



## Analiza dokładności kalibracji obrazu cyfrowego na przykładzie mapy wyrobisk górniczych

### The analysis of the accuracy of digital image calibration on the example of a map of mining excavations

Dr inż. Aleksandra Mierzejowska<sup>\*)</sup>

**Treść:** Jednym z etapów związanych z wdrażaniem map górniczych w formie numerycznej w przedsiębiorstwach zajmujących się działalnością górnictwem jest kalibracja. Jest to proces polegający na nadaniu przestrzennej orientacji obrazom rastrowym z jednoczesnym usunięciem pewnych zniekształceń. Z etapem tym wiąże się również pewien poziom dokładności określany metodą średniego błędów transformacji. Na jego wielkość mają wpływ różne czynniki, w tym m.in. przyjęta metoda transformacji, liczba punktów dostosowania oraz ich rozmieszczenie w obrębie arkusza mapy. Biorąc to pod uwagę autorka przeanalizowała kilka wariantów kalibracji mapy wyrobisk górniczych pod względem dokładności w zależności od liczb oraz rozmieszczenia punktów. Proces kalibracji przeprowadzono w programach Geolisp oraz C-GEO, metodą Helmerta.

**Abstract:** Calibration is one of the stages related to the implementation of mining maps in the numerical form of mining companies. It is a process of giving spatial orientation to raster images with simultaneous removal of some distortions. This stage also involves a certain level of accuracy expressed by means of the average error of transformation. Its size is influenced by various factors, including adopted transformation method, number of adjustment points and their placement within the map sheet. Taking this into consideration, the author analyzed several variants of calibration of the mining excavation map in terms of accuracy depending on the number and distribution of points. The calibration process was carried out in the Geolisp and C-GEO programs by use of the Helmert method.

#### Słowa kluczowe:

kalibracja map, błąd kalibracji, metody transformacji

#### Keywords:

map calibration, calibration error, transformation methods

## 1. Wprowadzenie

Prowadzenie map w postaci dokumentów elektronicznych jest od wielu lat dopuszczane i praktykowane również w działach mierniczych przedsiębiorstw górniczych (Maciaszek i in. 2015, Mierzejowska 2012, Prawo ... 2011, Rozporządzenie ... 2015). O ile w przypadku map powierzchniowych przepisy szczegółowo określają zasady prowadzenia tych map, o tyle dla map górniczych informacje te są rozproszone w wielu aktach prawnych oraz zawierają pewne nieścisłości, chociażby pod względem nazewnictwa oraz ich podziału (Maciaszek 2015).

W wielu przypadkach proces pozyskiwania map w formie cyfrowej obejmuje trzy główne etapy: skanowanie, kalibrację oraz wektoryzację. W ramach artykułu autorka skupiła swoją uwagę na etapie drugim – kalibracji. Definicję kalibracji można znaleźć w *Rozporządzeniu Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji w sprawie standardów technicznych wykonywania geodezyjnych pomiarów sytuacyjnych i wysokościowych oraz opracowywania i przekazywania wyników tych pomiarów do państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego (Rozporządzenie ... 2011)*. Zgodnie z tym rozporządzeniem pod pojęciem kalibracji należy rozumieć *dostosowanie metodą matematycznej transformacji cyfrowego obrazu rastrowego mapy analogowej do układu współrzędnych prostokątnych płaskich*. Czytając dalej; *kalibrację rastrów map analogowych wykonuje się przy wykorzystaniu co najmniej 20 punktów do-*

*stosowania, położonych na arkuszu mapy objętej kalibracją, rozmieszczonych równomiernie na granicy zewnętrznej oraz wewnątrz transformowanego obszaru (Rozporządzenie ... 2011)*. Powyższe rozporządzenie określa również dokładność transformacji w zależności od skali mapy, np. dla map w skali 1:2000 błąd średni transformacji nie może być większy od 0,8 0 m, a dla map w skali 1:5000 od 2,00 m. O błędzie tym decyduje wiele czynników, a wśród nich wymienić można: jakość obrazu rastrowego (jakość mapy analogowej oraz dokładność skanowania), liczba punktów dostosowania oraz ich rozmieszczenie, rodzaj zastosowanej metody transformacji. Do przeprowadzenia kalibracji wykorzystano program Geolisp, który umożliwia przeprowadzenie transformacji metodą Helmerta, afiniczną oraz wielomianową różnych stopni (maksymalnie 9 stopnia). Przeanalizowano kilka wariantów, różniących się liczbą punktów dostosowania oraz ich rozmieszczeniem. Kalibrację przeprowadzono metodą Helmerta.

