

## **ANALIZA OBRAZU POWIERZCHNI OBROBIONEJ DO CELÓW ESTYMACJI PARAMETRÓW TEJ POWIERZCHNI**

**Anna ZAWADA-TOMKIEWICZ\***

\* Zakład Monitorowania Procesów Technologicznych, Wydział Mechaniczny,  
Politechnika Koszalińska, ul. Raclawicka 15-17, 75-620 Koszalin

[anna.zawada-tomkiewicz@tu.koszalin.pl](mailto:anna.zawada-tomkiewicz@tu.koszalin.pl)

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono zagadnienia modelowania obrazu powierzchni obrobionej. Zostały przeanalizowane wybrane metody opisu obrazu dla powierzchni po toczeniu. Wyróżniono metody profilowe i obszarowe. Zastosowano metodę pruningu OBSM do wybrania, które parametry obrazu są najbardziej przydatne w estymacji parametru Ra chropowatości powierzchni obrobionej.

### **1. WPROWADZENIE**

Powierzchnia obrobiona stanowi ważny element jakości wyrobu. Parametry chropowatości powierzchni są ważne z punktu widzenia zjawisk tarcia, kontaktu, przepływu ciepła, sztywności połączeń czy dokładności pozycjonowania. Wśród wielu rozwijanych metod pomiaru chropowatości są systemy wizyjne. Są one rozwijane, bo dają możliwość pozyskiwania informacji obszarowej o mikronierównościach na powierzchni, których rozkład w swojej naturze jest trójwymiarowy (Gadelmawla, 2004; Myszkini i inni, 2003).

Najprostszy system wizyjny można zbudować z kamery i karty akwizycji danych. W dobie rozwoju technologii informacyjnej nie stanowi dziś problemu zestawienie takiego układu, który dawałby podgląd zjawisk i procesów. Do takich celów wystarczającym rozwiązaniem jest zastosowanie kamery internetowej i karty telewizyjnej. Gdy jednak na układ wizyjny nałożone zostaną wymagania odnośnie automatycznej pracy, powiększeń i innych okazuje się, że jest to zagadnienie złożone (Pernkopf i O'Leary, 2003; Sodhi i Tiliouine, 1996; Tsai i Hsieh, 1999). Tor pomiarowy przeznaczony do akwizycji obrazu powierzchni obrobionej powinien dać możliwość obserwacji struktury geometrycznej powierzchni. Głębina układu optycznego powinna zawierać się w granicy parametrów chropowatości, czyli być większa niż kilkanaście  $\mu\text{m}$ . Pole widzenia kamery wraz z układem optycznym powinno gwarantować ergodyczność zachowania cech. Pole widzenia nie może być mniejsze niż odcinek pomiarowy dla danego procesu i generowanej chropowatości.

Właściwe oświetlenie jest kolejnym ważnym zagadnieniem w tworzeniu toru wizyjnego. Dobór prawidłowego oświetlenia ma na celu uwypuklenie cech kierunkowej struktury geometrycznej powierzchni. Podstawowym parametrem było dobranie właściwego kąta padania światła, gdyż wartości pomiarowe uzyskane z systemu wizyjnego to optycznie przetransformowane mikrotopograficzne cechy rozkładu światła, na które wpływ ma wielokrotne rozpraszanie, zacienianie i szum

optyczny. Stwierdzono, że prawdopodobieństwo odbić wewnętrznych jest małe, jeśli wartość kąta padania światła nie przekroczy  $30^\circ$  (Łukanowicz, 2001).

W Zakładzie Monitorowania Procesów Technologicznych Politechniki Koszalińskiej opracowano metodę oceny chropowatości powierzchni z zastosowaniem systemu wizyjnego. Układ wizyjny zastosowany w tej metodzie został opracowany jako złożenie powiązanych ze sobą geometrycznie i zadaniowo układów takich jak: system mocowania kamery, system oczyszczający strefę obróbki, system oświetleniowy oraz system chroniący wcześniej wymienione układy. Pomiar jest możliwy do zrealizowania w trakcie ruchu przedmiotu dzięki krótkiemu czasowi pozyskiwania i przetwarzania danych obrazowych. Zaletą systemu jest także to, że jest to pomiar bezstykowy, zdalny i nieniszczący (Storch, 2006; Zawada-Tomkiewicz, 2004).

