

Tomasz ŚWIĘTON<sup>1</sup>

## ANALIZA ZMIAN W TOPOLOGII MAPY CYFROWEJ PO TRANSFORMACJI Z ZASTOSOWANIEM KOREKT HAUSBRANDTA

### Streszczenie

Korekty posttransformacyjne stosowane w zadaniach transformacji między układami, mimo niewątpliwych zalet, często stają się przyczyną wielu problemów. Jednym z nich jest możliwość wystąpienia wzajemnych przesunięć obiektów na mapie po transformacji. Przyczyna takich deformacji mapy leży najczęściej w nierównomiernym rozkładzie korekt. Teoretycznie, może to powodować błędy i niespójności w topologii przetransformowanej mapy mimo, że takie problemy nie występowały przed transformacją.

W poniższej publikacji zaprezentowano metodę pozwalającą na wyszukanie zmian we wzajemnym położeniu elementów mapy oraz analizę ilościową i jakościową pojawiających się problemów. Testy na danych empirycznych wykazały, że mimo teoretycznych możliwości wystąpienia poważnych problemów w praktyce błędy pojawiają się rzadko i dotyczą jedynie niewspółliniowości punktów leżących na jednej prostej przed transformacją. W chwili obecnej tego typu niezgodności nie stanowią problemu dla użytkowników analizowanych map, jednak mogą być potencjalnym źródłem problemów w przyszłości.

### 1. Wstęp

W wielu zadaniach związanych z transformacją danych kartograficznych wskazane jest zastosowanie korekt posttransformacyjnych. Powszechnie wykorzystywane są w tym celu korekty Hausbrandta. Wykorzystanie ich na ostatnim etapie transformacji zapewnia idealną zgodność transformowanych współrzędnych punktów dostosowania w układzie docelowym i pozwala pozbyć się reszkowych deformacji układu, nie dających się zdefiniować standardowymi algorytmami.

Korekty Hausbrandta definiowane są jako średnia ważona poprawek stwierdzonych na wszystkich punktach dostosowania, przy czym wagi stanowią odwrotności kwadratów odległości punktu transformowanego do punktu dostosowania (w pierwotnym układzie współrzędnych).

$$V_{yi} = \frac{\sum_{k=1}^n (V_{yk} P_{ik})}{\sum_{k=1}^n P_{ik}} \quad V_{xi} = \frac{\sum_{k=1}^n (V_{xk} P_{ik})}{\sum_{k=1}^n P_{ik}} \quad P_{ik} = \frac{1}{d_{ik}^2} \quad (1)$$

gdzie:

k – wskaźnik punktu dostosowania, n – ilość punktów dostosowania

$V_{xi}, V_{yi}$  – obliczone korekty Hausbrandta

$V_{xk}, V_{yk}$  – poprawki na punktach dostosowania

$P_{xk}, P_{yk}$  – wagi poszczególnych punktów dostosowania

Niestety, zastosowanie korekt posttransformacyjnych oprócz niewątpliwych zalet rodzi też pewne problemy. Transformacja z korektami Hausbrandta nigdy nie będzie transformacją w pełni

