

## DANE KATASTRALNE JAKO BAZA DO ROZBUDOWY MODELU SIECI DROGOWEJ

### CADASTRAL DATA AS THE BASIS FOR EXTENSION OF THE ROAD NETWORK MODEL

**Elżbieta Lewandowicz**

Katedra Geodezji Szczegółowej, Wydział Geodezji i Gospodarki Przestrzennej  
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

**Słowa kluczowe: dane przestrzenne, katastralne obiekty przestrzenne, topologia, model sieci drogowej**

Keywords: spatial data, cadastral spatial object, topology, road network model

## Wprowadzenie

Kataster stanowi bazowy system informacyjny zawierający dane o katastralnych obiektach przestrzennych, w którym działki ewidencyjne stanowią dane referencyjne zalecane do względnej lokalizacji innych obiektów. Ułatwiona dostępność do tych danych wynikająca z wdrażania dyrektywy INSPIRE powinna być szerzej wykorzystywana w systemach nawigacyjnych, gdyż wzbogaca zasoby danych przestrzennych, przydatne do lokalizacji zdarzeń i obiektów na terenach niezurbanizowanych. Katastralnymi obiektami przestrzennymi, między innymi, są wszystkie drogi będące własnością różnych podmiotów o różnym stopniu przejezdności. Można je wykorzystać do wizualizacji sieci drogowej, ale i do rozbudowania istniejących matematycznych modeli sieci ciągów komunikacyjnych.

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie metodyki konwersji danych geometrycznych o treści katastralnej do modelu sieciowego zawierającego dane o sieci drogowej i dostępności z tej sieci do działek ewidencyjnych.

Budowa modeli sieci drogowej opiera się powszechnie na bazach danych przestrzennych topograficznych, ortofotomapy, wspomaganych zasobami wielkoskalowych danych mapy zasadniczej i katastralnej. Polega na zbudowaniu hierarchicznego modelu sieci (Chrobak, 2000) w oparciu o odcinki osi dróg. Istniejące modele wykorzystywane w systemach nawigacyjnych coraz precyzyjniej odzwierciedlają stan faktyczny w przestrzeni geograficznej. Zauważa się jednak brak danych o drogach gminnych, na terenach rolnych i leśnych.

## Metodyka

W związku z ułatwionym dostępem do danych przestrzennych, w tym i katastralnych, rysuje się możliwość szybkiego uzupełnienia istniejących modeli sieci drogowych. Dane katastralne zawierają informacje o drogach jako użytkach, co pozwala na wyodrębnienie

działek pasa drogowego. Na podstawie ich lokalizacji i kształtu określa się odcinki osi dróg. Stanowią one podstawę do budowy klasycznego modelu sieci.

Autorka proponuje inną metodykę budowy modelu sieci drogowej, którą można wykorzystać od zaraz, bez większego nakładu pracy, do czasu zbudowania modeli sieci drogowej metodami klasycznymi. Proponowane rozwiązanie opiera się na wykorzystaniu danych katastralnych w części graficznej i automatycznego ich przetworzenia w oparciu o związki topologiczne obszarów działek (Gaździcki, 1990; Molenaar, 1998; Eckes, 2006; Bielecka, 2006). Przekształcenia danych topologicznych modelu obszarowego (Lewandowicz, 2004; 2006; 2007) są podstawą do wygenerowania modelu matematycznego sieci drogowej oraz modelu dostępności z sieci drogowej do działek ewidencyjnych. Istotę tej pracy stanowi metodyka tych przekształceń przedstawiona za pomocą algebraicznych zapisów.

Przygotowano algorytmy wspomagające automatyczną konwersję danych graficznych do modeli sieciowych i przeprowadzono testy na dostępnych danych. Wyniki testów są zadowalające. Tworzone modele spełniają oczekiwania, choć w niektórych przypadkach wymagają manualnej korekty.

## Zbiory geometryczne i topologiczne danych katastralnych

Wykorzystując zbiory geometryczne danych katastralnych do budowy proponowanych modeli, należy je przetworzyć w celu uzyskania danych topologicznych (Gaździcki, 2006; ISO 19107). Narzędzia GIS taką konwersję wykonują automatycznie (ESRI, 2003). Wiąże się ona z utworzeniem tabel topologicznych, powszechnie znanych z literatury dotyczącej systemów informacji geograficznej (GIS), (Gaździcki, 1990; Bielecka, 2006; Eckes, 2006).