Podstawą oprogramowania systemu wizyjnego jest zbiór danych obrazowych. Obraz powierzchni to tysiące liczb, których praktycznym zastosowaniem może być wizualizacja. Obiektywne miary opisu powierzchni można wyznaczyć, gdy poziomy szarości zostaną opisane parametrami rozpatrującymi ich rozkład przestrzenny. Miary te, odpowiednio opracowane odzwierciedlają cechy rzeczywistej powierzchni.

Najczęściej do opisu obrazu powierzchni obrobionej były używane metody analizy tekstury obrazu. Stosowano opis za pomocą metod statystycznych I rzędu oraz proste techniki oparte o wartości rozkładu jasności pikseli w obrazie. Bardziej złożone metody bazowały już na metodach analizy tekstur obrazu, gdzie rozpatrywane były zależności między pikselami. Były to jedno lub dwuwymiarowe metody częstotliwościowe, metody falkowe i inne. Celem artykułu jest przedstawienie wybranych metod analizy obrazu do celów estymacji parametru Ra chropowatości powierzchni oraz przeprowadzenie analizy przydatności poszczególnych cech. Dla konkretnego zastosowania zaprezentowano selekcję cech i dobrano optymalny podzbiór cech opisujących powierzchnię obrobioną.

## 2. SPECYFIKA OBRAZU POWIERZCHNI PO TOCZENIU

Cyfrowy obraz powierzchni stali obrabianej toczeniem uwidacznia ślady trajektorii naroża ostrza z dostrzegalną deformacją plastyczną. W zależności od właściwości materiału obrabianego, ostrza i parametrów skrawania ślady na powierzchni są bardziej lub mniej regularne, a zakłócenia wynikające z mechaniki oddzielania wióra mniej lub bardziej widoczne. Szczegółowy opis powierzchni po toczeniu można znaleźć w Oczom i Libimow (2003), Pawlus (2005), Storch (2006).

Można wyróżnić obecnie dwa kierunki rozwoju metod opisu chropowatości powierzchni. Są to metody trójwymiarowe oraz metody opisu powierzchni supergładkich. Systemy wizyjne można umieścić w zakresie metod trójwymiarowych, dających pomiary przydatne w ilościowej i jakościowej inspekcji powierzchni.

Analiza powierzchni obrabianej w toczeniu może odbywać się poprzez analizę całego obrazu, lub jego fragmentu. Fragmentem może być kwadratowe okno obrazu lub fragment profilu (Tsai i Hsieh, 1999; Zawada-Tomkiewicz, 2004).

Ze względu na kierunkowość obrazu powierzchni po toczeniu i jej jednorodność wzdłuż śladów obróbki, reprezentacją całego obrazu może być jego profil pobierany w kierunku prostopadłym. Zastosowano do analizy profilu obrazu powierzchni metody używane do analizy powierzchni. Profil powierzchni, podobnie jak obrazu, składa się z pasm różnych częstotliwości. Matematyczną techniką transformującą profil z reprezentacji przestrzennej na częstotliwościową jest analiza Fouriera. Statystyczny opis znaczenia różnych częstotliwości, które współliniejają w profilu powierzchni i które mogą być przetwarzane przy użyciu funkcji widmowej gęstości mocy opisano w Boryczko (2003). Podobnie jak w analizie Fouriera, analiza falkowa umożliwia przetworzenie profilu na przesunięte i przeskalowane wersje oryginalnej falki. Wybór funkcji falkowej zależy od szczególnego celu analizy i jest rozpatrywany szerzej w Zawada-Tomkiewicz i Storch (2006), Zawada-Tomkiewicz i Storch (2004).

Obraz powierzchni po toczeniu przedstawia jednorodną, anizotropową strukturę, która składa się z pewnych cyklicznych linii. Tę regularność obrazu powierzchni określono mianem tekstury, której obecność i parametry w analizie obrazów można wykryć metodami analizy tekstur. Zastosowanie analizy tekstur w ocenie chropowatości polega na poszukiwaniu znaczących lokalnych zmian w wartościach cech tekstury, które odzwierciedlają zmiany parametrów powierzchni (Zawada-Tomkiewicz, 2004). Klasyfikacja tekstur oznacza tworzenie mapy klasyfikacji obrazu wejściowego, gdzie każdy obszar jest identyfikowany z klasą tekstury do której należy. Klasyfikacja danej tekstury polega więc na wyznaczeniu podobieństwa, w sensie miar statystycznych, danej tekstury do tekstur wcześniej zdefiniowanych. Określenie podobieństwa jest złożonym i wielowymiarowym zagadnieniem, na dokładność którego wpływ ma skala, odległość, oświetlenie, punkt obserwacji oraz wiele innych czynników.

