

|                                                                                                 |                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Szkolna Radonowa Mapa Polski</p> <p><b>OCENA STEŻENIA RADONU</b></p> <p><b>Benchmark</b></p> | <p>Organizator:<br/>Fundacja Forum Atomowe</p> <p>Rok szkolny:<br/>2020/2021</p> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|

### Co to są benchmarki i dlaczego je organizujemy?

Nauka i technika posiada wiele możliwości, które pozwalają ocenić skuteczność oraz wydajność metod naukowych, np. testowanie, walidacja, weryfikacja, ocena, a także benchmarking. Początkującym na pewno nie jest łatwo rozróżnić te pojęcia, ale naprawdę każdy z tych terminów ma nieco inne znaczenie. Termin „benchmark” stał się ostatnio modny. Być może spotkaliście się z benchmarkami sprzętu komputerowego. Nie ma ogólnie przyjętej definicji benchmarkingu. Krótko można powiedzieć, że benchmark oznacza ustalony standard, który pomaga określić jakość np. oprogramowania, sprzętu, jakiejś usługi, procesów czy metody naukowej.

Benchmarking to metoda poszukiwania modelowych rozwiązań w celu uzyskania najlepszych wyników poprzez uczenie się od innych i korzystanie z ich doświadczenia. Tu trzeba podkreślić najważniejszy i niezbędny filar benchmarkingu: uczenie się. Istotą benchmarkingu jest przede wszystkim identyfikacja najlepszych praktyk i ich adaptowanie. Szukamy najlepszych metod dochodzenia do celu, porównujemy wyniki z innymi, identyfikujemy mocne i słabe strony (np. naszej metody rozwiązania problemu), uczymy się od innych i doskonalimy nasze praktyki, dzięki czemu rozwijamy swoje umiejętności.

Benchmarki porównawcze organizowane są w wielu dziedzinach nauki i techniki. Podobnie, jak w naszym przypadku, benchmark może polegać na rozwiązaniu konkretnego zadania przy użyciu dowolnych lub wskazanych przez autora benchmarku metod i narzędzi. Uczestnicząc w takich benchmarkach często wyłapujemy własne błędy, których sami nie zauważylibyśmy, a widzimy je dopiero, gdy porównujemy wyniki z innymi uczestnikami. To ważne, dzięki temu podnosimy jakość naszej pracy, badań, a korygując błędy, możemy być pewni, że nasze wyniki są prawidłowe. Można podać przykład z energetyki jądrowej. Międzynarodowe organizacje, tak jak: Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej, czy Agencja Energii Jądrowej OECD, organizują systematycznie benchmarki, np. dotyczące obliczeń związanych z bezpieczeństwem pracy reaktora jądrowego. Przedstawiciele wielu krajów wykonują określone zadanie. Następnie porównując wyniki możemy sprawdzić, czy uczestnicy benchmarku używają właściwych kodów obliczeniowych, na jakim etapie popełniają ewentualne błędy i czy ich metoda dochodzenia do wyniku jest prawidłowa. To pozwala upewnić się, że elektrownie jądrowe oraz reaktory badawcze, które pracują na świecie, są kontrolowane na poziomie lokalnym prawidłowo i według przyjętych standardów. To jest niesłychanie istotne, abyśmy wszyscy czuli się bezpiecznie.

Wy, jako uczestnicy projektu „Szkolna Radonowa Mapa Polski” zapewne po raz pierwszy w życiu weźmiecie udział w benchmarku porównawczym. Może to być dla Was ciekawe doświadczenie na przyszłość. Liczymy na to, że wiele szkół, biorących udział w projekcie, wykona benchmark i odeśle swoje wyniki. Sprawdzimy, które szkoły wykonają zadanie najlepiej. Pamiętajcie tylko, aby trzymać się treści zadania. W benchmarkach nie powinno być możliwości na interpretację polecenia, dlatego staraliśmy się, aby jego treść była jak najbardziej precyzyjna.

Życzymy powodzenia!

## TREŚĆ BENCHMARKU „Ocena stężenia radonu”

Benchmark podzielony został na dwie, niezależne od siebie części.

### CZĘŚĆ 1

Dokonaj analizy zdjęć mikroskopowych płytek CR-39 detektorów radonu przy użyciu programu ImageJ, a następnie na podstawie poniższej kalibracji, określ stężenie radonu w dwóch pomieszczeniach, w których wykonywany był pomiar przy użyciu tych detektorów. Każde zdjęcie to osobny detektor, a tym samym inny pomiar, wykonany w dwóch różnych pomieszczeniach. Poniższa kalibracja pozwala na przeliczenie liczby zaobserwowanych śladów na płytkach na wartość stężenia radonu zgodnie z formułą podaną w punkcie „Kalibracja detektora”.

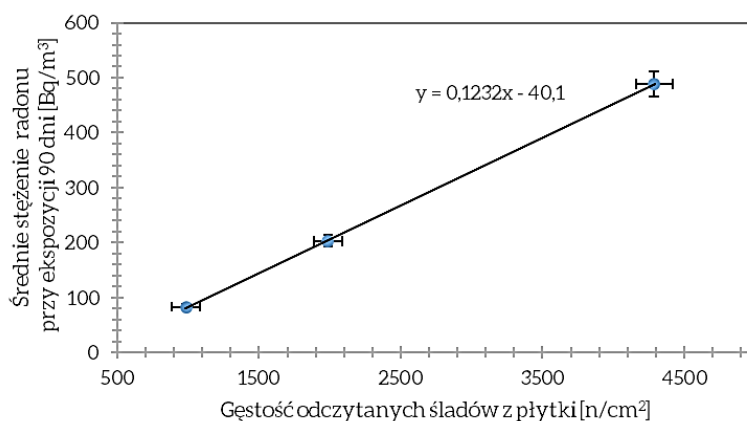
Zdjęcia płytek detektora CR-39 użytych do pomiaru w dwóch pomieszczeniach:

Pomieszczenie 1 - zdjęcie 1, plik: czesc1\_zdjecie1.jpg

Pomieszczenie 2 - zdjęcie 2, plik: czesc1\_zdjecie2.jpg

Kalibracja detektora:

Krzywa kalibracyjna wykonana na podstawie śladów w płytce CR-39 ma zależność liniową pomiędzy stężeniem radonu w jednostkach [Bq/m<sup>3</sup>] a gęstością odczytanych śladów z płytki [n/cm<sup>2</sup>], gdzie n – liczba śladów na płytce.



Rys. Krzywa kalibracyjna do części 1

Tabela Parametry krzywej kalibracyjnej

|                                                                                          |                       |                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------|
| Krzywa kalibracyjna ma postać funkcji liniowej:<br><b><math>y = a \cdot x + b</math></b> | <b>a</b><br>0,1232    | <b>b</b><br>-40,1  |
|                                                                                          | <b>u(a)</b><br>0,0010 | <b>u(b)</b><br>2,9 |

gdzie x – gęstość śladów, y – stężenie radonu oraz a,b – współczynniki prostej.

