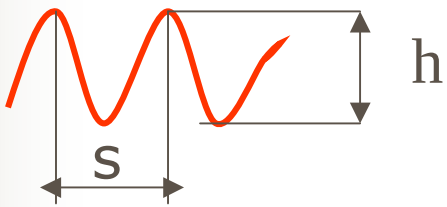
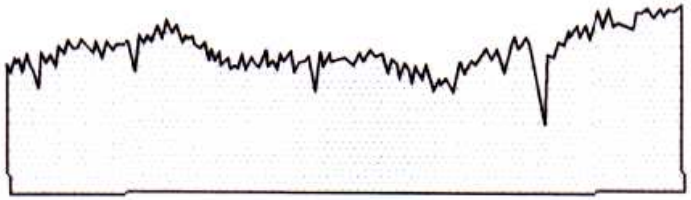
POMIARY MIKROGEOMETRII POWIERZCHNI

Mikrogeometria (chropowatość i falistość),
Makrogeometria (odchyłki kształtu)

Podział



Ilustracja graficzna chropowatości powierzchni szlifowanej



- **s/h <50 chropowatość**
  wg DIN 5<s/h<150

chropowatość

- **50< s/h <1000 falistość**
  wg DIN 500<s/h<1000

falistość

- **s/h >1000 błędy kształtu**

błędy kształtu
(makrogeometria)

h – *wysokość wzniesienia*

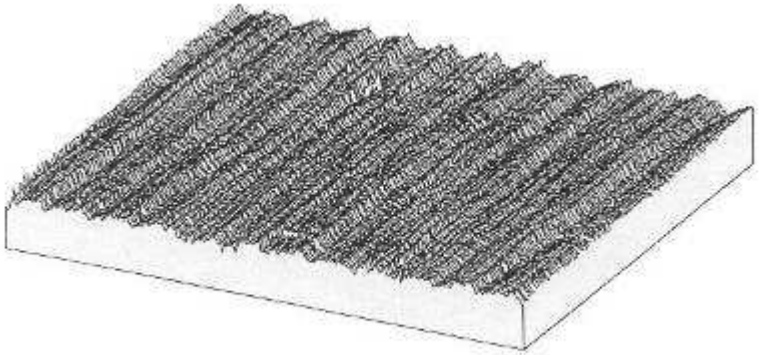
s – *szerokość wzniesienia*

POMIARY MIKROGEOMETRII POWIERZCHNI

Prof. Eugeniusz Ratajczyk

1. **Mikrogeometria (chropowatość i falistość)**
   - ***podział, przyczyny powstawania, znaczenie chropowatości***

2. **Parametry i funkcje chropowatości oraz falistości powierzchni**
   - ***oznaczanie na rysunkach***



3. **Metody pomiaru chropowatości powierzchni**

-bezstykowe (optyczne, optoelektron

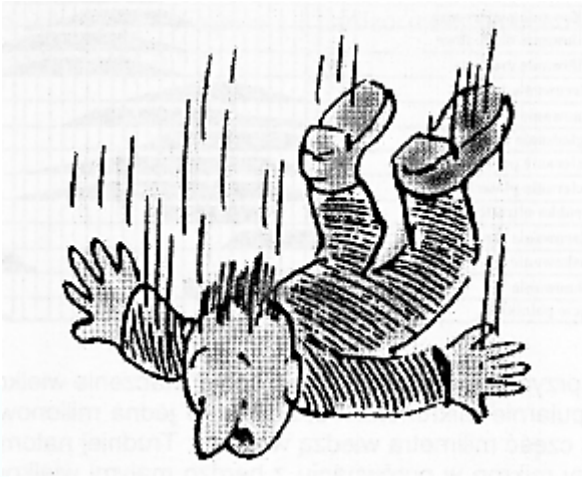
-stykowe (profilometryczne)

Przyczyny powstania chropowatości powierzchni

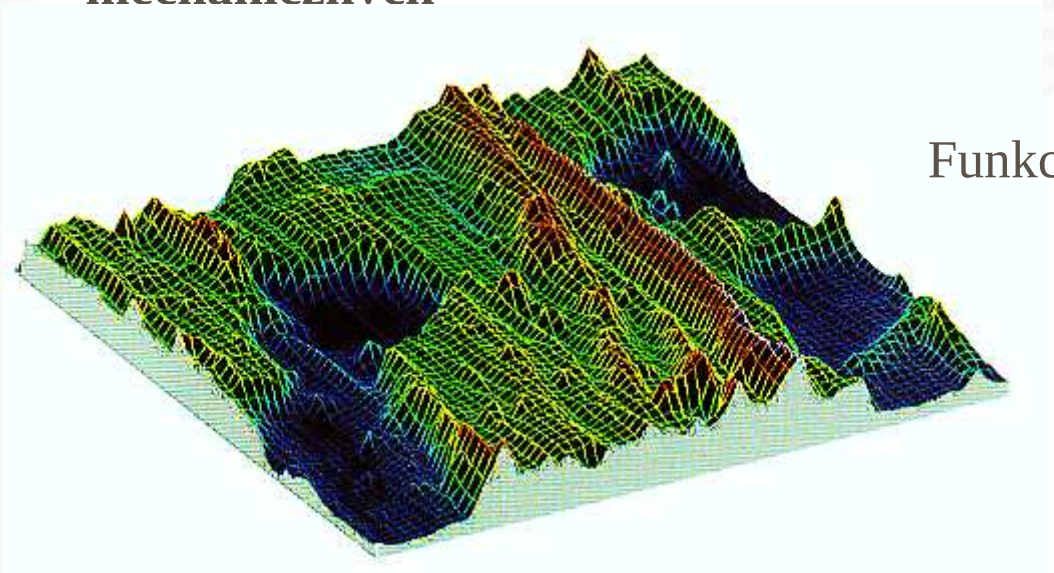
- Odwzorowanie nierówności krawędzi skrawającej
- Odkształcenie plastyczne na styku ostrze skrawające – powierzchnia obrabiana
- Tarcie wióra o powierzchnie obrabianą
- Drgania o wysokiej częstotliwości
- Twardość materiału i jego budowa krystaliczna

Znaczenie chropowatości i falistości

- Odporność na zużycie
- Odporność na korozję
- Wytrzymałość zmęczeniowa
- Przewodnictwo cieplne i elektryczne
- Dokładność współpracy elementów mechanicznvch



Funkcjonowanie bez powierzchni



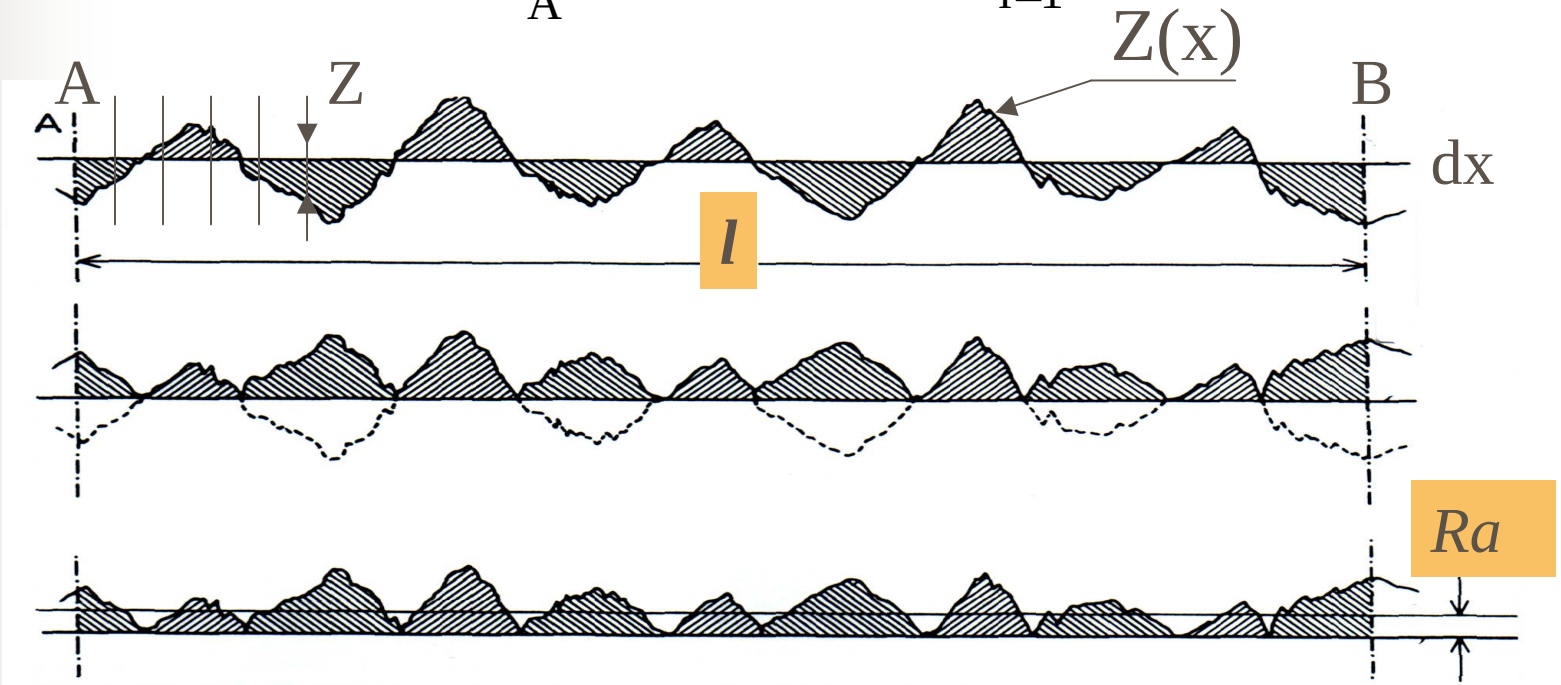
Podział parametrów chropowatości powierzchni

- **Amplitudowe** (wysokościowe)
- **Częstotliwościowe** (horyzontalne)
- **Mieszane (hybrydowe)**

Parametry amplitudowe (wysokościowe) chropowatości

- ***Ra*** **- średnie arytmetyczne odchylenie profilu od linii średniej mierzone wzdłuż odcinka pomiarowego lub elementarnego**

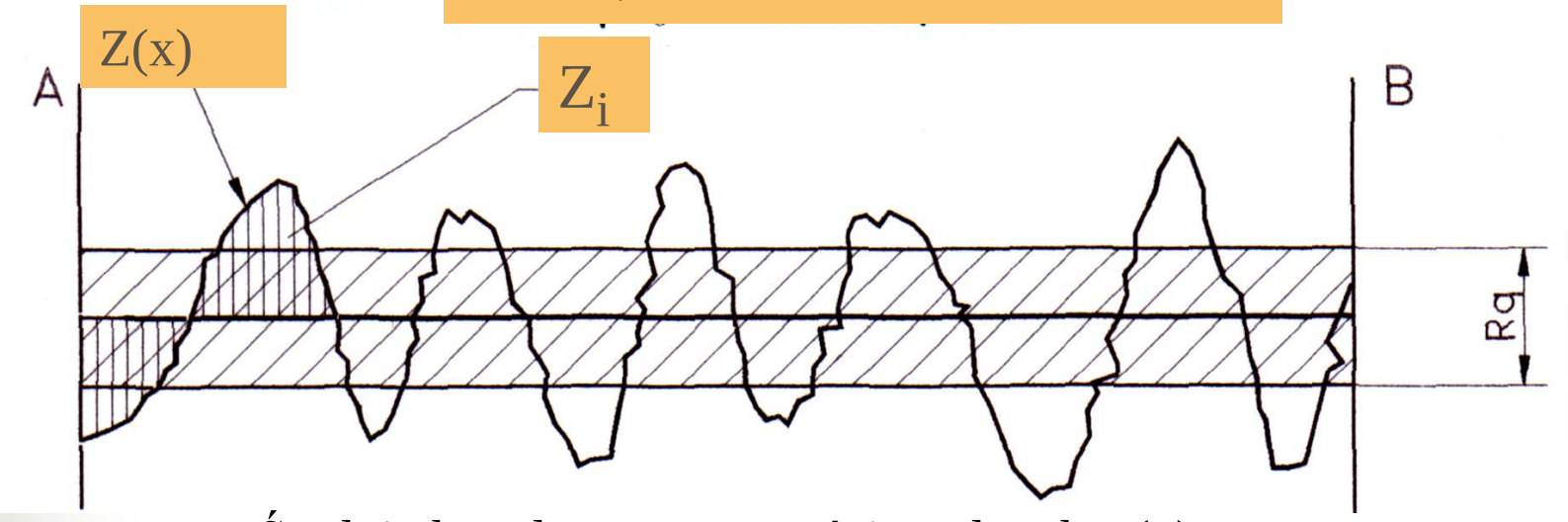
$$Ra = \frac{1}{l}\int_{A}^{B}\left|Z(x)\right|dx \approx \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|Z_i\right|$$



Parametry amplitudowe (wysokościowe) chropowatości

R_q – średnie kwadratowe odchylenie profilu od linii średniej wzdłuż odcinka pomiarowego lub elementarnego

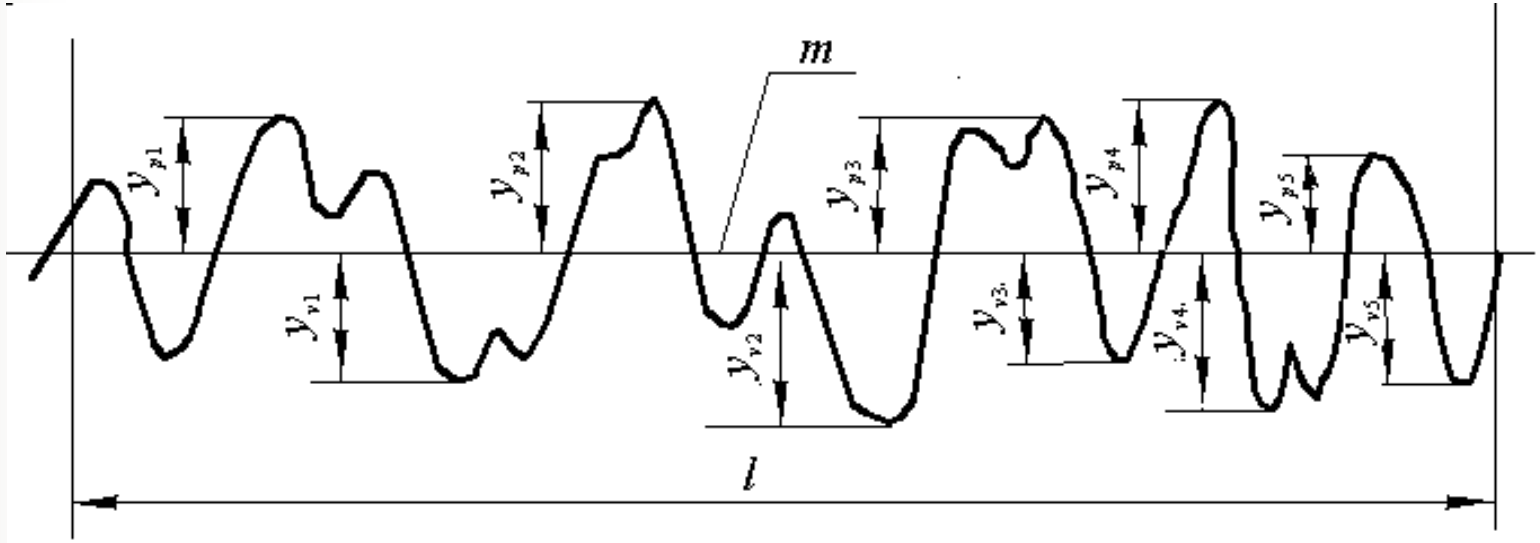
$$Rq = \sqrt{\frac{1}{l}\int_0^l \left|Z^2(x)\right| dx} \approx \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Z_i^2}$$



Średnia kwadratowa wartości rzędnych Z(x)

Parametry amplitudowe (wysokościowe) chropowatości

$R_{z(ISO)}$ – wysokość chropowatości od linii średniej wzdłuż odcinka pomiarowego lub elementarnego



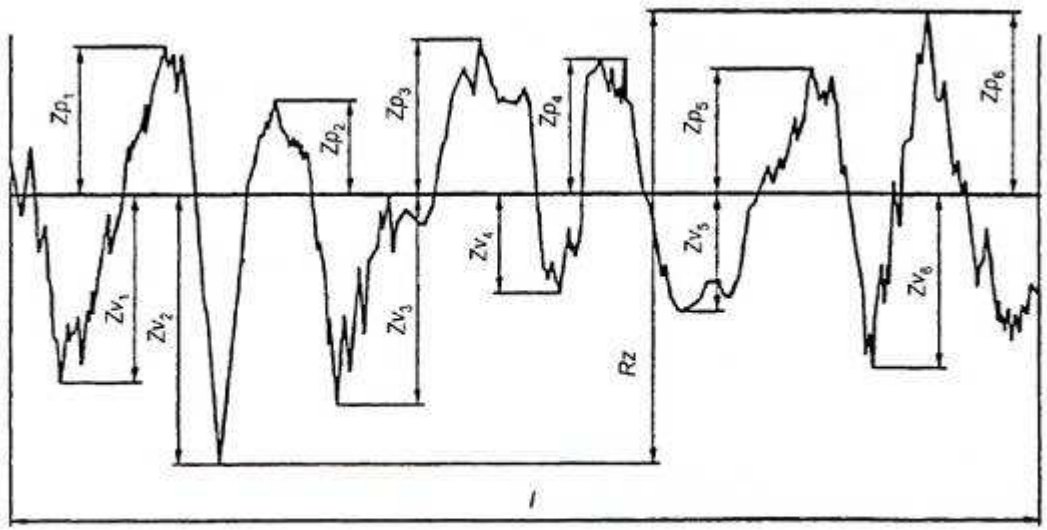
$$R_{z(ISO)} = \frac{\sum_{i=1}^{5} |y_{pi}| + \sum_{i=1}^{5} |y_{vi}|}{5}$$

Parametr ten jest opisany w normie ISO 4287/1 oraz DIN 4762 i PN-87/M04256/02
Parametr nie zdefiniowany w aktualnej normie PN-EN IS0 4287:1999

Parametry amplitudowe (wysokościowe) chropowatości

Rz wg normy (EN ISO 4287:1999)

$$Rz = \frac{1}{n}(Rz1 + Rz2 + \ldots + Rzn)$$

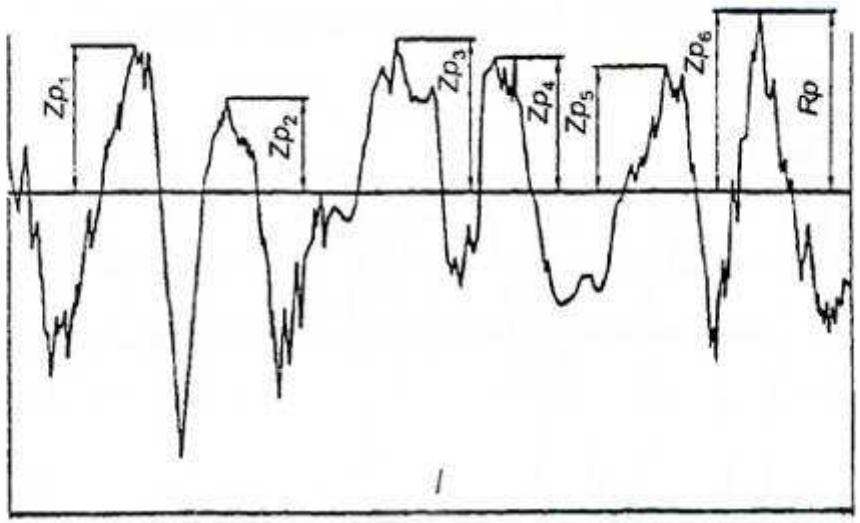


l = Odcinek elementarny

Największa wysokość profilu

Parametry struktury geometrycznej PN-EN ISO 4287 (1999)

Wysokość najwyższego wzniesienia profilu Rp

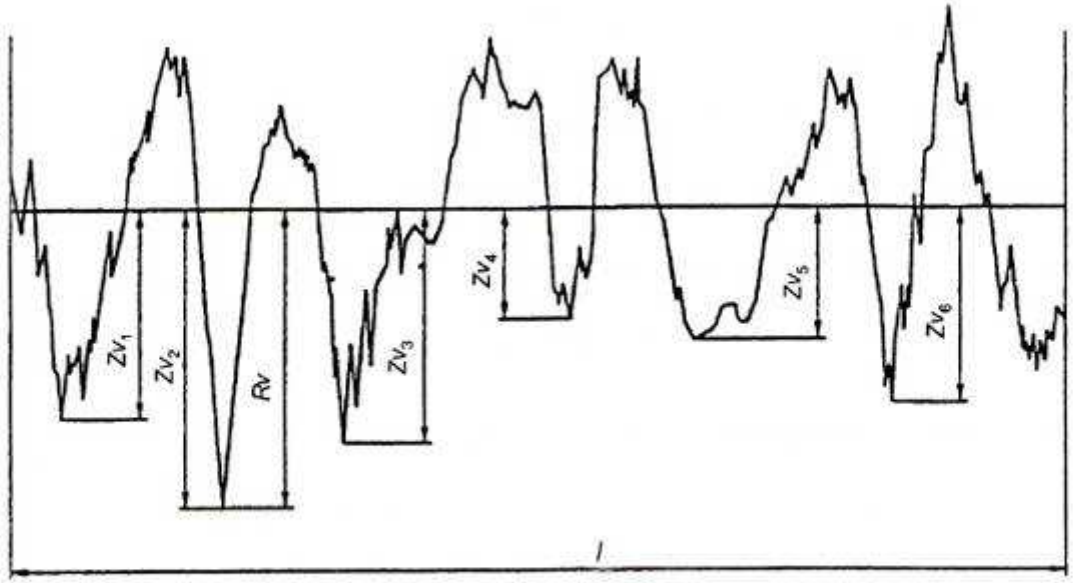


l = Odcinek elementarny

Wysokość najwyższego wzniesienia profilu

Parametry struktury geometrycznej PN-EN ISO 4287 (1999)

głębokość najniższego wgłębienia profilu Rv

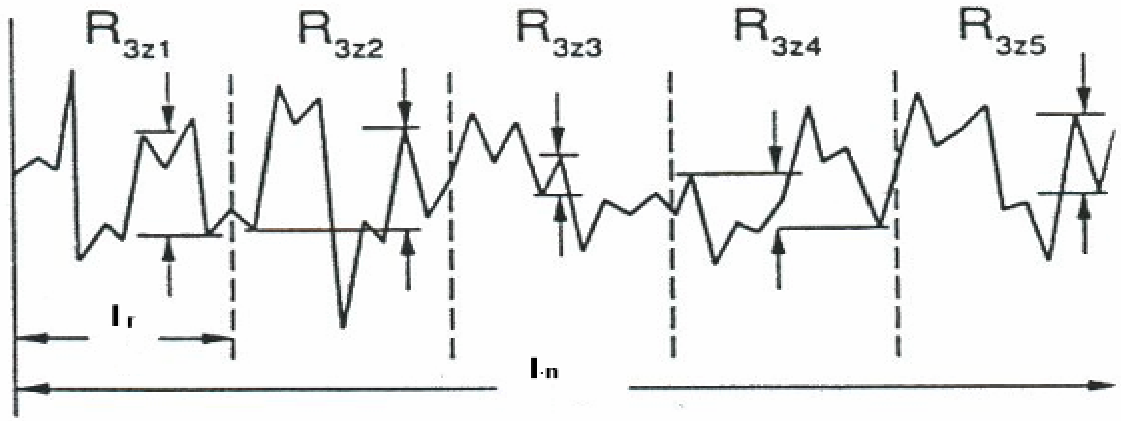


l = Odcinek elementarny

Głębokość najniższego wgłębienia profilu

Parametry amplitudowe (wysokościowe) chropowatości

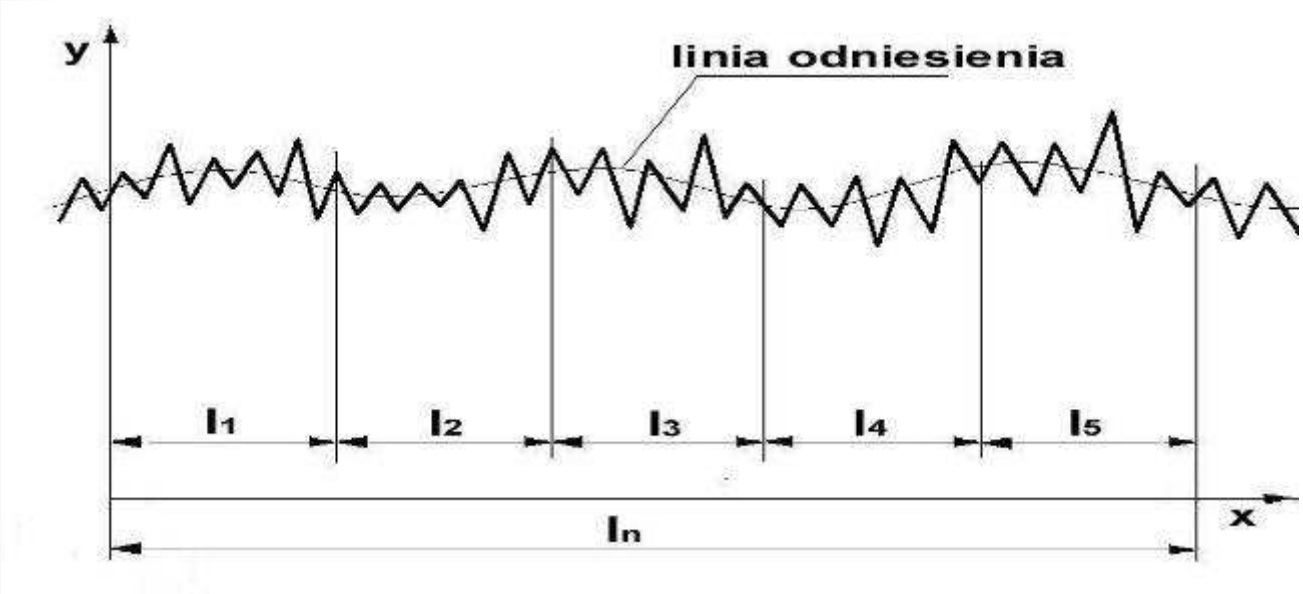
***R*$_{3z}$** jest wartością średnią elementarnych wysokości chropowatości ***R*$_{3zj}$** w obrębie 5 kolejnych odcinków elementarnych l_r.



$$R_{3Z} = \frac{1}{5}\left(R_{3Z1} + R_{3Z2} + R_{3Z3} + R_{3Z4} + R_{3Z5}\right)$$

Podstawowe definicje

- **Linia odniesienia** – umowna zgodna z ogólną orientacją profilu. W stosunku do niej mierzone są parametry
- **Linia średnia m** – dzieli profil chropowatości tak, że w obszarze odcinka elementarnego suma kwadratów odchyleń profilu od tej linii jest najmniejsza.

