Barbara KAMIEŃSKA-KRZOWSKA, Jacek DOMIŃCZUK, Józef KUCZMASZEWSKI
POLITECHNIKA LUBELSKA, WYDZIAŁ MECHANICZNY, KATEDRA PODSTAW INŻYNIERII PRODUKCJI

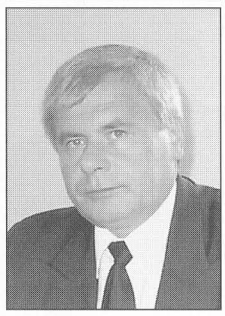
Analiza przydatności technik wizyjnych do pomiaru wielkości geometrycznych

dr Barbara KAMIEŃSKA-KRZOWSKA

st. wykładowca w Katedrze Podstaw Inżynierii Produkcji Wydziału Mechanicznego Politechniki Lubelskiej. Absolwentka Fizyki na Wydziale Mat.Fiz.Chem. UMCS w Lublinie. Doktorat obroniony w 1988 r z zakresu eksploatacji maszyn. Zajmuje się zagadnieniami z podstaw metrologii oraz nadzorowaniem w systemach jakości.

e-mail: b.kamienska@pollub.pl

Dr hab. inż. Józef KUCZMASZEWSKI,
profesor nadzwyczajny Politechniki Lubelskiej



Kieruje Katedrą Podstaw Inżynierii Produkcji, jest członkiem Komisji Fizyki Stosowanej i Techniki Oddziału PAN w Lublinie oraz członkiem rzeczywistym Lubelskiego Towarzystwa Naukowego. Absolwent Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Lublinie (1974). Pracę doktorską obronił w 1981 roku. Stopień naukowy doktora habilitowanego nauk technicznych nadała mu Rada Wydziału Budowy Maszyn Politechniki Poznańskiej w 1996 roku. Autor ponad 80 publikacji, 3 patentów, licznych recenzji oraz niepublikowanych opracowań dla przemysłu.

e-mail: j.kuczmaszewski@pollub.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono analizę błędów występujących przy pomiarze wymiarów geometrycznych z zastosowaniem toru pomiarowego złożonego z mikroskopu stereoskopowego, kamery i komputerowego programu analizy obrazu „MicroScan". Wyznaczenie błędów oparto na pomiarach porównawczych końcowych wzorców długości i kąta. Przeprowadzono analizę źródeł błędów w wykorzystywanym torze pomiarowym. Uzyskane wyniki posłużyły do wyznaczania zależności błędu pomiaru od stopnia powiększenia. Wyniki badań pozwolą na ocenę wiarygodności i przydatności prezentowanego toru pomiarowego w określonych zastosowaniach np. do pomiarów wymiarów geometrycznych części maszyn.

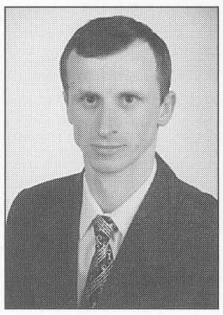
Abstract

In this paper we present an estimation of measuring error with using a computer picture analysis. This meter circuit contains stereoscopic microscope, digital camera and computer system. We used the computer program „MicroScan" in this testing. A determining of this error we supported on the comparative measurement of length and angle measurement standards. The results of our test were the base for determine of these errors. The magnification of microscope in our measurement was changed. We state, as a result of our work, that the computer picture analysis con be used in length and angle measurement.

