

POLSKA AKADEMIA NAUK
KOMITET BUDOWY MASZYN
SEKCJA PODSTAW TECHNOLOGII
AKADEMIA TECHNICZNO-ROLNICZA
W BYDGOSZCZY
WYDZIAŁ MECHANICZNY



*analiza obrazu, pomiary optyczne,
nóż tokarski, zużycie*

Tadeusz MIKOŁAJCZYK*

ANALIZA OBRAZU W POMIARACH I BADANIACH NARZĘDZI SKRAWAJĄCYCH

W pracy przedstawiono zastosowanie analizy obrazu do pomiarów, rozpoznawania i badań narzędzi skrawających. Przy użyciu kamery cyfrowej i specjalnie opracowanego oprogramowania dokonywano pomiarów kątów przystawienia noży tokarskich oraz krzywizny krawędzi skrawającej. Dokładność pomiaru była wystarczająca do identyfikacji obiektów, a także oceny wymiaru w warunkach warsztatowych. Poprzez rozpoznawanie obrazu dokonywano identyfikacji narzędzi w oparciu o obrazy zawarte w bazie danych. Przy użyciu sieci neuronowej poszukiwano na obrazie ostrza obrazu jego zużycia.

1. WPROWADZENIE

Postępy w technice komputerowej wywierają wpływ również na rozwój inżynierii budowy i produkcji maszyn oraz stosowanych narzędzi informatycznych. Coraz powszechniejsze układy komputerowego zapisu obrazu stwarzają nowe możliwości badań procesów inżynierii produkcji. Współczesne kamery cyfrowe, wyposażone w dogodne do stosowania złącze USB, charakteryzują się znaczną rozdzielczością i częstotliwością zapisu obrazu przy niskiej stosunkowo cenie [7]. Układy te wsparte odpowiednim oprogramowaniem umożliwiają realizację nowych jakościowo zadań opartych na analizie i rozpoznawaniu obrazu. Kamery cyfrowe znajdują zastosowanie w układach:

- rozpoznawania obrazu [3,4,5],
- pomiarowych [1,2,5,6,9].

Zakres zastosowania rozpoznawania obrazu jest bardzo szeroki i dotyczy szeregu dziedzin działalności człowieka, nie tylko w technice. Stosowane jest

* Katedra Inżynierii Produkcji, Wydział Mechaniczny, Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy

do rozpoznawania twarzy w systemach bezpieczeństwa publicznego, w układach wizyjnych humanoidów, identyfikacji linii papilarnych, rozpoznawania tęczy i siatkówki oka, analizy kształtu ucha [8]. W technice rozpoznawanie obrazów stosowane jest między innymi do analizy wymiarów w skanerach 3D [9] i badań zużycia ostrza [3].

Rozpoznawanie obrazu prowadzone jest najczęściej z zastosowaniem sieci neuronowych. W zagadnieniu rozpoznawania obrazu wyróżnia się szczególnie dwa procesy:

- wyodrębnianie obiektów,
- identyfikacja obiektów.

Wyodrębnianie obiektów polega na ich wykryciu na analizowanym obrazie. Wykonuje się przy tym kilka działań, takich jak: wykrywanie krawędzi, wyznaczanie konturów, ocena powierzchni. W realizacji tych zadań najkorzystniejsze wyniki uzyskuje się przy zastosowaniu sieci neuronowych dzięki ich zdolności do funkcjonowania w warunkach zakłóceń. W odróżnieniu od pozostałych algorytmów analizy obrazów sieci neuronowe nie potrzebują wstępnej filtracji („odszumiania”) obrazów.

Identyfikacja obiektów polega na wskazaniu, do której klasy one należą.

Zastosowanie analizy obrazów cyfrowych w technice pomiarowej obejmuje między innymi:

- metodę fotogrametrii inżynierskiej [6],
- skanowanie laserowe 3D [9].

W pracy przedstawiono zastosowanie analizy obrazu do pomiarów, rozpoznawania i badań narzędzi skrawających, zrealizowane w Katedrze Inżynierii Produkcji ATR Bydgoszcz. Przedstawione przykłady obejmują zastosowanie kamery do:

- identyfikacji ostrza na podstawie pomiarów kąta przystawienia noża tokarskiego,
- pomiaru promienia zaokrąglenia krawędzi skrawającej,
- rozpoznawania narzędzi skrawających,
- analizy zużycia ostrza.

2. WYBRANE ZAGADNIENIA Z ANALIZY OBRAZÓW

We współczesnych kamerach stosuje się dwa typy matryc: CMOS i CCD [1,6]. Te drugie, droższe, cechują się większą czułością i jakością rejestrowanego obrazu. Rozdzielczość kamer cyfrowych dogodnych do podłączenia do komputera waha się w szerokich granicach. Z wyższą rozdzielczością kamery związana jest jej wyższa cena. Rozwój układów cyfrowej akwizycji obrazu jest bardzo dynamiczny i współcześnie pojawia się szereg rozwiązań aparatów cyfrowych o dużej rozdzielczości matrycy, które wyposażono w stabilny pod względem geometrycznym sensor CCD i krótkich czasach ekspozycji, mogących znaleźć zastosowanie w zagadnieniach analizy obrazu.

