

# INTELIGENTNE PRZETWARZANIE DANYCH W PROCESACH SKANOWANIA OBIEKTÓW DLA POTRZEB RECYKLINGU

Edward CHLEBUS, Bolesław JODKOWSKI, Kamil KROT, Michał KULIBERDA,  
Mateusz MUSIAŁ

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono opis zagadnień związanych z przetwarzaniem danych numerycznych podczas skanowania i digitalizacji obiektów w procesach recyklingu. Przedstawiono ogólny opis projektowanej linii technologicznej do recyklingu chłodziarek sprężarkowych. Jednym z ważniejszych etapów w proponowanym sposobie recyklingu jest przeprowadzenie procesu skanowania obudowy chłodziarki i przesłania otrzymanych w ten sposób danych do dalszych etapów przetwarzania. Opisano algorytm procesu skanowania, filtrację danych oraz wychwytywanie kluczowych parametrów. Ponadto zaprezentowano elementy składowe bazy danych, gdzie dane po zeskanowaniu będą przechowywane.

**Słowa kluczowe:** recykling, systemy wizyjne, przetwarzanie danych.

## 1. Wprowadzenie

Recykling artykułów gospodarstwa domowego, a w szczególności chłodziarek sprężarkowych jest zagadnieniem niezwykle istotnym z punktu widzenia ochrony środowiska naturalnego. Największym zagrożeniem jest obecny w chłodziarkach starego typu związek chemiczny – dichlorodifluorometan CFC-12 (R-12). Związek ten zaliczany do węglowodorów alifatycznych nazywanych freonami niekorzystnie działa na środowisko naturalne – przypisuje się mu powodowanie spadku stężenia ozonu ( $O_3$ ) w stratosferze atmosfery ziemskiej - powiększanie tzw. dziury ozonowej. Z uwagi na to wprowadzono stopniowe ograniczenia w stosowaniu tych substancji, a obecnie obowiązuje zakaz ich stosowania w nowych produktach.

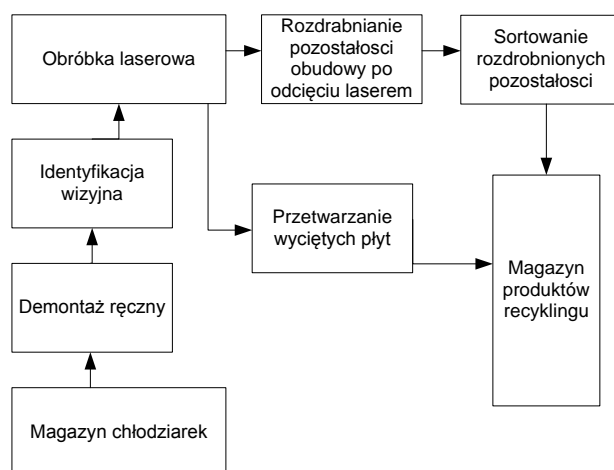
Opracowano Dyrektywę Unii Europejskiej dotyczącą utylizacji odpadów elektrycznych i elektronicznych – WEEE (*ang. Waste Electrical and Electronic Equipment*) regulującą zasady postępowania z chłodziarkami wycofanymi z eksploatacji. Procesy recyklingu chłodziarek mogą być przeprowadzane tylko w wyspecjalizowanych zakładach przetwarzania w zgodzie z lokalnymi uwarunkowaniami prawnymi [1]. W obecnie funkcjonujących liniach do recyklingu główny nacisk kładzie się na usunięcie z urządzenia niebezpiecznych dla środowiska czynników chłodzących. W kolejnych etapach dąży się do usunięcia oleju ze sprężarki, oraz potraktowania jej jako złomu wraz z osprzętem. Następne etapy recyklingu to destrukcja obudów chłodziarek, końcowe stanowiska linii zakładają sortowanie rozdrobnionych materiałów. W Instytucie Technologii Maszyn i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej prowadzony był projekt „Linia technologiczna do demontażu sprzętu AGD z wykorzystaniem obróbki laserowej” WND-POIG.01.03.01-02-046/08 współfinansowany przez fundusze Unii Europejskiej w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, lata 2007-2013. Prowadzone prace zmierzały do budowy linii technologicznej do recyklingu chłodziarek z innowacyjnymi rozwiązaniami w zakresie kolejnych etapów recyklingu. Jednym z takich etapów, dotychczas niespotykanym w

zastosowaniach związanych z recyklingiem chłodziarek, jest identyfikacja wizyjna obudów chłodziarek i przetwarzanie danych po skanowaniu.

