

mgr inż. Bronisław BEDNARZ

PRZYRZĄD DO USTALANIA PRÓBEK  
NA INTERFEROMETRZE HOLOGRAFICZNYM

Załącznik do pracy doktorskiej nt.:

Zastosowanie holografii do określania topografii  
błędów kształtu wybranych powierzchni części  
maszyn

Kraków, 1975 r.

SPIS TREŚCI

	str.
Wykaz ważniejszych oznaczeń . . . . .	II
Wykaz i określenie ważniejszych pojęć . .	III
Wprowadzenie . . . . .	1
1. KONSTRUKCJA PRYZRZĄDU . . . . .	2
1.1. Założenia wstępne i dane wyjściowe do konstrukcji przyrządu . . . . .	2
1.2. Zasada działania . . . . .	13
1.2.1. Przyrząd do ustalania próbek	15
1.2.2. Stół przesuwany przyrządu . .	16
1.3. Analiza błędów dokładności ustalania próbek w przyrządzie . . . . .	17
2. BADANIA WŁASNE PRYZRZĄDU . . . . .	26
2.1. Ramowy program badań przyrządu . . .	26
2.2. Ogólna ocena przyrządu . . . . .	27
2.3. Badania doświadczalne . . . . .	27
2.3.1. Wyniki badań . . . . .	31
2.3.2. Analiza wyników badań . .	38
3. WNIOSKI . . . . .	49
Bibliografia . . . . .	50
Spis tablic . . . . .	51
Spis rysunków . . . . .	52

Wykaz ważniejszych oznaczeń

- $\alpha_{p_p}$  - błąd poprawności przyrządu
- $\alpha_{p_1}$  - błąd wywołany ugięciem współpracujących ze sobą części pod wpływem siły mocującej próbki
- $\alpha_{p_{1w}}$  - błąd wywołany ugięciem współpracujących ze sobą części w czasie mocowania wzorca
- $\alpha_{p_{1p}}$  - błąd wywołany ugięciem współpracujących ze sobą części w czasie mocowania próbki
- $\alpha_{p_2}$  - błąd wywołany odkształceniem sprężystym układu wzorzec - próbka - element dociskowy, pod wpływem siły mocującej próbkę
- $\alpha_{p_{2w}}$  - przemieszczenie powierzchni wzorcowej, która współpracuje ze stalowym kołkiem bazującym o promieniu R
- $\alpha_{p_{2p}}$  - przemieszczenie powierzchni próbki, która współpracuje ze stalowym kołkiem bazującym o promieniu R
- $\alpha_{p_3}$  - błąd metody
- E - moduł Younga
- $\nu$  - współczynnik Poissona
- P - siła dociskająca wzorzec - próbkę
- S - średni błąd kwadratowy wierności przyrządu
- e - błędy graniczne wierności przyrządu
-

Wykaz i określenia ważniejszych pojęć

APARATURA POMIAROWA - zespół środków technicznych przeznaczony do wykonania pewnego zadania pomiarowego określoną metodą pomiarową, obejmujący wszystkie narzędzia pomiarowe i pomiarowe urządzenia pomocnicze połączone ze sobą wg określonego schematu.

DOKŁADNOŚĆ PRZYRZĄDU DO USTALANIA PRÓBEK - właściwość charakteryzująca zdolność przyrządu do dawania ustaleń próbkom bliskich rzeczywistym ustaleniom.

BŁĄD DOKŁADNOŚCI - wypadkowa wartość błędów przyrządu w określonych warunkach użytkowania zawierająca błędy poprawności i błędy wierności ustaleń.

POPRAWNOŚĆ PRZYRZĄDU DO USTALANIA PRÓBEK - właściwość charakteryzująca zdolność przyrządu do dawania poprawnych ustaleń próbkom, bez uwzględnienia błędu wierności ustaleń.

BŁĄD POPRAWNOŚCI - suma algebraiczna błędów systematycznych, jakimi obraczone są ustalenia próbek w przyrządzie w określonych warunkach użytkowania przyrządu.

WIERNOŚĆ PRZYRZĄDU DO USTALANIA PRÓBEK - właściwość charakteryzująca zdolność przyrządu do dawania zgodnych pomiędzy sobą ustaleń dla tej samej próbki, nie biorąc pod uwagę błędów systematycznych o wartościach zmiennych.

ROZRZUT USTALEŃ PRZYRZĄDU - zmienność wyników pomiaru błędów ustaleń w przyrządzie dla serii ustaleń tej samej próbki.

BŁĄD WIERNOŚCI - jeden ze wskaźników rozrzutu błędów ustaleń próbki. Przyjmuje się zwykle odchylenie średnie kwadratowe jednego pomiaru błędu ustalenia w danej serii pomiarów błędów ustaleń, które nazywa się wówczas "ŚREDNIM

BŁEDEM KWADRATOWYM WIERNOŚCI USTALEŃ" dla serii kolejnych pomiarów błędów ustaleń tej samej próbki w określonych warunkach użytkowania przyrządu.

BŁĘDY GRANICZNE WIERNOŚCI PRYZRZADU - błędy graniczne pojedynczego pomiaru błędu ustalenia próbki w przyrządzie, wykonanego w określonych warunkach użytkowania z pominięciem błędów poprawności przyrządu.

Określenia zaproponowano na podstawie normy PN-71/N-02050

## W p r o w a d z e n i e

Analiza zagadnienia określania topografii błędów kształtu powierzchni części maszyn metodą interferometrii holograficznej wykazała, że adekwatne określanie topografii błędów kształtu jest możliwe przy takiej geometrii układu, który zapewnia ustalenie kontrolowanych powierzchni i hologramów w określonych granicach. W innym przypadku topografie błędów kształtu badanych powierzchni będą zawierały szumy w postaci dodatkowych prążków interferencyjnych tzn. pomiar będzie nieadekwatny lub w ogóle interferencja może nie nastąpić.

Przed przystąpieniem do określania topografii błędów kształtu powierzchni części maszyn metodami interferometrii holograficznej należy rozwiązać problem ustalania kontrolowanych powierzchni części maszyn oraz hologramów tak, aby pomiary tą metodą były adekwatne.

W niniejszej pracy zostanie omówiony przyrząd do ustalania próbek na interferometrze holograficznym przy określaniu topografii błędów kształtu wybranych powierzchni części maszyn.

## 1. KONSTRUKCJA PRYZRZADU

W celu rozwiązania problemu dokładnego ustalania kontrolowanych powierzchni zaproponowano konstrukcję specjalnego przyrządu do ustalania próbek /badanych powierzchni/ na interferometrze holograficznym.

### 1.1. Założenia wstępne i dane wyjściowe do konstrukcji przyrządu

A. Założenia wstępne, które konstrukcja powinna zapewniać:

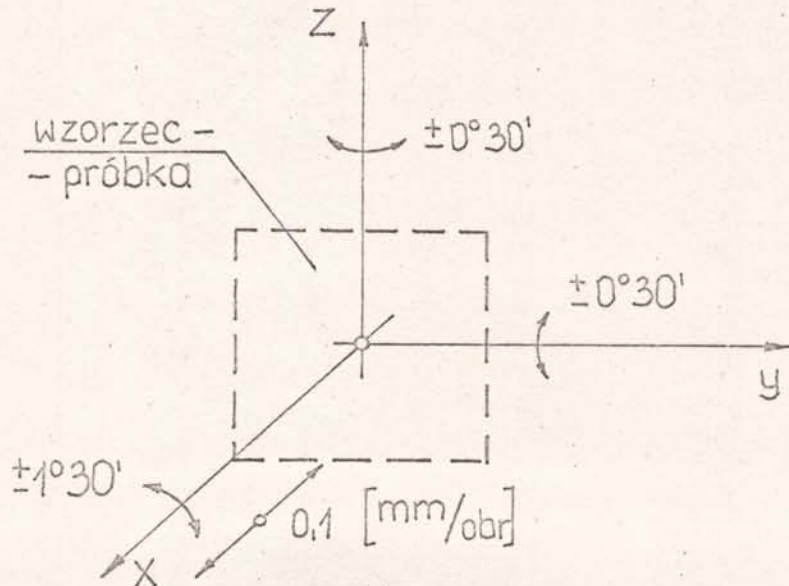
- 1/ Minimalny błąd dokładności ustaleń próbki w przyrządzie. Założono, że błędy graniczne dokładności nie powinny przekraczać  $\pm 0,15$  [ $\mu\text{m}$ ].
- 2/ Możliwość realizacji dokładnych przemieszczeń kątowych względem wszystkich osi układu współrzędnych /rys. 1/ oraz przemieszczeń liniowych w wyróżniony kierunku, w celu ustalenia powierzchni wzorcowej tak, aby każdorazowo pokrywała się z powierzchnią odniesienia <sup>\*/</sup> /warunek minimum odchyłki [1] - najlepszego dopasowania/
- 3/ Oś obrotu "y" oraz "z" /rys. 1/ powinny znajdować się w zakresie badanych próbek
- 4/ Kasowanie luzów pomiędzy wszystkimi współpracującymi częściami

Ponadto konstrukcja powinna się charakteryzować:

- prostotą i zwartością budowy
- uniwersalnością

<sup>\*/</sup> Powierzchnia odniesienia jest to powierzchnia stykająca się z powierzchnią rzeczywistą, na zewnątrz materiału i tak względem niej usytuowaną aby największa odległość pomiędzy nią a powierzchnią rzeczywistą była najmniejsza spośród wszystkich możliwych położenia odpowiadających różnym położeniom powierzchni odniesienia 1.

- płynnością przemieszczeń
- łatwością montażu i przezbrajania
- bezpieczeństwem i wygodą obsługi
- łatwością ustawiania i transportu
- estetyką wykonania części oraz całego przyrządu.



Rys. 1. Schemat realizacji przemieszczeń liniowych oraz kątowych

B. Dane wyjściowe konstrukcji przyrządu do ustalania próbek:

1. Zakres przemieszczeń kątowych względem osi "y", "z" rys. 1. około  $\pm 0^{\circ}30'$
2. Zakres przemieszczeń kątowych względem osi "x" rys. 1. około  $\pm 1^{\circ}30'$
3. Zakres przemieszczeń liniowych względem osi "x" rys. 1. około  $\pm 1,5$  [mm] z dokładnością około  $0,1$  [mm/obr]
4. Wymiary próbki podstawowej  $90 \times 90 \times 15$  [mm]

Z analizy teoretycznej zagadnienia określania topografii błędów kontaktu powierzchni części maszyn wynika, że w przypadku płaskiej fali formującej wiązkę przedmiotową /lub



kulistej - o dużym promieniu krzywizny/ oraz w przypadku płaskich powierzchni badanych realizacja dokładnych przemieszczeń liniowych względem osi "x" /rys. 1/ jest zbyt duża. Biorąc to pod uwagę oraz ze względów konstrukcyjnych, technologicznych i funkcjonalnych przyrząd podzielono na dwie niezależne jednostki funkcjonalne nazwane zespołami:

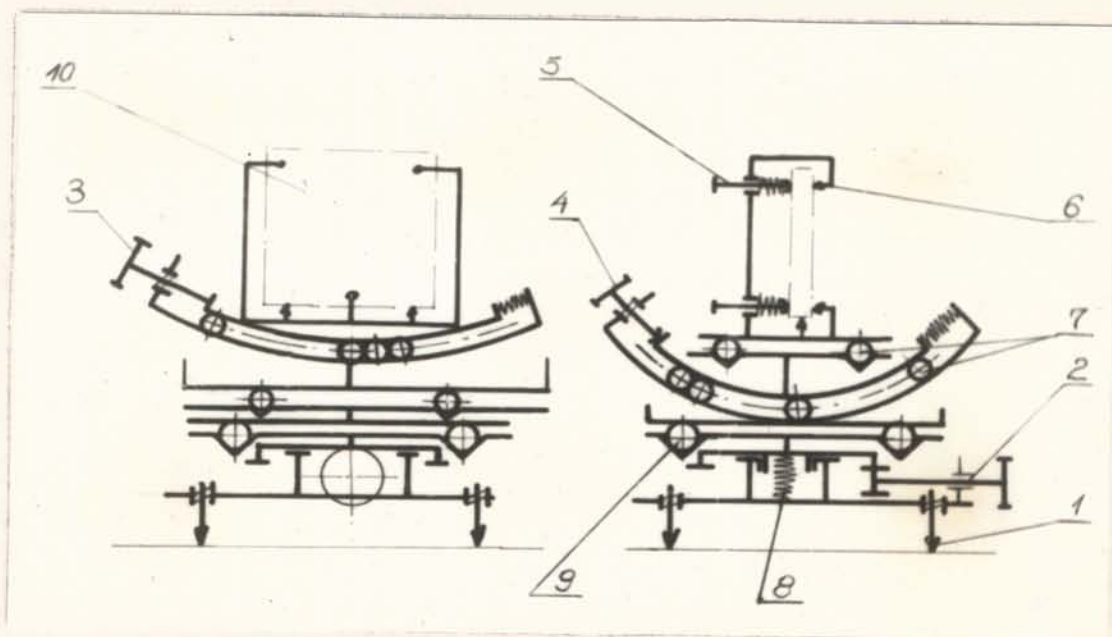
Zespół I - służący do realizacji dokładnych przemieszczeń kątowych względem wszystkich osi układu współrzędnych rys. 1.

Zespół II - służący do realizacji dokładnych przemieszczeń liniowych względem osi "x" rys. 1. Do tego celu można użyć bardzo dokładnego stołu dużego mikroskopu warsztatowego z odczytem cyfrowym produkcji PZO - Warszawa. Stół ten ma dodatkową zaletę, umożliwiając oprócz dokładnych przemieszczeń liniowych względem osi "x", "y" rys. 1 ustawianie z dużą dokładnością kąta padania wiązki przedmiotowej. Dlatego w niniejszej konstrukcji zespół II wchodzący w całość konstrukcji został wydzielony jako spełniający rolę podrzędną.

Zespół I - został nazwany dalej:  
"Przyrząd do ustalania próbek"

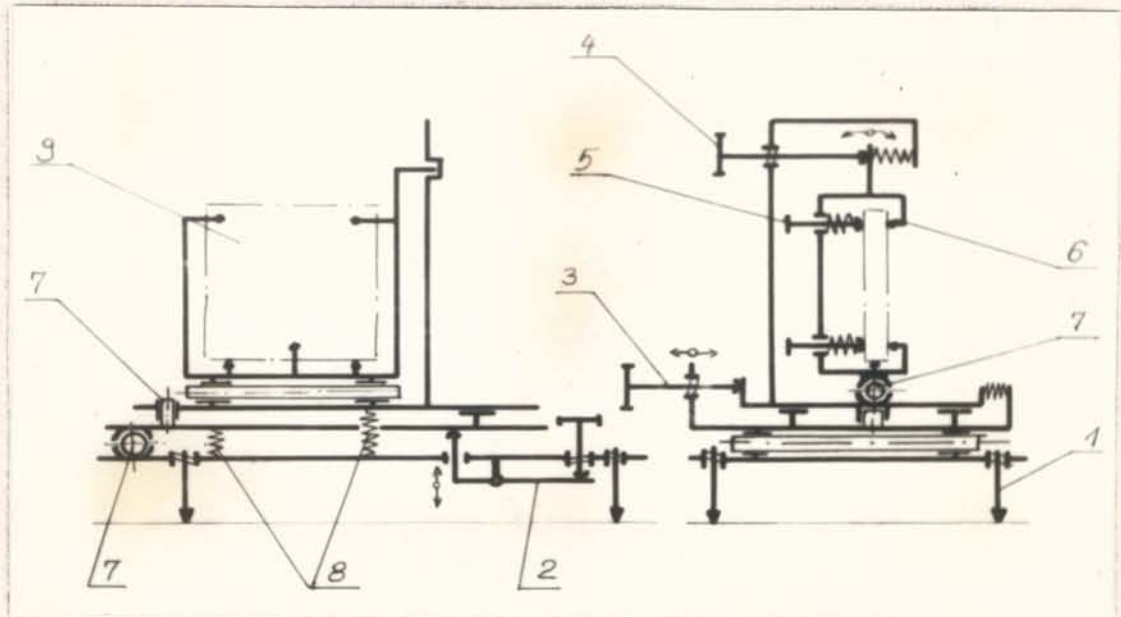
Zespół II - został nazwany dalej:  
"Stół przesuwany przyrządu"

Uwzględniając założenia wstępne i dane wyjściowe dokonano wstępnych obliczeń w wyniku czego zaproponowano trzy warianty rozwiązań konstrukcyjnych przyrządu do ustalania próbek. Konstrukcję stołu przesuwającego przyrządu oparto na dotychczasowych rozwiązaniach w tym kierunku traktując ją jako przejściową.