W arkuszu kalkulacyjnym *radon\_benchmark\_wynik.xls*, w skoroszycie „Część 1” należy wprowadzić wyniki dla każdego zdjęcia: liczbę śladów, obliczoną powierzchnię zdjęcia, gęstość śladów oraz stężenie radonu wraz z ich niepewnościami.

## CZĘŚĆ 2

a) Wykonaj kalibrację na podstawie trzech zdjęć płytek CR-39, którym odpowiadają znane stężenia radonu (zamieszczone w poniższej tabeli). Wykonaj analizę tych zdjęć przy pomocy programu ImageJ. Krzywa kalibracyjna wykonana na podstawie śladów na płytkach CR-39 przyjmuje zależność liniową pomiędzy stężeniem radonu w jednostkach [Bq/m<sup>3</sup>] a gęstością śladów z płytki [n/cm<sup>2</sup>]. Parametry prostej wraz z jej niepewnościami  $y=a \cdot x+b$  można wyliczyć samodzielnie lub przy użyciu dowolnego programu służącego do dopasowania prostej do punktów.

b) Następnie wykonaj analizę dwóch zdjęć z detektorów CR-39 użytych do pomiaru stężenia radonu w dwóch pomieszczeniach przy użyciu programu ImageJ. Na podstawie kalibracji wykonanej w punkcie a określ stężenie radonu w pomieszczeniach, w których wykonywany był pomiar.

*Uwaga: pomiary wykonane w części 1 i 2 benchmarku są niezależne, wykonane na innych detektorach, w innych porach roku i w innych miejscach; informacje o tym, gdzie i kiedy wykonane zostały te pomiary są nieistotne do wykonania zadania.*

Dane do wykonania kalibracji :

| Zdjęcie płytek kalibracyjnych | Stężenie radonu [Bq/m <sup>3</sup> ] | Niepewność stężenia radonu [Bq/m <sup>3</sup> ] |
|-------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------|
| kalibracja_zdjecie1.jpg       | 82,9                                 | 4,2                                             |
| kalibracja_zdjecie2.jpg       | 203                                  | 10                                              |
| kalibracja_zdjecie3.jpg       | 489                                  | 23                                              |

Zdjęcia płytek CR-39 użytych do pomiaru w dwóch pomieszczeniach:

Pomieszczenie 1 - zdjęcie 3, plik: czesc2\_zdjecie3.jpg

Pomieszczenie 2 - zdjęcie 4, plik: czesc2\_zdjecie4.jpg

W arkuszu kalkulacyjnym *radon\_benchmark\_wynik.xls*, w skoroszycie „Część 2” należy wprowadzić wyniki:

- kalibracji - dla każdego zdjęcia kalibracyjnego: liczbę śladów, obliczone pole powierzchni zdjęcia, gęstość śladów oraz parametry prostej  $y=a \cdot x+b$ :  $a$ ,  $b$ . Wszystkie wielkości należy podać wraz z niepewnościami,
- pomiaru stężenia radonu w dwóch pomieszczeniach, tj. dla każdego zdjęcia: liczbę śladów, obliczoną powierzchnię zdjęcia, gęstość śladów oraz stężenie radonu wraz z niepewnościami.

-----  
Ważna informacja do części 1 i 2:

- Pamiętaj, aby wszystkie wielkości oraz współczynniki krzywej kalibracji obliczyć wraz z ich niepewnościami. Wszystkie niezbędne wzory podane zostały w części: INSTRUKCJA WYKONANIA ANALIZY PRZY UŻYCIU PROGRAMU ImageJ.
- W części 2 w celu dopasowania prostej  $y=a \cdot x+b$  do danych:  $x$  – gęstość śladów,  $y$  – stężenie radonu, należy uwzględnić także niepewności  $x$  i  $y$ .

-----

Sugerowana kolejność wykonania analizy każdego zdjęcia płytki:

- a. wczytanie zdjęcia,
  - b. wybranie śladów do analizy poprzez odpowiednie nałożenie filtru na zdjęcie,
  - c. oszacowanie rozmiarów śladów, które mają być brane pod uwagę w analizie,
  - d. analiza liczby śladów,
  - e. oszacowanie rozmiaru analizowanego obszaru – wyznaczenie pola powierzchni,
  - f. obliczenie gęstości śladów.
- 

#### ISTOTNE UWAGI I KOMENTARZE:

- Proponujemy, aby zadanie wykonywały grupy uczniów, jako projekt zespołowy.
- Szkoła biorąca udział w benchmarku może wysłać więcej niż jeden arkusz kalkulacyjny z wynikami, o ile zadanie wykonywały niezależne grupy uczniów (osobno, bez wzajemnej konsultacji).
- **Prosimy NIE ZMIENIAĆ nazwy wypełnionego arkusza kalkulacyjnego oraz nazwy skoroszytów.**
- **Prosimy NIE ZMIENIAĆ FORMATOWANIA skoroszytów, nie zmieniać położenia komórek, tylko wprowadzić wartości w odpowiednie pola.**
- W przypadku pytań, prosimy o kontakt: [radon@forumatomowe.org](mailto:radon@forumatomowe.org).

**NIEPRZEKRACZALNY TERMIN NADSYŁANIA WYNIKÓW: 5 marca 2021 roku**

**WYNIKI PROSIMY NADSYŁAĆ NA ADRES: [radon@forumatomowe.org](mailto:radon@forumatomowe.org)**

## INSTRUKCJA WYKONANIA ANALIZY PRZY UŻYCIU PROGRAMU ImageJ

Poniżej znajduje się instrukcja, która pozwoli zaznajomić się z programem ImageJ i przeprowadzić analizę obrazów spod mikroskopu. Życzymy miłej i owocnej pracy!

Przyjęto następujące oznaczenia:

$n$  – liczba śladów na płytce  
 $u(n)$  – niepewność liczby śladów na płytce  
 $S$  – powierzchnia płytki  
 $u(S)$  – niepewność powierzchni płytki  
 $\rho$  – gęstość śladów na płytce  
 $u(\rho)$  – niepewność gęstości śladów na płytce

### 1. Program ImageJ

ImageJ to darmowy program służący do przeprowadzania analizy obrazów. Oprogramowanie to zostało napisane w języku Java przez pracowników amerykańskiego Narodowego Instytutu Zdrowia (National Institute of Health, NIH). Używanie ImageJ nie wymaga umiejętności programowania, jednakże dla zaawansowanych użytkowników istnieje możliwość zarówno tworzenia makro-poleceń, jak i pisania autorskich programów. W naszym projekcie nie będzie to wymagane.