W literaturze matematycznej do zapisu danych topologicznych stosuje się teorię grafów (Kulikowski, 1986; Gould, 1988; Findeisen i in., 1980; Wróblewski, 1997; Wilson, 2000; Cormen i in., 2007). Wykorzystując ją, dane zawarte w tabelach topologicznych można zapisać w formie algebraicznej, w macierzach. Zapis ten jest przyjazny do przedstawienia metodyki i wizualizacji graficznej kolejnych etapów przetworzeń, za pomocą zbioru węzłów  $W$  i krawędzi  $K$ , jako elementów grafu  $S$ :

$$S = (W, K)$$

W proponowanym zastosowaniu istotne są dwie tabele topologiczne (rys. 1):

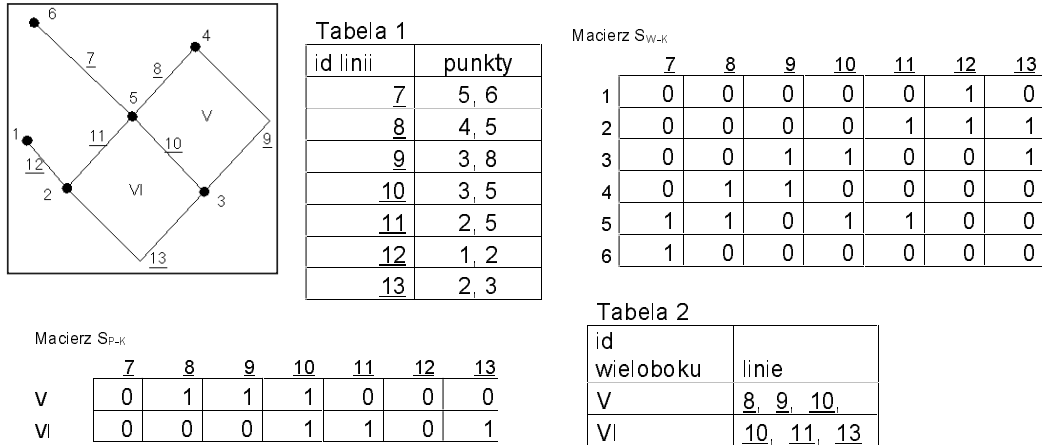
- tabela 1, z danymi o połączeniach punktów i linii, zapisana jako macierz  $S_{W-K}$ ,
- tabela 2, z danymi o wielobokach i liniach granicznych, zapisana jako macierz  $S_{P-K}$ .

Macierz  $S_{W-K}$  – w teorii grafów zwana jest macierzą incydencji, zawiera dane o połączeniach węzłów z krawędziami. Elementy macierzy  $(S_{W-K})_{ij}$  przyjmują wartości ze zbioru dwuelementowego  $\{0, 1\}$ . Elementy macierzy  $S_{W-K}$  przyjmują wartości 1, jeśli węzeł  $i$  jest początkiem lub końcem krawędzi  $j$ , zgodnie z zapisami tabeli 1.

Macierz  $S_{P-K}$  – w teorii grafów zwana jest macierzą oczek, zawiera dane o powiązaniach ścian (powierzchni topologicznych) z krawędziami. Elementy macierzy  $(S_{P-K})_{ij}$  przyjmują wartość 1, jeśli powierzchnia  $i$  jest ograniczona krawędzią  $j$ , zgodnie z zapisami tabeli 2.

## Przetwarzanie danych topologicznych

Przekształcając wymienione wyżej macierze otrzymuje się nowe formy algebraicznego zapisu topologii. Wykonując działanie:



**Rys. 1.** Wizualizacja danych katastralnych za pomocą elementów topologicznych w formie grafu  $S$ , zapisu tabelarycznego i macierzowego