## 3. METODA ANALIZY POWIERZCHNI

Cyfrowy obraz powierzchni obrabianej w toczeniu reprezentowany jest macierzą liczb, będących odzwierciedleniem stanu odbicia światła od tej powierzchni. Światło tworzy na powierzchni wzór śladów obróbki o wyraźnym ukierunkowaniu.

Podstawowymi cechami statystycznymi opisującymi obraz jest średnia jasność obrazu, wartość maksymalna i minimalna. Średnia jasność oraz inne cechy statystyczne I rzędu w istotny sposób zależą od tego, z jakiego fragmentu obrazu zostały wyznaczone – od jego wielkości i położenia. Różnice wynikające ze zmienności obrazu w zależności od położenia są niwelowane przez wyrównanie poziomów jasności dla całego obrazu.

Statystyczny rozkład występowania w obrazie cyfrowym poszczególnych poziomów jasności oznaczany jest jako histogram. Poszczególne składowe funkcje histogramu oznaczają liczbę występujących w obrazie pikseli o danej jasności. Histogram może być opisywany parametrami takimi jak asymetria, skośność, szerokość piku, energia i entropia. Analiza rozkładu histogramu i jego cech pozwala na sprawdzenie, czy obraz danej powierzchni jest obrazem idealnego losowego rozkładu poziomów jasności, jaki jest rozrzut poziomów jasności, gdzie występują skupienia wartości oraz ile tych punktów skupienia występuje (Zawada-Tomkiewicz, 2004).

Ekspert obserwując samą powierzchnię lub obraz tej powierzchni jest w stanie potwierdzić jej przydatność. Jest to miara subiektywna, która wymaga sporej wiedzy i doświadczenia. Według Sodhi i Tiliouine (1996), subiektywna ocena może być przydatna do oceny chropowatości powierzchni powyżej 1,6  $\mu\text{m}$ .

Obliczeniowe miary jakości obrazów dają bardziej obiektywną od ludzkiej ocenę jakości powierzchni. W analizie obrazu powierzchni zastosowano miary bliskości obrazów cyfrowych dla porównania obrazu cyfrowego powierzchni obrabianej i obrazu cyfrowego idealnie gładkiej powierzchni odniesienia – zwierciadła. Podstawowymi normami były: średnia różnica, zawartość strukturalna, znormalizowana korelacja skośna, maksymalna różnica, zgodność, błąd średniokwadratowy, szczytowy błąd średniokwadratowy, znormalizowany błąd bezwzględny, znormalizowany błąd średniokwadratowy, norma Minkowskiego, stosunek sygnału do szumu, szczytowy stosunek sygnału do szumu.

### 3.1. Parametry częstotliwościowe profilu obrazu

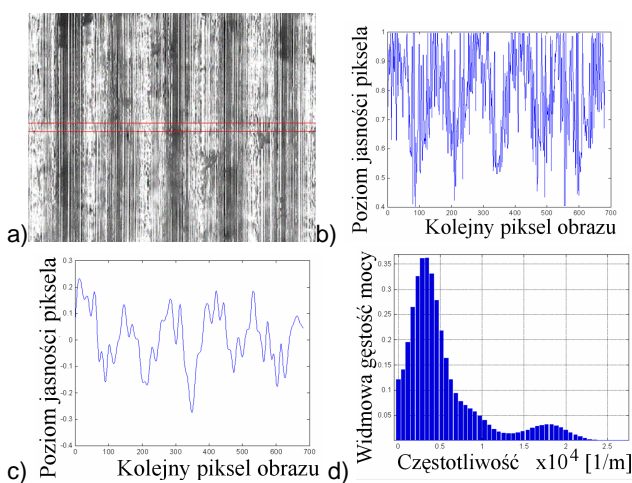
Zmiana wysokości nierówności wzdłuż odcinka elementarnego nazywana jest jednowymiarową reprezentacją przestrzenną lub profilem powierzchni. Podobną reprezentacją jest też obraz powierzchni, gdzie poziomy jasności piksela odzwierciedlają zmiany na powierzchni. W przypadku zastosowania przekształcenia Fouriera w każdym przypadku otrzymujemy reprezentację częstotliwościową.

Analiza Fouriera pozwala analizować sygnał zmian częstotliwości sygnałów składających się na profil. Funkcja widmowej gęstości mocy jest statystyczną reprezentacją

różnych częstotliwości w sygnale opisującym profil obrazu powierzchni.