## 2. Recykling chłodziarek

Linia technologiczna do recyklingu chłodziarek składa się z następujących kluczowych stanowisk rys. 1.:

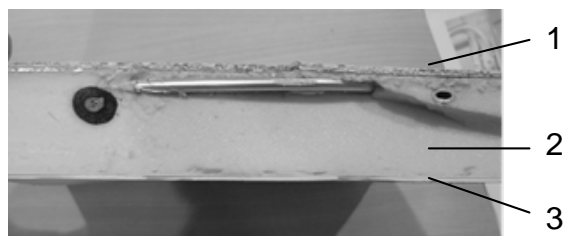
- magazyn chłodziarek,
- demontaż ręczny z usunięciem czynnika chłodzącego i osprzętu chłodziarki (półki, szuflady, drzwi, skraplacz, sprężarka),
- identyfikacja wizyjna obudowy (pozycjonowanie, skanowanie, przetwarzanie danych, zapis w bazie danych),
- obróbka laserowa obudowy (na podstawie danych ze skanowania wycinanie robotem z głowicą laserową płyt z boków obudowy chłodziarki),
- rozdrabnianie i sortowanie pozostałości obudowy po obróbce laserowej (rozdrabniarka wałowa, separatory magnetyczne, prądów wirowych),
- przetwarzanie wyciętych płyt z obudowy chłodziarki,
- magazyn produktów recyklingu.



Rys. 1. Schemat linii do recyklingu chłodziarek

Innowacyjne podejście do zagadnień recyklingu w przedstawianym rozwiązaniu dotyczy dążenia do przywrócenia funkcji użytkowych jak największej części przetwarzanego urządzenia z pominięciem etapu destrukcji i separacji [2]. W tym celu szczególną uwagę zwrócono na obudowy chłodziarek, które stanowią największą objętościowo część urządzeń. Rozpatrując strukturę obudowy chłodziarki jest to kompozyt warstwowy. Funkcje, które muszą spełniać obudowy to przede wszystkim zapewnienie sztywności urządzenia, zapewnienie izolacji termicznej wnętrza urządzenia od środowiska eksploatacji, umożliwienie montażu instalacji chłodzących oraz elektrycznych wewnątrz kompozytu [3]. Typowa budowa kompozytu warstwowego to: zewnętrzne poszycie z

blachy stalowej, warstwa izolacyjnej ze spienionego poliuretanu oraz wewnętrznej warstwy z tworzywa sztucznego. Strukturę omawianego kompozytu przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Przekrój kompozytu warstwowego obudowy chłodziarki: 1 – blacha stalowa, 2 – pianka poliuretanowa, 3 - plastik

Izolacyjne własności warstwowego kompozytu można wykorzystywać do innych celów np. w budownictwie do izolacji pomieszczeń. Konieczne jest jednak wycinanie powtarzalnych kształtów z obudów chłodziarek. Do tego celu zastosowano obróbkę laserową umożliwiającą wycinanie dowolnych kształtów z boków obudów chłodziarek. Prowadzenie wiązki laserowej realizowane jest przez robota [4]. Odpowiedni program sterujący robotem oraz nastawy pracy lasera uzależnione są od obudowy chłodziarki, która aktualnie znajduje się na linii. Konieczne zatem okazało się zastosowanie systemu wizyjnego oraz inteligentne przetwarzanie danych ze skanera. Dane te wykorzystywane będą do właściwego przeprowadzenia procesu laserowego wycinania.

### 3. Skanowanie obudów chłodziarek

Identyfikacja wizyjna obudowy chłodziarki powinna doprowadzić do otrzymania przestrzennego zbioru punktów opisującego geometrię obudowy. Przekształcenia współrzędnych punktów zmierzają do wykrycia grubości ścian obudowy, oraz lokalizacji przegrody pomiędzy przestrzenią chłodziarki i zamrażarki.