ImageJ umożliwia:

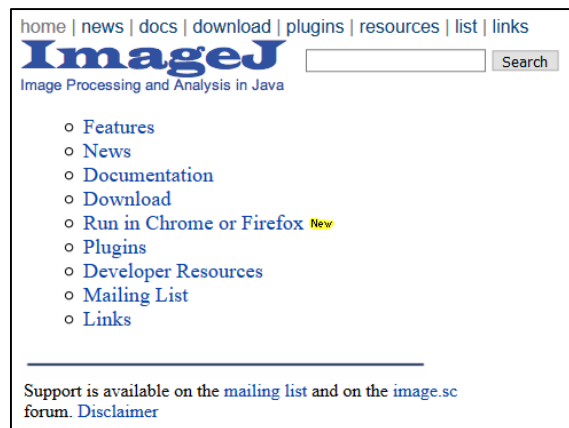
- wczytywanie wielu rodzajów plików, jak JPG, PNG, GIF, TIFF, BMP czy medyczne obrazy zapisane jako DICOM<sup>1</sup>,
- analizę obrazów zarówno czarno-białych, jak i kolorowych,
- możliwość powiększania obrazu do 32 razy
- odczytywanie podstawowych parametrów piksela (jego wartość w obrazie czarno-białym lub liczby opisujące jego kolor w systemie RGB (Red, Green, Blue)) lub zaznaczonego obszaru pikseli, w tym zwracanie statystyk na temat obszaru: minimalna, maksymalna i średnia wartość pikseli w tym obszarze, wraz z informacją o rozrzucie tej średniej,
- podstawowe operacje na obrazie jak przycinanie, obracanie, rysowanie, rozdzielanie obrazu na kolory składowe, manipulowanie kontrastem czy balansem bieli, także bardziej zaawansowane jak wygładzanie lub wyostrażanie,
- wykorzystanie wtyczek (plugins) tworzonych przez innych autorów, między innymi dedykowanych specjalistycznym zastosowaniom (analiza zdjęć astronomicznych, mikroskopowych, odnajdywanie wzorców w obrazie etc),
- przeprowadzanie analiz z oszałamiającą szybkością 40 milionów pikseli na sekundę, i wiele innych.

Aby rozpocząć pracę z programem należy odwiedzić poniższą stronę internetową:

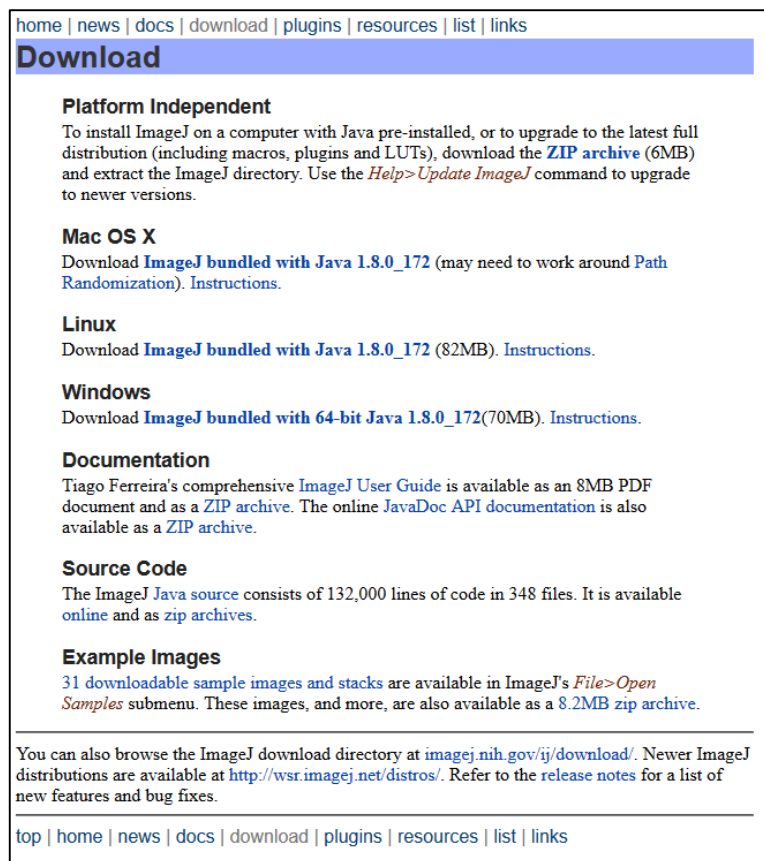
<https://imagej.nih.gov/ij/index.html>

---

<sup>1</sup> Podajemy te informacje jako dodatkowe ciekawostki dla najbardziej zainteresowanych uczniów – dysponując plikiem ze swoimi badaniami obrazowymi (np. rentgen, USG, tomografia komputerowa, rezonans magnetyczny) mogą przeglądać je za pomocą omawianego programu



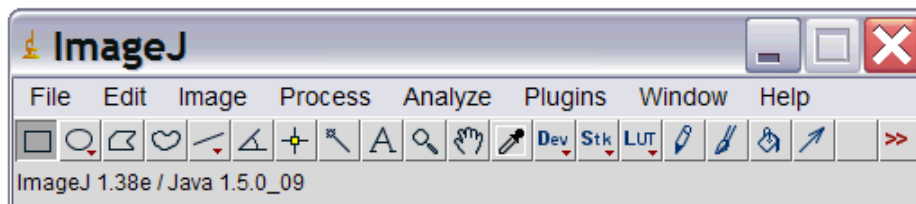
Możemy skorzystać z jednej z dwóch opcji: „Download”, czyli pobranie pliku na dysk komputera – wtedy należy wybrać pliki adekwatne do systemu operacyjnego na komputerze (prawdopodobnie u większości użytkowników będzie to Windows, mały plik około 70MB) - tę opcję rekomendujemy:



Opcja druga to wybór „Run in Chrome or Firefox”, czyli włączenie programu bezpośrednio w przeglądarce internetowej. W tym wypadku można również bezpośrednio odwiedzić stronę <https://ij.imjoy.io/> :

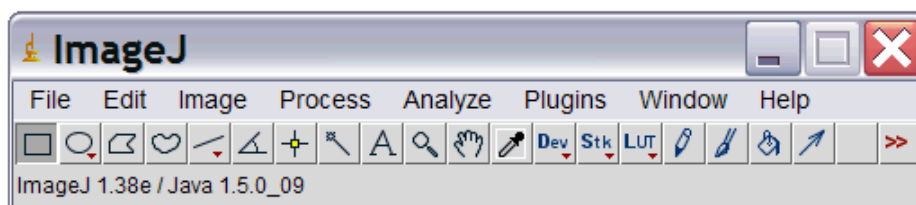


Niezależnie od sposobu uruchomienia programu (z dysku lub w przeglądarce), jego działanie jest identyczne, chociaż w oknie przeglądarki mogą czasem występować drobne problemy – pojawi się okno jak poniżej:



## 2. Przebieg przykładowej analizy zdjęcia mikroskopowego

Na wstępie ogólne zapoznajmy się z dostępnym menu programu – oto funkcje kolejnych pól w górnym rzędzie:



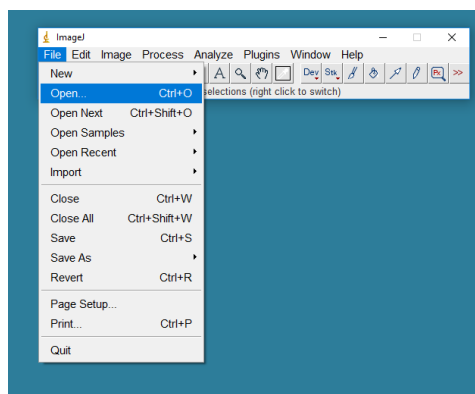
- **File:** wczytywanie i zapisywanie obrazów, w tym wczytywanie obrazów z biblioteki programu (np. obrazy anatomiczne, z mikroskopu optycznego, serię ukazującą mitozę itd.)
- **Edit:** cofanie polecenia, wklejanie, wycinanie, czyszczenie zaznaczenia
- **Image:** zmiana typu obrazu, operacje związane z jasnością, kontrastem, balansem bieli, składaniem i rozkładaniem na składowe obrazów kolorowych
- **Process:** procesowanie obrazka, jak nakładanie filtrów (np. wyostrających lub zmiękcujących), znajdowanie krawędzi na obrazie, operacje matematyczne jak dodawanie czy odejmowanie wartości pikseli, transformaty obrazu
- **Analyze:** możliwość wykonania pomiaru parametrów zaznaczonego obszaru, także analizowanie wyników pomiaru jak wykonywanie ich podsumowań statystycznych, histogramów, także skalowanie obrazu (aby z pikseli przejść np. na centymetry)
- **Plugins:** korzystanie z dodatkowych programów, np. ułatwiających zliczanie punktów na obrazie (po kliknięciu myszką na obrazie zostaje w tym punkcie numerowany znacznik)

- **Window:** ustawienia okna, przy większej liczbie otwartych plików przykładowo można je uporządkować jeden za drugim
- **Help:** pomoc, linki do forum użytkowników, instrukcji oraz przykłady użycia różnych funkcji

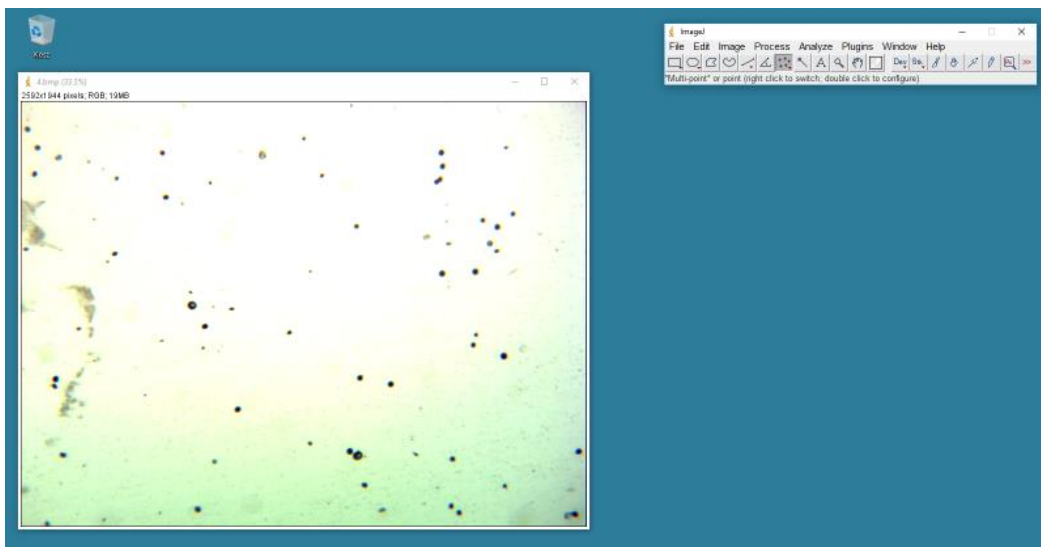
Lista ikon poniżej tekstu to narzędzia do pracy z obrazem: pierwsze cztery to opcje wyboru kształtu zaznaczenia (prostokąt, owal, linia łamana, linia dowolna), rysowanie linii prostej, pomiar kąta, zaznaczenie punktów, „różdżka” ułatwiająca pół-automatyczny wybór obszaru, możliwość dodania tekstu, powiększenie obrazu, przesuwanie obrazu, próbkowanie koloru. Dalsze dwie ikony ułatwiają pracę programistyczną, dalej mamy pędzel do rysowania na obrazie, farbę do zmiany koloru całego obszaru zaznaczenia, możliwość rysowania strzałek oraz narzędzie rysowania profili liniowych.

## 2.1. Wczytanie obrazu

Polecenie File -> Open -> wybieramy z okna dialogowego plik lub pliki, które chcemy analizować:



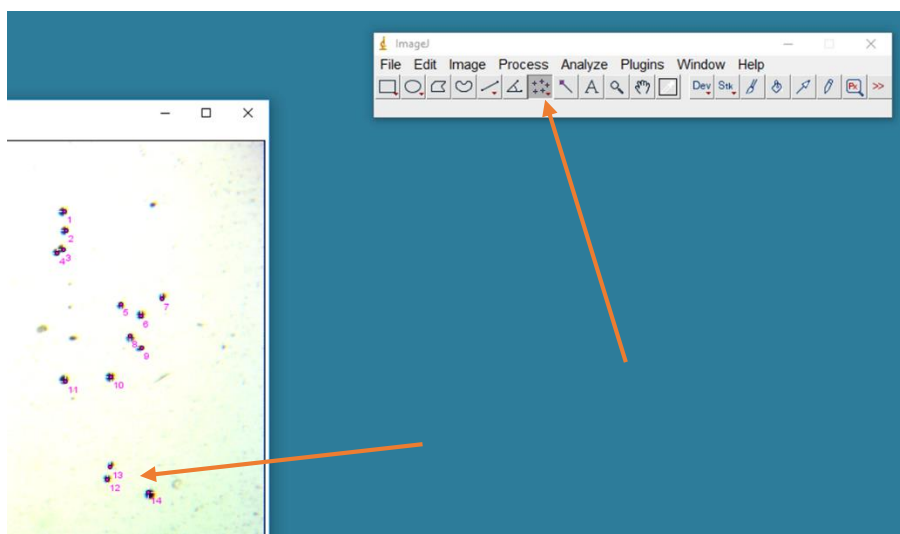
Analizowany obraz zostanie otwarty w nowym oknie:





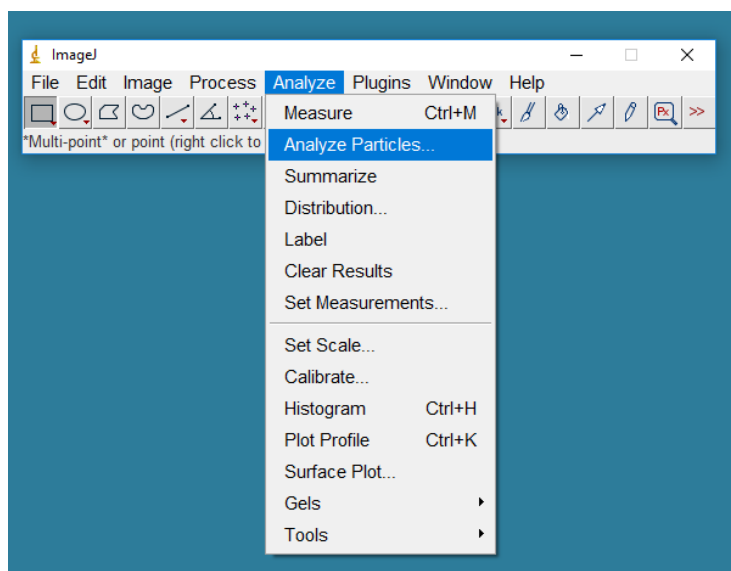
## 2.2. Ręczne liczenie śladów

Z górnego menu wybieramy narzędzie „Multi-point” – klikając na obraz w danych punktach będziemy wprowadzać znaczniki, zliczając oraz upewniając się, że nie liczymy żadnego punktu dwukrotnie:

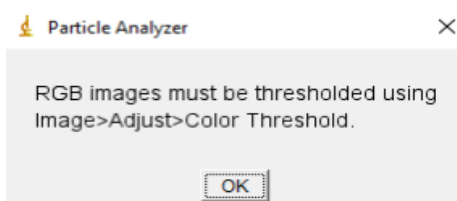


## 2.3. Automatyczne liczenie śladów

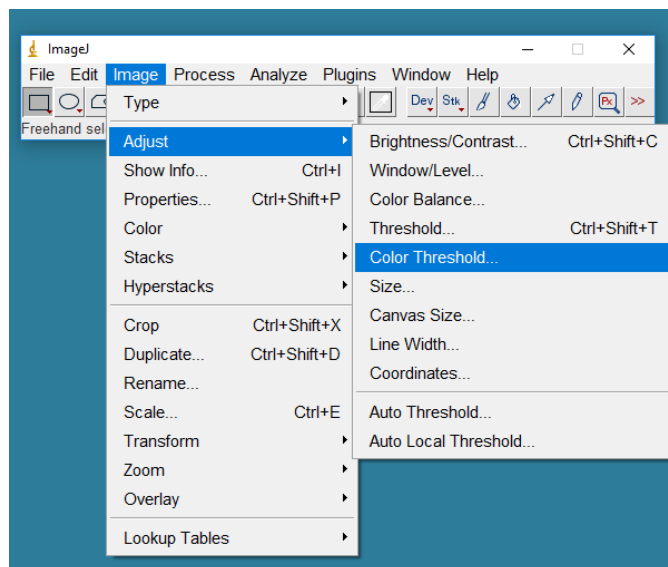
Przy dużej liczbie śladów liczenie ręczne może być bardzo żmudne, co więcej dostajemy tylko informację o liczbie śladów, ale już nie o ich kształcie czy rozmiarze. Aby uzyskać taką pełniejszą informację, posłużymy się poleceniem **Analyze -> Analyze Particles...**



Jeśli wczytany przez nas obraz był obrazem kolorowym, otrzymamy następujący komunikat:



Oznacza on, że analizy nie można wykonać na takim rodzaju obrazu, najpierw trzeba wykonać operację wskazaną pod opcją Image -> Adjust -> Color Treshold (w niektórych przypadkach, kiedy Color Treshold jest nieaktywny i nie pozwala wykonać filtrowania należy wybrać opcję Threshold):

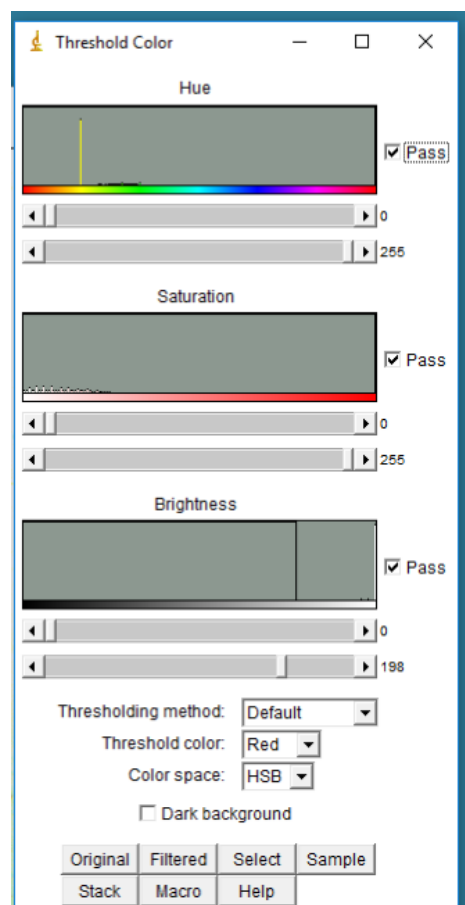


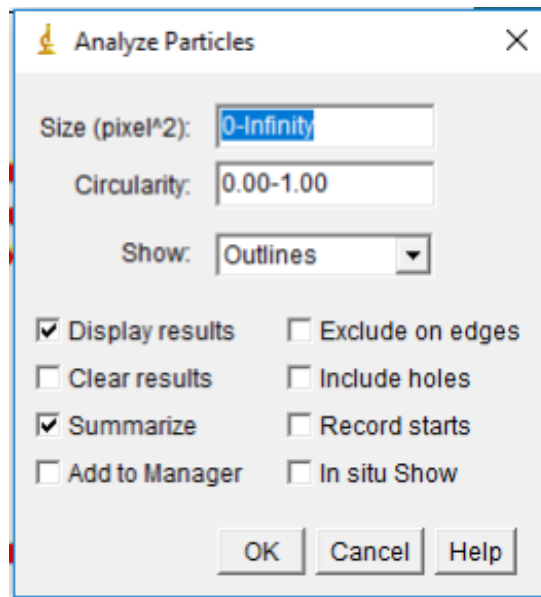
Operacja ta zamieni obraz na dwukolorowy – czarno-biały – tworząc mapę punktów, których wartość znalazła się powyżej lub poniżej ustawionego przez użytkownika progu (*threshold*). To najtrudniejszy moment przy automatycznej analizie, ponieważ od doboru parametrów progu zależy skuteczność odcięcia tła obrazu i uwypuklenia elementów, których poszukujemy.

Użytkownik ma wiele opcji do wyboru – na przykład polegają na odcinaniu konkretnych kolorów (RGB, czerwony, zielony, niebieski), lub konkretnych barw oraz ich jasności i nasycenia (HSB, Hue, Saturation, Brightness). Jeśli zdjęcie jest wyraźne, oświetlenie tła jednorodne, a poszukiwane elementy wyraźnie odcinają się od tła, ten etap odbędzie się bez żadnych problemów. W przeciwnym wypadku należy poświęcić czas na znalezienie (czasem metodą prób i błędów) optymalnego ustawienia suwaków.