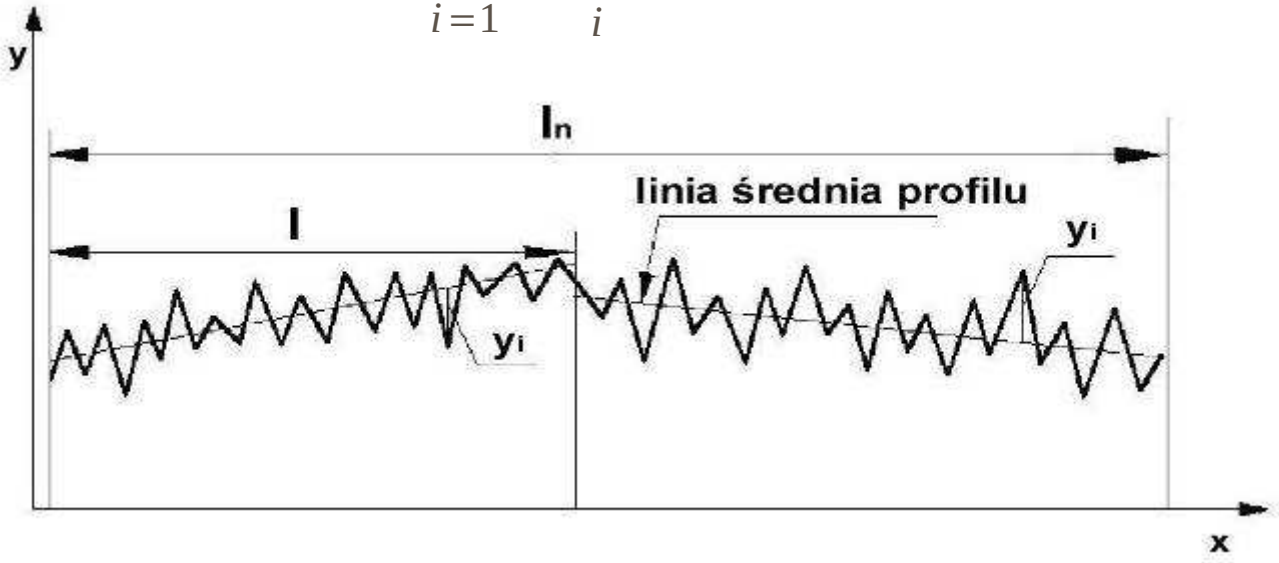


$$l_1 = l_2 = l_3 = l_4 = l_5$$

- **Odcinek elementarny le** – znormalizowane długości profilu powierzchni pozwalające na prawidłowe wyznaczenie parametrów chropowatości (0,08; 0,25 ; 0,8 ; 2,5 ; 8 mm).

•**Linia średnia profilu chropowatości m** - linia odniesienia dzieląca profil chropowatości tak, że w przedziale odcinka elementarnego **l** suma kwadratów odchyleń profilu **y** od tej linii jest minimalna.

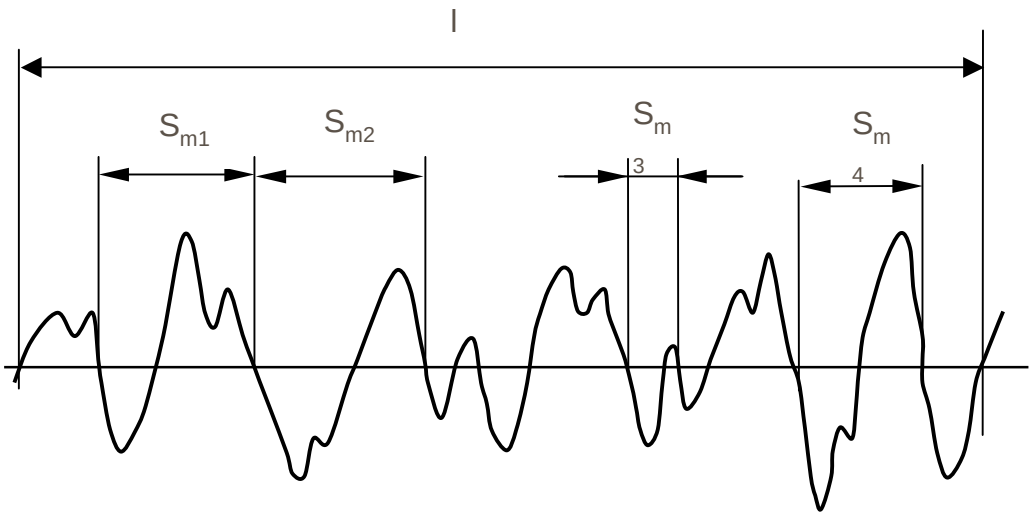
$$\sum_{i=1}^{n} y_i^2 = \min$$



Parametry częstotliwościowe

S_m - średnia wartość z odstępów chropowatości S_{mi} występujących w przedziale odcinka elementarnego l.

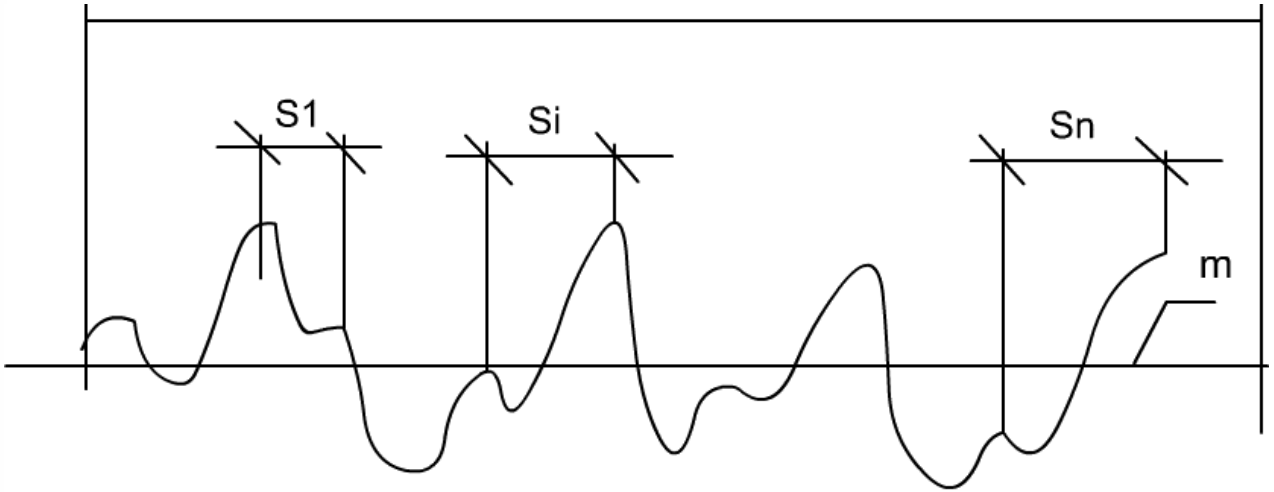
$$S_m = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} S_{mi}$$



Parametry częstotliwościowe

S – średni odstęp miejscowych wzniesień profilu.

$$S = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} S_i$$



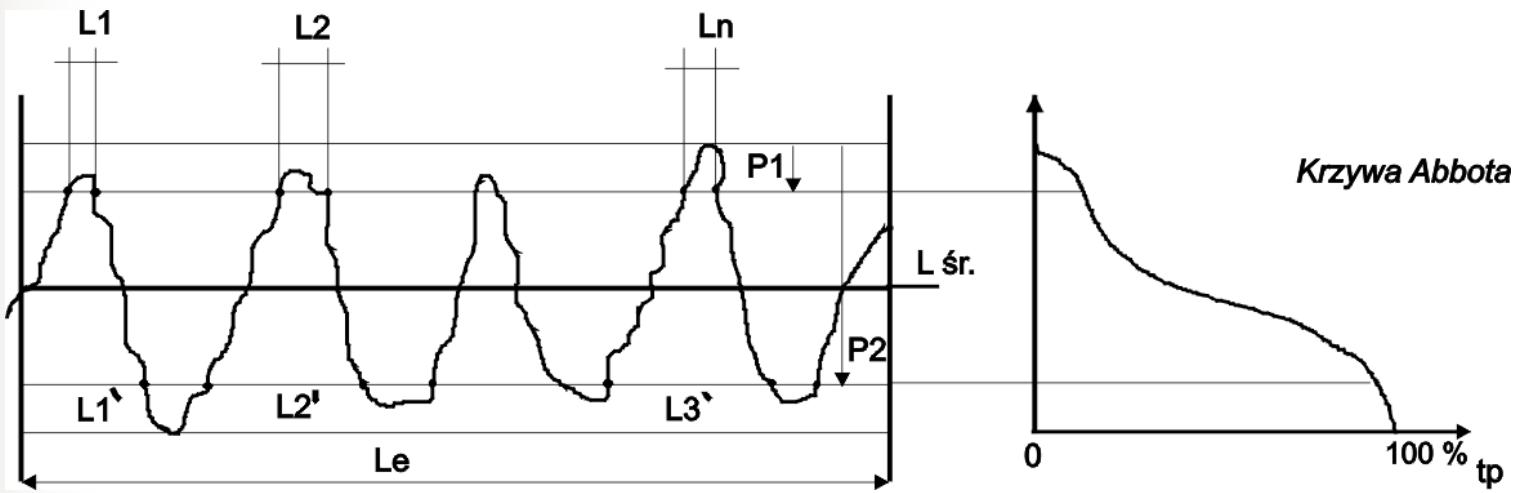
Interpretacja graficzana parametru S

Parametry funkcyjne chropowatości

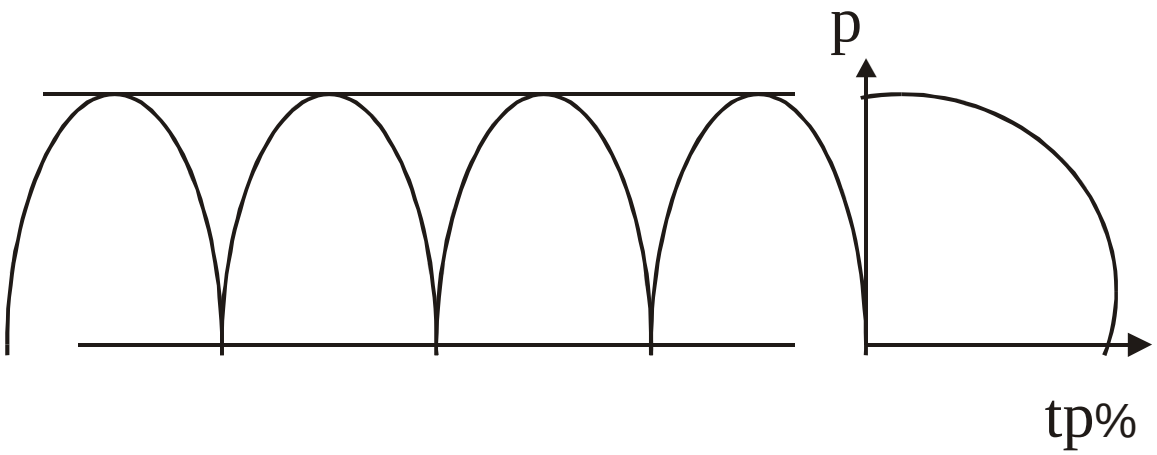
Udział nośny liniowy – parametr hybrydowy

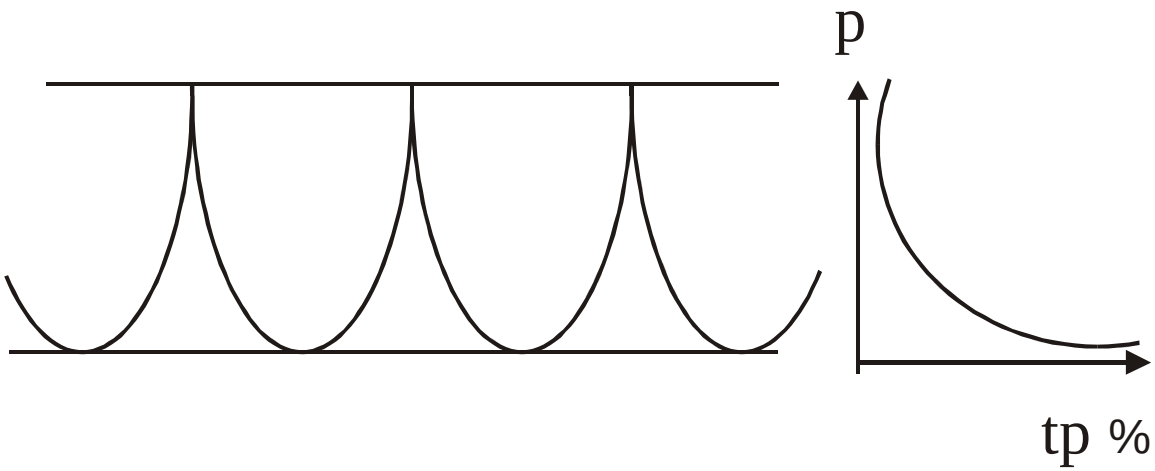
$$t_p = (N_L) = \frac{\sum l_n}{l_e} = \frac{1}{L_e}\sum_{i=1}^{n} l_i \Rightarrow t_p\%$$

$$l_n = \sum l_i$$



Krzywa Abbota
w korzystnym i niekorzystnym przypadku



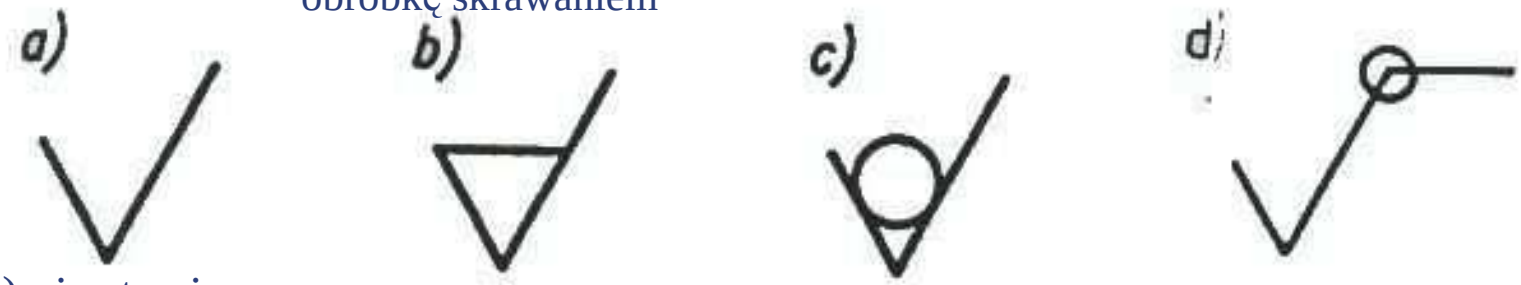


Oznaczanie struktury geometrycznej powierzchni

Żądana chropowatość powinna być uzyskana:

przez zdjęcie lub bez zdjęcia warstwy materiału

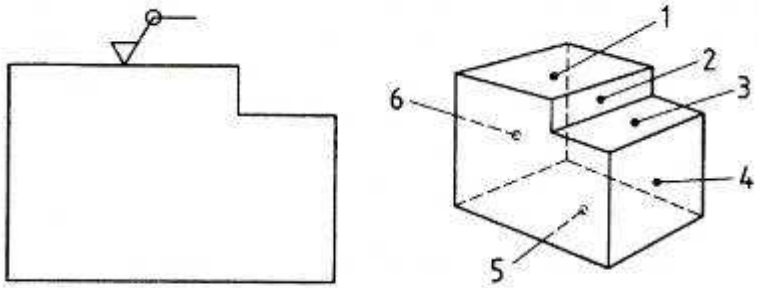
b) Zdjęcie warstwy przez obróbkę skrawaniem



a) nie stawiane są warunki co do wyboru metody obróbki

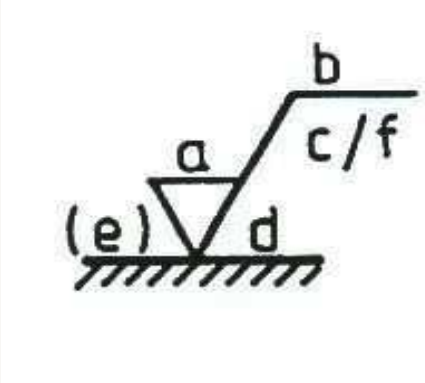
c) Bez zdjęcia warstwy wierzchniej (odlew, walcowanie)

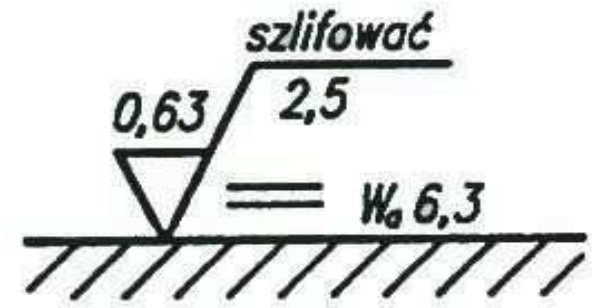
Znak graficzny **d** stosuje się, gdy na wszystkich powierzchniach całego obwodu części wymagana jest ta sama struktura geometryczna.



Przykład oznaczenia jednakowej chropowatości na całym obwodzie

Oznaczanie struktury geometrycznej powierzchni

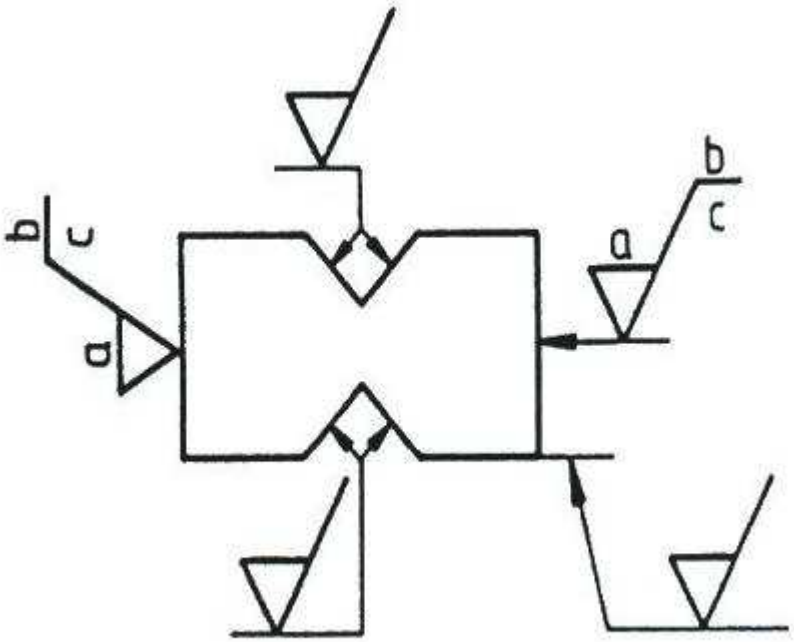




a – wartość chropowatości ***Ra***
b – metoda obróbki (mechaniczna, cieplna, chemiczna itp.);
c – wysokość falistości w μm, poprzedzona odpowiednim symbolem
d - parametru lub długość odcinka elementarnego w mm;
kierunkowość struktury geometrycznej powierzchni;
e – naddatek na obróbkę;
f – wartość parametrów chropowatości innych niż R_a w μm poprzedzona symbolem parametru

Oznaczanie struktury geometrycznej powierzchni

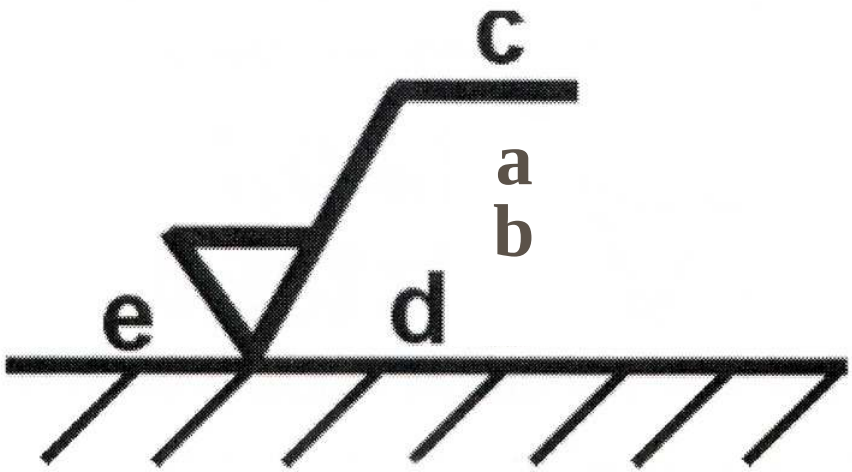
Przykład oznaczenia na rysunku



Symbol graficzny lub linia odniesienia zakończona strzałką powinny stykać się od zewnętrznej strony materiału części z linią przedstawiającą Powierzchnię lub z jej przedłużeniem.

