

Edward MIKO, Michał SKRZYNIARZ

POLITECHNIKA ŚWIĘTOKRZYSKA, KATEDRA TECHNOLOGII MECHANICZNEJ I METROLOGII
Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce

Analiza dokładności pozycjonowania w osiach liniowych centrum frezarskiego Hermle B300

Dr hab. inż. Edward MIKO

Profesor nadzwyczajny w Katedrze Technologii Mechanicznej i Metrologii na Wydziale Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej. Jego główne zainteresowania naukowe obejmują konstytuowanie i metrologię warstwy wierzchniej oraz sterowanie procesami technologicznymi ze szczególnym uwzględnieniem obrabiarek CNC.



e-mail: emiko@tu.kielce.pl

Mgr inż. Michał SKRZYNIARZ

Ukończył wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej. Obecnie student pierwszego roku studiów doktoranckich w Katedrze Technologii Mechanicznej i Metrologii. Jego główne zainteresowania obejmują zagadnienie związane z obrabiarkami CNC oraz systemami CAD/CAM.



e-mail: skrzyniarmichal@gmail.com

Streszczenie

Celem badań było określenie dokładności pozycjonowania w osiach liniowych centrum frezarskiego Hermle B300. Do badań zastosowano interferometr laserowy XL-80. Otrzymane wyniki porównano z wymaganiami dotyczącymi centrów obróbkowych przedstawionych w normie PN-ISO 10791-4, a także dokładnością zadeklarowaną przez producenta maszyny. Analiza uzyskanych wyników wykazała, że dokładność pozycjonowania w osi Z nie spełnia wszystkich wymagań określonych w normie.

Słowa kluczowe: dokładność, pozycjonowanie, centrum frezarskie.

The analysis of positioning accuracy along linear axes of the Hermle B300 milling center

Abstract

The aim of the study was to evaluate the accuracy and repeatability of positioning along the linear axes of the Hermle B300 milling center. The tests were carried out with the use of an XL-80 laser interferometer. The first section of the paper shows how important it is to determine the positioning accuracy. There are also discussed the current international standards used to define methods of measurement and the relevant measuring equipment and its principle of operation. The next section describes the measuring methods applied in the analysis and the main assumptions concerning the measurement procedures. In the third section of the paper the results are analyzed. The results are presented graphically and in the form of a table. They are compared with the requirements for the normal accuracy machining centers defined in the PN-ISO 10791-4 standard. The results of the positioning accuracy are compared with the values declared by the manufacturer. The analysis of the results show that the accuracy of positioning for the Z-axis did not fulfill all the requirements defined in this norm.

Keywords: accuracy, positioning, milling center.

1. Wprowadzenie

Dynamiczny rozwój technologii sprawia, że wymagania odnośnie dokładności geometrycznej przedmiotów obrabianych stale wzrastają. Stopień tej dokładności jest bezpośrednio związany z maszyną na jakiej ten przedmiot został wykonany [1, 2, 3]. Przepisy związane z wyznaczeniem dokładności i powtarzalności pozycjonowania w osiach sterownych numerycznie wyznacza Polska Norma PN-ISO 230-2 [4]. Ponadto przepisy dotyczące przeprowadzenia badań centrów obróbkowych, a także odpowiednie tolerancje określone dla przebytej trasy pomiarowej zostały przedstawione w Polskiej Normie PN-ISO 10791-4 [5]. Przeprowadzone badania zgodnie z wyżej wymienionymi normami, mogą być podstawą, do stworzenia wewnętrznego rankingu dokładności obrabiarek dostępnych w przedsiębiorstwie [2].

Do pomiaru dokładności i powtarzalności pozycjonowania w osiach sterownych numerycznie wykorzystano interferometr

laserowy XL-80. Zasada pomiaru oparta jest na zliczaniu długości fal światła laserowego padającego na detektor optyczny. Przy pomiarze liniowym jeden z elementów (reflektor lub rozdzielacz) może się przesuwac, natomiast drugi jest elementem referencyjnym. System rozpoznaje względne przemieszczenie pomiędzy reflektorem a rozdzielaczem wiązki [6]. Dzięki dołączonym czujnikom i kompensatorowi XC-80 pomiar za pomocą interferometru jest stabilny w zmieniających się warunkach atmosferycznych. Dokładne pomiary: temperatury powietrza, ciśnienia powietrza oraz wilgotności względnej umożliwiają dostosowanie długości fali promienia laserowego do panujących warunków. Praktycznie zapewnia to wyeliminowanie błędów pomiaru wynikających z wyżej wymienionych wahań [7]. Badania dokładności i powtarzalności pozycjonowania przeprowadzono w trzech osiach: X, Y, Z centrum frezarskiego Hermle B300.