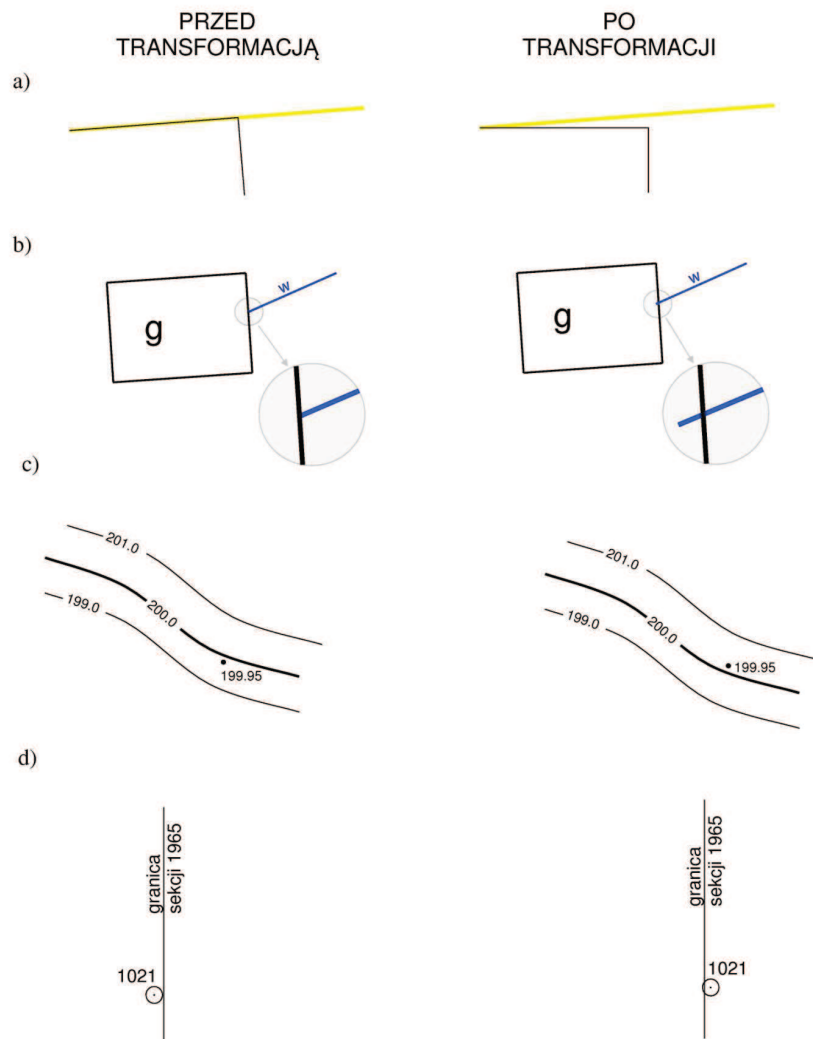
---

<sup>1</sup>mgr inż., Wyższa Szkoła Inżynierjno – Ekonomiczna w Rzeszowie

konforemną, niezależnie od tego jaki algorytm zostanie zastosowany jako pierwszy. Problem ten będzie tym większy im bardziej zróżnicowane będą wielkości i kierunki korekt na danym obszarze. Idea korekt posttransformacyjnych zakłada, że powinny to być wielkości niewielkie, mające charakter lokalnie systematyczny. Niemniej jednak współcześnie, wraz z powszechnym stosowaniem map cyfrowych w postaci wektorowej, nawet niewielkie (milimetrowe) niezgodności współrzędnych mogą utrudnić przeprowadzenie analiz przestrzennych, oraz realizację innych zadań geoinformatycznych.

## 2. Mapy cyfrowe a korekty posttransformacyjne

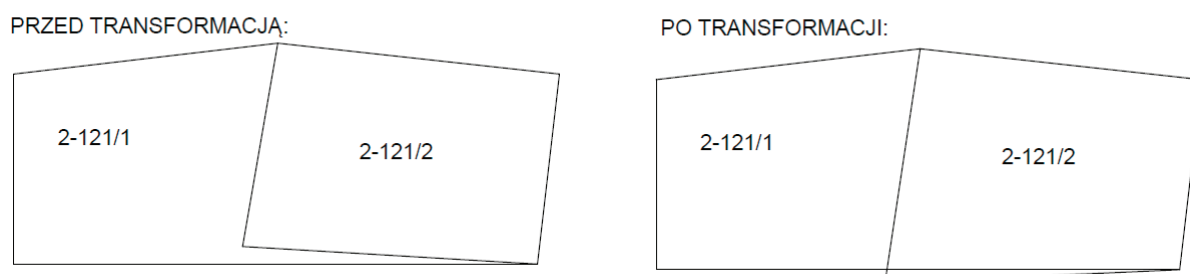
Jak wykazują rezultaty dotychczas zrealizowanych prac ([6], [7], [9]) po transformacji map cyfrowych metodą z korektami Hausbrandta mogą wystąpić liczne zmiany w strukturze mapy, wśród których możemy wyróżnić zmiany związane z redakcją mapy i zmiany w topologii jej treści (zmiany obiektów mapy). Zmiany redakcji mapy związane są z powstającymi po transformacji niespójnościami nie mającymi wpływu na treść albo topologiczną spójność mapy. Przykładem takich zmian mogą być, teksty stanowiące opis osi przewodu podziemnego uzbrojenia terenu, biegnące przed transformacją równoległe do jego osi a przecinające ją po transformacji. Zmiany te sprawiają, że mapa staje się mniej czytelna ale nie zmieniają jej treści. Wykonywanie jakichkolwiek analiz przestrzennych lub numerycznych, czy praca z mapą wykazująca nieścisłości redakcyjne odbywa się praktycznie tak samo jak przed transformacją współrzędnych.



