

PORÓWNANIE METOD TRANSFORMACJI MAP HISTORYCZNYCH

COMPARISON OF METHODS FOR HISTORICAL MAP TRANSFORMATION

Marcin Jaskulski, Grzegorz Łukasiewicz, Marta Nalej

Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych, Instytut Geografii Miast i Turyzmu,
Zakład Geoinformacji

Słowa kluczowe: mapy archiwalne, transformacja, kalibracja, siatka zniekształceń, metoda oceny zniekształceń

Keywords: archival maps, transformation, calibration, distortion mesh, distortion assessment method

Wstęp

Kartograficzne materiały archiwalne są bogatym źródłem wiedzy na temat środowiska geograficznego oraz zagospodarowania terenu. Informacje zawarte na dokumentalnych mapach i planach zyskują dodatkową wartość jeśli możemy odnieść je do współczesnej przestrzeni. Daje to badaczom możliwość pełniejszej analizy zmian zachodzących w środowisku w określonym czasie. Warunkiem wykorzystania potencjału takich dokumentów, jest ich odpowiednie wpasowanie we współczesne materiały kartograficzne, z największą dokładnością. Taką możliwość dają różne rodzaje oprogramowania, zarówno geodezyjnego, jak i z dziedziny systemów informacji geograficznej (GIS) (Affek, 2012; Wolski, 2012; Wochna, 2012; Zachwatowicz, 2012).

Celem artykułu jest przetestowanie rodzajów transformacji dostępnych w oprogramowaniu ArcGIS 10.0 i wybór najbardziej odpowiedniej do kalibracji map historycznych. Prace przeprowadzono na przykładzie Mapy Sytuacyjnej Projektowanej Oczyszczalni Ścieków Lublinek w skali 1:5000 z 1909 roku, autorstwa inżyniera Williama Lindley'a. Wybór najlepszej metody dokonano na podstawie otrzymanych błędów kalibracji oraz badania siatki zniekształceń w poszczególnych metodach korekcji geometrycznej.

Kalibracja map historycznych

Podejście badawcze – GIS Historyczny (HGIS), które wykorzystuje systemy informacji geograficznej opiera się na danych przestrzennych, wymagających przetworzenia archiwalnych materiałów kartograficznych do formy cyfrowej, w postaci wektorowej. Proces ten składa się z trzech etapów: skanowania, kalibracji i wektoryzacji (Wnęk, 2010; Affek, 2012).

Skanowanie to proces nadawania materiałom archiwalnym formy cyfrowej, w wyniku którego otrzymywane są mapy rastrowe. Następnym etapem kalibracja pozwala umiejscowić zeskanowaną mapę/plan w określonym systemie odniesień przestrzennych. Jest on wykorzystany do wektoryzacji, czyli przetworzenia obrazów rastrowych do zapisu wektorowego (Gaździcki, 2001; Werner, 2004; Głowacki, 2005; Longley i in., 2006).

Kalibracja obrazów rastrowych, nazywana również nadawaniem georeferencji, wpasowaniem przestrzennym lub rejestracją w układzie współrzędnych, polega na usunięciu zniekształceń i błędów występujących na rastrze, spowodowanych skanowaniem i zniekształceniami mapy papierowej oraz zdefiniowaniu układu geodezyjnego. Jest to przekształcenie-transformatcja z układu rastra (pierwotnego) do układu geodezyjnego (wtórny). Jakość kalibracji zależy od wybranego modelu transformacji, który prawidłowo dobrany może eliminować w mniejszym lub większym stopniu błędy rastra (Mierzwa, 2002; Tomlinson, 2007; Kosiński, 2010; Osada, Sergieieva, 2010; Wochna, 2012).

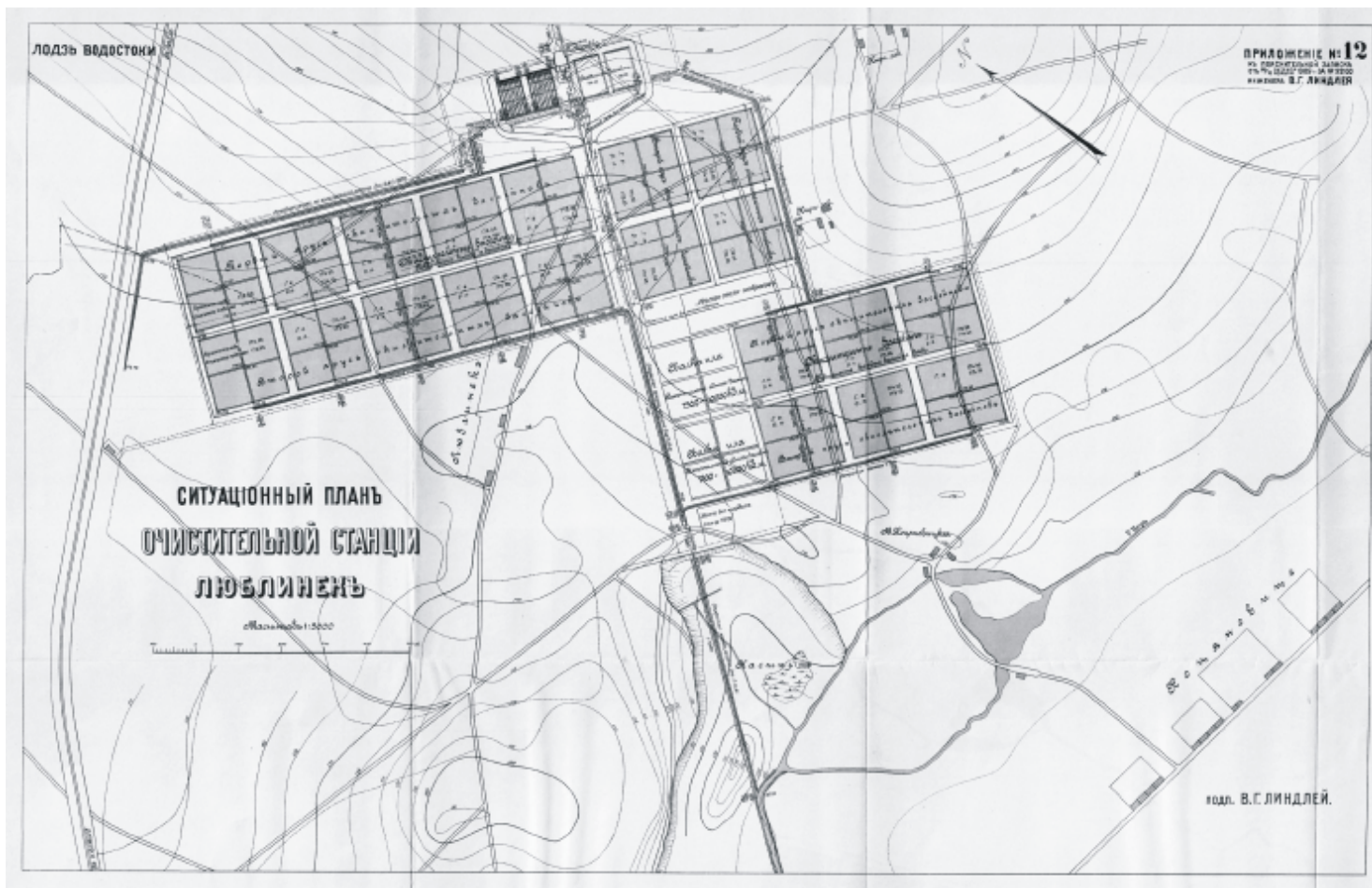
Proces kalibracji składa się z kilku czynności, a jego efektem jest wpasowana przestrzeń mapy. Niestety nie jest możliwe jego bezbłędne wykonanie. Na wynik kalibracji mają wpływ różne czynniki, takie jak: parametry i jakość zeskanowanej mapy, dobór punktów odniesienia oraz rodzaj zastosowanej transformacji. Miarą jakości wpasowania przestrzennego jest błąd średni kwadratowy (ang. *Root Mean Square*, RMS) (Mierzwa, 2002; Chang 2010; Giętkowski, Zachwatowicz, 2010; Wolski, 2012; Zachwatowicz, 2012).