$$S_o = S_{W-K} (S_{P-K})^T \text{Diag}(S_{P-K} (S_{P-K})^T)$$

otrzymana macierz  $S_o$ , która zawiera relacje sąsiedztwa między powierzchniami topologicznymi. Macierz  $S_o$  jest macierzą symetryczną, tzn. że  $(s_o)_{ij} = (s_o)_{ji}$ . Elementy diagonalne macierzy  $S_o$  przyjmują wartości 0, a wartości elementów,  $(s_o)_{ij}$ , ( $i \neq j$ ), poza diagonalnymi, przyjmują wartości 0 lub 1. Indeksy  $i, j$ , odpowiadają identyfikatorom działek zgodnie z indeksowaniem wierszy w macierzy  $S_{P-K}$ . Jeśli istnieje sąsiedztwo powierzchni  $i$  z powierzchnią  $j$ , to  $(s_o)_{ij} = 1$ . Macierz tę można przedstawić graficznie za pomocą grafu  $S_o$ ,  $S_o = (W_o, K_o)$ , w którym zbiór węzłów  $W_o$  identyfikuje powierzchnie topologiczne, a krawędzie wskazują na sąsiedztwo powierzchni. W literaturze teorii grafów taki graf  $S_o$  nazywany jest grafem dualnym w stosunku do grafu wyjściowego  $S$ , ( $S \rightarrow S_o$ ). Graf  $S_o$  pokazano na rysunku 2 na tle działek ewidencyjnych.

Kolejne przetwarzanie danych topologicznych wykonamy gdy wzbogacimy zapis identyfikatorów węzłów grafu  $S_o$  o dane związane ze sposobem użytkowania działek. Wyróżnimy węzły opisujące działki związane z pasem drogowym. Utwórzmy macierz  $Z$ , diagonalną, o wymiarach macierzy  $S_o$  i wartościach  $\{0, 1\}$ . Elementy  $(S_Z)_{ii}$ , diagonalne macierzy  $Z$ , niech przyjmą wartości 1, jeśli identyfikator  $i$  odpowiada działce pasa drogowego. Przy takim założeniu mnożąc macierz  $Z$  przez macierz  $S_o$  otrzymujemy  $S_D$ , który zawiera informacje o dostępności z pasów drogowych do działek ewidencyjnych

$$S_D = Z S_o$$

Uzyskana macierz  $S_D$  jest macierzą niesymetryczną, można ją wizualizować za pomocą digrafu – grafu skierowanego, zawierającego krawędzie skierowane (Kulikowski, 1968; Wilson, 2000). Graf skierowany  $S_D$ ,  $S_D \subset S_o$ , obrazuje dostępność z działek będących w pasie drogowym do pozostałych działek. Przyjmujemy go jako model dostępności z sieci drogowej do działek ewidencyjnych. Przedstawiono go graficznie na rysunku 3.

W macierzy  $S_D$  występują elementy niesymetryczne  $(s_D)_{ij} \neq (s_D)_{ji}$  i symetryczne  $(s_D)_{ij} = (s_D)_{ji}$ . Niesymetryczne o wartości równej 1 opisują jednostronne relacje między działkami pasa

drogowego a działkami o innym użytkowaniu. Elementy symetryczne o wartości równej 1, opisują relacje między sąsiednimi działkami leżącymi w pasie drogowym. Jeżeli w macierzy wyzerujemy wartości niesymetryczne, otrzymamy zapis macierzowy nowego grafu  $S_S, S_S \subset S_D \subset S_o$ .

$$(s_S)_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{gdy } (s_D)_{ij} = 1 \text{ i } (s_D)_{ji} = 1 \\ 0 & \text{dla } (S_D)_{ij} \neq (S_D)_{ji} \quad \text{lub } (S_D)_{ij} = 0 \quad \text{lub } i = j \end{cases}$$

Macierz  $S_S$  zawiera relacje przylegania działek leżących w pasie drogowym. Wizualizować można je jako graf  $S_S$  (rys. 4). Przyjmijmy go jako model sieci drogowej, uzyskany z danych katastralnych.

## Analizy sieciowe

Otrzymane modele: sieci drogowej  $S_S$  i dostępności z sieci drogowej do działek  $S_D$ , przedstawiają powiązania wybranych działek ewidencyjnych. Opisane są miarą kwantową  $\{0,1\}$ . Model  $S_S$  sieci drogowej umożliwi wykonywanie analiz związanych z analizami sieciowymi, np. poszukiwanie najkrótszej drogi. Teoretyczne podstawy takich analiz są wyjaśnione w teorii grafów (Wilson, 2000; Wróblewski, 1997; Gould, 1988). Wynikiem takiej analizy jest droga określona jako ciąg węzłów o wybranych identyfikatorach działek ewidencyjnych. Wyliczana jest w oparciu o model opisany metryką kwantową, więc wskazuje na drogę, którą najłatwiej wskazać i opisać za pomocą działek pasa drogowego. Wynik analizy można wizualizować za pomocą wyróżnienia wybranych działek, co pozwala na weryfikację rozwiązania.

