

**PREZENTACJA AUTORSKIEGO PROGRAMU AUTOMATYCZNEGO
POMIARU ZNACZKÓW TŁOWYCH NA OBRAZACH
ZDJĘĆ LOTNICZYCH**

**SOFTWARE FOR AUTOMATIC MEASUREMENT
OF FIDUCIAL MARKS ON DIGITAL AIR IMAGES**

Tomasz Chwastek, Sławomir Mikrut

Zakład Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej,
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: automatyzacja, fotogrametria cyfrowa, zdjęcia lotnicze, znaczki tłowe

STRESZCZENIE: Gwałtowny rozwój zainteresowania fotogrametrią w ostatnich latach spowodowany jest głównie faktem wprowadzenia technologii cyfrowej. Oprócz szybkiego dostępu do danych, istotnym czynnikiem jest możliwość automatyzacji niektórych procesów. Współczesne oprogramowanie komercyjnie pozwala znacznie skrócić czas opracowań fotogrametrycznych, a co za tym idzie podnieść ich wydajność. Prace nad zautomatyzowaniem etapów produkcji fotogrametrycznej realizowane są w wielu ośrodkach naukowo-badawczych na całym świecie. Również w Zakładzie Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie prowadzone są badania w tym kierunku. Ponieważ automatyzacja pomiarów na obrazach cyfrowych podnosi jakość i wydajność opracowań fotogrametrycznych, podjęto próby ich rozwijania. Wyniki badań przedstawione poniżej, pozwalają optymistycznie patrzeć w rozwój własnych algorytmów i oprogramowania. Ma to duże znaczenie, ponieważ bazowanie na własnym oprogramowaniu pozwala na jego szybki i praktycznie nieograniczony rozwój. Pomiar znaczków tłowych na zdjęciach lotniczych jest pierwszym krokiem w kierunku automatyzacji dalszych etapów technologii fotogrametrycznej. Artykuł niniejszy prezentuje program, który powstał w ZFiIT AGH Kraków. W artykule opisano przykład zaimplementowania powstałych algorytmów automatycznego pomiaru znaczków tłowych na obrazie cyfrowym, przy znanych elementach orientacji wewnętrznej. Opisano autorski program „Interior Orientation”, pozwalający na automatyczną orientację wewnętrzną w oparciu o zdefiniowane wcześniej w bazie danych obrazy znaczków tłowych wybranych kamer fotogrametrycznych. Sprawdzono poprawność jego działania, określono jego przydatność do zastosowań fotogrametrycznych oraz dokonano porównania z profesjonalnym oprogramowaniem. Manualnego pomiaru dokonano przy pomocy oprogramowania Dephos, półautomatycznego w PCI Geomatica. Uzyskano porównywalną dokładność na poziomie 0.25 piksela (średni błąd pomiaru znaczka tłowego).

1. WSTĘP

Rozwój fotogrametrii w ostatnich latach spowodowany jest głównie faktem wprowadzenia nowej technologii - cyfrowej. Oprócz szybkiego dostępu do danych,

istotnym czynnikiem jest możliwość automatyzacji niektórych procesów. Dzisiejsze, dostępne na rynku oprogramowanie komercyjne pozwala skrócić czas opracowań fotogrametrycznych prawie do minimum. Zagadnienia związane z automatyzacją pomiarów na obrazach cyfrowych są już od dawna przedmiotem badań w wielu ośrodkach naukowych na całym świecie. Podobnie jest również w Zakładzie Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej AGH w Krakowie. Już pod koniec lat osiemdziesiątych podjęto próby idące w kierunku rozwoju algorytmów automatycznej detekcji cech. Po skonstruowaniu autografu analityczno-cyfrowego VSD, przeprowadzono badania związane z automatyczną lokalizacją siatki „*reseau*” z podpikselową dokładnością, zakończone rozprawą doktorską W. Trochy (Trocha, 1993). Kolejne lata to próby wykorzystania drugiej pochodnej obrazu cyfrowego do lokalizacji krawędzi z podpikselową dokładnością (Jachimski *et al.*, 1998), automatyczne śledzenie linii wysokiego napięcia odfotografowanej na obrazie cyfrowym (Cieślak, 2000) oraz dalsze testy z zaimplementowaniem algorytmów do ekstrakcji cech na kolorowych obrazach zdjęć lotniczych i satelitarnych (Mikrut, 2003). W pracach tych autorom zawsze przyświecał cel tworzenia własnego oprogramowania.