Kalibracja map historycznych, przy użyciu narzędzi GIS, jest operacją bardziej skomplikowaną, niż kalibracja współcześnie powstających map papierowych. Jeśli materiały archiwalne zawierają informacje o elementach systemu odniesień przestrzennych możliwe jest wykonanie operacji matematycznych, polegających na przeliczeniu współrzędnych punktów z jednego układu współrzędnych na inny i kalibracja mapy. W przypadku mapy nie posiadającej informacji o zastosowanym systemie odniesień przestrzennych stosowana jest praktyka kalibracji z użyciem mapy referencyjnej, powstałej w podobnym czasie do kalibrowanej i posiadającej odniesienie przestrzenne (Affek, 2012; ArcGIS Resource Center, 2013).

Istnieje również pogląd wśród badaczy z dziedziny HGIS, negujący powyższe założenie i promujący jako mapę podkładową najnowsze opracowania kartograficzne. Podstawą takiego działania są błędy występujące na mapach historycznych i w materiałach archiwalnych. Użycie ich, jako map podkładowych może powodować zwiększanie błędów kalibracji i znaczne niedokładności wpasowania we współczesną przestrzeń (Wolski, 2012; Szady, 2013 informacja ustna).

Dane źródłowe

Jako materiał źródłowy do przeprowadzonych prac badawczych posłużyła wykonana w skali 1:5000 Mapa Sytuacyjna Projektowanej Oczyszczalni Ścieków Lublinek z 1909 roku, autorstwa inżyniera Williama Lindley'a (rys. 1), uzyskana ze zbiorów Biblioteki Uniwersytetu



Rys. 1. Mapa Projektowanej Oczyszczalni Ścieków Lublinek z 1909 roku, autorstwa W.H. Lindley'a (źródło: Biblioteka Uniwersytetu Łódzkiego)

Łódzkiego, powstała w toku prac nad projektem sieci wodno-kanalizacyjnej rozpoczętym w 1900 roku, przez powołanie Łódzkiej Komisji Wodno-Kanalizacyjnej. Było to przedsięwzięcie konieczne ponieważ Łódź, która liczyła wtedy ok. 314 tys. mieszkańców, miała elektryczne tramwaje, elektrownię, telegraf, kina i teatry, nie miała wodociągów i kanalizacji, co było ewenementem na skalę europejską i światową.

W przygotowanym przez Lindley'a projekcie sieci wodno-kanalizacyjnej, poza wieloma rysunkami oraz szkicami ukazującymi rozwiązania techniczne poszczególnych kanałów i kolektorów, znalazły się również mapy dokumentujące wysokości terenu w newralgicznych miejscach inwestycyjnych projektowanej sieci. Jedną z nich ukazuje koncepcję lokalizacji projektu oczyszczalni ścieków wraz z osadnikami położonymi w dolinie Neru. Mapa obejmuje obszar prawie 650 ha, znajdujący się w południowo-zachodniej części miasta. Niestety nie ma na niej żadnych oznaczeń dotyczących osnowy geodezyjnej. Jej najbardziej charakterystycznym obiektem jest linia kolejowa, która w niezmiennym przebiegu istnieje do dziś.

Jako mapy referencyjnej do kalibracji użyto arkusza mapy WIG z 1944 roku, będącego kontreprodukcją Mapy Topograficznej WIG w skali 1:25 000 z 1936 roku o godle P42 S29 A; Ruda Pabianicka, z Archiwum Map Wojskowego Instytutu Geograficznego, w formie rastra o rozdzielczości 400 dpi, który w całości pokrywa obszar opracowania.

Mapa z 1944 roku wykonana została w układzie współrzędnych Borowa Góra. Autorzy na podstawie siatki topograficznej, wyznaczyli w jej obrębie 120 punktów dostosowania w miejscach krzyżowania się linii siatki, co zapewniało ich równomierne rozmieszczenie na powierzchni całego arkusza.

Na podstawie odczytanych z mapy współrzędnych, stworzono plik *shape* z punktami dostosowania, który wczytano do programu ArcMap 10.0. Wykorzystując narzędzie *Geod-niesienie*, dokonano wpasowania za pomocą transformacji afinicznej 1. stopnia, uzyskując całkowity błąd RMS 1,01385 m. Kalibracja została przeprowadzona w oparciu o wytyczne zawarte w Rozporządzeniu Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 9 listopada 2011 r. w sprawie standardów technicznych wykonywania geodezyjnych pomiarów sytuacyjnych i wysokościowych oraz opracowywania i przekazywania wyników tych pomiarów do państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego.

Punkty dostosowania

Jako punkty dostosowania (GCP – ang. *ground control point*) posłużyły skrzyżowania dróg, oraz szczegóły zagospodarowania terenu, które według geodezyjnej instrukcji technicznej O-1 zakwalifikować można do III, najmniej precyzyjnej, grupy dokładnościowej pod względem pomiaru. Wybrano wszystkie dostępne punkty dostosowania, nawet o mniejszej pewności identyfikacji na mapie podkładowej. Punkty te są rozmieszczone równomiernie na obszarze opracowania (rys. 4-9) (Chang, 2010; Affek, 2012; Wolski, 2012; Zachwatowicz, 2012).

Punktów wspólnych z mapą oczyszczalni ścieków Lublinek z 1909 roku szukano zarówno na mapie WIG z 1944 roku, jak i na ortofotomapie z 2011 roku.

W przypadku mapy WIG znaleziono 21 punktów dostosowania, w przypadku ortofotomapy tylko 9, gdyż teren objęty zasięgiem mapy archiwalnej z 1909 roku w ciągu 100 lat został intensywnie przekształcony. W 1927 roku powstało tam lotnisko, które funkcjonuje do dziś jako Port Lotniczy Lublinek (rys. 2). Większa liczba punktów dostosowania na mapie WIG skłoniła autorów do użycia mapy starszej i mniej wiarygodnej, ale dającej większe

możliwości wpasowania materiałów źródłowych i zastosowania kilku rodzajów transformacji. Uznano, że koncepcja kalibrowania map historycznych z wykorzystaniem najnowszych materiałów geodezyjnych jest słuszna, ale tylko przy niewielkim przekształceniu terenu objętego zasięgiem mapy.

Metody transformacji

W literaturze przedmiotu, jako najlepszy rodzaj korekcji geometrycznej do kalibracji map historycznych, wymieniana jest transformacja jak najniższego rzędu (np. afiniczna 1. stopnia) (Affek, 2012).