Zapis obrazu następuje bezpośrednio na wewnętrznych, wymiennych kartach pamięci. Transfer danych cyfrowych do komputera odbywa się za pomocą interfejsu typu LPT, SCSI, USB lub kart PCMCIA. Szczególnie dogodnie jest zastosowanie kamer podłączanych do portu USB z uwagi na dużą prędkość transmisji, jak i zastosowanie zasilania kamery bezpośrednio z portu USB. Zaletą tego rozwiązania jest możliwość zastosowania kamery w dowolnym komputerze wyposażonym w port USB.

Dokładność zapisu obrazu zależy przede wszystkim od zastosowanej kamery. Podstawowymi cechami kamery są:

- rozdzielczość,
- czułość,
- dokładność wykonania matrycy.

Możliwość korekty błędów układu optycznego i matrycy zapewnia użycie w programach specjalnych procedur.

Dokładność D pomiaru usytuowania wybranych punktów związana jest z zastosowaną rozdzielczością matrycy. Można ją wyrazić poprzez stosunek wielkości liniowej obrazu rzeczywistego do rozdzielczości matrycy w wybranym kierunku pomiaru:

$$D = \frac{l}{R \cdot 1000} \quad (1)$$

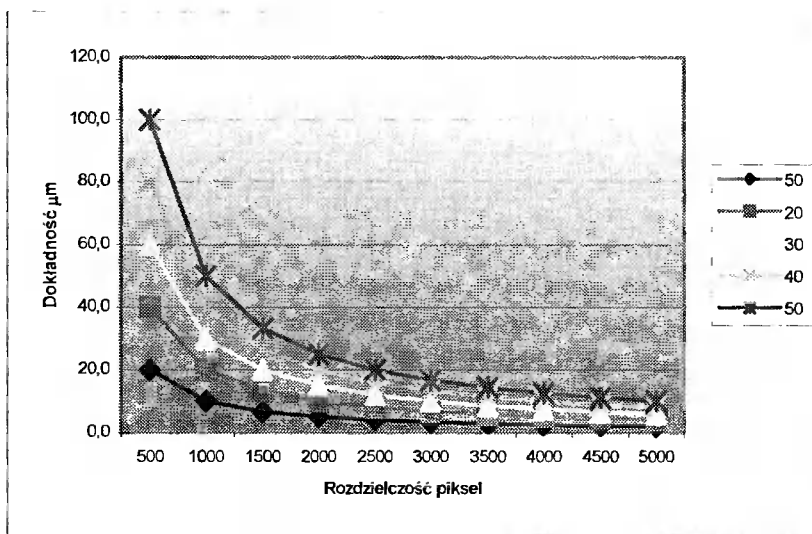
gdzie:

- D – dokładność, μm ,
- l – wymiar liniowy obrazu rzeczywistego, mm ,
- R – rozdzielczość matrycy, piksel.

Dokładność pomiaru określoną według zależności (1) w zakresie rozdzielczości obrazu do 500 do 5000 pikseli zilustrowano na wykresie (rys. 1), opracowanym przy założeniu całkowitego wypełnienia obrazu. Na podstawie wykresu można stwierdzić, że przy rozdzielczości matrycy 2000 można mierzyć obiekty o wielkości 40 mm z dokładnością rzędu 0,02 mm, natomiast przy matrycy o rozdzielczości 500 pikseli dla takiej wielkości przedmiotu uzyskuje się dokładność 0,08 mm.

Metoda fotogrametrii inżynierskiej [6] umożliwia, przy zastosowaniu odpowiedniego specjalistycznego oprogramowania z uwzględnieniem bardzo precyzyjnej kalibracji kamery, jak i wszystkich elementów układu pomiarowego, dokonywanie pomiarów ze znacznie większą dokładnością przy zastosowaniu metod triangulacji. W metodzie off-line, wykorzystując wykonane z różnych ujęć zdjęcia (10-50) z jednej kamery cyfrowej, uzyskuje się po obróbce obrazów pomiary z dokładnością $0,05 \div 0,02$ piksela [6]. Typowe zastosowania fotogrametrycznych cyfrowych systemów off-line dotyczą numerycznego opracowania obiektów ze względną dokładnością $1:50000 \div 1:100000$. Odpowiada to dokładności wyznaczenia położenia punktów $\pm 0,1 \div 0,2$ mm dla średniej odległości 10 m [6]. W technice on-line stosuje się ujęcia z dwóch kamer. Typowe zasto-

sowania fotogrametrycznych systemów on-line dotyczą metrologicznych pomiarów urządzeń i elementów konstrukcyjnych w energetyce, przemyśle maszynowym, samochodowym, lotniczym, stoczniowym, w robotyce, etc., ze względną dokładnością $1:20000 \div 1:50000$. Przy odległości rejestracji ≤ 5 m daje to dokładność wyznaczenia punktów obiektu poniżej $\pm 0,25$ mm [6].