W niniejszych badaniach, oprogramowano metodę automatycznego pomiaru znaczków tłowych. Rozwój algorytmów korelacji obrazów prowadzony jest aktualnie w ZFiIT AGH w Krakowie w ramach projektu badawczego KBN. Powstały w trakcie badań program komputerowy „Interior Orientation” był również tematem pracy magisterskiej (Chwastek, 2005) i jest przykładem zaimplementowania powstałych algorytmów pod kątem konkretnego zastosowania, w tym przypadku, automatycznego pomiaru znaczków tłowych na obrazie cyfrowym.

2. ISTOTA KORELACJI I „MATCHINGU”

Pojęcie korelacji nie jest związane tylko i wyłącznie z obrazami cyfrowymi i fotogrametrią. Najogólniej, korelacja obrazu polega na odnajdywaniu tych samych punktów na obrazach przedstawiających ten sam obiekt lub scenę. Proces ten nieprzerwanie zachodzi w ludzkim mózgu, w ośrodku wzroku, który łączy obrazy zarejestrowane przez prawe i lewe oko, umożliwiając nam trójwymiarową percepcję przestrzeni. To naturalne dopasowanie obrazu jest też wykorzystane w klasycznej analogowej fotogrametrii podczas obserwacji stereoskopowych par fotografii z wykorzystaniem stereoskopu.

W fotogrametrii cyfrowej korelacja jest jednym z najważniejszych zagadnień. Przełomowym był rok 1957, kiedy to Gilbert Hobrough zaprezentował swoją koncepcję korelacji obrazów na stacji roboczej Kelsh'a. To właśnie od tego momentu możemy zacząć mówić o automatyzacji w fotogrametrii. Co prawda ówczesna technologia zmuszała do analogowego przeprowadzania procesu korelacji tzn. przy pomocy pewnego urządzenia porównywane były poziomy szarości zobrazowań, ale rozwiązania zaprezentowane przez Hobrough'a były przełomowym wydarzeniem w dziejach fotogrametrii. Kolejnym dużym krokiem w rozwoju tej dziedziny było pojawienie się obrazów cyfrowych i możliwości stąd wynikające. Zasadnicza różnica, w stosunku do klasycznej fotogrametrii, polega na tym, że pracując z obrazem cyfrowym, pewne etapy (np. wyszukiwanie i pomiar punktów homologicznych) mogą przebiegać w sposób automatyczny. W Polsce automatyczny pomiar określany jest mianem autokorelacji (*matching*).

Metody korelacji obrazów można podzielić na trzy główne grupy:

- korelacja oparta na jasnościach (Area Based Matching - ABM),
- korelacja oparta na cechach (Feature Based Matching - FBM),
- korelacja oparta na relacjach (Relational (Symbolic) Matching).

Metody te różnią się głównie zaawansowaniem algorytmów dopasowania, od prostej korelacji liczonej pomiędzy jasnościami pikseli do zaawansowanych algorytmów badających relacje między obiektami (cechami) na obrazach cyfrowych.

3. AUTOMATYZACJA POMIARU ZNACZKÓW TŁOWYCH

3.1. Orientacja wewnętrzna

Orientacja wewnętrzna jest jednym z podstawowych i najważniejszych etapów wielu procesów fotogrametrycznych. Elementy orientacji wewnętrznej to współrzędne punktu głównego w układzie współrzędnych tłowych oraz odległość obrazowa, czyli odległość między środkiem rzutu, a płaszczyzną obrazu. Parametry te są wyznaczane w procesie kalibracji kamery. Problem orientacji wewnętrznej polega na tym, że położenie punktu głównego jest znane w układzie tłowym, a nie w układzie pikselowym (obrazowym), zatem zadaniem orientacji wewnętrznej jest wyznaczenie geometrycznej zależności między tymi układami.

