

**Tomasz WÓJCICKI, Piotr CZAJKA, Tomasz GIESKO**

Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom

## **AUTOMATYCZNA DETEKCJA WAD USZCZELNIEŃ ŁOŻYSK TOCZNYCH**

### **Słowa kluczowe**

Analiza obrazów, przetwarzanie obrazów, detekcja wad, łożyska toczne, uszczelnienia.

### **Streszczenie**

W artykule przedstawiono techniki detekcji wad występujących w uszczelnkach łożysk tocznych z wykorzystaniem komputerowych metod przetwarzania oraz analizy obrazów. Opisano najczęściej występujące wady uszczelki, jakie pojawiają się podczas procesu ich wytwarzania oraz montażu na linii produkcyjnej. Omówiono podstawy teoretyczne zastosowanych metod. Zaprezentowano przykłady wykorzystania opisanych metod do detekcji wyspecyfikowanych wad. Opisano budowę źródła światła, jego umiejscowienie względem badanego obiektu oraz jego wpływ na skuteczność analizy. Opracowany system został zweryfikowany z wykorzystaniem prawidłowo wykonanych, jak i wadliwych łożysk tocznych.

### **Wprowadzenie**

W ostatnich latach systemy bazujące na automatycznej optycznej inspekcji (*Automation Optical Inspection* – AOI) [1] rozwijają się bardzo dynamicznie. Z jednej strony jest to spowodowane szybkim rozwojem technologicznym w dziedzinie przetwarzania obrazów, z drugiej zaś ciągle taniejącymi kompo-

mentami wchodzącymi w skład tego typu systemów oraz poprawiającymi się ich parametrami technicznymi.

Wprowadzenie systemów inspekcji optycznej do linii produkcyjnych przynosi wiele korzyści takich jak podniesienie jakości wyrobów czy zwiększenie wydajności. Zastosowanie systemów AOI umożliwia wyeliminowanie bezpośredniej ingerencji człowieka na niektórych etapach produkcji poprzez zastąpienie go kamerami cyfrowymi oraz wyspecjalizowanym oprogramowaniem do przetwarzania i analizy obrazów. Automatyczna inspekcja obrazu wykorzystywana jest w takich zadaniach jak biometria, inspekcja półproduktów, kontrola stanów magazynowych, kontrola mobilnych robotów przemysłowych, kontrola jakości produktów żywnościowych, sprzedaż towarów w handlu detalicznym i hurtowym, wsparcie zabiegów medycznych, pomoc osobom upośledzonym wzrokowo i wiele innych. W pracy zaprezentowano wykorzystanie algorytmów AOI do detekcji wad uszczelki łożysk tocznych.

Łożyska są częściami składowymi wielu maszyn, w których często stanowią element krytyczny. Bezawaryjne działanie łożysk w znaczący sposób wpływa na żywotność działania urządzeń, w których są stosowane, stąd też kontrola jakości łożysk przed ich montażem w urządzeniach jest bardzo ważnym elementem.

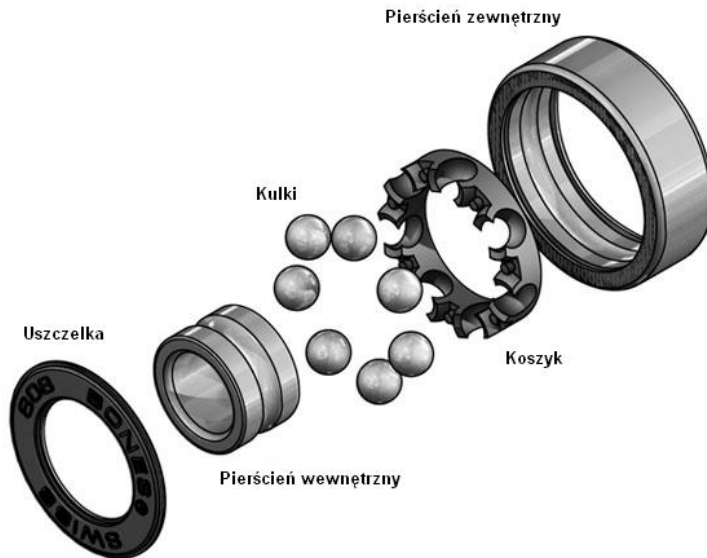
Cyfrowe przetwarzanie obrazów (*Digital Image Processing* – DIP) [2] jest dziedziną cyfrowego przetwarzania sygnałów (*Digital Signal Processing* – DSP), zajmującą się cyfrową reprezentacją obrazu oraz technikami jego przekształcania. Metody przetwarzania obrazów stanowią liczną grupę, jednak tylko niektóre z nich ze względu na swoją uniwersalność znajdują zastosowanie praktyczne. Do grupy tej zaliczane są między innymi algorytmy służące polepszeniu jakości obrazów [3], segmentacja [4], transformacje morfologiczne [3], transformacje liniowe [6].