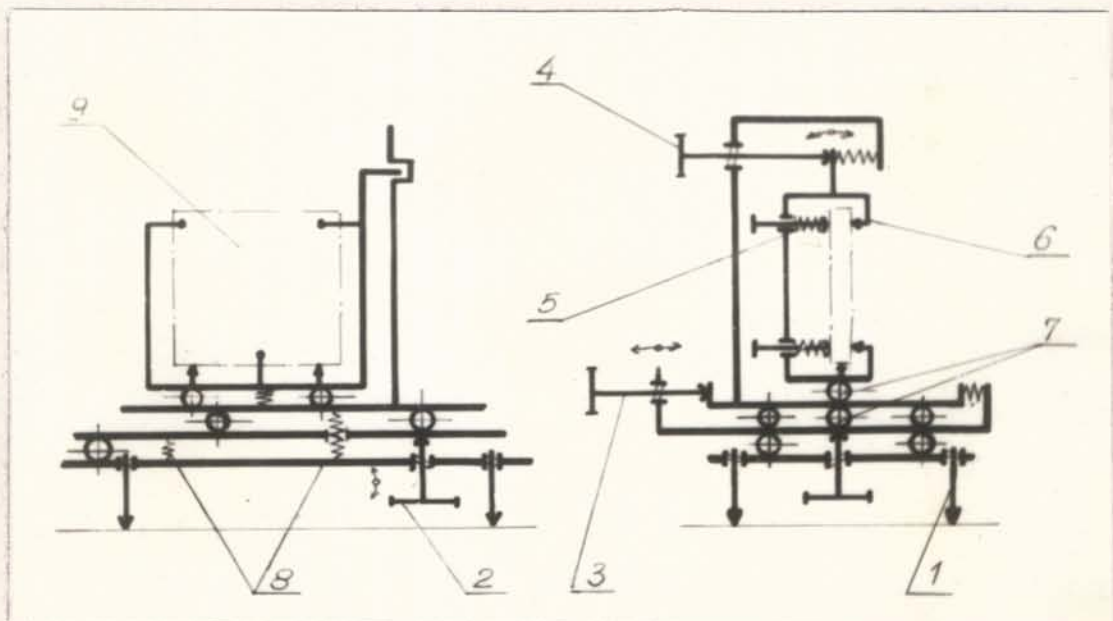
Rys. 2. Schemat strukturalny przyrządu do ustalania próbek - wariant I.

- 1 - podporowe śruby ustawcze
- 2 - poszespók I - obrót względem osi "z"
- 3 - podzespók II - obrót względem osi "x"
- 4 - podzespók III - obrót względem osi "y"
- 5 - podzespók mocujący próbki
- 6 - łożyska oporowe z elementami bazującymi
- 7 - bieżnie wahliwe
- 8 - sprężyny kasujące luzy
- 9 - wieniec z kulek łożyskowych
- 10 - wzorzec - próbka



Rys. 3. Schemat strukturalny przyrządu do ustalania próbek - wariant 2.

- 1 - podporowe śruby ustawcze
- 2 - podzespół I - obrót względem osi "x"
- 3 - podzespół II - obrót względem osi "z"
- 4 - podzespół III - obrót względem osi "y"
- 5 - podzespół mocujący próbki
- 6 - kopy oporowe z elementami bazującymi
- 7 - sworznie
- 8 - sprężyny kasujące luzy
- 9 - wzorzec - próbka



Rys. 4. Schemat strukturalny przyrządu do ustalania próbek - wariant 3

- 1 - podporowe śruby ustawcze
- 2 - podzespół I - obrót względem osi "x"
- 3 - podzespół II - obrót względem osi "z"
- 4 - podzespół III - obrót względem osi "y"
- 5 - podzespół mocujący próbki
- 6 - łapy oporowe z elementami bazującymi
- 7 - kulki łożyskowe
- 8 - sprężyny kasujące luzy
- 9 - wzorzec - próbka

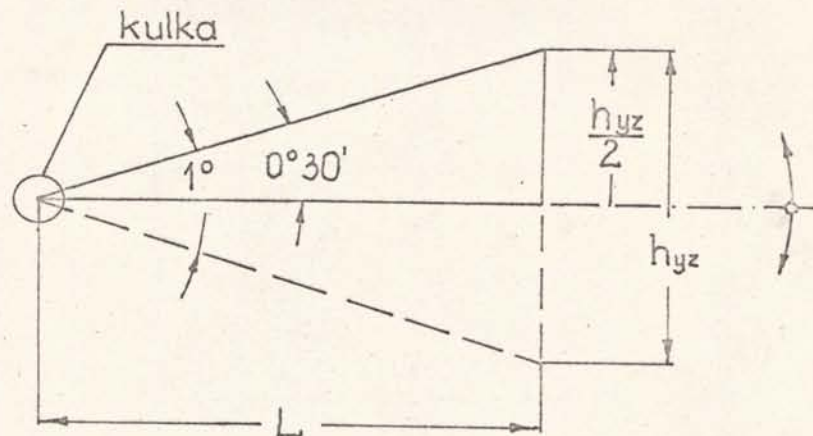
Po przeprowadzonej analizie zaproponowanych wariantów rozwiązań konstrukcyjnych przyrządu rys. 2,3,4, - wariant 3, uznano najlepszym pod względem funkcjonalnym, technologicznym i konstrukcyjnym. Dalszą analizę oraz konstrukcję oparto na schemacie strukturalnym przyrządu do ustalania próbek - wariant 3 /rys. 4/.

Uzasadnienie wyboru:

Pod dokładnej analizie stwierdzono, że wariant 3 /rys. 4/ spełnia warunki jakim powinna odpowiadać konstrukcja zgodnie z założeniami wstępnymi. Pozostałe warianty nie zapewniają wymaganej dokładności, ze względu na trudności w kasowaniu luzów pomiędzy wszystkimi współpracującymi częściami co wypłynęłoby na powiększenie błędu dokładności przyrządu, bezpośrednio wpływającego na wynik pomiaru, jak również są bezpośrednią przyczyną błędów pomiaru. Poza tym warianty 1 i 2 są bardziej złożone zarówno pod względem konstrukcyjnym, jak również pod względem technologicznym.

Obliczenia wstępne:

1. Zakres przemieszczeń kątowych wg danych wyjściowych względem osi "y" "z" /rys. 1/ powinien wynosić ok.  $\pm 0^{\circ}30'$



L - ramię dźwigni /odległość pomiędzy osią obrotu dźwigni a punktem styku mechanizmu obrotu/

$h_y$  - ramię działania /zakres liniowych przemieszczeń mechanizmu obrotu/

Ze względów konstrukcyjnych założono wstępnie, że:

$$L = 160 \pm 10 \text{ [mm]}$$

Z prostych zależności trygonometrycznych

$$h_{yz} = 2L \cdot \operatorname{tg} 0^{\circ}30' = 320 \cdot 0,0087 = 2,8 \text{ [mm]}$$

przyjęto  $h_{yz} = 3 \text{ [mm]}$ .

Przeszczenia te mają być realizowane z dużą dokładnością. Może to być realizowane przez zastosowanie:

- przekładni dźwigniowej
- przekładni zębatej /ślimakowej/
- przekładni śrubowej

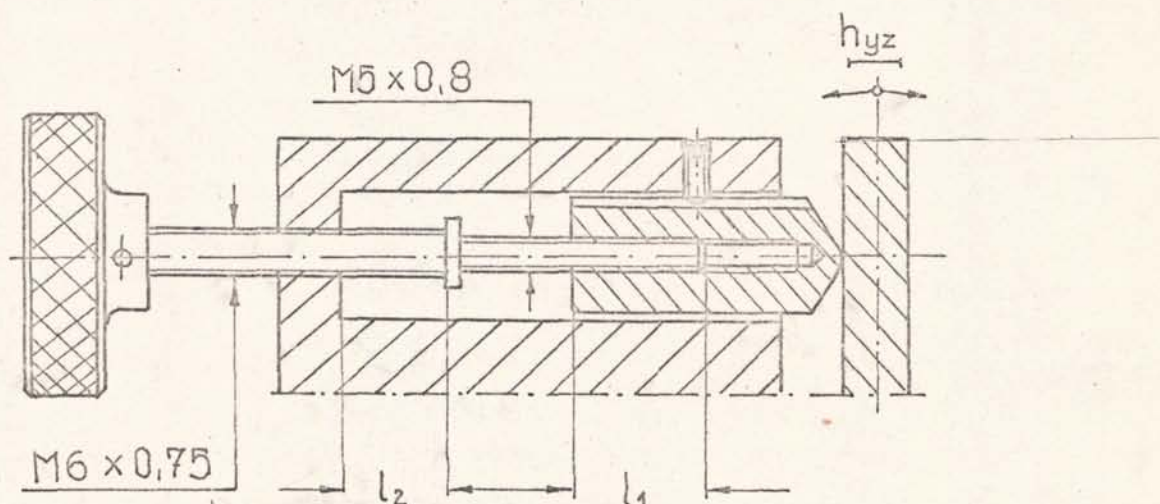
Ze względów funkcjonalnych przyjęto przekładnię śrubową - śrubowy mechanizm różnicowy rys. 5.

Obliczenia mechanizmu różnicowego:

W mechanizmie tym zastosowano:

1. śrubę M6 x 0,75
2. śrubę M5 x 0,80

Należy obliczyć długość tych śrub celem uzyskania wartości liniowych przemieszczeń  $h_{yz} = 3 \text{ [mm]}$ .



Rys. 5. Śrubowy mechanizm różnicowy realizacji przemieszczeń  $h_{yz}$

- $l_1$  - długość śruby M5 x 0,8 wkręconej do trzpienia mechanizmu
- $l_2$  - długość śruby M6 x 0,75 wkręconej do korpusu mechanizmu

$$h_{yz} = l_1 - l_2$$

$$l_1 = n \cdot s_1$$

$$l_2 = n \cdot s_2$$

gdzie:

$s_1$  - skok śruby M5

$s_2$  - skok śruby M6

$n$  - ilość obrotów potrzebnych do wykonania, celem zrealizowania przemieszczenia  $h = 3$  [mm]

$$\begin{cases} n \cdot s_1 - n \cdot s_2 = l_1 - l_2 \\ h_{yz} = l_1 - l_2 \end{cases}$$
$$n (s_1 - s_2) = h_{yz}$$

$$n = \frac{h_{yz}}{s_1 - s_2}$$

$$n = \frac{3}{0,8 - 0,75} = 60 \text{ [obrotów]}$$

czyli

$$l_1 = n \cdot s_1 = 60 \times 0,8 = 48 \text{ [mm]}$$

$$l_2 = n \cdot s_2 = 60 \times 0,75 = 45 \text{ [mm]}$$

Uwzględniając ok. 10 mm na grubość korpusa

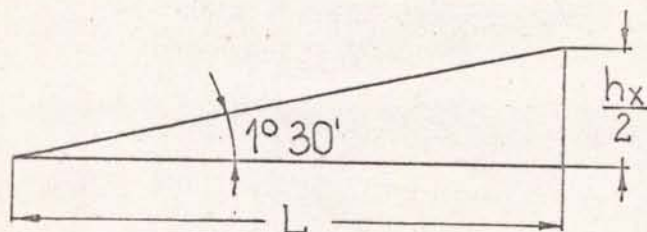
$$l_2 = 45 + 10 = 55 \text{ [mm]}$$

czyli minimalna długość części roboczej śruby mechanizmu różnicowego powinna wynosić

$$L = l_1 + l_2 = 48 + 55 = 103 \text{ [mm]}$$

$$L = 103 \text{ [mm]}$$

2. Zakres przemieszczeń kątowych wg danych wyjściowych względem osi "x" powinien wynosić około  $\pm 1^{\circ}30'$



L - ramię dźwigni  
 $h_x$  - ramię działania

Ze względów konstrukcyjnych wstępnie założono, że

$$L = 250 \pm 10 \text{ [mm]}$$

czyli

$$h_x = 2L \cdot \operatorname{tg} 1^{\circ}30' = 500 \cdot 0,0262 = 13 \text{ [mm]}$$

przyjęto

$$h_x = 12 \text{ [mm]}$$

Z uwagi na duże ramię dźwigni  $L = 250 \text{ [mm]}$  oraz mniejszą dokładność, przemieszczenia te będą realizowane przy pomocy śruby drobnozwojowej o skoku  $0,5 \text{ [mm]}$ .

3. Zakres przemieszczeń liniowych wg danych wyjściowych względem osi "x" /rys. 1/ powinien wynosić około  $\pm 1,5 \text{ [mm]}$  z dokładnością około  $0,1 \text{ [mm/obr]}$

Do realizacji tych przemieszczeń użyto mechanizm różnicowy jak w punkcie 1 do realizacji przemieszczeń kątowych względem osi "y" i "z", w którym zakres przemieszczeń liniowych wynosi  $\pm 1,5 \text{ [mm]}$  - dokładność  $0,05 \text{ [mm/obr]}$ .

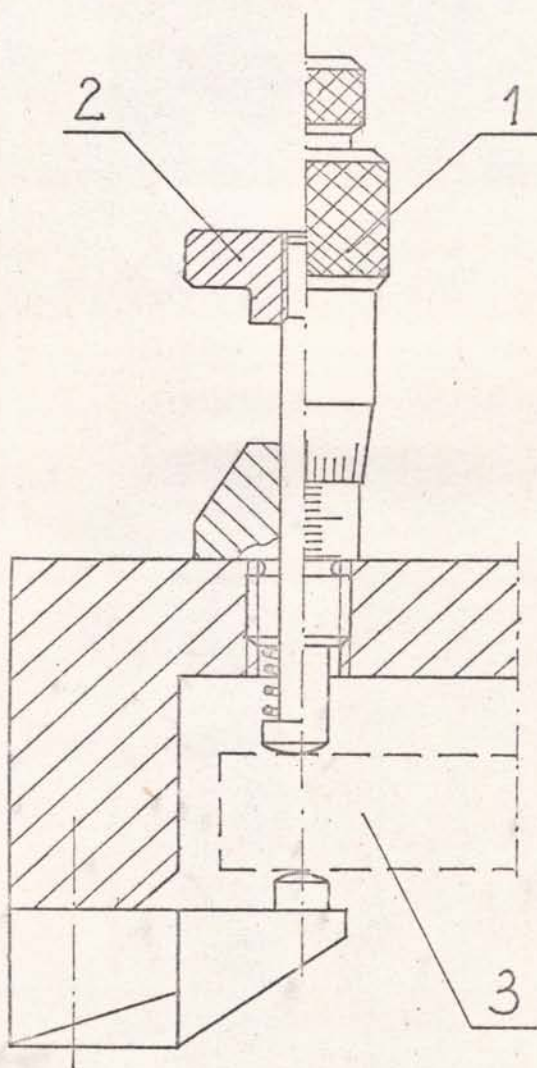
W celu uzyskania jednakowej siły mocującej próbki zaproponowano dwie wersje mocowania próbek rys. 6:

- za pomocą głowic mikrometrycznych, oraz
- za pomocą docisków sprężynowych.

Wybór sposobu mocowania próbek w przyrządzie przeprowadzony zostanie doświadczalnie.



W celu wyeliminowania momentów zginających w czasie mocowania próbki osie wrzecion głowic mikrometrycznych lub osie trzpieni docisków sprężynowych pokrywają się z osiami elementów bazujących rys. 6.