Oznaczanie chropowatości na rysunkach PN-EN ISO 1302:2002

Nowy sposób zapisu



Oznaczenia dodawane do symboli graficznych

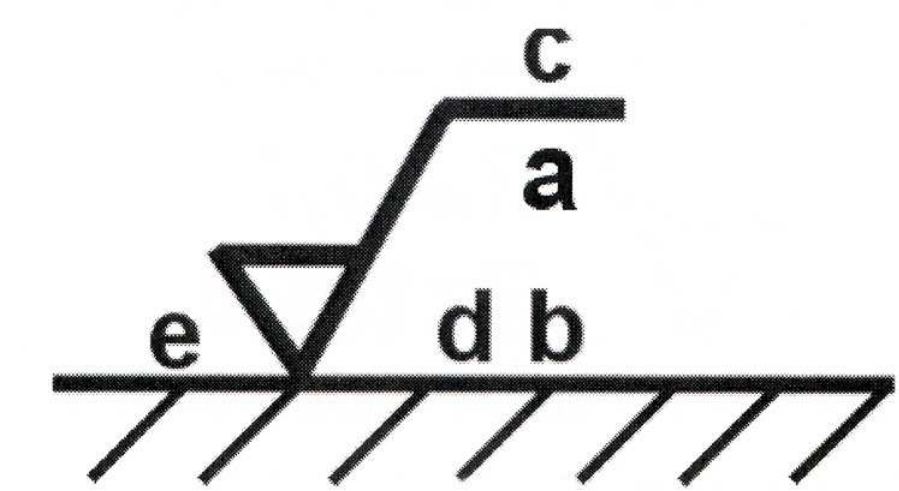
a –parametr chropowatości (maksymalna wartość)
+ rodzaj filtra,
+ pasmo przenoszenia (długość fali między dwoma granicami λs i λc),
+odcinek pomiarowy
b – kolejny parametr

Przykład

Ra 0,7 ⟵ a
Rz 3,3 ⟵ b

Oznaczanie chropowatości na rysunkach PN-EN ISO 1302:2002

Nowy sposób zapisu

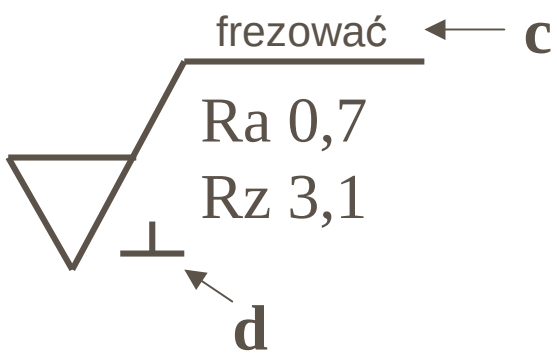


Oznaczenia dodawane do symboli graficznych

c – rodzaj obróbki, np.szlifować, niklować

d – struktura powierzchni

e– ilość materiału jaką należy zostawić na następną operację wykańczającą

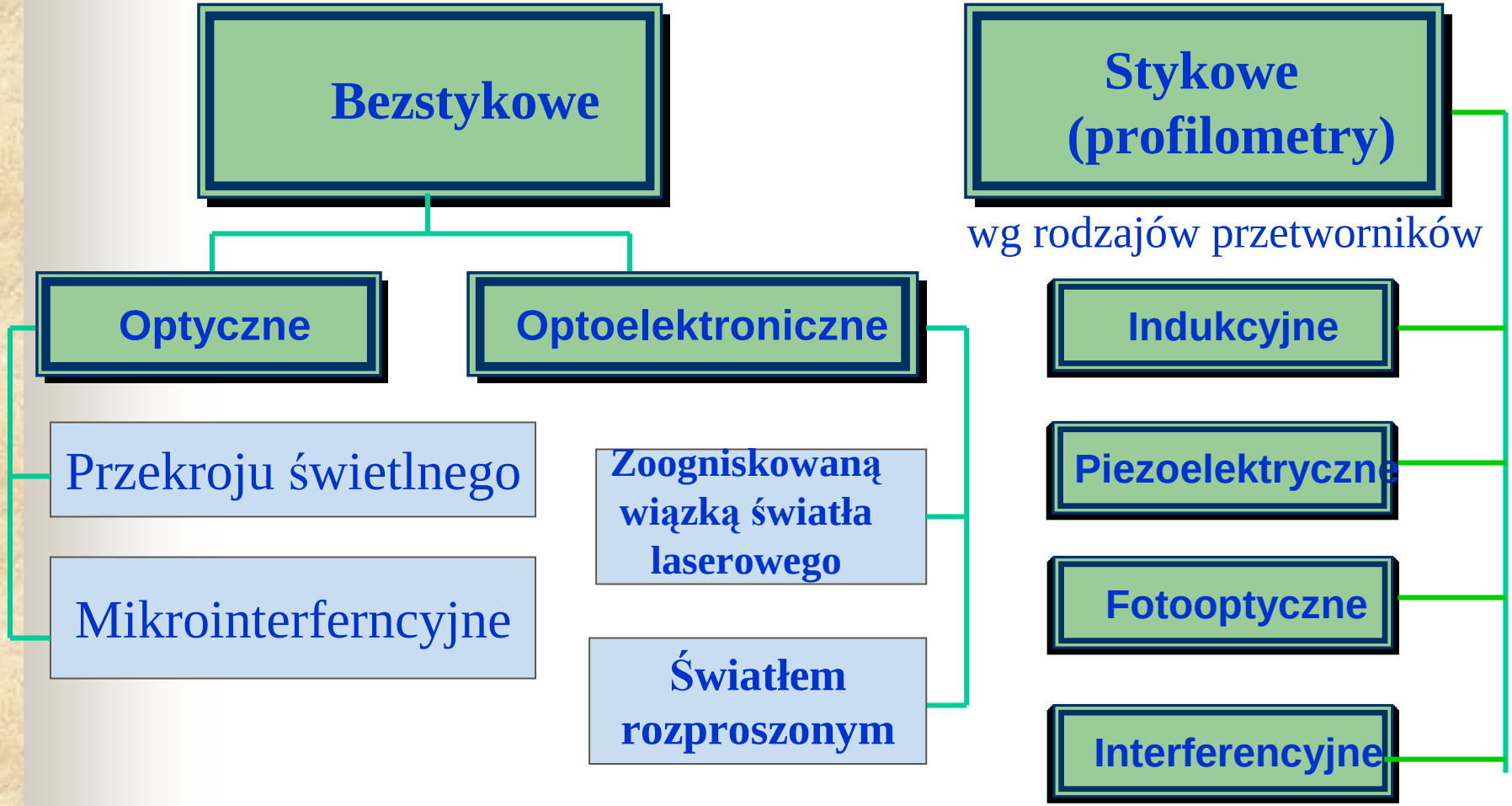


Oznaczanie struktury geometrycznej powierzchni

Znaki uzupełniające: kierunkowość struktury powierzchni

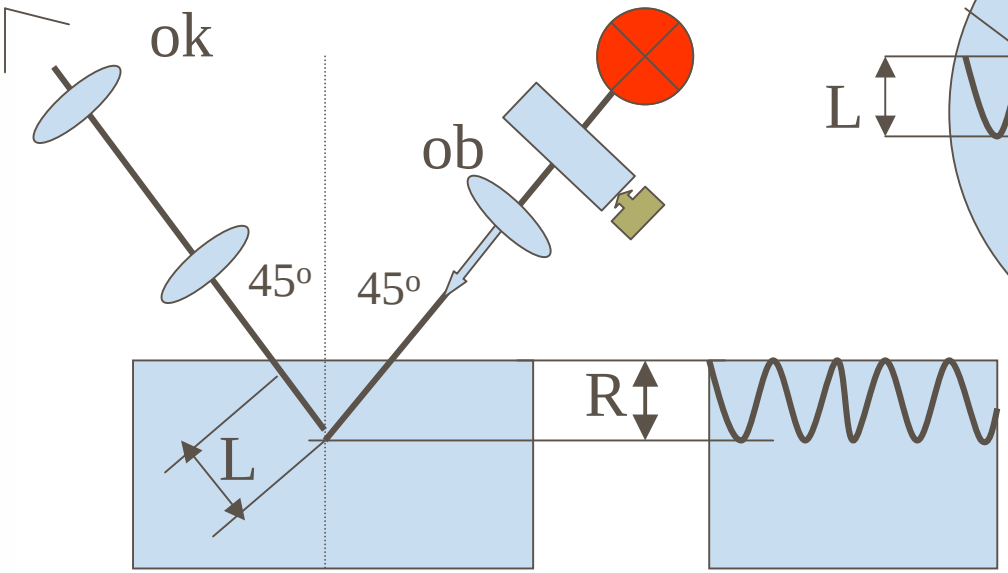
=	równoległa	M	nieuporządkowana (mess)
⊥	prostopadła	P	punktowa (point)
C	współśrodkowa (coaksial)	R	promieniowa (radial)
X	krzyżowa		

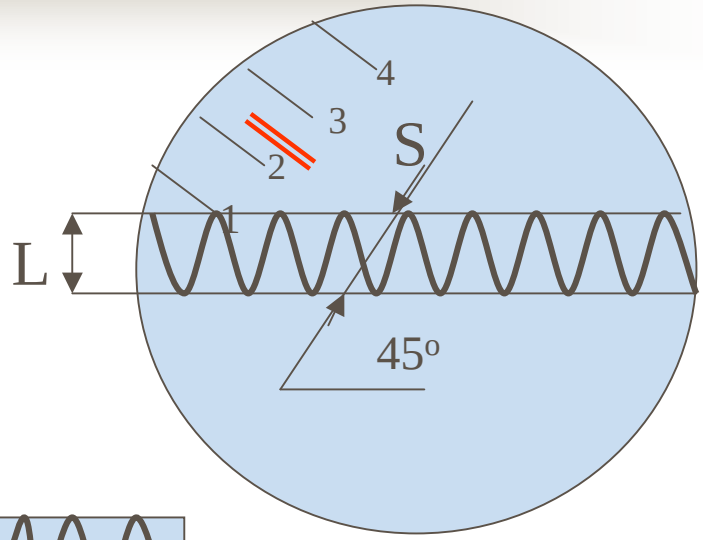
3. Metody pomiaru chropowatości powierzchni



Bezstykowe optyczne metody pomiaru

Metoda przekroju świetlnego





$$\frac{R}{L} = \cos 45^{o} \Rightarrow R = L\cos 45^{o}$$

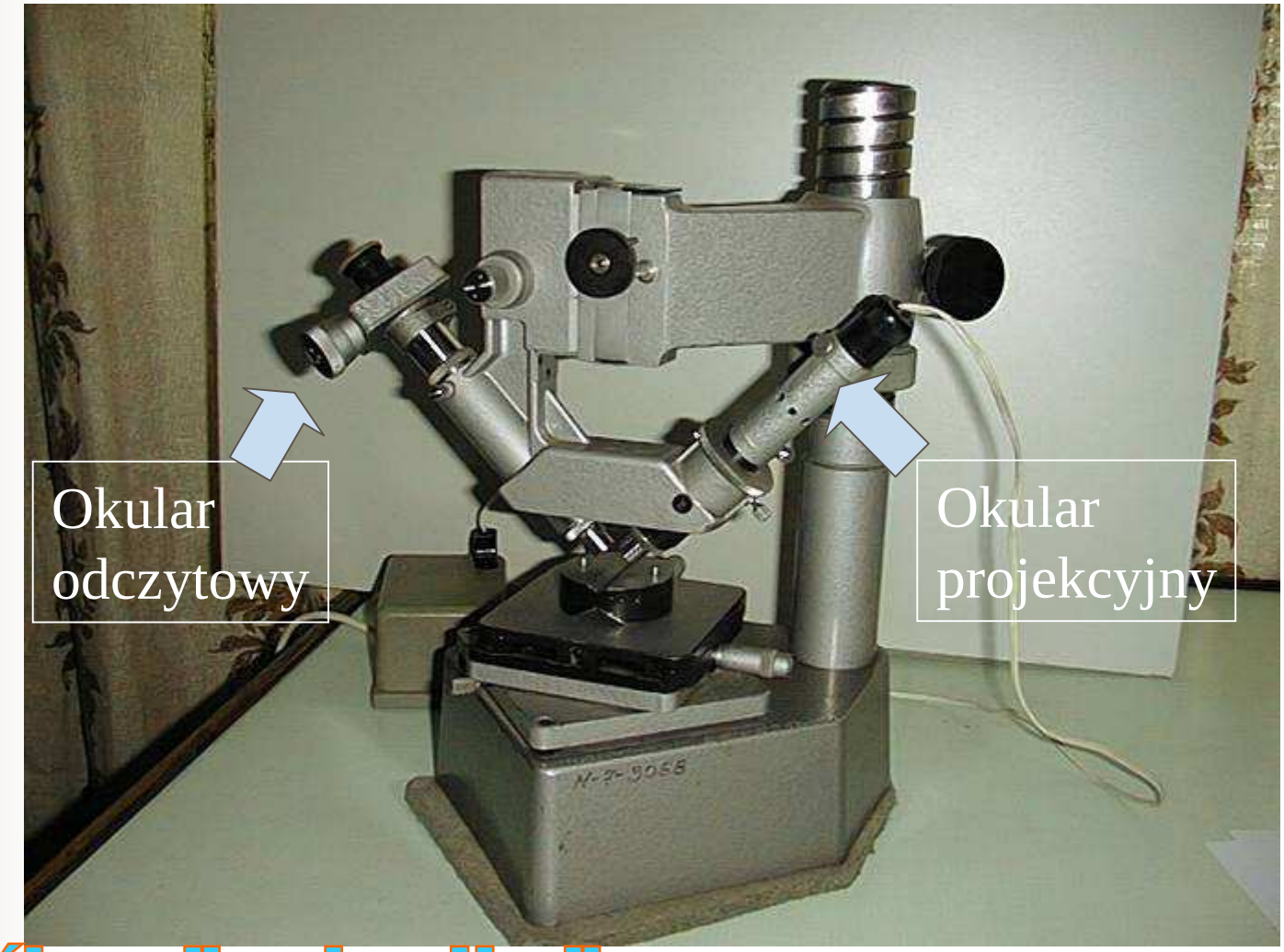
$$\frac{L}{S} = \cos 45^{o} \Rightarrow L = S\cos 45^{o}$$

$$R = S\cos 45^{o}\cos 45^{o} = S\frac{\sqrt{2}}{2}\frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{S}{2}we$$

$we = f(x_{ob}, x_{ok})$

$We = 0{,}3\text{-}1{,}7\,\mu m$

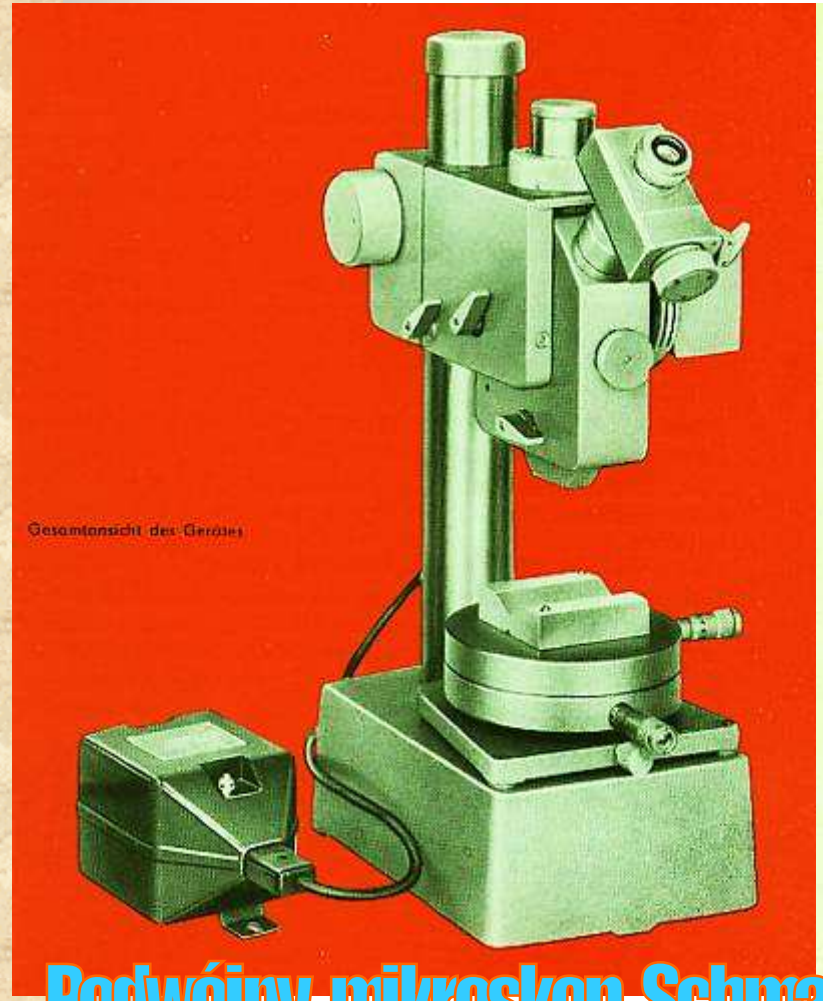
Metoda przekroju świetlnego – mikroskop Linnika

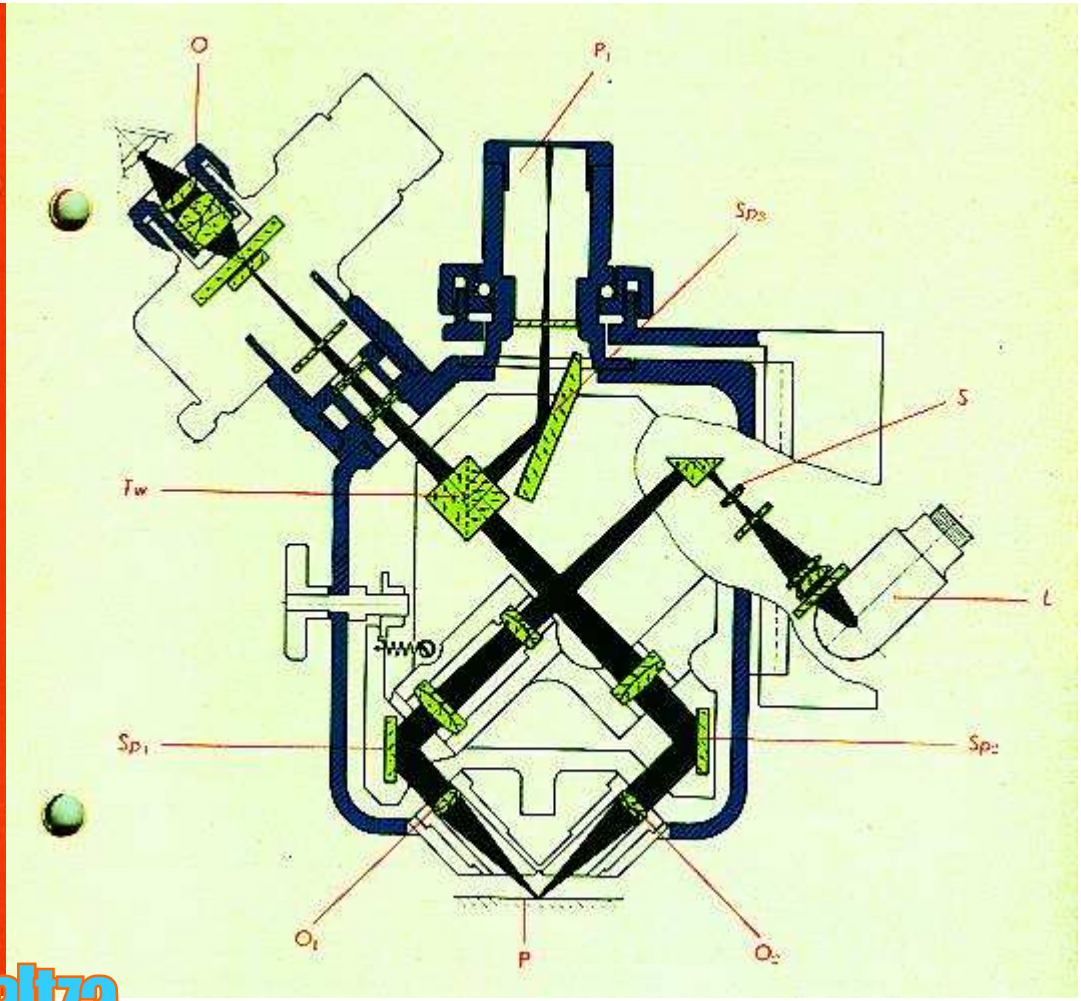


Podwójny mikroskop Linnika

Bezstykowe optyczne metody pomiaru

Metoda przekroju świetlnego -mikroskop Schmaltza

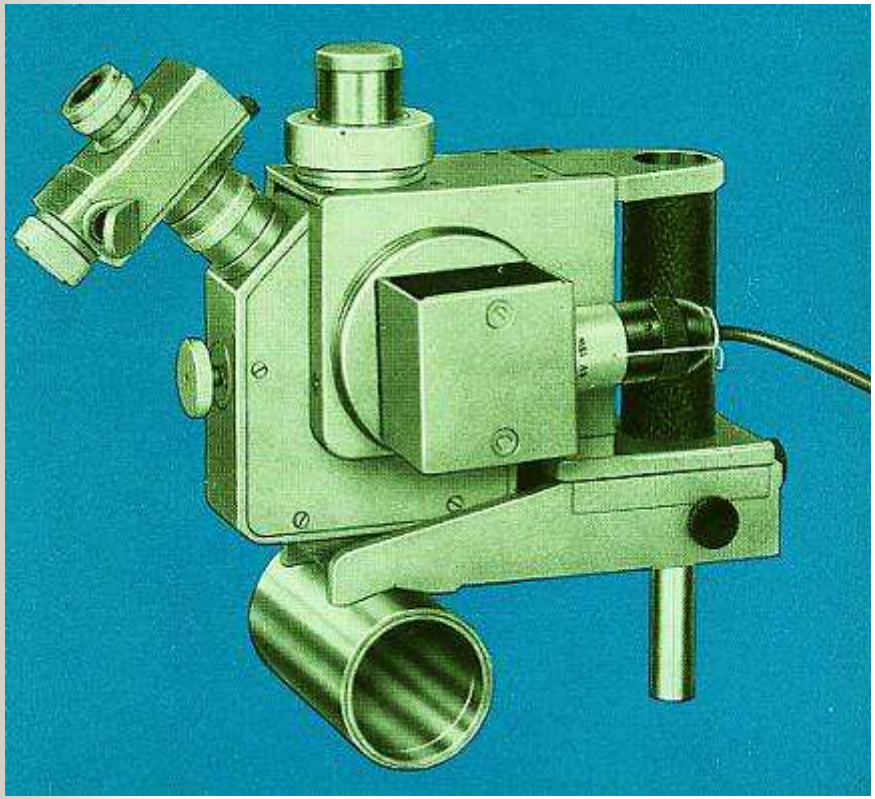


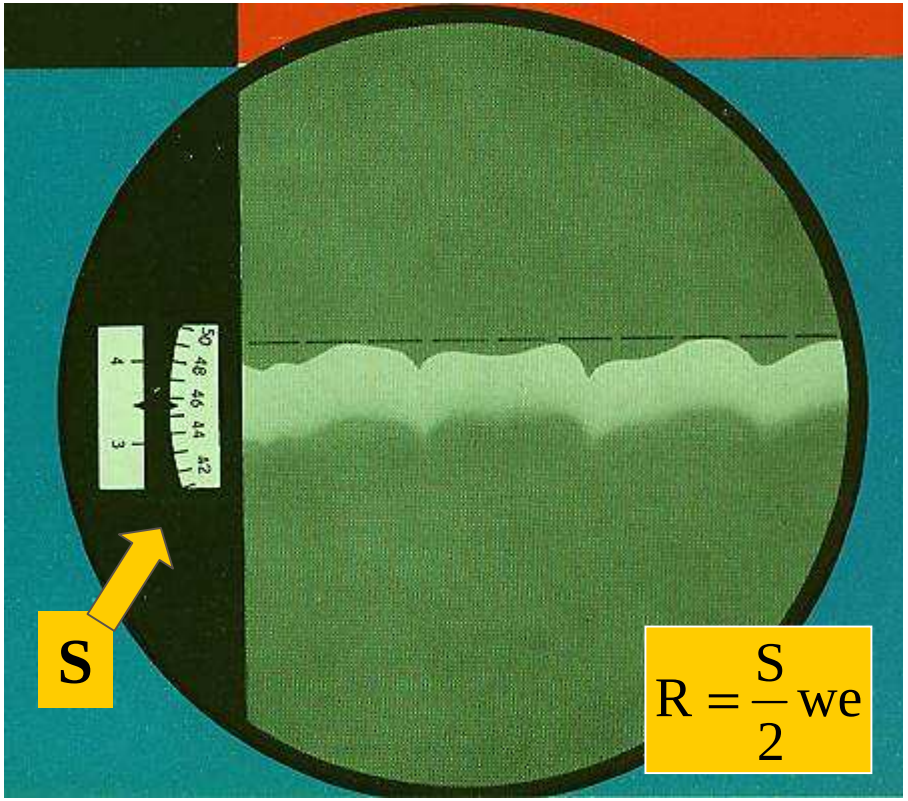


Podwójny mikroskop Schmaltza

Bezstykowe optyczne metody pomiaru

Metoda przekroju świetlnego -mikroskop Schmaltza

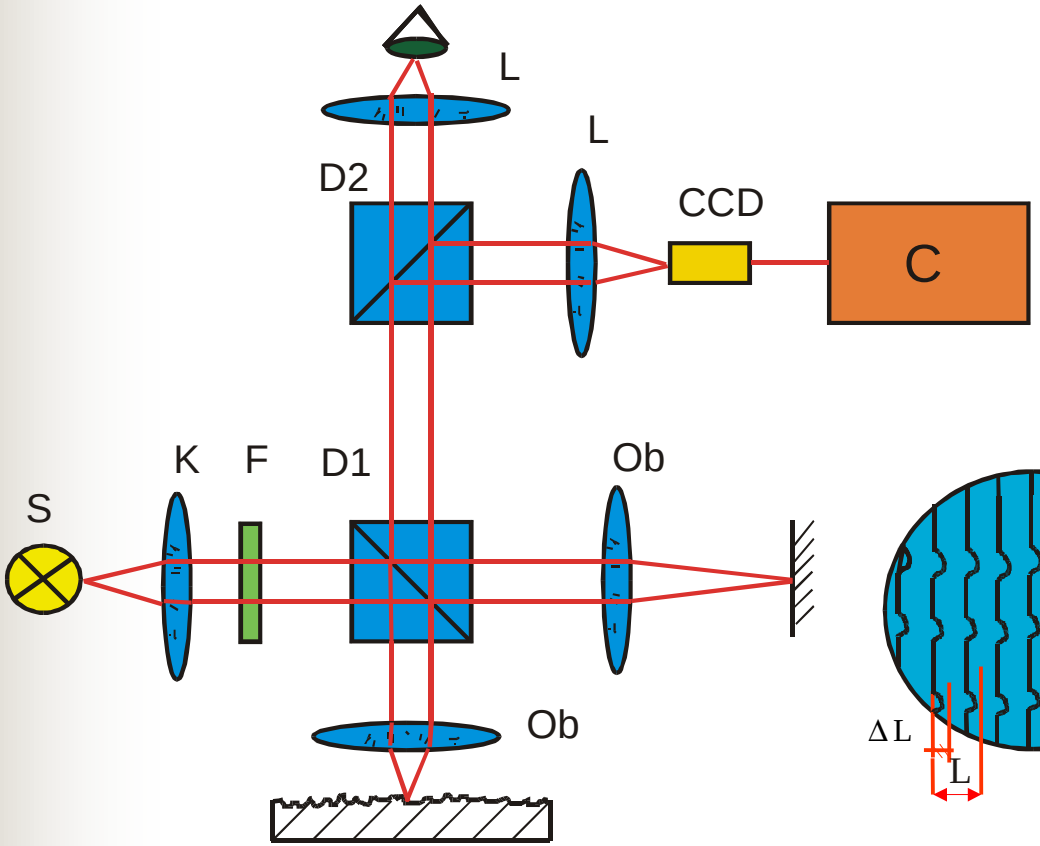




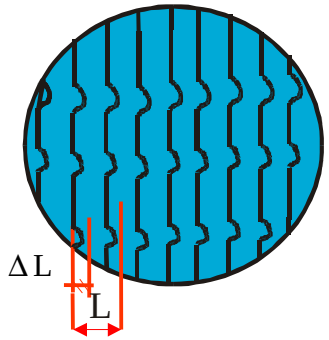
Zakresy pomiarowe: przy obiektywie 60x - 0,5- 1,5µm
30x - 1,5- 5,0µm
14x - 5,0- 15µm
7x - 15 - 50µm