Analiza Fouriera nie może być zastosowana dla profili, które zawierają niestacjonarności takie jak dryf, trendy, gwałtowne zmiany wysokości profilu, gdyż nie jest przystosowana do ich identyfikowania.

W procesie analizy częstotliwości, pobierane są dane z wierszy środkowego pasma macierzy danych reprezentującej obraz powierzchni obrabianej. Dla każdego z danych wiersza dokonywane jest skalowanie, następnie filtracja pasmowa i obliczenie funkcji widmowej gęstości mocy. Kolejnym krokiem jest wyszukiwanie, w poszczególnych pasmach częstotliwości wartości maksymalnej mocy oraz odpowiednie przeliczenie częstotliwości (Zawada-Tomkiewicz, 2004). Przykładowy obraz powierzchni wraz z analizą częstotliwościową przedstawia rysunek 1.

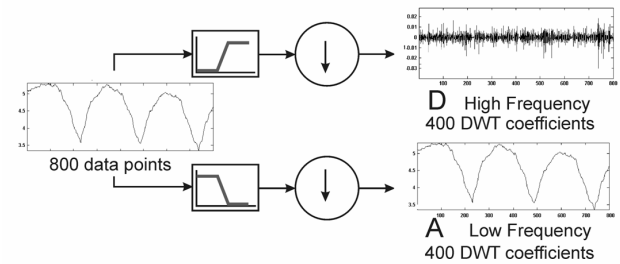


**Rys. 1.** Cyfrowy obraz z zaznaczonym pasmem środkowym (a), pojedynczy wiersz obrazu pasma środkowego (b), ten sam wiersz po filtracji pasmowej (c) i widmowa gęstość mocy (d), dla noży bez pokrycia, posuwu 0,27 mm/obr, prędkości skrawania 187,5 m/min i czasu skrawania 6 min.

### 3.2. Parametry falkowe profilu obrazu powierzchni obrabianej

Analiza falkowa jest techniką analizy sygnału wykorzystującą zmienną wielkość okna. Umożliwia użycie długich odstępów próbkowania dla lepszego opisu niskich częstotliwości i gęstszego próbkowania dla uzyskania informacji wysokoczęstotliwościowej. Transformata falkowa dzieli sygnał na sumę ortogonalnych sygnałów składowych dla różnych rozdzielczości czasowych. Dzięki temu możliwe jest odrębne analizowanie składowych sygnału w różnych rozdzielczościach przestrzennych (rysunek 2).

Transformata falkowa dzieli analizowany sygnał na sygnały składowe powstałe na skutek odwzorowania falki podstawowej, po przeprowadzonej operacji przesunięcia i skalowania, na sygnał analizowany.



**Rys. 2.** Pierwszy poziom dekompozycji falkowej profilu powierzchni obrabianej

O wyborze rodzaju falki decyduje człowiek lub użycie metod obiektywnych. Wybór falki-matki z wykorzystaniem testu statystycznego polega na sprawdzeniu czy po dekompozycji w szczegółach znajduje się jeszcze użyteczna informacja. Metoda wykorzystuje założenie, że jeśli szczegóły zawierają mniej informacji, wtedy falka-matka lepiej odzwierciedla charakter danych.

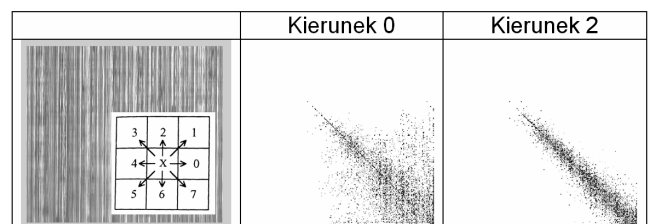
Wybór funkcji falkowej przy użyciu testu szumu białego ujawnił, że osąd ludzki i komputerowe obliczenia są w dobrej zgodności (Zawada-Tomkiewicz i Storch (2004)). Wszystkie funkcje falkowe wybrane przez test szumu białego były podobne w kształcie. Ten kształt przypominał podstawową nierówność struktury geometrycznej powierzchni. Dobre wyniki uzyskano dla wszystkich falek typu Coiflet oraz tych falek biortogonalnych, które w kształcie i właściwościach zbliżone były do falki typu Coiflet.

Jako cechy falkowe stosowane są parametry statystyk I rzędu takie jak wartość maksymalna czy średnia różnica. Parametry falkowe wyznaczane są dla każdego z poziomów dekompozycji (Zawada-Tomkiewicz i Storch, 2006; Zawada-Tomkiewicz i Storch, 2004).