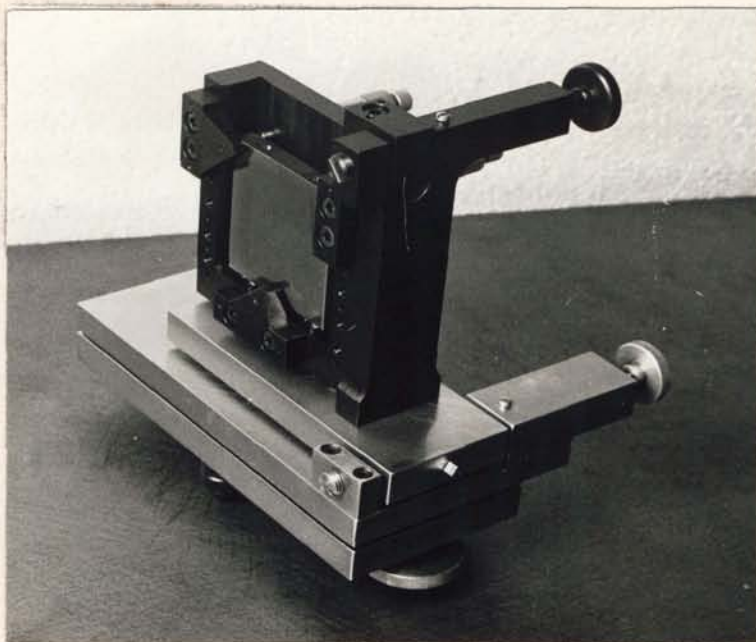
Rys. 6. Schemat mocowania próbki - wzorca  
1 - głowica mikrometryczna,  
2 - docisk sprężynowy  
3 - wzorzec - próbka

Uwzględniając obliczenia wstępne, w przyjętym wariantcie 3, rozwiązania konstrukcyjnego przyrządu:

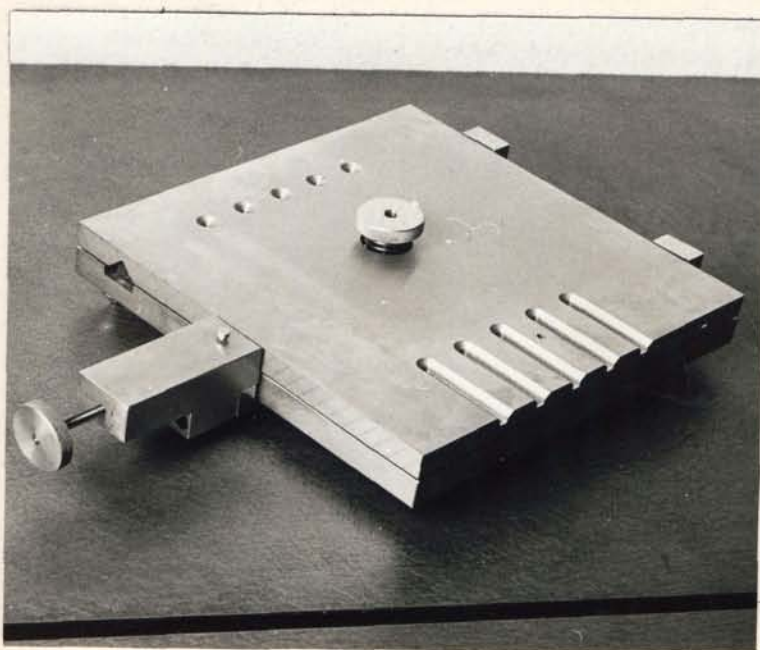
- płaszczyznę podstawy określają trzy śruby ustawcze z elementami blokującymi,
- obrót względem osi "x" wykonuje płyta wokół dwóch kulek łożyskowych przez śrubę o skoku 0,5 [mm],
- obrót względem osi "z" realizowany jest wokół dwóch kulek łożyskowych przez mechanizm różnicowy o skoku 0,05 [mm],
- przemieszczenie liniowe względem osi "x" realizowane jest na jednej prowadnicy walcowej oraz kulce łożyskowej przez mechanizm różnicowy o skoku 0,05 [mm],
- kasowanie luzów odbywa się odpowiednio sprężynami dociskowymi,
- zakres obrotów względem osi "y", "z" wynosi około  $\pm 0^{\circ}30'$ , natomiast względem osi "x" wynosi około  $\pm 1^{\circ}30'$ ,
- zakres przemieszczenia liniowego względem osi "x" wynosi około  $\pm 1,5$  [mm].

## 1.2. Zasada działania

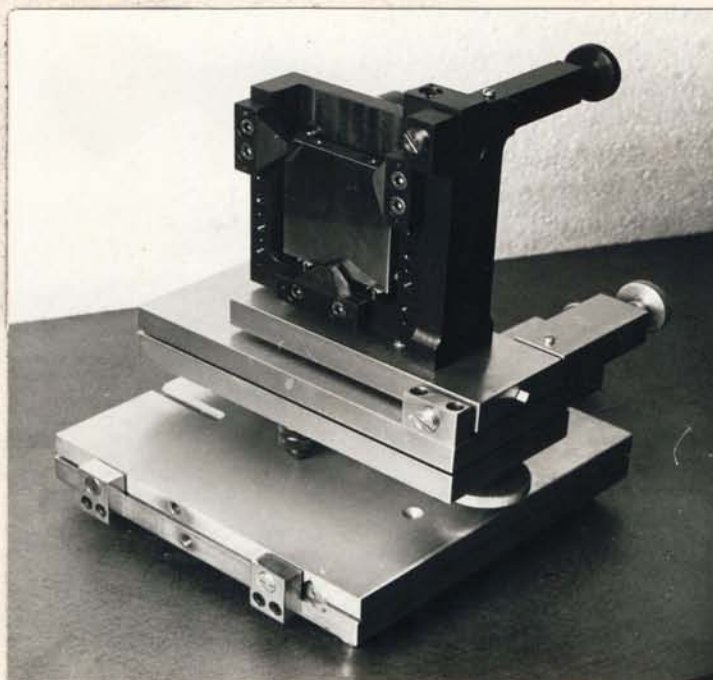
Po opracowaniu dokumentacji prototypu, przyrząd został wykonany w Fabryce Wtryskarek PONAR-ŻYWIEC. Ogólny widok przyrządu do ustalania próbek oraz stołu przesuwnego przyrządu przedstawiono na rys. 7, 8. Przyrząd do ustalania próbek ustawiony na stole przesuwne przyrządu pokazano na rys. 9.



Rys. 7. Ogólny widok przyrządu do ustalania próbek



Rys. 8. Ogólny widok stołu przesuwanego przyrządu



Rys. 9. Przyrząd do ustalania próbek ustawiony na stole przesuwным przyrządu

### 1.2.1. Przyrząd do ustalania próbek

#### Opis zasady działania rys. 10.

Przyrząd do ustalania próbek ustawia się na przesuwным stole przyrządu rys. 9 lub bezpośrednio na płycie traserskiej na podporowych śrubach ustawczych 17 wkręconych do płyty głównej 1, służących do wypoziomowania przyrządu i ustawienia go na określonej wysokości względem wiązki światła laserowego. Płyta środkowa 2 osadzona na dwóch kulkach łożyskowych 47 posiada możliwość obrotu względem tych kulek przez śrubę 18. Obrót płyty górnej 3 względem kulki łożyskowej 28 uzyskuje się za pomocą mechanizmu różnicowego 7. Na płycie górnej 3 umieszczona jest ramka 4, obracająca się względem kulek łożyskowych 29 za pomocą mechanizmu różnicowego 11, 21, 33, 42, 43. Ramka 4 służy do mocowania wzorca-próbek 48. W celu uzyskania jednakowej i stałej siły mocującej nie-

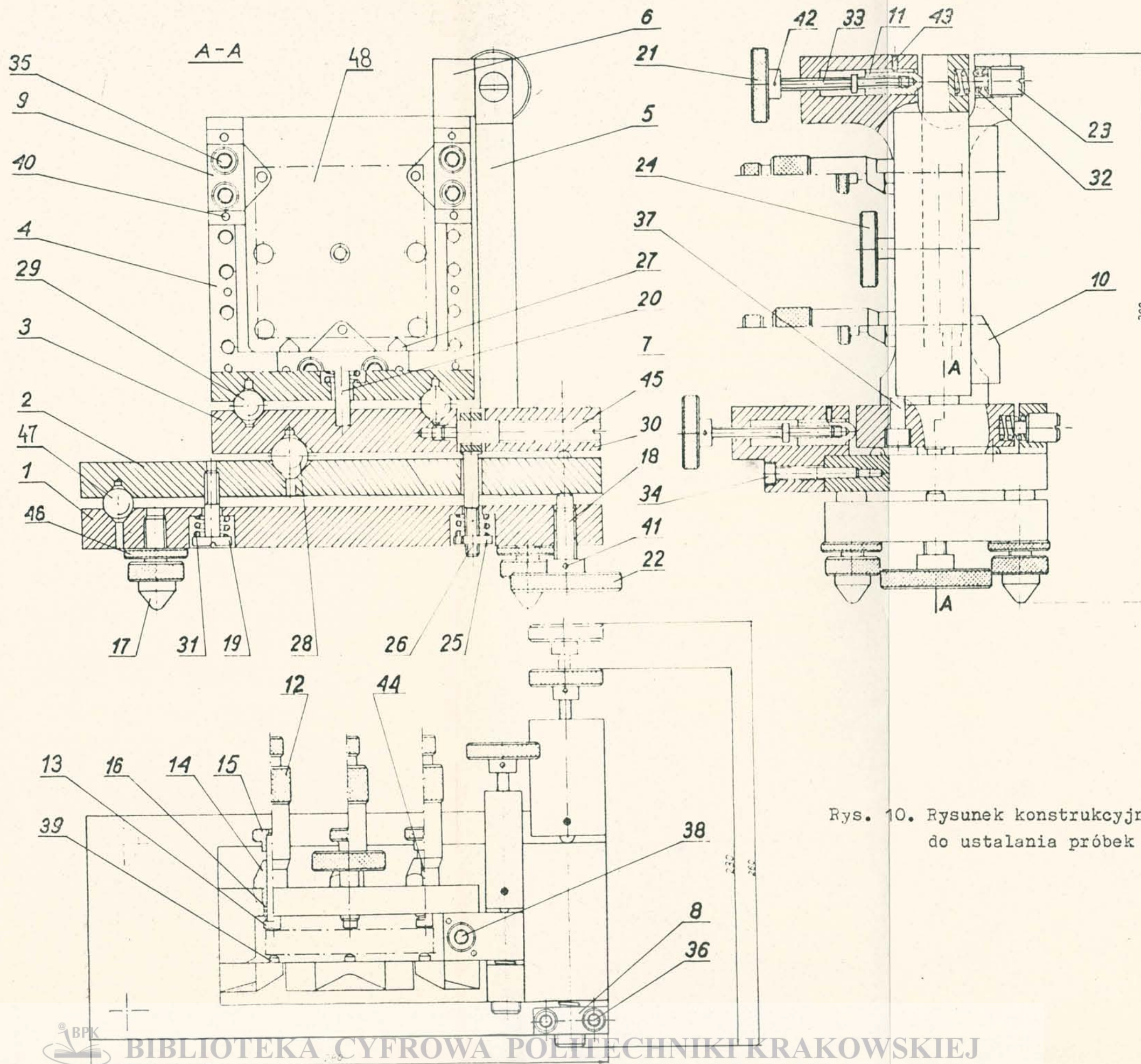
zależnie od grubości badanych próbek w ramce 4 umiejscowione są głowice mikrometryczne 12, zapewniające stały docisk próbek do kołków bazujących 39. Próbki mogą być również mocowane za pomocą prostych mechanizmów dociskowych 13, 14, 15, 16. Kasowanie luzów między współpracującymi częściami przeprowadza się sprężynami dociskowymi 31. Przy mocowaniu próbki 48 w ramca ustawia się ją na kołkach podporowych 27, a następnie mechanizmami mocującymi dociska się ją do kołków bazujących 39, osadzonych w przymocowanych do ramki żapach dociskowych 9. W ramce znajduje się także śruba dociskowa 24, którą można wywierać naciski na próbki w czasie badań. Ponadto w ramce znajdują się dodatkowe otwory gwintowane, które można wykorzystać do mocowania żap dociskowych wraz z kołkami bazującymi w dowolne układy.

### 1.2.2. Stożk przesuwny przyrządu

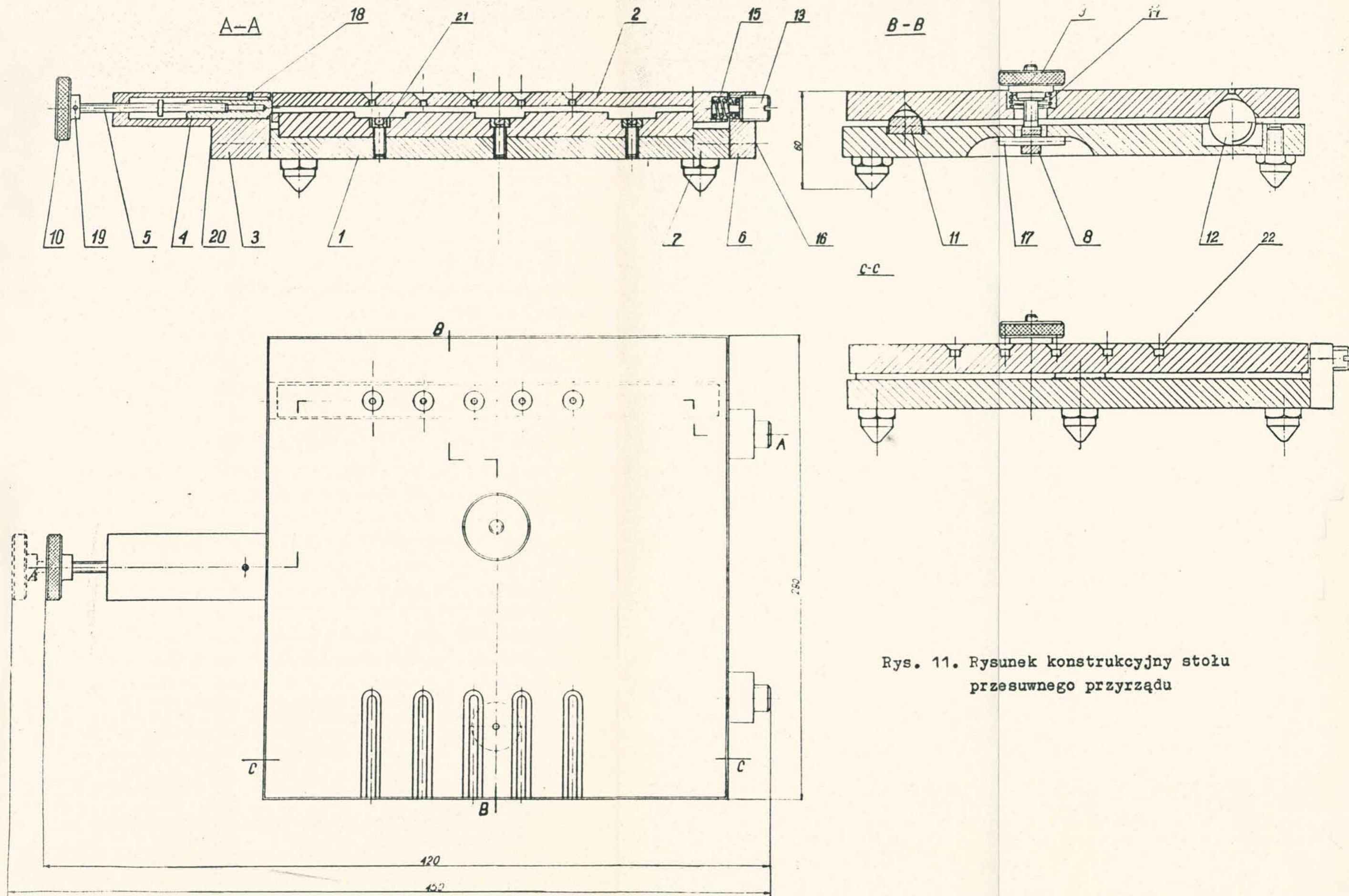
Opis zasady działania rys. 11

Stożk przesuwny przyrządu ustawia się na płycie traser-skiej na trzech śrubach podporowych 7, zamocowanych w płycie dolnej 1 stożku. Płyta górna 2 osadzona na prowadnicy walcowej 11 umiejscowionej w płycie dolnej oraz kulce 12 umiejscowionej w płycie górnej i swobodnie osadzonej na płaszczyźnie płyty dolnej 1 posiada możliwość przesuwu za pomocą mechanizmu różnicowego 3,4,5,10 o skoku 0,05 [mm]. Kasowanie luzów pomiędzy współpracującymi częściami przeprowadza się sprężynami dociskowymi 14, 15.

W celu zabezpieczenia przyrządu ustalającego próbki ustawionego na płycie górnej stożku przed przesuwaniem, w płycie górnej znajdują się gniazda stożkowe i pryzmatyczne 22, 23.



Rys. 10. Rysunek konstrukcyjny przyrządu do ustalania próbek



Rys. 11. Rysunek konstrukcyjny stołu przesuwnego przyrządu

### 1.3. Analiza błędów dokładności ustalania próbek w przyrządzie

Przy doborze metod i aparatury pomiarowej dla wykonania określonego zadania pomiarowego, jak również przy projektowaniu nowych przyrządów celowa jest dokładna analiza składowych błędów pomiaru. Błędy spowodowane niedokładnością ustalenia próbki w przyrządzie oraz błędy własne przyrządu mają bezpośredni wpływ na wynik pomiaru jak również są bezpośrednią przyczyną błędów pomiaru. Dokładność przyrządu do ustalania próbek jest sumaryczną właściwością przyrządu z punktu widzenia jego błędów. Zagadnienie dokładności przyrządu do ustalania próbek należy rozpatrywać w aspekcie:

- błędów systematycznych oraz
- błędów przypadkowych.

Zdolność przyrządu do dawania ustaleń nieobciążonych błędami systematycznymi charakteryzuje zgodnie z PN-71/N-02050<sup>1)</sup> POPRAWNOŚĆ PRZYRZĄDU. Ilościowo poprawność przyrządu ujmuje błąd poprawności, który określa sumę algebraiczną błędów systematycznych, jakimi obciążone są ustalenia próbek/powierzchni/w przyrządzie, w określonych warunkach jego użytkowania. Błędy te można wyznaczyć na drodze analitycznej lub doświadczalnej i uwzględnić w postaci poprawek do wartości mierzonej w celu uzgodnienia tej wartości z wartością poprawną wielkości mierzonej. Błąd poprawności przyrządu wyznaczono na drodze analitycznej.