Dodatkowo, dla sprawdzenia dokładności zewnętrznej programu Geolisp taką samą kalibrację co do użytych wariantów oraz rozmieszczenia punktów dostosowania wykonano w programie CGEO.

## 2. Charakterystyka oprogramowania wykorzystanego do kalibracji

Do przeprowadzenia kalibracji wykorzystano program Geolisp autorstwa M. Poniewiery, który od kilkunastu lat wykorzystywany jest z powodzeniem w wielu kopalniach

<sup>\*)</sup> Politechnika Śląska, Gliwice

węgla kamiennego do prowadzenia dokumentacji mierniczo-geologicznej.

Program ten wyposażony jest w pakiet funkcjonalny wspomagający proces kalibracji, dlatego poniżej pokrótce go omówiono. Umożliwia on m.in.:

- obsługę obrazów rastrowych w wielu różnych formatach: tif, tif skompresowany, jpg, bmp,
- kalibrację rastra różnymi metodami tj.: konforemna, afiniczna, metodą wielomianu konforemnego, metodą wielomianu ogólnego,
- przyjęcie stopnia wielomianu od 1 do 9,
- możliwość wprowadzenia do kalibracji poprawek Hausbrandta,
- wygenerowanie i zapisanie raportu kalibracji,
- zapisanie rastra w formacie geotif, wraz z parametrami kalibracji,
- podgląd siatki skalibrowanej mapy oraz zestawienie wektorów kalibracji,
- obliczenie błędu średniego przeprowadzonej kalibracji (Poniewiera 2012).

Kalibracja jest możliwa na dwa różne sposoby: na siatkę, tzn. na wszystkie punkty przecięcia linii siatki współrzędnych oraz na dowolne punkty dostosowania.

Kalibracja na siatkę polega na wskazywaniu kolejnych punktów przecięcia linii siatki idąc od dołu ku górze rastra. W trakcie wskazywania kolejnych punktów dostępne są opcje *Pomin/ Zostaw < Wskaż punkt docelowy >*. Po wskazaniu wszystkich punktów program przechodzi do etapu kalibracji, w którym należy określić parametry kalibracji (rys. 1).

W oknie tym należy wybrać metodę transformacji, określić stopień wielomianu, zdecydować czy ma to być transformacja konforemna oraz czy mają być uwzględnione poprawki Hausbrandta. Wyświetlane są również punkty dostosowania wraz z błędami ich wskazania oraz całkowity błąd kalibracji (Pomykoł, Poniewiera 2009).

Program Geolisp umożliwia również kalibrację na dowolne punkty dostosowania. Służy do tego polecenie *KWPD* (Poniewiera 2012). Jest to szczególnie przydatne w sytuacji kiedy dysponujemy współrzędnymi punktów charakterystycznych np. punktów osnowy. Bardzo często punkty te charakteryzuje o wiele większa dokładność aniżeli punkty przecięcia siatki współrzędnych (naniesione graficznie). Współrzędne określające usytuowanie poszczególnych punktów można wprowadzać bezpośrednio na pasku poleceń lub poprzez wczytanie pliku tekstowego. Również w tym przypadku etapem kończącym proces kalibracji jest wybór parametrów (rys. 1). Niezależnie od użytego polecenia kalibracji program Geolisp wyświetla błędy punktów dostosowania uwzględnionych przy kalibracji, z możliwością pominięcia lub usunięcia wybranych.