Rys. 1. Wpływ rozdzielczości matrycy na dokładność pomiaru dla wybranych wielkości rzeczywistych obrazu

Fig. 1. Influence of matrices resolution on image size measurement accuracy

Współcześnie rozwija się również technika skaningu laserowego 3D, polegająca na analizie zapisanego kamerą linii świetlnego przekroju analizowanej powierzchni. Stosuje się skanery w układzie biegunowym i planarnym [9]. W wyniku pomiaru uzyskać można informacje o geometrii całego obiektu, czy też wykonać przekrój w dowolnym miejscu, a jednocześnie otrzymać zdjęcie cyfrowe mierzonego obiektu. Sam pomiar jest natomiast bezstykowy i nie wymaga wcześniejszej sygnalizacji punktów, charakterystycznej dla metody fotogrametrycznej.

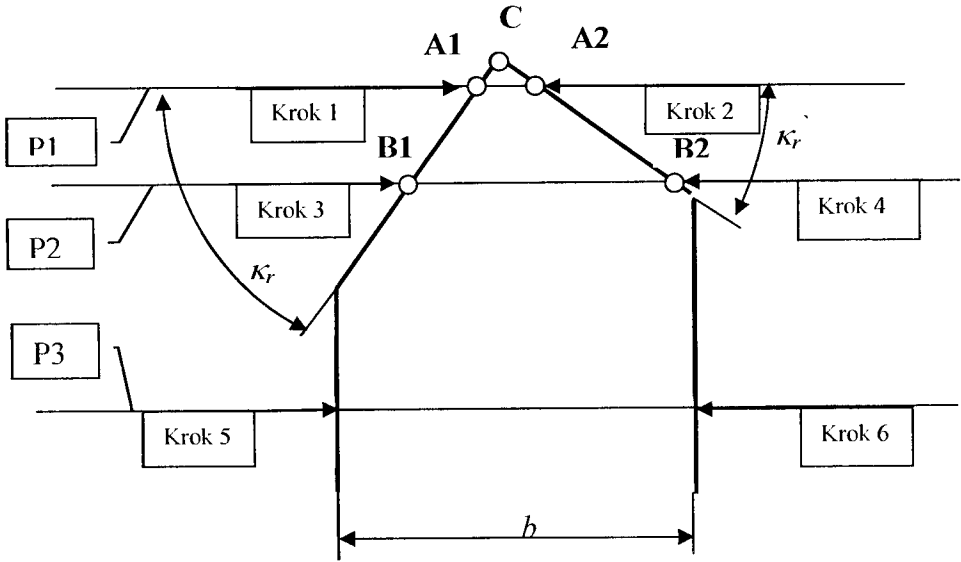
3. ZASTOSOWANIE ANALIZY OBRAZU DO POMIARÓW NOŻA TOKARSKIEGO

W Katedrze Inżynierii Produkcji ATR w Bydgoszczy od szeregu lat prowadzone są próby zastosowania techniki wizyjnej do badań możliwości identyfikacji cech obiektów i analizy procesów. Przedstawione przykłady obejmują zastosowania tej techniki do:

- pomiarów narzędzi skrawających (kątów, wymiarów liniowych, promieni),
- rozpoznawania obrazów,

– analizy obrazu zużycia ostrza.

Pomiar kątów przystawienia polega na określeniu na obrazie ostrza współrzędnych punktów przecięcia siecznych P1, P2 i krawędzi skrawających: głównej i pomocniczej (rys. 2).



Rys. 2. Kolejność procedur pomiaru ostrza w płaszczyźnie Pr
Fig. 2. Measurement procedures of cutting edge in Pr plane

Na podstawie znajomości współrzędnych punktów A1, B1 oraz A2 i B2 można określić wartości kątów przystawienia κ_r i κ'_r z zależności:

$$\frac{y_{B1} - y_{A1}}{x_{B1} - x_{A1}} = \tan(\kappa_r) \quad (2)$$

z której po przekształceniu można wyznaczyć κ_r :

$$\kappa_r = \arctan \frac{y_{B1} - y_{A1}}{x_{B1} - x_{A1}} \quad (3)$$

Kąt przystawienia pomocniczy można wyznaczyć z zależności:

$$\kappa'_r = \arctan \frac{y_{B2} - y_{A2}}{x_{B2} - x_{A2}} \quad (4)$$

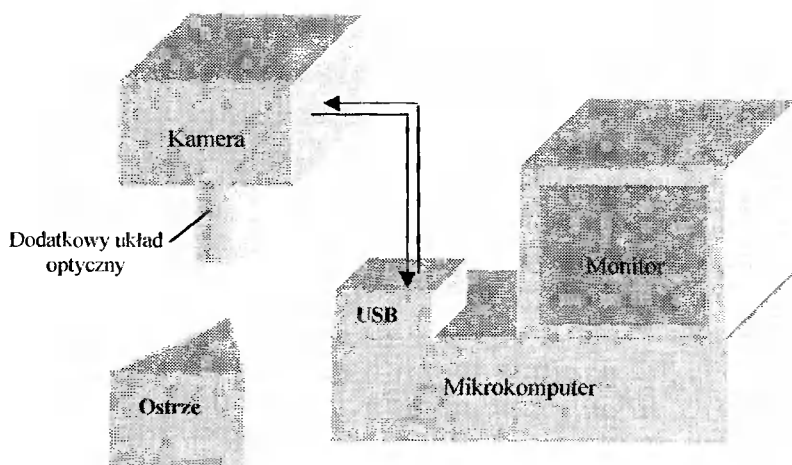
Szerokość trzonka wyznaczyć można jako różnicę współrzędnych przecięcia prostej P3 z trzonkiem noża z uwzględnieniem skali obrazu.

$$b = (x_{C3} - x_{D3}) \cdot \text{skala_x} \quad (5)$$

Do identyfikacji noża należy wyznaczyć odległość wierzchołka ostrza względem powierzchni bocznej noża. Przedstawione postępowanie umożliwia uzyskanie z obrazu ostrza wartości kątów przystawienia, szerokości trzonka, a także usytuowania wierzchołka ostrza, niezbędnych do określenia narzędzia przez porównanie z bazą narzędzi.

W przyjętym postępowaniu zakłada się, że trzonek noża usytuowany jest w pozycji horyzontalnej pola widzenia kamery.

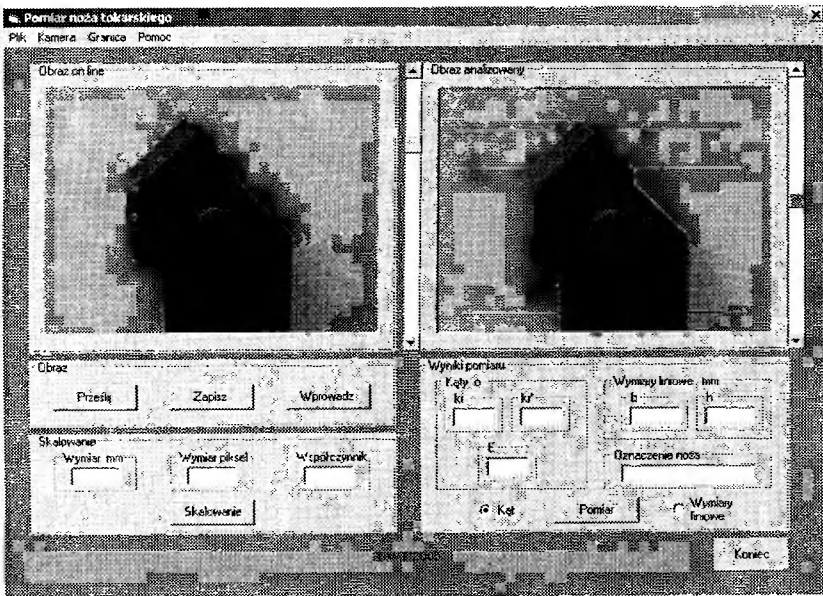
Stanowisko pomiarowe przedstawiono na rysunku 3. Zawiera ono kamerę cyfrową USB z matrycą CMOS o rozdzielczości 640×480 pikseli. Kamery o tej rozdzielczości są z powodzeniem stosowane w astronomii amatorskiej [7].



Rys. 3. Schemat videooptycznego stanowiska do pomiarów noży tokarskich
Fig. 3. Stand for videooptical research of turning tool

Do obsługi stanowiska opracowano specjalne oprogramowanie w języku Visual Basic 6.0, umożliwiające przechwycenie obrazu z kamery, a następnie jego analizę w celu dokonania pomiaru. Program zawiera trzy maski ekranowe. Poza maską stanowiącą winietę programu opracowano maskę podstawową służącą do dokonania pomiarów ostrza (rys. 4) oraz maskę, za pomocą której dokonuje się skalowania stanowiska. Dodatkowo sporządzono formę, na której dokonuje się zmian nastaw kamery. W układzie zastosowany jest standardowy układ optyczny kamery. W celu optymalnego wykorzystania rozdzielczości kamery i wypełnienia jej pola widzenia możliwe jest zastosowanie dodatkowego układu optycznego.

Pomiary przeprowadzano przy różnym usytuowaniu siecznych pomiarowych, które są sterowane suwakami umieszczonymi z boków obrazu narzędzia. Dla przykładowego noża dokonano pomiarów kąta przystawienia oraz szerokości ostrza i odległości wierzchołka ostrza od bazy.