Bezstykowe optyczne metody pomiaru

Metoda interferencyjna



$$R = \frac{\Delta L}{L}\frac{\lambda}{2}$$



Jeśli $\frac{\Delta L}{L} = 0{,}3$

$\lambda = 0{,}55\,\mu m$

to R=0,3x0,55=0,165μm

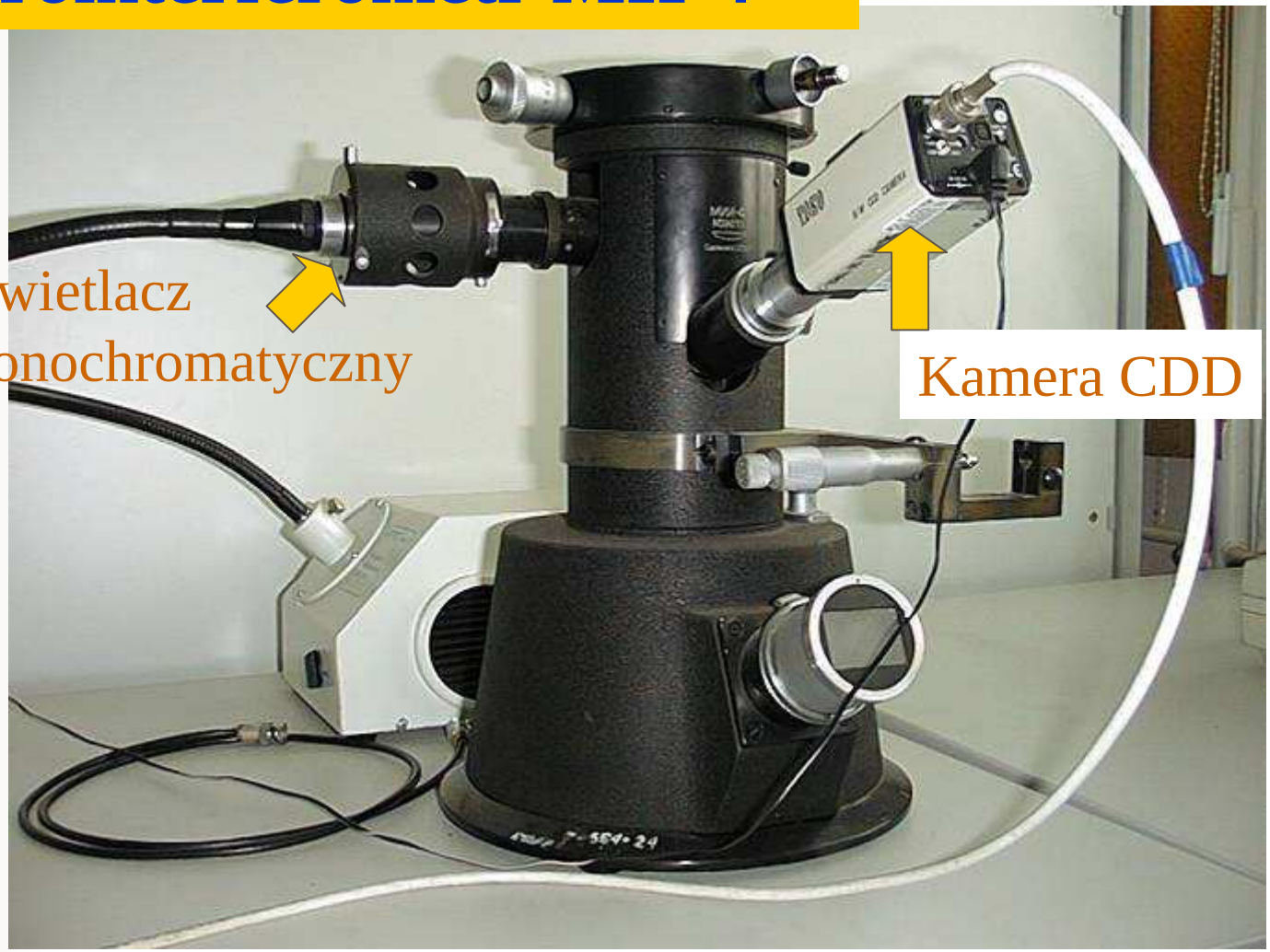
Zakres (0,03 – 1) μm

Bezstykowe optyczne metody pomiaru

Mikrointerferometr

Bezstykowe optyczne metody pomiaru

Mikrointerferometr MII-4



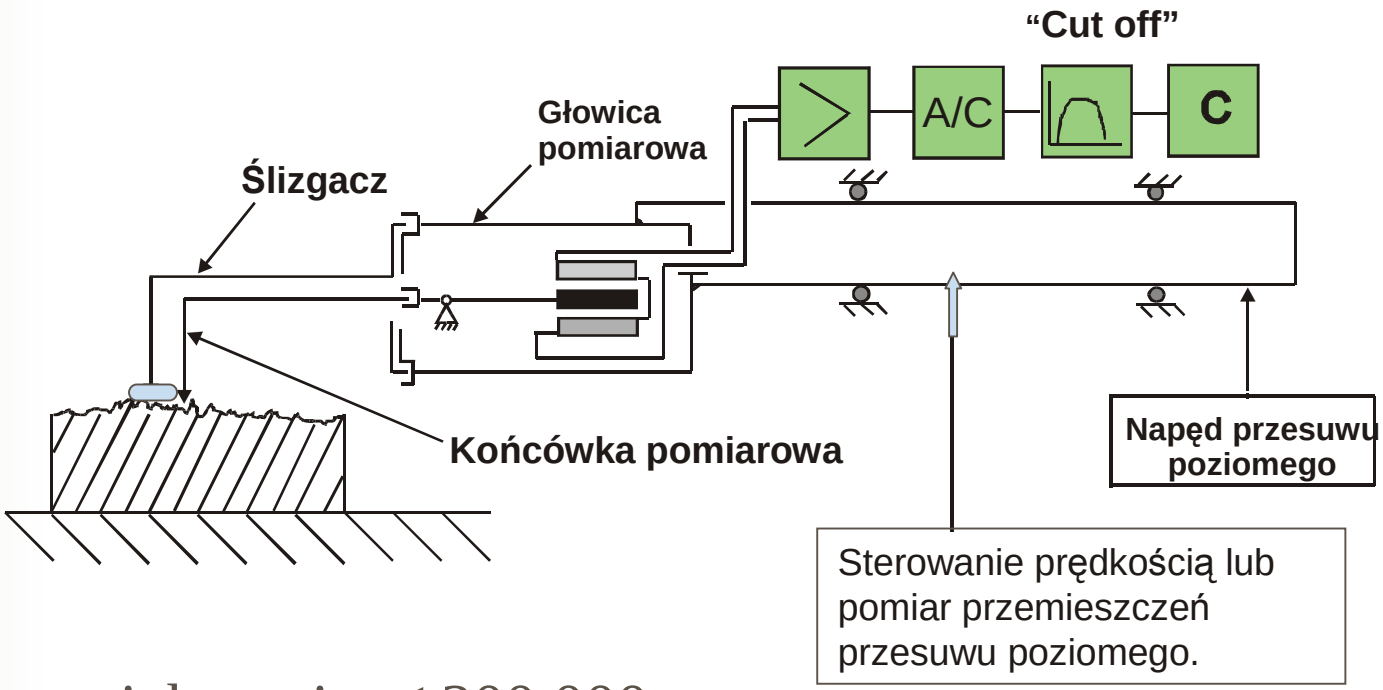
Stykowe metody pomiaru chropowatości powierzchni

Stykowe (profilometry)

wg rodzajów przetworników

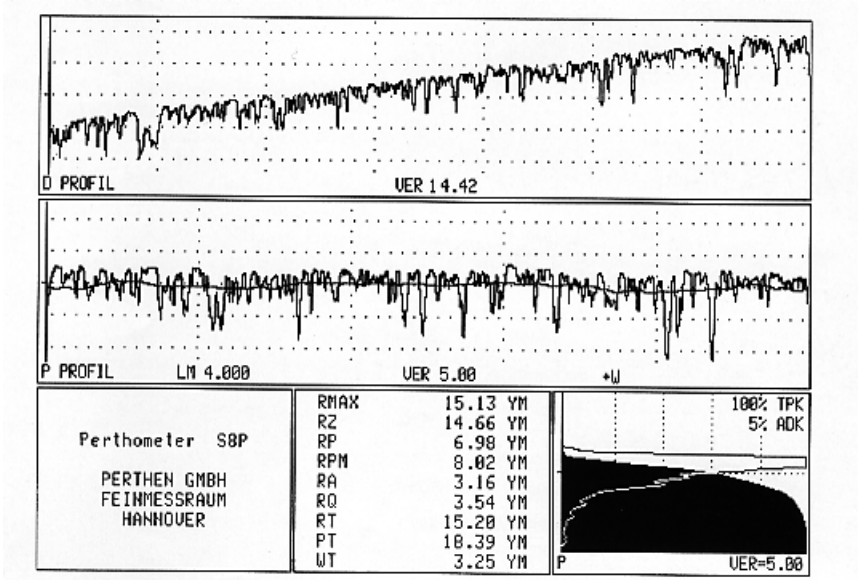
- **Indukcyjne**
- **Piezoelektryczne**
- **Fotooptyczne**
- **Interferencyjne**

Profilometr z głowicą indukcyjną



Max powiększenia ≤ 200 000

Przykłady profilometrów z głowicą indukcyjną



Mierzone parametry:

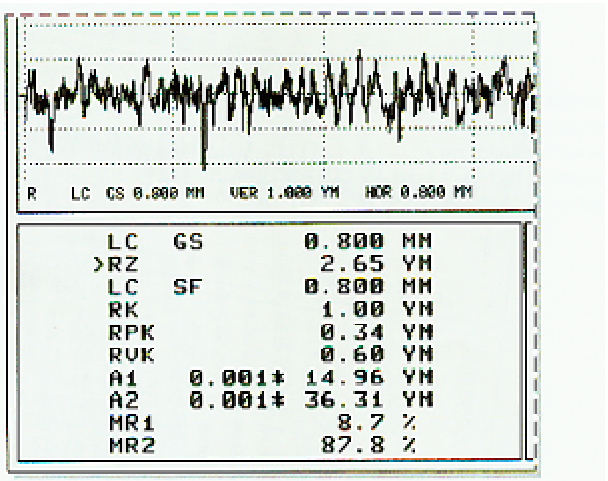
Rz(DIN), Ra, Rq, Rp, Rmax, Rz1..5, Pt, Rt, Wt, Sm,tp,Sc

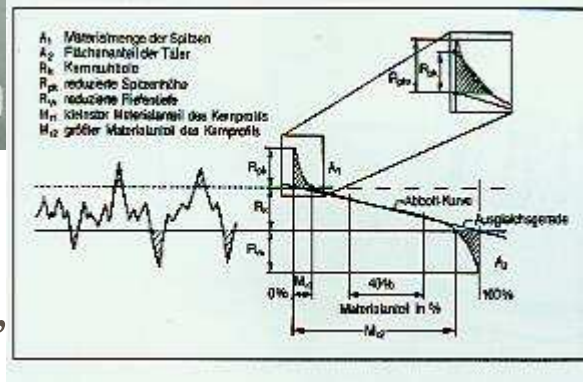
Cut off 0,025, 0,08, 025, 0,8, 2,5, 8,0mm

Zakresy pomiarowe:

±12,5, ±62,5, ±250µm

Przykłady profilometrów z głowicą indukcyjną





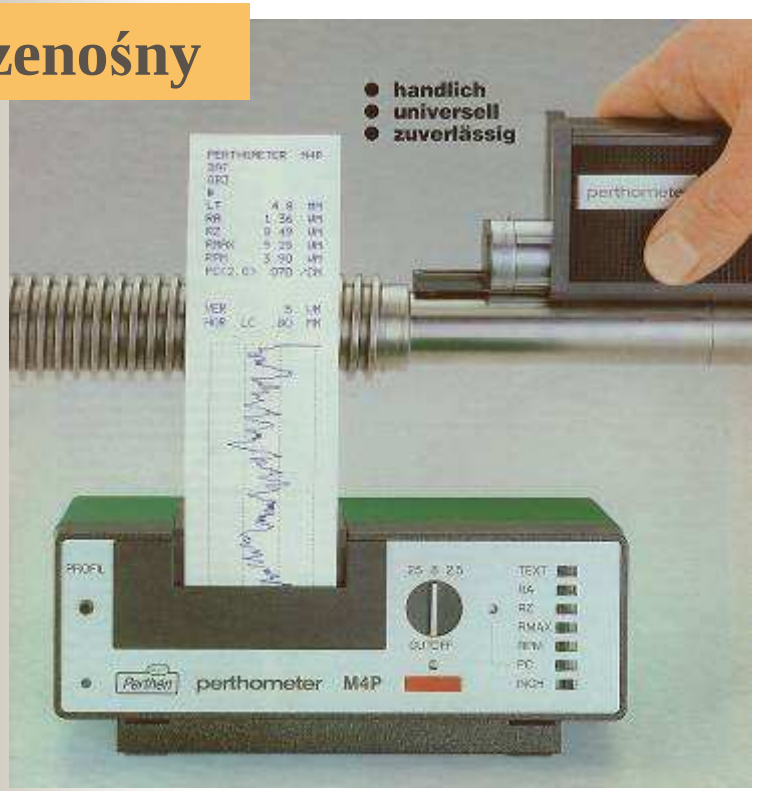
Mierzone parametry
Ra, Rz, Rmax, Rp, Pt, Rq, Rz(ISO), R3z, Wt, Sk
Cut off 0,025, 0,08, 0,25, 0,8 2,5, 8mm

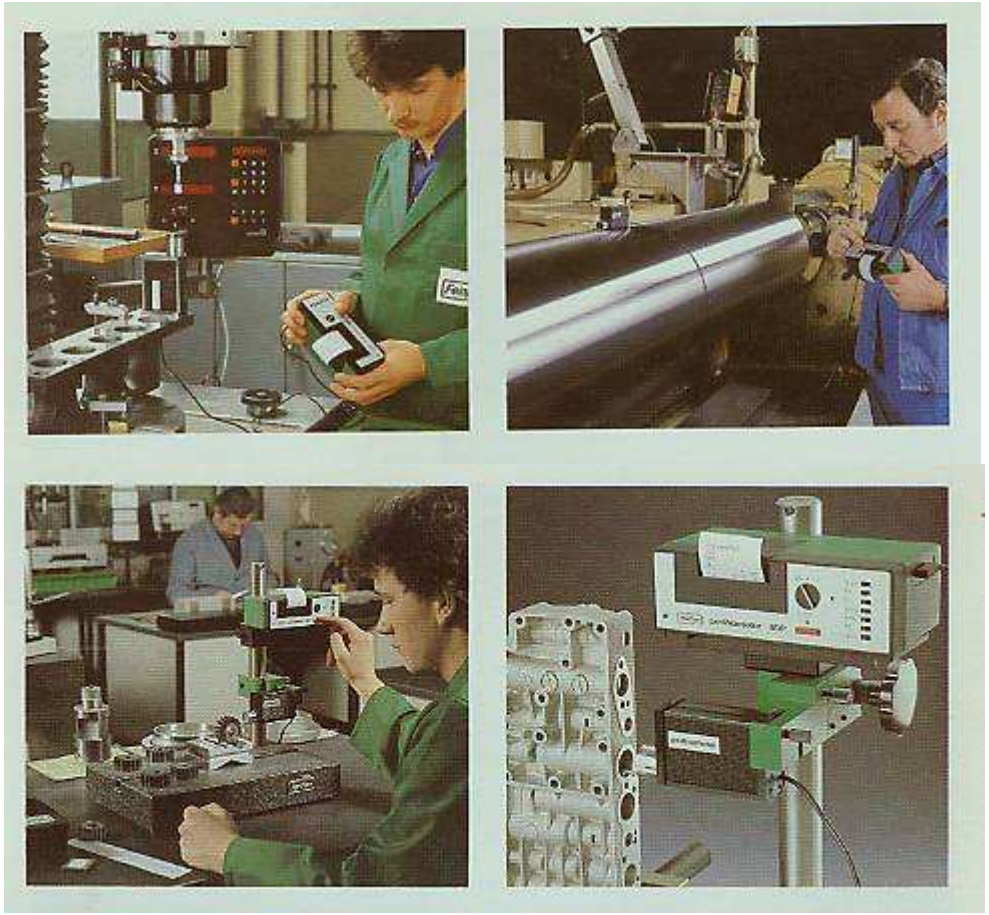
Zakresy pomiarowe ±25, ±250, ±2500µm

Przykłady profilometrów z głowicą indukcyjną

Perthometer M3P, M4P

Przenośny



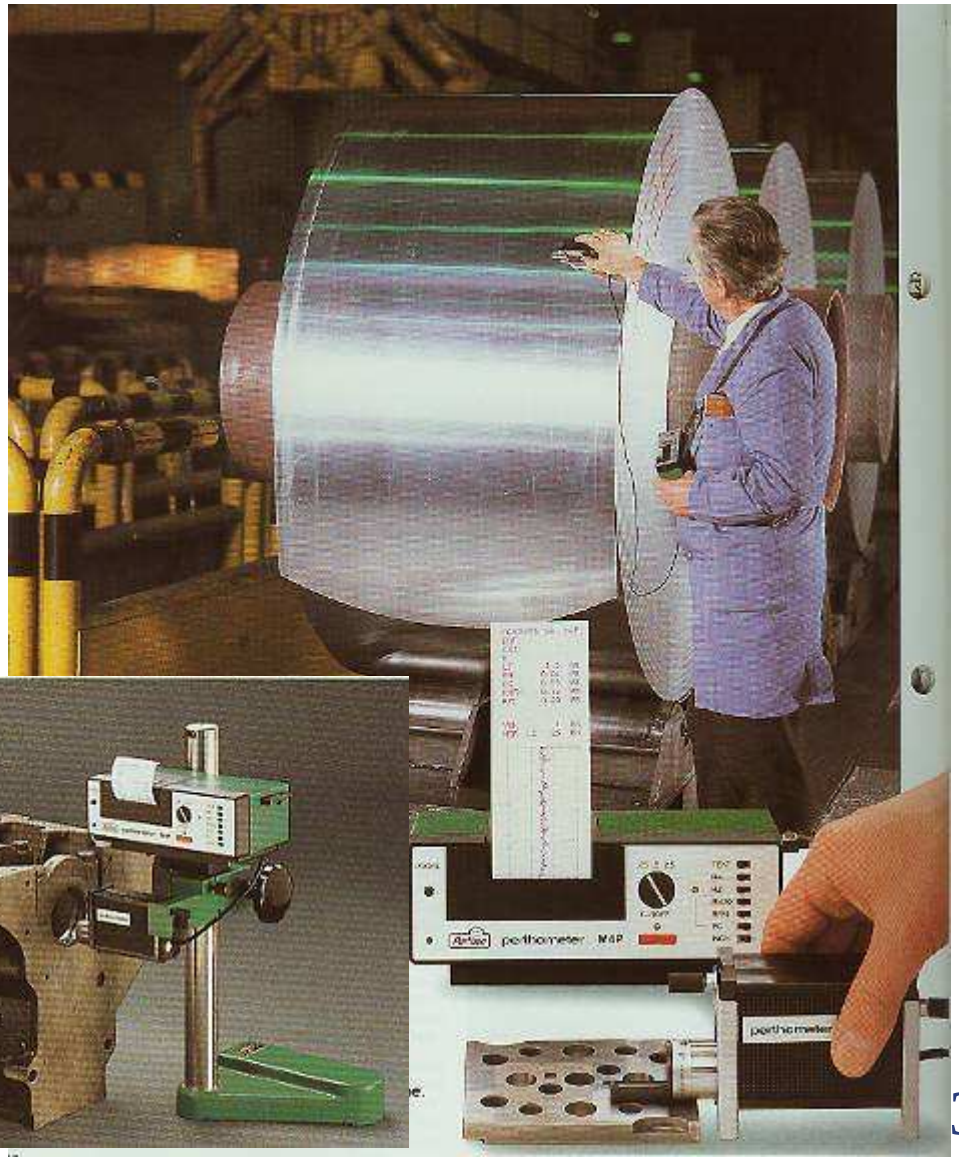


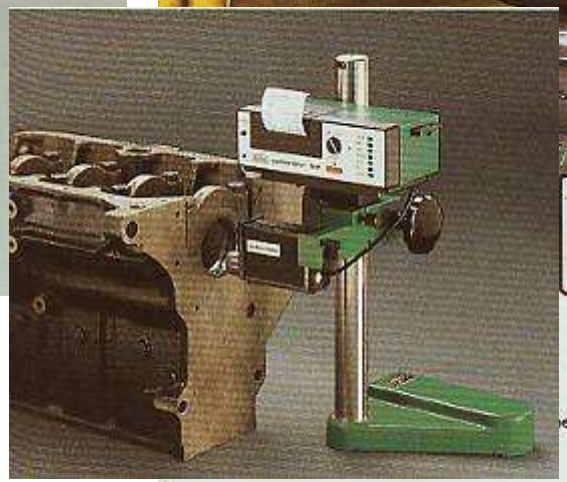
Mierzone parametry: Ra, Rz, Rmax, Rpm. Zakres pomiarowy: ±35µm