### 3. Metody transformacji obrazów rastrowych w programie Geolisp

Pod pojęciem transformacji należy rozumieć przeliczenie współrzędnych punktów z jednego układu na drugi. W przypadku map jest to proces polegający na nadaniu zeskanowanej mapie odniesienia przestrzennego, któremu towarzyszy usunięcie zniekształceń geometrycznych rastra. W literaturze możemy spotkać kilka rodzajów transformacji (Kadaj 2002, Maciaszek 2010, Osada 2016, Osada, Sergieieva 2010, Pomykoł, Poniewiera 2009). Wśród metod transformacji dostępnych w programie Geolisp wyróżnić można transformację Helmerta, afiniczną oraz wielomianami.

Transformacja Helmerta (przez podobieństwo) jest 4-parametrową płaską, liniową, konforemna transformacją realizującą obrót, przesunięcie oraz zmianę skali (jednakową we wszystkich kierunkach). Wymaga co najmniej dwóch punktów dostosowania (Iwańczak 2016, Kadaj 2002, Pomykoł, Poniewiera 2009). Formuły transformacyjne, zgodnie z którymi punkty mapy przenoszone są do nowego układu  $X, Y$  mają postać (Osada, Sergieieva 2010, Pomykoł, Poniewiera 2009):

$$\begin{aligned} X &= t_x + X_p \cdot k \cdot \cos\varphi - Y_p \cdot k \cdot \sin\varphi \\ Y &= t_y + X_p \cdot k \cdot \sin\varphi + Y_p \cdot k \cdot \cos\varphi \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie:

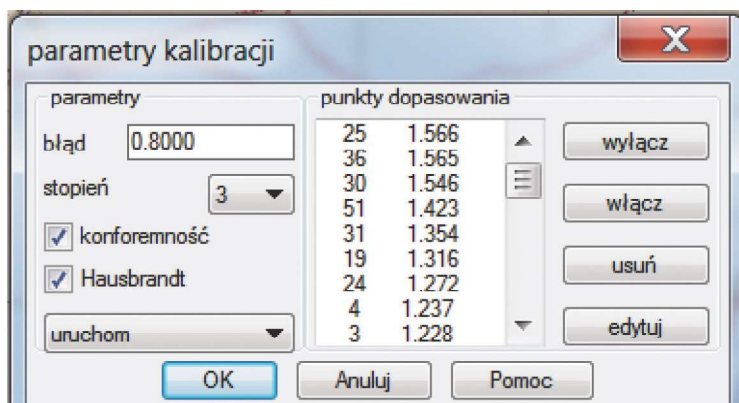
$t_x, t_y$  – przesunięcie odpowiednio w kierunku osi  $X$  i  $Y$ ,  
 $X_p, Y_p$  – współrzędne w układzie pierwotnym,  
 $k$  – współczynnik zmiany skali,  
 $\varphi$  – kąt obrotu.

Kolejnym rodzajem transformacji jest transformacja afiniczna. Charakteryzuje ją, podobnie jak transformację Helmerta, przesunięcie, obrót oraz zmiana skali (w tym przypadku różna w kierunku osi  $X$  i  $Y$ ). Wymaga ona co najmniej trzech punktów dostosowania. W transformacji afinicznej punkty z układu pierwotnego przenoszone są do nowego układu  $X, Y$  według następujących zależności (2) (Pomykoł, Poniewiera 2009):

$$\begin{aligned} X &= t_x + X_p \cdot k_x \cdot \cos\varphi_x - Y_p \cdot k_y \cdot \sin\varphi_y \\ Y &= t_y + X_p \cdot k_y \cdot \sin\varphi_y + Y_p \cdot k_x \cdot \cos\varphi_x \end{aligned} \quad (2)$$

gdzie:

$t_x, t_y$  – przesunięcie odpowiednio w kierunku osi  $X$  i  $Y$ ,  
 $X_p, Y_p$  – współrzędne w układzie pierwotnym,  
 $k_x, k_y$  – współczynnik zmiany skali wzdłuż osi  $X$  i  $Y$ ,  
 $\varphi_x, \varphi_y$  – kąt obrotu odpowiednio osi  $x$  i  $y$  układu pierwotnego.



