Agnieszka Bieda
Katedra Geomatyki
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
Instytut Inżynierii Technicznej
Państwowa Wyższa Szkoła Techniczno-Ekonomiczna
w Jarosławiu
bieda@agh.edu.pl

Kalibracja rastrów klasycznych map ewidencyjnych sporządzonych w kroju obrębowym*

słowa kluczowe: kalibracja, klasyczna mapa ewidencyjna, krój obrębowy

STRESZCZENIE

Współczesne prace geodezyjne w dużym stopniu oparte są o metody komputerowe. Wykorzystanie w nich materiałów dostępnych jedynie w formie analogowej często związane jest z koniecznością przetworzenia ich do postaci numerycznej. Jest to szczególnie trudne w przypadku obróbki cyfrowej klasycznych map ewidencyjnych. Posłużenie się nimi w wykonawstwie geodezyjnym poprzedzone musi zostać wykonaniem wielu istotnych czynności technicznych. Najważniejsza z nich to kalibracja, czyli transformacja skanu mapy z lokalnego układu rastra do układu geodezyjnego. Wpasowanie takie jest wyjątkowo kłopotliwe dla map rastrowych w kroju obrębowym. Najczęściej wykonywane jest ono z użyciem osnowy, która służyła podczas pomiaru elementów wrysowanych na mapę. Istnieje jednak prawdopodobieństwo, że na mapach które należy skalibrować nie wrysowano punktów osnowy lub Państwowy Ośrodek Geodezyjny i Kartograficzny nie dysponuje współrzędnymi tych punktów. W przypadkach takich transformacja musi zostać wykonana w oparciu o inne dane. Mogą pochodzić one z operatów pomiarowych przyjętych do zasobu. Najlepiej jeżeli mieszczą się one w takich grupach asortymentowych, w których określone zostały współrzędne jednoznacznych do zidentyfikowania i pomiaru na rastrze punktów granicznych lub naroży budynków.

Przykładowe kalibracje map z powiatu krakowskiego wykonano w programie EwMapa. Za punkty dostosowania posłużyły dane pomiarowe z Powiatowego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Krakowie dostarczone w pliku DGN oraz punkty

* Praca powstała w ramach Grantu Dziekańskiego WGGiIŚ AGH 2011

osnowy szczegółowej wykorzystywanej do założenia ewidencji gruntów na tym terenie. Praca polegała na porównaniu wartości błędów transformacji otrzymanych w wyniku kalibracji rastrów różnymi metodami (transformacja Helmerta, afiniczna oraz wielomianowa), przy wykorzystaniu osnowy oraz szczegółów sytuacyjnych należących do I grupy dokładnościowej.

1. WSTĘP

Z racji na postępujący wzrost świadomości informatycznej społeczeństwa wykonawcy geodezyjni zmuszeni zostali do korzystania w swojej pracy z różnorakich metod cyfrowych.

Pomimo, że aktualnie wykonywane prace geodezyjne w znacznej części wspomagane są przez techniki komputerowe, nie można zapomnieć o istniejących materiałach archiwalnych, które nie zostały przetworzone do postaci numerycznej, a do których należy sięgnąć w celu prawidłowego wykonania zleconego zadania. Dokumenty takie mogą zostać poddane obróbce, w wyniku której powstaną łatwe do analizy dane cyfrowe. Proces ten jest szczególnie trudny w przypadku map klasycznych. Dla otrzymania ich numerycznej wersji, którą będzie można posłużyć się w toku prowadzonych prac geodezyjnych, należy mapy zeskanować oraz skalibrować. Postępowanie to jest wyjątkowo kłopotliwe w przypadku rastrów map wykonanych w kroju obrębowym. Wpasowanie takie, chociaż niewygodne, nie jest niemożliwe. Najczęściej wykonuje się je używając za punkty dostosowania punkty osnowy geodezyjnej, która służyła podczas założenia mapy.