2. Metodyka i warunki badań

Centrum frezarskie Hermle B300 przed przystąpieniem do badań zostało przygotowane zgodnie z wytycznymi zawartymi w Polskiej Normie PN-ISO 230-4. Interferometr laserowy zamontowano na specjalnym trójnogu poza obrabiarką. W celu przeprowadzenia pomiaru osłona przestrzeni roboczej obrabiarki została otwarta, aby wiązka laserowa mogła uzyskać swobodny dostęp do przestrzeni pomiarowej. Stację meteorologiczną umieszczono na stole centrum frezarskiego. Stanowisko do pomiaru dokładności pozycjonowania przedstawiono na rysunku 1.



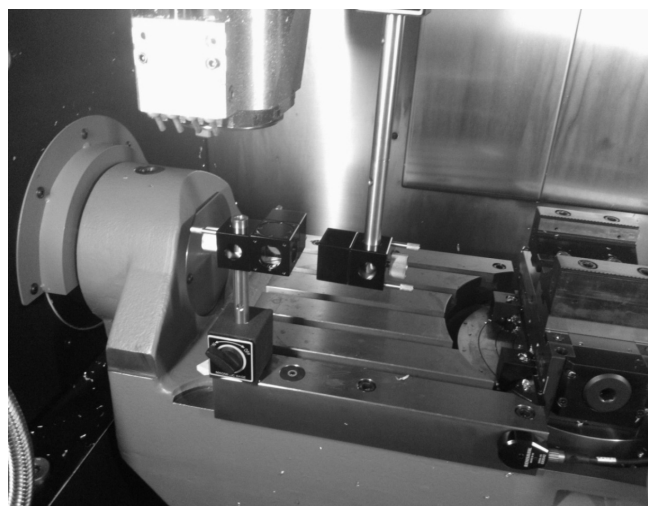
Rys. 1. Stanowisko do pomiaru dokładności pozycjonowania za pomocą interferometru laserowego XL-80

Fig. 1. The test stand for measuring the positioning accuracy comprising the XL-80 laser interferometer

Ważnym aspektem przygotowania pomiaru było odpowiednie ustawienie układów optycznych, aby zapewniały maksymalnie dużą trasę pomiarową badanej osi. Zmiana osi pomiarowej wymagała przestawienia całego układu optycznego oraz przeprowadzenia kalibracji całego układu co wydłuża nieco czas pomiaru [8].

Do zrealizowania planu badań przyjęto następujące wytyczne:

- w celu uproszczenia przeprowadzanych badań przyjęto równomierne rozstawienie punktów w całym zakresie pomiarowym. Odstęp pomiędzy mierzonymi punktami wyniósł: 20 mm,
- wartość nabiegu oraz wybiegu przed osiągnięciem pierwszego punktu pomiarowego wyniósł: 3 mm,
- dla każdego zadanego położenia zostało wykonanych 5 najazdów w każdym kierunku,
- postój w każdym zadanym położeniu: 4 sekundy,
- prędkość ruchu posuwowego określono na: $f = 1500$ mm/min,
- układ pomiarowy zamontowano w sposób pozwalający na uzyskanie maksymalnego zakresu pomiarowego mierzonych osi.



Rys. 2. Ustawienie układów optycznych podczas pomiaru dokładności w osi X
Fig. 2. Optics setting during measurement of the accuracy along the X-axis

Przestrzeń robocza centrum frezarskiego Hermle B300 pozwala na przesuw w osiach X, Y, Z na odcinkach odpowiednio 800 i 600 oraz 500 mm. Pomiar dokładności pozycjonowania w osi X przeprowadzono na odcinku 780 mm (rys. 2). Analogicznie według tych samych standardów wykonano pomiary w osiach Y i Z na odcinkach 300 i 480 mm. W osiach X i Z pomiar zrealizowano prawie w całym zakresie przesuwu. Ograniczenie przeprowadzenia pomiaru w całym zakresie osi wynika z konieczności wykonania nabiegu oraz wybiegu przed osiągnięciem pierwszego punktu pomiarowego. W osi Y pomiar przeprowadzono w połowie zakresu przesuwu ze względu na ograniczoną możliwość ustawienia przyrządów optycznych. Błąd pozycjonowania określono przez porównanie zaprogramowanej pozycji z pozycją rzeczywistą zarejestrowaną przez interferometr laserowy [9].