Do skanowania stosowano urządzenie LMS 400 Laser Measurement System. Jest to dalmierz wykonujący pomiary w układzie biegunowym. Pojedyncza seria pomiarów dostarcza informacji o kącie i odległości wykrytych punktów, leżących na obiektach odbijających światło. Tak wykonany pomiar dostarcza danych dwuwymiarowych. W celu uzyskania informacji w trzech wymiarach, należy wykonać ciąg pojedynczych serii pomiarów, przemieszczając skaner w poprzek linii skanowania.

Dane ze skanera zawierają informacje związane z protokołem komunikacji i danymi na temat stanu cyfrowych wejść i wyjść skanera oraz odcienia odbitego światła.

Informacje te, z punktu widzenia stanowiska, są zbędne. Skaner dostarcza w pojedynczym cyklu informacji na temat jednej zeskanowanej linii. Po każdej przesłanej linii przesyłany jest stan enkodera (podłączonego zewnątrz) podczas pomiaru. Punkty należące do zmierzonej linii przesyłane są we współrzędnych biegunowych (przesyłane są kolejne odległości do kolejnych punktów, a kąt podany jest osobno). Zestawienie informacji biegunowych z informacją o stanie enkodera, przy założeniu ruchu liniowego skanera tworzy przestrzeń cylindryczną, w jakiej podawane są współrzędne punktów zmierzonej obudowy chłodziarki.

W celu ułatwienia operowania danymi oraz użycia konkretnych metod przetwarzania proponowane jest pominięcie zbędnych danych i przekształcenie informacji do dwuwymiarowej tablicy zgodnie z tab. 1.

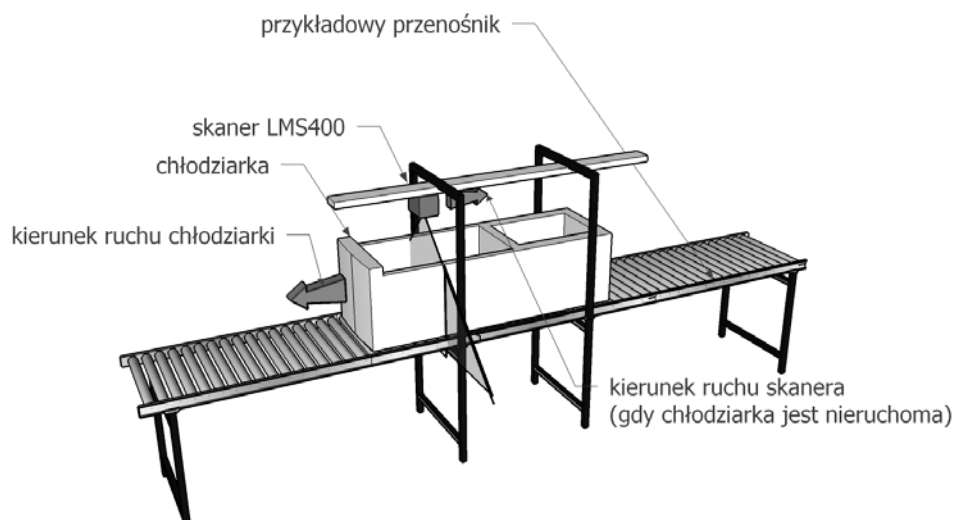
Tab. 1. Propozycja reprezentacji chmury punktów odebranej ze skanera LMS 400

0	$(EncoderPosition \ x) * (Współczynnik \ położenia \ liniowego)$	$(StartingAngle) + 0 * (AngularStepWidth)$	$(Distance \ 0) * (DistanceScaling)$
1	$(EncoderPosition \ x) * (Współczynnik \ położenia \ liniowego)$	$(StartingAngle) + 1 * (AngularStepWidth)$	$(Distance \ 1) * (DistanceScaling)$
2	$(EncoderPosition \ x) * (Współczynnik \ położenia \ liniowego)$	$(StartingAngle) + 2 * (AngularStepWidth)$	$(Distance \ 2) * (DistanceScaling)$
...	...	...	...
n	$(EncoderPosition \ x) * (Współczynnik \ położenia \ liniowego)$	$(StartingAngle) + n * (AngularStepWidth)$	$(Distance \ n) * (DistanceScaling)$