### 3.3. Macierze sąsiedztwa

Metoda klasyfikacji tekstury, wykorzystująca macierze sąsiedztwa polega na zestawieniu, w formie odpowiednio dobranych tablic, liczby współwystąpień poziomów jasności we wszystkich parach punktów obrazu cyfrowego spełniających przyjęte reguły ich wzajemnego położenia. Przykładowe macierze sąsiedztwa przedstawia tab. 1.

**Tab. 1.** Macierze sąsiedztwa w zależności od wielkości okna dla różnych kierunków



Tekstura kierunkowa, z jaką mamy do czynienia w obrazie powierzchni po toczeniu, odzwierciedla się w obrazach macierzy sąsiedztwa dla różnych kierunków. Im bardziej jednolita wartość poziomów na danym

kierunku, tym bardziej skupione są wartości wokół głównej przekątnej. Rozkład wartości macierzy sąsiedztwa dla kierunku 2 różni się od pozostałych kierunków we wszystkich przebadanych przypadkach.

W analizie tekstur nie wykorzystuje się bezpośrednio macierzy sąsiedztwa, lecz pewne cechy charakterystyczne tych macierzy. Algorytm wykorzystania metody macierzy sąsiedztwa do opisu tekstury obejmuje tworzenie macierzy sąsiedztwa dla danego kierunku i odległości oraz wyliczenie parametrów macierzy sąsiedztwa.

Przyjmuje się takie parametry macierzy sąsiedztwa jak entropia, energia, jednorodność, kontrast, organizację struktury, złożoność i inne (Gadelmawła, 2004; Zawada-Tomkiewicz, 2004). Z badań nad powierzchnią po toczeniu wynika, że najlepsze rezultaty uzyskano dla współczynnika entropii.

### 3.4. Metody dwuwymiarowej transformaty Fouriera

Transformata Fouriera jest wykorzystywana w algorytmach detekcji lub ilościowego opisu tych cech obrazu, które są znacznie lepiej widoczne, łatwiejsze do analizy w spektrum Fouriera niż w samym obrazie. Dotyczy to okresowości, rozmycia oraz orientacji.

W obrazie, detale i ostre krawędzie są powiązane ze średnimi do wysokich częstotliwościami przestrzennymi, ponieważ wprowadzają znaczącą zmianę poziomów szarości na krótkiej odległości. Stopniowa zmiana topografii na obrazie jest związana z niskimi przestrzennymi częstotliwościami. Przez filtrację częstotliwości przestrzennych można usunąć, osłabić lub podkreślić składowe przestrzenne, do których się odnoszą. Przykładowy obraz i jego transformatę Fouriera przedstawia tab. 2.

**Tab. 2.** Zastosowanie filtracji częstotliwościowej do uzyskania pojedynczego obiektu

Okno obrazu	Transformata Fouriera	Selekcja największego obiektu
Obraz statyczny blok obrazu 512x 512 pikseli		
Obraz pobierany w ruchu, blok obrazu 512 x 512 pikseli		

Obraz transformaty Fouriera poddano binaryzacji. W wyniku segmentacji otrzymano obszary odpowiadające występującym w obrazie obiektom. Analiza zbinaryzowanego obrazu pozwoliła wydzielić obszar odpowiadający zakresowi wysokich częstotliwości. Ten obszar następnie opisywano współczynnikami kształtu takimi jak: promień zastępczy, współczynnik Fereta,

cyrkularności, Malinowskiej, Blaira-Blissa, Danielssona i Haralicka. Przykładowo współczynnik Malinowskiej określa się następującym wzorem:

$$R_M = \frac{\text{obwód obiektu}}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot \text{pole obiektu}}} - 1 \quad (1)$$

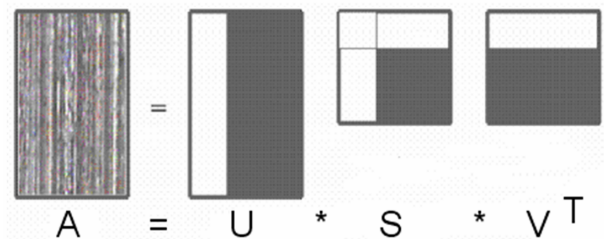
### 3.5. Rozkład według wartości szczególnych (SVD)

Reprezentacja danych obrazowych charakteryzuje się dużą przestrzenną zależnością. Dlatego dane te mogą być przetworzone do innej reprezentacji, charakteryzującej się niezależnością danych (rysunek 3). Dane obrazu powierzchni A mogą być rozdzielone jako iloczyn

$$A=U \times S \times V^T \quad (2)$$

U oraz V są macierzami unitarnymi odpowiednio o rozmiarach N x M oraz M x M a macierz S jest macierzą diagonalną o wymiarach M x M, która składa się z wartości własnych macierzy A.