---

<sup>1)</sup> PN-71/N-02050 - Metrologia. Nazwy i określenia.



## BŁĄD POPRAWNOŚCI PRZYRZĄDU

Dokładna analiza składowych błędów przyrządu o charakterze systematycznym pozwoliła wyróżnić trzy grupy składowych błędów systematycznych.

- 1/ Błąd wywołany ugięciem współpracujących ze sobą części pod wpływem siły mocującej próbki  $-d_{p_1}$
- 2/ Błąd wywołany odkształceniem sprężystym układu wzorzec - próbka - element dociskowy pod wpływem siły mocującej wzorzec-próbki  $-d_{p_2}$
- 3/ Błąd metody  $-d_{p_3}$

czyli całkowity błąd poprawności przyrządu wynosi:

$$d_{p_p} = d_{p_1} + d_{p_2} + d_{p_2} + d_{p_3} \quad /1.01/$$

Błąd wywołany ugięciem współpracujących ze sobą części pod wpływem siły mocującej próbki  $d_{p_1}$

Powstaną tutaj dwa błędy wywołane ugięciem współpracujących ze sobą części pod wpływem siły mocującej:

1. Błąd, który powstanie w czasie mocowania wzorca -  $-d_{p_{1w}}$
2. Błąd, który powstanie w czasie mocowania próbki -  $-d_{p_{1p}}$

Ponieważ w obu przypadkach siła mocująca będzie taka sama, to wartość błędów składowych będzie również taka sama - wynika z tego, że prowadzenie pomiarów w ten sposób spowoduje wyeliminowanie błędu wywołanego ugięciem współpracujących ze sobą części.

$$\begin{aligned}\alpha_{p_{1w}} &= \alpha_{p_{1p}} \\ \alpha_{p_1} &= \alpha_{p_{1w}} - \alpha_{p_{1p}} = 0 \\ \alpha_{p_1} &= 0\end{aligned}$$

Błąd metody -  $\alpha_{p_3}$

Przy dokładnych pomiarach interferencyjnych należy uwzględnić fakt, że płaszczyzna optyczna metali przy odbiciu wiązki światła leży nieco poniżej płaszczyzny materialnej, natomiast w dielektrykach np. szkła, obie płaszczyzny pokrywają się [6]. Ponieważ w rozpatrywanym przypadku wzorzec wykonany ze szkła ma powierzchnię wzorcową pokrytą warstwą metaliczną Al wynika z tego, że jego płaszczyzna optyczna też leży poniżej płaszczyzny materialnej, co spowoduje wyeliminowanie błędu metody

$$\begin{aligned}\alpha_{p_{3w}} &= \alpha_{p_{3p}} \\ \alpha_{p_3} &= \alpha_{p_{3w}} - \alpha_{p_{3p}} = 0 \\ \alpha_{p_3} &= 0\end{aligned}$$

Błąd wywołany odkształceniem sprężystym układu wzorzec-próbka-element dociskowy pod wpływem siły mocującej wzorzec-próbki  $\alpha_{p_2}$ .

Błąd spowodowany jest różnicą przemieszczeń powierzchni wzorcowej i powierzchni badanej na skutek miejscowego ściskania w czasie ustalania wzorca-próbki w przyrządzie. Powierzchnie te zostaną przesunięte w stosunku do płaszczyzny stycznej wyznaczonej przez elementy bazujące przyrządu na skutek miejscowego odkształcenia rys. 12. Przemieszczenia te będą różne dla obu powierzchni z uwagi na różne materiały wzorca /szkło/ i próbki /stal/. Różnica tych przemieszczeń da nam błąd wywołany odkształceniem sprężystym układu wzorzec-próbka-element

dociskowy.

$$\alpha_{p_2} = \alpha_{p_{2w}} - \alpha_{p_{2p}}$$

/1.02/

gdzie:

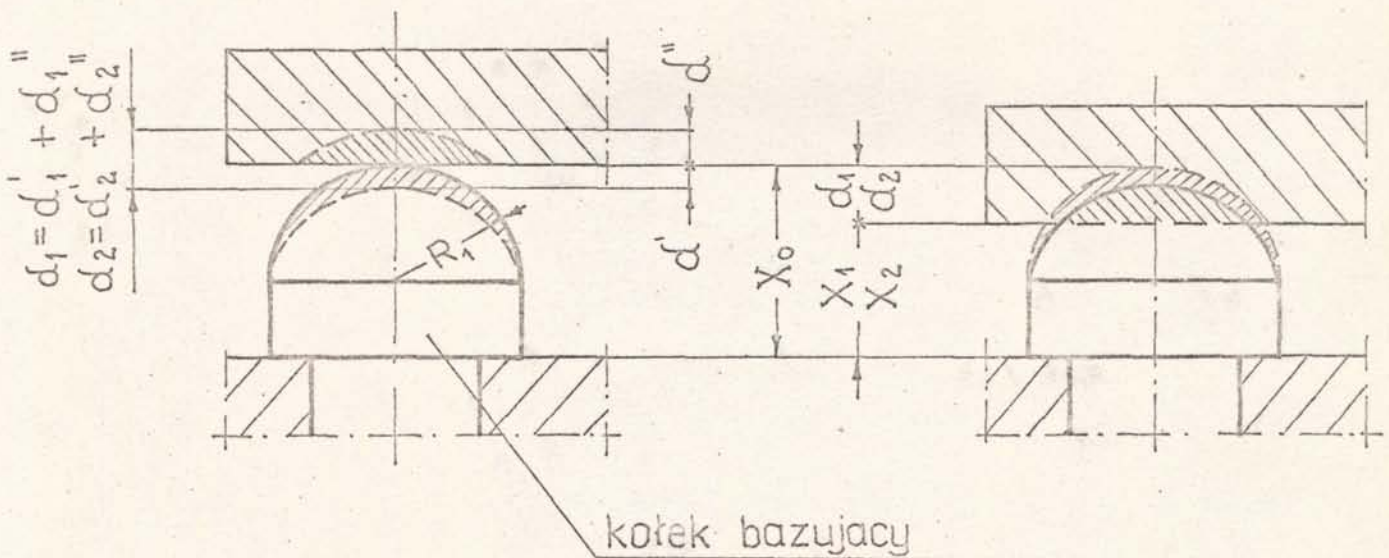
$\alpha_{p_{2w}}$  - przemieszczenie powierzchni wzorcowej /szklanej/, która współpracuje ze stalowym kółkiem bazującym o promieniu R

$\alpha_{p_{2p}}$  - przemieszczenie powierzchni próbki /stalowej/, która współpracuje ze stalowym kółkiem bazującym o promieniu R

Przemieszczenia  $\alpha_{p_{2w}}$ ,  $\alpha_{p_{2p}}$  wyznacza się najczęściej w oparciu o wzory Hertza [7].

a/ Wzorec-próbka  
przed odkształceniem

b/ Wzorec-próbka  
po odkształceniu



$E_1, \nu_1$  - próbka

$E_2, \nu_2$  - wzorec

Rys. 12. Schemat odkształcenia sprężystego układu wzorec-próbka-element dociskowy  
a/ przed odkształceniem  
b/ po odkształceniu

Przy współpracy kuli z kulą przemieszczenie  $\alpha$  wg [27] wynosi:

$$\alpha = \sqrt[3]{\frac{9 \pi^2}{16} \frac{P^2 (k_1 + k_2)^2 (R_1 + R_2)}{R_1 \cdot R_2}} \quad /1.03/ [7]$$

gdzie:

$$k_1 = \frac{1 - \nu_1^2}{\pi E_1} \quad k_2 = \frac{1 - \nu_2^2}{\pi E_2}$$

$E_1, E_2$  - odpowiednie moduły Younga kuli pierwszej i drugiej,

$\nu_1, \nu_2$  - odpowiednie współczynniki Poissona kuli pierwszej i drugiej

$R_1, R_2$  - odpowiednie promienie kuli pierwszej i drugiej

$P$  - siła dociskająca

Uwzględniając wzory na  $k_1$  i  $k_2$  wzór /1.03/ przyjmie postać:

$$\begin{aligned} \alpha &= \sqrt[3]{\frac{9 \pi^2}{16} \frac{P^2 \left( \frac{1 - \nu_1^2}{\pi E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{\pi E_2} \right)^2 (R_1 + R_2)}{R_1 \cdot R_2}} = \\ &= \sqrt[3]{\frac{9 P^2}{16} \left( \frac{1 + \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 + \nu_2^2}{E_2} \right)^2 \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)} \quad /1.04/ \end{aligned}$$

W przypadku współpracy kulistego kołka bazującego z płaszczyzną  $R_2 = \infty$ , otrzymamy zatem:

$$R_2 = \infty \text{ to to } \frac{1}{R_2} = 0$$

$$\alpha = \sqrt[3]{\frac{9 P^2}{16 R_1} \left( \frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2} \right)^2} \quad /1.05/$$

W przypadku współpracy:

a/ stalowego kulistego kołka bazującego z płaskim wzorcem - przypadek mocowania wzorca w przyrządzie otrzymamy:

$$\alpha_{P_{2w}} = 3 \sqrt{\frac{9 P^2}{16 R_1} \left( \frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2} \right)^2} \quad /1.06/$$

b/ stalowego kulistego kołka bazującego z płaską stalową próbką - przypadek mocowania próbki w przyrządzie ( $E_1 = E_2, \nu_1 = \nu_2$ ) otrzymamy:

$$\alpha_{P_{2p}} = 3 \sqrt{\frac{9 P^2}{4 R_1} \left( \frac{1 - \nu_2^2}{E_1^2} \right)^2} \quad /1.07/$$

Uwzględniając wzory /1.02/, /1.06/, /1.07/ otrzymamy wzór na błąd wywołany odkształceniem sprężystym układu wzorec - próbka - element dociskowy

$$\begin{aligned} \alpha_{P_2} = \alpha_{P_{2w}} - \alpha_{P_{2p}} &= 3 \sqrt{\frac{9 P^2}{16 R_1} \left( \frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2} \right)^2} - \\ &- 3 \sqrt{\frac{9 P^2}{16 R_1} \left( \frac{1 - \nu_1^2}{E_1^2} \right)^2} \quad /1.08/ \end{aligned}$$

Dyskusja:

$$\alpha_{P_2} = f(E_1, E_2, \nu_1, \nu_2, R_1, P)$$

1. Jeżeli nacisk  $P$  rośnie to  $\alpha_{P_2}$  rośnie
2. Jeżeli promień  $R_1$  rośnie to  $\alpha_{P_2}$  maleje
3. Jeżeli  $E_1 = E_2, \nu_1 = \nu_2$  to  $\alpha_{P_{2w}} = \alpha_{P_{2p}}$

czyli

$$\alpha_{P_2} = \alpha_{P_{2w}} - \alpha_{P_{2p}} = 0$$

W przypadku tych samych stałych materiałowych błąd wywołany odkształceniem sprężystym układu wzorzec - próbka - element dociskowy pod wpływem siły dociskającej zostanie wyeliminowany. Wynika z tego, że w celu wyeliminowania błędu  $\alpha_{p_2}$  wzorzec powinien być wykonany z takiego samego materiału jak próbka np. w przypadku stalowych próbek wzorzec powinien być również stalowy, wówczas  $\alpha_{p_2} = 0$ ,

Przyjmując:

$$E_1 = 2.1 \cdot 10^4 \quad [\text{kG/mm}^2] \quad [6]$$

$$E_2 = 8000 \quad [\text{kG/mm}^2] \quad [5]$$

$$\nu_1 = 0,3 \quad \text{/dla stali/} \quad [6]$$

$$\nu_2 = 0,23 \quad \text{/dla stali/} \quad [5]$$

$$R_1 = 200 \quad [\text{mm}]$$

$$P = 400 \quad [\text{G}] = 0,4 \quad [\text{kG}]$$

otrzymamy:

$$\alpha_{p_2} = 3 \sqrt{\frac{9 \cdot 0,4^2}{16 \cdot 200} \left( \frac{1-0,3^2}{2,1 \cdot 10^4} + \frac{1-0,23^2}{8000} \right)^2} - 3 \sqrt{\frac{9 \cdot 0,4^2}{4 \cdot 200} \left( \frac{1-0,3^2}{2,1 \cdot 10^4} \right)^2} = 0,077 \cdot 10^{-3} \quad [\text{mm}] = 0,077 \quad [\mu\text{m}]$$

$$\alpha_{p_2} = 0,08 \quad [\mu\text{m}]$$

Całkowity błąd poprawności przyrządu wynosi:

$$\alpha_{p_p} = \alpha_{p_1} + \alpha_{p_2} + \alpha_{p_3} = 0 + 0,08 + 0 = 0,08 \quad [\mu\text{m}]$$

$$\alpha_{p_p} = 0,08 \quad [\mu\text{m}]$$

Błąd ten należy uwzględnić w postaci poprawki do wartości mierzonej w celu uzgodnienia jej z wartością poprawną wielkości mierzonej lub skompensować ją przez przesuw płyty gór-

nej stożu, na którym ustawiony jest przyrząd przy użyciu śrubowego mechanizmu różnicowego. Z uwagi na bardzo małą wartość błędu poprawności /około  $1/8 \lambda$  / proponuje się aby wartości tej nie uwzględniać w postaci poprawki tym bardziej, że w przypadku stosowania do formowania wiązki przedmiotowej fali płaskiej lub fali kulistej o dużym promieniu krzywizny, równoległe przemieszczenie powierzchni wzorcowej w stosunku do powierzchni badanej nie ma wpływu na wynik pomiaru, tzn. nie powoduje błędu pomiaru.

Zdolność przyrządu do dawania ustaleń nieobarczonych błędami przypadkowymi charakteryzuje zgodnie z PN-71/N-02050 WIERNOŚĆ PRYZRZADU. Ilościowa wierność przyrządu ujemuje błąd wierności.

#### BŁĄD WIERNOŚCI PRYZRZADU

Błąd wierności jest jednym ze wskaźników rozrzutu błędów ustaleń próbki. Przyjmuje się zwykle odchylenie średnie kwadratowe jednego pomiaru błędu ustalenia w serii pomiarów błędów ustaleń, które nazywa się wówczas:

#### ŚREDNIM BŁEDEM KWADRATOWYM WIERNOŚCI

dla serii kolejnych pomiarów błędów ustaleń tej samej próbki w określonych warunkach użytkowania przyrządu.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad /1.09/$$

gdzie:

- $x_i$  - wynik pomiaru kolejnego błędu ustalenia próbki
- $\bar{x}$  - średnia arytmetyczna wyników pomiaru błędów ustaleń próbki

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$n$  - liczba pomiarów w serii ustaleń próbki

Najczęściej podaje się:

#### BŁĘDY GRANICZNE WIERNOŚCI PRZYRZĄDU

Oblicza się je jako iloczyn średniego błędu kwadratowego wierności ustaleń w danej serii pomiarów błędów ustaleń i liczby  $t$  określonej przy założonym poziomie istotności  $\alpha$  na podstawie rozkładu  $t$ -Studenta dla określonej liczby stopni swobody

$$e = \pm t_{\alpha, f} \cdot S \quad /1.10/$$

gdzie:

- $e$  - błędy graniczne wierności przyrządu
- $t_{\alpha, f}$  - liczba z rozkładu  $t$ -Studenta na ustalonym poziomie istotności oraz liczbie stopni swobody  $f$

$$f = n - 1$$

$S$  - średni błąd kwadratowy wierności

Wierność przyrządu do ustalania próbek zostanie określona na drodze doświadczalnej przez wyznaczenie:

1. Średniego błędu kwadratowego wierności przyrządu oraz
2. Błędu granicznego wierności przyrządu.



## 2. BADANIA WŁASNE PRZYRZĄDU

### 2.1. Ramowy program badań przyrządu

- I. Określenie ogólnego stanu przyrządu - wstępne próby działania
  1. Oględziny i sprawdzenie stanu i wyglądu zewnętrznego przyrządu
  2. Sprawdzenie jakości i stanu elementów nastawczych, blokujących, chwytowych itp. elementów
  3. Sprawdzenie poprawności i skuteczności działania mechanizmów
  4. Wstępne próby działania
- II. Ocena konstrukcji pod kątem:
  1. Łatwości montażu i przezbrajania
  2. Bezpieczeństwa i wygody obsługi
  3. Uniwersalności
  4. Łatwości ustawiania i transportu
  5. Wyglądu zewnętrznego i estetyki wykonania
- III. Badania doświadczalne

## 2.2. Ogólna ocena przyrządu

Wygląd zewnętrzny i estetyka wykonania zarówno części jak również przyrządu nie budzi poważniejszych zastrzeżeń. Ze względów estetycznych, jak również bezpieczeństwa obsługi proponuje się zastąpić śruby łączące trzpienie mechanizmów różnicowych z korpusem śrubami bez łożów o długości tak dobranej, aby po wkręceniu ich do korpusu nie wystawały. Uszkodzeń typu mechanicznego spowodowanych transportem nie zauważono.

