

Wydział PPT

Laboratorium PODSTAW BIOFOTONIKI

Ćwiczenie nr 4

Pomiar parametrów ilościowych oraz jakościowych wybranych materiałów na podstawie zdjęć mikroskopii sił atomowych

### **Cel ćwiczenia:**

Zapoznanie się z podstawowymi narzędziami służącymi do obróbki wstępnej i przetwarzania danych obrazowych (filtracja liniowa i nieliniowa) oraz zaznajomienie się z wybranymi narzędziami analizy zdjęć (profil powierzchni, histogram, wizualizacja 3D, analiza chropowatości – parametry amplitudowe materiałów). Podstawowa analiza zdjęć mikroskopii sił atomowych.

## **1. Wprowadzenie teoretyczne**

Analiza i przetwarzanie obrazów cyfrowych jest jedną z ważniejszych gałęzi grafiki komputerowej. Znajduje ono szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach życia m.in. w mikroskopii, medycynie, biologii, chemii, fizyce, naukach technicznych, ekonomicznych, a także w przemyśle.

Podstawowym problemem przy analizie danych jest nie tylko prawidłowy dobór narzędzi, ale także odpowiednia kolejność realizowanych operacji. Kompleksowa ocena wybranych materiałów na podstawie zdjęć mikroskopowych, wykonanych różnymi technikami, nie jest więc zadaniem trywialnym. Niemniej jednak doświadczony analityk jest w stanie wydobyć ze zdjęcia szereg użytecznych informacji zarówno o charakterze ilościowym, jak i jakościowym. Wykorzystanie dostępnych na rynku narzędzi informatycznych znacznie ułatwia to zadanie. Specjalistyczne oprogramowanie oferuje gotowe narzędzia do przetwarzania oraz poprawy jakości obrazów cyfrowych, jak również pomiaru podstawowych parametrów charakteryzujących morfologię powierzchni oraz wewnętrzną strukturę materiałów.

Wszystkie analizy dokonywane w Laboratorium PODSTAW BIOFOTONIKI realizowane będą z użyciem programu Scanning Probe Image Processor (SPIP™) duńskiej firmy Image Metrology A/S. Program SPIP™ posiada szeroki zestaw funkcji do analizy i obróbki danych mikroskopowych. Wśród nich można wymienić m.in. metody korekcji tła, filtry liniowe i nieliniowe, analizę fourierowską, narzędzia do analizy porowatości, chropowatości i twardości powierzchni, jak również prostsze funkcje analityczne, takie jak profil przekroju, histogram, trójwymiarowa wizualizacja próbki etc.

Darmową wersję oprogramowania można pobrać ze strony producenta: <http://www.imagemet.com/index.php?main=download>. Wersja ta pozwala na przeprowadzenie wszystkich obliczeń oraz pełną wizualizację wyników. Niestety zapisywanie danych obrazowych możliwe jest jedynie z rozdzielczością 124x124 pikseli, a po upływie 30 dni od zainstalowania oprogramowania, z rozdzielczością 64x64 pikseli.

### **1.1 Podstawowe narzędzia przetwarzania i obróbki danych obrazowych**

Niniejszy opis stanowi jedynie krótki wstęp do zagadnień związanych z analizą i obróbką zdjęć cyfrowych. Czytelnik bliżej zainteresowany opisywanymi zagadnieniami znajdzie szersze informacje w książkach przytoczonych w załączonym na końcu opracowania spisie literatury.

Jak wspomniano wyżej, podstawowym celem przetwarzania obrazów jest poprawa ich wizualnej jakości, w tym m.in. usunięcie zakłóceń oraz zniekształceń, korekcja kontrastu, wyostrenie, rozmycie, segmentacja etc. Wstępna obróbka zdjęć znacznie ułatwia proces wydobywania z obrazu użytecznej informacji. Do typowych przekształceń stosowanych w przetwarzaniu obrazów zalicza się 4 grupy operacji:

- przekształcenia punktowe
- przekształcenia geometryczne
- przekształcenia morfologiczne
- filtracja obrazu.

Poniżej zostaną omówione krótko wszystkie z wymienionych przekształceń. W trakcie ćwiczenia realizowane będą jedynie operacje filtracji liniowej i nieliniowej.

**Przekształcenie punktowe** polegają na modyfikowaniu poszczególnych punktów obrazu (pikseli), niezależnie od ich otoczenia. Do tej grupy przekształceń zalicza się m.in. operacje logiczne (np. zaprzeczenie, iloczyn, suma logiczna etc.), operacje arytmetyczne (np. dodawanie, odejmowanie, mnożenie etc.) oraz operacje anamorficzne (np. modulacja gamma) Wynikiem przekształceń punktowych jest nowa wartość piksela tj. stopnia szarości, która jest równa wynikowi jednej z wyżej opisanych operacji.