Wartości własne na przekątnej mogą być dodatnie lub równe zero. W rozkładzie SVD nazywane są wartościami singularnymi lub szczególnymi.



**Rys. 3.** Dekompozycja SVD obrazu powierzchni obrobionej

Składowa pierwsza obrazuje dane, złożone w strukturę, która reprezentuje największą wariację, niejednorodność. W kolejnych wektorach macierzy U można wyróżnić uśrednione zmiany w profilu na kierunku równoległym do kierunku tekstury obrazu.

**Tablica 3.** Dekompozycja SVD obrazu powierzchni obrobionej na główne składowe

Obraz	U <sub>k</sub>	S <sub>k</sub>	V <sub>k</sub>
		(k=1) 395	
		(k=2) 37	
		(k=20) 7	

Składowa druga  $V$  jest strukturą, która wyjaśnia drugą największą ilość wariancji, wyznaczoną w ten sam sposób jak pierwsza składowa. W następujących po sobie wektorach macierzy został pokazany uśredniony profil obrazu cyfrowego powierzchni obrabianej w kierunku prostopadłym do śladów obróbki. Ważną własnością drugiej składowej jest to, że jest ona zupełnie niezależna od składowej pierwszej. Wszystkie składowe są wzajemnie niezależne.

Ważną własnością dekompozycji SVD jest zdolność do koncentrowania większości cech sygnału w ograniczonej, i zwykle małej liczbie biortogonalnych składowych. Wartości osobliwe są silnie uporządkowane a największa z nich przewyższa najmniejszą kilka rzędów w amplitudzie. Ta zdolność dekompozycji SVD do koncentrowania cech dominujących do kilku przestrzennych dominujących wartości powoduje, że jest przydatna do analizy sygnałów przestrzennych.

Większość energii obrazu jest skupiona w kilku pierwszych wektorach własnych. Ponad 90% całkowitej energii zawiera tylko pierwsza składowa główna, a 99% pierwszych 20 składowych. Wartości na głównej przekątnej, reprezentujące energię sygnału są stosowane jako cechy charakterystyczne obrazu (Zawada-Tomkiewicz i Storch, 2006).

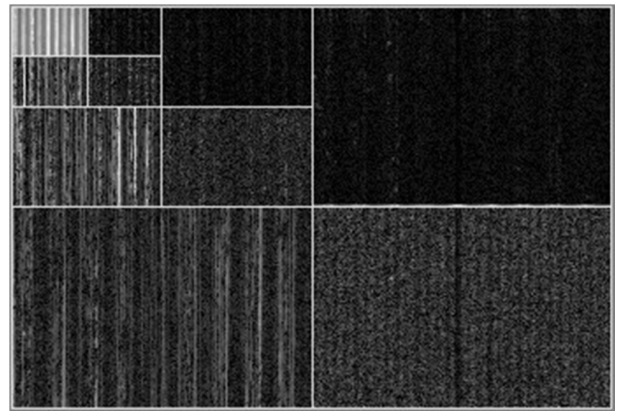
### 3.6. Parametry dwuwymiarowej transformaty falkowej

Dwuwymiarowa dyskretna transformata falkowa umożliwia analizę obrazu w różnych rozdzielczościach. Transformata falkowa dzieli obraz na cztery części (rysunek 4):

- Górna lewa część jest tworzona przez dwuwymiarową funkcję skalującą.
- Górna prawa część jest tworzona przez horyzontalną funkcję falkową.
- Dolna lewa część jest tworzona przez wertykalną funkcję falkową.
- Dolna prawa część jest tworzona przez diagonalną funkcję falkową.

Najmniej szczegółów obrazu jest widoczne w części obrazu odpowiedzialnej ze dekompozycje wertykalną. Taki podobraz, wyświetlony z innymi, wydaje się prawie czarny, pozbawiony treści. Najwięcej informacji z podobrazów szczegółów jest zawartych w podobrazach horyzontalnych. Zawierają one tę część odfiltrowanej informacji częstotliwościowej, która opisuje drobne różnice w poszczególnych wierszach obrazu. Są one o tyle interesujące, że nie przykrywa ich składowa niskoczęstotliwościowa.