1. Wprowadzenie

Stosowanie coraz powszechniej metod cyfrowej analizy obrazu [1] pozwala na łatwy i wygodny pomiar wymiarów geometrycznych części maszyn. Znane dotychczas metody optyczne jak: mikroskopy pomiarowe oraz projektory służą do pomiaru wymiarów w układzie współrzędnych prostokątnych lub biegunowych. W urządzeniach tych obserwowany obraz mierzonego elementu w niewielkim powiększeniu jest obserwowany w okularze na tle głowicy goniometrycznej, która umożliwia lokalizację wybranych punktów pomiarowych. Coraz częściej mikroskopy wyposażone są w urządzenia ułatwiające nastawianie optyczne, automatyczne wykrywanie krawędzi przedmiotu, czy też systemy analizy obrazu [2]. Cyfrowe przetworzenie pozwala na przesłanie sygnału o wartości wskazań do komputera. Można wtedy dokonać opracowania wyników pomiarów zależnie od oprogramowania komputera. W projektorach do pomiaru elementów o małych wymiarach i skomplikowanych kształ-

Mgr inż. Jacek DOMIŃCZUK



ukończył studia na kierunku Mechanika i Budowa Maszyn w Wydziale Mechanicznym Politechniki Lubelskiej (1998). Od 1998 roku asystent w Katedrze Podstaw Inżynierii Produkcji Politechniki Lubelskiej. Autor 19 publikacji. Zainteresowania naukowe wiąże głównie z problemami w ocenie wytrzymałości adhezyjnej połączeń klejowych metali.

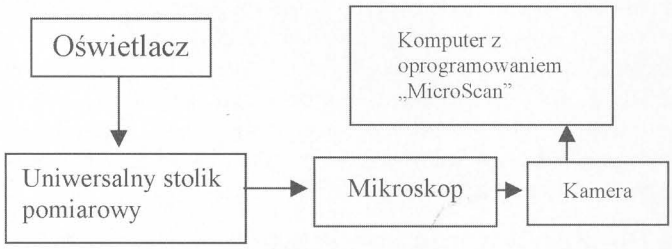
e-mail: j.dominczuk@pollub.pl

tach stosuje się też programowanie uczące podobne do stosowanego we współrzędnościowych maszynach pomiarowych. Zastosowanie techniki wizyjnej, w której powiększony obraz jest poddany analizie cyfrowej w komputerze stwarza również możliwość zapisywania i archiwizowania danych pomiarowych co ma bardzo duże znaczenie w systemach jakości i nadzorowania pomiarów.

O przydatności toru pomiarowego możemy mówić wtedy, gdy znamy jego właściwości metrologiczne, takie jak zakres pomiarowy, zakres wskazań i dokładność pomiarową [3].

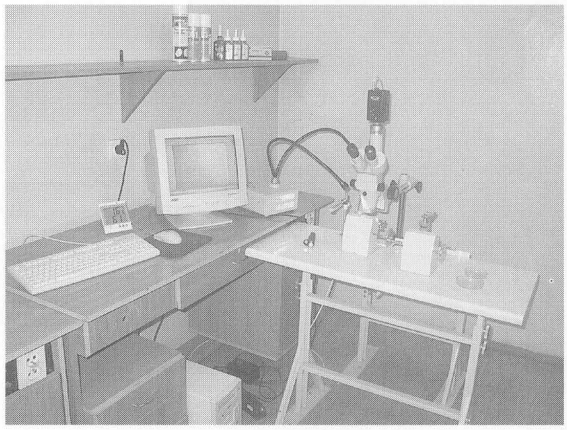
2. Tor pomiarowy

Badaniom poddano tor pomiarowy składający się z mikroskopu stereoskopowego SMZ -2T, kamery Panasonic CCD i programu „MicroScan" do komputerowej analizy obrazu. Schemat toru pomiarowego przedstawiono na rysunku 1. W torze tym wykorzystano komputer PC z systemem operacyjnym Windows 98 wyposażony w kartę graficzną SVGA oraz kartę multimedialną digitalizującą obraz.



Rys.1. Schemat toru pomiarowego

Do ustawienia wszystkich elementów toru pomiarowego oraz mierzonych elementów na stoliku pomiarowym zbudowano specjalnie stanowisko* [4] przedstawione na rysunku 2.



Rys.2. Widok ogólny stanowiska

* *Budowa stanowiska została dofinansowana przez KBN w ramach projektu 7T08E03415*

W mikroskopie powstaje powiększony obraz, który następnie dzięki kamerze jest przesyłany do komputera, gdzie następuje jego obróbka cyfrowa. Obraz może być analizowany „na żywo" lub po „zamrożeniu" (stop klatka).