Rys. 1. Okno dialogowe - parametry kalibracji  
 Fig. 1. The dialog box - calibration parameters

Transformacje wielomianowe są przykładem transformacji nieliniowych. Transformacje wielomianowe stanowią rozszerzenie transformacji afinicznej, która jest transformacją wielomianową pierwszego stopnia. Wraz ze wzrostem stopnia wielomianu zaobserwować można większą elastyczność dopasowania mapy w wyniku jej transformacji (Osada, Sergiejewa 2010). Najczęściej stosowana jest transformacja wielomianowa konformalna wybranego stopnia tzw. wielomianu zespolonego.

W przypadku wielomianu II stopnia formuły transformacyjne mają postać (3):

$$\begin{aligned} X &= t_x + a_1 X_p + a_2 Y_p + a_3 X_p Y_p + a_4 X_p^2 + a_5 Y_p^2 \\ Y &= t_y + b_1 X_p + b_2 Y_p + b_3 X_p Y_p + b_4 X_p^2 + b_5 Y_p^2 \end{aligned} \quad (3)$$

gdzie:

$t_x, t_y$  – przesunięcie odpowiednio w kierunku osi  $X$  i  $Y$ ,  
 $X_p, Y_p$  – współrzędne w układzie pierwotnym,  
 $a_p, b_p$  – nieznanne parametry.

Minimalna liczba punktów dostosowania w tym przypadku wynosi 6.

Dla transformacji wielomianem III stopnia formuły transformacyjne mają postać (4):

$$\begin{aligned} X &= t_x + a_1 X_p + a_2 Y_p + a_3 X_p Y_p + a_4 X_p^2 + a_5 Y_p^2 + a_6 X_p^2 Y_p + a_7 X_p Y_p^2 + a_8 X_p^3 + a_9 Y_p^3 \\ Y &= t_y + b_1 X_p + b_2 Y_p + b_3 X_p Y_p + b_4 X_p^2 + b_5 Y_p^2 + b_6 X_p^2 Y_p + b_7 X_p Y_p^2 + b_8 X_p^3 + b_9 Y_p^3 \end{aligned} \quad (4)$$

gdzie

$t_x, t_y$  – przesunięcie odpowiednio w kierunku osi  $X$  i  $Y$ ,  
 $X_p, Y_p$  – współrzędne w układzie pierwotnym,  
 $a_p, b_p$  – nieznanne parametry.

Minimalna liczba punktów dostosowania w przypadku transformacji wielomianem III stopnia wynosi 9 (Osada, Sergiejewa 2010).

#### 4. Analizowane warianty kalibracji

Kalibracji poddano arkusz mapy podstawowej wyrobisk górniczych (rys. 2) w skali 1:2000 z Atlasu (Atlas map górniczych...

1971). Analizowana mapa sporządzona jest w układzie Sucha Góra w odwzorowaniu Soldnera. Oś  $X$  skierowana jest na północ, a oś  $Y$  na wschód.

Kalibrację wykonano dla czterech wariantów. Jako metodę transformacji wybrano transformację Helmerta. Każdorazowo po skalibrowaniu mapy określono poziomy i pionowy wymiar ramki sekcyjnej 80 cm x 50 cm, co daje zasięg 1600 m. x 1000 m w rzeczywistości.

W wariantcie pierwszym dokonano kalibracji z wykorzystaniem 4 punktów, będących narożami ramki sekcyjnej. W tym celu użyto polecenia *KWPD* (kalibracja na dowolne punkty). Na rysunku 3 przedstawiono przykładowe okno dialogowe programu Geolisp z wyświetlonymi parametrami kalibracji.