Zawsze istnieje jednak możliwość, że na poddawanych obróbce cyfrowej mapach nie zostały skartowane punkty osnowy względem których wykonywano pomiar treści mapy lub nie można odnaleźć współrzędnych tych punktów. Dopuszczalna jest zatem kalibracja rastrów wykonana w oparciu o inne dane. Autorka proponuje wykorzystać w tym celu współrzędne pozostałych szczegółów sytuacyjnych I grupy dokładnościowej, które posiadają wyraźne kontury oraz zachowują niezmienność w czasie, takich jak budynki oraz znaki graniczne nieruchomości i działek [O-1, 1988]. Odnaleźć można je w operatach pomiarowych przyjętych do Państwowego Zasobu Geodezyjnego i Kartograficznego pochodzących z prac mieszczących się w grupach asortymentowych związanych z pracami geodezyjno-prawnymi oraz aktualizacją mapy zasadniczej, także w efekcie inwentaryzacji powykonawczych.

2. PODSTAWY TEORETYCZNE

Proces kalibracji jest transformacją skanu mapy z lokalnego układu rastra do układu geodezyjnego. W zależności od wybranej metody transformacji oraz od doboru punktów dostosowania rastry ulegać będą

różnym przekształceniom. Możliwe zniekształcenia zależne będą od zastosowanego algorytmu obliczeń, dlatego konieczne jest omówienie najczęściej stosowanych, w programach geodezyjnych, sposobów wpasowania [BIEDA i in. 2011]. Są to transformacje: Helmerta, afiniczna oraz wielomianowa.

Transformacja Helmerta, czyli przez podobieństwo, powoduje najmniejsze zniekształcenia. Raster zostaje przesunięty, obrócony oraz przeskalowany (w taki sam sposób we wszystkich kierunkach) zgodnie ze wzorami:

$$\begin{aligned} X_W &= X_0 + X_P k\cos\gamma - Y_P k\sin\gamma \\ Y_W &= Y_0 + X_P k\sin\gamma + Y_P k\cos\gamma \end{aligned} \tag{1}$$

gdzie:
X_P, Y_P – współrzędne w układzie pierwotnym,
X_W, Y_W – współrzędne w układzie wtórnym,
$[X_0,Y_0]$ – wektor przesunięcia,
k – współczynnik skali,
γ – kąt obrotu.

Z prostoty transformacji Helmerta wynikają duże błędy wpasowania przy nierównomiernie rozmieszczonych punktach dostosowania. Transformacja ta jest wiernokątna. W przypadku map obarczonych dużymi zniekształceniami nieliniowymi (efekt nieumiejętnego przechowywania lub skanowania) jest to wada.

W transformacji afinicznej skale przekształcenia są pochodnymi kierunków wpasowywania linii i nie zależą od położenia punktu. Nie jest to wpasowanie konforemne, ale nie powoduje taż deformacji linii prostych. Wynika to z zastosowanych wzorów:

$$\begin{aligned} X_W &= X_0 + X_P k_X\cos\gamma_X - Y_P k_Y\sin\gamma_Y \\ Y_W &= Y_0 + Y_P k_X\sin\gamma_X + X_P k_Y\cos\gamma_Y \end{aligned} \tag{2}$$

gdzie,
X_P, Y_P – współrzędne w układzie pierwotnym,
X_W, Y_W – współrzędne w układzie wtórnym,
$[X_0,Y_0]$ – wektor przesunięcia,
k_X, k_Y – współczynniki skali,
γ_X – kąt obrotu osi X układu pierwotnego,
γ_Y – kąt obrotu osi Y układu pierwotnego.

Największe zniekształcenia powodować mogą transformacje wielomianowe. Im wyższy stopień zastosowanego wielomianu, tym większe możliwe zniekształcenia treści mapy. Stosowane podczas wpasowań wielomianowych algorytmy obliczeń opierają się na wzorach:

$$X_W = a_0 + a_1X_P + a_2Y_P + a_3X_PY_P + a_4X_P^2 + a_5Y_P^2 + \ldots$$
$$Y_W = b_0 + b_1X_P + b_2Y_P + b_3X_PY_P + b_4X_P^2 + b_5Y_P^2 + \ldots \quad (3)$$