Analiza obrazów (*Image Analysis* – IA) [7] jest procesem, którego celem jest wydzielenie istotnej z punktu widzenia użytkownika lub procesu informacji zawartej w obrazie docierającym do obserwatora lub detektora. Przeważnie procesowi analizie obrazu towarzyszy radykalna redukcja ilości informacji. Z licznej grupy bajtów, które reprezentują typowy obraz cyfrowy po procesie analizie pozostaje tylko ich ułamek reprezentujący informacje zawarte w obrazie. Analiza obrazu może być wykonywana z wykorzystaniem narzędzi programowych (software) i sprzętowych (hardware) [8].

## 1. Uszczelnienia łożysk tocznych oraz ich wady

W prezentowanym systemie przedmiotem analizy są uszczelki łożysk tocznych typu RS z zabezpieczeniem w postaci metalowej osłony, jak też bez tego zabezpieczenia. Uszczelki RS to uszczelki zewnętrzne, gumowo-metalowe osadzone na pierścieniu zewnętrznym łożyska, produkowane w różnych odmianach. Osadzenie polega na tym, że wargi uszczelnienia opierają się o wybranie (pod-

toczenie) na powierzchni pierścienia zewnętrznego. Uszczelki tego typu należą do grupy uszczelki stykowych i mogą być zabudowane w łożysko z jednej lub dwóch jego stron. Łożyska uszczelnione z obu stron są zazwyczaj wypełniane smarem o dobrych właściwościach antykorozyjnych. Uszczelki mogą występować w różnych kolorach, co ma wpływ na parametry algorytmu detekcji takie jak np. progi segmentacji. Sposób osadzenia oraz wygląd uszczelki typu RS przedstawiony został na rys. 1.

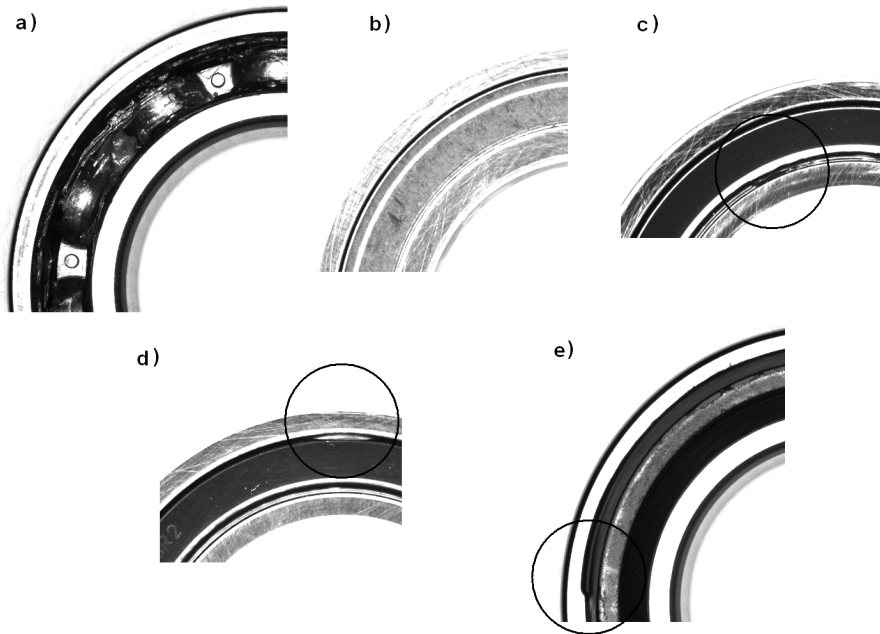


Rys. 1. Budowa łożyska tocznego kulkowego wyposażonego w uszczelkę

Podczas produkcji uszczelki jak i ich montażu w łożyskach mogą powstawać liczne wady. Na podstawie informacji dostarczonych przez producenta oraz w wyniku własnych analiz wadliwych produktów zidentyfikowano następujące typy wad:

- brak uszczelki w łożysku,
- odwrotny montaż uszczelki (nośnikiem na zewnątrz, gumą do środka),
- pomyłkowe wmontowanie uszczelki innego typu (z metalową osłoną),
- wystawanie uszczelki poza gabaryt łożyska,
- ubytki materiału na wardze wewnętrznej uszczelki,
- podwinięcie, załamanie lub wystawanie wargi z kanałka,
- wadliwy montaż uszczelki w postaci tworzenia przez uszczelkę stożka w stosunku do czoła łożyska,
- pofałdowanie powierzchni uszczelki.