**Przekształcenia geometryczne** pełnią z reguły funkcję pomocniczą w trakcie przetwarzania obrazu. Zalicza się do nich m.in. przesunięcia, obroty, odbicia, skalowanie i inne transformacje geometrii obrazu. Najczęściej wykorzystywane są do korekcji błędów geometrii obrazu takich, jak dystorsje beczkowe czy poduszkowe obrazu.

**Przekształcenia morfologiczne** stanowią najbardziej złożone operacje. Pozwalają one na przekształcanie poszczególnych obiektów znajdujących się na obrazie, w celu wydobywania istotnych cech. Polegają na analizie całego obrazu piksel po pikselu i sprawdzaniu dla każdego z nich, czy konfiguracja punktów sąsiadujących spełnia określony warunek. Na tej podstawie podejmowana jest ostateczna decyzja o wartości danego piksela w obrazie wynikowym. Do przekształceń morfologicznych zaliczamy m.in. operację erozji, dylatacji i szkieletyzacji, które można wykorzystać do usunięcia drobnych cząstek, otwarcia i zamknięcia struktur.

## Filtracja obrazu

Filtracja obrazów mikroskopowych ma na celu poprawę ich jakości. Filtry stosowane w programie SPIP<sup>TM</sup> są filtrami kontekstowymi. Oznacza to, iż każdy piksel zdjęcia wynikowego jest efektem operacji algebraicznych przeprowadzonych na pikselach sąsiadujących z odpowiadającym mu oryginalnym pikselem obrazu wyjściowego. W praktyce proces filtracji wykorzystywany jest do:

- poprawy jakości całego obrazu (np. poprzez wyostrenie lub wygładzenie krawędzi etc.)
- usuwania z obrazu zakłóceń oraz szumów
- wyodrębnienia elementów, które mogą wnieść użyteczną informację (np. poprzez wyostrenie konturów danego elementu obrazu)
- rekonstrukcji części obrazu.

Filtry kontekstowe z uwagi na charakter wykorzystywanych operacji algebraicznych, dzielimy na liniowe oraz nieliniowe.

**Filtracja liniowa** realizowana jest poprzez operację splotu dyskretnego obrazu wyjściowego z tzw. maską, czyli kwadratową tablicą zawierającą współczynniki filtra. Współczynniki te mogą przyjmować zarówno dodatnie, jak i ujemne wartości. Przez dobór współczynników maski i jej wielkości można kształtować właściwości filtra.

Operację splotu dwóch funkcji dyskretnych definiuje się następująco:

$$C(x, y) = \frac{1}{k} \sum_{i=N/2}^{N/2} \sum_{j=M/2}^{M/2} K(i, j) I(x-i, y-j)$$

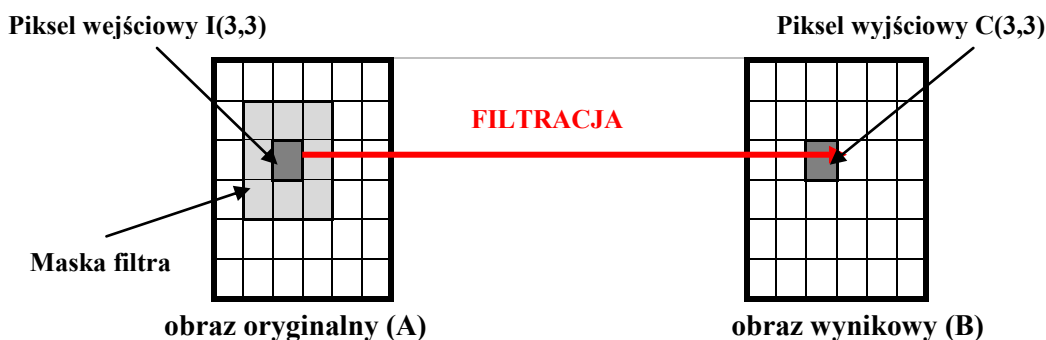
gdzie:

$K$  – filtr o rozmiarze maski  $N \times M$

$I$  – obraz wejściowy

$k$  – suma współczynników maski  $k = \sum_{i=N/2}^{N/2} \sum_{j=M/2}^{M/2} K(i, j)$

Zasada działania filtra kontekstowego polega więc na wyznaczaniu nowej wartości przetwarzanego piksela wejściowego, która dokonywana jest w trakcie operacji splotu obrazu z maską (**Rysunek 1**).



**Rysunek 1. Filtracja kontekstowa na przykładzie pojedynczego piksela**

Typowymi filtrami liniowymi są filtry dolnoprzepustowe, górnoprzepustowe oraz krawędziowe.