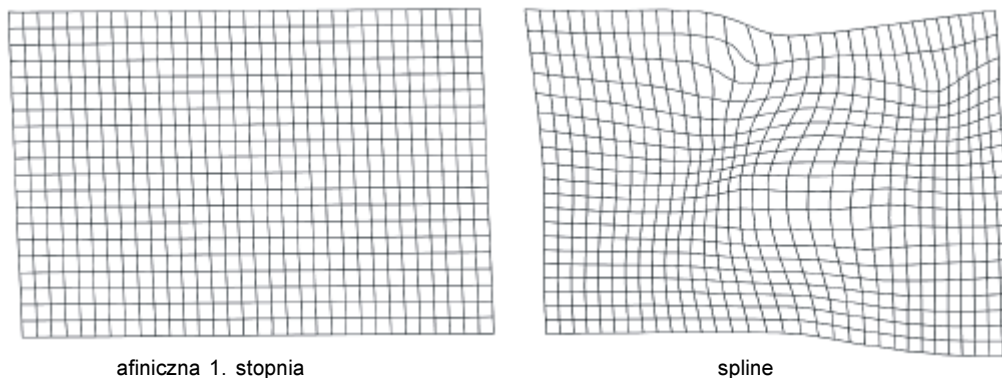
Program ArcGIS 10.0 oferuje jednak znacznie więcej rodzajów transformacji, które dają mniejsze całkowite błędy RMS, ale prowadzą również do znacznych zniekształceń kalibrowanej mapy (rys. 3). Ponieważ mapy archiwalne są wpasowywane przestrzennie w celu pozyskania informacji historycznych i wektoryzacji, dobrym rozwiązaniem może być digitalizacja obiektów z mapy skalibrowanej z użyciem transformacji, dające mniejsze błędy RMS, ale tylko z fragmentów, które uległy niewielkim deformacjom. W tym celu należy zbadać jak w obszarze mapy rozkładają się zniekształcenia wywołane kalibracją.

Zniekształcenia te, w przypadku różnych rodzajów korekcji geometrycznej, obejmują różne części przekształcanej mapy. Metodą pozwalającą na wizualne zbadanie powstałych deformacji jest siatka zniekształceń (Łuczyński, 2001; Affek, 2012; Wolski, 2012).

Autorzy, wykorzystując metodę siatki zniekształceń, postanowili za pomocą mapy chorochromatycznej siatkowej przedstawić zniekształcenia powodowane na mapie, przez różne rodzaje transformacji. Pod uwagę wzięto 6 rodzajów



Rys. 2. Zmiany zagospodarowania terenu uniemożliwiające dobór punktów dostosowania na współczesnych materiałach kartograficznych (źródło: Biblioteka Uniwersyteku Łódzkiego, Archiwum Map Wojskowego Instytutu Geograficznego, Łódzki Internetowy System Informacji o Terenie – InterSIT)



Rys. 3. Przykład zniekształceń siatki przy zastosowaniu transformacji afinicznej 1. stopnia i spline (źródło: opracowanie własne)

oferowanych przez program ArcGIS 10.0: afiniczną 1., 2. i 3. stopnia, adjust, spline oraz rzutową (Medyńska-Gulij, 2012).

W celu zbadania zniekształceń na Mapie Projektowanej Oczyszczalni Ścieków Lublinek wrysowano siatkę o regularnych oczkach, o wymiarach 100×100 metrów. Następnie w programie ArcGIS, z użyciem narzędzia *Geoodniesienie* i wybranych wcześniej 21 punktów dostosowania, zapisanych w pliku *shape*, skalibrowano mapę archiwalną. Oczka siatki w widoczny sposób zmieniły swój kształt – uległy deformacji. Powstałą siatkę, dla każdego rodzaju transformacji, poddano wektoryzacji i uzyskano oczka siatki w postaci poligonów. Każdy z poligonów otrzymał indywidualne ID.

Tabela. Różnice procentowe poszczególnych parametrów opisujących deformacje oczek siatki oraz nadane im wagi (źródło: opracowanie własne)

Różnica w %	Waga
0,00	0
0,01–20,00	1
20,01–40,00	2
40,01–60,00	3
60,01–80,00	4
80,01–100,00	5
>100,00	6

Kolejnym krokiem było sprawdzenie, jak bardzo został przekształcony każdy z elementów siatki, przy zastosowaniu poszczególnych rodzajów transformacji. Pod uwagę wzięto takie parametry jak: różnice w powierzchni, obwodzie oraz współrzędnych (x i y) centroidu każdego poligonu-oczka siatki (w jego układzie lokalnym). Obliczono procentowe różnice w stosunku do siatki wzorcowej, a następnie przypisano im wagi (tabela).

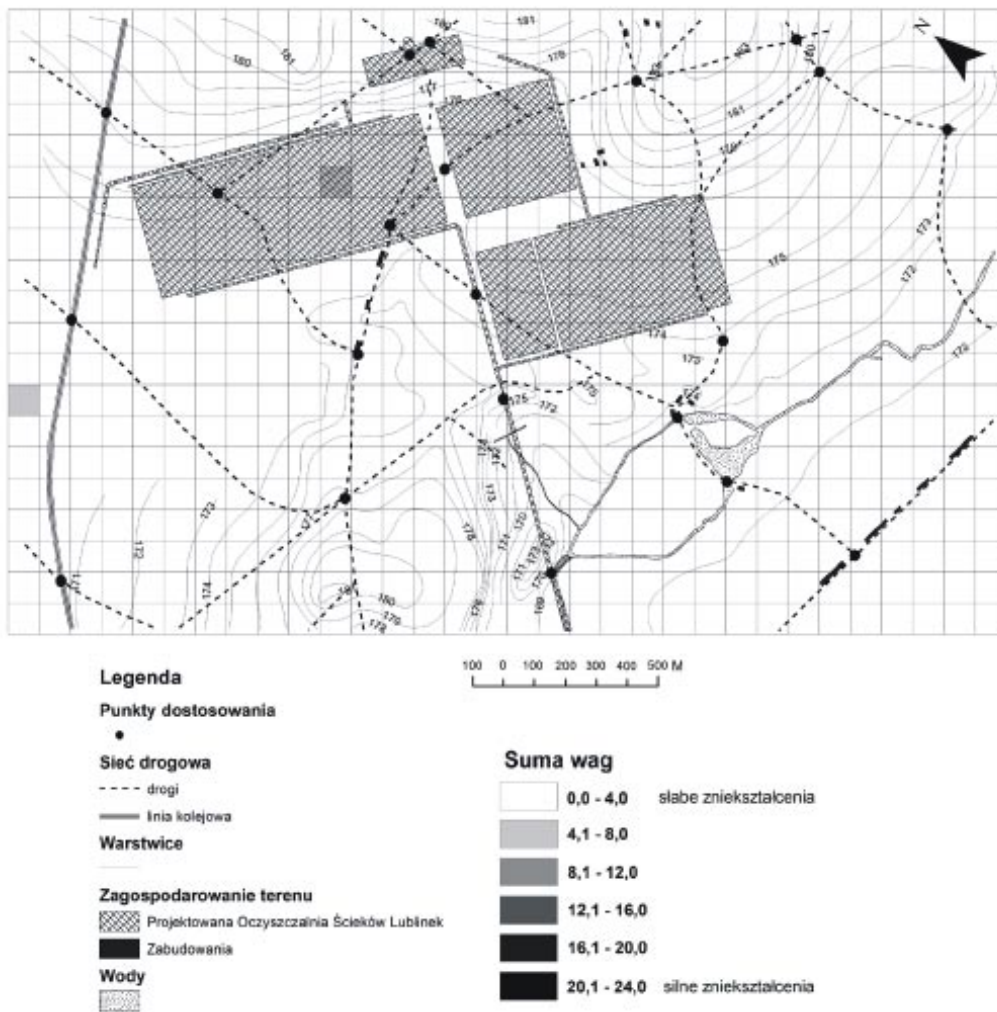
Wagi wszystkich parametrów dla poszczególnych oczek siatki zsumowano. W przypadku oczek siatki, które nie uległy żadnemu przekształceniu suma wag wyniosła 0, dla oczek których różnice w wielkości poszczególnych parametrów wynosiły ponad 100% wyniosła maksymalnie 24. Nakładaną na mapę siatkową treść mapy, czyli: warstwie, wody, sieć komunikacyjną, zabudowania, planowane obiekty oczyszczalni ścieków, możemy odczytać w jakiej strefie zniekształceń się znajdują i podać wektoryzacji te, które są usytuowane w obszarach o wystarczająco małych przekształceniach.