Podkreślić należy, że wszystkie elementy nastawcze są wykonane z myślą o wygodzie obsługującego np. radełkowane łoża śrub, łatwy dostęp itd. Wstępne próby działania zarówno poszczególnych zespołów, jak również całego przyrządu wypadły pomyślnie. Stwierdza się płynność przemieszczeń oraz brak luzów pomiędzy współpracującymi częściami. Ponadto przyrząd charakteryzuje się zwartością budowy, łatwością montażu, przezbrajania oraz ustawiania i transportu, jak również uniwersalnością, bezpieczeństwem, wygodą i łatwością obsługi.

## 2.3. Badania doświadczalne

Celem badań doświadczalnych jest określenie wierności przyrządu przez wyznaczenie średniego błędu kwadratowego wierności ustaleń oraz błędów granicznych wierności przyrządu. Błędy te mają bezpośredni wpływ na błędy graniczne wierności interferometru holograficznego do określania topografii błędów i kształtu powierzchni części maszyn - a tym samym na niedokładność pomiarów.

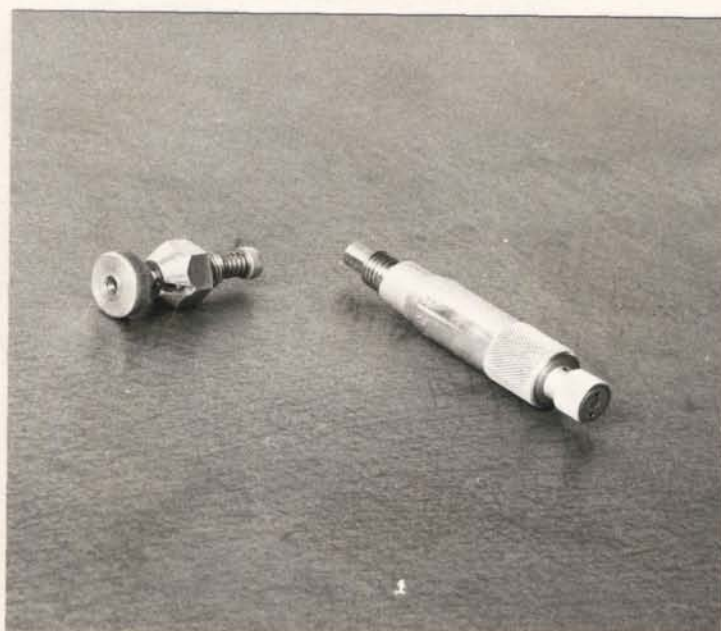
W czasie badań doświadczalnych należy wyznaczyć:

- średni błąd kwadratowy wierności ustaleń oraz
- błędy graniczne wierności przyrządu.

W celu uzyskania minimalnego błędu granicznego wierności przyrządu zaproponowano trzy sposoby mocowania próbek:

1. Przy użyciu głowic mikrometrycznych rys. 13
2. Przy użyciu głowic mikrometrycznych z wkładkami z teflonu na końcówki wrzecion
3. Przy użyciu docisków sprężynowych rys. 13 .

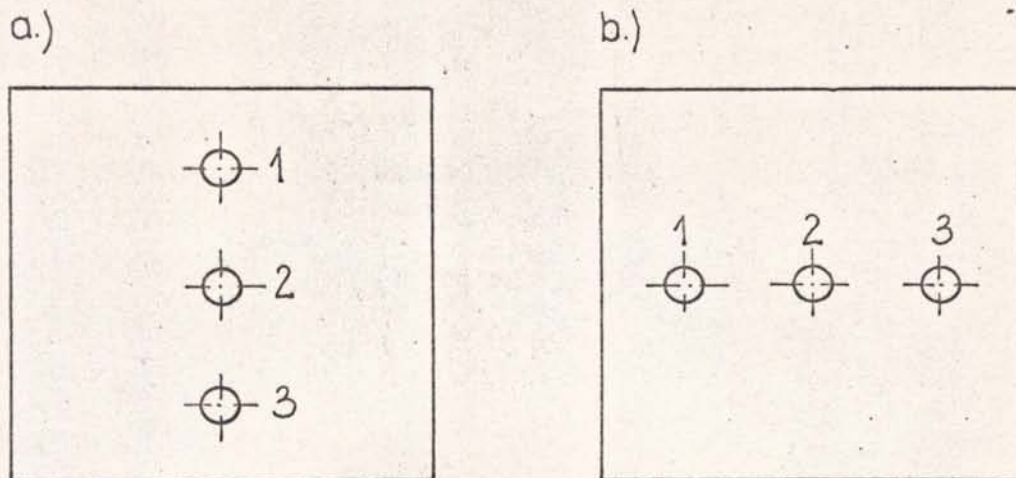
Wyboru jednego z trzech sposobów mocowania dokonano na podstawie wyników badań doświadczalnych



Rys. 13. Widok głowicy mikrometrycznej i docisku sprężynowego

Dla każdego sposobu mocowania przeprowadzono dwie serie pomiarów ustalenia próbki przy użyciu trzech czujników indukcyjnych produkcji F.W.P. o zwiększonej dokładności:

1. Czujnik MDKa-C232 z osiowym wyprowadzeniem przewodu
2. Czujnik MDKa-D30 z bocznym wyprowadzeniem przewodu
3. Czujnik MDKa- 90 z osiowym wyprowadzeniem przewodu wg schematu rys. 14 .



Rys. 14. Schemat rozmieszczenia czujników do badań  
a/ I seria pomiarów  
b/ II seria pomiarów

Czujniki przez przełącznik wielopozycyjny MDZw-10 połączone zostały ze wskaźnikiem MDNf-B produkcji F.W.P. /rys. 15/.  
Pomiary prowadzone na zakresie  $\approx 5$  [ $\mu\text{m}$ ]; wartość działki elementarnej  $0,2$  [ $\mu\text{m}$ ]. Odczytów dokonywano z dokładnością do  $1/2$  działki elementarnej czyli z dokładnością do  $0,1$  [ $\mu\text{m}$ ].  
W każdej serii przeprowadzono 20 pomiarów. Łączna ilość pomiarów:

$$N = 2 \cdot r \cdot k$$

gdzie:

r - ilość powtórzeń w serii

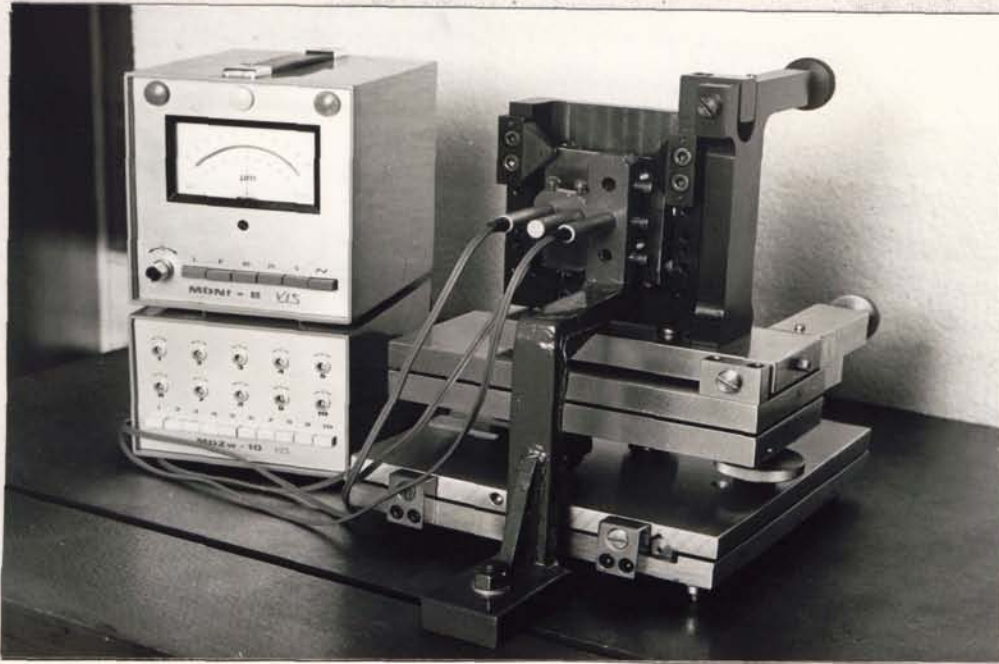
k - ilość sposobów mocowania

czyli

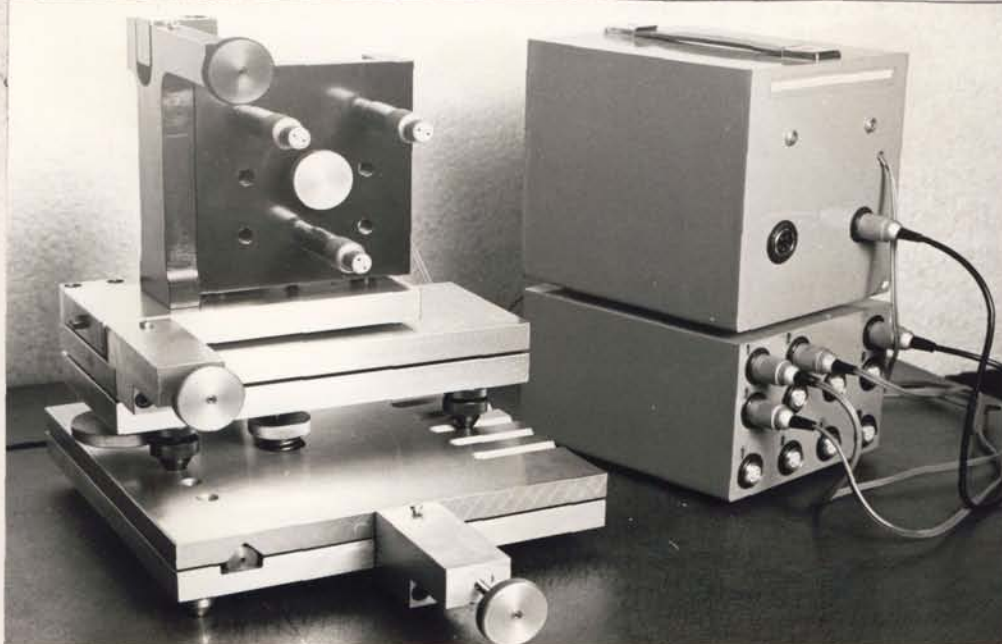
$$N = 2 \cdot 20 \cdot 3 = 120 \text{ [pomiarów]}$$

Nagrzewanie przyrządu pomiarowego około 2 [godz], warunki pracy normalne /temperatura  $20^{\circ}\text{C}$ , ciśnienie 760 [mm Hg], wilgotność względna 55 %/.

a.)



b.)



Rys. 15. Ogólny widok stanowiska badawczego  
a/ widok z przodu  
b/ widok z tyłu

Do badań używano próbki płaskiej docieranej -  $R_a=0,040$  [ $\mu\text{m}$ ]  
/rys. 16/.



Rys. 16. Próbka używana do badań

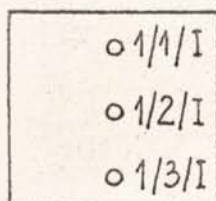
Badania zostały przeprowadzone w Zakładzie Metrologii Warsztatowej Instytutu Technologii Maszyn Politechniki Krakowskiej.

### 2.3.1. Wyniki badań

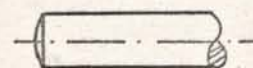
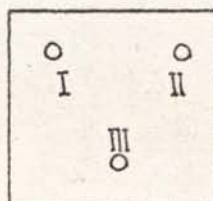
Wyniki pomiarów wierności przyrządu do ustalania próbek na interferometrze holograficznym przedstawiono w tablicach 1 + 6 . Zestawienie wyników badań przedstawiona w tablicach 7 + 9.

1. Mocowanie próbki głowicami mikrometrycznymi bez wkładek - I seria pomiarów

Schemat rozmieszczenia czujników



Schemat rozmieszczenia głowic mikrometrycznych bez wkładek

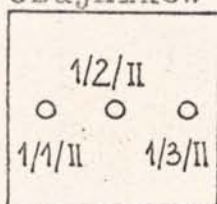


TABLICA 1. Wynik pomiarów - 1

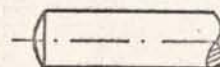
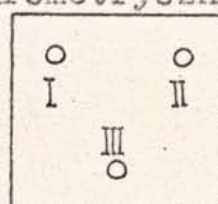
Lp	$X_{ji} \text{ } \mu\text{m } j=1,2,3; i=1, \dots, 20$			$X_{ji} - \bar{X}_j \text{ } [\mu\text{m}]$			$ X_{ji} - \bar{X}_j ^2 \text{ } [\mu\text{m}^2]$		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	0	0	0	-0,005	0	+0,005	0,000025	0	0,000025
2	0	0	0	-0,005	0	+0,005	0,000025	0	0,000025
3	0	0	0	-0,005	0	+0,005	0,000025	0	0,000025
4	0	0	0	-0,005	0	+0,005	0,000025	0	0,000025
5	0	-0,1	-0,1	-0,005	-0,1	+0,095	0,000025	0,01	0,009115
6	0	0	0	-0,005	0	+0,005	0,000025	0	0,000025
7	+0,1	+0,1	+0,1	+0,095	+0,1	-0,105	0,009115	0,01	0,011025
8	0	0	0	-0,005	0	+0,005	0,000025	0	0,000025
9	0	0	0	-0,005	0	+0,005	0,000025	0	0,000025
10	0	0	0	-0,005	0	+0,005	0,000025	0	0,000025
11	0	+0,1	0	-0,005	+0,1	+0,005	0,000025	0,01	0,000025
12	0	0	0	-0,005	0	+0,005	0,000025	0	0,000025
13	+0,1	0	0	+0,095	0	+0,005	0,009115	0	0,000025
14	0	0	0	-0,005	0	+0,005	0,000025	0	0,000025
15	0	0	0	-0,005	0	+0,005	0,000025	0	0,000025
16	0	0	0	-0,005	0	+0,005	0,000025	0	0,000025
17	-0,1	-0,1	-0,1	-0,105	-0,1	-0,095	0,011025	0,01	0,009115
18	0	0	0	-0,005	0	+0,005	0,000025	0	0,000025
19	0	0	0	-0,005	0	+0,005	0,000025	0	0,000025
20	0	0	0	-0,005	0	+0,005	0,000025	0	0,000025
$\sum_{i=1}^{20}$	+0,1	0	-0,1				0,029680	0,04	0,029680
$\bar{X}_j$	+0,005	0	-0,005						

2. Mocowanie próbki głowicami mikrometrycznymi bez wkładek - II seria pomiarów

Schemat rozmieszczenia czujników



Schemat rozmieszczenia głowic mikrometrycznych bez wkładek



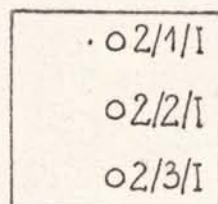
TABLICA 2. Wyniki pomiarów - 2

Lp	$X_{ji} [\mu\text{m}] \quad j=1,2,3; i=1,2,3$			$X_{ji} - \bar{X}_j [\mu\text{m}]$			$ X_{ji} - \bar{X}_j ^2 [\mu\text{m}^2]$		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	0	0	0	+0,025	+0,01	-0,01	0,000625	0,0001	0,0001
2	0	0	0	+0,025	+0,01	-0,01	0,000625	0,0001	0,0001
3	0	-0,1	0	+0,025	-0,09	-0,01	0,000625	0,0081	0,0001
4	0	0	0	+0,025	+0,01	-0,01	0,000625	0,0001	0,0001
5	0	0	0	+0,025	+0,01	-0,01	0,000625	0,0001	0,0001
6	-0,1	0	0	-0,075	+0,01	-0,01	0,005625	0,0001	0,0001
7	0	0	-0,1	+0,025	+0,01	-0,11	0,000625	0,0001	0,0121
8	0	+0,1	+0,1	+0,025	+0,11	-0,09	0,000625	0,0021	0,0081
9	0	0	0	+0,025	+0,01	-0,01	0,000625	0,0001	0,0001
10	0	0	0	+0,025	+0,01	-0,01	0,000625	0,0001	0,0001
11	-0,1	0	+0,1	-0,075	+0,01	+0,09	0,005625	0,0001	0,0081
12	-0,1	-0,1	0	-0,075	-0,09	-0,01	0,005625	0,0081	0,0001
13	0	0	0	+0,025	+0,01	-0,01	0,000625	0,0001	0,0001
14	0	0	0	+0,025	+0,01	-0,01	0,000625	0,0001	0,0001
15	0	0	0	+0,025	+0,01	-0,01	0,000625	0,0001	0,0001
16	0	0	0	+0,025	+0,01	-0,01	0,000625	0,0001	0,0001
17	-0,1	-0,1	0	-0,075	-0,09	-0,01	0,005625	0,0081	0,0001
18	0	0	0	+0,025	+0,01	-0,01	0,000625	0,0001	0,0001
19	-0,1	0	+0,1	-0,075	+0,01	+0,09	0,005625	0,0001	0,0081
20	0	0	0	+0,025	+0,01	-0,01	0,000625	0,0001	0,0001
$\sum_{i=1}^{20}$	-0,5	-0,2	+0,2				0,037500	0,0380	0,0380
$\bar{X}_j$	-0,025	-0,01	+0,01						