Model  $S_D$  rozszerza możliwości analiz umożliwiając określenie dostępności z pasa drogowego do przyległych obszarów. Po małej modyfikacji modelu  $S_D, S_D^*, S_D^*$ , polegającej na przekształceniu niesymetrycznych elementów macierzy  $S_D$  do symetrii:

$$(s_D)_{ij} = 1 \Rightarrow ((s_D^*)_{ij} = 1 \text{ i } (s_D^*)_{ji} = 1)$$

możliwe jest poszukiwanie drogi między dwiema dowolnymi działkami w kompleksie, w oparciu o sieć drogową.

## Ocena metodyki w oparciu o dane testowe

Proponowane rozwiązania przetestowano na dwóch dostępnych zbiorach danych graficznych o treści katastralnej, przedstawionych na rysunku 5a, 5b. Dane topologiczne katastralnych obiektów przestrzennych uzyskano z danych graficznych, w formie list. Treść ich odpowiadała wartością tabel topologicznych (rys. 1). Przekształcono je do modeli matematycznych  $S_o, S_D, S_S$ , które zobrazowano w formie graficznej na rysunku 5. Uzasadniają one celowość ich stosowania.

Otrzymane modele sieci drogowej  $S_S$  i dostępności  $S_D, S_D^*$  z sieci drogowej do działek, utworzone zostały automatycznie w oparciu o przyjęty, autorski algorytm. Analizy szczegółowe tych modeli, w niektórych przypadkach, wskazują na niejednoznaczności, które należy wyjaśnić i wskazać możliwość ich weryfikacji.

W modelu sieci drogowej, przy nieuporządkowanej strukturze działek pasa drogowego (rys. 6), występuje wiele węzłów opisujących jeden pas drogowy, czyniąc model sieci niezrozumiałym. W takich sytuacjach najlepiej wykonać agregację działek leżących w jednym pasie drogowym i dopiero po tym zabiegu zbudować model.

Działki pasa drogowego, w miejscach skrzyżowania dróg, nie zawsze są geometrycznie powiązane. Przy automatycznej budowie modelu  $S_S$ , przy przyjętym algorytmie, nie wszystkie powiązania mogą być ujawnione. Chcąc uniknąć części tych niejednoznaczności istnieje możliwość modyfikacji algorytmu, przez uwzględnienie sąsiedztwa na wskroś – gdy działki sąsiednie stykają się jednym punktem granicznym. W przypadku braku sąsiedztwa geometrycznego działek pasa drogowego w obrębie jednego skrzyżowania, należy zmodyfikować model  $S_S$  manualnie, przez dodanie krawędzi.

W modelach  $S_D$ , przedstawiających dostępności z sieci drogowej do działek, niejednoznaczności występują przy:

- działkach narożnych, sąsiadujących z co najmniej dwoma pasami drogowymi,
- działkach z dostępem do drogi z dwóch przeciwległych stron,
- działkach z brakiem dostępu do drogi z zapisaną służebnością.

W pierwszym i drugim przypadku, w modelu  $S_D$ , do węzła opisującego działkę ewidencyjną nie będącą pasem drogowym, dochodzą co najmniej dwie krawędzie skierowane (rys. 3). Na terenach niezurbanizowanych wynik taki wskazuje na możliwości wielowariantowychostępów. Na terenach zurbanizowanych powiązania geometryczne nie zawsze odpowiadają sytuacji terenowej z powodu zabudowy, ogrodzeń. W takich przypadkach zasadna jest weryfikacja i modyfikacja modelu, w oparciu o dane z mapy sytuacyjnej, punkty adresowe. W trzecim przypadku, działki z brakiem dostępu do drogi są przedstawiane w postaci węzłów izolowanych. Model  $S_D$  należy zmodyfikować, wprowadzając dodatkowe krawędzie skierowane, wskazujące na służebności.

## Podsumowanie i wnioski

W publikacji przedstawiono metodykę automatycznej budowy uproszczonych matematycznych modeli sieci drogowych w oparciu o dane graficzne zasobu katastralnego. W wyniku jej zastosowania:

- można szybko zbudować uproszczone modele sieci drogowej na obszarach rolnych i leśnych,
- modele sieci otrzymane automatycznie nadają się do wykorzystania w celu określenia najprostszej drogi pomiędzy dwiema dowolnymi działkami ewidencyjnymi, w oparciu o sieć drogową,
- wyniki analizy związane z poszukiwaniem najprostszej drogi wiążą się z wyróżnieniem na mapie numerycznej ciągu wybranych działek pasa drogowego,
- w szczególnych przypadkach utworzone modele: sieci drogowej, dostępności do działek, wymagają korekty manualnej.
- modele budowane technologią klasyczną i proponowane, można powiązać w celu ich współdziałania.