Rys. 1. Przykłady możliwych zmiany wzajemnej struktury przestrzennej elementów na mapie po transformacji z zastosowaniem korekt Hausbrandta

Drugim rodzajem zmian, mogącym się pojawić po transformacji z korektami Hausbrandta są zmiany związane z topologią obiektów stanowiących treść mapy cyfrowej. Współczesne systemy informatyczne, podczas sprawdzania spójności i określania topologicznych zależności poszczególnych elementów na mapie wymagają zwykle wysokich dokładności określenia współrzędnych. Dlatego zastosowanie korekt posttransformacyjnych, może naruszać topologiczną spójność danych przestrzennych. Przykładem, może być ściana budynku leżąca przed transformacją idealnie w granicy działki (Rys. 1a). Granica działki, której końce znajdują się w pewnym oddaleniu od budynku, zostanie przetransformowana z zastosowaniem innych wielkości korekt, wskutek czego może się okazać, że budynek po transformacji nie będzie znajdował się idealnie w granicy działki. W kolejnym przykładzie (Rys. 1b) sieć wodociągowa dochodząca do ściany budynku przed transformacją, po transformacji może tę ścianę przecinać. Inne, przykłady (Rys. 1c i d) pokazują, że poszczególne elementy na mapie mogą zmieniać swoje położenie znacznie bardziej drastycznie, np. punkt wysokościowy może podczas transformacji „przejsć” na złą stronę warstwicę a punkt osnowy, położony blisko granicy sekcji, może „przeskoczyć” na sąsiednią sekcję. Prawdopodobieństwo wystąpienia tego typu niespójności jest tym większe, im bardziej oddalone są od siebie poszczególne transformowane punkty. Tzn., np. im dłuższa jest pojedyncza linia, a tym samym bardziej oddalone od siebie transformowane końce tym bardziej prawdopodobne są znaczące zmiany wielkości korekt Hausbrandta w jej bezpośrednim sąsiedztwie, i tym większe prawdopodobieństwo wystąpienia tego typu niezgodności.

Osobnym problemem są błędy topologii działek ewidencyjnych i konturów klasyfikacyjnych mogące się pojawić po transformacji danych zawierających tzw. „błędy małych kątów”, czyli długie i bardzo wąskie obszary, powstające najczęściej w skutek błędu operatora (Rys. 2.) Po transformacji może się okazać, że działka będąca wielokątem w układzie pierwotnym, nie jest wielokątem w układzie wtórnym. Niemniej jednak tego typu problemy nie występują często i można je łatwo wyeliminować przed wykonaniem transformacji, wykonując odpowiednią analizę i porządkując strukturę działek.



Rys. 2. Błąd małych kątów i problem z topologią po transformacji.

W związku z powyższym, celem niniejszej pracy jest sprawdzenie (na rzeczywistych danych) jak duży problem stanowią zmiany topologii treści mapy. Jakich niespójności należy się spodziewać podczas transformacji typowej mapy zasadniczej i czy opisane powyżej sytuacje są jedynie rozważaniami teoretycznymi, czy można się z nimi spotkać w praktyce. Zdecydowano się przy tym na sprawdzenie jedynie zmian topologicznych, pomijając przy tym problemy dotyczące redakcji mapy.

### 3. Obiekt testowy

Przedmiotem badań są rzeczywiste dane stanowiące postać wektorową cyfrowej mapy zasadniczej wraz z nakładką ewidencji gruntów z obszaru gminy Brzeziny położonej w woj. łódzkim. Dane obejmują zarówno obszary intensywnie zurbanizowane (miasto Brzeziny) jak i tereny o charakterze wiejskim. Mapa cyfrowa na terenie gminy prowadzona jest w systemie Ewmapa, dlatego wszystkie analizy przeprowadzone zostały na plikach stanowiących eksporty tekstowe warstw Ewmapy. Bazy działek ewidencyjnych i konturów klasyfikacyjnych zostały przeniesione na warstwy i poddane