Cut off: 0,25, 0,8, 25mm

Przykłady profilometrów z głowicą indukcyjną

Perthometer M3P, M4P





Przenośny

Przykłady profilometrów z głowicą indukcyjną

Profilometr PGM- 1C

Instytut Obróbki Skrawaniem w Krakowie

Mierzone parametry: Ra, Rz, Rm, Rt, Rp, Rq, tp, Wt,Wa

Zakres pomiarowy: 0,5-250µ Cut off: 0,08, 0,25, 0,8, 2,5, 8mm

„Igła” mierząca: diament, 90°±5°, r=2±1µm , nacisk 3mN

Przykłady profilometrów z głowicą indukcyjną

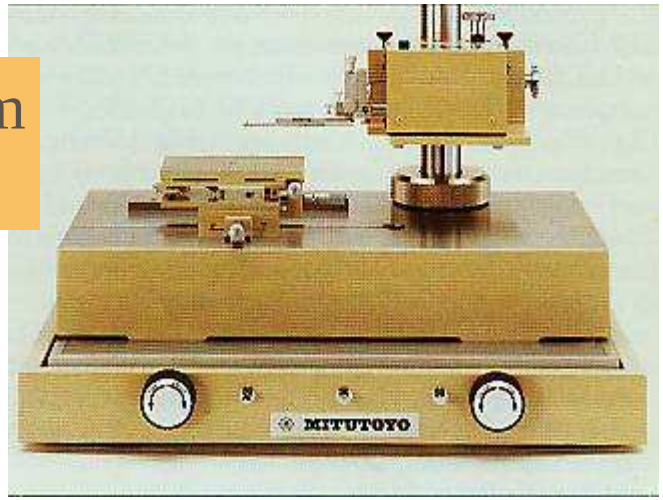
Przenośno-stacjonarny

Surftest 401

Ra, Rq,
Rz, Rmax,
Sm, S, HSC

Ra,Rq 0,002-50µm, Rmax 2,5-250

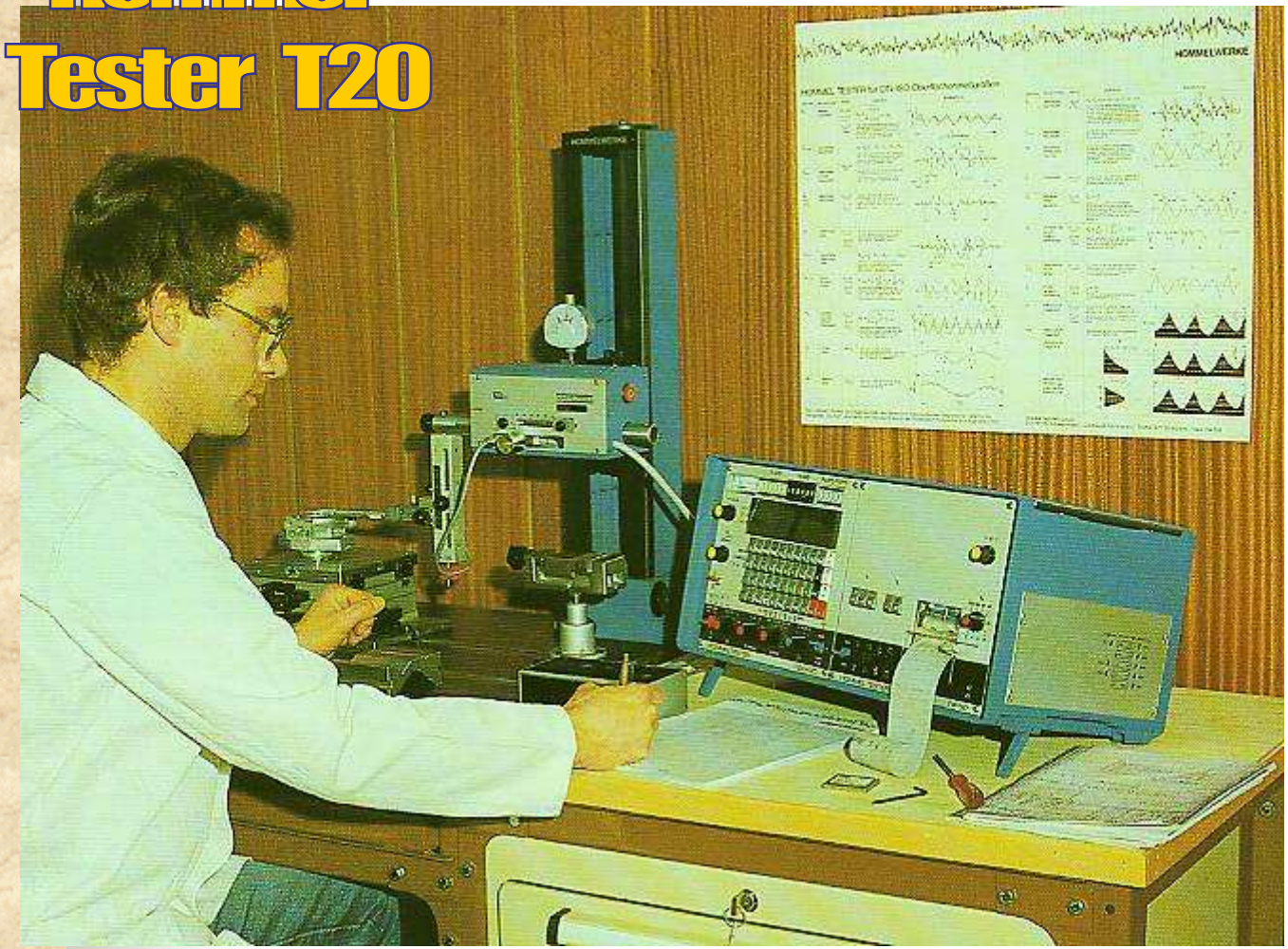
„Igła” r=5µm
Nacisk 4mN



Cut off: 0,25, 0,8, 2,5mm

Przykłady profilometrów z głowicą indukcyjną

Hommel Tester T20



Pow. 50-500 000

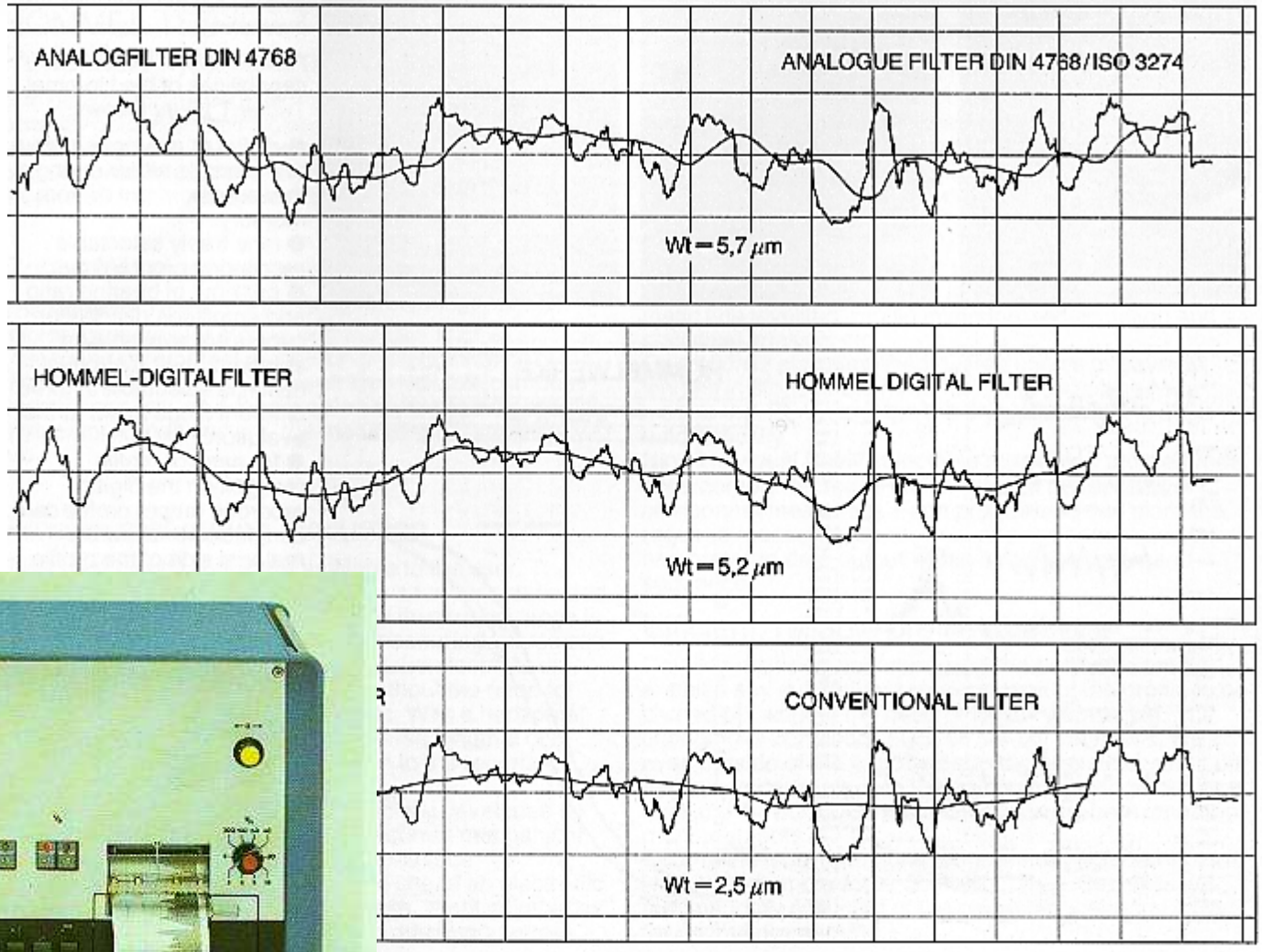
Wt, Ra, Rq, $Rz_{(DIN)}$ $Rz_{(ISO)}$, R3z, Rp, Rpm, tp

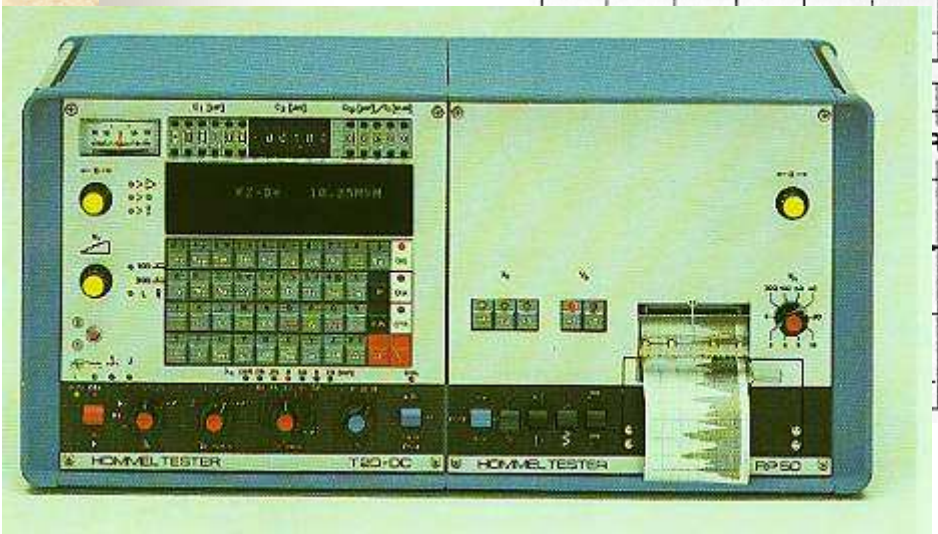
Cut off 0,25, 0,08, 0,25, 0,8, 2,5, 8, 2,5

Profilometr stacjonarny

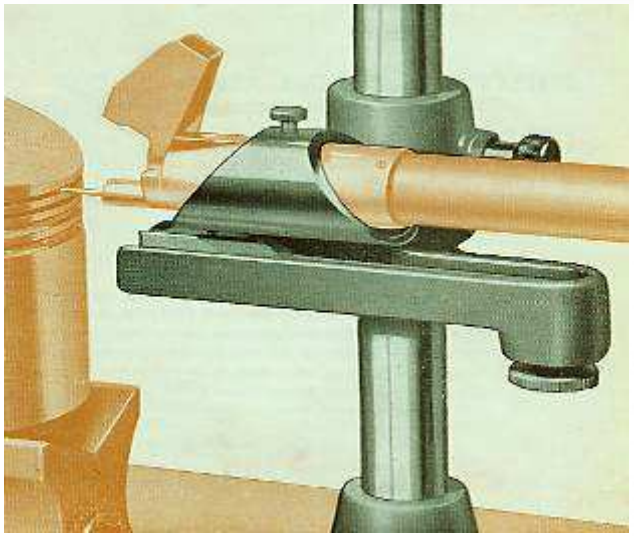
Przykłady profilometrów z głowicą indukcyjną

Hommel Tester T20





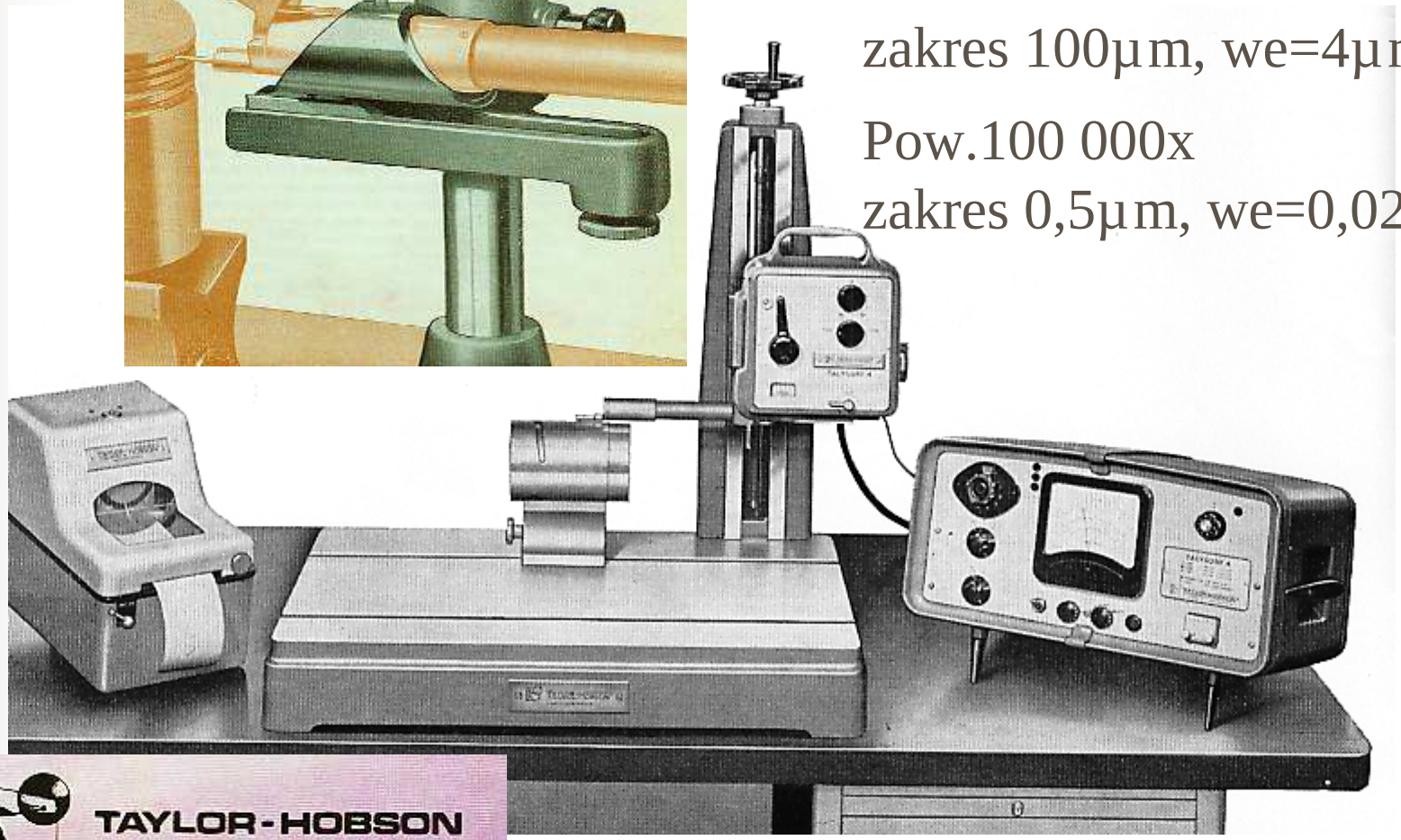
Przykłady profilometrów z głowicą indukcyjną



Talysurf 4

Pow. 500x
zakres 100µm, we=4µm

Pow.100 000x
zakres 0,5µm, we=0,02µm



TAYLOR-HOBSON

Max pow. 100 000

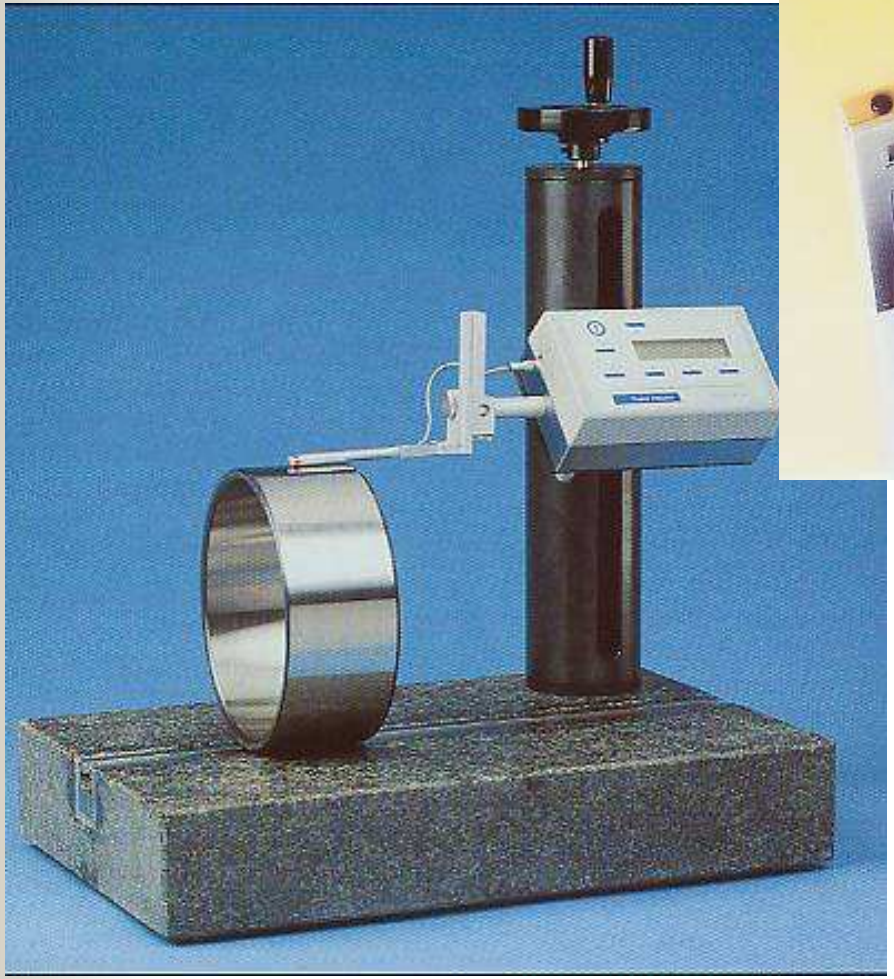
Przykłady profilometrów z głowicą indukcyjną

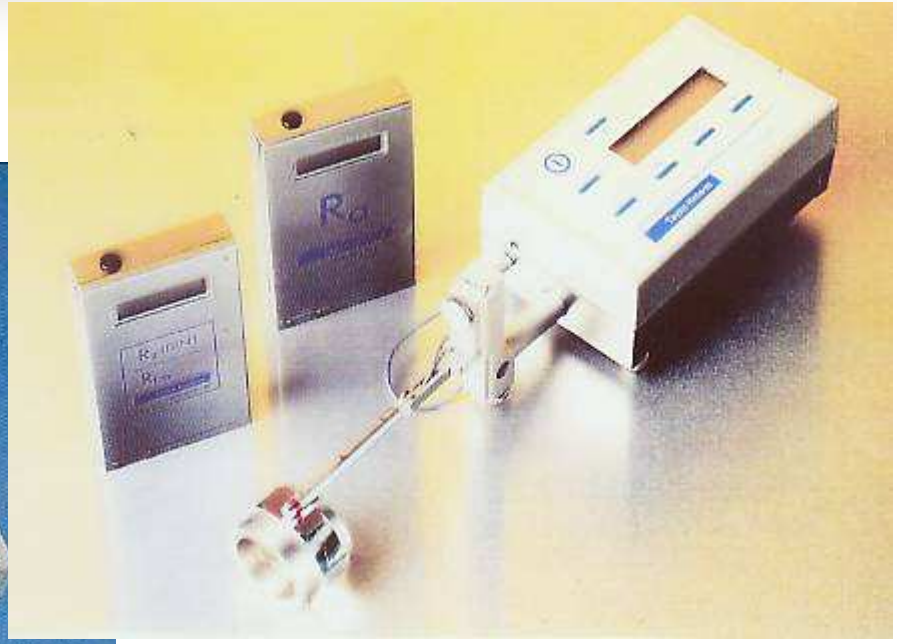
Talysurf 4

Oprogramowanie Instytutu Metrologii i Systemów Pomiarowych

Przykłady profilometrów z głowicą indukcyjną

Surtronic



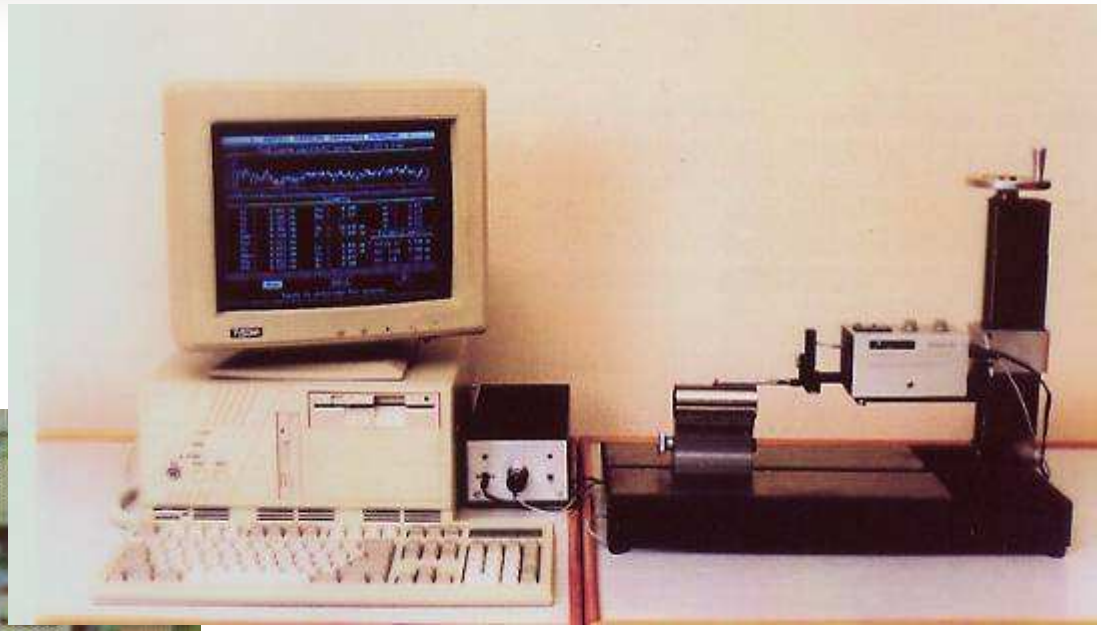


Zakres pomiarowy ±150µm,
Rozdzielczość 0,01µm
Ra, Rq, $Rz_{(DIN)}$, Sm, Rt
Cut off 0,25, 0,8, 2,5, 8 mm