Podstawowym manipulatorem wykorzystywanym w pomiarach jest mysz, używana w sposób standardowy dla środowiska Windows. Zamrożony obraz może być przesyłany jako kolorowy lub w odcieniach szarości. Komunikowanie się z programem MicroScan (funkcje i polecenia) odbywa się poprzez rozwijanie okien menu. Istnieje również możliwość ustalenia sposobu zapisu plików na dysku. [5]

3. Program badań

W celu wyznaczenia błędów pomiaru przedstawionego toru dokonano pomiarów porównawczych kreskowych i końcowych wzorców długości i kąta przy różnych powiększeniach. Wartości powiększeń wynosiły 92x, 80x, 68x, 56x, 44x, 32x oraz 20x dla pomiarów długości i 10x, 20x, 30x przy pomiarach kątów. Zakres stosowanych powiększeń ograniczały wymiary płytek wzorcowych.

Program pomiarów obejmował:

- Skalowanie układu przy pomocy kreskowego wzorca długości przy największym ze stosowanych powiększeń 92x,
- Pomiary wzorca kreskowego przy różnych powiększeniach,
- Pomiary płytek wzorcowych o wymiarach od 0,9 mm do 0,99 mm stopniowanych co 0,01 mm,
- Pomiary kątów płytek Johansona przy powiększeniach 10x, 20x, 30x.

4. Skalowanie układu

Skalowanie systemu „MicroScan" na karcie SVGA dokonano poprzez odczyt długości odcinka przyłożonego do obrazu kreskowego wzorca długości o długości całkowitej 1 mm powiększonego 92x. Pomiar odbywał się poprzez wskazanie punktu początkowego odcinka na monitorze komputera a następnie ciągnięcie do zadanej długości (położenie końcowe). Po zwolnieniu klawisza myszki dokonywany jest pomiar. Jego wynik znajduje się na końcu linii informacyjnej, pod oknem obrazu głównego. Wszystkie wyniki można zapisać do pliku tekstowego. W analizowanym przypadku długości wzorca przy powiększeniu 92x przyporządkowano wartość 9,2 mm, gdyż założono tylko jednokrotne skalowanie przy największym ze stosowanych powiększeń.

5. Pomiary wzorca kreskowego

W czasie pomiarów po wyskalowaniu układu zwiększano stopniowo powiększenie i dziesięciokrotnie powtarzano pomiar tego samego wzorca kreskowego przy każdym z powiększeń. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Wyniki pomiarów wzorca kreskowego

Powiększenie	92x	80x	68x	56x	44x	32x	20x
Odczyt śr.	9,224	8,084	6,795	5,520	4,313	3,131	1,992
S_r	0,008	0,005	0,008	0,007	0,004	0,008	0,007
$\bar{x}$	1,0026	1,0011	0,9993	0,9857	0,9802	0,9784	0,9745
Błąd $\Delta=x_i-x_p$	+0,0026	+0,0011	-0,0007	-0,0143	-0,0198	-0,0246	-0,0255

