

Metodyka tworzenia modeli sieci drogowych w oparciu o dane katastralne

Methods of creating models of road networks
based on cadastral data

Elżbieta Lewandowicz¹, Przemysław Lisowski²

¹Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie,

Wydział Geodezji Inżynierii Przestrzennej i Budownictwa

²AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska,
Katedra Geoinformatyki i Informatyki Stosowanej

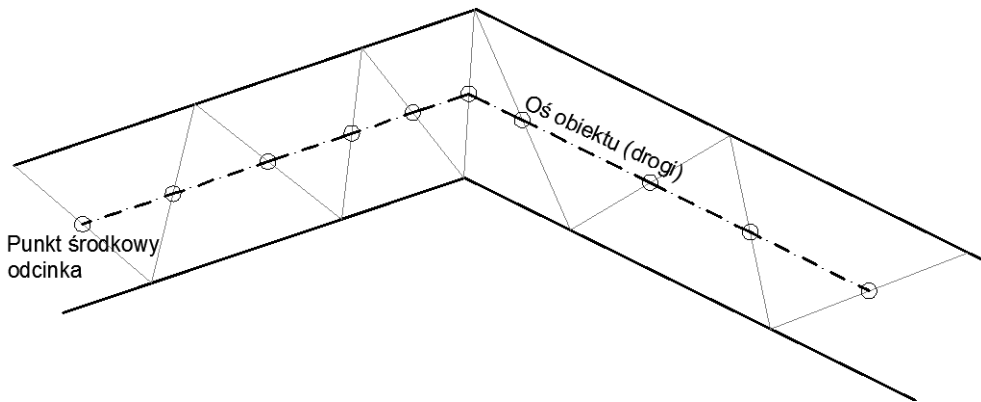
Słowa kluczowe: dane katastralne, algorytmy geoinformacyjne, GIS, model sieci drogowej
Keywords: cadastral data, geoinformation algorithms, GIS, model of road network

Wprowadzenie

Analizy sieciowe są ważnym elementem nauk geograficznych. Podstawy matematyczne tych analiz związane są z teorią grafów (Deo, 1974), które zostały zaimplementowane w systemach informacji geograficznej. Wszystkie aplikacje analityczne, oparte o analizy sieciowe (Kulikowski, 1986), potrzebują modeli geometrycznych sieci. Tworzenie ich w istniejących ciągach komunikacyjnych jest już zautomatyzowane, na przykład przez zbieranie śladów poruszających się obiektów (Costa i in., 2017). Zdalnie zbierane dane wykorzystuje się nie tylko do generowania geometrycznych modeli sieci, ale także do oceny natężenia ruchu (Kowalski, Wiśniewski, 2017). Modele sieciowe mogą być także tworzone przez manualną lub półautomatyczną edycję w narzędziach GIS, w oparciu o obrazy satelitarne, mapy topograficzne.

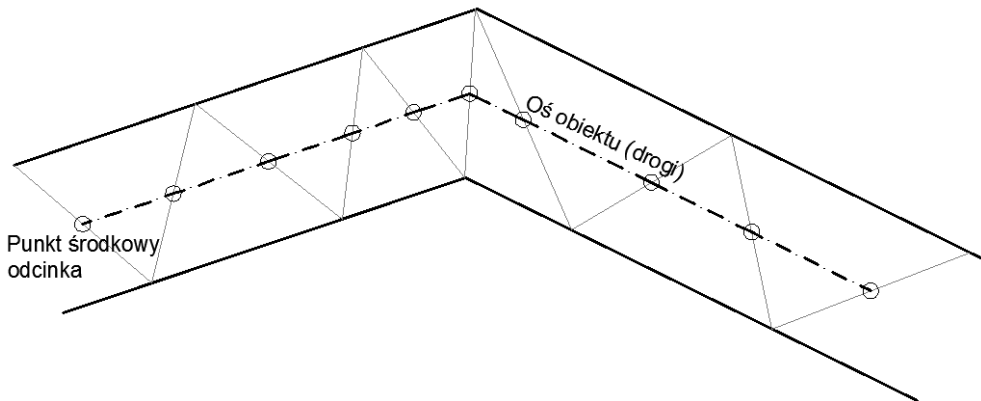
Edytując manualnie linię łamaną reprezentującą osie dróg lub innych obiektów poligonowych o wydłużonych kształtach, w narzędziach GIS wykorzystuje się zależności geometryczne oparte o twierdzenie Talesa. Punkty będące środkami odcinków linii łamanej, opartej o krawędzie wydłużonego obiektu na przykład drogi, wyznaczają linię łamaną reprezentującą oś drogi (rys. 1).