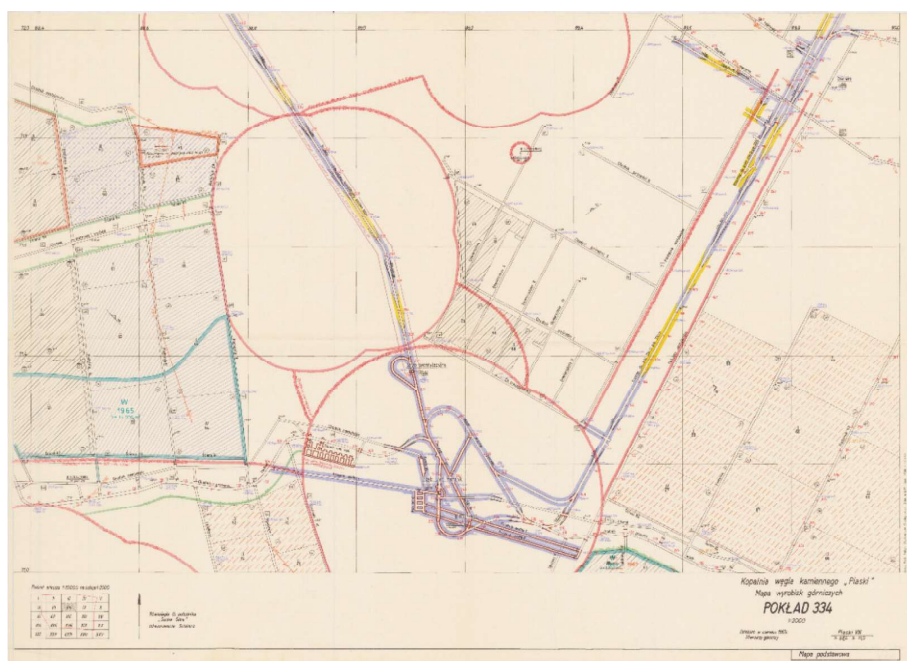
Błąd kalibracji dla tego wariantu wynosi 0,9620 m. Wymiar poziomy oraz pionowy ramki sekcyjnej odczytany po kalibracji wyniósł odpowiednio 1599,20 m i 1001,93 m.

W wariantcie drugim liczbę punktów zwiększono o kolejne cztery, usytuowane wewnątrz arkusza mapy poddanej kalibracji. Do tej kalibracji wykorzystano również polecenie *KWPD*.

W tym przypadku błąd kalibracji kształtował się na poziomie 0,8063 m. Ramka sekcyjna miała wymiary: poziomy 1599,23 m, pionowy 1001,93 m.

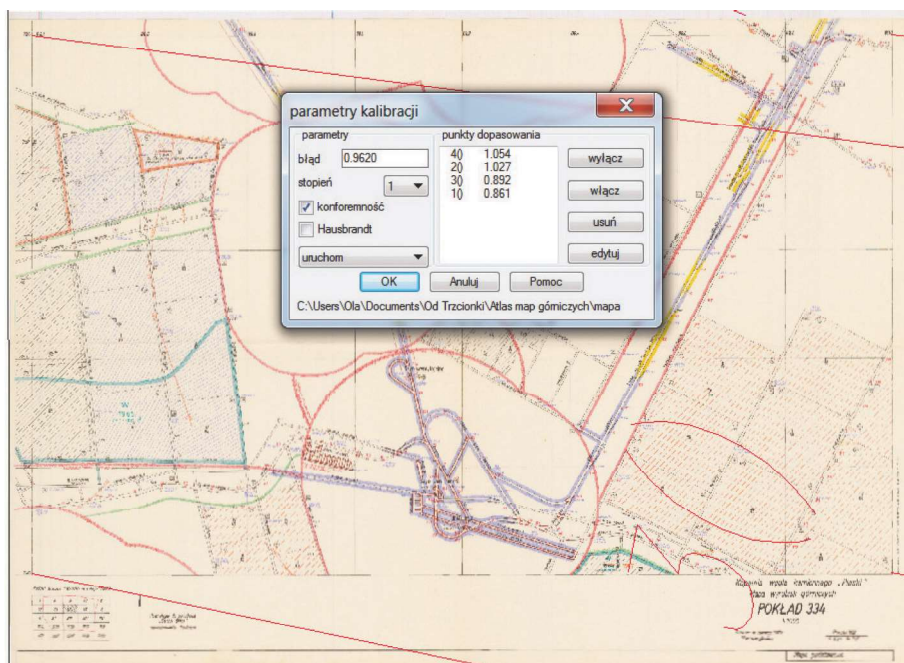
W wariantcie trzecim uwzględniono 27 punktów dostosowania. Do przeprowadzenia kalibracji użyto polecenie *KAL*. Polecenie to umożliwia kalibrację z wykorzystaniem wszystkich punktów