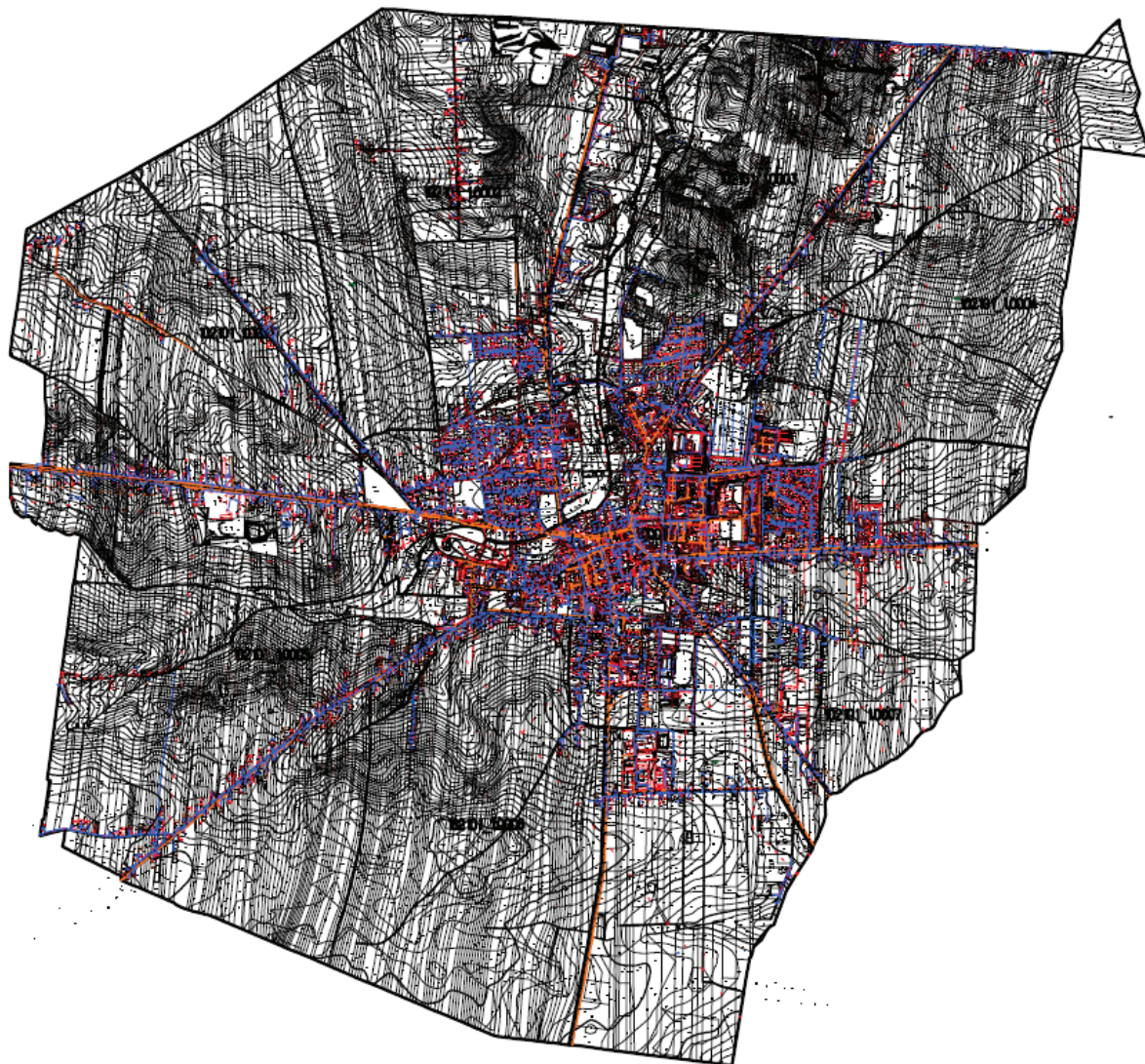
analizom tak samo jak pozostałe dane. Poszczególne elementy mapy transformowano pomiędzy układem 1965 a układem 2000 przy wykorzystaniu trzyetapowej transformacji:

Etap I - transformacja „empiryczna” wykorzystująca algorytm korekt globalnych,

Etap II - transformacji Helmerta w oparciu o punkty dostosowania (punkty osnowy I, II i III klasy)

Etap III – korekty posttransformacyjne Hausbrandta

Taką transformację w rzeczywistości zastosowano podczas transformowania państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego w powiecie brzezińskim. Zrealizowaną transformację dokładniej opisano w pracy [8]. Średnia wielkość korekty Hausbrandta na badanym obszarze wyniosła ok. 4 cm jednak zdarzały się korekty wynoszące nawet 12 cm. Jak wskazują dotychczasowe doświadczenia związane z transformacją danych pomiędzy układem 1965 a układem 2000 takie wielkości korekt są dosyć typowe.