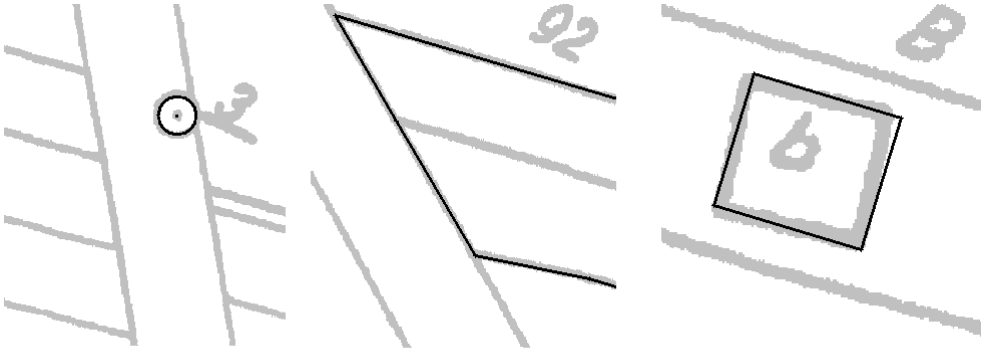
gdzie,
X_P, Y_P – współrzędne w układzie pierwotnym,
X_W, Y_W – współrzędne w układzie wtórnym,
$a_0 \div a_5$, $b_0 \div b_5$ – współczynniki transformacji.

3. PRZEDMIOT ANALIZ

Rozważania teoretyczne nad możliwymi deformacjami skanu map w kroju obrębowym, wynikającymi z kalibracji rastra, poparto praktycznym sprawdzeniem wpływu zastosowanego rodzaju transformacji oraz wyboru punktów dostosowania na przydatność wpasowanej mapy w pracach geodezyjnych.

Analizy przeprowadzono w oparciu o materiały otrzymane z Powiatowego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Krakowie. Są to klasyczne mapy ewidencyjne w kroju obrębowym (skala 1: 2 000) oraz współrzędne osnowy szczegółowej klasy IV wykorzystywanej podczas założenia ewidencji gruntów i budynków, a także dane pomiarowe dotyczące szczegółów terenowych I grupy dokładnościowej (państwowy układ współrzędnych „1965").

Przykładowe punkty dostosowania wykorzystane podczas prowadzonych analiz przedstawia rysunek nr 1.



A B C

Rys. 1: Przykładowe punkty dostosowania
arkusz mapy nr 1, obręb Jeziorzany, gmina Liszki
A – punkt osnowy, B – trójmiedze, C - budynek

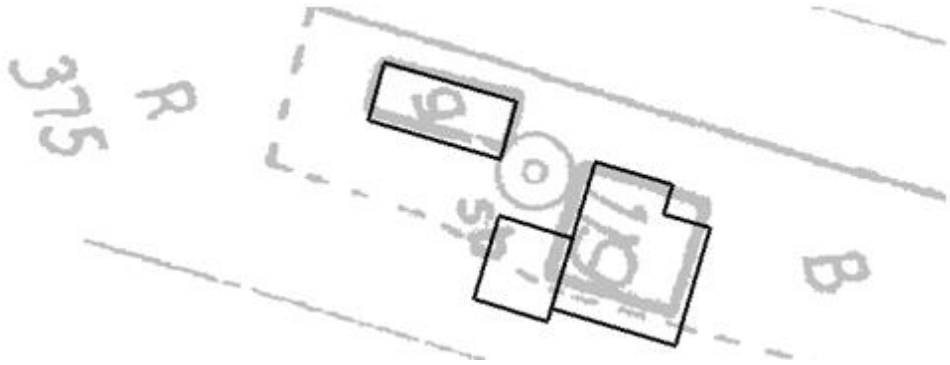
Źródło: Opracowanie własne

Punkty osnowy są najłatwiejsze do identyfikacji. Na kalibrowanych mapach oznaczone zostały jako okręgi z punktem centralnym.

Dodatkowo znajdują się na nich zbieżne z oznaczeniami z wykazów współrzędnych numery punktów.

Współrzędne punktów załamania granic ewidencyjnych oraz naroży budynków pochodzą z operatów pomiarowych, które powstały później niż transformowane mapy. Pojawić mogą się więc pewne trudności w rozpoznaniu ich, gdyż mogły one ulec zmianie w czasie.