Dla obrazów cyfrowych otrzymanych w procesie skanowania zdjęć lotniczych pozyskanych kamerami analogowymi, a z takimi mamy głównie do czynienia w Polsce, parametry transformacji obliczane są na podstawie znanych współrzędnych znaczków tłowych w obu układach. Współrzędne znaczków tłowych w układzie tłowym są znane, stałe dla konkretnej kamery, a wyznaczane są w procesie kalibracji kamery. Natomiast współrzędne w układzie pikselowym pozyskiwane są w trakcie wykonywania orientacji wewnętrznej, czyli pomiaru znaczków tłowych. Pomiar taki musi być przeprowadzany dla każdego zdjęcia niezależnie, gdyż położenie znaczków w układzie pikselowym zmienia się dla każdego zdjęcia. Wpływ na taki stan mają zarówno błędy wynikające z deformacji materiału negatywowego, jak i wiele czynników procesu skanowania m.in. różne usytuowanie zdjęć w stosunku do siebie podczas skanowania, rozdzielczość skanowania czy skanowanie różnymi skanerami. Przeliczenie współrzędnych pikselowych (obrazowych) do układu współrzędnych tłowych odbywa się na podstawie transformacji afinicznej.

3.2. Program „Interior Orientation 1.0”

Autorski program „Interior Orientation 1.0” jest programem służącym do prezentacji i przetwarzania obrazów cyfrowych. Jego głównym zadaniem jest automatyczne przeprowadzanie orientacji wewnętrznej na zdjęciach lotniczych. Napisany został z wykorzystaniem języka programowania „Microsoft Visual C++ w wersji 6.0” w środowisku Microsoft Windows XP. Program obsługuje obrazy cyfrowe zapisane w postaci mapy bitowej BMP. Powstał w oparciu o standardowe biblioteki klas MFC

(Microsoft Foundation Class). Pozwala to na zaimplementowanie wybranych procedur (tutaj zdefiniowanych jako klasy) do innych systemów.

Główne okno programu składa się z przestrzeni roboczej, w której wyświetlane są otwierane obrazy, paska narzędzi zawierającego skróty do podstawowych funkcji oraz paska menu, zawierającego wszystkie funkcje, w które program został wyposażony. W obszarze roboczym zdefiniowany został układ współrzędnych, w którym to wyznaczane są współrzędne znaczków tłowych. Program oprócz modułu odpowiedzialnego za automatyczny pomiar znaczków tłowych posiada także inne funkcje. Możliwe jest zamiana obrazu z pozytywu na negatyw, przejście z formatu 24 bitowego na 8 bitowy, a także wykonanie filtracji kontekstowej z wykorzystaniem dolnoprzepustowych filtrów (*low-pass filter*) uśredniającego i Gaussa oraz górnoprzepustowego filtru (*high-pass filter*) Laplace'a i gradientu Sobela. Są to jednak tylko moduły dodatkowe, gdyż istotą działania programu „Interior Orientation 1.0” jest automatyczny pomiar znaczków tłowych. Więcej szczegółów odnośnie programu można znaleźć w pracy T. Chwastka (Chwastek, 2005).

3.3. Opis zastosowanego algorytmu

Algorytm wykorzystany w programie „Interior Orientation wersja 1.0” odpowiedzialny za automatyczną detekcję znaczków tłowych podzielony został na dwa etapy. Pierwszym z nich jest wyznaczenie przybliżonego położenia znaczków. W tym celu wykorzystana została metoda korelacji obrazów cyfrowych zwana korelacją krzyżową (*cross correlation*). W metodzie tej na podstawie różnic jasności między odpowiednimi pikselami obu obrazów, wyznaczone jest takie położenie w oknie poszukiwawczym, w którym podobieństwo obrazu do wzorca jest największe. Miarą podobieństwa między tymi obrazami jest obliczony maksymalny współczynnik korelacji. Wyznaczany jest on na podstawie znajomości wartości odchyłeń standardowych oraz kowariancji. Współrzędne piksela, dla którego wartość współczynnika korelacji jest największa, określają położenie znacznika tłowego z pikselową dokładnością.