V_h 10 000

Przykłady profilometrów z głowicą indukcyjną

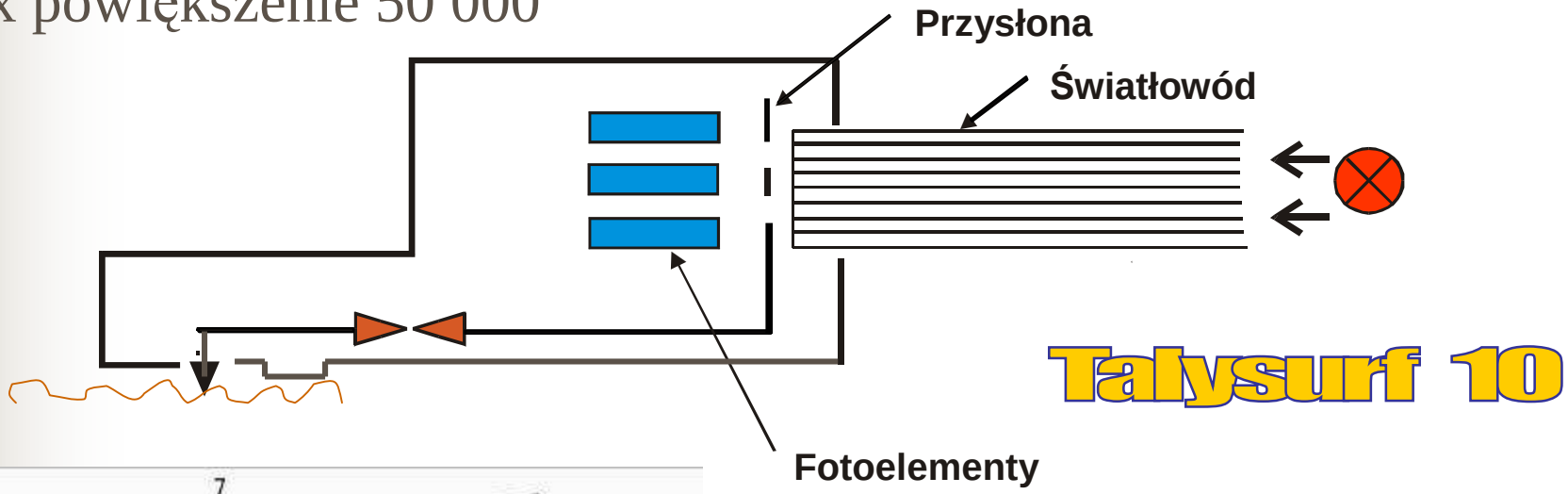
Surtronic



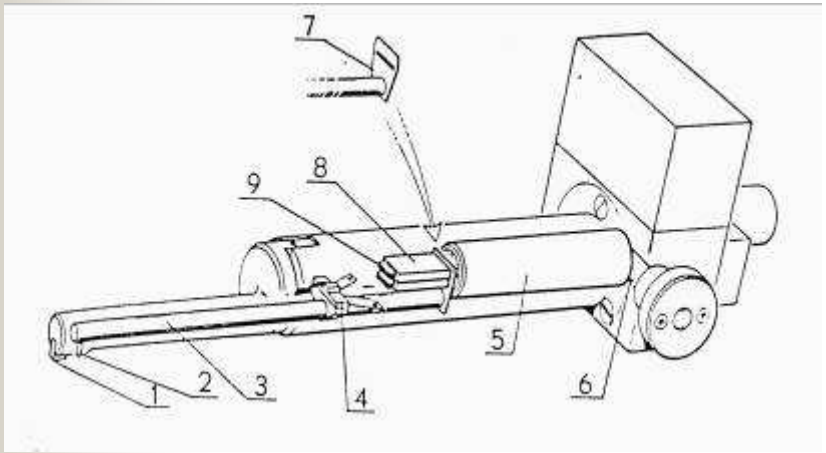
Po oprogramowaniu w Instytucie Metrologii i Systemów Pomiarowych: Ra,Rv,Rp,Rt,Rq,Ry,Rpm, $Rz_{(DIN)}$, Rz(ISO),, Sm, Rsk, Rku, S, HSC, tp%.....

Głowica fotooptyczna

Max powiększenie 50 000

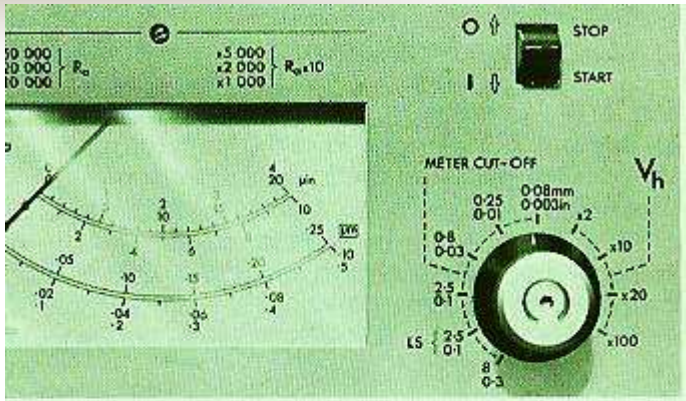


Talysurf 10

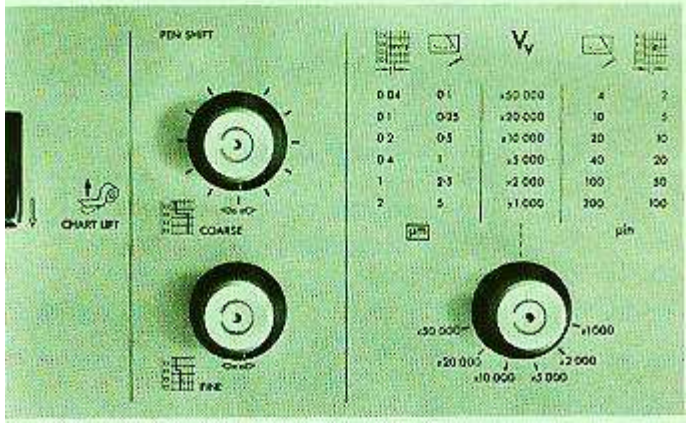


Przykład profilometru z głowicą fotoopyczną

Talysurf 10



Ra, Rp : 0,1-5µm, Rt: 0,4-4µm



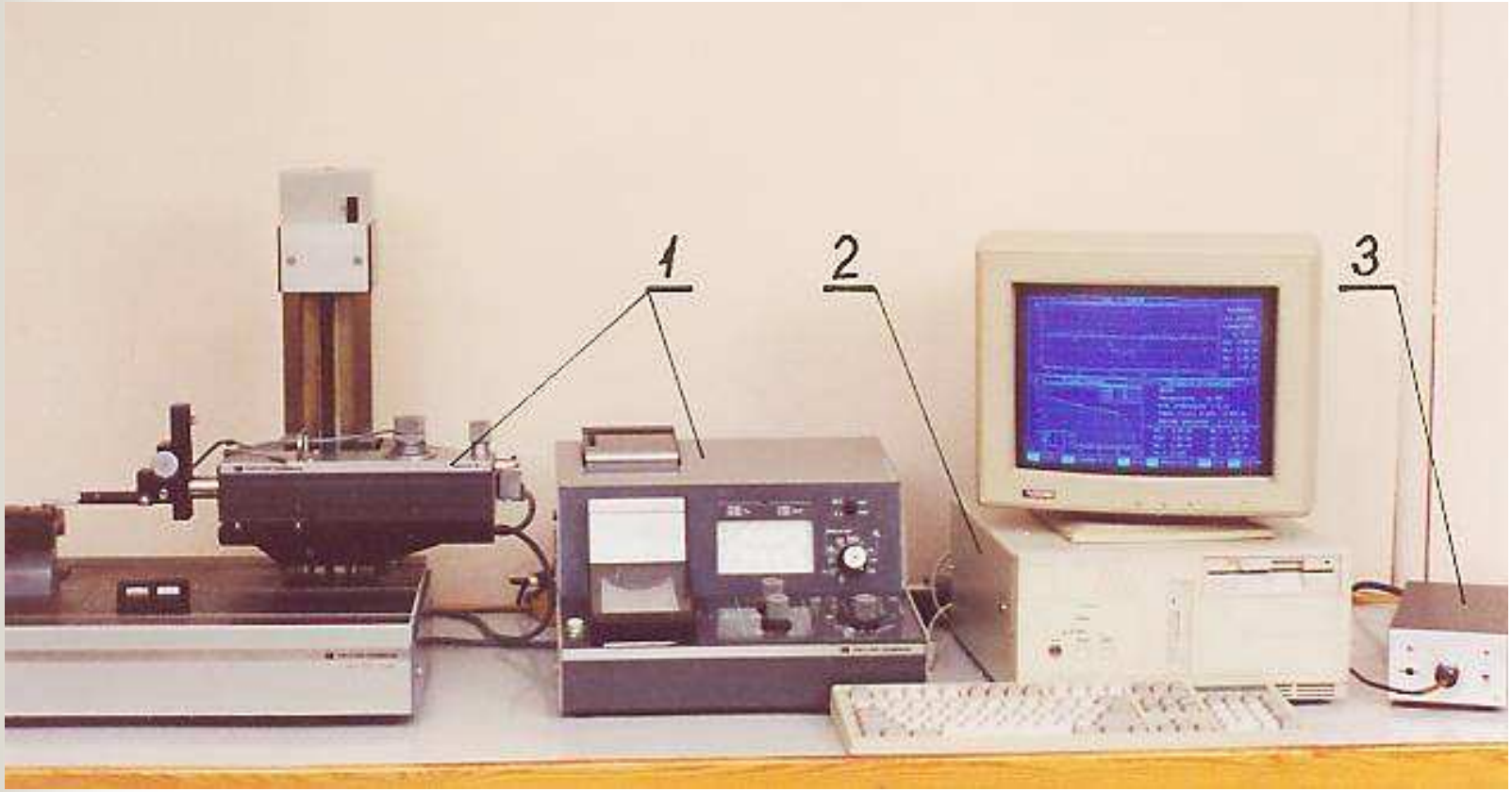
„Igła” r=2,5µm, Nacisk 1mN

Cut off: 0,08, 0,25, 0,8, 2,5 mm

TAYLOR-HOBSON

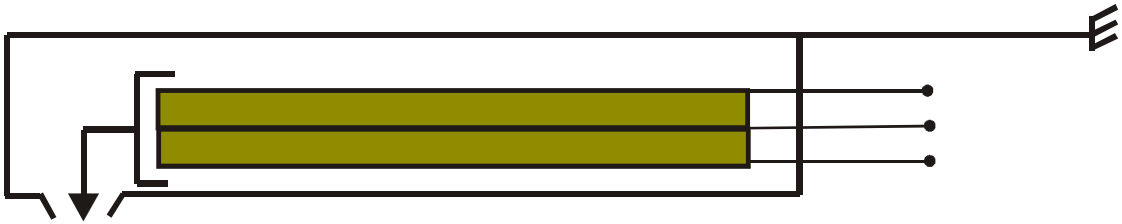
Przykład profilometru z głowicą fotoopyczną

Talysurf 10



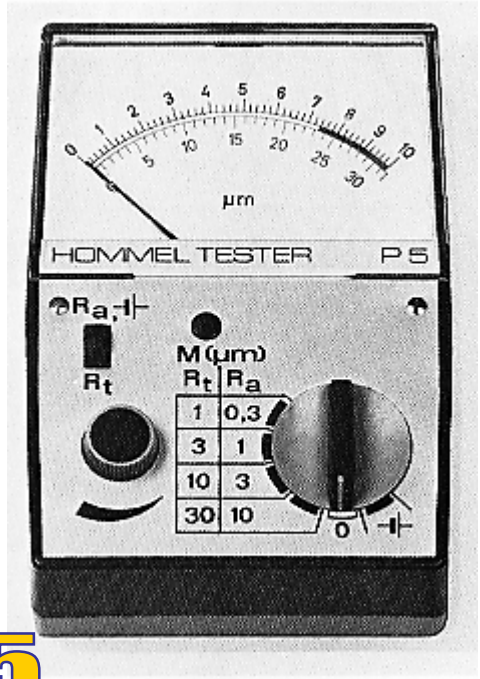
Oprogramowanie Instytutu Metrologii i Systemów pomiarowych

Głowica piezoelektryczna



Materiał: kwarc, tytanian baru ($BaTiO_3$), sól Seignetta

Max powiększenia 50 000



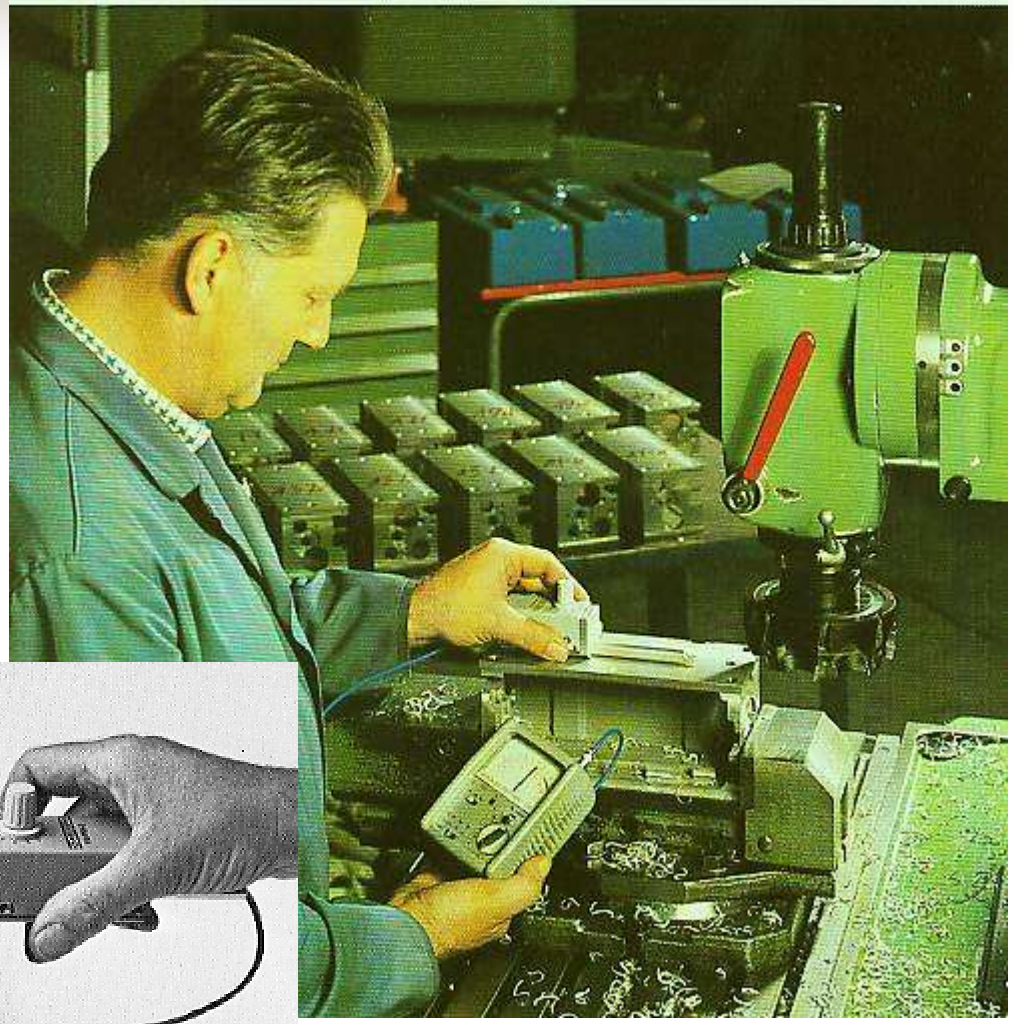
Hommel Tester P5

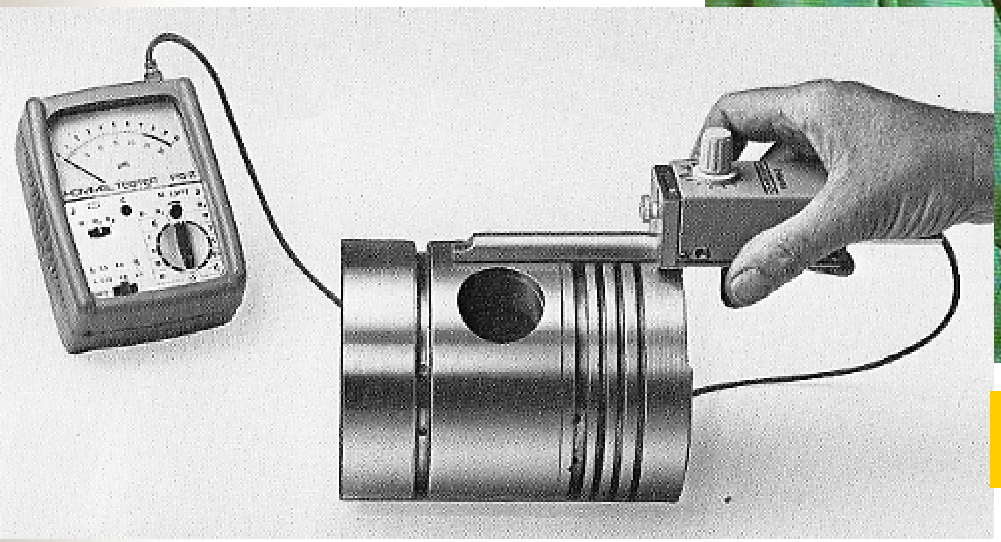
Przykład profilometru z głowicą piezoelektryczną

Hommel Tester P5

Ra: 0,3, 1, 3, 10µm
Rt: 1, 3, 10, 30µm

Cut off: 0,8mm

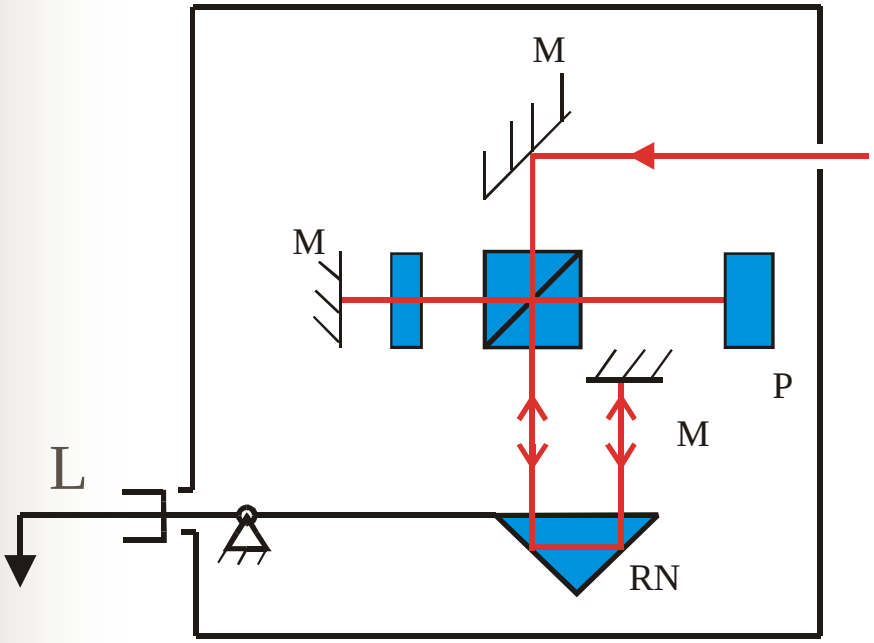




Przenośny

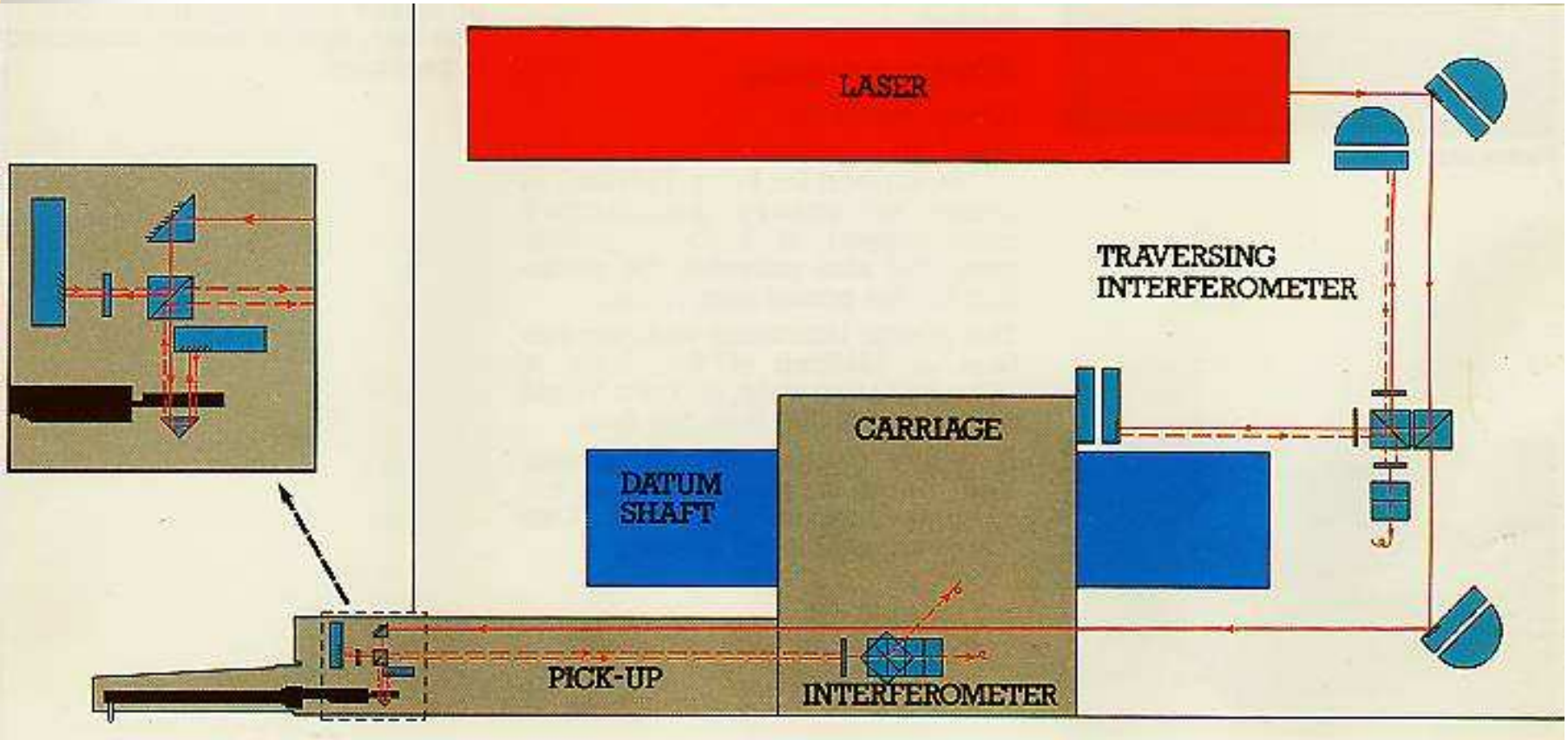
Profilometry z przetwornikiem interferencyjnym

Skolimowana wiązka z lasera He - Ne



Profilometry z przetwornikiem interferencyjnym

Form Talysurf



L

Vv=≤1 000 000

Profilometry z przetwornikiem interferencyjnym

Form Talysurf

Form Talysurf

Przy L= 60 mm :

Rozdzielczość – 0.01 µm.

Zakres – 4 mm.