Rys. 3. Dane testowe – pełna treść mapy zasadniczej gminy Brzeziny, woj. łódzkie

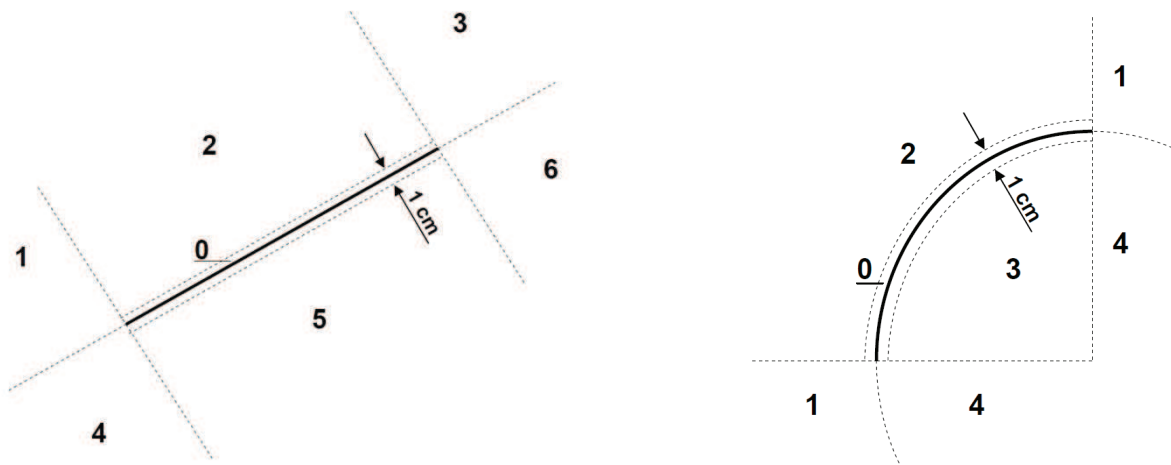
#### 4. Algorytm

Opracowano algorytm umożliwiający wyszukanie zmian we wzajemnym położeniu elementów na mapie. W programie Ewmapa, możemy wyróżnić sześć elementarnych typów, z których zbudowana jest treść warstw. Są to: linia, łuk, tekst, symbol, okrąg, punkt. Zdecydowano się na pewne uproszczenia treści mapy, niemające wpływu na wynik rozważań ale ułatwiające przeprowadzenie analiz:

1. Celem analiz jest wyszukanie problemów w topologii poszczególnych elementów na mapie po transformacji, nie jest nim wyszukiwanie problemów redakcyjnych. W przypadku tekstu, dla topologii istotny jest jedynie punkt wstawienia (np. punkt wstawienia numeru działki wewnątrz działki, punkt wstawienia opisu budynku wewnątrz budynku itp.). Położenie samego tekstu względem pozostałych elementów, przecinanie się tych tekstów z innymi elementami stanowi raczej problem redakcji mapy, dlatego ostatecznie każdy tekst został sprowadzony do punktu, tożsamego z punktem wstawienia. W przypadku tekstów zawierających odnośniki były to dwa punkty – punkt wstawienia tekstu i koniec odnośnika.
2. Wszystkie symbole zostały, podobnie jak teksty (i z tych samych powodów) sprowadzone do pojedynczego punktu.
3. Ewmapa umożliwia tworzenie skomplikowanych typów linii, składających się z wielu, niekoniecznie współliniowych elementów. Przykładem jest chociażby oznaczenie żywoplotu z instrukcji K1, stanowiące w Ewmapie osobny typ linii. Podobnie jak przy tekstach i symbolach, także i tutaj dla topologii istotne jest położenie osi elementu a pozostała część jest ważna jedynie z punktu widzenia redakcji mapy, dlatego w dalszych rozważaniach przez linię rozumie się jedynie jej główną oś.
4. Okrąg, jako samodzielny element, niebędący składnikiem symbolu, lub typu linii występuje na mapie rzadko. Na obiekcie testowym, okręgi to jedynie 136 z ogólnej liczby 347 tysięcy elementów. Stanowiąc jedynie ułamek promila wszystkich elementów, nie mają wpływu na ostateczną statystykę, dlatego pominięto je w analizach.

Ostatecznie, na tak uproszczonej mapie znalazły się tylko trzy typy elementów: linia, łuk, punkt.