**Filtry dolnoprzepustowe** przepuszczają częstotliwości poniżej pewnej, zdefiniowanej wielkości granicznej, uwypuklając tym samym w obrazie szczegóły o niskiej częstotliwości oraz odfiltrowując częstotliwości wysokie. Używane są do wygładzenia obrazu oraz usuwania drobnych szumów. Niekorzystnym efektem jest rozmywanie konturów i zanikanie szczegółów obrazu. Poniżej zaprezentowano kilka przykładowych masek filtra dolnoprzepustowego.

1	1	1
1	1	1
1	1	1

lub

1	1	1
1	2	1
1	1	1

lub

1	1	1
1	4	1
1	1	1

**Filtry górnoprzepustowe** przepuszczają częstotliwości powyżej pewnej, zdefiniowanej wielkości granicznej, uwypuklając w obrazie szczegóły o wysokiej częstotliwości oraz odfiltrowując częstotliwości niskie. Używane są do poprawy ostrości obrazu, wykrywania konturów oraz drobnych elementów faktury. Wadą tego typu filtrów jest to, iż często uwypuklają również szum. Kilka przykładów masek filtrów górnoprzepustowych pokazano poniżej.

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

lub

-1	-1	-1
-1	9	-1
-1	-1	-1

lub

1	-2	1
-2	5	-2
1	-2	1

**Filtry krawędziowe** - służą do wykrywania krawędzi struktur oraz wyznaczania gradientów poprzez zastosowanie masek o określonej asymetrii współczynników. Skutkiem takiej budowy masek są kierunkowe właściwości przefiltrowanego obrazu.

Filtry krawędziowe podkreślają lub osłabiają pewne cechy obrazu w zależności od tego, pod jakim kątem przebiegają określone krawędzie obiektów na obrazie wyjściowym w stosunku do asymetrii maski filtra. Kierunki filtra określane są zazwyczaj jako:

- zachód (ang. West - **W**)
- północny-zachód (ang. North-West – **NW**)
- północ (ang. North - **N**)
- północny-wschód (ang. North-East – **NE**)
- wschód (ang. East - **E**)
- południowy-wschód (ang. South-East - **SE**)
- południe (ang. South – **S**)
- południowy-zachód (ang. South-West - **SW**).

Kierunek filtra określany jest poprzez przyjęcie trzech wartości maski jako -1 w odpowiedniej części filtra. Wartość środkowa filtra jest stała dla każdego kierunku. Reszta współczynników maski filtra wynosi 1. Poniżej zaprezentowano trzy przykładowe kierunkowe filtry krawędziowe:

-1	1	1
-1	-2	1
-1	1	1

**Filtr E**  
(wschód)

-1	-1	1
-1	-2	1
1	1	1

**Filtr NE**  
(północny-wschód)

1	1	1
1	-2	1
-1	-1	-1

**Filtr S**  
(południe)

**Filtry nieliniowe** podobnie jak opisywane wcześniej filtry liniowe, mają postać masek, przy czym wartość każdego piksela w obrazie wyjściowym obliczana jest na drodze sortowania pikseli otaczających przetwarzany piksel obrazu źródłowego. Sortowanie przeprowadzane jest według wcześniej zdefiniowanego klucza np. spośród analizowanych pikseli wybierana jest wartość środkowa, maksymalna czy minimalna. Popularnym filtrem nieliniowym jest filtr medianowy.

**Filtr medianowy** – działanie filtra medianowego sprowadza się do wpisania w miejsce przetwarzanego piksela mediany z wartości pikseli znajdujących się w otoczeniu. Filtr medianowy wykorzystywany jest do usuwania z obrazu szumów, których poziom intensywności znacznie odbiega od poziomu intensywności punktów sąsiednich, czyli tzw. zakłóceń typu „pieprz i sól”. W przeciwieństwie do filtrów konwolucyjnych filtr medianowy potrafi usunąć szum przy minimalnej utracie jakości obrazu oryginalnego, gdyż jego działanie nie powoduje utraty informacji o krawędziach obiektów.