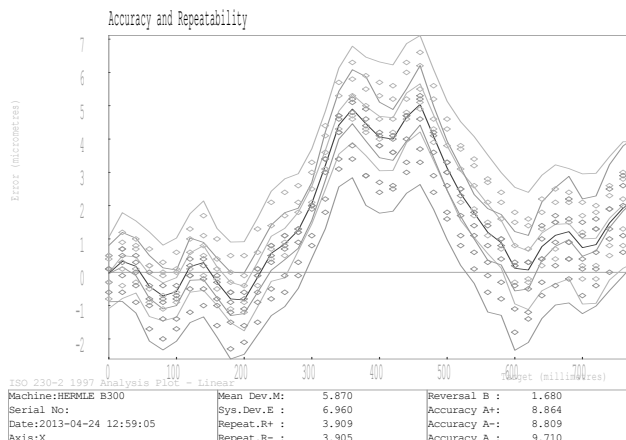
3. Analiza wyników badań

Do analizy wykorzystano specjalne oprogramowanie dołączone do aparatury pomiarowej. Wyniki wygenerowano przy pomocy programu LaserXL w postaci wykresów. Położenie osi nie podlegających badaniu było następujące:

- pomiar w osi X: $Y=345,732$ mm; $Z=351,249$ mm; $C=0^\circ$; $A=110,101^\circ$,
- pomiar w osi Y: $X=586,837$ mm; $Z=351,249$ mm; $C=0^\circ$; $A=110,101^\circ$,
- pomiar w osi Z: $X=793,893$ mm; $Y=410,514$ mm; $C=0^\circ$; $A=110,101^\circ$.

Po przeprowadzeniu pomiarów dokładności i powtarzalności pozycjonowania w osiach sterowanych numerycznie (X, Y, Z)

wyniki przedstawiono w postaci wykresu dwukierunkowej dokładności i powtarzalności pozycjonowania (zgodnie z zaleceniami Polskiej Normy PN-ISO 230-2). Wykres dla pomiarów przeprowadzonych w osi X przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Dwukierunkowa dokładność i powtarzalność pozycjonowania w osi X
Fig. 3. Bidirectional accuracy and repeatability along the X axis

Na wykresie powyżej przedstawiono otrzymane wyniki dokładności i powtarzalności pozycjonowania wynikające z różnicy pomiędzy rzeczywistym położeniem realizowanym przez wrzeciono centrum frezarskiego, a położeniem zaprogramowanym wykreślonym dla pięciu przebiegów. Jak widać (rys. 3) największy spadek dokładności pozycjonowania występuje w centralnej części stołu. Dwukierunkowa dokładność pozycjonowania w osi X wyniosła 9,71 μ m. Powtarzalność pozycjonowania w tej osi była największa. W kierunku dodatnim wyniosła 3,909 μ m, natomiast w kierunku ujemnym 3,905 μ m. Najważniejsze obliczone parametry wynikające z przeprowadzonych pomiarów oraz wartości graniczne błędów określone przez PN-ISO 10791-4 przedstawiono w tabeli 1.

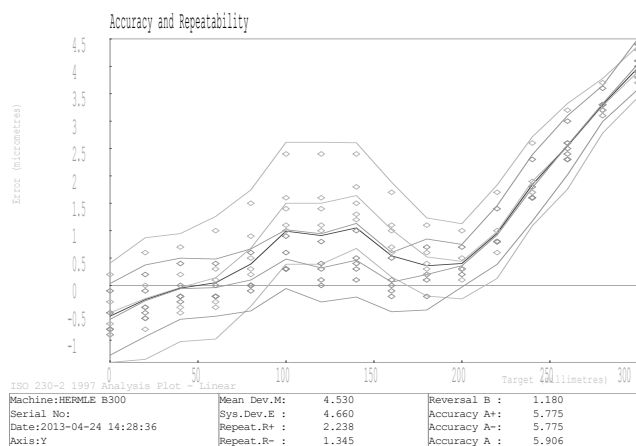
Tab. 1. Porównanie tolerancji pozycjonowania w osi X z wartościami określonymi przez normę PN-ISO 10791-4