Pamiętać należy, że nie wszystkie szczegóły terenowe, których współrzędne są znane, nadają się do wykorzystania w procesie kalibracji. Od czasu wykonania pierwotnego pomiaru minęło około 50 lat. W tym czasie zarówno kształt budynków jak i konfiguracje granic przedstawione na mapach mogły ulec zmianie. Część z nich mogła przestać istnieć zupełnie co uniemożliw nadanie im współrzędnych na podstawie współcześnie wykonanych pomiarów. Dodatkowo uważać należy na nowe elementy przestrzeni, których nie ma na kalibrowanych mapach, a które mogłyby utrudnić identyfikację szczegółów możliwych do użycia jako punkty dostosowania. Opisane modyfikacje przedstawiono na rysunku nr 2. Na szary raster mapy ewidencyjnej wrysowano na nim kolorem czarnym aktualny pomiar. Wśród zamieszczonych na nim trzech budynków, zaledwie jeden (gospodarczy) można uznać za niezmieniony w czasie. Budynek mieszkalny (nr adresowy 119) najprawdopodobniej został przebudowany. Dodatkowo na działce (nr 375) pomiędzy istniejącymi dotychczas budynkami powstał dodatkowy, który podczas wyboru punktów dostosowania mógłby zostać uznany za budynek mieszkalny o numerze adresowym 119.



Rys. 2: Zmiana kształtu budynków w czasie,
arkusz mapy nr 1, obręb Facimiech, gmina Skawina

Źródło: Opracowanie własne

Zestawienie wykorzystanych map oraz możliwą maksymalną liczbę punktów dostosowania dla nich przedstawiono w tabeli nr 1.

Tab. 1: Rastry klasycznych map ewidencyjnych,
na których prowadzono analizy

Gmina	Obręb	Nr arkusza mapy	Liczba punktów osnowy	Liczba pkt. granicznych i naroży budynków
Czernichów	Czernichów	10	14	4 413
Liszki	Jeziorzany	1	14	1 116
Skawina	Facimiech	1	12	2 475

Źródło: Opracowanie własne

Bez względu na fakt czy jako punkty dostosowania wykorzystywane były punkty osnowy czy też takie szczegóły terenowe jak budynki i graniczniki, w przypadku kalibracji rastrów map w kroju obrębowym, nigdy nie będą one rozmieszczone regularnie. Może zdarzyć się, że będzie ich na tyle dużo, aby pokrywały raster w bardzo dużym zagęszczeniu, nigdy jednak nie utworzą siatki jaką tworzą na współcześnie wykonywanych mapach krzyże

Poza liczbą punktów dostosowania ważne jest również ich przestrzenne rozmieszczenie. Powinny one zostać dobrane w taki sposób aby ich układ na rastrze był równomierny. Umożliwi to uniknąć ewentualnych błędów i zniekształceń związanych z koniecznością kalibracji fragmentów map na odległe punkty dostosowania. Rozkład możliwych do wykorzystania, w procesie kalibracji, punktów osnowy oraz szczegółów terenowych przedstawiają rysunki 3, 4 i 5. Na tle analizowanego rastra mapy wrysowano:

- osnowę (lewa strona rysunku),
- budynki i przyjęte w terenie granice (prawa strona rysunku).

Spośród analizowanych przypadków, najlepszy materiał do badań stanowi arkusz mapy nr 10, obręb Czernichów, gmina Czernichów (Rys. 3). Podobnie jak na pozostałych arkuszach i na nim osnowa rozmieszczona została w sposób równomierny (było to konieczne ze względu na pomiar do którego została założona). Inaczej jednak niż na dalszych rastrach nowy pomiar budynków i granic ewidencyjnych tylko na nim ułożył się odpowiednio do przeprowadzenia transformacji całego arkusza. Arkusz w całości pokryty jest regularnie nowym pomiarem.

Po porównaniu pomiaru terenowego z arkuszem z Facimiechu (Rys. 4) oraz z Jeziorzan (Rys. 5) okazuje się, że w obydwu przypadkach, istniejące pomiary nie pokrywają arkuszy na całej ich powierzchni. Wykorzystanie więc danych pomiarowych z Powiatowego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej może mieć miejsce tylko w przypadku wpasowania fragmentu arkusza lub przy jednoczesnym wykorzystaniu punktów osnowy.

Rys. 3: Rozmieszczenie osnowy oraz pomierzonych szczegółów sytuacyjnych I grupy dokładnościowej na arkuszu mapy nr 10, obręb Czernichów, gmina Czernichów

Źródło: Opracowanie własne

Rys. 4: Rozmieszczenie osnowy oraz pomierzonych szczegółów sytuacyjnych I grupy dokładnościowej na arkuszu mapy nr 1, obręb Facimiech, gmina Skawina

Źródło: Opracowanie własne

Rys. 5: Rozmieszczenie osnowy oraz pomierzonych szczegółów sytuacyjnych I grupy dokładnościowej na arkuszu mapy nr 1, obręb Jeziorzany, gmina Liszki

Źródło: Opracowanie własne

4. OTRZYMANE WYNIKI

Transformacja analizowanych rastrów map ewidencyjnych przeprowadzona została w programie EwMapa. Każdy raster wpasowano sześciokrotnie.