Na tej podstawie zostały opracowane algorytmy przetwarzania danych z systemu laserowego i wizyjnego, tak aby jednoznacznie wykrywać i klasyfikować występujące wady. Przykładowe wady zostały przedstawione na rys. 2.



Rys. 2. Przykładowe wady uszczelk łożysk tocznych: a) brak uszczelki; b) uszczelka z metalową osłoną; c) ubytki na wardze wewnętrznej uszczelki; d) podwinięcie wargi zewnętrznej uszczelki; e) wystawianie uszczelki poza gabaryt łożyska

Specyfika obiektu, będącego przedmiotem kontroli oraz liczba i rodzaj występujących wad spowodowały konieczność zastosowania systemu hybrydowego, obejmującego kontrolę wizyjną i laserową. Zostały przeprowadzone badania w celu wyznaczenia skuteczności wykrywania wad za pomocą obu technik. Wiedza ta umożliwiła klasyfikację wad możliwych do wyznaczenia proponowanymi metodami (tab. 1).

Tabela 1. Klasyfikacja wad możliwych do wyznaczenia za pomocą kontroli wizyjnej i laserowej (+ – wada możliwa do wykrycia, – – wada niewykrywalna)

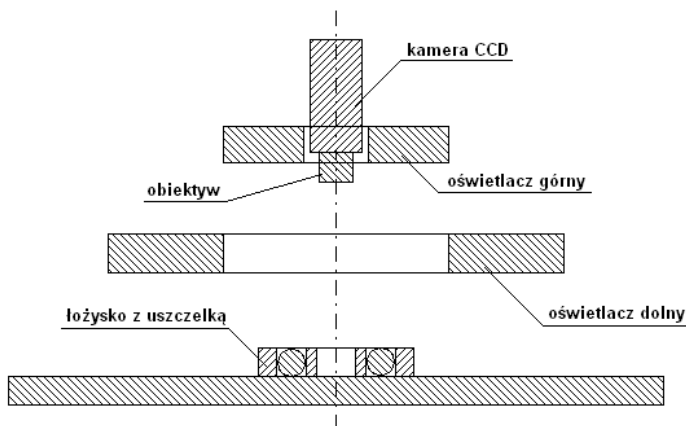
Rodzaj wady	Kontrola wizyjna	Kontrola laserowa
Brak uszczelki	+	+
Odwrotny montaż uszczelki	+	+
Uszczelka innego typu	+	+
Wystawianie uszczelki	–	+
Ubytki na wardze wewnętrznej	+	–
Podwinięcie, załamanie, wystawianie wargi	+	–
Uszczelka ułożona w „stożek”	+	–
Pofałdowanie uszczelki	–	+

Zgodnie z wymogami producenta całkowity czas inspekcji nie może przekraczać 3,5 do 4 sekund, co umożliwi synchronizację z cyklem linii produkcyjnej. System komputerowy zapewnia klasyfikację łożysk na dobre oraz wadliwe, co później umożliwia ich fizyczną segregację.

## 2. Stanowisko do badania wad uszczelnień

Hybrydowa metoda kontroli powoduje, że proces inspekcji składa się z dwóch etapów: kontroli laserowej i wizyjnej następujących kolejno po sobie. Kontrola laserowa polega na pomiarze odległości od obiektu za pomocą głowicy triangulacyjnej. Jest to metoda punktowa, co wymusza konieczność obrotu łożyska w celu przebadania całej powierzchni uszczelki. Kontrola wizyjna odbywa się z użyciem kamery matrycowej, rejestrującej obraz całej powierzchni czołowej wyrobu, dzięki czemu obrót łożyska nie jest potrzebny. W artykule zaprezentowano metodę opartą na kontroli wizyjnej. Z uwagi na konieczność obustronnej inspekcji łożyska, docelowa konstrukcja stanowiska powinna umożliwiać dostęp torów wizyjnych do powierzchni czołowej łożyska po obu jego stronach. Dotychczasowe badania przeprowadzono na uproszczonym stanowisku, w którym łożyska kontrolowane były z jednej strony.