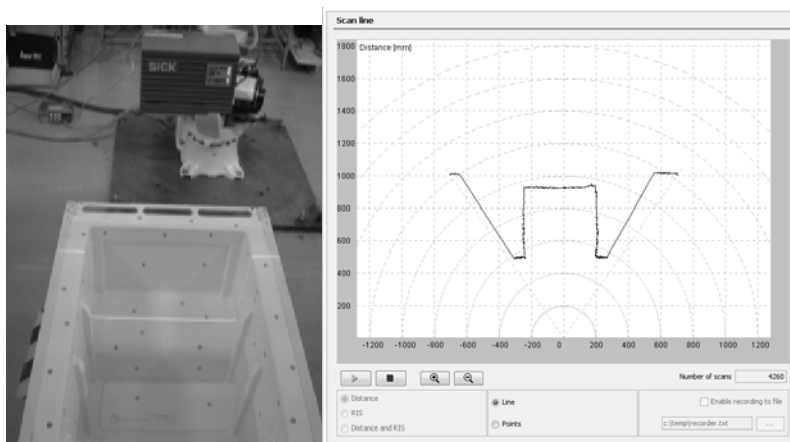
Użyty w tabeli „Współczynnik położenia liniowego” stanowi informację na temat związku wychylenia enkodera z rzeczywistym przemieszczeniem skanera LMS400. Symbol „x” przy parametrze EncoderPosition oznacza numer mierzonej linii. Ostateczna postać powyższej struktury danych powinna zawierać kolejno wszystkie zmierzone linie oraz trzy kolumny oraz  $n * liczba\_linii$  wierszy.

Struktura danych z tabeli 1 obejmuje zeskanowaną chmurę punktów gotową do dalszego przetwarzania.

Schemat procesu skanowania chłodziarki przedstawiono na rys. 3, rzeczywisty przebieg skanowania – rys. 4.

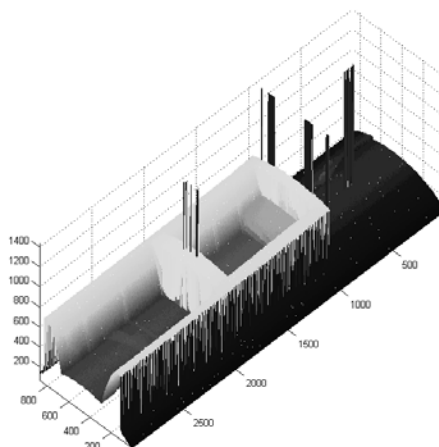


Rys. 3. Schemat procesu skanowania obudowy chłodziarki skanerem LMS 400



Rys. 4. Skanowanie obudowy chłodziarki skanerem LMS 400 – po lewej, wizualizacja aktualnych danych ze skanera – po prawej

Przeprowadzenie serii pomiarów i ułożenie ich na osi Y (wzdłuż której następował ruch) umożliwiło wizualizację danych w postaci wykresów 3D – rys. 5.



Rys. 5. Wyniki pomiarów. Jasno zielony kolor określa duże wartości osi Z. Ciemno niebieski – małe wartości. Wykres przedstawia chłodziarkę w rzucie izometrycznym

Na powyższym rysunku można zauważyć błędy pomiarowe, które nie wpływają jednak znacząco na użyteczność uzyskanych wyników.

#### 4. Przetwarzanie danych

Maksymalny rozmiar chmury punktów to  $1000 \text{ (linii)} * 254 \text{ (punkty w linii)} = 254000$  punktów. Decyzja o dokładniejszym skanowaniu chłodziarki może tę liczbę podwoić.

Zmiana metod pomiarowych na bardziej dokładne może jeszcze dodatkowo tę liczbę zwielokrotnić. W przypadku operacji takich jak likwidacja pojedynczych zakłóceń – samotnych punktów wywołanych fałszywymi pomiarami, konieczna jest analiza sąsiedztwa punktów. Analiza sąsiedztwa punktów wiąże się z obliczeniem odległości pomiędzy każdym z nich. Taki proces wymagałby przeprowadzenia operacji liczenia odległości  $6,45 * 10^{10}$  razy.