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (g_1(i, j) - \bar{g}_1)(g_2(i, j) - \bar{g}_2)}{\sqrt{(\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (g_1(i, j) - \bar{g}_1)^2)(\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (g_2(i, j) - \bar{g}_2)^2)}} \quad \text{gdzie:} \quad (1)$$

i, j - numer wiersza i kolumny obrazu w oknie wzorcowym,

M, N - ilość wierszy i kolumn obrazu w oknie wzorcowym,

$g_1(i, j)$ - jasność piksela w oknie wzorcowym,

$g_2(i, j)$ - jasność piksela w oknie poszukiwawczym,

\bar{g}_1 - średnia wartość jasności pikseli w oknie wzorcowym,

\bar{g}_2 - średnia wartość jasności pikseli w oknie poszukiwawczym.

Drugim etapem działania algorytmu jest wyznaczenie współrzędnych znaczków tłowych z podpikselową dokładnością. Zastosowane zostało następujące rozwiązanie.

Jasności pikseli leżących w bezpośrednim otoczeniu piksela, dla którego uzyskano maksymalny współczynnik korelacji, tworzą powierzchnię aproksymowaną równaniem postaci:

$$g = a_1X + a_2Y + a_3XY + a_4X^2 + a_5Y^2 + a_0 \quad (2)$$

gdzie:

- X, Y - współrzędne piksela,
- g - wartość jasności piksela o współrzędnych X, Y ,
- $a_0 \dots a_5$ - współczynniki równania.

Układ równań rozwiązany zostaje metodą najmniejszych kwadratów, a wynikiem rozwiązania są współczynniki równania $a_0 \dots a_5$.

Położenie znaczków tłowych z podpikselową dokładnością uzyskujemy zakładając istnienie ekstremum funkcji w punkcie o współrzędnych X_{\max}, Y_{\max} . Dla takiego założenia zachodzić musi warunek konieczny istnienia, ekstremum dla funkcji dwóch zmiennych $z = f(x,y)$.

Warunek konieczny, czyli zerowanie pochodnych cząstkowych pierwszego rzędu, postaci ogólnej $\frac{\partial f}{\partial x} = 0$ i $\frac{\partial f}{\partial y} = 0$ w przypadku równania powierzchni ma postać:

$$a_1 + 2a_4X_{\max} + a_3Y_{\max} = 0$$

$$a_2 + a_3X_{\max} + 2a_5Y_{\max} = 0.$$

Rozwiązaniem takiego układu równań są liczby X_{\max}, Y_{\max} będące współrzędnymi znaczka tłowego w układzie pikselowym (obrazowym).

3.4. Przebieg doświadczenia

Celem doświadczenia było określenie stopnia przydatności programu „Interior Orientation 1.0” w pracach fotogrametrycznych. W doświadczeniu wykorzystano 10 zdjęć lotniczych wykonanych kamerą RC20. Na zdjęciach wykonanych taką kamerą znajdują się cztery znaczki tłowe umieszczone w narożnikach zdjęcia. Pomiar współrzędnych znaczków tłowych w układzie obrazowym wykonany został przy udziale programów: Interior Orientation 1.0, Dephos 4.14 oraz PCI Geomatica V.9.1. Pomiar wykonany został w trzech etapach. Niezależnym pomiarem przez dwóch operatorów manualnie na stacji Dephos. Wykonaniu pomiaru półautomatycznego z wykorzystaniem PCI Geomatica, polegającego na tym, że manualnie mierzone są znaczki tłowe tylko na jednym zdjęciu należącym do danego projektu, a na pozostałych wykrywane są one automatycznie. Ostatnim etapem doświadczenia był automatyczny pomiar z wykorzystaniem programu „Interior Orientation 1.0”.

4. WYNIKI

W wyniku przeprowadzenia orientacji wewnętrznej dla 10 zdjęć lotniczych trzema programami DEPHOS, PCI Geomatica oraz Interior Orientation uzyskano zestawy par współrzędnych obrazowych dla czterdziestu niezależnie pomierzonych znaczków tłowych. Pierwszej analizie poddano wyniki otrzymane z profesjonalnych programów, czyli DEPHOS i PCI Geomatica. Oczywistym jest fakt, że zarówno pomiar manualny przez dwóch operatorów na tej samej stacji, jak i pomiar różnymi programami dają różne wyniki. Spowodowane jest to różną interpretacją położenia znaczka przez operatorów lub zastosowaniem różnych algorytmów automatycznie wykrywających znaczki. Analiza ta miała na celu pokazanie, na jakim poziomie kształtują się różnice między tak pomierzonymi współrzędnymi. Miało to być punktem odniesienia dla pomiaru programem „Interior Orientation 1.0” i odpowiedzią na pytanie, jakiego poziomu błędów należy się spodziewać.