Rys. 4. Maska programu do pomiaru kątów przystawienia ostrza
Fig. 4. Form of software to cutting angle measure

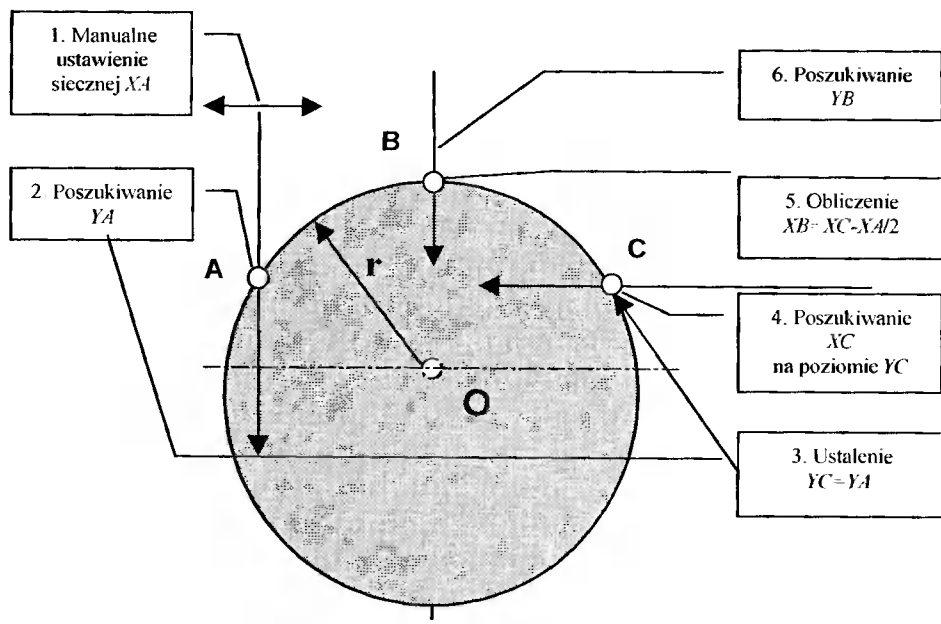
Uzyskane wyniki pomiarów wskazują, że opracowane oprogramowanie umożliwia pomiar kątów przystawienia z dokładnością $\pm 0,50^\circ$. Dokładność pomiarów liniowych wynosi 0,1 mm. Po wyznaczeniu parametrów zarówno liniowych: szerokości b oraz przemieszczenia wierzchołka h , jak i kątów przystawienia ostrza, umożliwia to jednoznaczną identyfikację analizowanego noża tokarskiego przez porównanie z bazą narzędzi.

W obróbce wykańczającej powierzchni ukształtowanie naroża ostrza jest szczególnie istotne w formowaniu chropowatości powierzchni, z uwagi na geometryczno-kinematyczne odwzorowanie krawędzi skrawającej i wpływ minimalnej grubości warstwy skrawanej na stan powierzchni. Tradycyjnie krzywiznę naroży ostrzy ocenia się subiektywnie wizualnie z zastosowaniem specjalnych wzorników. Obiektywizację pomiarów opartych o obserwacje obrazu zapewnia zastosowanie kamer cyfrowych.

W pracy przedstawiono oryginalne stanowisko do ostrzenia i pomiaru naroża ostrza noża tokarskiego.

Do obserwacji strefy skrawania zastosowano kamerę cyfrową połączoną z mikrokomputerem IBM poprzez port USB. Zastosowana kamera posiada rozdzielczość VGA (640×480). Do obsługi kamery opracowano specjalny program w języku VB 6.0, który wspomaga ustawianie osi obrotu stolika ostrzarki, a także pomiar promienia łuku okręgu krawędzi skrawającej.

Pomiar łuku okręgu prowadzony jest na podstawie analizy położenia wybranych punktów krawędzi skrawającej. Metodykę pomiaru przedstawiono schematycznie na rysunku 5.



Rys. 5. Procedury pomiaru łuku okręgu

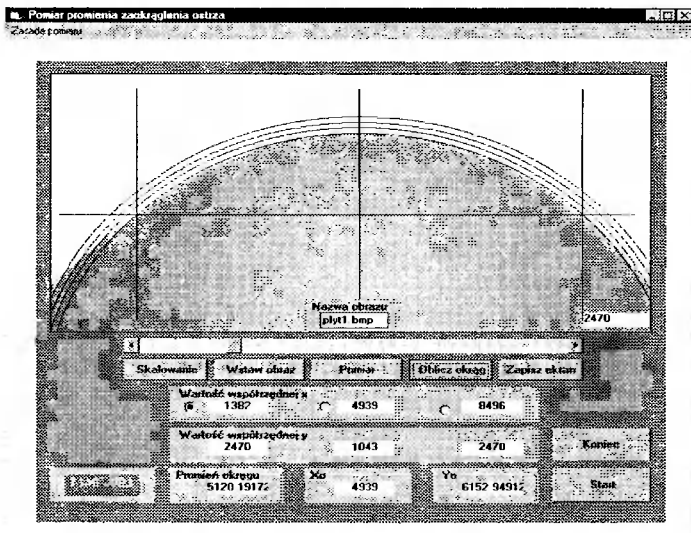
Fig. 5. Circle arc measurement procedures