Gdzie: Odczyt śr. - jest wartością średnią z 10 powtórzeń pomiarów,

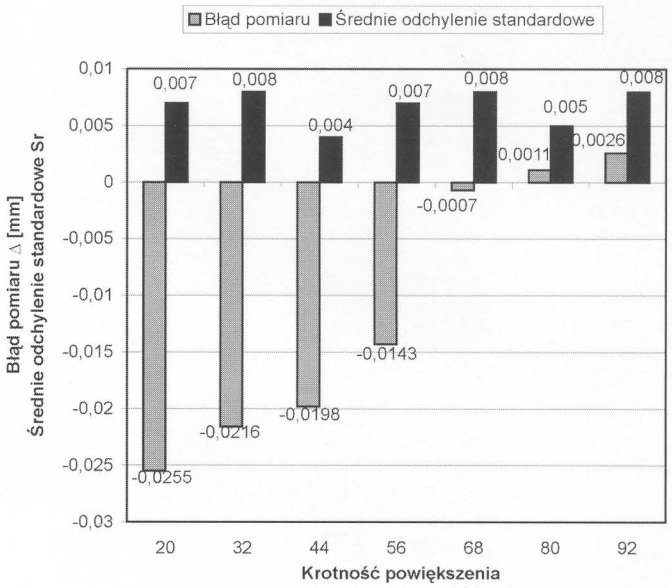
S_r - jest średnim odchyleniem standardowym dla wartości średniej (odpowiada niepewności standardowej u),

$\bar{x}$ - wartość średnia mierzonej długości po uwzględnieniu powiększenia,

x_p - wartość nominalna długości wzorca, wartość poprawna,

x_i - wynik i-tego pomiaru.

Na wykresie (rys.3) przedstawiono zależność błędu pomiaru od powiększenia wyznaczonego jako różnicę Δ między otrzymanym wynikiem pomiaru (czyli średnią kolejnych odczytów) a wartością nominalną długości mierzonego wzorca równą 1 mm, oraz wartość niepewności średniej wyrażonej średnim odchyleniem standardowym S_r.

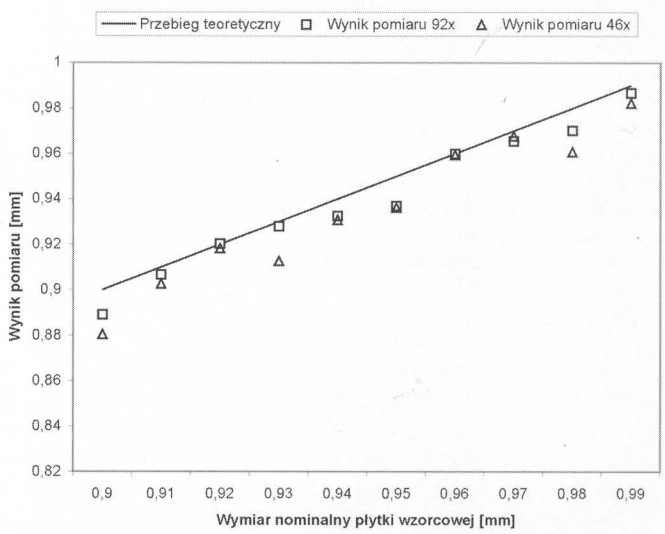


Rys.3. Błąd pomiaru i niepewności pomiaru w funkcji krotności powiększenia

Analiza wykresu pozwala zaobserwować wyraźną zależność błędu pomiaru od stopnia powiększenia.

6. Pomiary wzorców końcowych długości

W eksperymencie wykorzystano 10 płytek wzorcowych z kompletu uzupełniającego o wymiarach nominalnych od 0,9 mm do 0,99 mm. Dokonano ich pomiaru przy dwóch wartościach powiększenia 92x i 46x. Otrzymane wyniki przedstawiono na wykresie (rys.4).



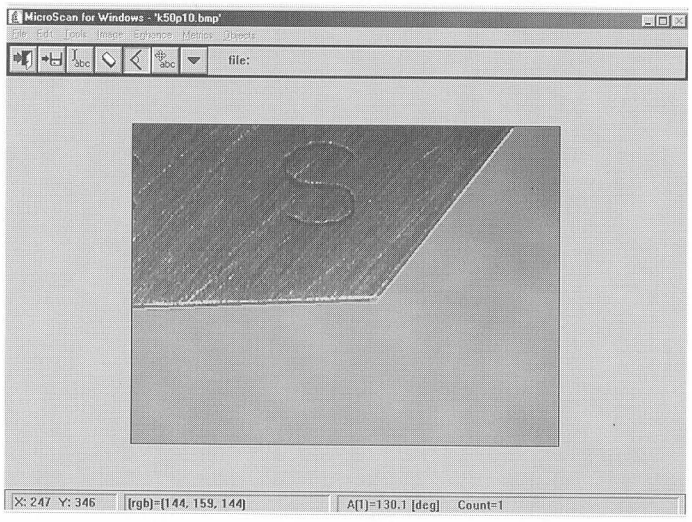
Rys.4. Zależność wyników pomiarów od wartości nominalnych długości płytek wzorcowych