przecięcia linii siatki współrzędnych z jednoczesnym pominięciem wybranych z nich. W ramach tego wariantu autorka skorzystała z tej możliwości, kierując się przy tym zasadą, aby punkty uwzględniane w tym procesie rozmieszczone były równomiernie na arkuszu kalibrowanej mapy. Dla wariantu trzeciego błąd średni kalibracji wyniósł 0,6023 m. Wymiar poziomy ramki sekcyjnej wyniósł 1599,52 m, a wymiar pionowy 1000,96 m. Wariant czwarty obejmował wszystkie punkty, będące przecięciami linii siatki współrzędnych (54 punkty). Błąd kalibracji przy wykorzystaniu 54 punktów dostosowania wyniósł 0,5925 m. Wymiar poziomy ramki sekcyjnej wyniósł 1599,69 m, a wymiar pionowy 1000,13 m.



Rys. 2. Skan mapy podstawowej wyrobisk górniczych (Atlas map górniczych... 1971)

Fig. 2 Scan of the basic map of mine workings (Atlas map górniczych... 1971)



Rys. 3. Kalibracja w oparciu o 4 punkty dostosowania  
Fig. 3. Calibration based on 4 adjustment points

Wyniki kalibracji przy wykorzystaniu programu Geolisp porównano z wynikami uzyskanymi przy użyciu programu C-GEO. W obu przypadkach rozpatrywano te same warianty kalibracji. Otrzymane wyniki zestawiono w tabeli 1.

### 5. Podsumowanie i wnioski końcowe

Kalibracja obrazów rastrowych map analogowych jest procesem polegającym na nadaniu im przestrzennej orientacji w oparciu o tzw. punkty dostosowania. Wiąże się to oczywiście z określonym poziomem dokładności, wyrażonym średnim błędem transformacji. Jego wielkość zależy w dużej mierze od wyboru punktów dostosowania, w szczególności od ich liczby oraz rozmieszczenia na arkuszu zeskanowanej mapy. Wielkość tego błędu zależy również od zastosowanej metody transformacji. Wykorzystując program Geolisp dokonano kalibracji przykładowej mapy podstawowej wyrobisk górniczych dla czterech wariantów, różniących się liczbą punktów oraz ich usytuowaniem. Do kalibracji użyto programu Geolisp oraz C-GEO. W każdym wariantcie przeprowadzono kalibrację metodą Helmerta. Zamierzeniem autorki było przeanalizowanie wpływu rozmieszczenia punktów dostosowania oraz ich liczby na błąd średni kalibracji.

Analizując wyniki zestawione w tabeli 1, można zauważyć, że najmniejszy błąd kalibracji metodą Helmerta uzyskano dla 54 punktów dostosowania. Są to punkty przecięcia linii siatki współrzędnych, w związku z tym są one równomiernie rozmieszczone na całym arkuszu mapy. Wymiar ramki sekcyjnej dla tak skalibrowanej mapy różnił się jednak od wymiaru teoretycznego (dla wymiaru poziomego różnica wyniosła -0,31 m, dla pionowego 0,13 m). Problem ten można wyeliminować wprowadzając tzw. poprawki posttransformacyjne Hausbrandta. W pozostałych przypadkach błąd średni był większy, jego wartość kształtowała się w zakresie od 0,6023 m do 0,9620 m. Największe błędy uzyskano dla wariantu I i II.

W przypadku programu C-GEO wartości błędów poszczególnych wariantów w porównaniu do programu Geolisp kształtowały się na podobnym poziomie. Największą różnicę zanotowano dla wariantu II (0,1306 m).