Transformacja afiniczna 1. stopnia

W transformacji afinicznej, dopasowanie punktów układu pierwotnego do odpowiadających im punktów układu wtórnego, odbywa się przez przesunięcie, obrót i zmianę skali układu pierwotnego względem wtórnego w kierunkach osi x i y. Zachowuje ona równole-

głość linii i środki odcinków, zmienia natomiast długości i wartości kątów. Do wykonania transformacji afinicznej 1. stopnia niezbędne jest posiadanie przynajmniej 3 punktów dostosowania (Chang, 2010; Bieda, Jasiołek, Hanus, 2011; Osada, Sergieieva, 2010; Wochna, 2012; ArcGIS Resource Center, 2013).

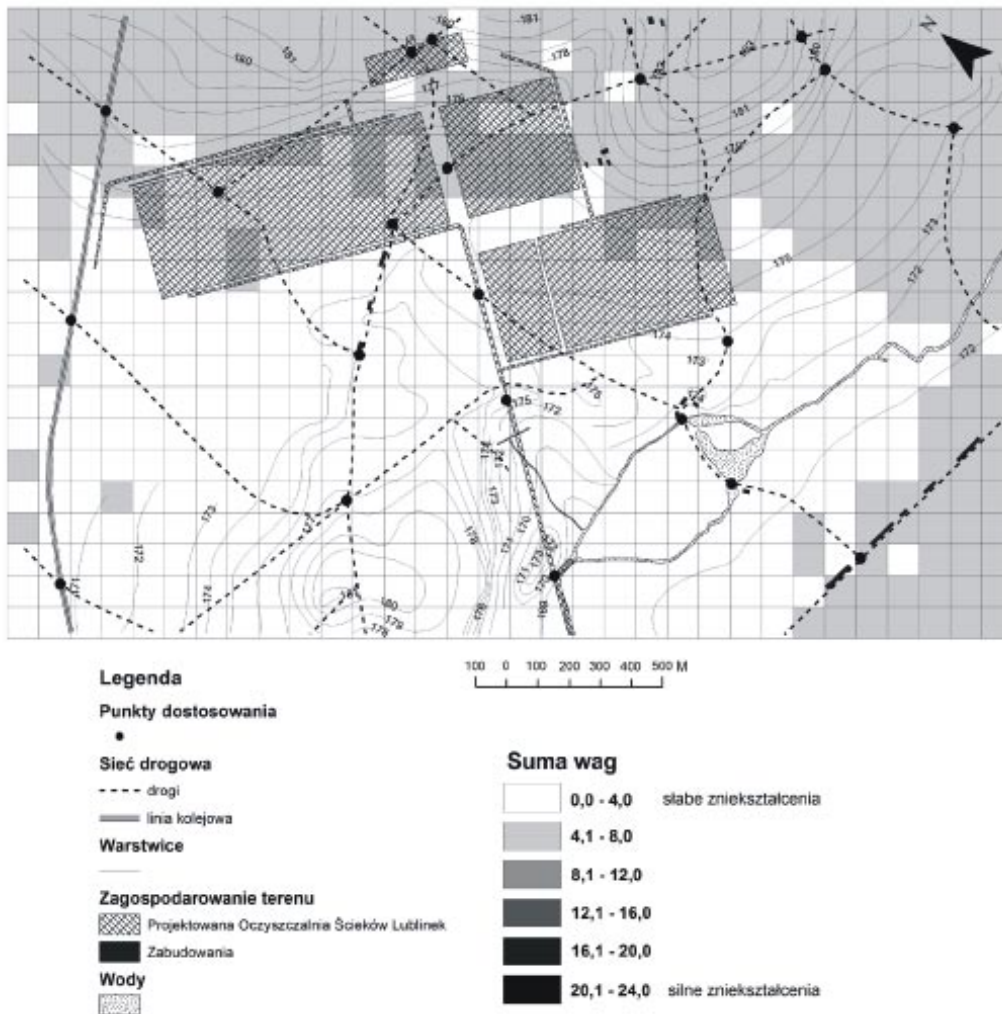
Transformacja ta spowodowała niewielkie zniekształcenia w obrębie całej kalibrowanej mapy, a całkowity błąd RMS wyniósł 70,84 m (rys. 4).



Rys. 4. Obraz zniekształceń kalibrowanej Mapy Projektowanej Oczyszczalni Ścieków Lublinek z naniesionymi elementami zagospodarowania terenu dla transformacji afinicznej 1. stopnia (źródło: opracowanie własne)

Transformacja afiniczna 2. stopnia

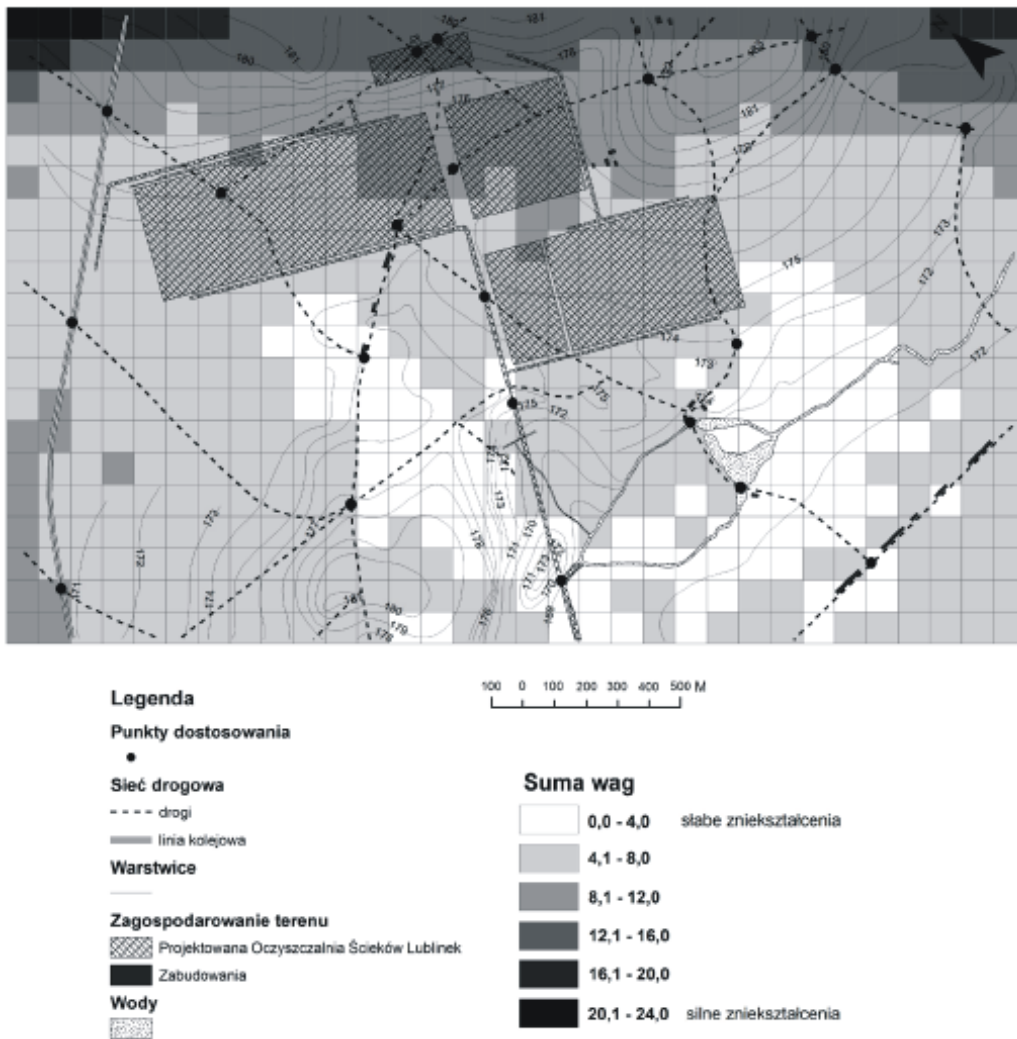
Do wykonania transformacji afinicznej 2. stopnia stosuje się wielomian 2. stopnia. Wymaga to minimum 6 punktów dostosowania (Chang, 2010; Osada, Sergieieva, 2010; Bieda, Jasiołek, Hanus, 2011; Wochna, 2012; ArcGIS Resource Center, 2013). Transformacja ta spowodowała większe zniekształcenia w obrębie całej kalibrowanej mapy, niż transformacja afiniczna 1. stopnia, a całkowity błąd RMS wyniósł 69,10 m (rys. 5).