N = 0,7 – 1 mN

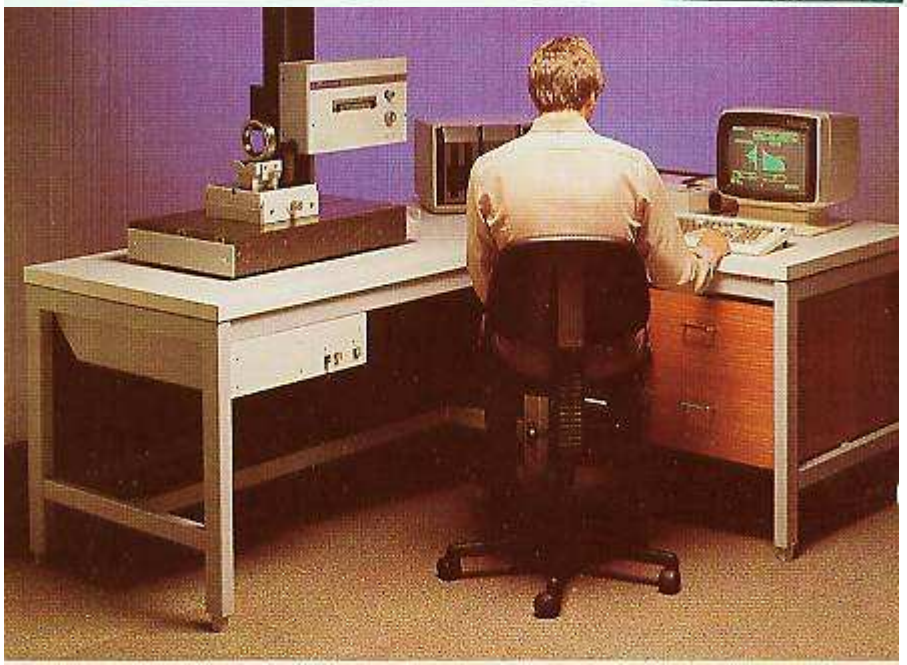
Dokładność <0,004µ

Przy L = 120 mm :

Rozdzielczość – 0.02µm

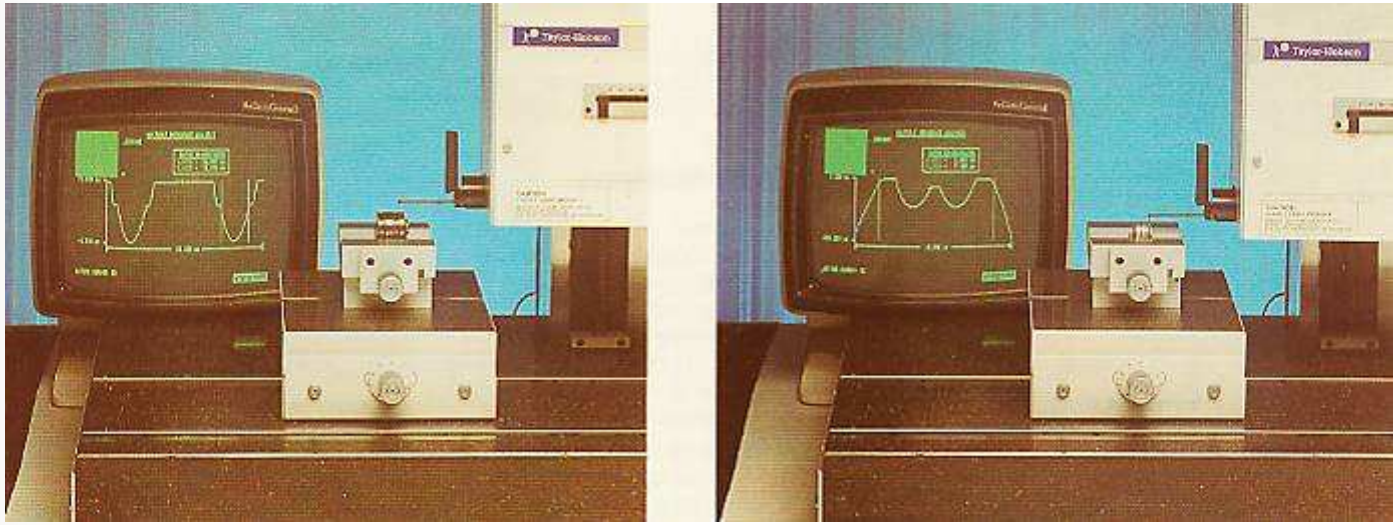
N = 150-200 mN

Dokładność ok. ±(0,1-0,5)µm



Profilometry z przetwornikiem interferencyjnym

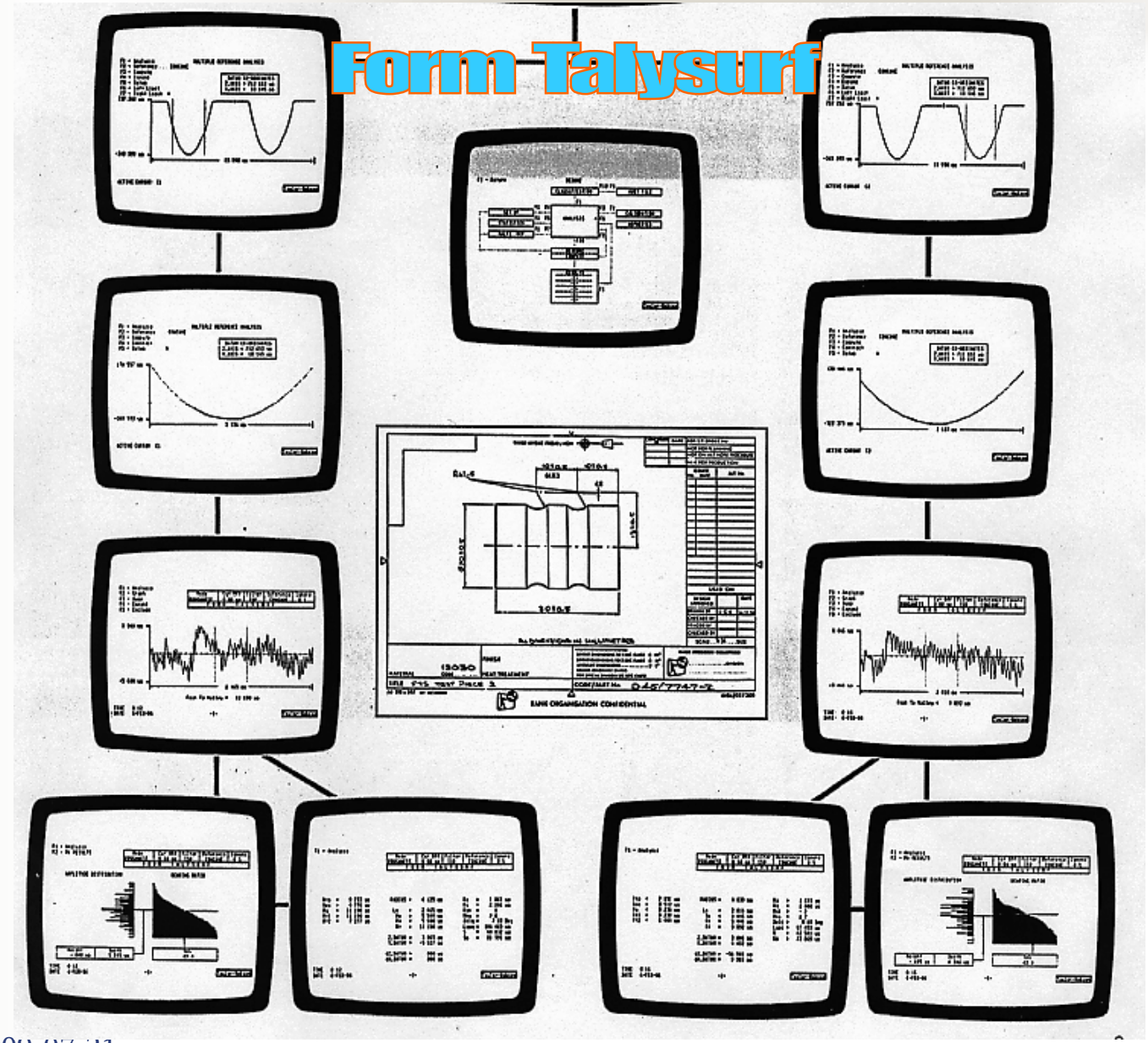
Form Talysurf



1.Pomiary parametrów chropowatości Ra, Rq, Rt, Rp, $Rz_{(ISO)}$ $Rz_{(DIN)}$, S, Sm, tp%.....”igła” r=2µm, nacisk (0,7-1)mN –(0,7-1)G rozdz.0,01µm, zakres 4mm przy L=60mm

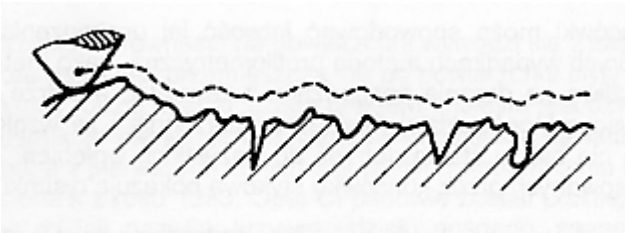
2. Pomiary krzywizn –prostoliniowości
rozdz. 0,02µm, zakres 8mm przy L=120mm,
końcówka pomiarowa r=397µm, nacisk (150-200)mN –(15-20)G

Profilometry z przetwornikiem interferencyjnym



Wady metod stykowych

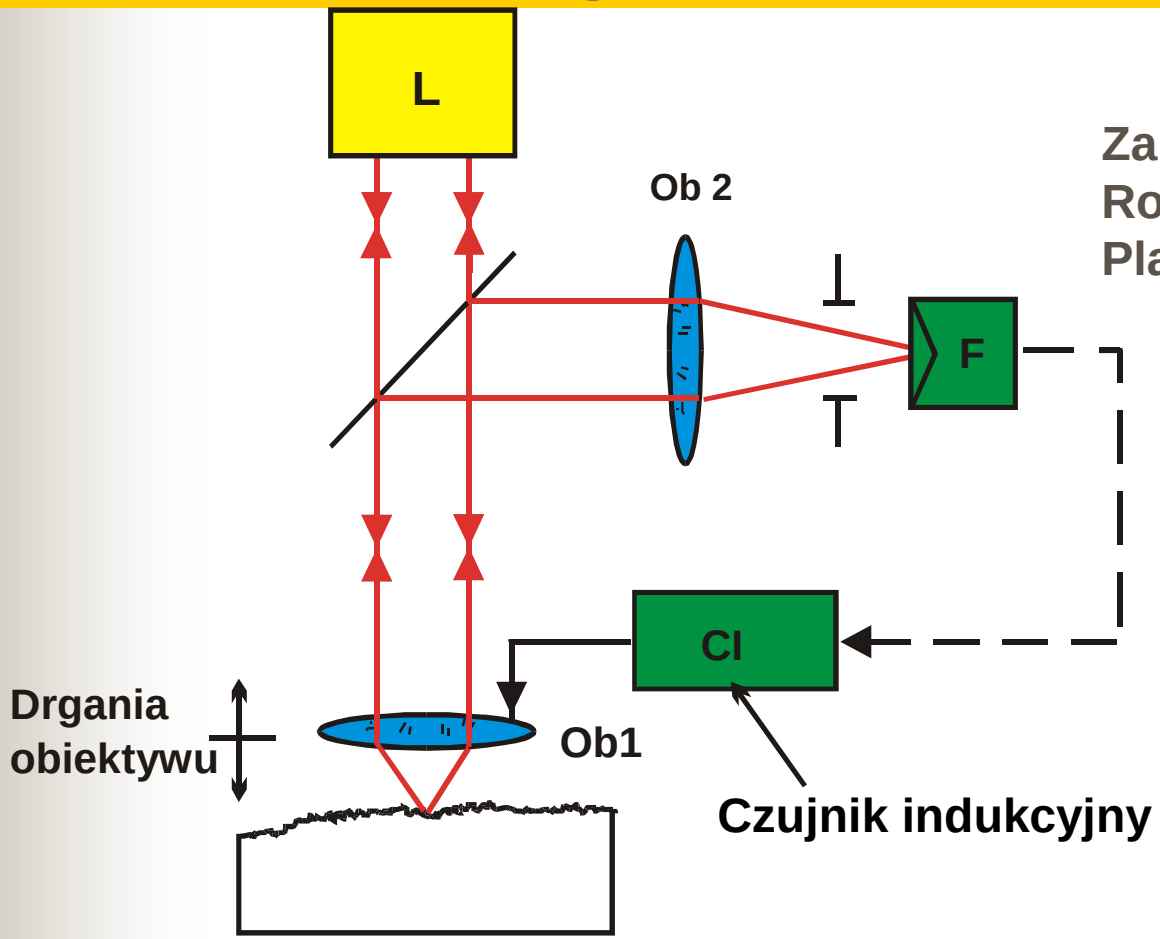
- **Nacisk pomiarowy** końcówki stykowej „igły”– sprężyste i plastyczne odkształcenia
- **Wymiary** końcówki stykowej - niepełne wnikanie w profil



- **Ograniczona dynamika** ze względu na bezwładność
  - ogranicza szybkość pomiaru
- **Zużywanie się końcówki –** błędy pomiaru

Bezstykowe optoelektroniczne metody pomiarowe

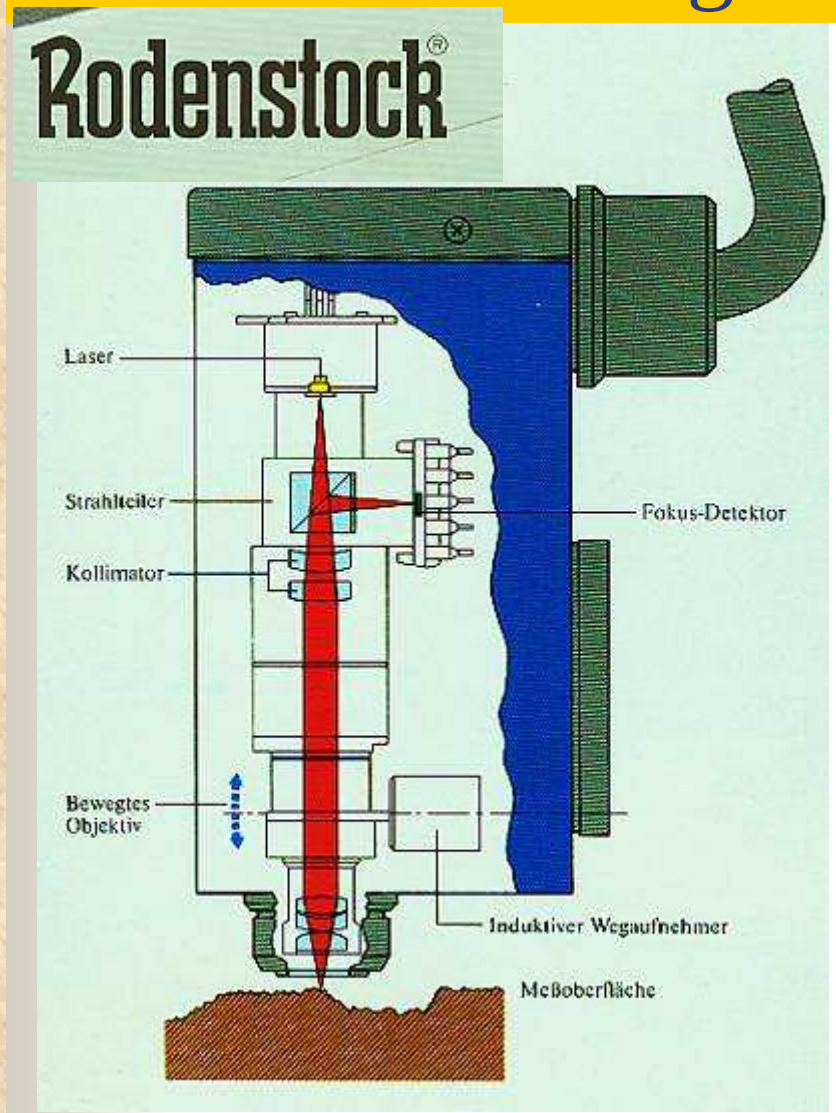
Metoda oparta na zogniskowanej wiązce światła laserowego

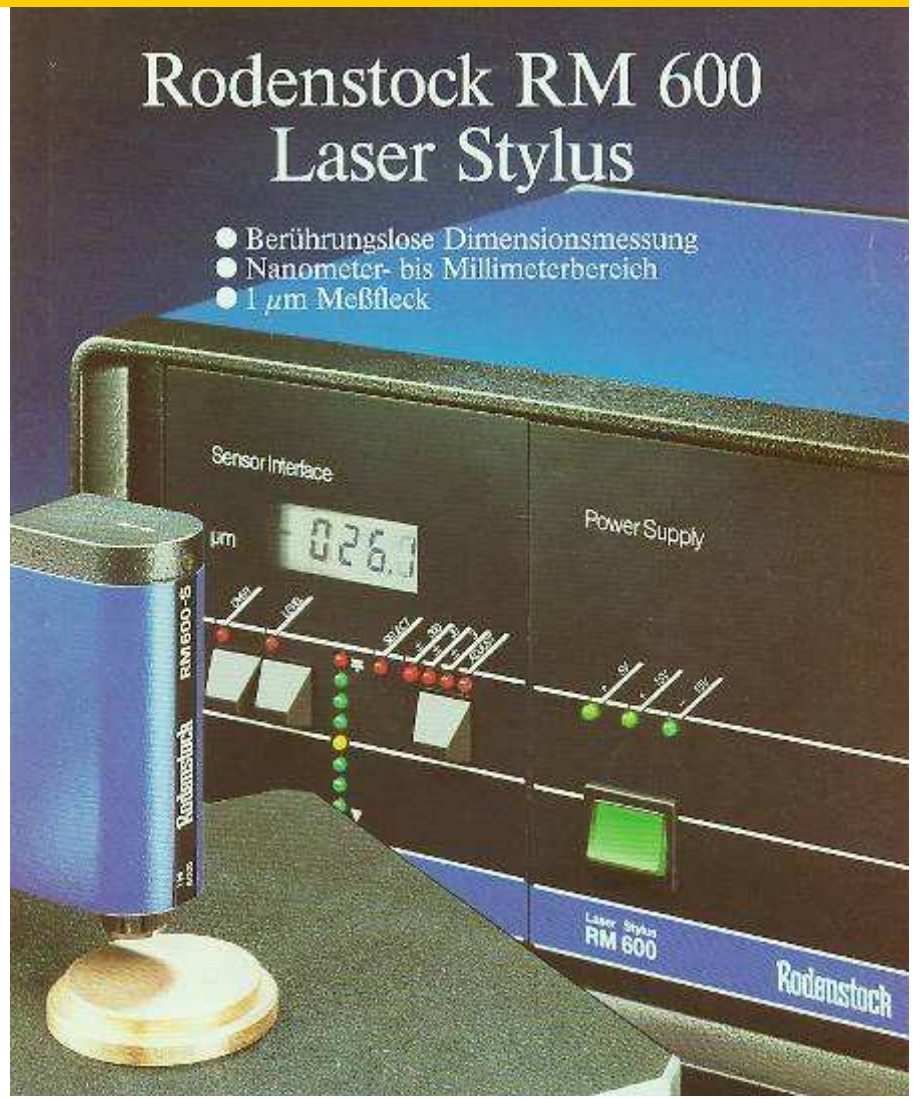


Zakres do 300µm.
Rozdzielczość ok. 0,1 µm.
Plamka ok. 1– 2 µm.

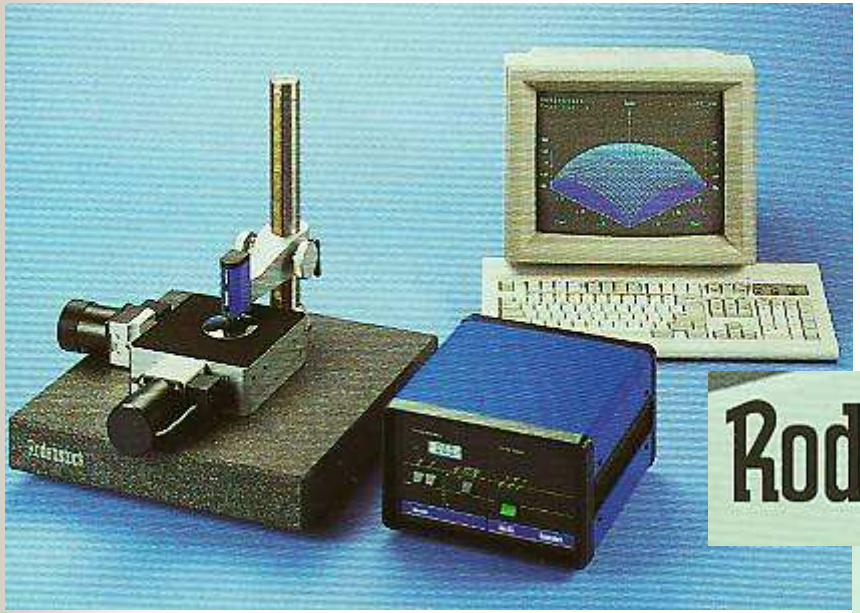
Rodenstock RM600
UBM
Focodyn

Metoda oparta na zogniskowanej wiązce światła laserowego



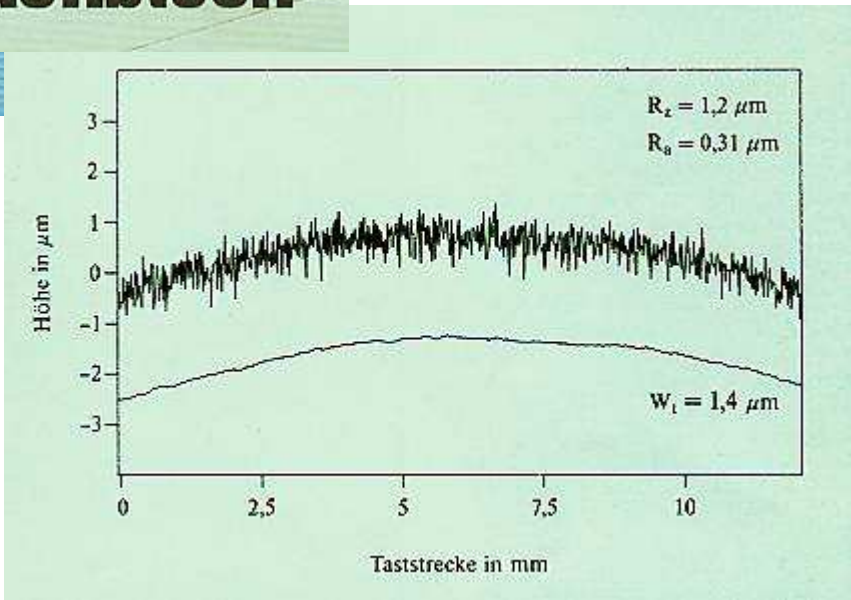


Metoda oparta na zogniskowanej wiązce światła laserowego



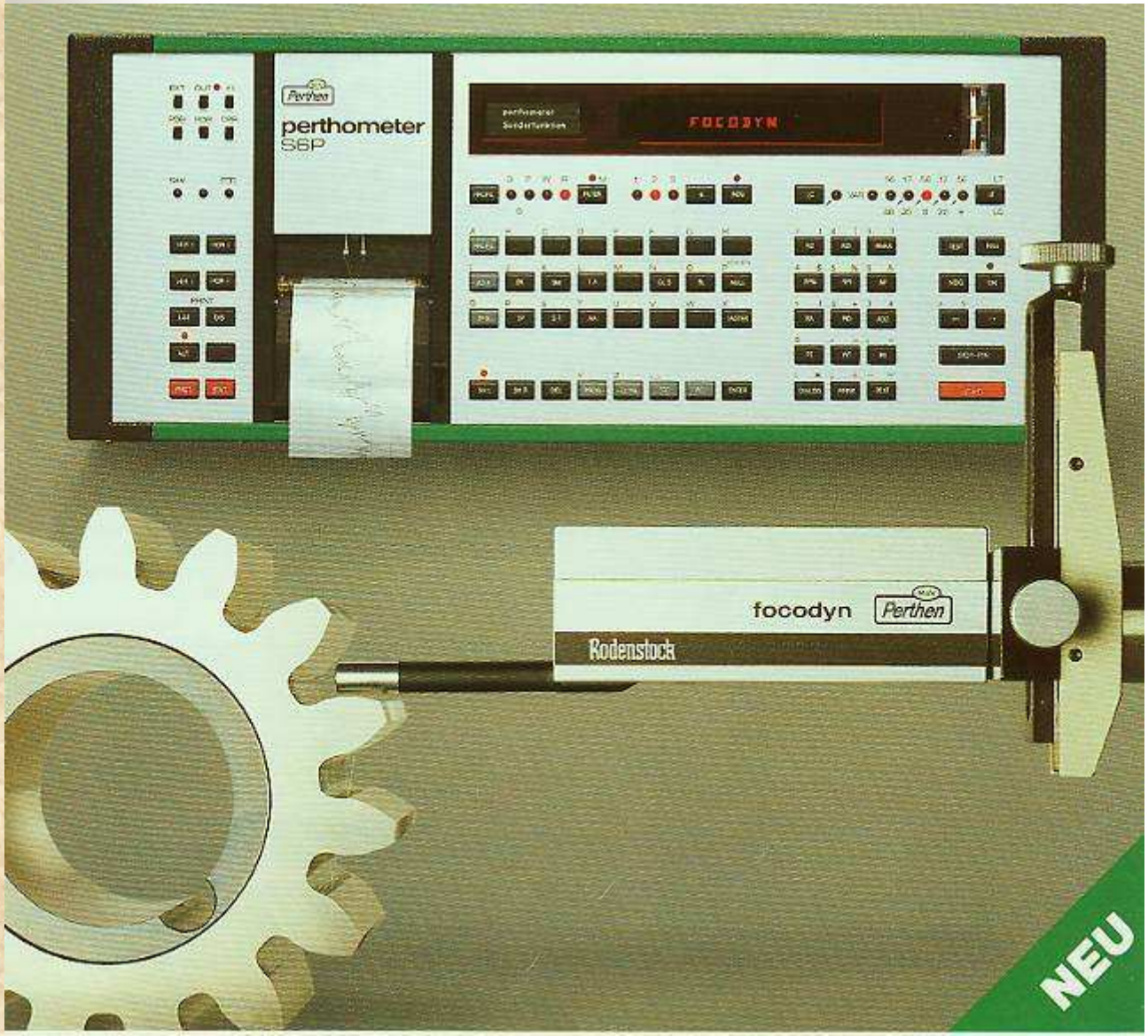
Średnica plamki 1µm lub 2µm
Odległość pomiarowa 1 lub 4mm
Częstotliwość drgań 1kHz