Tab. 1. Comparison of the tolerance of positioning along the X-axis with the values defined by the PN-ISO 10791-4 norm

Tolerancje [μ m]	PN-ISO	Pomiar
Dwukierunkowa dokładność pozycjonowania A	25	9,71
Jednokierunkowa dokładność pozycjonowania A_{\uparrow} i A_{\downarrow}	20	8,864
Dwukierunkowa powtarzalność pozycjonowania R	15	4,89
Jednokierunkowa powtarzalność pozycjonowania R_{\uparrow} i R_{\downarrow}	8	3,909
Osiowa wartość zwrotna B	10	1,68
Średnia osiowa wartość zwrotna \bar{B}	6	0,898
Dwukierunkowa systematyczna odchyłka pozycjonowania E	18	6,96
Jednokierunkowa systematyczna odchyłka pozycjonowania E_{\uparrow} i E_{\downarrow}	12	6,08
Średnia dwukierunkowa odchyłka pozycjonowania M	12	5,87

Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że żadna obliczona wartość nie wykracza poza narzuconą tolerancję, a centrum frezarskie Hermle B300 spełnia wymogi centrum obróbkowego zwykłej dokładności.

Analogicznie dla pomiarów dokładności i powtarzalności pozycjonowania w pozostałych liniowych osiach przedstawiono taki sam rodzaj wykresów. Dokładność pozycjonowania w osi Y przedstawiono na rysunku 4, natomiast dokładność pozycjonowania w osi Z na rysunku 5.



Rys. 4. Dwukierunkowa dokładność i powtarzalność pozycjonowania w osi Y
Fig. 4. Bidirectional accuracy and repeatability along the Y axis

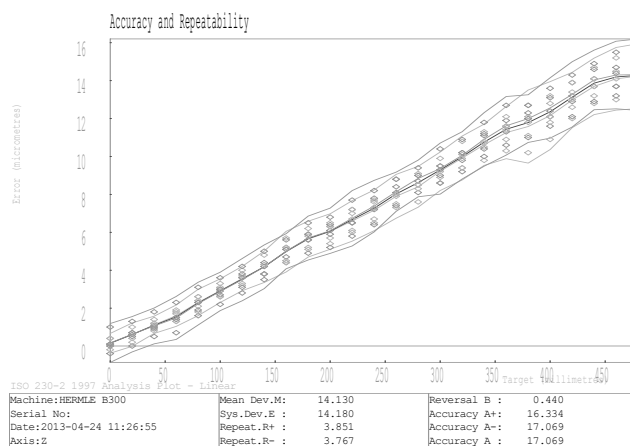
Tak samo jak w przypadku osi X wykres dokładności i powtarzalności pozycjonowania w osi Y wykreślono w oparciu o różnicę rzeczywistego położenia realizowanego przez wrzeciono obrabiarki a wartością zadaną. Na rysunku 4 zauważono również spadek dokładności pozycjonowania w centralnej części stołu identycznie jak miało to miejsce w osi X. Natomiast największy spadek dokładności pozycjonowania występuje w skrajnym położeniu osi Y. Wartość dwukierunkowej dokładności pozycjonowania jest najniższa z wszystkich badanych osi i wyniosła 5,906 μm . Powtarzalność w kierunku dodatnim wyniosła 2,238 μm , natomiast w kierunku przeciwnym 1,345 μm . W wyniku przeprowadzonych pomiarów stwierdzono że, oś Y oprócz największej dokładności pozycjonowania cechuje się również największą powtarzalnością. Porównanie wartości obliczonych na podstawie pomiaru z tolerancjami przedstawionymi w normie PN-ISO 10791-4 przedstawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Porównanie tolerancji pozycjonowania w osi Y i Z z wartościami określonymi przez normę PN-ISO 10791-4

Tab. 2. Comparison of the tolerance of positioning along the Y and Z axes with the values defined by the ISO 10791-4 norm