To, czy w poprawny sposób dokonujemy odcięcia widać gołym okiem na masce nałożonej na obraz – ruszając suwakami będziemy widzieć jak zmienia się zaznaczony obszar, od skrajności wyboru wszystkiego (suwaki rozsunięte szeroko) do skrajności nie wybrania niczego (zakresy suwaków są zbyt wąskie).

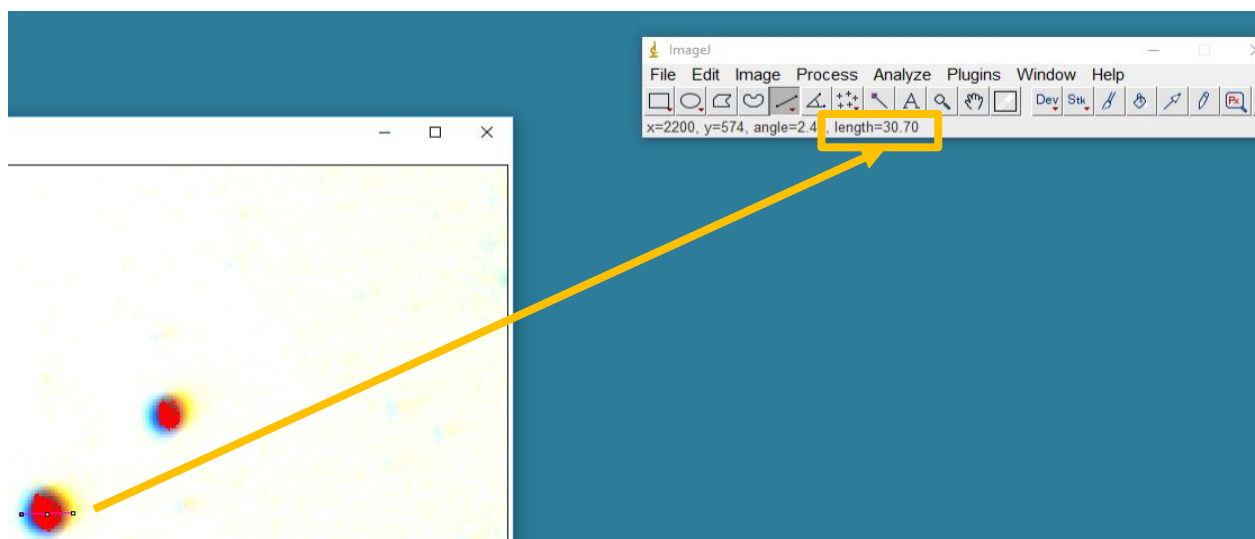
Po przeprowadzeniu tej operacji możemy wrócić do opcji Analyze -> Analyze Particles:





Program będzie próbował dopasować elipsy do elementów obrazu - dwa parametry liczbowe, o które jesteśmy pytane to kolejno zakres rozmiaru elipsy (tutaj możemy wpisać zakresy pól zaznaczonych obiektów w pixelach do kwadratu, na podstawie których ślady zostaną automatycznie zliczone) oraz zakres jej krzywizny (1 oznacza okrąg, 0 linię prostą, liczby pomiędzy elipsę). Rozmiar otworu powstającego w detektorach śladowych zależy przede wszystkim od parametrów wytrawiania płytki oraz – jeśli obraz jest nieskalibrowany, czyli długość podawana jest w pikselach, a nie mm czy cm – od powiększenia mikroskopu (ten sam otwór będzie zajmował więcej pikseli na większym powiększeniu). Lista wyboru (*Show*) decyduje jaki obraz zostanie wyświetlony po wykonaniu analizy – opcja Outline pokaże nam obrysy znalezionych okręgów.

Jeśli znalezionych punktów jest za dużo, musimy zawęzić kryteria poszukiwania, narzucając warunki na rozmiar otworu. Pojedyncze piksele to niepożądane artefakty, a bardzo duże wartości to np. wiele otworów zlanych w jeden i potraktowanych jako całość lub inny duży artefakt, jak cień w rogu zdjęcia. Aby ustalić przeciętny rozmiar otworu, należy powiększyć zdjęcie skrolując myszką przytrzymując przycisk control lub użyć narzędzia lupy – następnie wybieramy narzędzie liniowe i rysujemy kilkakrotnie linię wzdłuż i w poprzek reprezentatywnego śladu (lub powtarzamy tę operację dla kilku śladów). Średnicę odczytujemy z menu głównego i na tej podstawie podajemy zakres pól w rubryce Size (pixel^2) widocznym na powyższym zdjęciu). Sprawdzenie rozmiaru wykonujemy jak poniżej:



W użytym przykładzie średnica  $d$  wynosi około 30 pikseli. Zatem powierzchnia:

$$S = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \pi \left(\frac{30px}{2}\right)^2 \cong 711px^2$$

Przyjmując, że niepewność pomiaru średnicy  $u(d)$  jest rzędu dwóch pikseli (można ją także wyznaczyć powtarzając kilkakrotnie pomiar średnicy w różnych kierunkach), otrzymamy następującą niepewność wyznaczenia powyższego pola śladu:

$$u(S) = \pi \frac{2d}{4} u(d) = \pi \frac{d}{2} u(d) = \pi \frac{30px}{2} 2px \approx 94px^2$$

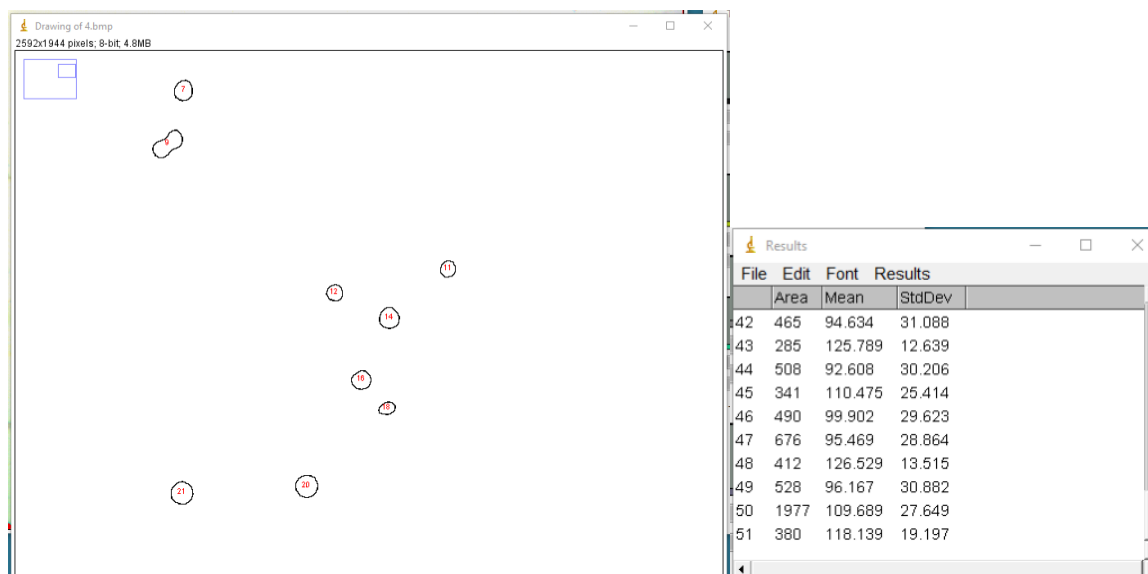
Zatem analizowany obszar ma powierzchnię  $711(94)px^2$ , czyli w zakresie  $617-805px^2$  z 68% przedziałem ufności<sup>2</sup>.