W literaturze prezentowane są metodyki budowy sieci do nawigowania w budynkach i na zewnątrz nich (*Indoor-Outdoor navigation*). Opierają się one na segmentacji przestrzeni wykonywanej narzędziami do budowy nieregularnej sieci trójkątów (TIN) i tworzenia diagramów Voronoi (poligonów Thiessena). Poligony TIN bądź poligony Thiessena, tworzone są w oparciu o wybrane punkty leżące na granicy badanej przestrzeni. Otrzymane poligony



Rysunek 1. Podstawy manualnej edycji osi obiektów wydłużonych

segmentują przestrzeń. Łącząc środki sąsiadujących poligonów-trójkątów (rys. 2) tworzymy sieć (Krúminaitė, 2014; Bogusławski i in., 2016). Zwykle otrzymujemy sieć w postaci linii łamanych zygzakowatych, które co kawałek się załamują w przeciwnych kierunkach. Należy je prostować (Krúminaitė, 2014). Używając nazewnictwa topologicznego: węzeł (*node*), krawędź (*edge*), metodykę tę określa się, jako relacja struktur identyfikowanych węzłami (*Nod Relation Structure*, NRS).

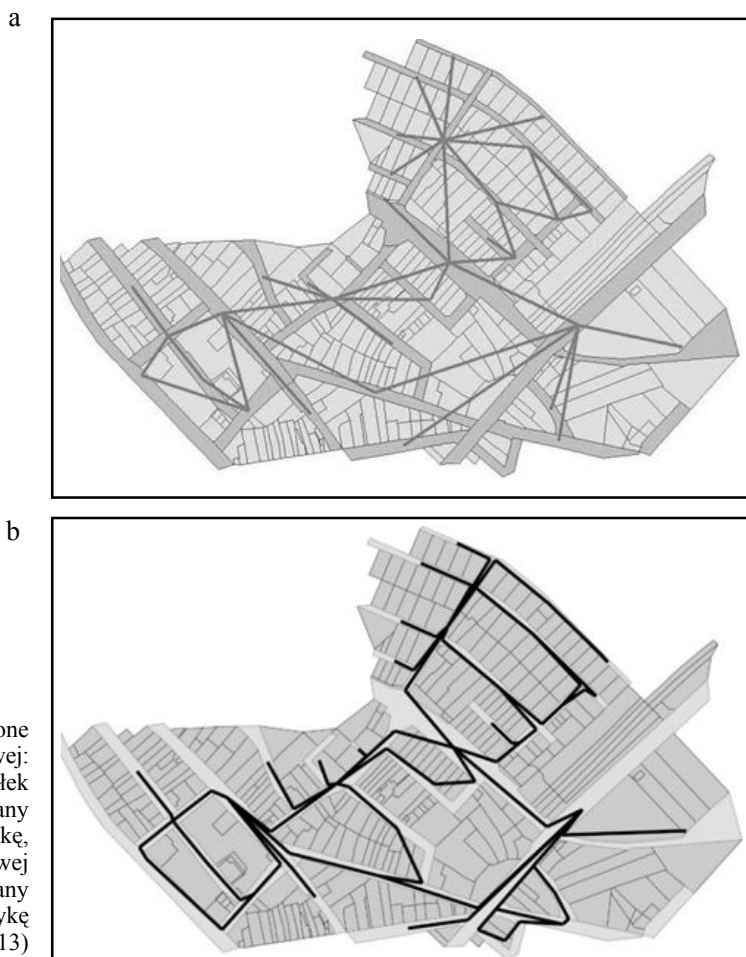


Rysunek 2. Tworzenie sieci z wykorzystaniem związków topologicznych sąsiedztwa w oparciu o segmenty TIN

Inne rozwiązania proponują tworzenie sieci w oparciu o krawędzie poligonów Thiessena (Wallgrün, 2005). Przedstawione trzy rozwiązania są powszechnie stosowane, mają jednak wadę, gdyż w wyniku generowania ścieżki otrzymujemy linię zygzakowatą. Można ją uprościć przez zwiększenie segmentacji modelami TIN, Voronoi. Proponuje się także stosować algorytmy upraszczające lub algorytmy transformujące (Lee, 2004; Tang i in., 2015). Pomimo wielu wysiłków problem tworzenia modeli sieci nie jest do końca rozwiązany. Świadczą o tym liczne publikacje (Eder i in., 2018; Yang, Worboys, 2015; Krúminaitė, Zlatanova, 2014; Wel, Zlatanova, 2017; Zverovich i in., 2017).