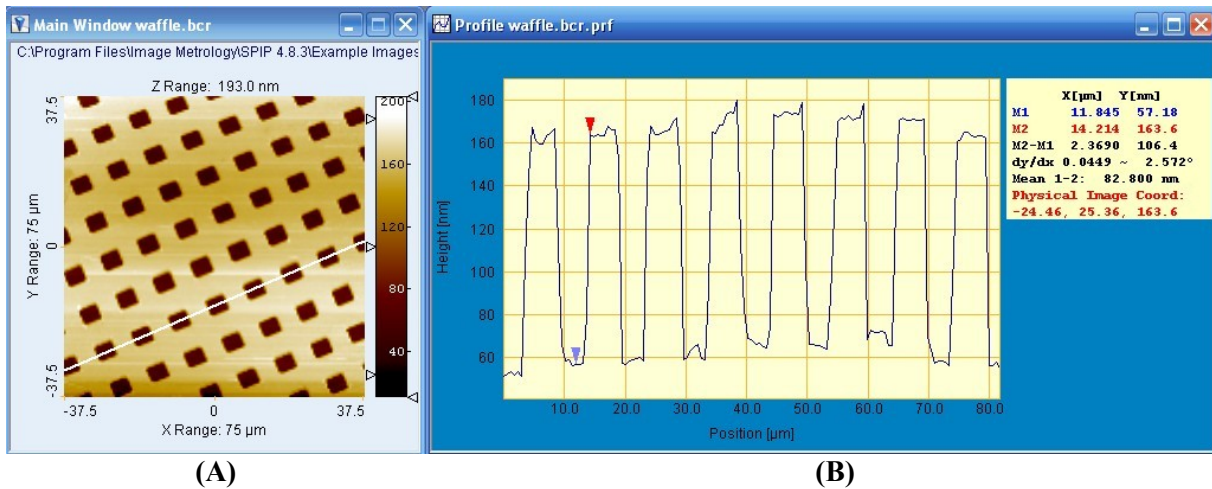
## 1.2 Podstawowe narzędzia do analizy danych obrazowych

Poniżej opisano kilka narzędzi, które z powodzeniem mogą być stosowane do analizy zdjęć mikroskopowych.

### 1.2.1 Profil przekroju

Narzędzie to pozwala na analizę wysokości próbki wzdłuż zadanego profilu liniowego w płaszczyźnie  $x, y$  oraz pod dowolnym kątem (**Rysunek 2**). Większość współczesnych programów do analizy danych mikroskopowych, w tym program SPIP umożliwia

jednoczesną analizę wzdłuż kilku profili, jak również tworzenie profilu uśrednionego z zadanego na zdjęciu zakresu.



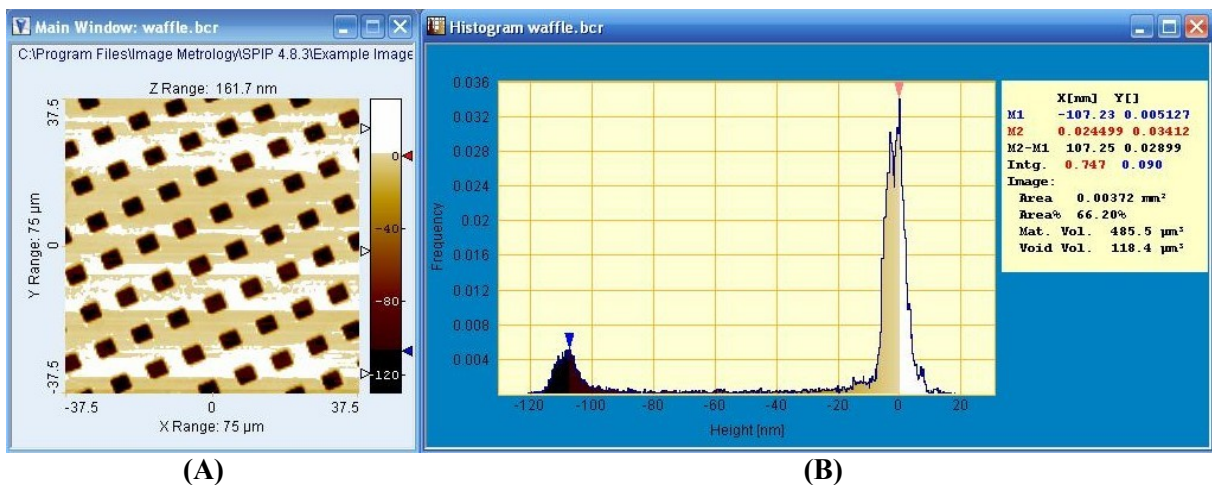
Rysunek 2 Obraz struktury cyklicznej (A) oraz jej profil liniowy (B)

Wykorzystując narzędzia pomocnicze jak kursory położenia można wyznaczyć dodatkowe parametry badanej próbki takie jak: wysokość wybranych struktur, odległość pomiędzy nimi czy np. średnica danej struktury.

### 1.2.2 Histogram

Histogram jest niezwykle przydatnym narzędziem analizy danych. W mikroskopii sił atomowych może służyć m.in. jako wskaźnik opisujący chropowatość powierzchni badanego materiału. W programie SPIP histogram odzwierciedla rozkład wartości poszczególnych pikseli w analizowanym obrazie.