W celu zmniejszenia liczby koniecznych operacji, do realizacji niektórych zadań proponowane jest przekształcenie modelu do postaci matrycy 3D o stałej rozdzielczości. Wartości poszczególnych komórek są zwiększane o „1”, w przypadku, gdy kolejne punkty należące do chmury są objęte ich geometrycznym zasięgiem. Poniższe rozważania wyjaśniają ten mechanizm:

- dana jest matryca 3D o rozdzielczości  $A \times B \times C$  komórek i geometrycznym kształcie prostopadłościanu,
- komórki matrycy ponumerowane są przy pomocy indeksów  $indA, indB, indC$ ,
- dane są wymiary geometryczne matrycy  $dimA, dimB, dimC$ , wyznaczone w następujący sposób:

$$\begin{aligned} dimA &= \max_m p_{m_x} - \min_m p_{m_x}, \\ dimB &= \max_m p_{m_y} - \min_m p_{m_y}, \\ dimC &= \max_m p_{m_z} - \min_m p_{m_z}. \end{aligned} \quad (1)$$

- gdzie  $p_{mi}$  jest  $i$ -tą współrzędną ( $i = x, y, z$ ) punktu o numerze  $m$  należącego do zeskanowanej chmury. W praktyce wymiary matrycy obejmują najbardziej oddalone od siebie punkty należące do chmury, w kierunkach osi X, Y oraz Z,
- obszar obejmowany przez każdą z komórek stanowi prostopadłościan, którego wymiary definiowane są równaniem:

$$size_n = \left( \frac{dimA}{A}, \frac{dimB}{B}, \frac{dimC}{C} \right). \quad (2)$$

- gdzie  $n$  stanowi numer danej komórki matrycy,
- współrzędne punktu początkowego każdej komórki matrycy definiowane są równaniem:

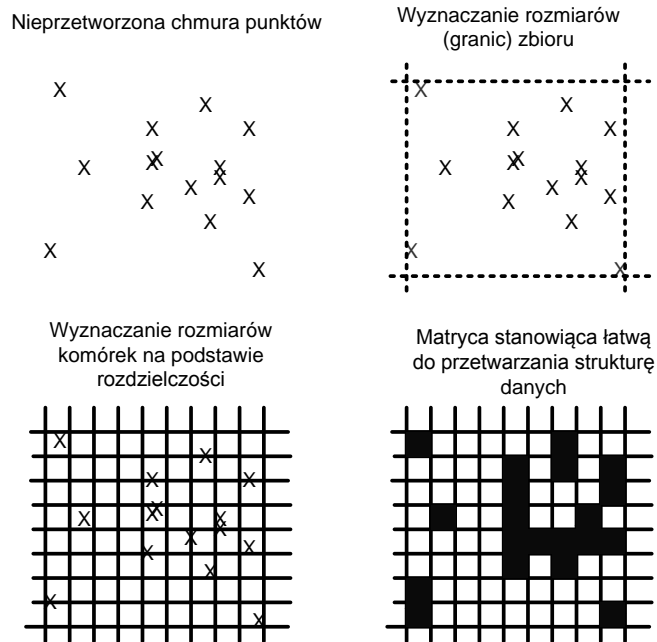
$$pos_n = \left( \frac{dimA}{A} \cdot indA, \frac{dimB}{B} \cdot indB, \frac{dimC}{C} \cdot indC \right). \quad (3)$$

- gdzie  $n$  stanowi numer danej komórki matrycy,
- indeksy komórki do której należy dany punkt „zapisać”, obliczane powinny być w następujący sposób:

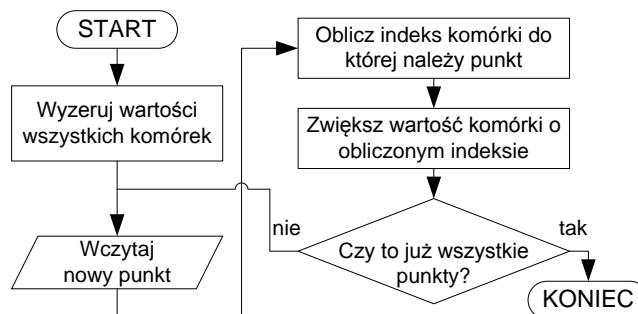
$$indA_{zapis} = \left\lfloor \frac{punk\ t_{m_x}}{dimA} \right\rfloor. \quad (4)$$

- pozostałe indeksy oblicza się analogicznie.