W poszukiwaniu punktów krawędzi skrawającej zastosowano analizę pikseli obrazu. Wymaga to stosowania w czasie obróbki kontrastowego tła dla narzędzia. Współrzędne tych punktów wykorzystywane są następnie do obliczenia promienia okręgu odpowiadającego łukowi krawędzi skrawającej wg zależności:

$$r = \sqrt{XB^2 + YA \left(\frac{YA^2 + XB^2 - YB^2}{2 \cdot (YA - YB)} \right)} \quad (6)$$

Opracowany program służy do analizy obrazu on-line krawędzi, jak też może być stosowany do analizy obrazów zapisanych na nośnikach pamięci. Panele na masce ekranowej (rys. 6) przedstawiają współrzędne x , y punktów krawędzi skrawającej, wartość promienia oraz obliczoną współrzędną środka łuku okręgu. Wyniki mogą być przedstawione zarówno w jednostkach wymiarowania ekranu, jak i ustalonej na podstawie procedury skalowania mierze metrycznej.

Przeprowadzone badania stanowiska wykazały poprawność opracowania konstrukcji usytuowania kamery jak i układu mocowania ostrza. Prowadzone próby zastosowania programu wykazały jego niezawodność i dużą dokładność oceny łuku okręgu, o czym przykładowo świadczą przedstawione na rysunku 6 łuki kontrolne.



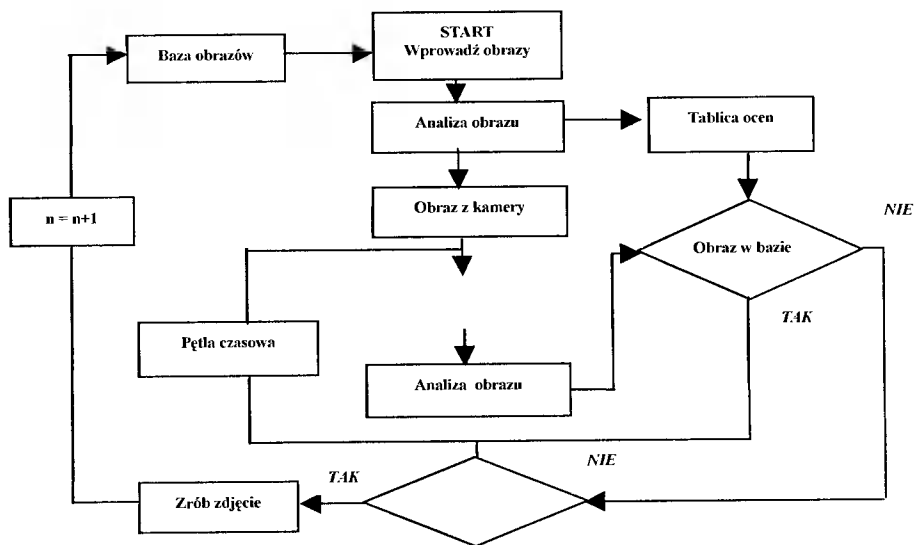
Rys. 6. Widok maski programu do pomiaru łuku okręgu
Fig. 6. Screen shot for arc circle measurement software

Dokładność opracowanej techniki pomiaru promienia łuku ostrza jest w sposób oczywisty związana z rozdzielczością zastosowanej kamery. Użycie kamery o większej rozdzielczości umożliwi zwiększenie dokładności pomiaru. Pomiar małych promieni wymaga zastosowania dodatkowego układu optycznego powiększającego znacznie obraz dla wykorzystania rozdzielczości kamery.