Rys. 5. Obraz zniekształceń kalibrowanej Mapy Projektowanej Oczyszczalni Ścieków Lublinek z naniesionymi elementami zagospodarowania terenu dla transformacji afinicznej 2. stopnia (źródło: opracowanie własne)

Transformacja afiniczna 3. stopnia

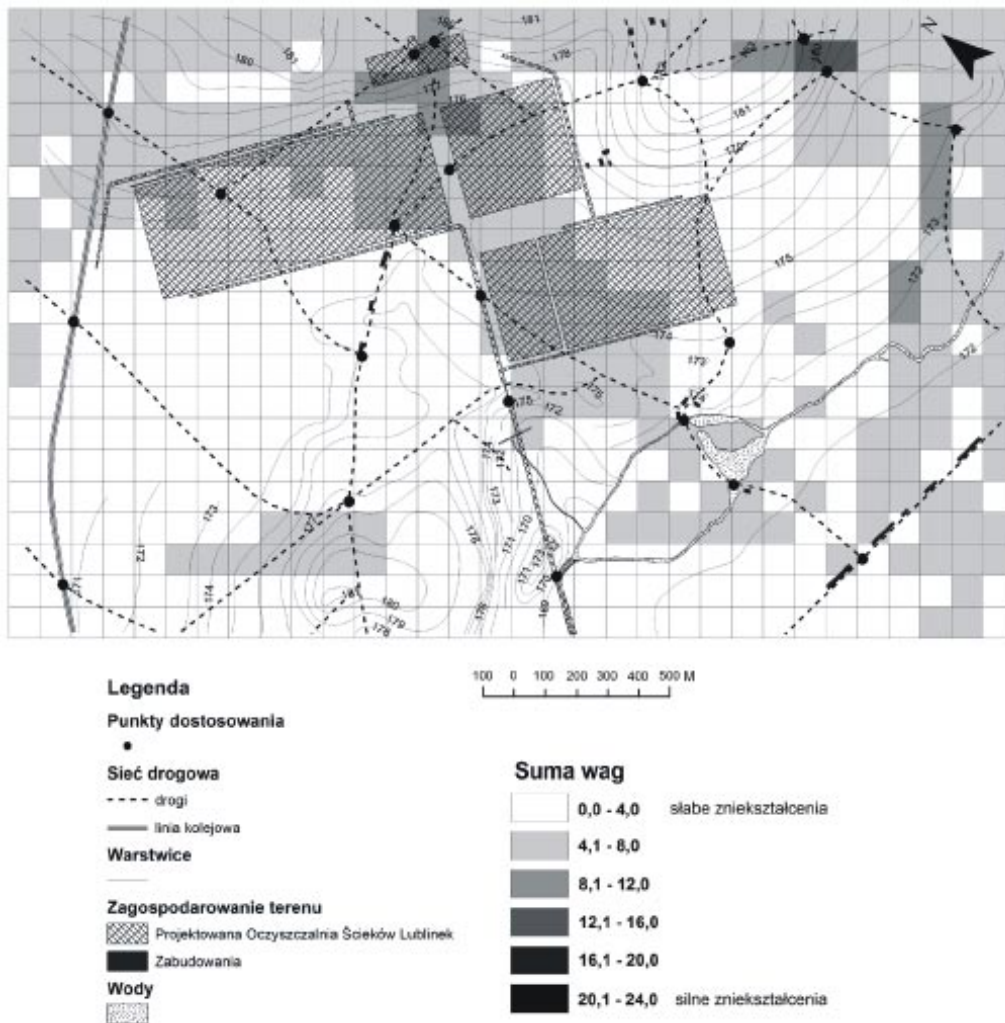
Transformacja afiniczna 3. stopnia wymaga zastosowania wielomianu 3. stopnia i minimum 9 punktów dostosowania. Spowodowała znaczne zniekształcenia fragmentów kalibrowanej mapy, jednak całkowity błąd RMS wyniósł 50,60 m (rys. 6) (Chang, 2010; Osada, Sergieieva, 2010; Bieda, Jasiołek, Hanus, 2011; Wochna, 2012; ArcGIS Resource Center, 2013).



Rys. 6. Obraz zniekształceń kalibrowanej Mapy Projektowanej Oczyszczalni Ścieków Lublinek z naniesionymi elementami zagospodarowania terenu dla transformacji afinicznej 3. stopnia (źródło: opracowanie własne)

Transformacja adjust

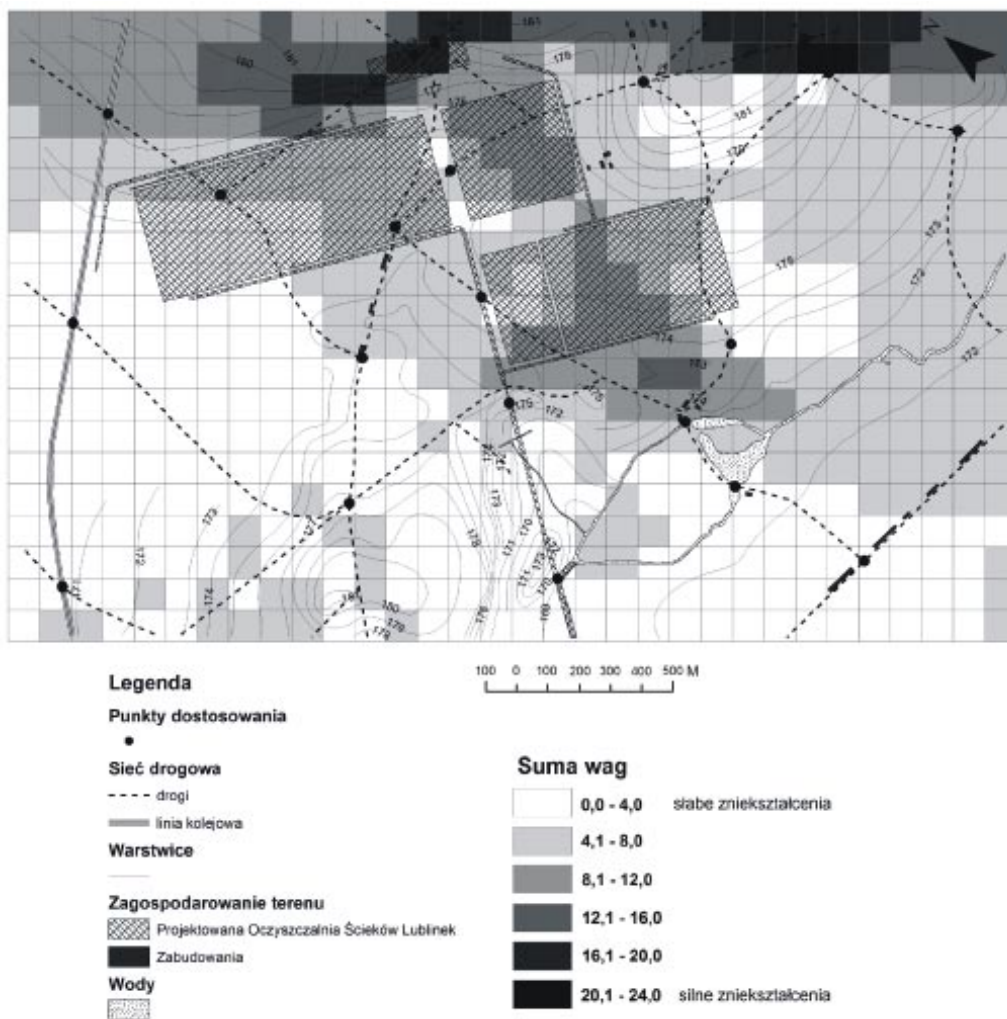
Transformacja adjust jest oparta na algorytmie łączącym transformację wielomianową z techniką interpolacji TIN (ang. *triangulated irregular network*). Umożliwia to osiągnięcie globalnej, jak i lokalnej dokładności wpasowania. Wymaga przynajmniej 3 punktów dostosowania. Zniekształcenia mapy są nieregularne, ale w większej części nieznaczne, a całkowity błąd RMS wyniósł 5,02 m (rys. 7) (ArcGIS Resource Center, 2013).