Podsumowując, można stwierdzić, że spośród rozpatrywanych wariantów kalibracji mapy podstawowej wyrobisk górniczych wykonanej metodą Helmerta, metodą najlepszą pod względem dokładnościowym jest transformacja wykonana w oparciu o wszystkie punkty przecięcia linii siatki współrzędnych, jednak wynik zbliżony jest do wyniku otrzymanego w wariantcie III, w którym uwzględniono jedynie 27 punktów dostosowania (połowę wszystkich możliwych

Tabela 1. Zestawienie błędów kalibracji oraz wymiarów ramki sekcyjnej dla poszczególnych wariantów  
Table 1. Calculation of calibration errors and dimensions of the section frames for individual variants

Wariant	Liczba punktów	Rozmieszczenie punktów	Błąd kalibracji w programie Geolisp [m]	Wymiar ramki: - poziomy - pionowy	Błąd kalibracji w programie C-GEO [m]
I	4	Naroża ramki sekcyjnej	0,9620	1599,20 1001,93	1,0679
II	8	Naroża ramki sekcyjnej + punkty wewnątrz arkusza mapy	0,8063	1599,23 1001,93	0,6757
III	27	Punkty rozmieszczone równomiernie na całym arkuszu	0,6023	1599,52 1000,96	0,6101
IV	54	Wszystkie punkty przecięcia linii siatki współrzędnych	0,5925	1599,69 1000,13	0,6028

punktów). Zatem wydaje się słuszny wniosek, że zwiększenie liczby punktów (przy liczbie większej od 20) nie zwiększa znacząco dokładności kalibracji.

Dodatkowo, przystępując do kalibracji map górniczych autorka zetknęła się z brakiem przepisów dotyczących tego zagadnienia, o czym sygnalizowali autorzy pracy ([Maciaszek i in. 2015](#)).

Chcąc wyciągnąć szersze wnioski konieczna jest również analiza innych metod transformacji, których zastosowanie może być korzystniejsze dla procesu kalibracji, w szczególności przy większej liczbie punktów dostosowania, na co uwagę zwracają autorzy pracy ([Pomykoł, Poniewiera 2009](#)).

## Literatura

**Atlas map górniczych.** Ministerstwo Górnictwa i Energetyki, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Górnictwa. Katowice, 1971.

IWAŃCZAK B. 2016 – QGIS. Tworzenie i analiza map. Wydawnictwo Helion. Gliwice.

KADAJ R. 2002 – Polskie układy współrzędnych. Formuły transformacyjne, algorytmy i programy, [www.geonet.net.pl](http://www.geonet.net.pl).

MACIASZEK J. 2010 – System informacji o archiwalnych mapach i polach górniczych na potrzeby zagospodarowania przestrzennego. Wydawnictwo AGH. Kraków.

MACIASZEK J., WĄSACZ W., SZEWCZYK J. 2015 – Mapa górnicza jako dokument elektroniczny. „Przeгляд Górnicy” nr 3, 64 - 71.

MIERZEJOWSKA A. 2012 – Prowadzenie mapy górniczej w kopalniach węgla kamiennego - stan aktualny. Konferencja Naukowa „Górnictwo Zrównoważonego Rozwoju”, Gliwice, 28 listopada 2012, dokument elektroniczny.

OSADA E. 2016 – Geodezyjne układy odniesienia. UxLAN, Wrocław.

OSADA E., SERGIEIEVA K. 2010 – Długości, pola lub kąty. „Geodeta” nr 1.

POMYKOŁ M., PONIEWIERA M. 2009 – Numeryczne projektowanie w geodezji górniczej. Wyd. Pol. Śl., Gliwice.

PONIEWIERA M. 2012 – Standard mapy górniczej. Katowice.


**Prawo geologiczne i górnicze.** Ustawa z dnia 9 czerwca 2011r. (Dz.U. 2011 nr 163, poz. 981).

**Rozporządzenie** Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 9 listopada 2011r. w sprawie standardów technicznych wykonywania geodezyjnych pomiarów sytuacyjnych i wysokościowych oraz opracowywania i przekazywania wyników tych pomiarów do państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego (Dz.U. 2011 nr 263, poz. 1572).

**Rozporządzenie** Ministra Środowiska z dnia 28 października 2015 r. w sprawie dokumentacji mierniczo-geologicznej (Dz.U. 2015, poz. 1941).

Artykuł wpłynął do redakcji – styczeń 2018

Artykuł akceptowano do druku 11.07.2018

  
**FTT WOLBROM®**

Twój wypróbowany partner!

Innowacyjna  
droga  
rozwoju

**110** LAT  
1908-2018

[www.fttwolbrom.com.pl](http://www.fttwolbrom.com.pl)