Aby określić ich wzajemne położenie zdefiniowano i ponumerowano wokół każdej linii 7 pól i wokół każdego z łuków 5 pól (Rys. 6.). Pewien problem stanowiło jednoznaczne określenie położenia punktu na prostej lub na łuku (pole 0). Ewmapa jest systemem, który mimo, że posiada możliwość zapisu współrzędnych z pełną dokładnością, to jednak dla części danych (baza działek, konturów klasyfikacyjnych) takie rozwiązanie nie jest zalecane. Sugerowane jest przez producenta programu zaokrąglanie współrzędnych do 1 cm. Przy takim założeniu, punkt leżący na prostej, po zaokrągleniu współrzędnych będzie znajdował się w pewnej odległości od tej prostej. W rezultacie zdecydowano się przyjąć założenie, że przez punkt na prostej lub na łuku rozumiemy punkt znajdujący się w pasie szerokości 1 cm wzdłuż elementu.



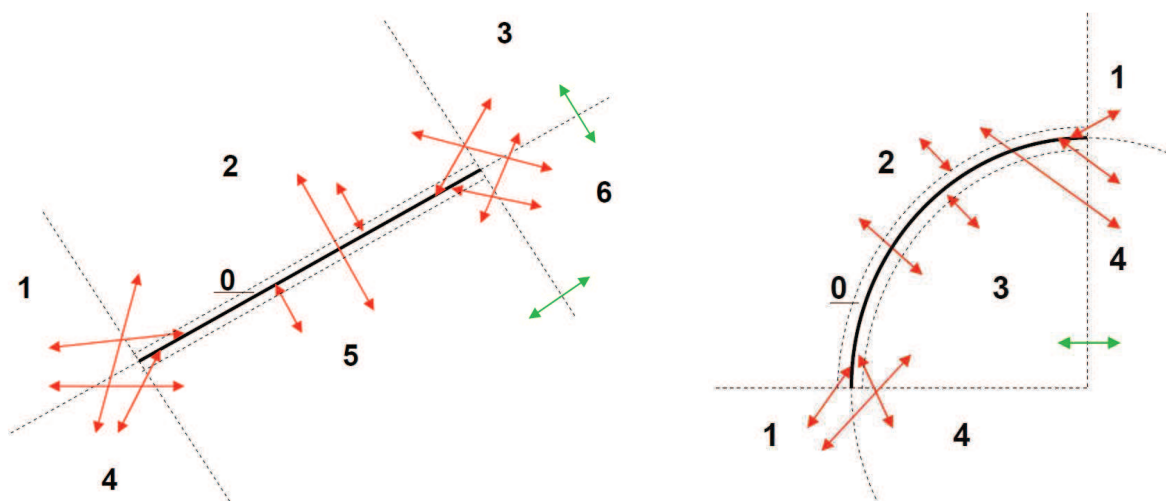
Rys. 4. Pola zdefiniowane wokół elementów liniowych i łuków. Za punkt na prostej, lub na łuku uznaje się punkt położony w pasie o szerokości 1 cm wzdłuż elementu

Następnie dla każdego z elementów określono w którym z pól znajdują się punkty, końce linii i końce łuku elementów położonych w bezpośrednim sąsiedztwie. W kolejnym kroku, całą mapę przetransformowano i ponownie określono w jakich polach znajdują się końce poszczególnych elementów. Następnie sprawdzono, czy nastąpiła zmiana numeru pola dla każdego elementów i czy jest to zmiana dozwolona. Przykładowo, dla elementu liniowego (Rys. 7.) zmiana pola z 2 na 5 jest zmianą zabronioną, oznacza że punkt „przesunął się” podczas transformacji z jednej strony linii na drugą, czyli zmieniło się wzajemne położenie elementów. Podobnie zabroniona jest zmiana z pola 0