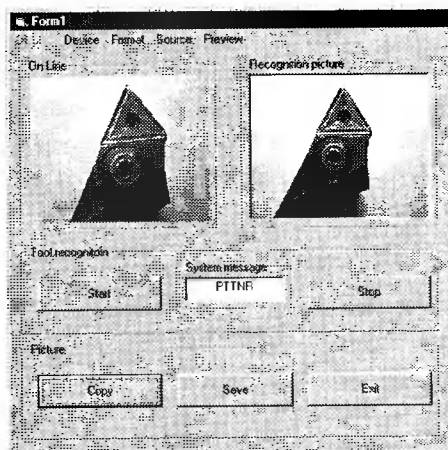
4. ROZPOZNAWANIE NARZĘDZIA

Rozpoznawanie obiektów zrealizowano z zastosowaniem oprogramowania opracowanego w języku VB 6.0. Wykorzystano w nim procedurę (rys. 7) porównującą obraz on-line z obrazami zawartymi w bazie wiedzy skojarzonej z programem. Oceny obrazów z bazy wiedzy opracowywane są przy uruchomieniu programu. W przypadku uzyskania zbieżności program potwierdza rozpoznanie obiektu. Opracowany program umożliwia uzupełnienie bazy o nowe obrazy. Zastosowana procedura jest uniwersalna, może rozpoznawać dowolne obiekty [4], w tym twarze, gdyż program analizuje jedynie podobieństwo graficzne bez wyróżnienia cech obrazu, jak np. ma to miejsce w rozpoznawaniu twarzy [8]. Program realizuje swoje zadania niezawodnie pod warunkiem zapewnienia zbliżonych warunków oświetlenia przy sporządzaniu obrazów wzorcowych i pracy on-line. Przykład pracy programu przedstawia maska na rysunku 8, która przedstawia obraz on-line i rozpoznany obraz wzorcowy.

Przedstawione przykłady wskazują na duże możliwości zastosowania kamer cyfrowych zarówno do celów pomiarowych jak i rozpoznawania obrazu.



Rys. 7. Schemat blokowy procedury rozpoznawania obrazu
 Fig. 7. Scheme of image recognition procedure

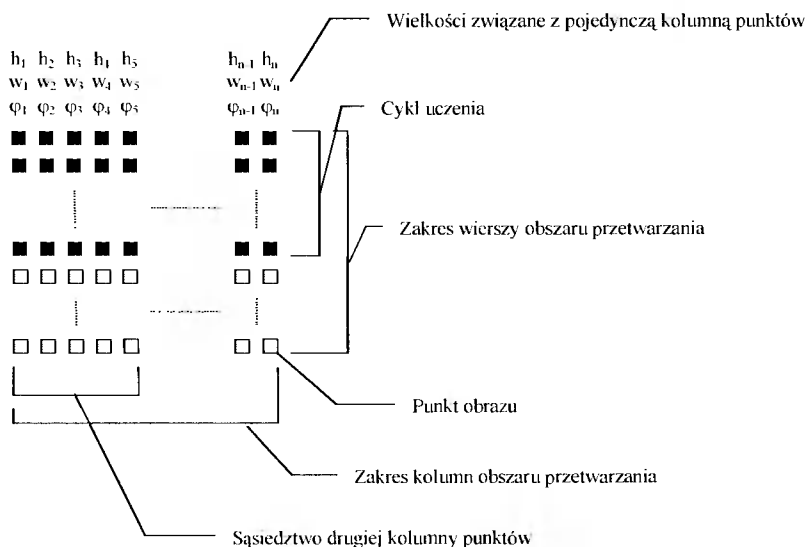


Rys. 8. Widok maski programu przy rozpoznawaniu narzędzia
 Fig. 8. Form of tool recognition software

Rozdzielczość kamery stosowanej w pracy była wystarczająca do pomiarów cech geometrycznych noża tokarskiego w płaszczyźnie Pr z dokładnością umożliwiającą zidentyfikowanie narzędzia spośród innych. Uzyskana dokładność pomiaru była znacznie większa niż stosowany odstęp pomiędzy poszczególnymi odmianami noży. W procesie rozpoznawania obrazu, ze względu na czas obliczeń, celowe jest stosowanie obniżonej rozdzielczości kamery. Tak więc rozdzielczość VGA jest wystarczająca, a nawet celowe jest jej zmniejszenie, co jest możliwe poprzez zmianę nastaw kamery.

5. ROZPOZNAWANIE ZUŻYCIA OSTRZA

Rozpoznawanie wielkości zużycia ostrza na podstawie jego obrazu prowadzi stosując specjalnie opracowany program Neural Wear [3]. Określa się w nim obszar, na którym następuje uczenie nie nadzorowanej sieci typu SCBC widoku ostrza nie zużytego (rys. 9).



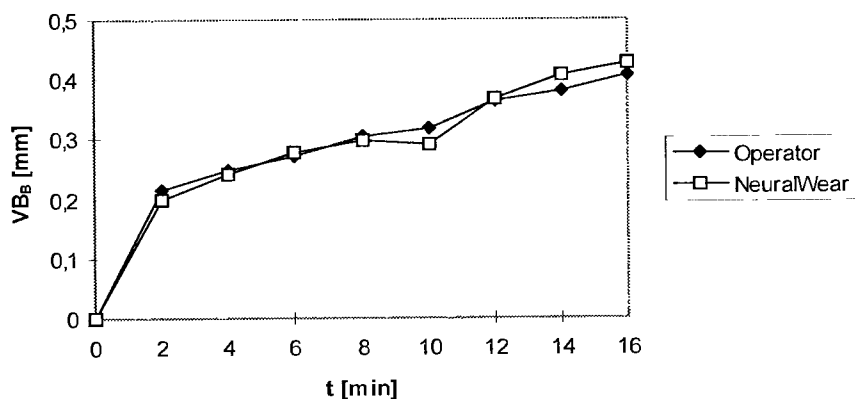
Rys. 9. Parametry przetwarzania obrazu
Fig. 9. Image recognition parameters

Następnie sieć neuronowa na podstawie analizy jasności pikseli obrazu, z uwzględnieniem ich sąsiedztwa, dokonuje analizy stanu powierzchni zużycia, określając automatycznie jego obszar poprzez zaznaczenie rozpoznanego obszaru kolorem białym (rys. 10b).