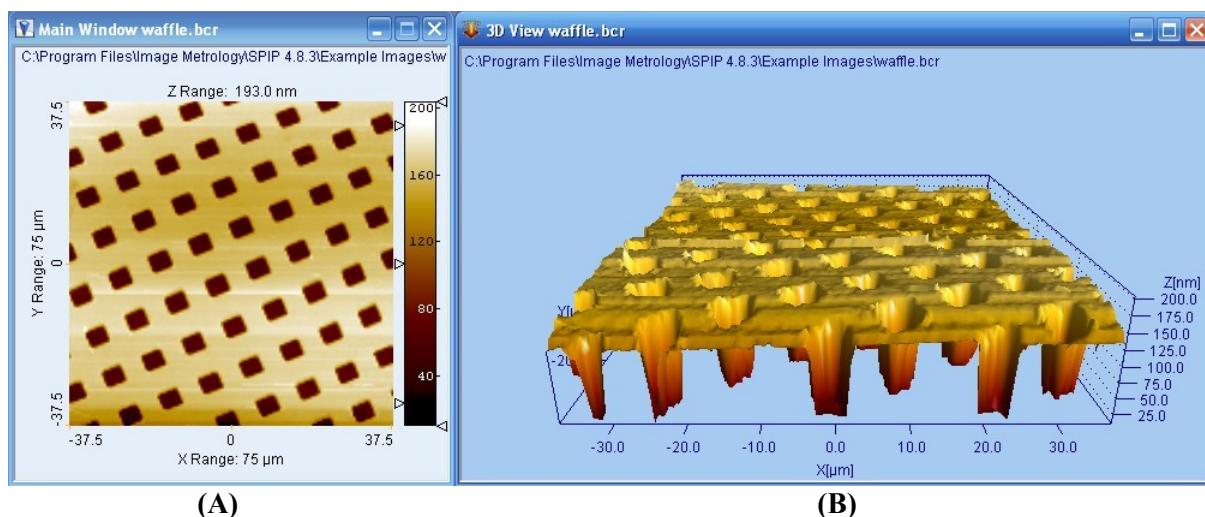
Dla powierzchni płaskiej histogram ma postać pojedynczego piksu, który odpowiada pikselom o dominującej wartości w obrazie. W przypadku powierzchni pokrytej licznymi regularnymi wyspami lub zagłębieniami na histogramie widoczne będą dwa wyraźne piki. Odległość tych pików od siebie wskazuje średnią różnicę wysokości pomiędzy poziomem podłoża, a wspomnianymi wyspami lub zagłębieniami (Rysunek 3).



Rysunek 3. Obraz struktury cyklicznej (A) oraz jej histogram (B)

### 1.2.3 Reprezentacja 3D obrazu

Wykorzystywanie w analizie zdjęć mikroskopowych obrazowania trójwymiarowego niesie ze sobą nie tylko wartości estetyczne, ale przede wszystkim poznawcze. Trójwymiarowa reprezentacja obrazu wyjściowego stanowi bowiem najdokładniejsze odzwierciedlenie analizowanej próbki i pozwala często na uwidocznienie tych cech morfologicznych badanego materiału, których nie sposób uchwycić na zdjęciu dwuwymiarowym. Przy analizie struktur o nierównomiernej powierzchni obrazowanie 3D pozwala m.in. odróżnić obszary wypukłe od obszarów wklęsłych (**Rysunek 4**).



Rysunek 4. Obraz struktury cyklicznej (A) oraz jej reprezentacja trójwymiarowa (B)

### 1.3 Analiza chropowatości materiału

Program SPIP™ umożliwia pomiar wszystkich parametrów chropowatości oraz twardości, rekomendowanych przez europejski projekt BCR nr 3423/1/0/184/4/91-BCR-DK "Scanning Tunneling Microscopy Methods for Roughness and Micro Hardness Measurements". Generalnie parametry opisujące chropowatość materiałów można podzielić na 4 grupy:

- amplitudowe
- hybrydowe
- funkcjonalne
- przestrzenne.

Matematyczny opis wszystkich parametrów czytelnik może znaleźć w skrypcie pomocniczym programu SPIP™.

W ramach niniejszego ćwiczenia studenci będą zapoznawać się z parametrami amplitudowymi opisującymi materiał. Parametry te niosą statystyczną informację na temat kształtu, rozkładu wysokości oraz podstawowych własności próbki. Wyróżnia się 8 podstawowych parametrów amplitudowych:

**Średnia chropowatość materiału ( $S_a$ )** (ang. Roughness Average) definiowana jako:

$$S_a = \frac{1}{MN} \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{N-1} |z(x_k, y_l)|$$

gdzie  $z(x,y)$  reprezentuje analizowany obraz.

**Średnie odchylenie kwadratowe ( $S_q$ )** (ang. Root Mean Square) definiowane jako:

$$S_q = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{k=1}^{M-1} \sum_{l=1}^{N-1} z(x_k, y_l)^2}$$

**Skośność (asymetria) powierzchni ( $S_{sk}$ )** (ang. Surface Skewness) definiowana jest jako:

$$S_{sk} = \frac{1}{MNS_q^3} \sum_{k=1}^{M-1} \sum_{l=1}^{N-1} z(x_k, y_l)^3$$

Jeżeli wartość parametru  $S_{sk}=0$  wówczas mamy do czynienia symetrycznym rozkładem wysokości powierzchni. Gdy  $S_{sk}<1$  mamy do czynienia z płaską powierzchnią zawierającą wgłębienia, natomiast gdy  $S_{sk}>1$  wówczas mamy do czynienia z płaską powierzchnią usianą pikami. Gdy wartości parametrów przekraczają 1, wówczas dana powierzchnia zawiera skrajnie wysokie piki lub głębokie wgłębienia/dziury.