Rys. 7. Obraz zniekształceń kalibrowanej Mapy Projektowanej Oczyszczalni Ścieków Lublinek z naniesionymi elementami zagospodarowania terenu dla transformacji adjust (źródło: opracowanie własne)

Transformacja spline

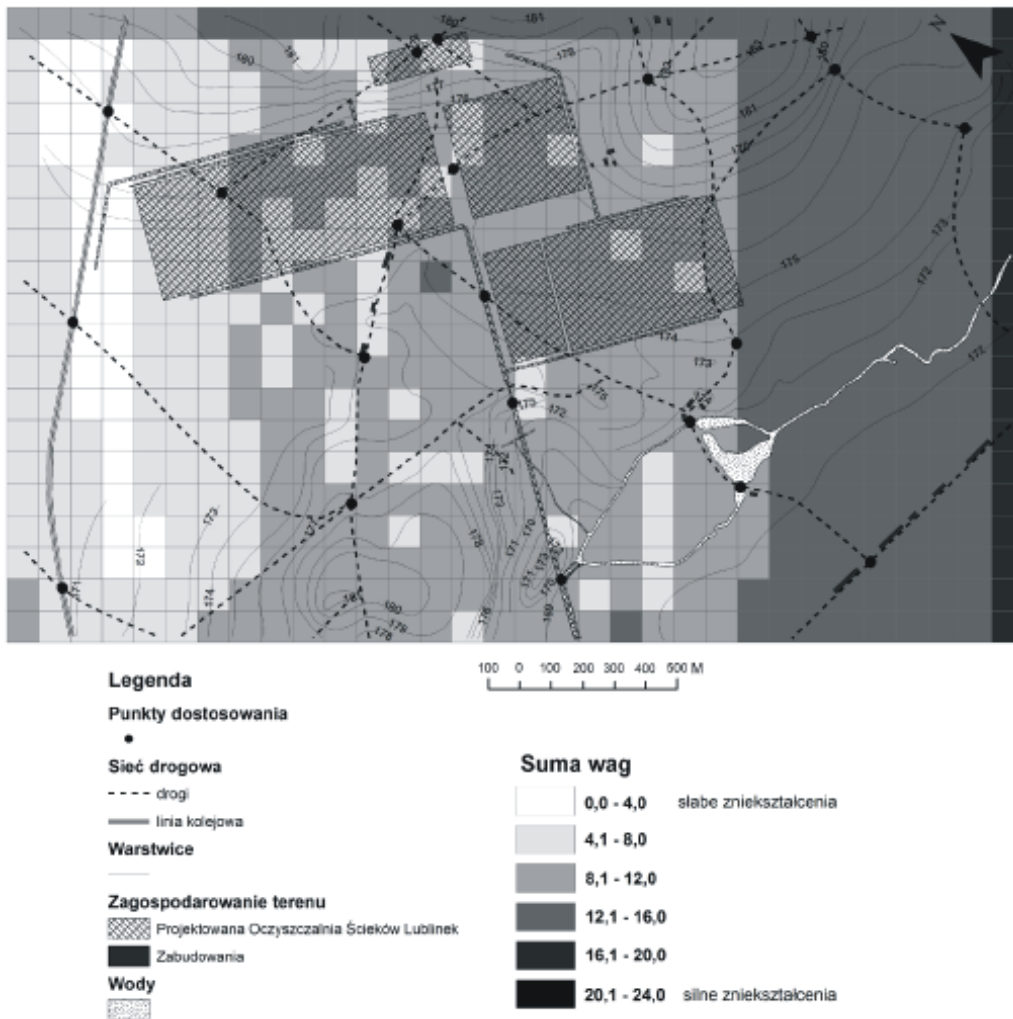
Transformacja typu *rubbersheeting* – elastycznego dopasowania, która optymalizuje lokalną dokładność wpasowania, jest oparta na funkcji sklepanej. Przekształca punkty dostosowania z układu rastra dokładnie w punkty w układzie odniesienia. Dokładność kalibracji maleje wraz z oddalaniem się od punktów dostosowania. Jej realizacja wymaga przynajmniej 10 punktów dostosowania, a zwiększenie ich liczby poprawia dokładność kalibracji. W tym przypadku użyto 21 punktów dostosowania, a całkowity błąd RMS wyniósł 0,00 m. Jednak niektóre części rastra zostały znacznie przekształcone (rys. 8) (ArcGIS Resource Center, 2013).



Rys. 8. Obraz zniekształceń kalibrowanej Mapy Projektowanej Oczyszczalni Ścieków Lublinek z naniesionymi elementami zagospodarowania terenu dla transformacji spline (źródło: opracowanie własne)

Transformacja rzutowa

Transformacja rzutowa (*projective transformation*) określa zależność rzutową pomiędzy punktami układu pierwotnego i wtórnego. Minimalna liczba punktów dostosowania to 4. Spowodowała znaczne zniekształcenia fragmentów kalibrowanej mapy, a całkowity błąd RMS wyniósł 71,68 m (rys. 9) (Wochna, 2012; ArcGIS Resource Center, 2013).



Rys. 9. Obraz zniekształceń kalibrowanej Mapy Projektowanej Oczyszczalni Ścieków Lublinek z naniesionymi elementami zagospodarowania terenu dla transformacji rzutowej (źródło: opracowanie własne)