Powyższe wzory mają zastosowanie do zdjęć o kształcie koła, natomiast powierzchnię prostokątnego zdjęcia obliczamy z prostego wzoru na pole powierzchni prostokąta, a jej niepewność zależności:

$$u(S) = \sqrt{(k \cdot u(l))^2 + (l \cdot u(k))^2}$$

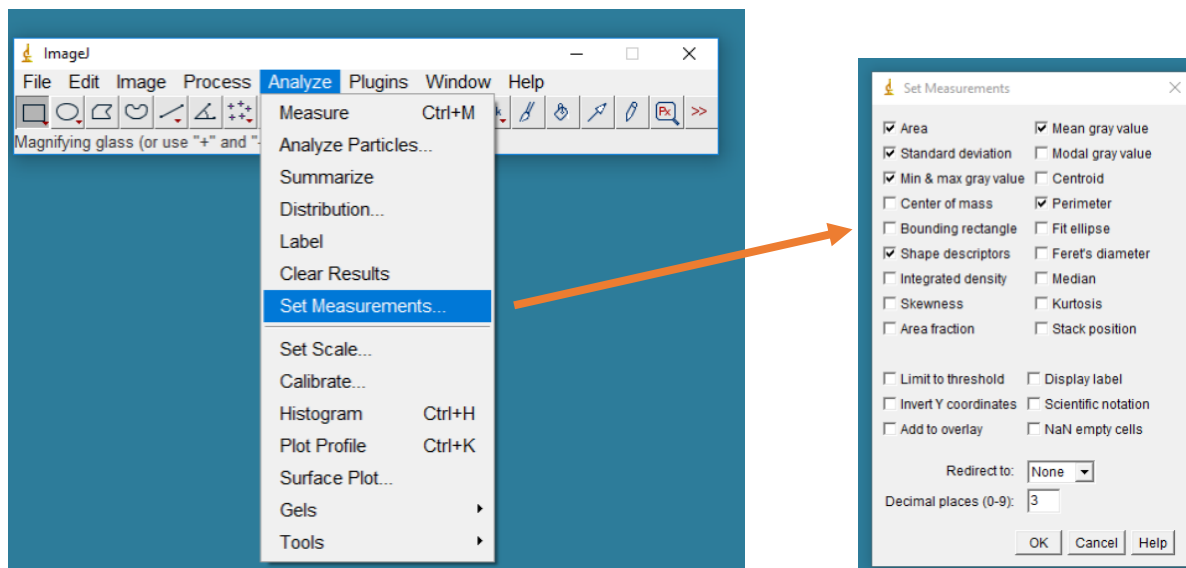
gdzie  $k$  i  $l$  to długości boków prostokąta, a  $u(k)$  i  $u(l)$  ich niepewności. Przyjmijmy, że  $u(k) = u(l) = 2px$ .

Jeśli zatem zawężymy poszukiwania do obszarów o powierzchni 350-1400 pikseli kwadratowych, będziemy uznawać za poprawne ślady o połowę większe i mniejsze niż wskazany. Po wykonaniu analizy należy krytycznie ocenić czy ustawiony zakres wyszukiwania nie był zbyt rygorystyczny (odrzucałmy poprawne zliczenia) lub za mało rygorystyczny (akceptowaliśmy błędne zliczenia) – można wyznaczyć go empirycznie po kilku próbach. Po ustawieniu parametrów i wykonaniu automatycznego zliczania otrzymamy tabelę z wynikami oraz rysunek pokazujący dopasowane kształty – w powiększeniu widzimy, że każdemu dopasowanemu obszarowi przypisany jest numer:

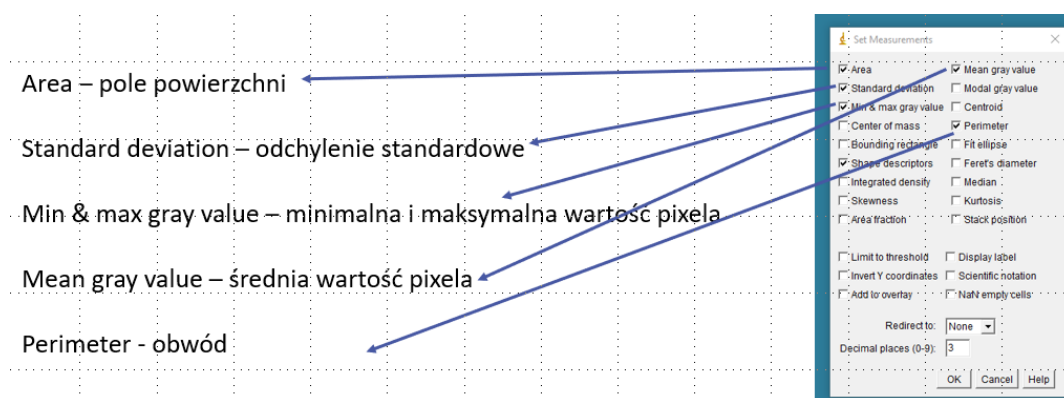


Chcąc dokonać wyznaczenia większej liczby parametrów możemy wybrać z menu Analize -> Set Measurements... wielkości wskazana w pojawiającym się panelu:

<sup>2</sup> Obliczanie niepewności pomiarowych znajduje się w podstawie programowej z fizyki, jednak nie precyzuje poziomu zaawansowania tego tematu – uczniów zainteresowanych szczegółami związanymi z obliczaniem niepewności pomiarowych odsyłamy do publikacji Wydziału Fizyki Politechniki Warszawskiej: [http://www.if.pw.edu.pl/~labfiz1p/cmsimple2\\_4/1instrukcje\\_pdf/ONP%20-%20poradnik.pdf](http://www.if.pw.edu.pl/~labfiz1p/cmsimple2_4/1instrukcje_pdf/ONP%20-%20poradnik.pdf)