Pierwsze trzy transformacje wykonano z punktami osnowy, jako punktami dostosowania. Ze względu na małą liczbę punktów dostosowania nie odrzucano punktów odstających. Wpasowania wykonane zostało poprzez transformacje: Helmerta, afiniczną oraz wielomianową 2-go stopnia. Wyniki zamieszczono w tabeli nr 2.

Tab. 2: Kalibracja z wykorzystaniem osnowy

Arkusz mapy	**Błąd kalibracji [m]**		
	Helmerta	**Afiniczna**	**Wielomianowa 2-go stopnia**
Gmina Czernichów, obręb Czernichów, arkusz nr 10	0.96	0.29	0.23
Gmina Liszki, obręb Jeziorzany, arkusz nr 1	0.60	0.38	0.19
Gmina Skawina, obręb Facimiech, arkusz nr 1	0.52	0.24	0.18

Źródło: Opracowanie własne

Podobne analizy przeprowadzono wykorzystując jako punkt dostosowania pomierzone w terenie szczegóły pierwszej grupy dokładnościowej. Z pośród dostępnych, pomierzonych elementów, wybrano położone blisko punktów osnowy wykorzystywanych wcześniej. Liczba punktów dostosowania była zgodna z liczbą punktów wykorzystanych do kalibracji z wykorzystaniem osnowy. Wyjątek stanowił arkusz mapy z Jeziorzan, na którego północno-wschodniej części nie ma pokrycia pomiarem terenowym. Liczba punktów dostosowania dla tego arkusza wynosiła 9. Punkty dostosowania wybierano losowo. Otrzymane wyniki zamieszczono w tabeli nr 3.

Tab. 3: Kalibracja z wykorzystaniem szczegółów terenowych

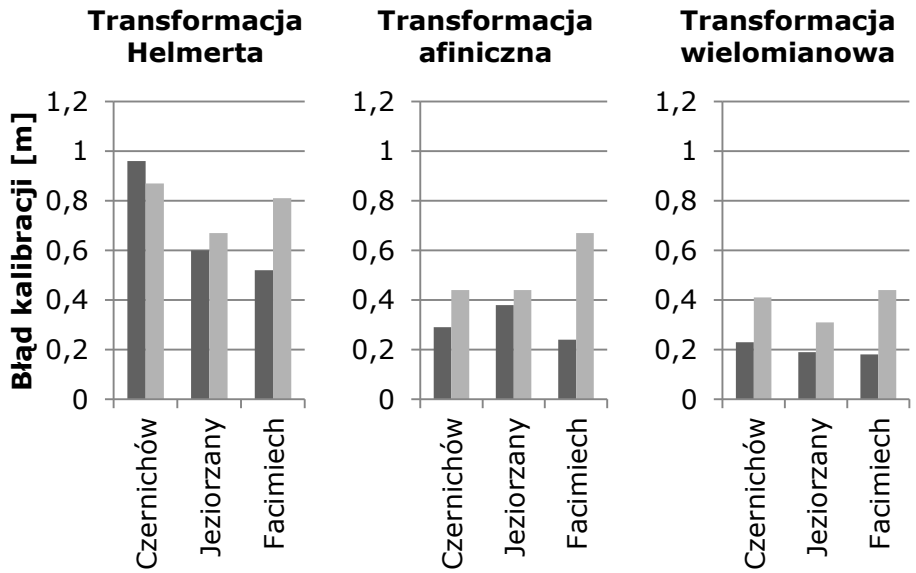
Arkusz mapy	**Błąd kalibracji [m]**		
	Helmerta	**Afiniczna**	**Wielomianowa 2-go stopnia**
Gmina Czernichów, obręb Czernichów, arkusz nr 10	0.87	0.44	0.41
Gmina Liszki, obręb Jeziorzany, arkusz nr 1	0.67	0.44	0.31
Gmina Skawina, obręb Facimiech, arkusz nr 1	0.81	0.67	0.44

Źródło: Opracowanie własne

Wyraźnie widać zmniejszanie się błędu kalibracji rastra w przypadku zastosowania transformacji o większej liczbie parametrów. Niestety mniejsze błędy wpasowania nie są równoznaczne z tym, że niepewność wyznaczenia z tych map współrzędnych również maleje [BIEDA I in. 2011].