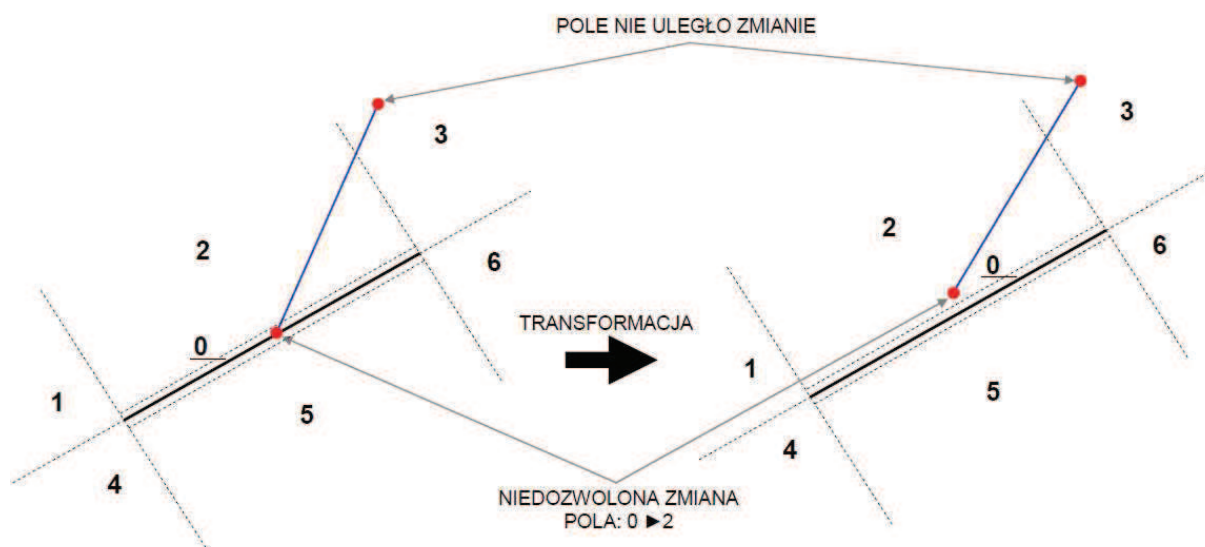


na pole 5. Oznacza, że element, który przed transformacją znajdował się na linii, po transformacji położony jest obok niej. (Rys. 7. i Rys 8.). Z drugiej strony, zmiana numeru pola np. z 3 na 6 jest zmianą dozwoloną, nie wpływającą na topologiczną spójność mapy i takie zmiany nie zostały ujęte w końcowym zestawieniu. Ostatecznie zdecydowano, że zmianami zabronionymi dla elementów liniowych będą zmiany 0-1, 0-2, 0-3, 0-4, 0-5, 0-6, 1-5, 1-6, 2-4, 2-5, 2-6, 3-4, 3-5 a dla łuków 0-1, 0-2, 0-3, 0-4, 1-3, 2-3, 2-4.

Algorytm został zaimplementowany w autorskim oprogramowaniu, wykorzystującym do transformacji biblioteki i procedury programu GEONET. Danymi wejściowymi były pliki tekstowe z wyeksportowanymi warstwami wraz z bazą działek, i konturów klasyfikacyjnych.



Rys. 5. Strzałki koloru czerwonego, oznaczają zabronione zmiany wartości pól, kolorem zielonym oznaczono przykłady zmian dozwolonych



Rys. 6. Przykład analizowanej zmiany położenia względem siebie dwóch linii. Końce linii niebieskiej, przed transformacją znajdują się w polach 0 i 3. Po transformacji odpowiednio w polu 2 i 3 co oznacza niedozwoloną zmianę i jest traktowane jako niezgodność topologiczna.

Po przeprowadzonej analizie danych testowych okazało się, że na całym obszarze zidentyfikowano 13053 niedozwolonych zmian pól. Wydaje się to bardzo dużo, niemniej jednak po szczegółowym zapoznaniu się z danymi okazało się, że w wszystkie zmiany położenia pól związane były z lokalizacją na prostej. Tzn. w 10289 przypadkach punkty przed transformacją były na prostej, a po transformacji poza prostą, w 2764 przypadkach nastąpiła sytuacja odwrotna, punkty położone

blisko prostej znalazł się na prostej. Nie wykryto ani jednego przypadku, w którym punkt diametralnie zmieniłby pozycję względem linii lub łuku, przechodząc z jednej strony na drugą. Oznacza to, że sytuacja wspomniana na początku, w której np., punkt wysokościowy, przechodzi na drugą stronę warstwy, lub punkt osnowy przechodzi na sąsiednią sekcję nie wystąpiła ani razu.

## 5. Wnioski

Mimo teoretycznej możliwości wystąpienia różnorodnych błędów topologicznych po transformacji mapy z uwzględnieniem korekt posttransformacyjnych, przeprowadzone analizy wskazują, że podczas transformacji rzeczywistych map cyfrowych jedynym istotnym problemem jest utrata współliniowości punktów leżących na prostej. Ze względu na ograniczone możliwości wykonywania analiz przestrzennych i niepełną obiektywność systemu Ewmapa powyższe błędy w chwili obecnej nie wpływają w istotnie na sposób użytkowania mapy testowego obiektu (w dotychczasowym systemie jej prowadzenia). Niemniej jednak w przyszłości, wraz z rozbudową, lub ewentualną migracją danych do innego systemu geoinformatycznego, na pozór drobne niespójności mogą stanowić istotne ograniczenie wykorzystania baz danych. Wskazuje to na potrzebę wprowadzenia modyfikacji do algorytmów transformacji, uwzględniających dodatkowo topologię elementów transformowanej mapy i „dociągających” do prostej logicznie powiązane ze sobą elementy.