Proponowana technologia budowy uproszczonych modeli pozwala na szybkie uzupełnienie istniejących modeli sieci drogowej o brakujące dane. Wykorzystanie ich w systemach do nawigacji drogowej zwiększa możliwości poszukiwania drogi w terenach niezurbanizowanych, a w sytuacjach krytycznych przyspiesza procesy decyzyjne związane z wyznaczeniem drogi do zadanego celu.

Prace testowe oparte na danych z zasobu geodezyjnego pozwalają stwierdzić, że konieczne jest prowadzenie modernizacji ewidencji gruntów w celu zwiększenia przejrzystości struktur geometrycznych danych katastralnych.

### Literatura

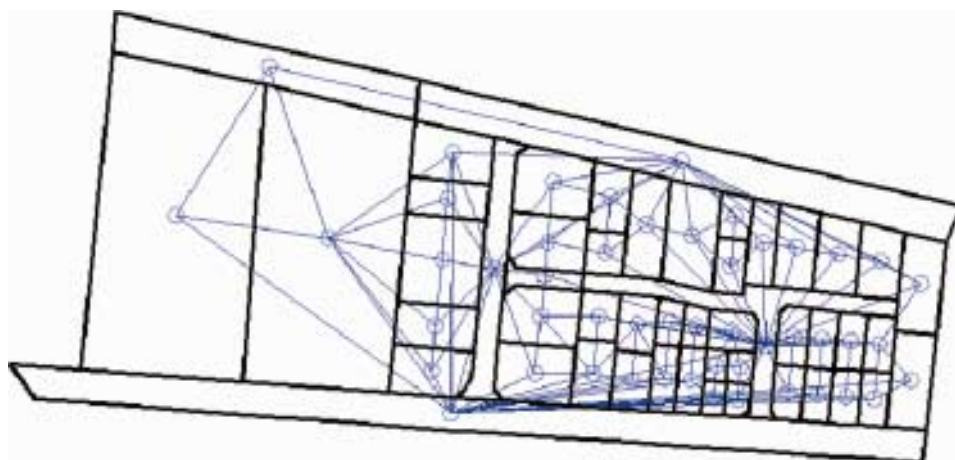
- Bielecka E., 2006: System informacji geograficznej. Wydawnictwo PJWSTK, Warszawa, 37-44.
- Chrobak T., 2000: Modelowanie danych przestrzennych przy użyciu struktury FDS Molenaara. Materiały II Ogólnopolskiego Seminarium „Modelowanie danych przestrzennych”, Warszawa, 17-28.
- Cormen T. H., Leiserson Ch. E., Rivest R. L., Stein C., 2007: Wprowadzenie do algorytmów. WNW, Warszawa.
- Eckes K., 2006: Modelowanie rzeczywistości geograficznej w systemach informacji przestrzennej. *Roczniki Geomatyki*, t. IV, z. 2, PTIP, Warszawa, 43-73.
- ESRI, 2003: ArcGIS: Working With Geodatabase Topology, An ESRI White Paper.
- Findeisen W., Gutowski W., Kulikowski J.L. i in., 1980: Teoria grafów i jej zastosowania w technice i informatyce. Biblioteka Naukowa Inżyniera PWN, Warszawa, 15-95, 185-212, 254-306.
- Gaździcki J., 1990: Systemy Informacji Przestrzennej, Państwowe Przedsiębiorstwo Wydawnictw Kartograficznych, Warszawa.
- Gaździcki J., 2006: Internetowy leksykon geomatyczny. <http://www.ptip.org.pl/>
- Gould R., 1988: Graph theory. The Benjamin/Cummings Publishing Company, INC California.
- ISO 19107: Geographic information spatial schema <<http://www.isotc211.org/>>
- Kulikowski J.L., 1986: Zarys teorii grafów. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Lewandowicz E., 2004: Grafy jako narzędzie do definiowania relacji przestrzennych pomiędzy danymi geograficznymi. *Roczniki Geomatyki*, t. II, z. 2, PTIP, Warszawa, 160-171.
- Lewandowicz E., 2006: Area Neighborhood Models. *Geodezja i Kartografia*; Polish Academy of Sciences, *Geodesy and Cartography*, Vol. 55, No. 3. 2006, 147-167.
- Lewandowicz E., 2007: Przestrzeń geograficzna jako przestrzeń topologiczna. Modelowanie informacji geograficznej. *Prace IGiK*, Warszawa, z. 3, 27-37.
- Lewandowicz E., 2007: Modele topologiczne danych przestrzennych. *Roczniki Geomatyki*, t. V z. 5, PTIP, Warszawa, 43-53.
- Molenaar M., 1998: An introduction to the theory of spatial object modeling for GIS. Taylor & Francis, London, Sullivan D.O., Unwin D.J., 2003: Geographic Information Analysis. Jon Wiley & Sons, INC.
- Wilson R., 2000: Wprowadzenie do teorii grafów. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Wróblewski P., 1997: Algorytmy struktury danych i techniki programowania. Helion, Gliwice.