Na rys. 6 przedstawiono metodę przekształcenia chmury punktów do matrycy, w uproszczonej wersji 2D. Algorytm przekształcenia chmury punktów w matrycę 3D został przedstawiony na rys. 7. Pozwala on obliczyć liczbę punktów chmury punktów mieszczących się w obszarze pojedynczego elementu matrycy. Liczba ta decyduje o wartości pojedynczej komórki matrycy. Przedstawiony algorytm bazuje na współrzędnych kartezjańskich.



Rys. 6. Metoda przekształcenia chmury punktów do postaci macierzy



Rys. 7. Schemat blokowy algorytmu zliczającego liczbę punktów w poszczególnych elementach macierzy 3D

W celu jego łatwej realizacji konieczne będzie przekształcenie struktury danych z tab. 1 do struktury danych opisanych poniższymi równaniami:

$$\begin{aligned}
 p_{m_z} &= EP_i \cdot WPL, \\
 \alpha &= n \cdot ASW - \frac{NMV \cdot ASW}{2}, \\
 p_{m_x} &= Dist_n \cdot DS \cdot \sin(\alpha), \\
 p_{m_y} &= Dist_n \cdot DS \cdot \cos(\alpha)
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

- gdzie:
- $EP_i$  – pozycja enkodera (EncoderPosition)  $i$ -tego pomiaru,
- $WPL$  – współczynnik położenia liniowego (rzeczywisty stosunek przemieszczenia do wartości enkodera),
- $ASW$  – *AngularStepWidth* – skok kątowy pomiędzy poszczególnymi pomiarami,
- $NMV$  - *NumberMeasuredValues* – ilość punktów w zmierzonej linii,
- $DS$  – *DistanceScaling* - współczynnik skali zmierzonej odległości,
- $Dist_n$  - *Distance\_n* – odległość do  $n$ -tego punktu w zmierzonej linii,
- $n$  – numer punktu pomiarowego.

## 5. Podsumowanie

W artykule opisano wybrane zagadnienia związane z innowacyjnymi metodami w recyklingu chłodziarek. Szczegółowo scharakteryzowano proces skanowania obudów chłodziarek oraz przekształcania danych ze skanera. Przedstawiona metoda umożliwiła skutecznie wykryć kluczowe elementy obudowy chłodziarki i docelowo zapisać je w postaci współrzędnych punktów w bazie danych. Dane zgromadzone w taki sposób mogą być wykorzystywane w następnych etapach recyklingu do wycinania laserowego powtarzalnych kształtów z boków obudowy.

## Literatura

1. Johansson J., Luttrupp C.: Material hygiene: improving recycling of WEEE demonstrated on dishwashers. *Journal of Cleaner Production*, 17, 2009, 26–35.
2. Ruan J., Xu Z.: Environmental friendly automated line for recovering the cabinet of waste refrigerator. *Waste Management*, 31, 2011, 2319–23262.
3. Zia K.M., Bhatti H.N., Bhatti I.A.: Methods for polyurethane and polyurethane composites, recycling and recovery. *A review Reactive & Functional Polymers*, 67, 2007, 675–692.
4. Chlebus E., Krot K.: Laser cutting of sandwich composite materials. *Production engineering innovations and technologies of the future Institute of Production Engineering and Automation. Wrocław University of Technology*, 2011, 229-232.

Prof. dr hab. inż. Edward CHLEBUS

Mgr inż. Bolesław JODKOWSKI

Dr inż. Kamil KROT

Dr inż. Michał KULIBERDA

Mgr inż. Mateusz MUSIAŁ

Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji

Politechnika Wrocławska

50-371 Wrocław, ul. Ignacego Łukasiewicza 5

tel.: (0-71) 320 26 00

fax.: (0-71) 328 06 70

e-mail: edward.chlebus@pwr.wroc.pl

boleslaw.jodkowski@pwr.wroc.pl

kamil.krot@pwr.wroc.pl,

michal.kuliberda@pwr.wroc.pl

mateusz.musial@pwr.wroc.pl