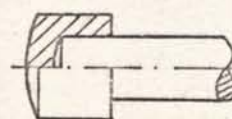
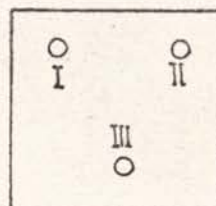


3. Mocowanie próbki głowicami mikrometrycznymi z wkładkami - I seria pomiarów

Schemat rozmieszczenia czujników



Schemat rozmieszczenia głowic mikrometrycznych z wkładkami



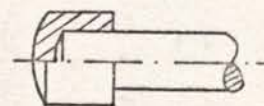
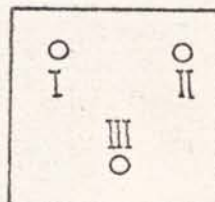
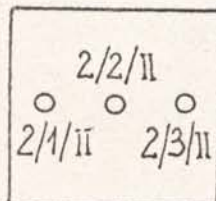
TABLICA 3. Wyniki pomiarów - 3

Lp.	$X_{ji} [\mu\text{m}] \quad j=1,2,3; i=1, \dots, 20$			$X_{ji} - X_j [\mu\text{m}]$			$ X_{ji} - X_j ^2 [\mu\text{m}^2]$		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	0	0	0	+0,03	+0,02	-0,035	0,0009	0,0004	0,001225
2	0	0	0	+0,03	+0,02	-0,035	0,0009	0,0004	0,001225
3	0	0	0	+0,03	+0,02	-0,035	0,0009	0,0004	0,001225
4	-0,1	0	0	-0,07	+0,02	-0,035	0,0049	0,0004	0,001225
5	0	0	+0,1	+0,03	+0,02	+0,065	0,0009	0,0004	0,004225
6	-0,1	-0,1	0	-0,07	-0,08	-0,035	0,0049	0,0064	0,001225
7	0	0	+0,1	+0,03	+0,02	+0,065	0,0009	0,0004	0,004225
8	0	0	0	+0,03	+0,02	-0,035	0,0009	0,0004	0,001225
9	0	0	+0,1	+0,03	+0,02	+0,065	0,0009	0,0004	0,004225
10	0	0	0	+0,03	+0,02	-0,035	0,0009	0,0004	0,001225
11	0	0	+0,1	+0,03	+0,02	+0,065	0,0009	0,0004	0,004225
12	-0,1	-0,1	0	-0,07	-0,08	-0,035	0,0049	0,0064	0,001225
13	0	0	+0,1	+0,03	+0,02	+0,065	0,0009	0,0004	0,004224
14	0	0	0	+0,03	+0,02	-0,035	0,0009	0,0004	0,001225
15	0	0	+0,1	+0,03	+0,02	+0,065	0,0009	0,0004	0,004225
16	-0,1	-0,1	0	-0,07	-0,08	-0,035	0,0049	0,0064	0,001225
17	0	0	0	+0,03	+0,02	-0,035	0,0009	0,0004	0,001225
18	-0,1	-0,1	0	-0,07	-0,08	-0,035	0,0049	0,0064	0,001225
19	-0,1	0	+0,1	-0,07	+0,02	+0,065	0,0049	0,0004	0,004225
20	0	0	0	+0,03	+0,02	+0,065	0,0009	0,0004	0,001225
$\sum_{i=1}^{20}$	-0,6	-0,4	+0,7				0,0420	0,0320	0,0455
$\bar{X}_j$	-0,03	-0,02	+0,035						

4. Mocowanie próbki głowicami mikrometrycznymi z wkładkami - II seria pomiarów

Schemat rozmieszczenia czujników

Schemat rozmieszczenia głowic mikrometrycznych z wkładkami

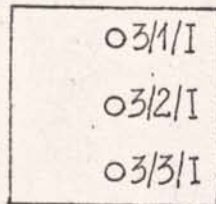


TABLICA 4. Wyniki pomiarów - 4

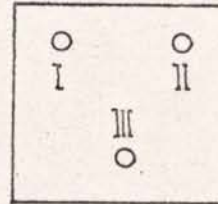
Lp.	$X_{ji} [\mu m] j=1,2,3; i=1, \dots, 20$			$X_{ji} - X_j [\mu m]$			$ X_{ji} - X_j ^2 [\mu m^2]$		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	0	0	0	0	+0,01	-0,01	0	0,0001	0,0001
2	0	0	0	0	+0,01	-0,01	0	0,0001	0,0121
3	0	0	0	0	+0,01	-0,01	0	0,0001	0,0001
4	0	0	0	0	+0,01	-0,01	0	0,0001	0,0001
5	0	0	0	0	+0,01	-0,01	0	0,0001	0,0001
6	0	0	0	0	+0,01	-0,01	0	0,0001	0,0001
7	0	0	0	0	+0,01	-0,01	0	0,0001	0,0001
8	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,11	+0,09	0,01	0,0121	0,0081
9	0	0	0	0	+0,01	-0,01	0	0,0001	0,0001
10	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,09	-0,01	0,01	0,0081	0,0001
11	0	0	0	0	+0,01	+0,09	0	0,0001	0,0081
12	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,09	-0,01	0,01	0,0081	0,0001
13	0	0	0	0	+0,01	-0,01	0	0,0001	0,0001
14	0	0	0	0	+0,01	+0,09	0	0,0001	0,0081
15	+0,1	0	+0,1	+0,1	+0,01	-0,01	0,01	0,0001	0,0001
16	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,09	-0,01	0,01	0,0081	0,0001
17	+0,1	+0,1	+0,1	-0,1	+0,11	+0,09	0,01	0,0121	0,0081
18	0	+0,1	0	0	+0,11	-0,01	0	0,0121	0,0001
19	0	-0,1	0	0	-0,09	-0,01	0	0,0091	0,0001
20	0	-0,1	0	0	-0,09	-0,11	0	0,0081	0,0121
$\sum_{i=1}^{20}$	0	-0,2	+0,2				0,06	0,0780	0,0580
$\bar{X}_j$	0	-0,01	+0,01						

5. Mocowanie próbki dociskami sprężynowymi  
I seria pomiarów

Schemat rozmieszczenia  
czujników



Schemat rozmieszczenia  
zacisków sprężynowych

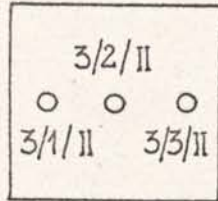


TABLICA 5. Wyniki pomiarów - 5

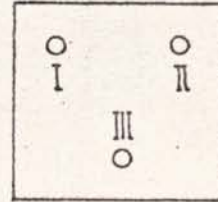
Lp	$X_{ji} [\mu m] j=1,2,3; i=1,2,3$			$X_{ji} - X_j [\mu m]$			$ X_{ji} - X_j ^2 [\mu m^2]$		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	0	0	0	-0,04	-0,015	+0,035	0,0016	0,000225	0,001225
2	0	0	0	-0,04	-0,015	+0,035	0,0016	0,000225	0,001225
3	0	0	-0,1	-0,04	-0,015	-0,065	0,0016	0,000225	0,004225
4	0	0	0	-0,04	-0,015	+0,035	0,0016	0,000225	0,001225
5	+0,1	0	0	+0,06	-0,015	+0,035	0,0036	0,000225	0,001225
6	0	0	0	-0,04	-0,015	+0,035	0,0016	0,000225	0,001225
7	+0,1	0	0	+0,06	+0,015	+0,035	0,0036	0,000225	0,001225
8	0	-0,1	-0,1	-0,04	-0,115	-0,065	0,0016	0,013225	0,004225
9	0	-0,1	-0,1	-0,04	-0,115	-0,065	0,0016	0,013225	0,004225
10	0	0	0	-0,04	-0,015	+0,035	0,0016	0,000225	0,001225
11	+0,1	0	-0,1	+0,06	-0,015	-0,065	0,0036	0,000225	0,004225
12	+0,1	+0,1	0	+0,06	+0,085	+0,035	0,0036	0,007225	0,001225
13	0	0	-0,1	-0,04	-0,015	-0,065	0,0016	0,000225	0,004225
14	+0,1	+0,1	0	+0,06	+0,085	+0,035	0,0036	0,007225	0,001225
15	0	0	-0,1	-0,04	-0,015	-0,065	0,0016	0,000225	0,004225
16	+0,1	+0,1	0	+0,06	+0,085	+0,035	0,0036	0,007225	0,001225
17	0	0	-0,1	-0,04	+0,015	-0,065	0,0016	0,000225	0,004225
18	+0,1	+0,1	0	+0,06	+0,085	+0,035	0,0036	0,007225	0,001225
19	0	0	0	-0,04	-0,015	+0,035	0,0016	0,000225	0,001225
20	+0,1	+0,1	0	+0,06	-0,085	+0,035	0,0036	0,007225	0,001225
$\sum_{i=1}^{20}$	+0,3	+0,3	-0,7				0,0480	0,065500	0,045500
$\bar{X}_j$	+0,04	+0,015	-0,035						

6. Mocowanie próbki dociskiem sprężynowym  
II seria pomiarów

Schemat rozmieszczenia  
czujników



Schemat rozmieszczenia  
zacisków sprężynowych



TABLICA 6. Wyniki pomiarów - 6

Lp	$X_{ji} [\mu\text{m}] j=1,2,3; i=1, \dots, 20$			$X_{ji} - X_j [\mu\text{m}]$			$ X_{ji} - X_j ^2 [\mu\text{m}^2]$		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	+0,1	0	0	+0,08	+0,015	+0,015	0,0064	0,000225	0,000225
2	0	0	0	-0,02	+0,015	+0,015	0,0004	0,000225	0,000225
3	+0,1	0	0	+0,08	+0,015	+0,015	0,0064	0,000225	0,000225
4	0	0	0	-0,02	+0,015	+0,015	0,0004	0,000225	0,000225
5	0	0	0	-0,02	+0,015	+0,015	0,0004	0,000225	0,000225
6	0	+0,1	+0,1	-0,02	+0,115	+0,115	0,0004	0,013225	0,013225
7	+0,1	0	0	+0,08	+0,015	+0,015	0,0064	0,000225	0,000225
8	0	-0,1	-0,1	-0,02	-0,085	-0,085	0,0004	0,007225	0,007225
9	0	0	0	-0,02	+0,015	+0,015	0,0004	0,000225	0,000225
10	+0,1	0	-0,1	+0,08	+0,015	-0,085	0,0064	0,000225	0,007225
11	0	0	0	-0,02	+0,015	+0,015	0,0004	0,000225	0,000225
12	0	0	0	-0,02	+0,015	+0,015	0,0004	0,000225	0,000225
13	0	-0,1	-0,1	-0,02	-0,085	-0,085	0,0004	0,007225	0,007225
14	0	0	-0,1	-0,02	+0,015	-0,085	0,0004	0,000225	0,007225
15	0	-0,1	0	-0,02	-0,085	+0,015	0,0004	0,007225	0,000225
16	-0,1	-0,1	-0,1	-0,12	-0,085	-0,085	0,0144	0,007225	0,007225
17	0	0	0	-0,02	+0,015	+0,015	0,0004	0,000225	0,000225
18	+0,1	0	0	+0,08	+0,015	+0,015	0,0064	0,000225	0,000225
19	0	0	+0,1	-0,02	+0,015	+0,115	0,0004	0,000225	0,013225
20	0	0	0	-0,02	+0,015	+0,015	0,0004	0,000225	0,000225
$\sum_{i=1}^{20}$	+0,4	-0,3	-0,3				0,0520	0,045500	0,065500
$\bar{X}_j$	+0,02	-0,015	-0,015						

### 2.3.2. Analiza wyników badań

#### 1. Mocowanie próbki głowicami mikrometrycznymi bez wkładek

Średni błąd kwadratowy wierności ustaleń wg /1.09/

$$S_{1/1/I} = \sqrt{\frac{0,029680}{18}} = 0,040 \text{ } [\mu\text{m}]$$

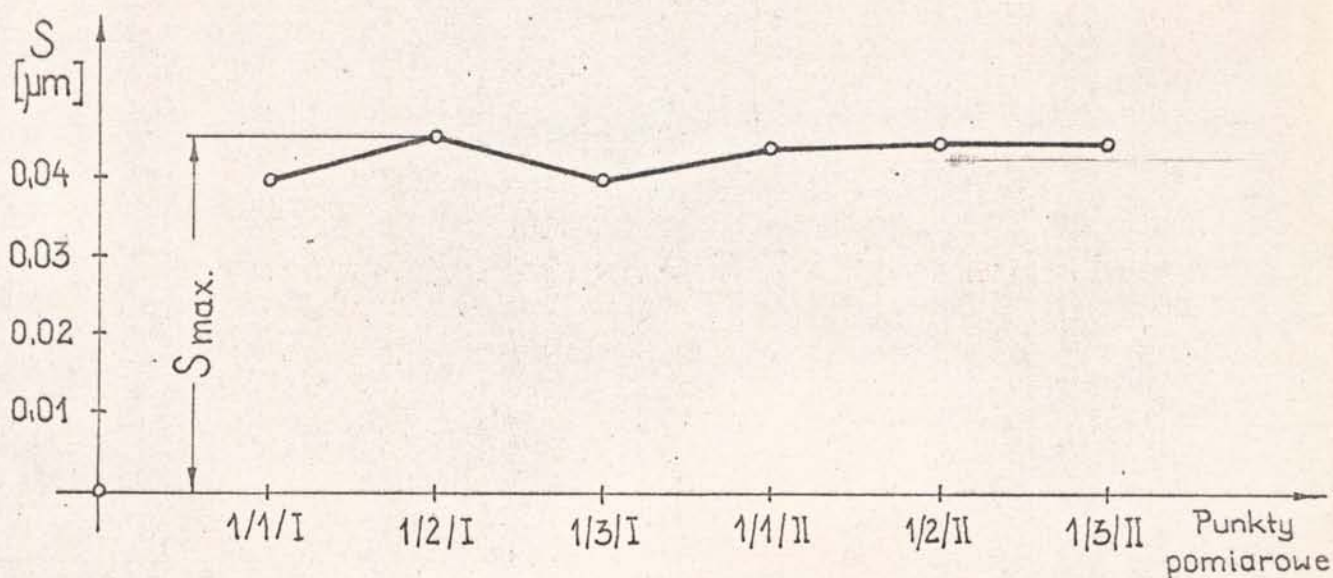
$$S_{1/2/I} = \sqrt{\frac{0,04}{19}} = 0,046 \text{ } [\mu\text{m}]$$

$$S_{1/3/I} = \sqrt{\frac{0,029680}{19}} = 0,040 \text{ } [\mu\text{m}]$$

$$S_{1/1/II} = \sqrt{\frac{0,037500}{19}} = 0,044 \text{ } [\mu\text{m}]$$

$$S_{1/2/II} = \sqrt{\frac{0,0380}{19}} = 0,045 \text{ } [\mu\text{m}]$$

$$S_{1/3/II} = \sqrt{\frac{0,0380}{19}} = 0,045 \text{ } [\mu\text{m}]$$



$$S_{\max} = S_{1/2/I} = 0,046 \text{ } [\mu\text{m}]$$

Rys. 17. Średni błąd kwadratowy wierności ustaleń dla poszczególnych punktów pomiarowych w przypadku mocowania próbki głowicami mikrometrycznymi bez wkładek