Oświetlenie w systemach maszynowego widzenia jest jednym z kluczowych czynników, od którego zależy jakość rejestrowanych obrazów [9]. Oprócz wyboru metody oświetlenia istotne znaczenie ma natężenie, równomierność rozkładu przestrzennego i stabilność czasowa źródła światła. Przy budowie systemu oświetleniowego należy dążyć do wyznaczenia minimalnej struktury oświetlenia, zapewniającej realizację wszystkich zadań [10]. W przypadku opracowanego rozwiązania zastosowano dwa oświetlacze pierścieniowe złożone z diod LED światła białego. Schemat umiejscowienia oświetlaczy względem kamery oraz obiektu analizy został pokazany na rys. 3.



Rys. 3. Stanowisko do automatycznej detekcji wad w uszczelkach łożysk tocznych

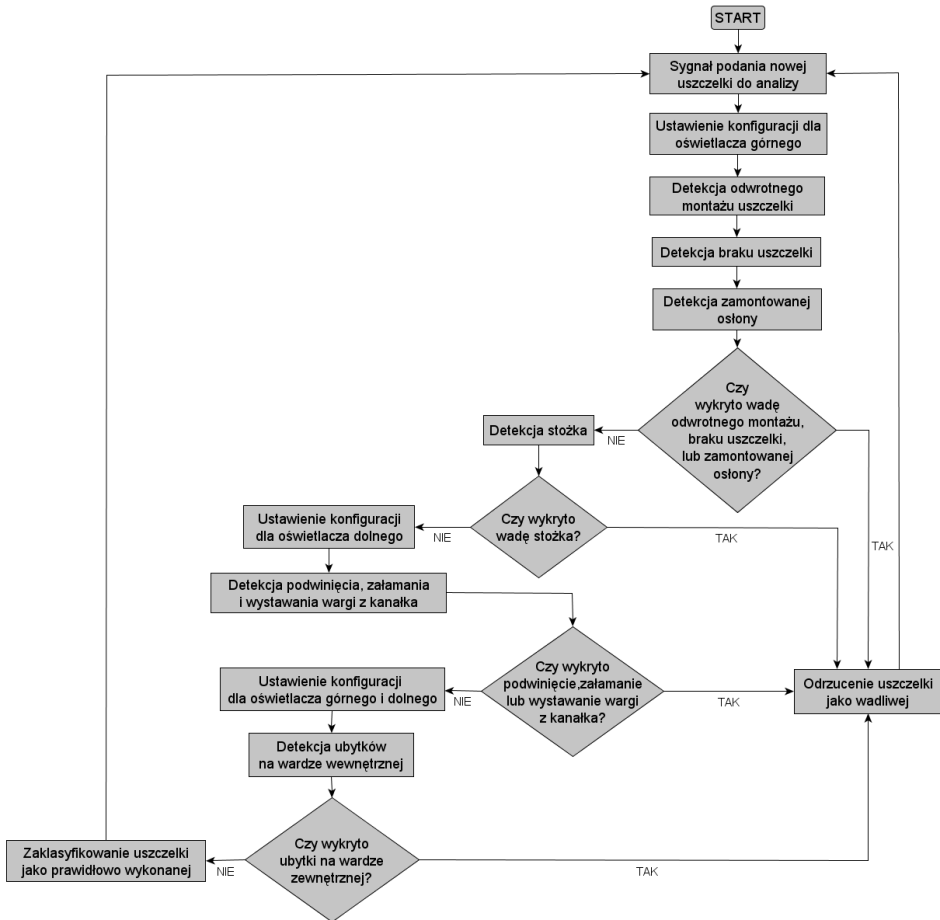
Górny oświetlacz umiejscowiony jest na poziomie kamery. Składa się on z 400 diod LED w obudowie do montażu powierzchniowego o kącie emisji  $\pm 60^\circ$ . Diody zostały umieszczone prostopadle do powierzchni czołowej łożyska. Jest to metoda oświetlenia czołowego (*Front Lighting*) [9, 10]. Dolny oświetlacz znajduje się nisko nad obiektem analizy. Jest to oświetlacz pierścieniowy z otworem wewnętrznym, tak aby nie zaburzać rozkładu światła oświetlenia górnego. Dolny oświetlacz składa się z 360 diod LED w obudowie kopułkowej do montażu przewlekanego o średnicy 5 mm i kącie emisji  $\pm 10^\circ$ . Diody zostały umieszczone w oświetlaczu pod kątem ok.  $15^\circ$  do powierzchni czołowej łożyska. Jest to metoda oświetlenia ukośnego (*Oblique*) [9, 10]. Dla obu oświetlaczy zastosowano matówki w celu wyrównania rozkładu natężenia światła. W zależności od typu rozpoznawanej wady uruchamiany jest oświetlacz górny, dolny lub oba jednocześnie. W celu zapewnienia wyraźnego konturowania łożyska zastosowano jasne tło. W docelowym układzie ze względu na większą odporność na zanieczyszczenia oraz zwiększenie ostrości konturów zostanie zastosowane oświetlenie wsteczne (*Back Lighting*) [9, 10] w postaci podświetlacza dolnego. Obrazy do analizy pozyskiwane są z wykorzystaniem monochromatycznej kamery CCD o rozdzielczości 1000 x 1000 pikseli rejestrującej obraz w 256 odcieniach szarości.