Rys. 10. Widok zużytego ostrza: a) przed, b) po analizie programem Neural Wear
Fig. 10. Neural Wear software analysis of cutting edge: a) before, b) after

Na rozpoznanym obszarze zużycia ostrza zostaje określona liczba pikseli obszaru zużycia, którą można przeliczyć na wartość parametru zużycia powierzchni. W prowadzonych próbach stwierdzono różnice rzędu 8% w stosunku do pomiarów dokonanych przez subiektywnego obserwatora. (rys. 11).



Rys. 11. Porównanie wyników pomiarów

Fig. 11. Measurement results comparison

6. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych prób można sformułować następujące wnioski:

- kamery cyfrowe o rozdzielczości VGA mogą być zastosowane zarówno do pomiarów o dokładności rzędu 0,5%, jak i do rozpoznawania obrazu,
- opracowane stanowisko do pomiarów noży tokarskich umożliwia, przy zastosowaniu opracowanego programu, pomiar ich wymiarów liniowych jak i geometrii w płaszczyźnie Pr z dokładnością wystarczającą do ich identyfikacji,
- stwierdzono przydatność analizy obrazu do automatycznych pomiarów promienia krzywizny krawędzi skrawającej,
- program rozpoznawania zużycia ostrza umożliwia automatyczne rozpoznawanie obszaru zużycia z widoku ostrza, a następnie ocenę parametru zużycia z dokładnością porównywalną z subiektywną oceną człowieka,
- testowana procedura rozpoznawania obiektów umożliwia rozpoznawanie różnych obiektów zawartych w bazie wiedzy. Do rozpoznawania celowe jest stosowanie obniżonej rozdzielczości obrazu ze względu na szybkość działania programu i możliwość pracy on-line,
- celowe jest prowadzenie prac w zakresie zastosowania kamer cyfrowych do pomiarów w procesie technologicznym z uwzględnieniem możliwości rozpoznawania obiektów i analizy procesów. Szczególnie celowe jest wdrożenie procedur fotogrametrycznych przy pomiarach.

LITERATURA

- [1] Bałamucki J., Szubert Z., 2003. System wizyjny do oceny śladów zużycia ostrzy skrawających i powierzchni technologicznych uzyskiwanych w obróbce ubytkowej. *Prace Instytutu Technologii i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej* 84, 217-222.
- [2] Karbowski K., 2003. System odwzorowania powierzchni o nieznanym zarysie. *Prace Instytutu Technologii i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej* 84, 211-216.
- [3] Mikołajczyk T., Nowicki K., 1997. Ocena obrazu zużycia ostrza z wykorzystaniem sieci neuronowych. *Mechatronika*, 829-833.
- [4] Mikołajczyk T., Roguszczyk Ł., 2004. Zastosowanie rozpoznawania obrazu w sterowaniu robotem IRb60. *Seminarium naukowe: Postępy w konstrukcji i sterowaniu. Wydział Mechaniczny ATR, Bydgoszcz* Mała Lucivna, 45.
- [5] Mrzygłód M., Woner R., Smalec Z., 2000. Techniczne systemy wizyjne w przemyśle. *Prace Naukowe Instytutu Technologii Maszyn i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej, Konferencje* 78, 183-186.
- [6] Sawicki P., 2002. Fotogrametryczne systemy do pomiaru punktów w bliskim zasięgu. *Ogólnopolskie Sympozjum Naukowe Fotogrametria i teledetekcja w społeczeństwie informacyjnym, AFKiT 12, Białobrzegi k. Warszawy*.
- [7] www.astrokrak.pl/
- [8] www.gpro.wi.ps.pl/ (Zakład Przetwarzania i Rozpoznawania Obrazów Politechniki Szczecińskiej).
- [9] www.rolanddg.com/PDF/LPX_250.pdf

Recenzował: Dr hab. inż. Piotr Cichosz, prof. PWR

RESEARCH ON IMAGE ANALYSIS & MEASUREMENTS OF CUTTING TOOLS

Summary

At work using analysis of the image to measurements, recognizing and examinations of cutting tools was described. With the digital camera and the specially worked out software they were accomplishing measurements of the lathe tools angles and the cutting edge nose radius. The accuracy of the measurement was being enough for the identification of objects as well as the mark of the measurement in workshop conditions. By image recognition they were establishing the identity of tools basing on contained in the database images. With the artificial neural net they were seeking area tool wear on it image.