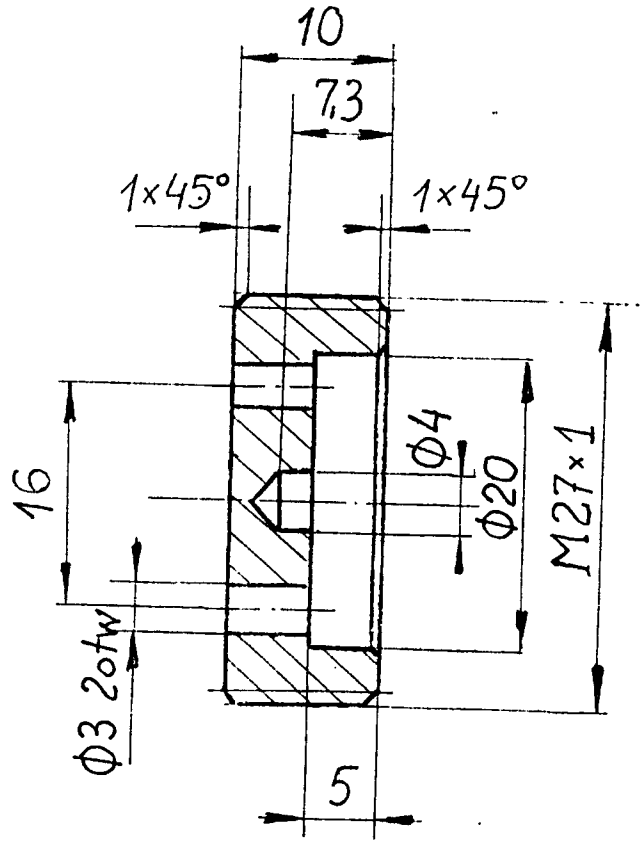
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów Warszawa

Nr rysunku: 8841.1

Nr części: 191

Zakład OAR

Wymiary	Odchyłki



2,5

Ostre krawędzie stępić

Zmiana	Ilość zmian	Treść zmiany	Podpis	Data

Projektował	WK	W. Klimasara
Konstruował	WK	
Kreślił	WK	
Sprawdził		
Kier. Pracowni		
Kier. Zakładu		

Nr części lub zesp.	Ilość	Nazwa	Nr ark.	Uwagi

Nazwa: Wkrętka

Podziałka: 2:1

Ciężar:

Materiał: B443

Zastępuje rys. Nr:

Zastąpiono przez rys. Nr:

Nr ark.:

Nr rys. zest.:

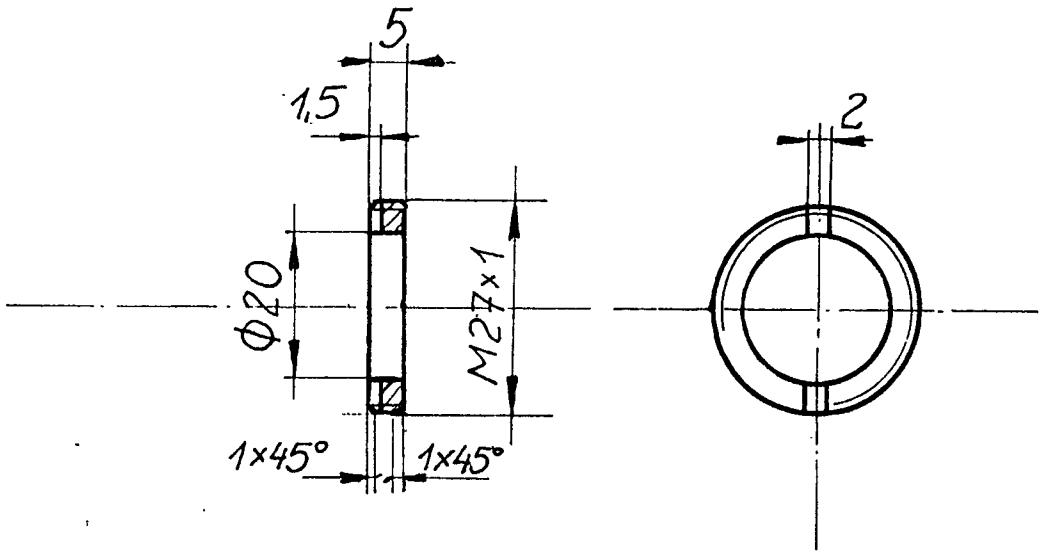
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów
Warszawa

Zakład: OAR

Nr rysunku: 8841.2

Nr części: 202

Wymiary	Odchyłki



2,5

Ostre krawędzie stępić

Zmiana	Ilość zmian	Treść zmiany	Podpis	Data

Projektował	WK	W. Klimasara
Konstruował	WK	
Kreślił	WK	
Sprawdził		
Kier. Pracowni		
Kier. Zakładu		