Linia ciągła na wykresie przedstawia zależność teoretyczną, tzn. równość wymiaru nominalnego mierzonego wzorca i wyniku pomiaru. Punktami oznaczono wartości otrzymane w wyniku pomiaru. Różnica pomiędzy wysokością położenia punktu a odpowiadającą wartością oczekiwaną stanowi błąd pomiaru. Niepewność wyniku pomiaru wyrażona przez S_r waha się w granicach 0.007,0.012mm.

7. Pomiary kątów

Do pomiaru użyto płytek kątowych Johansona o wartościach nominalnych kąta 50° i 10°. Pomiaru dokonano przy trzech wartościach powiększenia 30x, 20x i 10x, z uwagi na ograniczenie wynikające z warunku odpowiedniej długości ramion kąta.

Pomiar kąta odbywał się podobnie jak pomiar długości. Program pozwala poprzez zaznaczenie ramion kąta na pomiar jego wielkości oraz graficzne opisanie pomiaru. Aby dokonać pomiaru należy wskazać na monitorze komputera przy użyciu myszki odpowiednie ramiona kąta. Po wskazaniu drugiego ramienia dokonywany jest pomiar którego wynik umieszczany jest na końcu linii informacyjnej pod obszarem obrazu głównego (rys.5).

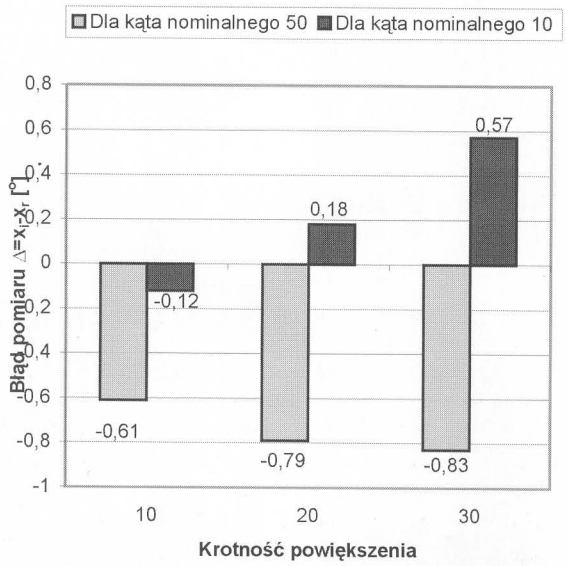


Rys.5. Widok okna analizy geometrycznej

Wyniki pomiaru kątów (średnie z dziesięciu pomiarów) przedstawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Wyniki pomiarów kątów

powiększenie / wymiar nominalny kąta	10x	20x	30x
50°	49,39°	49,21°	49,17°
	S_r=0,10	S_r=0,09	S_r=0,11
10°	9,81°	10,18°	10,57°
	S_r=0,18	S_r=0,20	S_r=0,18



Rys. 6. Błędy pomiarów wartości kątów przy różnych powiększeniach

Na rysunku 6 przedstawiono wartości błędów pomiarów jako różnicę wartości średniej wyników pomiarów i wartości nominalnej mierzonego wzorca kąta.

Można zauważyć, że błędy pomiarów kąta przyjmują wartości zarówno dodatnie jak i ujemne i kilkakrotnie przekraczają niepewność wyników pomiarów.

8. Analiza źródeł błędów

Przedstawiony tor pomiarowy składa się z czterech głównych elementów i każdy z nich jest źródłem błędów. Wynikają one z niedoskonałości aparatury jak również techniki pomiaru.