Na podstawie różnic między współrzędnymi obrazowymi poszczególnych znaczków tłowych wyznaczono średni błąd pomiaru znaczka tłowego, odchylenie standardowe oraz wartości odchyłek maksymalnej i minimalnej (tabela 1 i 2).

Tabela 1. Wyniki pomiaru znaczków tłowych przy użyciu oprogramowania DEPHOS przez dwóch niezależnych operatorów

Parametry statystyczne	Uzyskane wartości [piksel]
Średni błąd pomiaru znaczka	0.2498
Odchylenie standardowe	0.1177
Maksymalna odchyłka	0.586
Minimalna odchyłka	0.015

Tabela 2. Wyniki pomiaru znaczków tłowych przy użyciu oprogramowania DEPHOS oraz PCI Geomatica

Parametry statystyczne	Uzyskane wartości [piksel]
Średni błąd pomiaru znaczka	0.2295
Odchylenie standardowe	0.1385
Maksymalna odchyłka	0.663
Minimalna odchyłka	0.034

Średni błąd pomiaru znaczków tłowych przez różnych operatorów, czy też z wykorzystaniem różnych programów, kształtuje się na podobnym poziomie, tj. nie przekraczającym wartości 0.25 piksela. Zatem spodziewana dokładność automatycznego pomiaru znaczków tłowych programem „Interior Orientation” nie powinna przekraczać wartości 0.25 piksela.

Aby potwierdzić ten fakt, dokonano porównania działania programu „Interior Orientation” w odniesieniu do DEPHOS oraz PCI Geomatica. Tak jak wspomniano, pomierzono 40 znaczków tłowych. Poniżej zestawiono wyniki (tabela 3 i 4) porównujące program „Interior Orientation” w odniesieniu do DEPHOS oraz PCI Geomatica.

Tabela 3. Wyniki pomiaru znaczków tłowych przy użyciu oprogramowania DEPHOS oraz „Interior Orientation”

Parametry statystyczne	Uzyskane wartości [piksel]
Średni błąd pomiaru znaczka	0.1955
Odchylenie standardowe	0.0761
Maksymalna odchyłka	0.334
Minimalna odchyłka	0.016

Tabela 4. Wyniki pomiaru znaczków tłowych przy użyciu oprogramowania PCI Geomatica oraz „Interior Orientation”

Parametry statystyczne	Uzyskane wartości [piksel]
Średni błąd pomiaru znaczka	0.2477
Odchylenie standardowe	0.1329
Maksymalna odchyłka	0.668
Minimalna odchyłka	0.029

Uzyskane wyniki pokazują, że zarówno w stosunku do pomiaru manualnego, jak i półautomatycznego z wykorzystaniem profesjonalnego fotogrametrycznego oprogramowania DEPHOS oraz PCI Geomatica, program „Interior Orientation” pozwala osiągnąć wyniki na podobnym poziomie dokładności, tj. średnim błędzie pomiaru znaczka wynoszącym 0.25 piksela. W odniesieniu do wspomnianych programów robi to jednak automatycznie, co w przypadku dużej ilości zdjęć, znacznie podnosi jego wydajność.

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Automatyzacja pomiarów na obrazach cyfrowych może podnieść jakość i wydajność opracowań fotogrametrycznych. W ramach badań prowadzonych w Zakładzie Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej AGH powstał program komputerowy, autorstwa Tomasza Chwastka, napisany w języku „Microsoft Visual C++ w wersji 6.0”, pozwalający na automatyczny pomiar znaczków tłowych na obrazach cyfrowych uzyskanych z zeskanowanych zdjęć lotniczych.