### Abstract

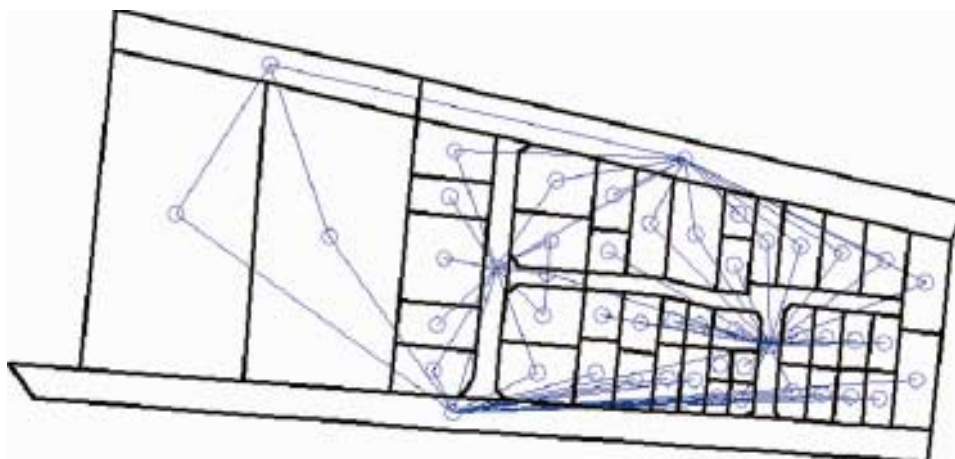
*The cadastre is the basis information system that includes data about cadastral spatial objects. In this system, data about parcels includes referential data recommended to be used in the process of indirect localization of other objects. Facilitated access to this data is the result of implementing the INSPIRE directive. This data should be used in navigation systems, as it enriches resources of spatial data useful to localize events and objects in an undeveloped country and forest areas. Cadastral spatial objects are, among others, all roads belonging to different entities and with different passable. This data could be useful not only in road network visualization but also in development of present mathematical network model. In this paper, the author presents the methodology of automatic graphic cadastral data conversion to the road network model. In addition, the possibility of building model of accessibility from road network to parcels is indicated. These models are based on topology data of geometric cadastral data. This model of road network could be used by rescue services looking for the best road to the destination, especially in the areas where navigations system do not have full information about roads in the country and forests.*

*The paper presents results of geometric cadastral data automatically converted to mathematic model of the road network. The quality of geometric data has influence on the quality of models of road networks. Presented results are an introduction to further research. They can also be used to estimate the quality of existing geometrical cadastral data.*