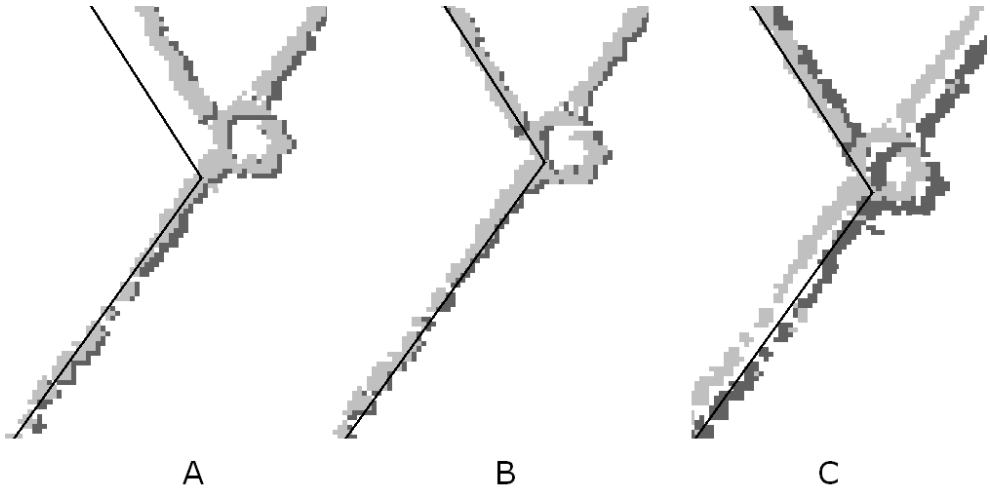
Przy porównaniu otrzymanych błędów kalibracji nie można nie zauważyć, że niepewności różnią się w zależności nie tylko do rodzaju zastosowanej kalibracji, ale także ze względu na wykorzystane punkty dostosowania. Zawartość tabel nr 2 i 3 porównano na wykresach (rys. 6). Kalibracja rastrów map ewidencyjnych wykonana w oparciu o pomiar szczegółów terenowych I grupy dokładnościowej tylko w jednym przypadku dała rezultaty lepsze niż wpasowanie z wykorzystaniem punktów osnowy.

Dodatkowo, ponieważ rastry map ewidencyjnych wykorzystywane są kiedy nie istnieje żadna inna dokumentacja, w której zapisano współrzędne z pomiaru szczegółów terenowych, dla określenia przydatności map skalibrowanych różnymi metodami wykonano graficzne porównanie efektów transformacji. Skonfrontowane ze sobą rezultaty kalibracji pokazano na rysunku nr 7.



Rys. 6: Błędy transformacji

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 7: Porównanie efektów kalibracji przy wykorzystaniu różnych punktów dostosowania,
arkusz mapy nr 10, obręb Czernichów, gmina Czernichów
A – transformacja Helmerta, B – transformacja afiniczna,
C – transformacja wielomianowa 2-go stopnia

Źródło: Opracowanie własne

Rysunek nr 7 przedstawia granicę pomierzoną w terenie (czarna ciągła linia) na tle skalibrowanych trzema metodami rastrów mapy ewidencyjnej. Mapa wpasowana z wykorzystaniem punktów osnowy została oznaczona kolorem jaśniejszym. Kolor ciemniejszy oznacza rastry do transformacji których zastosowano współrzędne punktów granicznych oraz naroży budynków pochodzące z pomiarów dużo późniejszych względem założenia mapy. Tym samym kolorystyka na rysunku z porównaniem skalibrowanych map, odpowiada kolorystyce na wykresach z rysunku nr 6.

Dla analizowanego fragmentu najlepsza okazała się być kalibracja afiniczna. Dała ona podobne wyniki niezależnie od zastosowanych punktów dostosowania. Zauważyć należy też, że granice otrzymane w procesie kalibracji rastra są zbliżone do granic pomierzonych w terenie.