Rodenstock®



Zakresy pomiarowe:
±3µm, ±30µm, ±300µm,
Niepewność pomiarowa:
0,003µm, 0,03µm, 0,3µm

Metoda oparta na zogniskowanej wiązce światła laserowego



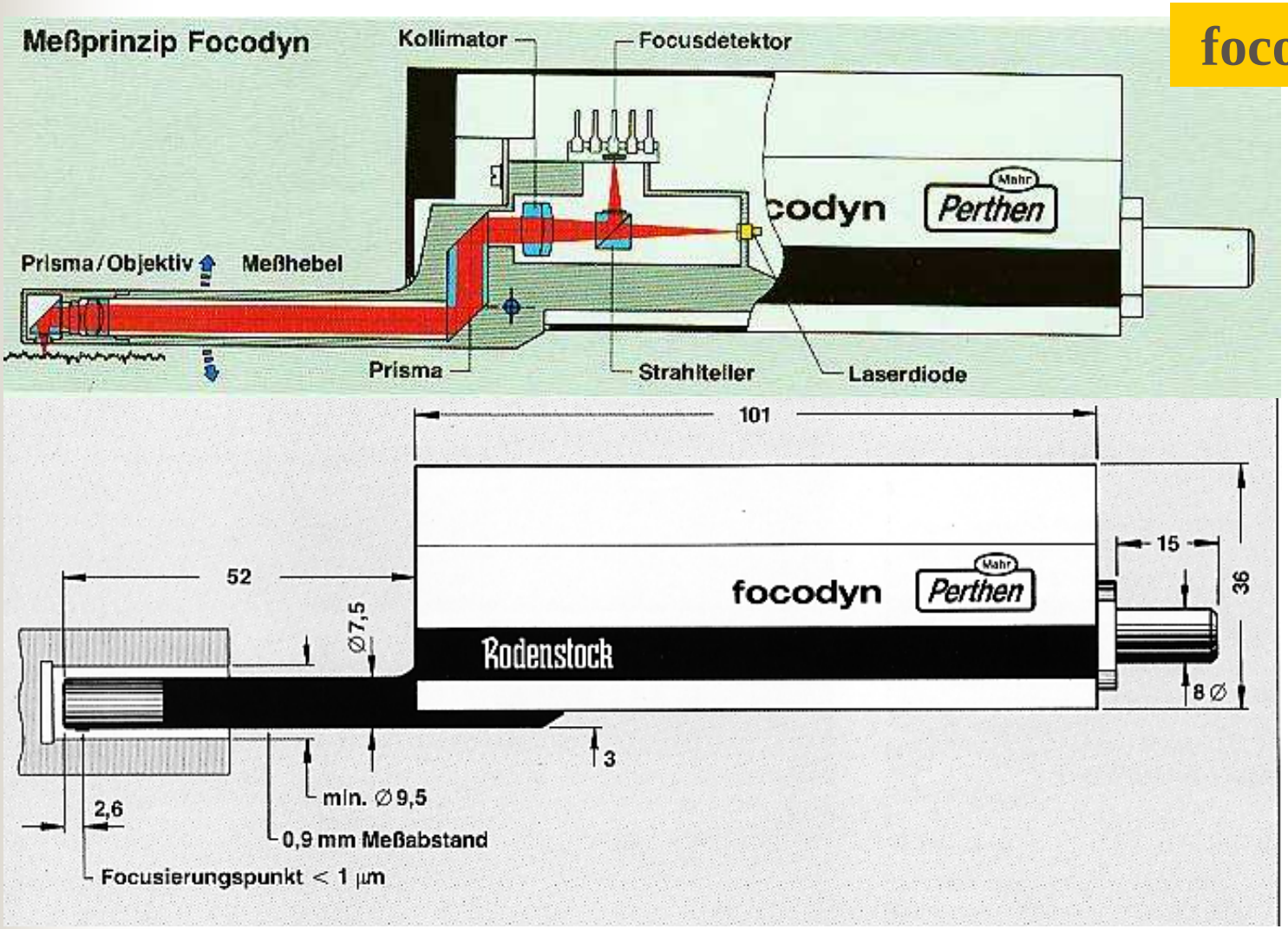
focodyn

Zakres pomiarowy:
±250µm
Plamka 1µm
Laser λ=0,800µm
Ogniskowa 0,9mm

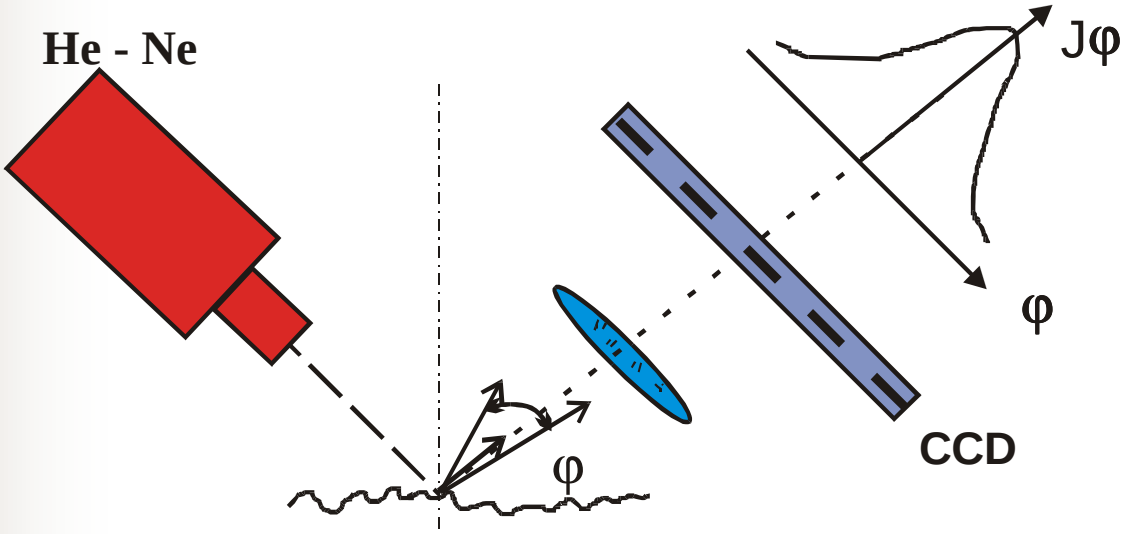
Współpraca z profilometrem Perthometer S6P

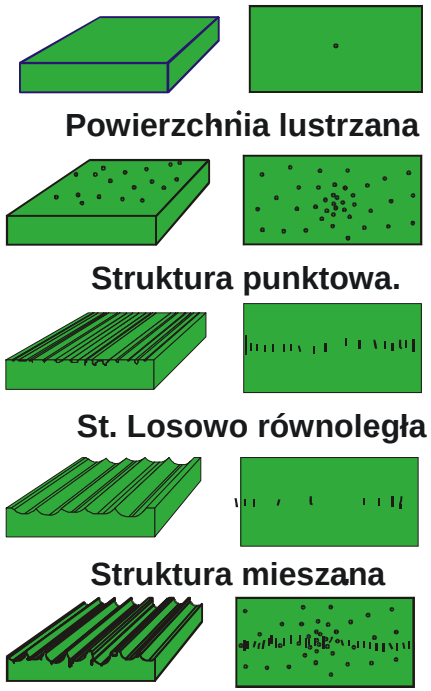
Metoda oparta na zogniskowanej wiązce światła laserowego

focodyn



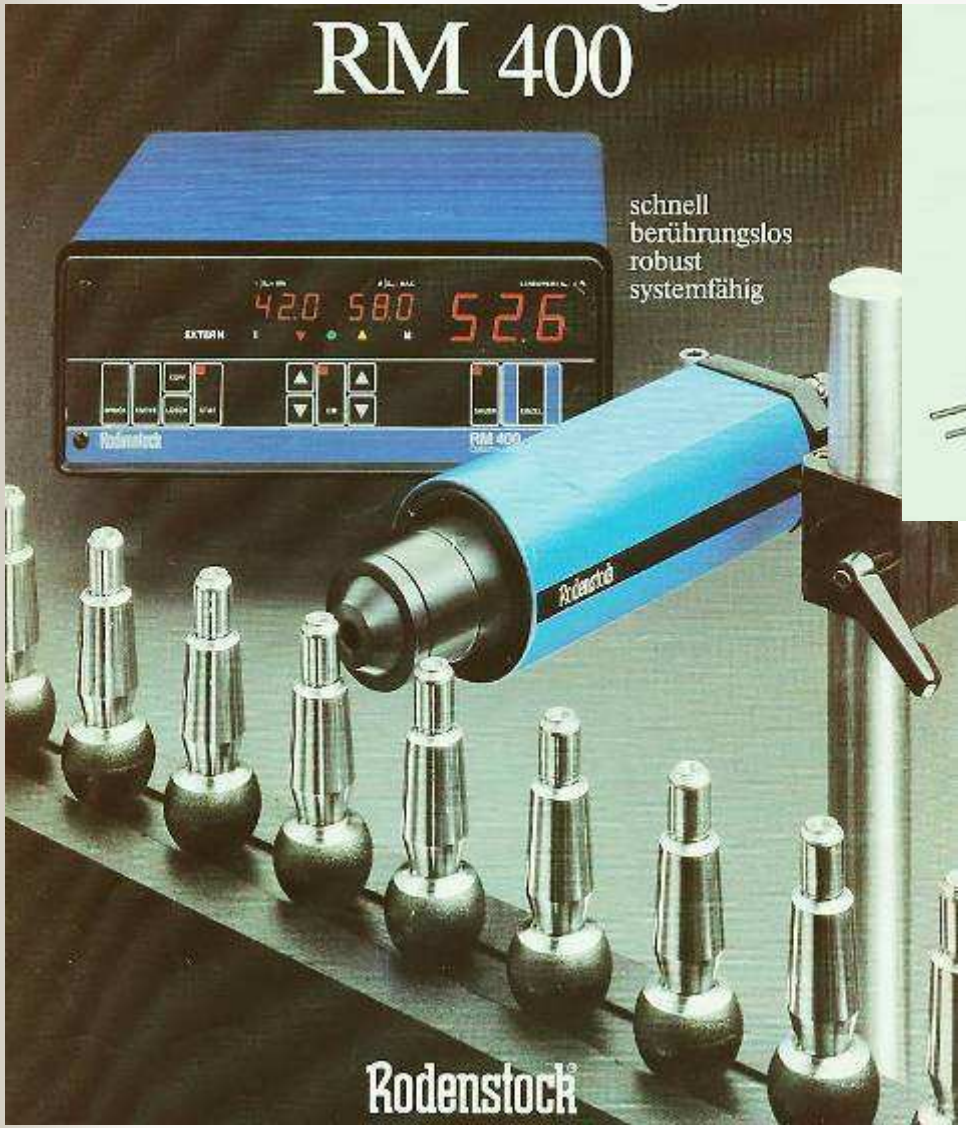
Metoda światła rozproszonego

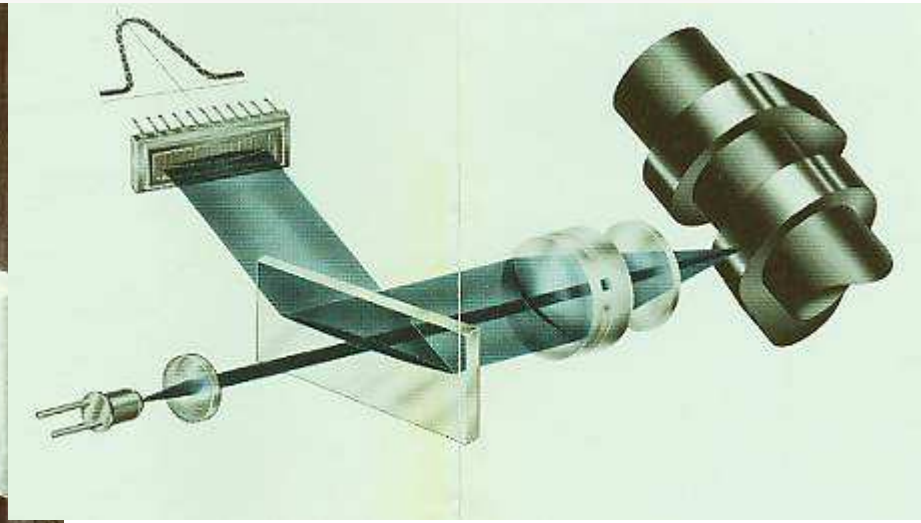




J – intensywność odbitego światłą

Metoda światła rozproszonego



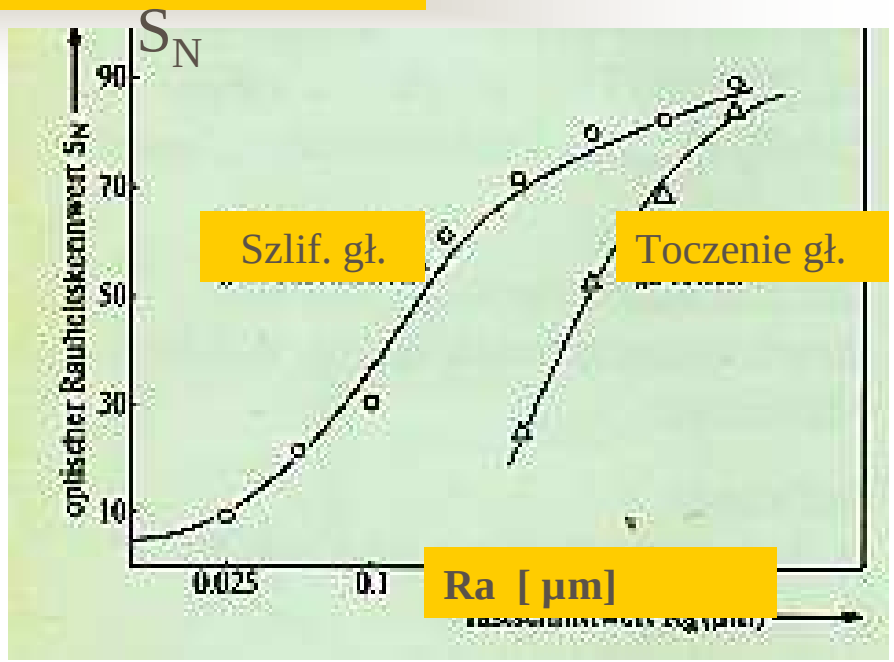


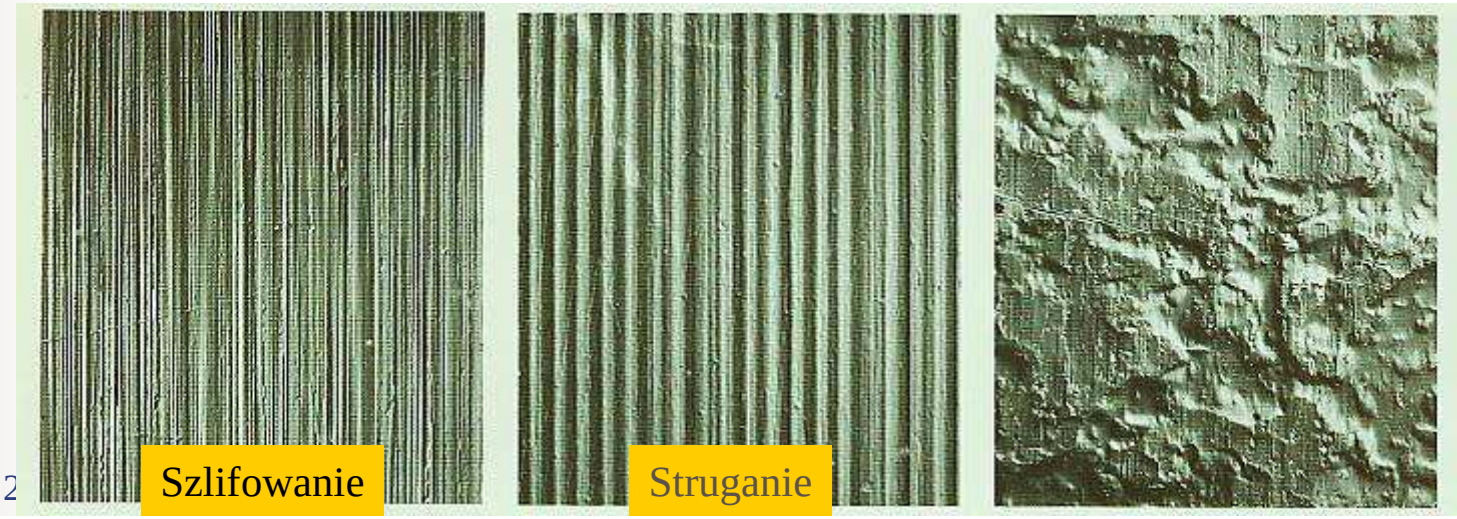
Ra 0,005-2µm
S_N 4,0 - 99,9

S_N – wariancja natężenia światła rozproszonego (szerokość rozkładu intensywności światła w %)

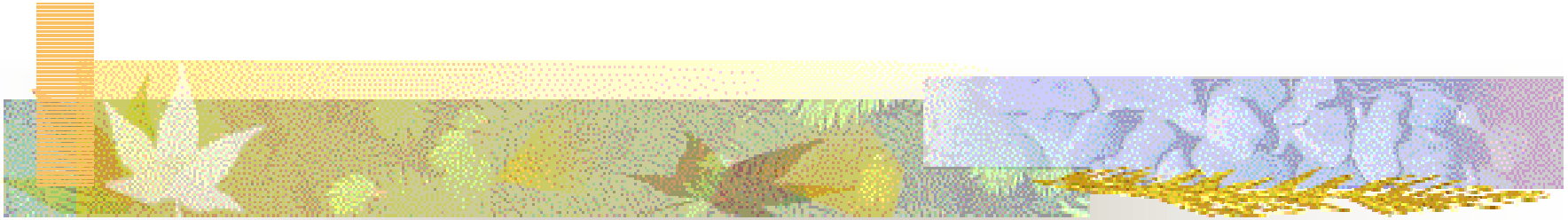
Średnica plamki 1,8mm
λ=0,810µm

Metoda światła rozproszonego





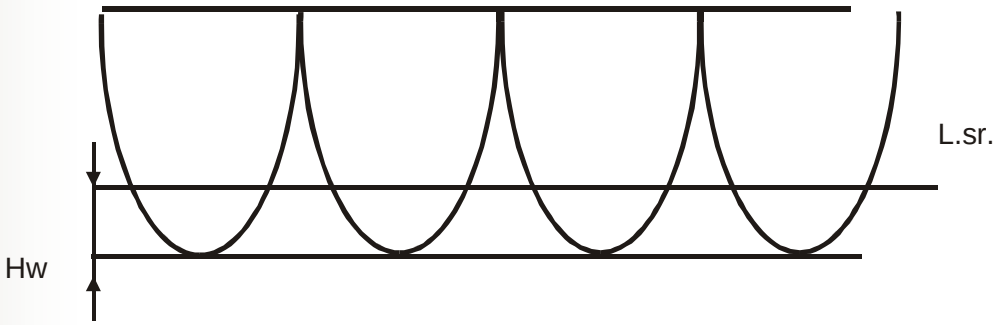
Koniec



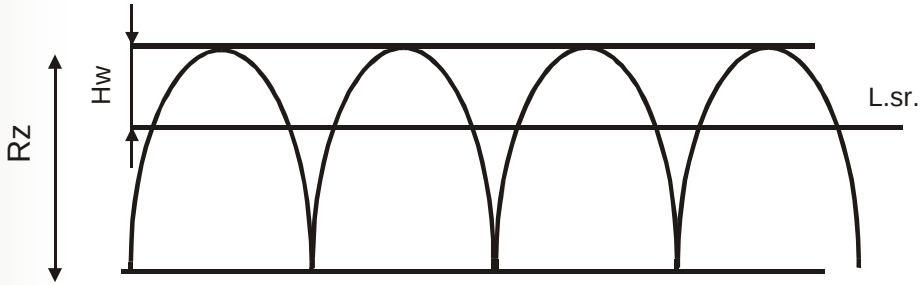
Dziękuję za uwagę

Współczynnik wypełnienia profilu

$$kw = \frac{h_w}{R_z}$$



$K_w = 1/3$



$K_w = 2/3$

Parametry częstotliwościowe

$$\lambda_a = 2\pi \frac{R_a}{\Delta a}$$

-średnia długość fali profilu chropowatości - 2Π krotny stosunek średniego arytmetycznego odchylenia profilu R_a do średniego arytmetycznego pochylenia Δa.

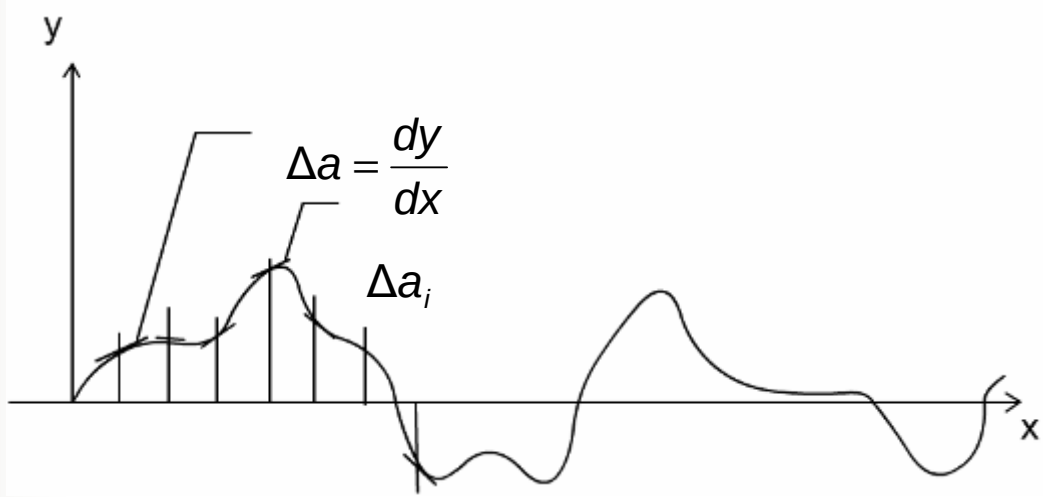
$$\lambda_q = 2\pi \frac{Rq}{\Delta q}$$

-średnia kwadratowa długość fali - 2Π krotny stosunek średniego kwadratowego odchylenia profilu R_q do średniego kwadratowego pochylenia profilu Δq.

Parametry mieszane

$$\Delta a = \frac{1}{l}\int_0^l \left|\frac{dy}{dx}\right| dx = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{\Delta y_i}{\Delta x_i}\right|$$

- średnie arytmetyczne pochylenie profilu chropowatości Δa – średnia arytmetyczna wartość bezwzględniej zmiany współrzędnych profilu chropowatości w przedziale odcinka elementarnego l.



Interpretacja parametru Δa

Parametry mieszane

$$\Delta q = \frac{1}{l}\sqrt{\int_0^l \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 dx} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\Delta y_i}{\Delta x_i}\right)^2}$$

- średnie kwadratowe pochylenie chropowatości Δq – średnia kwadratowa wartość zmiany współrzędnych profilu chropowatości w przedziale odcinka elementarnego l.