### 3. Metody analizy

Detekcja wad przebiega zgodnie z algorytmem przedstawionym na rys. 4. W algorytmie proces detekcji odbywa się w pętli aż do momentu przerwania jej przez użytkownika lub zadziałania czujników na linii produkcyjnej.

Ważnym elementem procesu detekcji wad jest ustalenie obszarów zainteresowań (*Region Of Interest – ROI*) dla poszczególnych procedur detekcyjnych. Obszary zainteresowań są to fragmenty obrazu, które mają podlegać dalszemu przetwarzaniu, gdyż z punktu widzenia użytkownika zawierają istotne informacje. ROI ustalane są w różnych obszarach w zależności od rodzaju wady. Pozycjonowanie ROI dla procedur detekcyjnych wykonywane jest względem osi symetrii łożyska, która wykrywana jest z wykorzystaniem algorytmu najlepszego dopasowania wzorca do badanego obszaru obrazu, który z kolei jest zależny od konfiguracji oświetlenia łożyska z uszczelką. Dla konfiguracji oświetlenia, w której aktywny jest wyłącznie oświetlacz górny, wzorcem jest pierścień, którego większy promień umiejscowiony jest w połowie szerokości pierścienia wewnętrznego łożyska, zaś mniejszy promień umiejscowiony jest w połowie wewnętrznej fazy pierścienia łożyska. Dla konfiguracji oświetlenia, w której aktywny jest wyłącznie oświetlacz dolny, wzorcem jest pierścień umiejscowiony na uszczelce, którego mniejszy i większy promień znajdują się odpowiednio na największej płaskiej powierzchni uszczelki oraz w połowie wewnętrznego ścięcia uszczelki. W przypadku konfiguracji oświetlenia z aktywnym jednocze-

śnie górnym i dolnym oświetlaczem wzorcem jest pierścień, którego większy promień jest w połowie pierścienia zewnętrznego łożyska, zaś mniejszy znajduje się na wewnętrznej fazie pierścienia zewnętrznego łożyska. Dodatkowo przed procesem pozycjonowania obraz filtrowany jest z wykorzystaniem filtru uśredniającego z maską 3x3.



Rys. 4. Schemat algorytmu detekcji wad w uszczelkach łożysk tocznych

Opracowano następujące algorytmy detekcji poszczególnych rodzajów wad: detekcji odwrotnie zamontowanej uszczelki, braku uszczelki w łożysku, zamontowanej osłony, stożka, podwinięcia, załamania, wystawiania wargi z kanałką, ubytków na wardze wewnętrznej.

#### 4. Detekcja odwrotnie zamontowanej uszczelki

Wada w postaci odwrotnie zamontowanej uszczelki w łożysku jest jedną z najprostszych wad do detekcji. Wada tego typu wykrywana jest z wykorzystaniem oświetlacza górnego. Dla wady tej ROI stanowi pierścień, którego większy promień opiera się na wewnętrznej krawędzi pierścienia zewnętrznego łożyska, mniejszy promień zaś opiera się na zewnętrznej krawędzi pierścienia wewnętrznego łożyska. ROI poddawany jest segmentacji z doświadczalnie dobranymi progami, które są zależne od koloru uszczelki. Dla uszczelki o barwie czarnej dolny i górny próg segmentacji wynoszą odpowiednio 35 oraz 255. Kolejnym krokiem jest zliczenie białych oraz czarnych pikseli. Jeśli liczba białych pikseli jest mniejsza niż zdefiniowany próg, wówczas łożysko uznawane jest za wadliwe. Dla czarnych uszczelki próg ten wynosi 114 tysięcy.

#### 5. Detekcja braku uszczelki w łożysku

Brak uszczelki w łożysku wykrywany jest podobną metodą jak w przypadku odwrotnie zamontowanej uszczelki. ROI poddawany jest segmentacji z doświadczalnie dobranymi progami, które są zależne od koloru uszczelki. Dla uszczelki o barwie czarnej dolny i górny próg segmentacji wynoszą odpowiednio 6 oraz 230. Białe oraz czarne piksele są zliczane. Jeśli liczba białych pikseli jest mniejsza niż założony próg, który dla uszczelki w kolorze czarnym wynosi 170 tysięcy, wówczas uszczelka uznawana jest za uszczelkę z „podejrzeniem” wady. Ponieważ próg liczby białych pikseli jest większy dla „podejrzenia” wady polegającej na braku uszczelki niż próg dla wady polegającej na odwrotnie zamontowanej uszczelce, aby odróżnić jeden rodzaj wady od drugiej przyjęto założenie, że jeśli progi zostały przekroczone jednocześnie wówczas występuje wada polegająca na braku uszczelki.