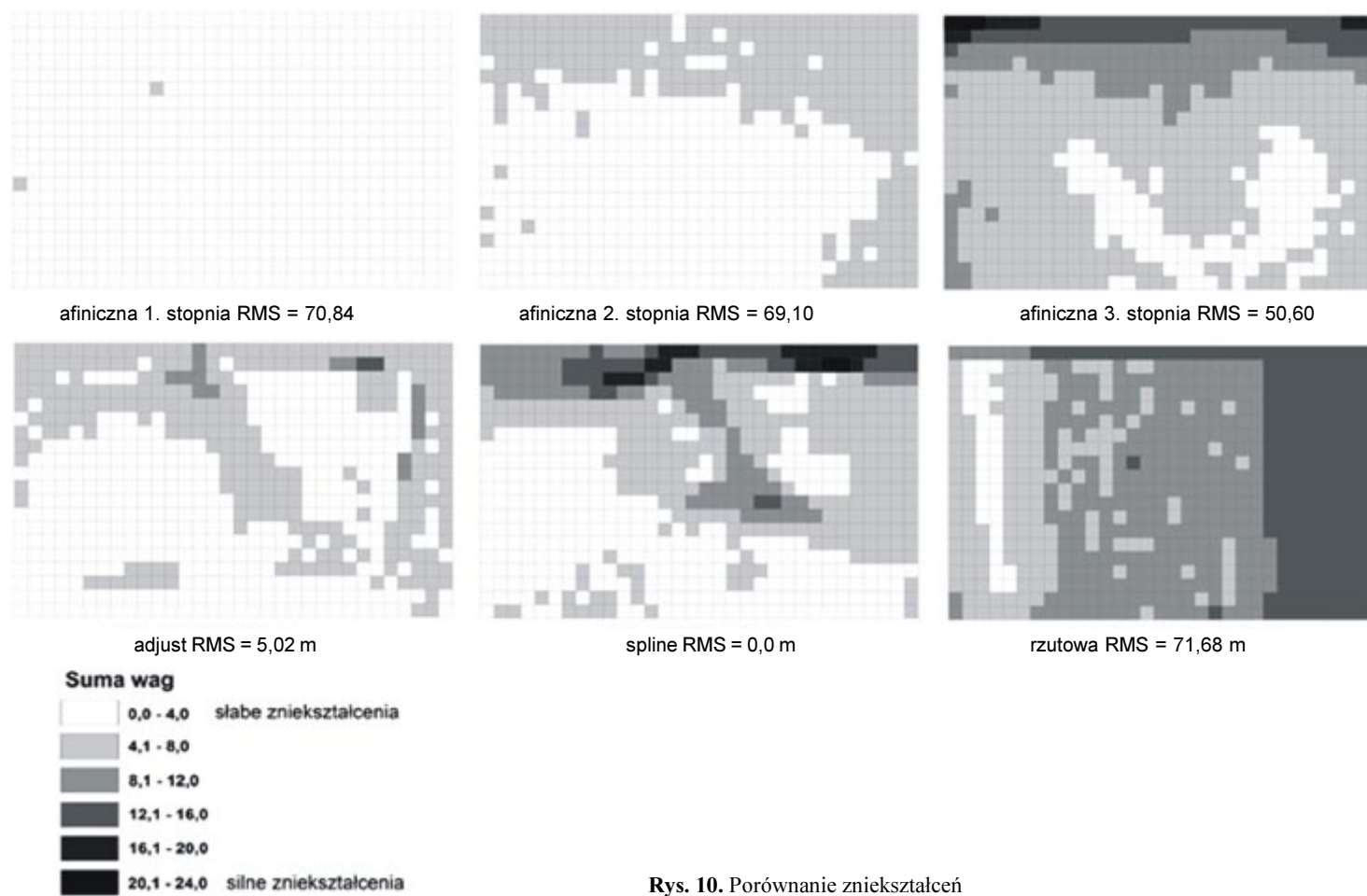
Podsumowanie

Porównanie wszystkich dostępnych w ramach oprogramowania ArcGIS 10.0 rodzajów korekcji geometrycznej (rys. 10) wykazało, że transformacje: afiniczna 3. stopnia i rzutowa nie są dobrym wyborem do tego typu prac, ze względu na duże zniekształcenia i znaczne wartości całkowitego błędu RMS, odpowiednio: 50,60 m oraz 71,68 m. Jedynie w przypadku transformacji afinicznej 3. stopnia, można wykorzystać niewielkie fragmenty (17,7% obszaru mapy) zdeformowane w stopniu mniejszym niż 20% (należą do pierwszego przedziału sumy wag poszczególnych zniekształceń).

Transformacja spline daje całkowity błąd RMS równy 0,00 m. Błędy we wszystkich punktach dostosowania wynoszą 0,00 m, ale powoduje to występowanie silnych deformacji dyskwalifikujących jej użycie. Przy transformacji afinicznej 2. stopnia rozkład procentowy zniekształceń jest podobny jak w przypadku transformacji adjust (61,1% zajmuje obszar, na którym zniekształcenia wyniosły mniej niż 20%), jednak całkowity błąd RMS wynoszący 69,10 m nie zachęca do jej użycia w badanym przypadku.

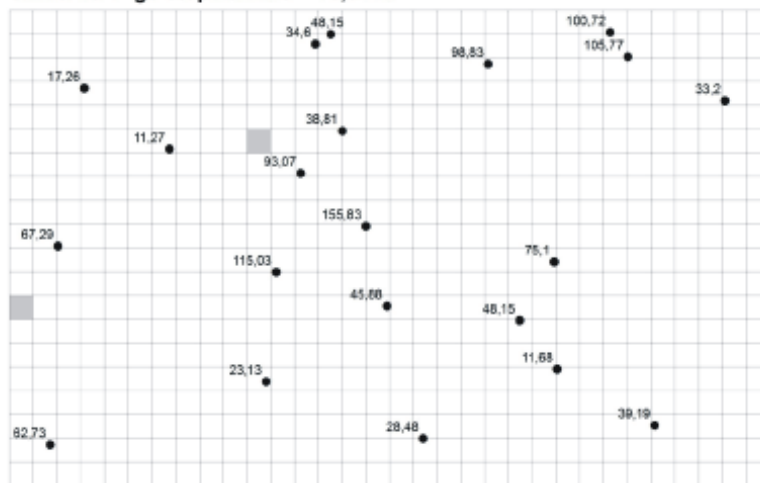
Szczegółowej analizie poddano dwie z zastosowanych transformacji: afiniczną 1. stopnia, zalecaną w literaturze do kalibracji map historycznych oraz adjust. Opierając się na otrzymanych wynikach (rys. 11), autorzy rekomendują metodę korekcji geometrycznej adjust do kalibracji map historycznych. Zastosowanie transformacji afinicznej 1. stopnia spowodowało, że 99,7% obszaru mapy zostało zniekształcone w mniej niż 20%, jednak całkowity błąd RMS wynosi 70,84 m. W przypadku transformacji adjust obszar, na którym zniekształcenia wyniosły mniej niż 20%, zajmuje 59,1% mapy. Mocniej zdeformowane zostało 38,3% obszaru opracowania, większe zniekształcenia (należące do trzeciej i czwartej klasy sumy wag) występują jedynie na 2,5% mapy. Natomiast wartość całkowitego błędu RMS dla tej transformacji wyniosła tylko 5,02 m. Znacznie mniejsza wartość całkowitego błędu RMS dla transformacji adjust związana jest z zastosowaniem techniki interpolacji TIN, opartej na punktach dostosowania, która traktuje je jak węzły w regularnej siatce trójkątów. Wiąże się to z naciągnięciem arkusza do zadanych punktów. W przypadku 15 z 21 (71%) punktów dostosowania wartość błędów wynosi 0,00 m. Może to powodować zniekształcenia, włącznie z utratą ciągłości obrazu. Jednak ocena mapy za pomocą siatki zniekształceń, pozwala na wychwycenie obszarów występowania tego typu deformacji. Porównując wartości błędów w odpowiadających sobie punktach dostosowania na obu mapach można zauważyć, że zastosowanie transformacji adjust pozwala na osiągnięcie znacznie większej lokalnej dokładności wpasowania. Różnice błędów w odpowiednich punktach dostosowania, położonych w obrębie obszaru o jednakowym poziomie zniekształceń na obu mapach, wahają się w granicach od 6,76 m do 109,09 m, zawsze na korzyść transformacji adjust. Taka sama sytuacja zachodzi w przypadku obszaru na mapie z korekcją geometryczną adjust, objętego większymi zniekształceniami (należącymi do drugiej klasy sumy wag). Tu błędy są mniejsze niż przy transformacji afinicznej 1. stopnia o 11,68 do 154,61 m.

Mniejszy całkowity błąd RMS i znacznie dokładniejsze lokalne wpasowanie niż w przypadku transformacji afinicznej 1. stopnia oraz fakt, że większość obszarów opracowania objęta jest słabymi zniekształceniami, czyni użycie transformacji adjust, bardziej odpowiednią do wpasowania przestrzennego Mapy Oczyszczalni Ścieków Lublinek.