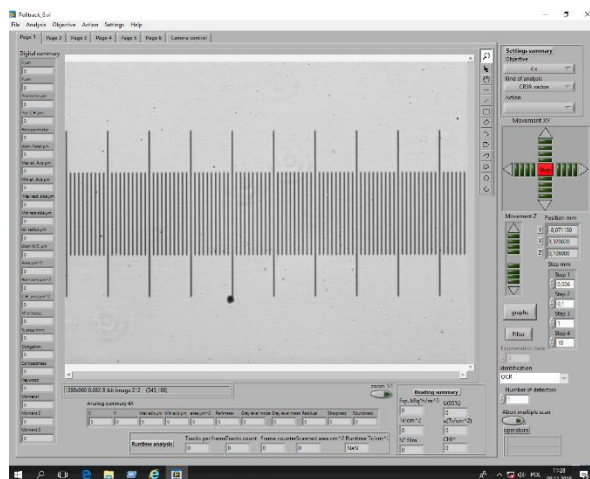
Poniżej zamieszczamy ich tłumaczenia:



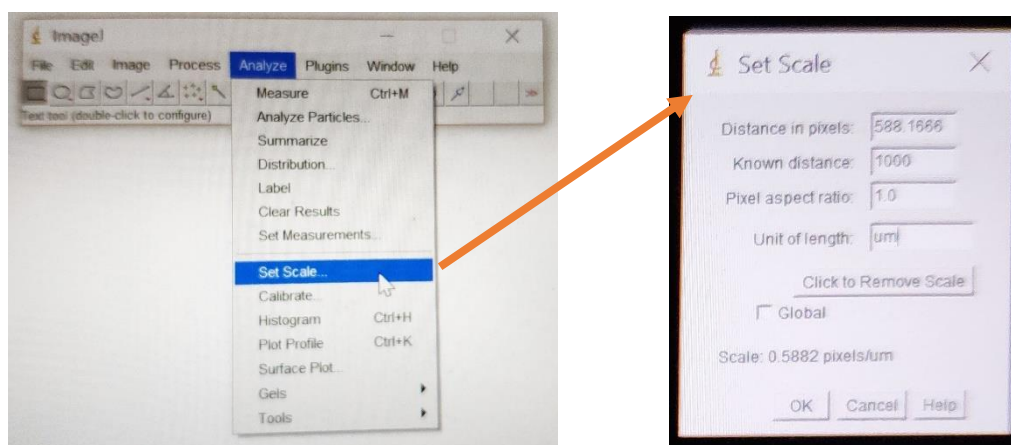
Po kliknięciu OK wyświetla się plik Results ze wszystkimi parametrami, które zaznaczyliśmy, przy czym w pierwszej kolumnie widoczna jest liczba znalezionych śladów. Otrzymane wyniki możemy skopiować bezpośrednio do arkusza kalkulacyjnego lub komendą File->Save As... zapisać w pliku. Zaznaczanie śladów i analizę cząstek można wykonywać dowolną liczbę razy, w zależności od potrzeb. Za każdym razem należy jednak zamykać okno Results, ponieważ wyniki się dodają.

## 2.4. Skalowanie obrazu

Do tej pory rozmiary analizowanych obiektów wyrażane były w liczbie pikseli – możemy jednak obraz wyskalować, aby wiedzieć np. ile milimetrów przypada na jeden piksel i podawać wielkość w sposób absolutny, a nie względny. Ta operacja jest potrzebna do wyznaczenia pola powierzchni analizowanego obrazu, a następnie obliczenia gęstości śladów, czyli liczby śladów na jednostkę powierzchni. W celu przeskalowania jednostek potrzebny jest obiekt widoczny na poniższym zdjęciu (zdjęcie o nazwie „Skalowanie”), którego rozmiar znamy. Odległość pomiędzy dużymi pionowymi kreskami to 10 mikrometrów (0,01mm):



Aby pomiary wykonywane były w odpowiedniej skali wykonujemy następującą operację: wybieramy narzędzie rysowania linii, rysujemy linię o znanej długości (np. pomiędzy liczbą kresek), następnie wybieramy z górnego menu Analyze->Set Scale...



Program automatycznie zmierzył długość linii – nam pozostaje wpisanie rzeczywistego dystansu (Known distance) i wyboru w jakich jednostkach ma być wyświetlany wynik, gdzie mm to milimetry, a um to mikrometry. Po kliknięciu „OK” program przy pomiarach będzie automatycznie uwzględniał skalowanie, np. podając długość w mikrometrach a pole w mikrometrach kwadratowych. Operację tę należy przeprowadzić po wcześniejszej analizie liczby śladów, gdzie zakres pól podawany był tylko w pixelach.

### 3. Analiza wyników

Powyższa procedura pozwala na przeanalizowanie obrazu będącego powiększonym fragmentem jednej płytki pomiarowej. W warunkach laboratoryjnych, gdzie analiza dokonuje się automatycznie, każdej płytce wykonywanych jest od kilkudziesięciu do kilkuset zdjęć, a wszystkie wyniki trafiają w jeden arkusz. Niemniej postać danych jest analogiczna, jedynie przy jednym zdjęciu jest ich mniej.

Parametrem, który chcemy wyznaczyć jest gęstość śladów, czyli średnia liczba śladów przypadająca na pole powierzchni – ponieważ ten parametr nie będzie zależał ani od powiększenia obiektywu, ani od wykonanej liczby zdjęć (jedynie zmniejszać się będzie niepewność wyznaczenia tego parametru).

Mając przeprowadzane automatyczne zliczanie oraz skalowanie, możemy podać gęstość śladów dzieląc liczbę śladów  $n$  przez pole powierzchni analizowanego obrazka w  $\text{cm}^2$ , otrzymując  $n/\text{cm}^2$ . Przy

braku skalowania można posługiwać się polem wyrażonym w pikselach, pamiętając, że wymaga to zachowania identycznych warunków odczytu. Wymagamy jednak przeliczenia pikseli na centymetry – pamiętaj, że przeliczyć należy pole powierzchni zdjęcia oraz jej niepewność.

Znając liczbę śladów  $n$  oraz powierzchnię zdjęcia  $S$  możemy obliczyć gęstość śladów  $\rho$  z prostej zależności:

$$\rho = \frac{n}{S}$$

oraz niepewność tej wielkości:

$$u(\rho) = \sqrt{\left(\frac{u(n)}{S}\right)^2 + \left(\frac{n}{S^2}u(S)\right)^2}$$

Zakładamy, że dokładność wyznaczenia liczby śladów  $n$  wynosi 5%, Zatem:

$$u(n) = 0,05 \cdot n$$

Gdy znasz już gęstość śladów  $\rho$ , możesz odczytać stężenie radonu z krzywej kalibracji, która ma postać funkcji liniowej:

$$y = ax + b$$

gdzie  $a$  i  $b$  to parametry prostej,  $x$  – gęstość śladów, a  $y$  – stężenie radonu. Niepewność stężenia radonu  $u(y)$  można obliczyć z prostego wzoru:

$$u(y) = \sqrt{(x \cdot u(a))^2 + (u(b))^2}$$

gdzie  $u(a)$  i  $u(b)$  to niepewności odpowiednio parametru  $a$  i  $b$ .