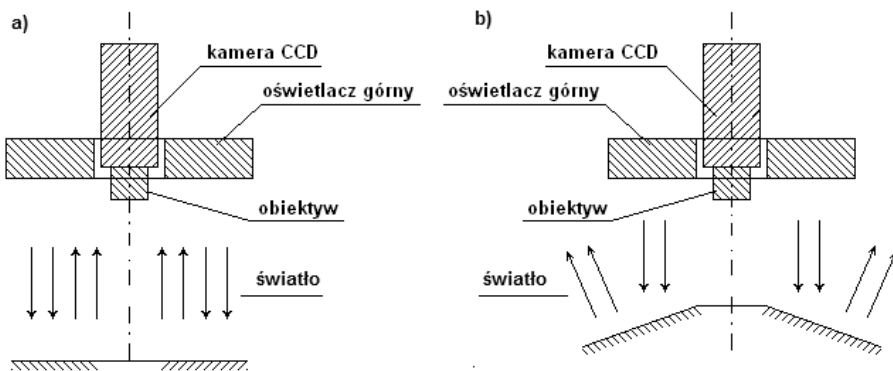
#### 6. Detekcja zamontowanej osłony

Wykrywanie obecności metalowej osłony odbywa się z wykorzystaniem oświetlacza górnego. ROI ustalany jest tak jak dla przypadków braku uszczelki i odwrotnie zamontowanej uszczelki. Kolejnym krokiem jest wykonanie segmentacji dla ROI z doświadczalnie dobranymi progami. Dla uszczelki o barwie czarnej progi te są takie same jak w przypadku detekcji braku uszczelki i wynoszą 6 oraz 230. Białe oraz czarne piksele są zliczane. Jeśli liczba białych pikseli jest mniejsza niż zdefiniowany próg, który przykładowo dla uszczelki w kolorze czarnym wynosi 30 tysięcy, wówczas uszczelka uznawana jest za uszczelkę z „podejrzeniem” wady. Jeśli wcześniej wykryto wadę polegającą na braku uszczelki oraz uszczelka jest „podejrzana” o wadę w postaci zamontowanej osłony, wówczas przyjmowane jest, że uszczelka jest wadliwa i posiada wadę w postaci zamontowanej osłony.



## 7. Detekcja „stożka”

„Stożek” jest wadą montażu uszczelki w łożysku charakteryzującą się tym, że powierzchnia uszczelki tworzy w stosunku do czoła łożyska kształt ściętego stożka. „Stożek” wykrywany jest podobnie jak w poprzednio opisanych przypadkach z wykorzystaniem oświetlacza górnego. Idea metody opiera się na założeniu, że ilość światła, jaka powraca do kamery po odbiciu od uszczelki ułożonej w stożek, jest mniejsza niż dla uszczelki zamontowanej prawidłowo (rys. 5).



Rys 5. Idea metody wykrywania wady w postaci uszczelki ułożonej w stożek: a) uszczelka prawidłowa; b) uszczelka ułożona w stożek

W przypadku „stożka” nie jest wykonywana operacja segmentacji. Zamiast tego liczona jest średnia jasność pikseli, która następnie przyrównywana jest do zdefiniowanego progu, zależnego od koloru uszczelki. Gdy średnia jasność pikseli ROI jest mniejsza niż 45 (dla uszczelki w kolorze czarnym), wówczas stwierdza się występowanie wady w postaci stożka.