Program został poddany testowaniu i porównany z podobnym komercyjnym oprogramowaniem, tj. Dephos (pomiar manualny) oraz PCI Geomatica (pomiar półautomatyczny). Uzyskane wyniki pokazują, że zarówno w stosunku do pomiaru manualnego jak i półautomatycznego program „Interior Orientation” pozwala osiągnąć wyniki na podobnym poziomie dokładności (średni błąd pomiaru znaczka wynosi 0.25 piksela).

Pierwsze próby związane z wykorzystaniem metod korelacyjnych pozwalają optymistycznie patrzeć w rozwój własnych algorytmów i oprogramowania. Ma to duże znaczenie, ponieważ bazowanie na własnym oprogramowaniu pozwala na jego szybki i nieograniczony rozwój. Zautomatyzowanie pomiaru znaczków tłowych na zdjęciach lotniczych jest pierwszym krokiem w kierunku automatyzacji dalszych etapów technologii fotogrametrycznej. Aktualnie rozwijane są algorytmy korelacji obrazów pozwalające na automatyczne wykonywanie orientacji wzajemnej.

6. LITERATURA

Cieślak J., 2000. Automatyzacja śledzenia linii na obrazach cyfrowych. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 10, s. 31/1-31/7.

Chwastek T., 2005, Oprogramowanie automatycznego pomiaru znaczków tłowych na zdjęciach lotniczych. Praca magisterska, AGH.

Jachimski J., Mikrut S., 1998. Próba subpikselowej lokalizacji linii konturowych z wykorzystaniem drugiej pochodnej obrazu cyfrowego. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 8, s. 25/1-25/7.

Mikrut S., 2003. Wpływ skanowania i kompresji według standardu JPEG na wykrywanie obiektów liniowych i punktowych na obrazach cyfrowych. *Rozprawa doktorska*, AGH.

Trocha W., 1993. Automatyzacja pomiaru wzorców reseau na zdjęciach fotogrametrycznych z wykorzystaniem kamery CCD i autografu analitycznego. *Rozprawa doktorska*, Zakład Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej AGH.

Praca wykonywana w ramach projektu badawczego KBN Nr 4T12E 00127 pt. „Ocena efektywności wykorzystania sieci neuronowych w procesach automatycznej korelacji zdjęć lotniczych”.

SOFTWARE FOR AUTOMATIC MEASUREMENT OF FIDUCIAL MARKS ON DIGITAL AIR IMAGES

KEY WORDS: automatization, digital photogrammetry, air photography, fiducial mark, measurement

Summary

The rapid development of interest in photogrammetry in recent years has been caused mainly by the introduction of digital technology. In addition to rapid access to databases, another critical factor is the possibility of automatization of some of the processes. Contemporary software available on commercial market can cut the time of photogrammetric work to a minimum. Work on the automatization of photogrammetry production steps has been carried out in many research and development centres.

In addition, the Department of Photogrammetry and Remote Sensing Information of the University of Science and Technology in Cracow (AGH) conducts research in this direction. This research was focused on the development of the automatization of measurements on digital images, because it could increase the quality and efficiency of photogrammetric work. The results shown below support the further development of own algorithms and software. It is of great importance, because relying on own software enables its quick and unlimited development.

This paper presents software which has been developed at University of Science and Technology in the Department of Photogrammetry and Remote Sensing Information in Cracow (AGH).

This paper presents an example of the implementation of developed algorithms, from the point of view of specific use, i.e. the automatic measurement of the fiducial mark on a digital image with known internal orientation parameters. The original "Interior Orientation" software has been described. It can execute automatic internal orientation, based on the fiducial mark images of selected

Prezentacja autorskiego programu automatycznego pomiaru znaczków tłowych
na obrazach zdjęć lotniczych

photogrammetric cameras, previously defined in a database. Its accuracy was checked along with its use in photogrammetric applications and compared to a professional application. The manual measurement was carried out with the use of the Dephos software, while the semi-automatic measurement was carried out under the PCI Geomatica system. The results were on a comparable level of accuracy of 0.25 pixels.

Mgr inż. Tomasz Chwastek
e-mail: chwasciu@poczta.onet.pl
tel. +12 6172302

Dr inż. Sławomir Mikrut
e-mail: smikrut@agh.edu.pl
tel. +12 6172302