**Kurtoza powierzchni ( $S_{ku}$ )** (ang. Surface Kurtosis) definiowana jest jako:

$$S_{ku} = \frac{1}{MNS_q^4} \sum_{k=1}^{M-1} \sum_{l=1}^{N-1} z(x_k, y_l)^4$$

Kurtoza jest miarą spłaszczenia powierzchni w porównaniu z rozkładem normalnym. Dla rozkładu Gaussa wartość  $S_{ku}$  wynosi 3,0. Wartości mniejsze oznaczają rozkład stosunkowo płaskie (mniej skoncentrowane), natomiast wartości wyższe oznaczają rozkład bardziej wypukły (bardziej skoncentrowany) od rozkładu Gaussa.

**Wysokość pik-pik ( $S_y$ )** (ang. Peak-Peak Height) definiowana jest jako różnica wysokości pomiędzy najwyższym i najniższym punktem w analizowanym obrazie.:

$$S_y = z_{\max} - z_{\min}$$

**Wysokość 10 punktów ( $S_{10z}$ )** (ang. Ten Point Height) definiowana jest jako średnia arytmetyczna wysokość sumy pięciu lokalnych maksimum oraz pięciu lokalnych minimum:

$$S_{10z} = \frac{\sum_{i=1}^5 z_{pi} + \sum_{i=1}^5 z_{vi}}{5}$$

gdzie  $z_{pi}$  i  $z_{vi}$  są odpowiednio wartością  $i$ -tego lokalnego maksimum oraz  $i$ -tego lokalnego minimum.

**Maksymalne wgłębienie ( $S_v$ )** (ang. Maximum pit height) określa wysokość największego wgłębienia w powierzchni badanego materiału.

**Maksymalny pik ( $S_p$ )** (ang. Maximum peak height) określa wysokość największego piku na powierzchni badanego materiału.

## 2. Program ćwiczenia


### 2.1 Tworzenie katalogu z danymi pomiarowymi

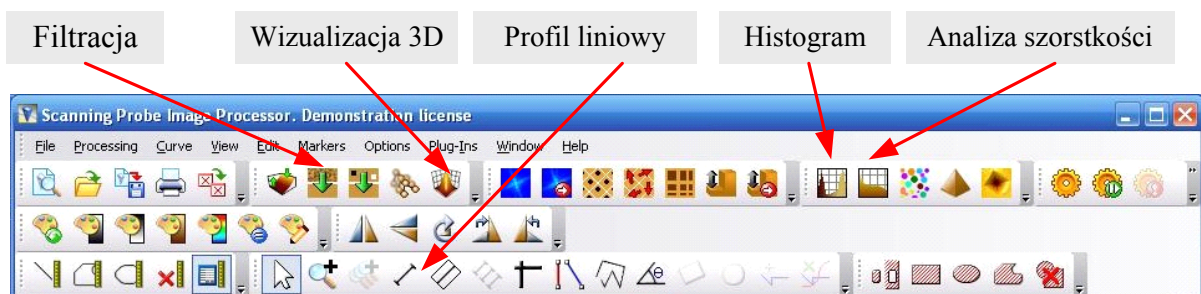
Na pulpicie monitora znajduje się katalog „Wyniki AFM”. W katalogu należy założyć własny podkatalog, w którym zapisywane będą dane w trakcie ćwiczenia. Nazwa katalogu powinna zawierać: nazwisko jednej osoby z grupy ćwiczącej oraz datę laboratorium (np. „Kowalska\_31.04.2009”)

### 2.2 Zapisywanie wyników


Program SPIP używany na laboratorium jest wersją demo pełnego oprogramowania, w związku z tym wszystkie zdjęcia i wyniki muszą być zapisywane w sposób pośredni. Do zapisywania danych w trakcie laboratorium należy posługiwać się klawiszem **PrtSc** znajdującym się na klawiaturze komputera. Należy nacisnąć ten klawisz, a następnie otworzyć program **Paint** (**Windows/MENU START/Programy/Akcesoria/Paint**) i przy pomocy kombinacji klawiszy **Ctrl+V** wkleić skan monitora. Zdjęcie należy zapisać w podkatalogu utworzonym w pkt. 2.1 instrukcji.


### 2.3 Praca z programem SPIP™

Otwórz program SPIP™ przy pomocy ikony  znajdującej się na pulpicie monitora. Poniżej znajduje się menu programu oraz opis ikon, które będą wykorzystywane podczas laboratorium.