Tolerancje [μm]	PN-ISO	oś Y	oś Z
Dwukierunkowa dokładność pozycjonowania A	22	5,906	17,069
Jednokierunkowa dokładność pozycjonowania A \uparrow i A \downarrow	16	5,773	17,069
Dwukierunkowa powtarzalność pozycjonowania R	12	2,916	3,854
Jednokierunkowa powtarzalność pozycjonowania R \uparrow i R \downarrow	6	2,238	3,851
Osiowa wartość zwrotna B	10	1,18	0,044
Średnia osiowa wartość zwrotna \bar{B}	6	0,354	-0,141
Dwukierunkowa systematyczna odchyłka pozycjonowania E	15	4,66	14,18
Jednokierunkowa systematyczna odchyłka pozycjonowania E \uparrow i E \downarrow	10	4,66	14,16
Średnia dwukierunkowa odchyłka pozycjonowania M	10	4,53	14,13

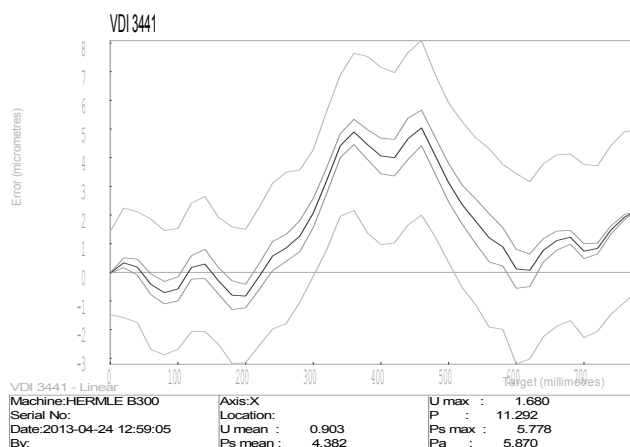
W tabeli 2 porównano wyniki błędów pozycjonowania w osiach Y i Z z wartościami granicznymi określonymi przez normę PN-ISO 10794-1. Stwierdzono, że żadna wartość w osi Y nie wykracza poza narzuconą tolerancję, a maszyna spełnia wymogi centrum obróbkowego zwykłej dokładności. Analizując otrzymane wyniki w osi Z zauważono, że: jednokierunkowa systematyczna odchyłka pozycjonowania, średnia dwukierunkowa odchyłka pozycjonowania oraz jednokierunkowa dokładność pozycjonowania są wartościami wybiegającymi poza granicę określoną w wyżej wymienionej normie dla centrum obróbkowego zwykłej dokładności.



Rys. 5. Dwukierunkowa dokładność i powtarzalność pozycjonowania w osi Z
Fig. 5. Bidirectional accuracy and repeatability along the Z axis

Jak widać na rysunku 5 dokładność pozycjonowania w osi Z spada wraz z oddalaniem się wrzeciono obrabiarki od powierzchni stołu. W tej osi występuje największy błąd dokładności pozycjonowania. Jego wartość wyniosła 17,069 μm . Powtarzalność pozycjonowania w kierunku dodatnim wyniosła 3,851 μm , w kierunku przeciwnym 3,767 μm .

Dokładność pozycjonowania obrabiarek zazwyczaj jest określana według wytycznych określonych w normie VDI/DGQ 3441. Dokładność pozycjonowania wg wyżej przytoczonej normy dla pomiarów w osi X przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Dokładność pozycjonowania centrum frezarskiego w osi X według VDI/DGQ 3441

Fig. 6. Positioning accuracy of the milling center along the X-axis according to VDI / DGQ 3441

Na wykresie powyżej przedstawiono dokładność pozycjonowania według normy zalecanej przez producenta maszyny. Ustalił, on że dokładność centrum frezarskiego w osiach liniowych nie powinna przekraczać wartości $P = 8 \mu\text{m}$. Otrzymana dokładność pozycjonowania wg ustalonej normy dla pomiarów w osi X wyniosła $P = 11,292 \mu\text{m}$.

Wysoka dokładność pozycjonowania w badanej obrabiarkie jest realizowana poprzez zastosowanie liniałów optycznych w osiach: X, Y, Z. W tych układach regulacji zostają skompensowane błędy wynikające m.in.: z cieplnego odkształcenia śruby toczonej oraz błędu skoku gwintu. Kompensacji nie podlega błąd wynikający z przemieszczenia się liniału wraz z punktem jego zamocowania względem korpusu obrabiarki pod wpływem oddziaływań cieplnych.