Nr części lub zesp.	Ilość	Nazwa	Nr ark.	Uwagi

Nazwa: Wkrętka

Podziałka: 1:1

Ciężar:

Materiał: B443

Zastępuje rys. Nr:

Zastąpiono przez rys. Nr:

Nr ark.:

Nr rys. zest.:

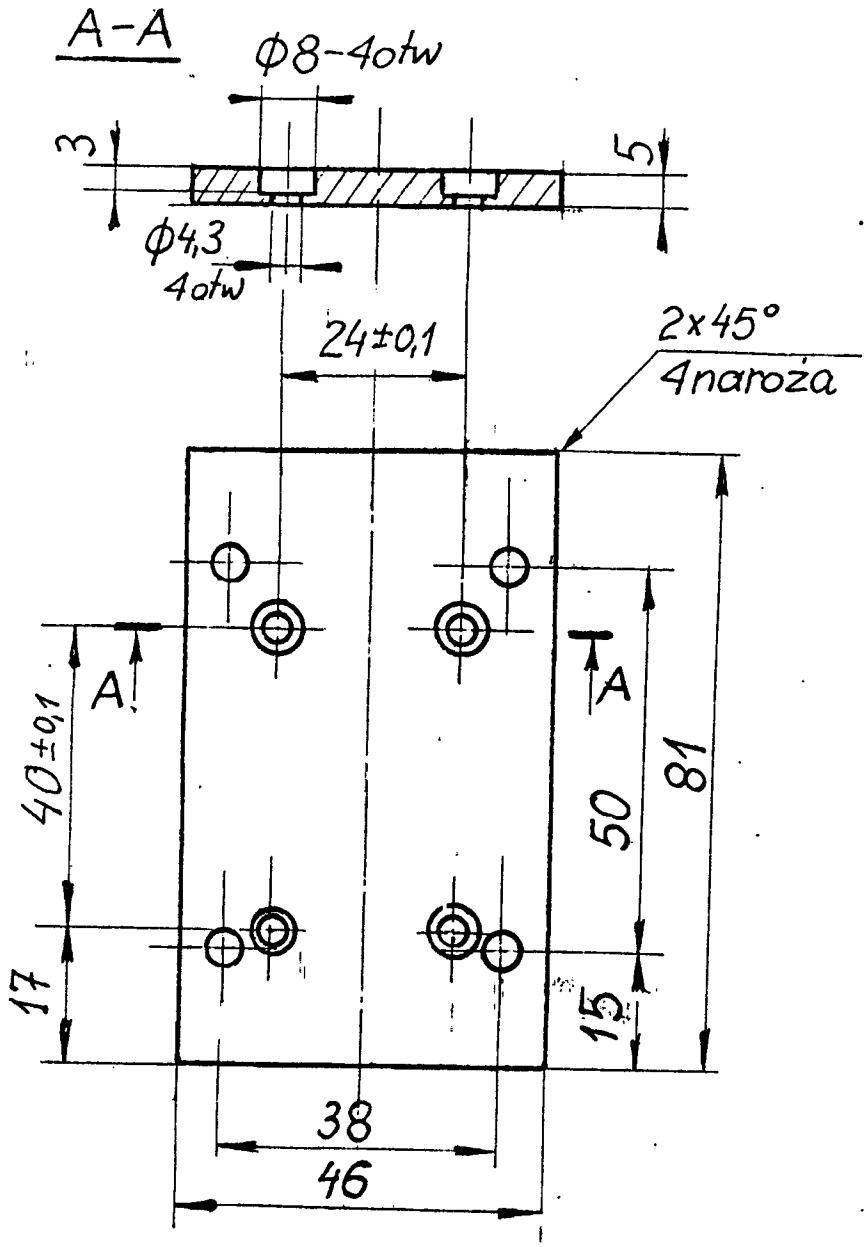
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów
Warszawa

Zakład: OAR

Nr rysunku: 8841.3

Nr części: 21 3

Wymiary	Odchyłki



Anodować, czernić

2,5

Ostre krawędzie
Stępić

Znak zmiany	Ilość zmian	Treść zmiany	Podpis	Data

Projektował	WK	W. Klimasara
Konstruował	WK	
Kreślił	WK	
Sprawdził		
Kier. Pracowni		
Kier. Zakładu		

Nr części lub zesp.	Ilość	Nazwa	Nr ark.	Uwagi

Nazwa: Płytka

Podziałka: 1:1

Ciężar:

Materiał: PA7

Zastępuje rys. Nr:

Nr ark.:

Zastąpiono przez rys. Nr:

Nr rys. zest.:

Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów
Warszawa

Zakład: OAR

Nr rysunku: 8841.4

Nr części: 22/4