## Literatura

- [1] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 8 sierpnia 2000 roku w sprawie Państwowego Systemu Odniesień Przestrzennych
- [2] GŁÓWNY URZĄD GEODEZJI I KARTOGRAFII, Wytyczne techniczne G-1.10, *Warszawa 2001*
- [3] KADAJ R., Osnowy w 2000, *www.geonet.net.pl 2004*
- [4] KADAJ R., Geonet\_Unitrans – opis systemu, *Algores-soft*
- [5] CHROBAK T., BANASIK P., 2007, „Analiza współrzędnych punktów osnowy poziomej III klasy uzyskanych za pomocą wyrównania ścisłego sieci kątowno-liniowej oraz transformacji na obszarze m.Krakowa”, *Mat. II Ogólnopolskiej Konferencji N-T p.t. Kartografia Numeryczna i Informatyka Geodezyjna*, *Solina, 27-29 wrzesień 2007*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. ISBN 978-83-7199-460-9, s. 49-54, 2007.
- [6] ŚWIĘTOŃ T., Problematyka transformacji numerycznych map wielkoskalowych do układu 2000. *Mat. II Ogólnopolskiej Konferencji N-T p.t. Kartografia Numeryczna i Informatyka Geodezyjna*, *Solina, 27-29 wrzesień 2007*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. ISBN 978-83-7199-460-9, s. 49-54, 2007.
- [7] ŚWIĘTOŃ T., Transformacja do układu 2000 a problem zgodności z PRG. *Mat. III Ogólnopolskiej Konferencji N-T p.t. Kartografia Numeryczna i Informatyka Geodezyjna*, *Solina, 17-19 wrzesień 2009*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. ISBN 978-83-7199-555-2, s. 121-143, 2009.
- [8] ŚWIĘTOŃ T., Analiza wybranych algorytmów określenia korekt lokalnych układu 1965. *Infrastruktura I Ekologia Terenów Wiejskich nr 12/2010*, Polska Akademia Nauk, oddział w Krakowie, Kraków 2010, ISSN 1732-5587
- [9] BANASIK P., Opracowanie parametrów transformacji map wektorowych i rastrowych z Układu Lokalnego Krakowskiego (ULK) do układu 2000 wraz z analizą jej geometrycznych konsekwencji dla obszaru Krakowa, Kraków, 2010
- [10] BELUCH J., 2009: Ścisła ocena dokładności przetransformowanych współrzędnych po wprowadzeniu korekt Hausbrandta. *Archiwum Fotogrametrii i Teledetekcji, Vol 19*, ISBN 978-83-61576-09-9, str. 10
- [11] LEWANDOWICZ E., 2004: Ocena jakości mapy zasadniczej – poprawianie kresek. *Magazyn Geoinformacyjny GEODETA*, nr 4, str. 44-45
- [12] OSADA E. 2008: Analiza metod transformacji mapy zasadniczej do układów 2000 i Kronsztadt 1986 na przykładzie Wrocławia. *Magazyn Geoinformacyjny GEODETA*, nr 10, str 44-46.

## **THE ANALYSIS OF TOPOLOGY CHANGES IN DIGITAL MAPS AFTER THE TRANSFORMATION WITH THE USE OF HAUSBRANDT'S CORRECTIONS**

### **Summary**

Hausbrandt's corrections applied in transformation tasks, in spite of undoubted virtues, often are becoming a source of various problems. A possible appearance of mutual displacement of adjacent objects after the transformation is one of them. Such situation is often caused by an irregular layout of corrections. Theoretically, it results in errors and inconsistencies in map's topology even though before the transformation such problems were not to be observed.

This article presents a method designed to identify changes of adjacent objects location as well as the quantitative and quality analysis of the occurring problems. Tests on empirical data showed that in spite of theoretical possibility of forthcoming problems, in practice the number of errors was low. The only ones were those of noncollinear points, collinear before the transformation. At present disagreements of this type do not seem to be of any relevance to map users, however might be a potential source of problems in the future.