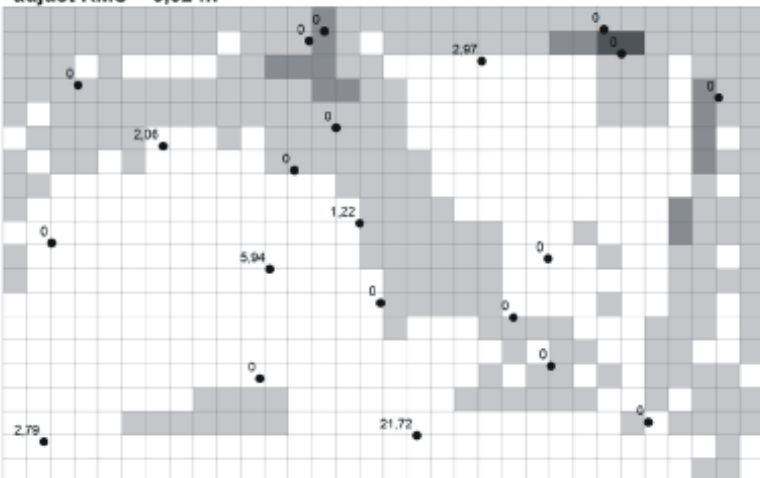


Rys. 10. Porównanie zniekształceń
Mapy Projektowanej Oczyszczalni Ścieków Lublinek
po zastosowaniu wybranych transformacji
(źródło: opracowanie własne)

afiniczna 1-go stopnia RMS = 70,84 m

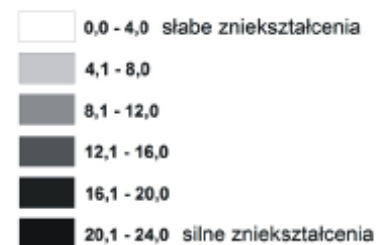


adjust RMS = 5,02 m



2,06 ● Punkty dostosowania z podanymi wartościami błędów [m]

Suma wag



Rys. 11. Porównanie zniekształceń i wartości błędów w punktach dostosowania Mapy Projektowanej Oczyszczalni Ścieków Lublinek po zastosowaniu transformacji afinicznej 1. stopnia i transformacji adjust (źródło: opracowanie własne)

Literatura

- Affek A., 2012: Kalibracja map historycznych z zastosowaniem GIS, *Źródła Kartograficzne w Badaniach Krajobrazu Kulturowego. Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego nr 16*: 48-62, Komisja Krajobrazu Kulturowego PTG, Sosnowiec.
- ArcGIS Resource Center. Dostęp 20.04.2013 r. <http://help.arcgis.com>
- Archiwum Map Wojskowego Instytutu Geograficznego 1919-1939. Dostęp 20.04.2013 r. <http://polski.mapywig.org>
- Bieda A., Jasiołek J., Hanus P., 2011: Wykorzystanie klasycznych map ewidencyjnych w podstawowych pracach geodezyjnych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich nr 4*: 193-202, Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie, Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi.
- Bielecka E., 2006: Systemy informacji geograficznej. Teoria i zastosowania. Wydawnictwo PJWSTK, Warszawa: 37-57, 75-95.
- Chang K-T., 2010: Introduction to Geographic Information Systems. McGRAW HILL International Edition: 109-124.
- Cisak M., Sas A., 2004: Transformacja współrzędnych punktów z układu „Borowa Góra” do układu „1942”. *Prace Instytutu Geodezji i Kartografii t. L, z. 108*: 5-25.
- Gaździcki J., 2001: Leksykon Geomatyczny. PTIP Warszawa, 87 s.
- Giętkowski T., Zachwatowicz M., 2010: Przemiany krajobrazu – czy można uniknąć złudzeń? [W:] Richling A., Fuhrmann M. (red.), *Geograficzne spotkania w drodze. Krok trzeci – Warszawa*. Wydawnictwo WGiSR, Warszawa.
- Głowacki T., 2005: Projekty GIS. Administracja i Użytkowanie. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław: 46-50.
- Kosiński W., 2010: Geodezja. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa: 315-332.
- Kowalik K., Suchożebrski J., 2011: Wykorzystanie archiwalnych map i planów do analizy zmian starorzeczy Wisły w okolicach Warszawy. [W:] Ostrowski J., Wespiański P.E. (red.), *Z dziejów kartografii*, t. XV: 454-464.
- Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.W., 2006: GIS. Teoria i praktyka. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa: 164-182.
- Łódzki Ośrodek Geodezji, Łódzki Internetowy System Informacji o Terenie – InterSIT. Dostęp 20.04.2013 r. <http://gis.mapa.lodz.pl/MapaOgolna>
- Łuczynski J., 2001: Analiza dokładności mapy Wielkiego Księstwa Litewskiego Tomasza Makowskiego z 1613 r., tzw. radiwiłłowskiej na podstawie siatki zniekształceń. *Polski Przegląd Kartograficzny t. 33*, nr 4: 365-371, Polskie Towarzystwo Geograficzne. Oddział Kartograficzny.
- Medyńska-Gulij B., 2012: Kartografia i geowizualizacja. Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa.
- Mierzwa W., 2002: Problem modernizacji ewidencji gruntów na terenach byłego katastru austriackiego, *Geodezja t. 8, z. 2*: 323-330, Wydawnictwa AGH.
- Nieścioruk K., 2011: Archiwalne materiały kartograficzne jako źródło informacji o przekształceniach przestrzeni dawnej strefy podmiejskiej. [W:] Ostrowski J., Wespiański P.E. (red.), *Z dziejów kartografii*, t. XV: 445-453.
- Osada E., Sergieieva K., 2011: O badaniu zniekształceń modeli transformacji map na podstawie elipsy Tissota. *Magazyn Geoinformacyjny Geodeta 9(176)*: 46-50.
- Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 9 listopada 2011 r. 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.
- Szady B., 2013: Informacja ustna, Konferencja GIS w nauce, Lublin 24-26.06.2013.
- Tomlinson R., 2007: Rozważania o GIS. Esri Press, Redlands: 91-110, 260-279.
- Werner P., 2004: Wprowadzenie do systemów geoinformacyjnych. Wydział Geografii UW, Warszawa: 11-53.
- Wnęk K., 2010: Systemy GIS w badaniach historycznych. *Prace Historyczne 137*: 153-171, Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego.

- Wolski J., 2012: Błędy i niepewność w procesie tworzenia map numerycznych. Źródła Kartograficzne w Badaniach Krajobrazu Kulturowego. *Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego* nr 16: 15-32, Komisja Krajobrazu Kulturowego PTG, Sosnowiec.
- Wochna A., 2012: Systemy Informacji Geograficznej o jednostkach architektoniczno-krajobrazowych. Źródła Kartograficzne w Badaniach Krajobrazu Kulturowego. *Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego* nr 16: 95-104, Komisja Krajobrazu Kulturowego PTG, Sosnowiec.
- Zachwatowicz M., 2012: Detekcja historycznych przemian pokrycia terenu z zastosowaniem logiki rozmytej. Źródła Kartograficzne w Badaniach Krajobrazu Kulturowego. *Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego* nr 16: 84-94, Komisja Krajobrazu Kulturowego PTG, Sosnowiec.

Abstract

This paper aims to verify and choose the best georeferencing method available in ArcGIS 10.0 for archival cartographic documents. The base map for design purposes of Wastewater Treatment Plant Lublinek in Łódź dated on 1909 was used as a source data. In the research six georeferencing methods were examined and a distortion caused by each of them was calculated. Using the RMS values and maps of distortions the transformation has been chosen, which allows to make the most accurate adjustment and the vectorisation of the archival map under consideration.

dr Marcin Jaskulski
jaskul@geo.uni.lodz.pl

mgr Marta Nalej
marta.nalej@gmail.com