W celu utrzymania wysokiej i ekonomicznie uzasadnionej dokładności obróbki, autorzy pracy proponują:

- w przypadku uzyskania niezadawalającej dokładności wymiarowo-kształtowej przedmiotu obrabianego, zaleca się w miarę możliwości korzystanie ze stref charakteryzujących się zwiększoną dokładnością pozycjonowania wynikającej z przedstawionych powyżej wykresów dwukierunkowej dokładności i powtarzalności pozycjonowania,
- zmianę strategii obróbki w przypadku wykonywania przedmiotów wyższej dokładności, polegającej na częstszym prowadzeniu obróbki w osi Y charakteryzującą się najwyższą dokładnością pozycjonowania i powtarzalnością,
- w przypadku, gdy powyższe wskazanie okażą się niewystarczające, zaleca się przeprowadzenie kalibracji liniałów pomiarowych.

4. Uwagi i wnioski końcowe

Badania dokładności pozycjonowania centrum frezarskiego Hermle B300 w osiach liniowych za pomocą interferometru laserowego pozwalają stwierdzić że:

1. Dokładność pozycjonowania według normy VDI/DQG 3441 dla osi X oraz Z nie mieści się w zakresie podanym przez producenta, warunki te spełnia jedynie oś Y.
2. Dokładność pozycjonowania według normy PN-ISO 10791-4 dla centrów frezarskich zwykłej dokładności mieści się z zakresie dla osi X i Y, dla osi Z częściowo wykracza ona poza dopuszczalny zakres.
3. Największa dokładność i powtarzalność pozycjonowania występuje w osi Y.
4. Największy błąd powtarzalności pozycjonowania występuje w osi X.
5. Występują strefy podwyższonej dokładności pozycjonowania, w których to autorzy pracy proponują prowadzenie obróbki

przedmiotów o podwyższonej dokładności wymiarowo-kształtowej.

5. Literatura

- [1] Miko E., Jarema M.: Badania dokładności pozycjonowania pionowego centrum obróbkowego. PAK, vol. 56, s. 63-65, 2010.
- [2] Cedlik M., Sokovic J., Jurkovic J.: Calibration and Checking the Geometrical Accuracy of a CNC Machine-Tool. Journal of Mechanical Engineering, vol. 52, 11, pp.752-762, 2006.
- [3] Ekinovic S., Prcanovic H., Begovic E.: Calibration of machine tools by means of laser measuring system. Asian Transactions on Engineering, vol. 02, issue 06.
- [4] Polska Norma PN-ISO 230-2.: Przepisy badania obrabiarek. Wyznaczenie dokładności i powtarzalności pozycjonowania osi sterowanych numerycznie. Marzec 1999.
- [5] Polska Norma PN-ISO 10791-4.: Warunki badania centrów obróbkowych. Dokładność i powtarzalność pozycjonowania w osiach liniowych i obrotowych. Marzec 1999.
- [6] Honczarenko J., Kwaśniewicz J.: Nowe systemy pomiarowe do sprawdzenia dokładności obrabiarek CNC. Mechanik nr 12/2008, s.1012-1016.
- [7] Materiały reklamowe firmy Renishaw (www.renishaw.pl)
- [8] Turek P., Kwaśny W., Jędrzejewski J.: Zastosowane metody identyfikacji błędów obrabiarek. Inżynieria Maszyn, R.15, z 1-2, 2010.
- [9] Mijuskowicz G., Krajnik P., Kopac J.: Improvement of positional accuracy of precision micro milling Centre Rusing pitch error compensation. Technical Gazette 20, 4, pp. 629-634, 2013.

otrzymano / received: 28.11.2013

przyjęto do druku / accepted: 03.02.2014

artykuł recenzowany / revised paper

INFORMACJE

Wydawnictwo PAK

specjalizuje się w wydawaniu czasopisma *Pomiary Automatyka Kontrola* i książek popularno-naukowych w dziedzinie automatyki i pomiarów

Osoby i firmy przemysłowe zainteresowane współpracą z Wydawnictwem proszone są o kontakt bezpośredni dla uściślenia szczegółów współpracy

Wydawnictwo PAK
00-050 Warszawa
ul. Świętokrzyska 14A
tel./fax 22 827 25 40

Redakcja PAK
44-100 Gliwice
ul. Akademicka 10, p. 30b
tel./fax 32 237 19 45
e-mail: wydawnictwo@pak.info.pl