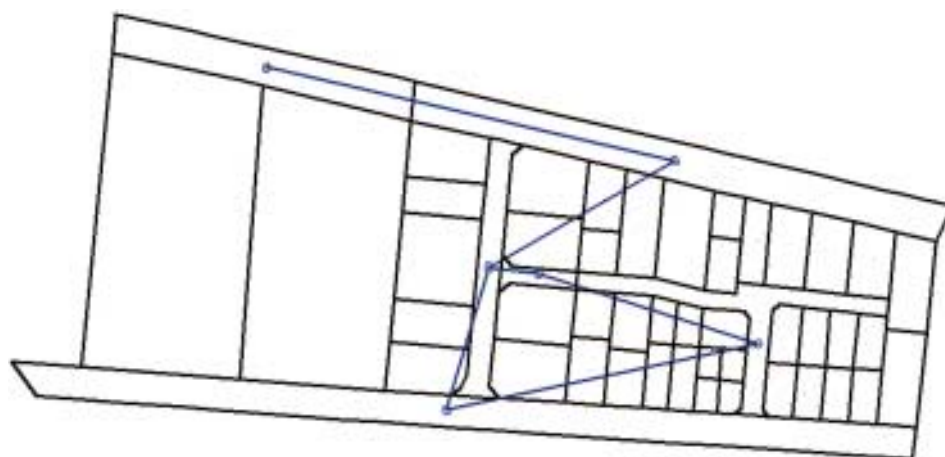
dr inż. hab. Elżbieta Lewandowicz  
lella@uwm.edu.pl  
www.ela.mapa.net.pl  
tel. +48 89 523 44 67



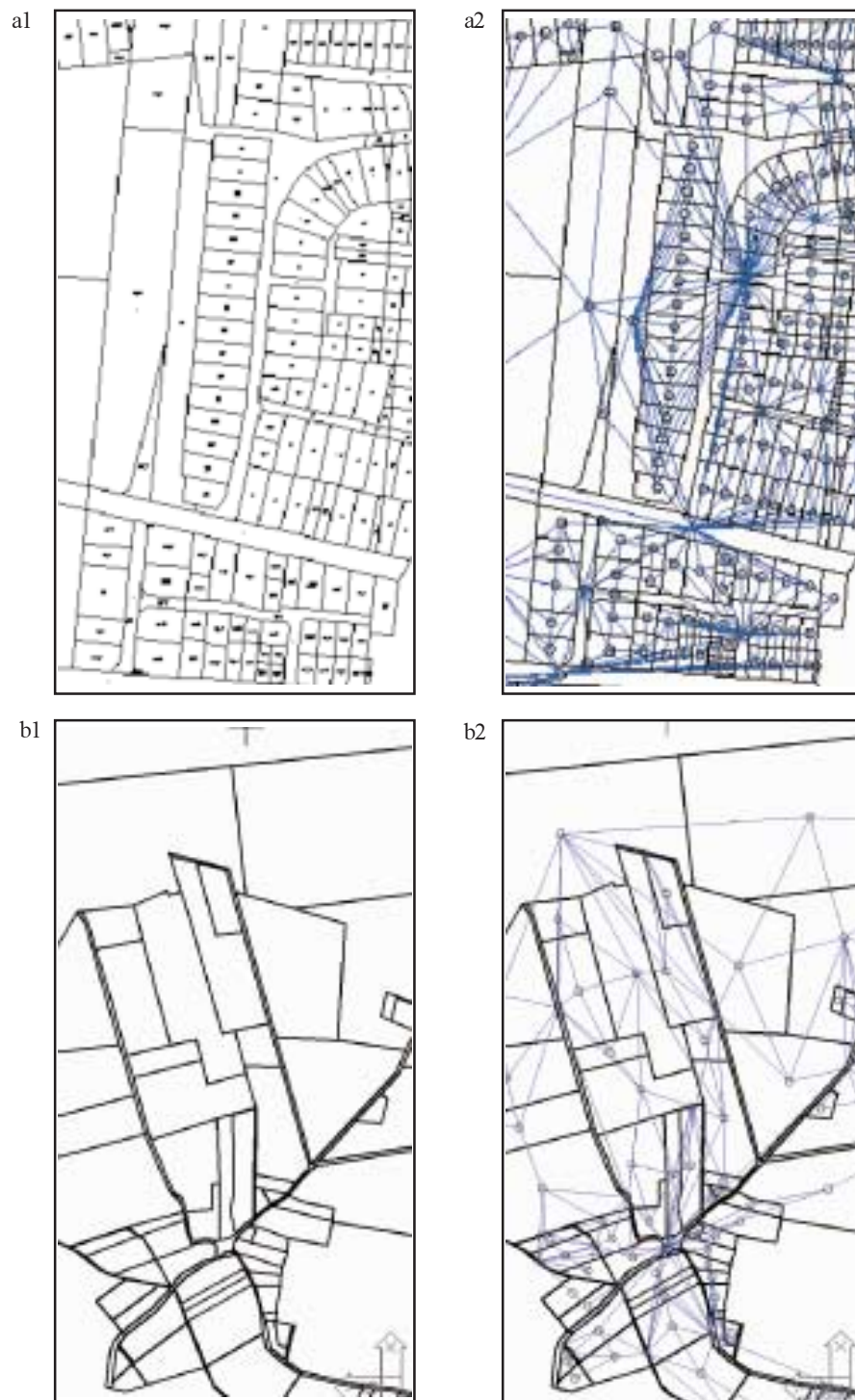
Rys. 2. Graf dualny  $S_D$  na tle działek ewidencyjnych