Przy stosowaniu optycznej techniki pomiarów dokładność wyników w dużym stopniu zależy od ostrości i powiększenia obrazów przedmiotów mierzonych [6]. Na ostrość wpływa oświetlenie przedmiotu, jak i jego kształt oraz właściwości samego układu optycznego tworzącego obraz, takie jak: wady szkieł optycznych, refleks, zdolność rozdzielcza układu optycznego, zdolność akomodacji układów optycznych.

W przetwarzaniu obrazu przez kamerę a następnie jego rozpoznaniu i analizie wykorzystane są metody dyskretnego przedstawienia i opisu parametrów obiektu [7, 8]. Przy wyznaczaniu cech geometrycznych obiektu np. długości i kąta, wykorzystywana jest reprezentacja dyskretna w postaci skończonej liczby elementów oraz algorytmy, które są źródłem błędów dyskretyzacji [8]. Błędy ustawienia optycznego, występujące w metodach optycznych, zastąpiły błędy występujące w czasie manipulowania myszką i ustawienia kursora na początku i końcu mierzonego odcinka. Wszystkie te błędy są w praktyce nieznane i mogą być ze sobą skorelowane. Nie są więc podane przez producenta aparatury stosowanej w przedstawionym torze pomiarowym. Można je więc potraktować jako przypadkowe i wyznaczyć przez niepewność pomiaru typu A [9], szacowaną przy pomocy metod statystycznych, przyjmując:

$$u = S_r = \frac{S}{\sqrt{n}} \qquad \text{dla n} \geq 10 \tag{1}$$

gdzie: u - niepewność standardowa, s - odchylenie standardowe, n - liczba powtórzeń pomiaru.

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_i \left(x_i - \bar{x}\right)^2} \tag{2}$$

W takim przypadku oszacowanie niepewności typu A zawiera również niedokładność wynikającą z błędów aparatury pomiarowej (dokładność metody pomiarowej). Te błędy można oddzielić od niepewności pomiaru [3] tylko poprzez pomiar wzorca długości przyjmując, że jego wartość jest wartością poprawną:

$$\Delta_{ap} = \bar{x} - x_p \tag{3}$$

Błędy te i ich zależności od stosowanego powiększenia przedstawiono na rysunku 4 i 6. Natomiast niepewność typu A podano w tabelach jako odchylenie standardowe wartości średniej S_r.

9. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów oraz ich analizy można stwierdzić, że:

- dokładność (błąd odwzorowania) wizyjnej metody pomiarowej przy pomiarze długości wzorca kreskowego zastosowanym torem pomiarowym ma wartość od ok. 0,003 mm do ok. -0,026 mm dla zastosowanych powiększeń i jej wartość bezwzględna rośnie wraz ze zmniejszeniem stopnia powiększenia;
- dokładność metody pomiarowej przy pomiarze wzorców końcowych mieści się w zakresie od 0 do 0,0109 przy powiększeniach 46x i 92x, odpowiada to błędowi względnemu do 2%,
- niepewność pomiaru oszacowana metodami statystycznymi (typu A) nazywana też [3] powtarzalnością lub precyzją wyników pomiarów jest niezależna od powiększenia i zawiera się w granicach ±0,004 mm do ±0,008 mm,

- dokładność pomiaru kąta jest niewielka gdyż waha się w granicach od ok. 0,5° do 1°. Tymczasem niepewność typu A reprezentowana przez niepewność standardową u zawiera się w granicach od 0,09° do 0,2°.