W przypadku zastosowania transformacji Helmerta lub transformacji wielomianowej 2-go stopnia powstać mogą duże błędy. Kalibracja metodą Helmerta doprowadziła do rozbieżności rzędu 1.20 m bez względu na użyte punkty dostosowania, natomiast transformacja wielomianowa wywołała niezgodność 0.50 m między rezultatami kalibracji na różne punkty dostosowania.

5. WNIOSKI I UWAGI KOŃCOWE

Błąd transformacji na punkty osnowy jest w większości przypadków mniejszy niż błąd otrzymany podczas wpasowania arkuszy względem szczegółów terenowych. Wiąże się to z czasem, który upłynął od momentu założenia map do chwili pomiaru terenowego. Na dokładność kalibracji w przypadku transformacji względem naroży budynków oraz punktów granicznych największy wpływ miały niewielkie zmiany tych obiektów w czasie, które nie zostały wychwycone na etapie doboru punktów dostosowania.

Jak zauważono wcześniej, dla transformowanych map najlepsza okazuje się być kalibracja afiniczna. Mimo większych błędów wpasowania metoda ta dała efekty dużo bardziej zbliżone do pomiarów terenowych, niż wpasowania wielomianowe. Był to efekt oczekiwany zgodnie z badaniami nad optymalnym stopniem wielomianu transformującego [BANASIK 2009] oraz z badaniami autorki [BIEDA i in. 2011].

Zaakcentować należy, iż w prowadzonych analizach sprawdzano jedynie możliwość wykorzystania skalibrowanych rastrów całych arkuszy map. Jest to ważne podczas interpretacji otrzymanych wyników. Wpasowanie fragmentów map, wiązałoby się z transformacją opartą na punktach dostosowania położonych w znacznie mniejszej odległości od elementów zagospodarowania ze względu na które wykonywana jest

kalibracja. Można oczekiwać, że efekty takiego wpasowania były by dużo lepsze.

Otrzymane błędy transformacji są zaledwie składowymi niepewności z kalibrowanych map współrzędnych położenia punktów. Pozostałe zostały szczegółowo rozpisane w [HANUS 2006].

6. LITERATURA

BANASIK P., 2009, Optymalny stopień wielomianu, Magazyn Geoinformacyjny Geodeta nr 4

BIEDA A., JASIOŁEK J. HANUS P., 2011, Wykorzystanie klasycznych map ewidencyjnych w podstawowych pracach geodezyjnych, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich

HANUS P., 2006, Ocena przydatności dokumentacji byłego katastru austriackiego dla potrzeb prac geodezyjnych, Rozprawa doktorska AGH, niepublikowana

Instrukcja techniczna O-1: Ogólne zasady wykorzystania prac geodezyjnych, 1988, CODGiK

Agnieszka Bieda
Department of Geomatics
AGH University of Science and Technology
The Institute of Technical Engineering
State Higher School of Technology and Economics
in Jarosław
bieda@agh.edu.pl

Calibration of classical registration maps drawn up in precinct style

Keywords: calibration, classical cadastral map, precinct style

SUMMARY

A large extent of current surveying works is based on computational methods. The use of these materials , which are available only in analog form, is often associated with the necessity of processing them into digital form. It is especially difficult in the case of digital of conventional processing map registration. The use of them in the performance of surveying must be preceded by the implementation of many important technical activities. Calibration is the most important of them, ie the transformation of scanned map from the local system of raster to a geodetic one. This fitting is extremely confusing for raster maps in the

precinct style. It is most commonly performed using a control network that was used during the measurement of elements drawn on the map. However, there is the likelihood that the maps which shoul be calibrated some control network points are not been drawn into, or National Geodetic and Cartographic Center does not have the coordinates of these points. In such cases, the transformation should be based on other data. They might come from measuring report admitted to the resource. Ideally, if they fall within these groups assortment, which specify the coordinates of a clear to identify and raster points of measurement points or corners of buildings.

Some sample of calibration map of the district of Krakow was performed using EwMapa program. Points used for the adaptation of the measurement data came from the Centre District of Geodetic and Cartographic Documentation in Krakow provided in the DGN file, as well as points of control network detailed assumptions used for the registration of land in the area. The work consisted of comparing the errors resulting from the transformation of the calibration rasters using various methods (Helmert transformation, affine and polynomial), using control network and situational details belonging to the I accuracy group.