### 2.4 Obróbka wstępna i przetwarzanie danych obrazowych

2.4.1 Uruchom ikonę . W katalogu ze zdjęciami znajdziesz podkatalogi z datami wszystkich ćwiczeń laboratoryjnych. Wejdź do podkatalogu odpowiadającego dacie Twojego laboratorium i wczytaj pierwsze zdjęcie.

2.4.2 Uruchom ikonę filtracji  (ang. **Filtering**). Po uruchomieniu ikony ukaze się okno dialogowe **Filter Dialog** z zakładkami **Median** (*Filtracja medianowa*), **Convolution** (*Filtracja liniowa*) oraz **Statistical Difference** (*Obróbka statystyczna*).

- a) Przeprowadź filtrację dolnoprzepustową wczytanego obrazu z wykorzystaniem maski o rozmiarze 3x3. W tym celu z zakładki **Convolution** wybierz zakładkę **Smooth** oraz zaznacz opcję **Mean**. W celu zmiany rozmiaru maski wprowadź odpowiednie dane w pola **Kernel size X** i **Kernel size Y** oraz naciśnij przycisk **Apply**. Na ekranie pojawią się 3 obrazy: wyjściowy, przefiltrowany oraz różnica pomiędzy obrazem wyjściowym i przefiltrowanym. Zapisz uzyskane zdjęcia korzystając z klawisza **PrtSc**




(patrz pkt. 2.2 instrukcji) we wcześniej przygotowanym katalogu (patrz pkt. 2.1 instrukcji).

Po zapisaniu danych zamknij wszystkie zdjęcia z analizami, zostawiając otwarte jedynie **oryginalne zdjęcie**.


Powtórz operację filtracji z użyciem maski 9x9. Zapisz otrzymane zdjęcia.

- b) Przeprowadź filtrację górnoprzepustową oryginalnego obrazu z wykorzystaniem maski o rozmiarze 3x3. W tym celu z zakładki **Convolution** wybierz zakładkę **Sharpen** oraz zaznacz opcję **Highpass**. W celu zmiany rozmiaru maski wprowadź odpowiednie dane w pola **Kernel size X** oraz **Kernel size Y**. Uzyskane zdjęcia zapisz. Powtórz operację filtracji z użyciem maski 9x9. Zapisz otrzymane zdjęcia.
- c) Przeprowadź filtrację krawędziową oryginalnego obrazu. W tym celu z zakładki **Convolution** wybierz zakładkę **Edge** oraz w zaznacz opcję **Roberts**, a następnie zapisz uzyskane zdjęcia. Operację filtracji powtórz dla filtrów **Prewitt'a** i **Sobla**, każdorazowo zapisując wyniki. Dla filtra **Roberts'a** zaobserwuj jak wpływa kierunek filtra (**N, NE, E, SE, S, SW, W, NW**) na obraz wyjściowy.
- d) Przeprowadź filtrację medianową oryginalnego obrazu z wykorzystaniem maski o rozmiarze 3x3. W tym celu przejdź do zakładki **Median**. W polu **Target Noise (Rodzaj szumu/ zakłócenia)** zaznacz opcję **Non-Directional Noise (Zakłócenia bezkierunkowe)**, przy aktywnej opcji **High and Low Values (Duże i małe wartości)** oraz **Window size** równym 3. Uzyskane zdjęcia zapisz. Operację filtracji powtórz dla maski 9x9. Zapisz otrzymane zdjęcia.
- e) Operację filtracji medianowej powtórz dla opcji **Target Noise/ Horizontal Noise** z uwzględnieniem masek o rozmiarze 1x3 i 1x9 oraz dla opcji **Target Noise/ Vertical Noise** z uwzględnieniem masek o rozmiarze 3x1 i 9x1. Uzyskane zdjęcia zapisz.

## 2.5 Charakterystyka profilu powierzchni analizowanej próbki


- 2.5.1 Uruchom ikonę tworzenia profilu  (ang. **Single Line Profiling**). Przesuwając linię profilu po analizowanym zdjęciu znajdź najwyższą wypukłość (pik). Włącz kursory pomocnicze (**Curve/Cursor functions/Cursors on**). Ustaw **niebieski** i **czerwony** kursor tak, aby móc zmierzyć wysokość piku. Na zdjęciu profilu pokaże się wówczas okno wynikowe ze współrzędnymi X, Y cursorów oraz wysokością piku. Zapisz zdjęcia przy pomocy funkcji **PrtSC** w katalogu.
- 2.5.2 Ustaw kursory tak, aby móc obliczyć szerokość piku. Zapisz zdjęcia.
- 2.5.3 Przesuwając linię profilu znajdź na zdjęciu najgłębsze zagłębienie. Używając cursorów zmierz wysokość oraz szerokość zagłębienia. Zapisz zdjęcia z wynikami w katalogu.