#### Błędy graniczne wierności przyrządu

Wartości średniego błędu kwadratowego wierności ustaleń stanowią podstawę do określenia podstawowej dla oceny wierności przyrządu wartości błędów granicznych przyrządu wg relacji /1.10/

$$\alpha = 0,02$$

$$f = 19$$

$$t_{0,02, 19} = 2,539 \text{ } [s]$$

$$e_{1/1/I} = \pm 2,539 \cdot 0,040 = \pm 0,10 \text{ } [\mu\text{m}]$$

$$e_{1/2/I} = \pm 2,539 \cdot 0,046 = \pm 0,12 \text{ } [\mu\text{m}]$$

$$e_{1/3/I} = \pm 2,539 \cdot 0,040 = \pm 0,10 \text{ } [\mu\text{m}]$$

$$e_{1/1/II} = \pm 2,539 \cdot 0,044 = \pm 0,11 \text{ } [\mu\text{m}]$$

$$e_{1/2/II} = \pm 2,539 \cdot 0,045 = \pm 0,11 \text{ } [\mu\text{m}]$$

$$e_{1/3/II} = \pm 2,539 \cdot 0,045 = \pm 0,11 \text{ } [\mu\text{m}]$$

$$\alpha = 0,05$$

$$f = 19$$

$$t_{0,05, 19} = 2,093 \quad [8]$$

$$e_{1/1/I} = \pm 2,093 \cdot 0,040 = \pm 0,08 \quad [\mu\text{m}]$$

$$e_{1/2/I} = \pm 2,093 \cdot 0,046 = \pm 0,10 \quad [\mu\text{m}]$$

$$e_{1/3/I} = \pm 2,093 \cdot 0,040 = \pm 0,08 \quad [\mu\text{m}]$$

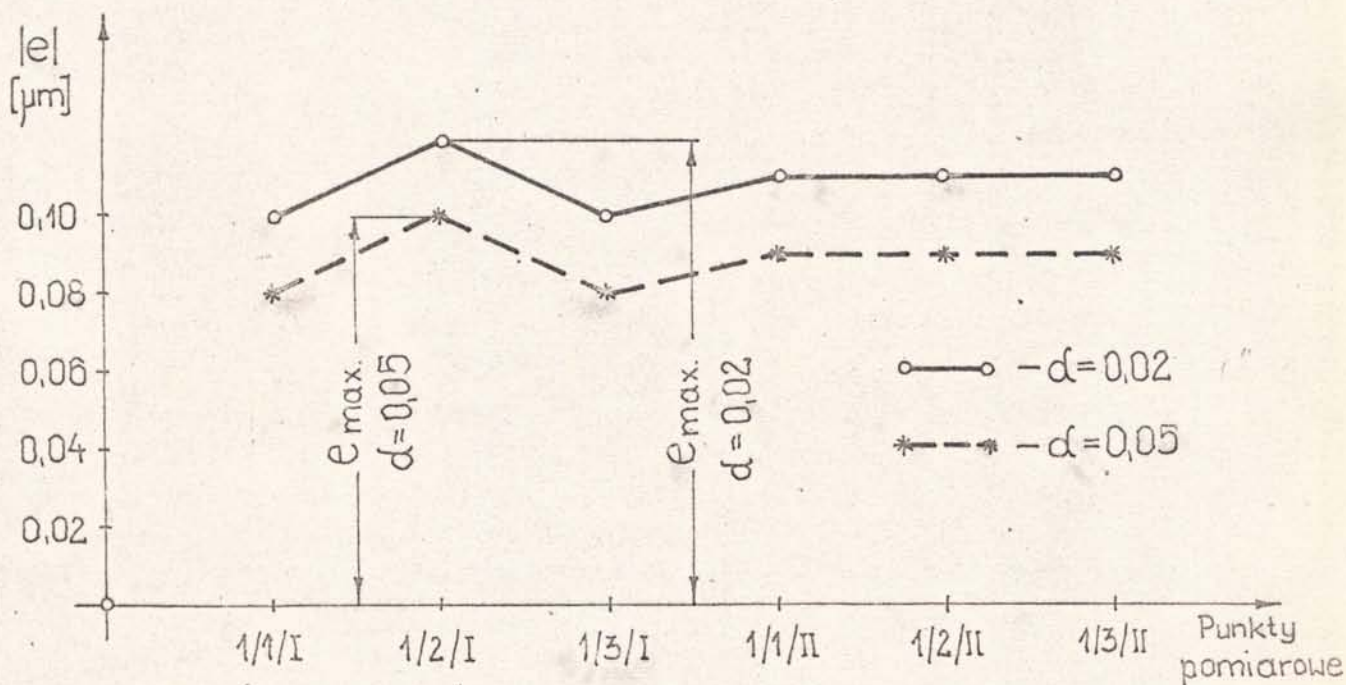
$$e_{1/1/II} = \pm 2,093 \cdot 0,044 = \pm 0,09 \quad [\mu\text{m}]$$

$$e_{1/2/II} = \pm 2,093 \cdot 0,045 = \pm 0,09 \quad [\mu\text{m}]$$

$$e_{1/3/II} = \pm 2,093 \cdot 0,045 = \pm 0,09 \quad [\mu\text{m}]$$

$$\alpha = 0,02 - e_{\text{max}} = e_{1/2/I} = \pm 0,12 \quad [\mu\text{m}]$$

$$\alpha = 0,05 - e_{\text{max}} = e_{1/2/I} = \pm 0,10 \quad [\mu\text{m}]$$



Rys. 18. Błędy graniczne wierności przyrządu dla poszczególnych punktów pomiarowych w przypadku mocowania próbki głowicami mikrometrycznymi bez wkładek

TABLICA 7. Zestawienie wyników badań - 1

S [μm]		1/1/I	1/2/I	1/3/I	1/1/II	1/2/II	1/3/II
		0,040	0,046	0,040	0,044	0,045	0,045
±e [μm]	α = 0,02	0,10	0,12	0,10	0,11	0,11	0,11
	α = 0,05	0,08	0,10	0,08	0,09	0,09	0,09

2. Mocowanie próbki głowicami mikrometrycznymi z wkładkami

Średni błąd kwadratowy wierności ustaleń /1.09/

$$S_{2/1/I} = \sqrt{\frac{0,0420}{19}} = 0,047 \quad [\mu\text{m}]$$

$$S_{2/2/I} = \sqrt{\frac{0,0320}{19}} = 0,041 \quad [\mu\text{m}]$$

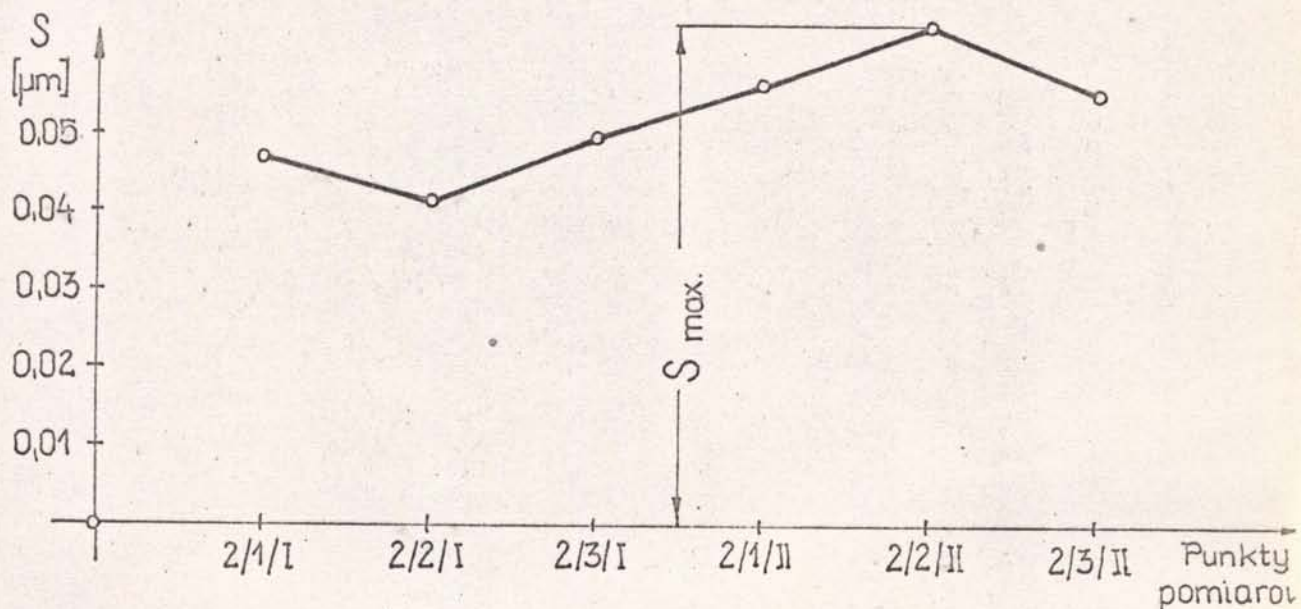
$$S_{2/3/I} = \sqrt{\frac{0,0455}{19}} = 0,049 \quad [\mu\text{m}]$$

$$S_{2/1/II} = \sqrt{\frac{0,06}{19}} = 0,056 \quad [\mu\text{m}]$$

$$S_{2/2/II} = \sqrt{\frac{0,0780}{19}} = 0,064 \quad [\mu\text{m}]$$

$$S_{2/3/II} = \sqrt{\frac{0,0580}{19}} = 0,055 \quad [\mu\text{m}]$$





$$S_{\max} = S_{2/2/II} = 0,064 \text{ } [\mu\text{m}]$$

Rys. 19. Średni błąd kwadratowy wierności ustaleń dla poszczególnych punktów pomiarowych w przypadku mocowania próbki głowicami mikrometrycznymi z wkładkami

Błędy graniczne wierności przyrządu

$$\alpha = 0,02$$

$$f = 19$$

$$t_{0,02, 19} = 2,539 \text{ } [8]$$

$$e_{2/1/I} = \pm 2,539 \cdot 0,047 = \pm 0,12 \text{ } [\mu\text{m}]$$

$$e_{2/2/I} = \pm 2,539 \cdot 0,041 = \pm 0,10 \text{ } [\mu\text{m}]$$

$$e_{2/3/I} = \pm 2,539 \cdot 0,049 = \pm 0,12 \text{ } [\mu\text{m}]$$

$$e_{2/1/II} = \pm 2,539 \cdot 0,056 = \pm 0,14 \text{ } [\mu\text{m}]$$

$$e_{2/2/II} = \pm 2,539 \cdot 0,064 = \pm 0,16 \text{ } [\mu\text{m}]$$

$$e_{2/3/II} = \pm 2,539 \cdot 0,055 = \pm 0,14 \text{ } [\mu\text{m}]$$

$$\alpha = 0,05$$

$$f = 19 \quad t_{0,05, 19} = 2,093 \quad [8]$$

$$e_{2/1/I} = \pm 2,093 \cdot 0,047 = \pm 0,10 \quad [\mu\text{m}]$$

$$e_{2/2/I} = \pm 2,093 \cdot 0,041 = \pm 0,09 \quad [\mu\text{m}]$$

$$e_{2/3/I} = \pm 2,093 \cdot 0,049 = \pm 0,10 \quad [\mu\text{m}]$$

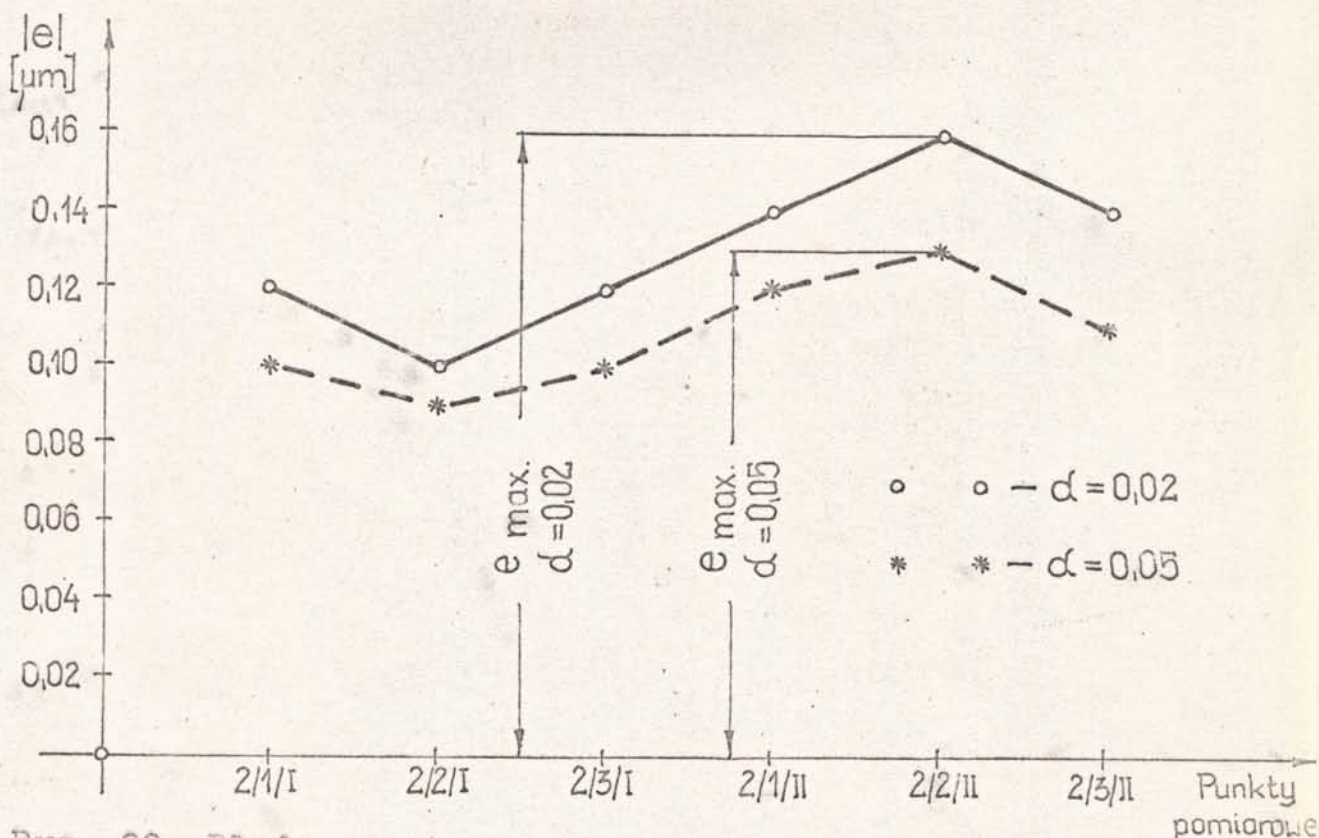
$$e_{2/1/II} = \pm 2,093 \cdot 0,056 = \pm 0,12 \quad [\mu\text{m}]$$

$$e_{2/2/II} = \pm 2,093 \cdot 0,064 = \pm 0,13 \quad [\mu\text{m}]$$

$$e_{2/3/II} = \pm 2,093 \cdot 0,055 = \pm 0,11 \quad [\mu\text{m}]$$

$$\alpha = 0,02 - e_{\text{max}} = e_{2/2/II} = \pm 0,16 \quad [\mu\text{m}]$$

$$\alpha = 0,05 - e_{\text{max}} = e_{2/2/II} = \pm 0,13 \quad [\mu\text{m}]$$



Rys. 20. Błędy graniczne wierności przyrządu dla poszczególnych punktów pomiarowych w przypadku mocowania próbki głowicami mikrometrycznymi z wkładkami

TABLICA 8. Zestawienie wyników badań - 2

S [μm]		2/1/I	2/2/I	2/3/I	2/1/II	2/2/II	2/3/II
		0,047	0,041	0,049	0,056	0,064	0,055
+e [μm]	α = 0,02	0,12	0,10	0,12	0,14	0,16	0,14
	α = 0,05	0,10	0,09	0,10	0,12	0,13	0,11