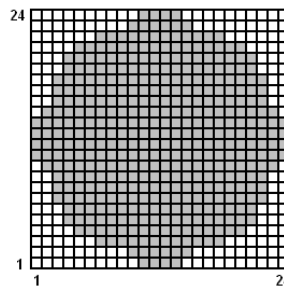
## 8. Detekcja podwinięcia, załamania i wystawania wargi z kanałka

Wady tego typu wykrywane są z wykorzystaniem oświetlacza dolnego. ROI dla tego przypadku zdefiniowany jest jako pierścień, którego większy promień opiera się o mniejszy promień pierścienia zewnętrznego łożyska. Mniejszy promień ROI opiera się zaś na wgłębieniu uszczelki, które wyznacza granice wargi zewnętrznej uszczelki. ROI poddawany jest procedurze segmentacji z odgórnie zdefiniowanymi progami zależnymi od koloru uszczelki. Dla uszczelki w kolorze czarnym próg dolny oraz górny segmentacji wynoszą odpowiednio 80 oraz 255. Po tej operacji wady widoczne są jako białe plamy, jednakże poza nimi znajdują się również plamy, które nie reprezentują wad. W celu wyeliminowania szumu, który stanowią plamy niebędące wadami, obraz jest filtrowany z wykorzystaniem algorytmu erozji z użyciem elementu strukturyzującego w postaci

macierzy kwadratowej o rozmiarze 5x5. Kolejną operacją jest pomiar obszaru największej plamy. Jeśli obszar plamy przekroczy odgórnie zdefiniowany próg, wówczas przyjmowane jest, że uszczelka posiada wadę. Próg ten ustalany jest jako 100 pikseli.

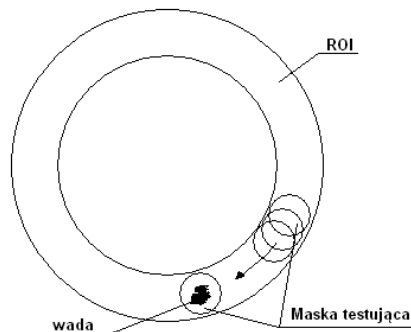
### 9. Detekcja ubytków na wardze wewnętrznej

Ubytki na wardze wewnętrznej wykrywane są z wykorzystaniem obydwu oświetlaczy działających równocześnie. ROI zdefiniowany jest jako pierścień, którego większy promień opiera się o wgłębienie uszczelki wyznaczające granice wargi wewnętrznej, zaś mniejszy promień pierścienia stanowiącego ROI zachodzi na pierścień wewnętrzny łożyska. Detekcja wady odbywa się z wykorzystaniem maski testującej, którą stanowi macierz o rozmiarze 24x24. Wygląd maski przedstawiony został na rys. 6.



Rys. 6. Maska testująca wykorzystana w algorytmie detekcji ubytków na wardze wewnętrznej uszczelki

Piksele z ROI testowane są w wykorzystaniu maski testującej w celu wyznaczenia ich średniej wartości intensywności. Maskę testującą przemieszczana jest w ROI tak, aby przetestować wszystkie piksele tego obszaru. Sposób poruszania się maski testującej w ROI przedstawiono na rys. 7.

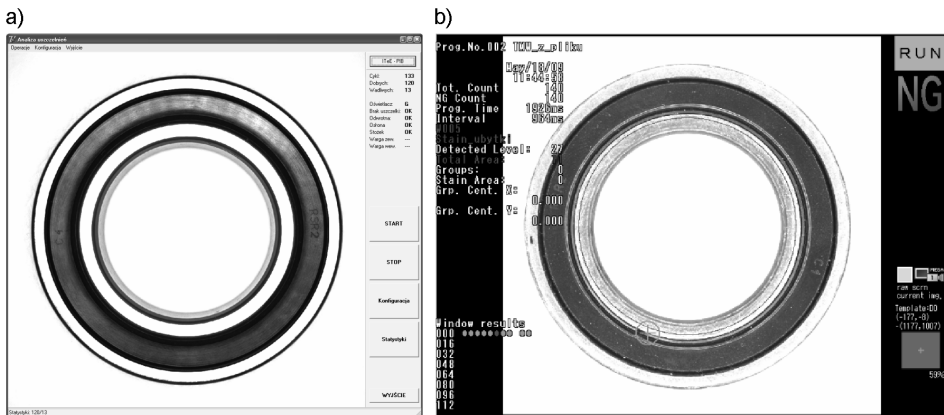


Rys. 7. Zasada działania algorytmu detekcji ubytków na wardze wewnętrznej uszczelki z wykorzystaniem maski testującej

Jeśli średnia intensywność pikseli przekracza zdefiniowany próg, wówczas przyjmowane jest, że testowana uszczelka ma wadę. Próg ten ustalany jest w zależności od koloru uszczelki i dla uszczelki w kolorze czarnym wynosi 10.

## 10. Implementacja

Implementacji rozwiązania dokonano w dwóch wariantach (rys. 8). W pierwszym wariantcie oprogramowanie wykonane zostało z użyciem pakietu Delphi i jest przeznaczone do pracy w systemach Microsoft Windows.