Rys. 3. Graf dostępności  $S_D$  do działek ewidencyjnych z działek pasów drogowych

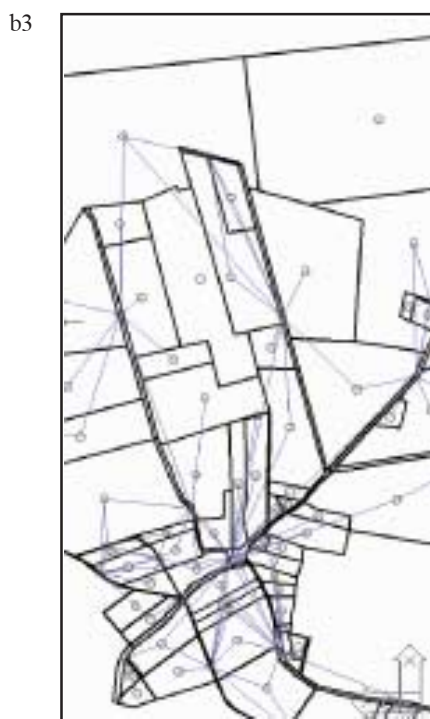


Rys. 4. Graf  $S_g$  jako model sieci drogowej

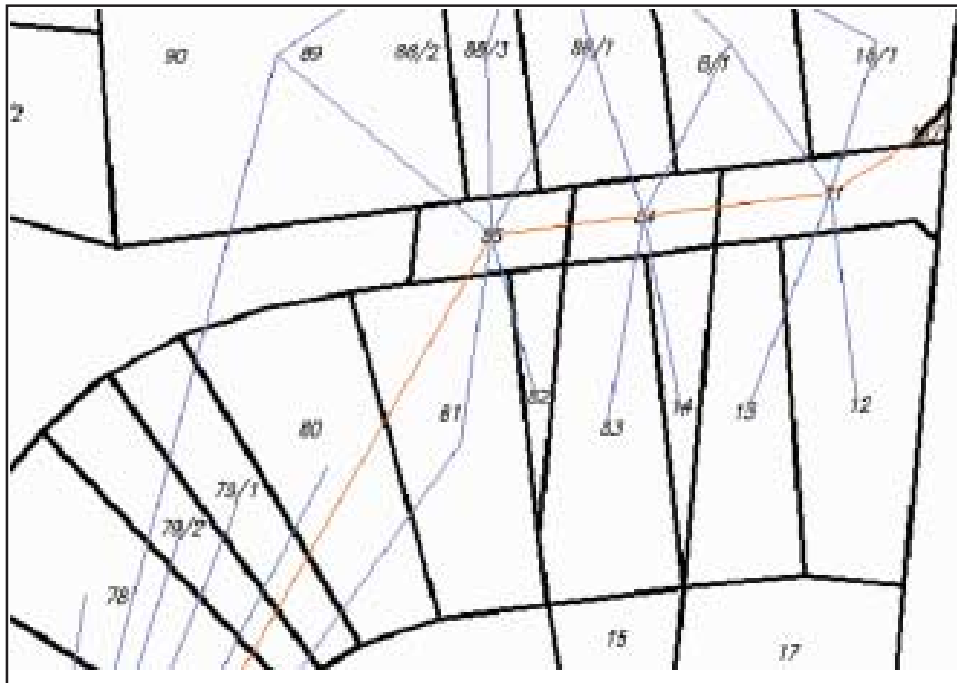


Rys. 5. Prezentacje: a1, b1 – danych katastralnych, a2, b2 – modeli sąsiedztwa działek ( $S_O$ )





Rys. 5. Prezentacje: a3, b3 – modeli dostępności do działek z sieci drogowej ( $S_D$ ),  
a4, b4 – modeli sieci drogowej ( $S_g$ )



**Rys. 6.** Przykłady danych katastralnych wskazujące na strukturę pasa drogowego jako źródło niejednoznaczności budowanych modeli