## 2.6 Histogram próbki


- 2.6.1 Uruchom ikonę tworzenia histogramu  (ang. **Histogram**). Zapisz zdjęcia próbki i histogramu do katalogu.
- 2.6.2 Włącz kursory pomocnicze. Przesuwając kursory na histogramie oraz patrząc na skalę kolorystyczną oryginalnego zdjęcia, spróbuj znaleźć najwyższy punkt na zdjęciu. Zapisz zdjęcia próbki i histogramu do katalogu.

2.6.3 Przesuwając kursory pomocnicze na histogramie znajdź najniższy punkt na zdjęciu. Zapisz zdjęcia próbki i histogramu do katalogu.

## 2.7 Wizualizacja 3D próbki

2.7.1 Uruchom ikonę wizualizacji 3D  (ang. **3D Visualization**). Wyskaluj zdjęcie tak, aby widoczna była cała powierzchnia próbki wraz z osiami. Wizualizację można obracać przy pomocy myszki tak, aby pokazać najciekawsze fragmenty badanej próbki (zagłębienia, piki etc.) Zapisz zdjęcia.

## 2.8 Analiza chropowatości próbki – wyznaczenie parametrów amplitudowych materiałów

2.8.1 Uruchom ikonę analizy chropowatości  (ang. **Roughness**). Program SPIP™ automatycznie wyliczy parametry amplitudowe opisane w pkt. 1.3 części teoretycznej. Skopiuj przy pomocy funkcji *PrtSc* okno z wartościami parametrów do katalogu.

2.9 Powtórz pomiary z punktów 2.5-2.8 dla drugiego zdjęcia z podkatalogu.

2.10 Skopiuj wyniki z katalogu na dysk przenośny lub płytę CD.

## 3. Opracowanie wyników pomiarowych

3.1 Przed przystąpieniem do sporządzania sprawozdania wszystkie zdjęcia zapisane w trakcie laboratorium poddaj obróbce przy pomocy programu graficznego (PhotoEditor, PhotoWise, PaintShop etc). Z zapisanych skanów monitora wytnij zdjęcia oryginalne oraz zdjęcia z wynikami pomiarowymi. Wycięte zdjęcia zapisz i w tej postaci zamieść w sprawozdaniu.

3.2 W sprawozdaniu zamieść wszystkie punkty z instrukcji 2.4-2.9 wraz ze zdjęciami oraz odpowiadającymi im podpisami. Do każdego punktu dodaj wnioski.

3.3 Wnioski do pkt. 2.4 a-e powinny zawierać obserwacje dotyczące specyfiki działania każdego filtra oraz wpływu rozmiaru maski na wynik końcowy.

3.4 Wnioski do pkt 2.5-2.7 powinny zawierać ogólne obserwacje dotyczące badanego materiału, jak również komentarz dotyczący przydatności poszczególnych narzędzi.

3.5 W pkt 2.8 należy zawrzeć tabelę (lub zdjęcie) z wartościami parametrów amplitudowych. Do tabeli załącz wnioski wysnute na podstawie wartości poszczególnych parametrów (zgodnie z opisem teoretycznym - pkt 1.3 instrukcji) .

3.6 Wnioski podsumowujące do całego sprawozdania powinny zawierać informacje na temat zaobserwowanych pomiędzy badanymi materiałami różnic (pkt. 2.5-2.8 oraz pkt 2.9).

#### 4. Literatura

1. Materka A. (red.) Elementy cyfrowego przetwarzania i analizy obrazów, PWN, Łódź, 1991
2. Pavlidis T.: Grafika i przetwarzanie obrazów, WNT, Warszawa, 1987
3. Tadeusiewicz R., Korohoda P.: Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów, Fundacja Postępu Telekomunikacji, Kraków, 1997
4. Watkins C.D., Sadun A., Marenka S.: Nowoczesne metody przetwarzania obrazu, WNT, Warszawa, 1995
5. Wojnar L. Majorek M.: Komputerowa analiza obrazu, Fotobit design, Kraków, 1994
6. Woźnicki J.: Podstawowe techniki przetwarzania obrazów, WKiŁ, Warszawa, 1996
7. Wróbel Z., Koprowski R.: Przetwarzanie obrazów w Matlabie, Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice, 2001
8. Wróbel Z., Koprowski R.: Praktyka przetwarzania obrazów z zadaniami w programie Matlak, Akademicka Oficyna Wydawnicza Exit, Warszawa, 2004
9. Jan Zabrodzki (red.): Grafika komputerowa metody i narzędzia, WNT, Warszawa, 1994

*Opracowała:* dr inż. Joanna Bauer

Institut Inżynierii Biomedycznej i Pomiarowej Wydziału PPT Politechniki Wrocławskiej