Wielopoziomową dekompozycję można otrzymać przez przeprowadzanie dekompozycji dla kolejnych aproksymacji. Przedstawienie dekompozycji obrazu, tak jak na rysunku 4, umożliwia obejrzenie wyniku końcowego dekompozycji bez możliwości obejrzenia aproksymacji z kolejnych kroków.



Rys. 4. Dekompozycja falkowa trójpoziomowa obrazu powierzchni obrabianej

Sama dekompozycja obrazu na składowe to tylko odpowiednia filtracja. Gdy założy się, że została wykonana optymalnie dla danego typu danych, to istnieje możliwość dla takich zdekomponowanych danych znalezienia opisów, które wrażliwe będą na wybrane parametry wizualne obrazów składowych. Wykonano dwa poziomy dekompozycji falkowej filtrami biortogonalnymi 3.7. Jako cechy dwuwymiarowej transformaty falkowej wybrano współczynnik entropii macierzy sąsiedztwa.

## 4. SELEKCJA CECH OBRAZU

Automatyzacja procesu pobierania i analizy danych obrazowych wymusiła analizę cech i dobór takiego zbioru, który by jak najpełniej opisywał cechy charakterystyczne powierzchni obrabianej. Istnieje wiele metod selekcji cech. W układach liniowych można zastosować analizę składników głównych, natomiast w układach nieliniowych należy sięgnąć po metody sztucznej inteligencji. Zastosowano sieci neuronowe, z metodą optymalizacji struktury sieci Optimal Brain Surgeon Metod (Zawada-Tomkiewicz i Tomkiewicz, 2004). Optymalizacja struktury i jednoczesna selekcja cech polegała na eliminacji neuronów wejściowych, które miały mały wpływ na wartość wyjściową sieci. Metoda polegała więc na wyborze cech na wejściu sieci, których zmiana wartości wyjściowej powodowała największy wpływ na wartość błędu wyjściowego (zmiana funkcji kosztów w czasie treningu sieci).

Badania zostały przeprowadzone dla toczenia stali PN-EN 10083-2-C45+N ostrzami z węglików spiekanych 4015 firmy Sandvik Coromant o geometrii TNMG 16 04 08-PF i parametrach skrawania  $v_c=550\text{m/min}$ ,  $f=0,125\text{ mm/obr}$ ,  $a_p=0,5\text{ mm}$  przy zmiennym czasie skrawania. W trakcie skrawania pozyskiwano obrazy powierzchni oraz mierzono parametr  $R_a$  chropowatości powierzchni. Środkowy fragment obrazu wyrównano, a następnie opisano dwudziestoma dwoma parametrami. Były to: trzy cechy statystyk I rzędu (średnia jasność, odchylenie standardowe jasności i asymetria histogramu), siedem cech kształtu zbinaryzowanej dwuwymiarowej transformaty Fouriera, cztery cechy z wartości aproksymacji drugiego poziomu dwuwymiarowej transformaty falkowej liczonej filtrami biortogonalnymi 3,7 (współczynnik entropii macierzy sąsiedztwa dla czterech kierunków) oraz osiem pierwszych



głównych składowych rozkładu SVD. Przyjęto sieć neuronową jednokierunkową z metodą uczenia Lavenberg'a – Marquardt'a. Na początku sieć składała się z dwudziestu dwóch neuronów w warstwie wejściowej, dziesięciu neuronów w warstwie ukrytej i jednego neuronu wyjściowego.

Przeprowadzono dwadzieścia eksperymentów optymalizacyjnych. Podczas każdego z nich sieć była uczona i po procesie uczenia wybrane wagi, które miały wartość mniejszą od założonego progu, były obcinane. Zestawiono dla każdego z neuronów wejściowych wagę ze względu na cel uczenia i stwierdzono, że z dwudziestu dwóch cech wejściowych preferowanych było tylko sześć. Sieć wybrała różnorodne cechy takie jak:

- średnią jasność obrazu – jasność jest mocno skorelowana z wszelkimi zakłóceniami na powierzchni spowodowanymi przez zmiany na ostrzu, niejednorodność materiału.
- wartość odchylenia poziomów jasności – obrazuje zmienność w obrębie analizowanego obszaru obrazu,
- współczynnik asymetrii histogramu – informuje o rozkładzie poziomów jasności,
- współczynnik kształtu Malinowskiej dla zbinaryzowanego obrazu transformaty Fouriera – daje informację o rozkładzie wysokich częstotliwości w obrazie,
- współczynnika entropii macierzy sąsiedztwa z wartości aproksymacji drugiego poziomu dwuwymiarowej transformaty falkowej liczonej filtrami biortogonalnymi 3.7 – informuje o rozproszeniu informacji w zakresie niskich częstotliwości,
- wartość głównej składowej rozkładu SVD – obrazuje energię obrazu.