Rys. 8. Przykłady aplikacji do automatycznej detekcji uszczelki łożysk tocznych: a) implementacja w Delphi dla systemu MS Windows; b) implementacja w systemie Keyence

Zalecana minimalna konfiguracja komputera oraz systemu operacyjnego niezbędna do prawidłowej pracy oprogramowania jest następująca: mikroprocesor klasy Pentium IV, 256 MB pamięci typu RAM, 20 MB wolnej przestrzeni na dysku twardym, rozdzielczość karty graficznej 1024x764 pikseli, karta typu frame-grabber umożliwiającą przechwytywanie obrazu z częstotliwością nie mniejszą niż 1 Hz.

W drugim wariantcie oprogramowanie zostało osadzona na urządzeniu Keyence CV-5000, które jest uniwersalnym systemem optycznej inspekcji bazującym na obrazie pozyskiwanym z jednej lub kilku kamer równocześnie. System Keyence zbudowany jest z jednostki centralnej, kamery, monitora, pilota zdalnego sterowania oraz zasilacza. W skład jednostki centralnej, będącej też jednostką kontrolującą, wchodzi szybki procesor wykonany w technologii RISC wspierany przez dwa procesory sygnałowe DSP przeznaczone do obróbki obrazu. Moduł kontrolera został zaopatrzony w następujące interfejsy: port równoległy, czytnik kart pamięci typu SD, port USB, port szeregowy RS-232C, złącze

sieciowe w standardzie Ethernet, specjalne złącze rozszerzające, złącze do podłączenia pilota zdalnego sterowania, wyjście VGA do podłączenia zewnętrznego monitora, złącza do podłączenia kamer.

### **Podsumowanie**

Opracowany automatyczny system umożliwia automatyczną detekcję wybranych wad uszczelnień łożysk tocznych metodą optycznej inspekcji. Zaprezentowane w artykule rozwiązanie spełnia swoją funkcję zgodnie z przyjętymi założeniami, co potwierdzają przeprowadzone analizy. System komputerowy umożliwia automatyczne klasyfikowanie uszczelnień z prędkością co najmniej jednej na dwie sekundy. Opisane w artykule rozwiązanie jest elastyczne i przy niewielkich modyfikacjach może znaleźć zastosowanie np. w badaniu uszczelnień zaworów lub tłoków. Kolejnym etapem prac będzie integracja systemów kontroli wizyjnej i laserowej w ramach jednego urządzenia. Przeprowadzone zostaną również badania weryfikacyjne możliwości poprawnej pracy obu modułów w warunkach symulujących oddziaływanie środowiskowe w postaci wibracji, zanieczyszczeń, pozostałości smaru i płynów technologicznych. Pozytywne wyniki prac umożliwią budowę systemu kontroli uszczelnień łożysk tocznych w wykonaniu przemysłowym.

### **Bibliografia**

1. Tadeusiewicz R.: Systemy wizyjne robotów przemysłowych. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 1992.
2. Batchelor B., Waltz F.: Intelligent Machine Vision, Techniques, Implementations and Applications. Springer-Verlag, London, 2001.
3. Vorobel R., Stoińska M.: Adaptacyjna metoda poprawy kontrastu obrazu. Automatyka, Tom 9, Zeszyt 3, 2005.
4. Liao P.S., Chen T.S., Chung P.C.: A fast algorithm for multilevel thresholding. Journal of Information Science and Engineering 17, s. 713-727, 2001.
5. Nieniewski M.: Morfologia matematyczna w przetwarzaniu obrazów. Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa 1998.
6. Szymocha A.: Przestrzeń i ruch. Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 1997.
7. Tadeusiewicz R., Korohoda P.: Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów. Wydawnictwo Fundacji Postępu Telekomunikacji, Kraków 1997.
8. Wiatr K.: Akceleracja obliczeń w systemach wizyjnych. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2003.
9. VanDommelen C. H.: Choose the Right Lighting for Inspection. Test & Measurement World, 10/1/1996.

10. Giesko T.: Metody oświetlania w systemach maszynowego widzenia 3-D. Problemy Eksploatacji, Radom 2005, 1, s. 43–51.

Recenzent:

**Marek GAWRYSIAK**

### **Automated detection of roller bearings defects**

#### **Key-words**

Image analysis, image processing, defects detecting, roller bearings, gaskets.

#### **Summary**

The paper presents techniques for the detection of defects in roller bearings gaskets using computer methods of processing and image analysis. The article describes gaskets defects that often appear during production and assembling processes. The authors discuss the theoretical basics of applied methods. The article presents examples of the use of computer methods for the detection of specified defects. The text describes the construction of the light sources and their position with reference to examined objects as well as influence of lights on effectiveness of analysis.