3. Mocowanie próbki dociskami sprężynowymi

Średni błąd kwadratowy wierności ustaleń wg/1.09/

$$S_{3/1/I} = \sqrt{\frac{0,0480}{19}} = 0,050 \quad [\mu\text{m}]$$

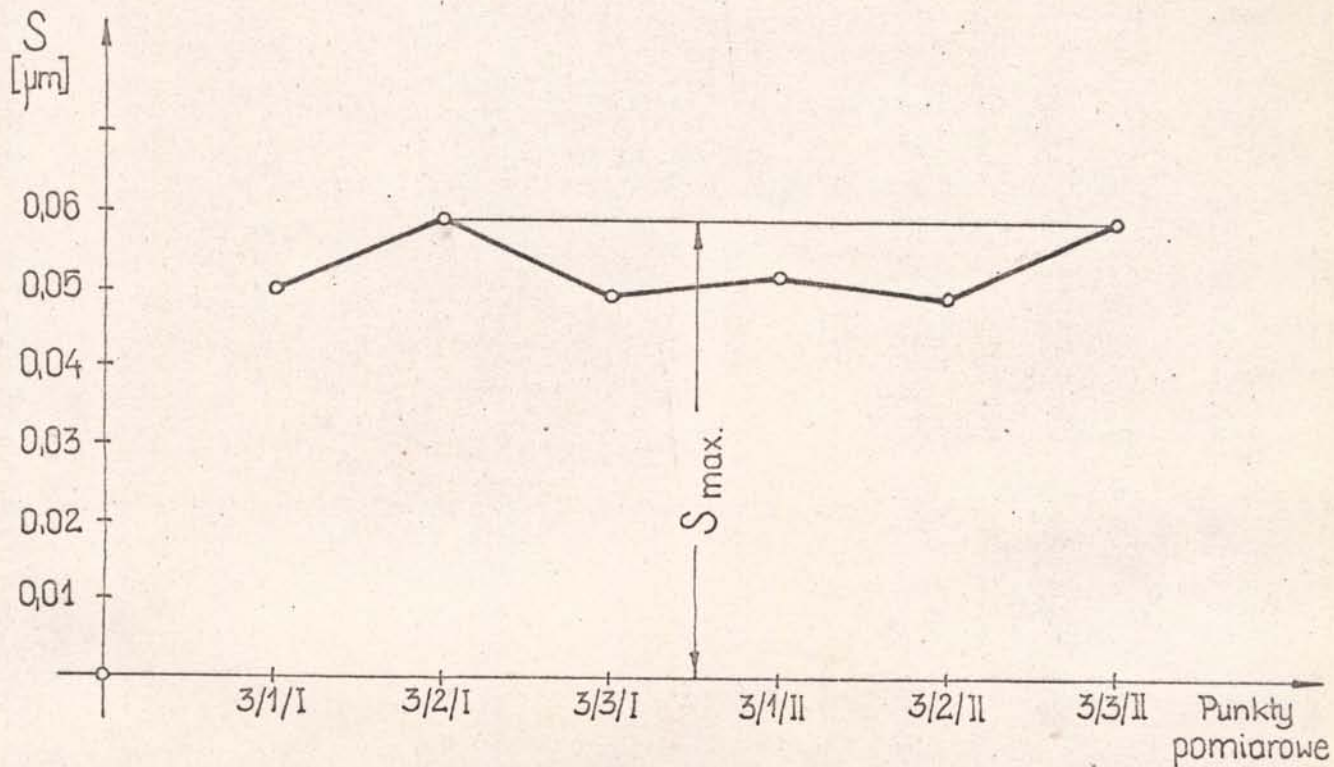
$$S_{3/2/I} = \sqrt{\frac{0,0655}{19}} = 0,059 \quad [\mu\text{m}]$$

$$S_{3/3/I} = \sqrt{\frac{0,0455}{19}} = 0,049 \quad [\mu\text{m}]$$

$$S_{3/1/II} = \sqrt{\frac{0,0520}{19}} = 0,052 \quad [\mu\text{m}]$$

$$S_{3/2/II} = \sqrt{\frac{0,0455}{19}} = 0,049 \quad [\mu\text{m}]$$

$$S_{3/3/II} = \sqrt{\frac{0,0655}{19}} = 0,059 \quad [\mu\text{m}]$$



$$S_{\max} = S_{3/2/I} = S_{3/3/I} = 0,059 \text{ } [\mu\text{m}]$$

Rys. 21. Średni błąd kwadratowy wierności ustaleń dla poszczególnych punktów pomiarowych w przypadku mocowania próbki dociskami sprężynowymi.

Błędy graniczne wierności przyrządu

$$\alpha = 0,02 \quad t_{0,01, 19} = 2,539 \quad [8]$$

$$f = 19$$

$$e_{3/1/I} = \pm 2,539 \cdot 0,050 = \pm 0,13 \text{ } [\mu\text{m}]$$

$$e_{3/2/I} = \pm 2,539 \cdot 0,059 = \pm 0,15 \text{ } [\mu\text{m}]$$

$$e_{3/3/I} = \pm 2,539 \cdot 0,049 = \pm 0,12 \text{ } [\mu\text{m}]$$

$$e_{3/1/II} = \pm 2,539 \cdot 0,052 = \pm 0,13 \text{ } [\mu\text{m}]$$

$$e_{3/2/II} = \pm 2,539 \cdot 0,049 = \pm 0,12 \text{ } [\mu\text{m}]$$

$$e_{3/3/II} = \pm 2,539 \cdot 0,059 = \pm 0,15 \text{ } [\mu\text{m}]$$

$$\alpha = 0,05 \quad t_{0,05, 19} = 2,093 \quad [8]$$

$$f = 19$$

$$e_{3/1/I} = \pm 2,093 \cdot 0,050 = \pm 0,10 \quad [\mu\text{m}]$$

$$e_{3/2/I} = \pm 2,093 \cdot 0,059 = \pm 0,12 \quad [\mu\text{m}]$$

$$e_{3/3/I} = \pm 2,093 \cdot 0,049 = \pm 0,10 \quad [\mu\text{m}]$$

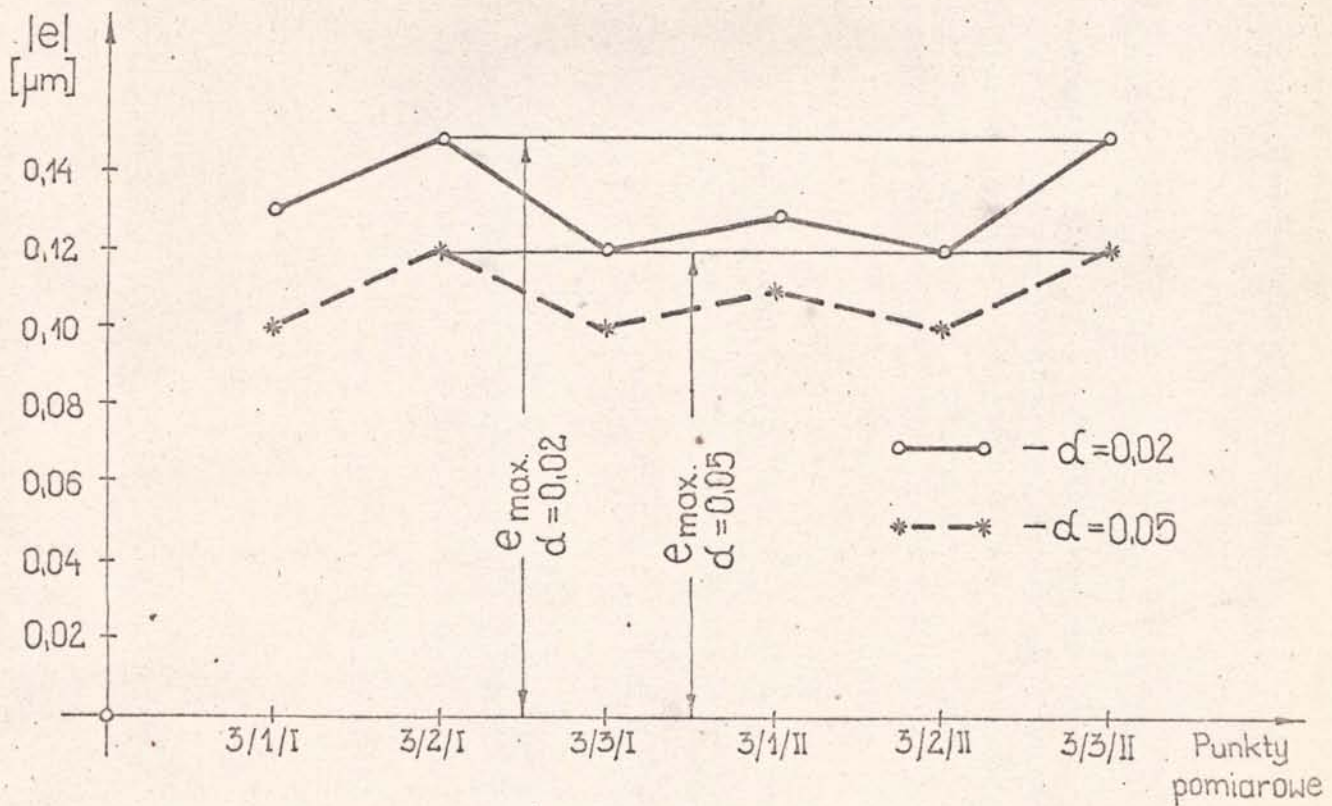
$$e_{3/1/II} = \pm 2,093 \cdot 0,052 = \pm 0,11 \quad [\mu\text{m}]$$

$$e_{3/2/II} = \pm 2,093 \cdot 0,049 = \pm 0,10 \quad [\mu\text{m}]$$

$$e_{3/3/II} = \pm 2,093 \cdot 0,059 = \pm 0,12 \quad [\mu\text{m}]$$

$$\alpha = 0,02 - e_{\text{max}} = e_{3/2/I} = e_{3/3/II} = \pm 0,15 \quad [\mu\text{m}]$$

$$\alpha = 0,05 - e_{\text{max}} = e_{3/2/I} = e_{3/3/II} = \pm 0,12 \quad [\mu\text{m}]$$



Rys. 22. Błędy graniczne wierności przyrządu dla poszczególnych punktów pomiarowych w przypadku mocowania próbki dociskami sprężynowymi

TABLICA 9. Zestawienie wyników badań - 3

S [ $\mu\text{m}$ ]		3/1/I	3/2/I	3/3/I	3/1/II	3/2/II	3/3/II
			0,050	0,059	0,049	0,052	0,049
$\pm e$ [ $\mu\text{m}$ ]	$\alpha =$ 0,02	0,13	0,15	0,12	0,13	0,12	0,15
	$\alpha =$ 0,05	0,10	0,12	0,10	0,11	0,10	0,12

Do dalszej analizy wyników badań należy brać maksymalne wartości poszczególnych błędów - „s” i „e” zestawienie w tablicach - 7, 8, 9.

TABLICA 10. Zestawienie zbiorcze wyników badań  
1 - 2 - 3

Sposób mocowania		1	2	3
$S_{\text{max}}$ [ $\mu\text{m}$ ]		0,046	0,064	0,059
$\pm e_{\text{max}}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$\alpha =$ 0,02	0,12	0,16	0,15
	$\alpha =$ 0,05	0,10	0,13	0,12

Z porównania wyników badań trzech sposobów mocowania próbek /tablica 10/ widać, że minimalny średni błąd kwadratowy wierności ustaleń oraz minimalne błędy graniczne wierności przyrządu zapewnia sposób pierwszy tzn. stosując mocowanie próbek przy pomocy głowic mikrometrycznych bez wkładek. Zatem do mocowania próbek w przyrządzie będą służyły głowice mikrometryczne bez wkładek. Dla tego sposobu mocowania:

1. Maksymalny średni błąd kwadratowy wierności ustaleń wynosi

$$S = 0,046 \text{ [}\mu\text{m]}$$

2. Maksymalne błędy graniczne wierności przyrządu wynoszą:

$$e = \pm 0,12 \text{ } [\mu\text{m}] \quad - \quad \alpha = 0,02$$

$$e = \pm 0,10 \text{ } [\mu\text{m}] \quad - \quad \alpha = 0,05$$

Wynika z tego, że:

1. Z prawdopodobieństwem 98 % nie będą przekroczone w serii ustaleń błędy graniczne wierności przyrządu wynoszące:

$$e = \pm 0,12 \text{ } [\mu\text{m}]$$

2. Z prawdopodobieństwem 95 % nie będą przekraczone w serii ustaleń błędy graniczne wierności przyrządu wynoszące:

$$e = \pm 0,10 \text{ } [\mu\text{m}]$$

Jeżeli pominiemy błąd poprawności przyrządu ze względu na małą jego wartość  $\alpha_{pp} = 0,02 \text{ } \mu\text{m}$  wówczas błędy dokładności przyrządu do ustalania próbek na interferometrze holograficznym będą równe błędom granicznym wierności przyrządu

$$e_d = \pm 0,12 \text{ } [\mu\text{m}] \quad - \quad \alpha = 0,02$$

$$e_d = \pm 0,10 \text{ } [\mu\text{m}] \quad - \quad \alpha = 0,05$$

### 3. W N I O S K I

Wyniki przeprowadzonych badań doświadczalnych wykazały, że zarówno na poziomie istotności  $\alpha = 0,02$ , jak również  $\alpha = 0,05$  nie zostały przekroczone wartości dopuszczalnych błędów granicznych dokładności zgodnie z założeniami wstępnymi -  $\pm 0,15$  [ $\mu\text{m}$ ] przy mocowaniu próbek głowicami mikrometrycznymi bez wkładek. Zatem przyrząd ten można bezpośrednio stosować do ustalania próbek na interferometrze holograficznym przy określaniu topografii błędów kształtu wybranych powierzchni części maszyn. Przyrząd ten charakteryzuje się uniwersalnością, bezpieczeństwem oraz wygodą i łatwością obsługi, jak również zwartością budowy, łatwością montażu, przezbierania oraz ustawiania i transportu.

Należy w dalszym ciągu prowadzić prace nad doskonaleniem konstrukcji zarówno w kierunku zwiększania dokładności przyrządu jak również w kierunku konstrukcji specjalnego oprzyrządowania dla różnych powierzchni części maszyn nie naruszając podstawowej idei rozwiązania konstrukcyjnego przyrządu.



Bibliografia:

- [1] Kolman R., Meller E., Meller A.: Dokładność kształtu i położenia w procesach technologicznych, WNT - Warszawa 1969.
- [2] Kornberger Z.: Technologia obróbki skrawaniem i montażu, WNT - Warszawa 1974.
- [3] Praca zbiorowa: Poradnik konstruktora przyrządów precyzyjnych i drobnych, WNT - Warszawa 1971
- [4] Praca zbiorowa: Poradnik inżyniera, WNT - Warszawa 1968 tom 1,2,3
- [5] Praca zbiorowa: Technologia szkła, Arkady, Warszawa 1962
- [6] Praca zbiorowa: Poradnik metrologa warsztatowego, WNT - Warszawa 1973
- [7] Timoszenko S., Groodier J.N.: Teoria sprężystości, Arkady, Warszawa 1962
- [8] Volk W.: Statystyka stosowana dla inżynierów, WNT - Warszawa 1973

Spis tablic

Tablica 1	-	Wyniki pomiarów	-	1
Tablica 2	-	Wyniki pomiarów	-	2
Tablica 3	-	Wyniki pomiarów	-	3
Tablica 4	-	Wyniki pomiarów	-	4
Tablica 5	-	Wyniki pomiarów	-	5
Tablica 6	-	Wyniki pomiarów	-	6
Tablica 7	-	Zestawienie wyników badań	-	1
Tablica 8	-	Zestawienie wyników badań	-	2
Tablica 9	-	Zestawienie wyników badań	-	3
Tablica 10	-	Zestawienie zbiorcze wyników badań	1 - 2 - 3	

### Spis rysunków

- Rys. 1 - Schemat realizacji przemieszczeń liniowych oraz kątowych
- Rys. 2 - Schemat strukturalny przyrządu do ustalania próbek - wariant 1
- Rys. 3 - Schemat strukturalny przyrządu do ustalania próbek - wariant 2
- Rys. 4 - Schemat strukturalny przyrządu do ustalania próbek - wariant 3
- Rys. 5 - Śrubowy mechanizm różnicowy realizacji przemieszczeń  $h_{yz}$
- Rys. 6 - Schemat mocowania próbki-wzorca
- Rys. 7 - Ogólny widok przyrządu do ustalania próbek
- Rys. 8 - Ogólny widok stołu przesuwnego przyrządu
- Rys. 9 - Przyrząd do ustalania próbek ustawiony na stole przesuwne przyrządu
- Rys. 10 - Rysunek konstrukcyjny przyrządu do ustalania próbek
- Rys. 11 - Rysunek konstrukcyjny stołu przesuwnego przyrządu
- Rys. 12 - Schemat odkształcenia sprężystego układu wzorzec -  
- próbka - element dociskowy
- Rys. 13 - Widok głowicy mikrometrycznej i docisku sprężynowego
- Rys. 14 - Schemat rozmieszczenia czujników do badań
- Rys. 15 - Ogólny widok stanowiska badawczego
- Rys. 16 - Próbka używana do badań
- Rys. 17 - Średni błąd kwadratowy wierności ustaleń dla poszczególnych punktów pomiarowych w przypadku mocowania próbki głowicami mikrometrycznymi bez wkładek

- Rys. 18 - Błędy graniczne wierności przyrządu dla poszczególnych punktów pomiarowych w przypadku mocowania próbki głowicą mikrometryczną bez wkładek
- Rys. 19 - Średni błąd kwadratowy wierności ustaleń dla poszczególnych punktów pomiarowych w przypadku mocowania próbki głowicami mikrometrycznymi z wkładkami
- Rys. 20 - Błędy graniczne wierności przyrządu dla poszczególnych punktów pomiarowych w przypadku mocowania próbki głowicami mikrometrycznymi z wkładkami
- Rys. 21 - Średni błąd kwadratowy wierności ustaleń dla poszczególnych punktów pomiarowych w przypadku mocowania próbki dociskami sprężynowymi
- Rys. 22 - Błędy graniczne wierności przyrządu dla poszczególnych punktów pomiarowych w przypadku mocowania próbki dociskami sprężynowymi