Na podstawie przeprowadzonych analiz można sformułować wnioski ogólne:

- dokładność zastosowanej metody wizyjnej jest kilkakrotnie mniejsza niż niepewność wyników pomiarów,
- metoda wizyjna i przedstawiony tor pomiarowy nadaje się do pomiaru małych (do 10 mm) wymiarów liniowych a mniej do pomiarów kątów ze względu na dużą niedokładność pomiarową,
- stwierdzony błąd metody testowanego toru pomiarowego jest ujemny zarówno przy pomiarach wzorca kreskowego jak i wzorców końcowych, co przy wymaganej większej dokładności pomiarów będzie powodowało konieczność każdorazowego cechowania układu przed pomiarem celem wyznaczenia ewentualnych poprawek,
- stwierdzono przydatność metody wizyjnej i prezentowanego toru pomiarowego do pomiarów wymiarów liniowych elementów maszyn zwłaszcza w mikrotechnologii.

10. Literatura

[1] A. MATERKA (red.): Elementy cyfrowego przetwarzania i analizy obrazów. PWN, Warszawa 1991.

[2] W. JAKUBIEC, J. MALINOWSKI: Metrologia wielkości geometrycznych. WNT, Warszawa 1999.

[3] P. PAJZDERSKI, T. IGLANTOWICZ: Dokładność metody pomiarowej a niepewność pomiaru - próba analizy. PAK 5, 2000.

[4] J. DOMIŃCZUK: Stanowisko laboratoryjne do badania właściwości adhezyjnych warstwy wierzchniej. II Seminarium Naukowe - Rynkowe zorientowanie inżyniera produkcji, str. 19-25, Gdańsk 1998.

[5] System cyfrowej analizy obrazu „MicroScan" v.1,3. Instrukcja obsługi Centrum Mikroskopii, Warszawa 1998.

[6] A. TOMASZEWSKI: Podstawy nowoczesnej metrologii. WNT, Warszawa 1978.

[7] W. OWIECZKO: Ocena wiarygodności przetwarzania danych w cyfrowym systemie analizy obrazu. II Szkoła - Konferencje MWK'95, Tom 2, str. 53-57, Zegrze k. Warszawy 1995.

[8] W. OWIECZKO: Analiza metod pomiaru pola powierzchni. Materiały KKM /98, Tom 4, Politechnika Gdańska 1998.

[9] D. TURZEWIECKA: Podstawowe zagadnienia niepewności. PAK 9, 1998.

Title: Analysis of visual techniques usefulness to the measurement of geometrical sizes

Artykuł recenzowany

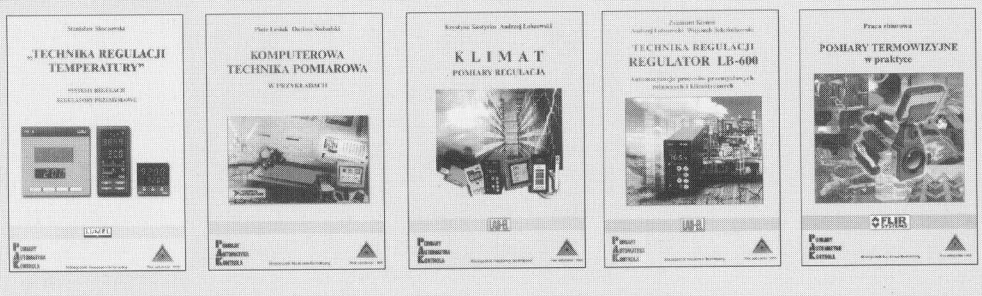
50 PAK 1955 2005 lat

AGENDA WYDAWNICZA PAKu WYDAWCA:

➢ **Miesięcznika naukowo-technicznego o zasięgu ogólnopolskim. Czasopismo od 50 lat zajmuje się popularyzacją zagadnień z dziedziny: automatyki i pomiarów.**

Zamieszczamy:
- ✓ artykuły techniczno-informacyjne
- ✓ ogłoszenia barwne (okładki i wewnątrz zeszytu),
- ✓ ogłoszenia czarno-białe (wewnątrz zeszytu),
- ✓ stałe wkładki firmowe

➢ **Książek popularno-naukowych z dziedziny automatyki i pomiarów. W ostatnim okresie wydano pięć pozycji książkowych:**



W 2005 roku planowane wydanie szóstej pozycji książkowej poświęconej technice pomiarów mikroklimatu.