## 5. WNIOSKI

Obraz powierzchni obrabianej jest reprezentacją dwuwymiarową powierzchni, którą można zastosować do oceny tej powierzchni. W pracy zaproponowano kilka wybranych metod analizy obrazu powierzchni po toczeniu. Zwrócono uwagę, jaka musi być minimalna liczba danych do analizy oraz jak taką analizę przeprowadzić.

Opisując obraz powierzchni obrabianej bazowano na metodach analizy powierzchni oraz metodach analizy tekstur obrazu. Zaprezentowano metody profilowe i obszarowe. Analiza metod polegała na ocenie ich przydatności w ocenie chropowatości powierzchni.

Zastosowanie metody pruningu sieci neuronowej pozwoliło ocenić, że sieć neuronowa eliminuje cechy zależne tak, że z przeanalizowanych dwudziestu dwóch cech obrazu zostało wybranych sześć uzyskanych różnymi metodami.

## LITERATURA

1. **Boryczko A.** (2003), Metoda analizy częstotliwościowej nierówności powierzchni toczonych w diagnozowaniu układu obróbkowego. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej.
2. **Gadelmawla E.S.** (2004), A vision system for surface roughness characterization using the gray level co-occurrence matrix. *NDT and E International* nr 37/7, ss. 577-588
3. **Łukianowicz Cz.** (2001), Podstawy pomiarów nierówności powierzchni metodami rozpraszania światła. Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej.
4. **Myshkin N.K., Grigoriev, A.Ya., Chizhik, S.A., Choi, K.Y., Petrokovets, M.I.** (2003), Surface roughness and texture analysis in microscale. *Wear* nr 254/10, ss. 1001-1009.
5. **Ocoś K.E., Liubimov V.** (2003), Struktura geometryczna powierzchni. Wydawnictwo Politechniki Rzeszowskiej Rzeszów.
6. **Pawlus P.** (2005), Topografia powierzchni. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów.
7. **Pernkopf F., O'Leary P.** (2003), Image acquisition techniques for automatic visual inspection of metallic surfaces. *NDT and E International* nr 36/8, ss. 609-617.
8. **Sodhi M.S., Tiliouine K.** (1996), Surface roughness monitoring using computer vision. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* nr 36/7, ss. 817-828.
9. **Storch B.** (2006), Zjawiska przykrawędziowe i monitorowanie chropowatości powierzchni po obróbce jednoostrzowej. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej.
10. **Tsai D.-M., Hsieh C.-Y.** (1999), Automated surface inspection for directional textures. *Image and Vision Computing* nr 18/1, ss. 49-62.
11. **Zawada-Tomkiewicz A.** (2004), Neural networks in surface roughness estimation. *Image Processing & Communications* nr 9/3-4, ss.79-87.
12. **Zawada-Tomkiewicz A., Storch B.** (2006), The application of wavelet analysis in identification of surface roughness parameters. *Advances in Manufacturing Science and Technology* nr 30/3, ss. 79-93.
13. **Zawada-Tomkiewicz A., Storch B.** (2006), Decomposition of a Machined Surface Image for the Estimation of Surface Roughness Parameters. *Annals of DAAAM International Vienna*, ss.453-454
14. **Zawada-Tomkiewicz A., Storch B.** (2004), Introduction to the Wavelet Analysis of a Machined Surface Profile. *Advances in Manufacturing Science and Technology* nr 28/2, ss. 91-100
15. **Zawada-Tomkiewicz A., Tomkiewicz D.** (2004), The Application of Optimal Brain Surgeon Method for optimization of tool wear estimator structure. *Polyoptimization and CAD* nr III. WNT Warszawa, ss. 218-225

## MACHINED SURFACE IMAGE ANALYSIS FOR THE ESTIMATION OF THIS SURFACE PARAMETERS

**Abstract:** Machined surface image analysis is presented in the paper. The selected methods were analysed for the description of images acquired after the process of turning. Profile and area methods were distinguished. The Optimal Brain Surgeon Method was applied for the selection of the set of parameters which were the most useful in the estimation of surface roughness Ra parameter.