Dane katastralne (Hycner, 2004) mogą być przydatne do automatycznego generowania modelu sieci komunikacyjnej. Jakość uzyskanych modeli jest różna, w zależności od przyję-

tej metody (Lewandowicz, 2010, 2013). Pokazane na rysunku 3 modele, opierają się na związkach topologicznych sąsiedztwa działek pasa drogowego (NRS). Przedstawione modele sieci drogowej są zbyt uproszczone, nie nadają się do nawigacji, nie odzwierciedlają wiernie dróg komunikacyjnych. W pierwszym rozwiązaniu parcele drogowe identyfikowane są centroidem. Krawędzie sieci łączą centroidy sąsiadujących działek (rys. 3a). W drugiej prezentacji, działki pasa drogowego identyfikowane są centroidami i centroidami linii granicznych, rozgraniczających sąsiednie działki pasa drogowego (rys. 3b). W modelu, krawędzie łączą centroidę działki z centroidą linii granicznej. Szczegółowe opisy tych metodyk znajdują się w literaturze (Lewandowicz i in., 2013). Obie te metody generują sieć powiązań między działkami. Metodykę generowania można określić, jako Relacje Struktur opisane Centroidami (CRS) – nawiązując do metody NRS. Opisując je dokładniej należy uwzględnić indeksy $CRS_{działka}$, $CRS_{działka}^{granica}$.



Rysunek 3. Uproszczone modele sieci drogowej:
a – model powiązań działek pasa drogowego zbudowany w oparciu o metodykę,
b – model sieci drogowej działek zbudowany w oparciu o metodykę (Lewandowicz i in., 2013)

W niniejszej publikacji zaprezentowano nową metodykę automatycznego generowania sieci drogowej, także opartą o związki topologiczne (sąsiedztwa) geometrycznych obiektów przedstawionych na cyfrowej mapie katastralnej. Pozwala ona na automatyczne generowanie geometrycznych modeli sieciowych o większej rozdzielczości. Jest rozwinięciem poprzednio prezentowanych rozwiązań (Lewandowicz i in., 2013), ale opiera się na doświadczeniach innych z generowania sieci wewnątrz budynków (*indoor navigation*).

Cel i metodyka

Celem niniejszej publikacji jest prezentacja pierwszych wyników nowo opracowywanej i testowanej metodyki generowania sieci drogowych w oparciu o dane katastralne. Metodyka oparta jest na zależnościach prezentowanych na rysunku 1. Przyjęto w obszarze działek pasa drogowego, narysować linie łamane oparte o punkty graniczne $\{P_{GRA}\}$. W automatycznym procesie rysowania tych linii łamanych, wykorzystano $\{P_{GRA}\}$ i narzędzie do generowania TIN. Ze zbioru krawędzi TIN wybrano tylko te leżące wewnątrz pasa drogowego.

Zbiór punktów $\{P_{TIN}\}$ będących środkami krawędzi TIN, powinien być podstawą do automatycznego tworzenia sieci. Automatyzacja tego procesu wymaga określenia sąsiednich punktów. W tym celu w oparciu o $\{P_{TIN}\}$ dokonano podziału (segmentację) powierzchni pasa drogowego. Narzędzie generujące diagramy Voronoi w oparciu o $\{P_{TIN}\}$ dzieli pas drogowy na poligony. Każdy poligon jest identyfikowany jednym punktem ze zbioru $\{P_{TIN}\}$. W oparciu o relacje topologiczne sąsiedztwa uzyskanych poligonów-segmentów można wygenerować sieć. Przyjęta metodyka tworzenia sieci opiera się na relacjach segmentów struktur opisanych centroidami – nazwano ją *CRSS*, a nawiązuje do metody *NRS*.

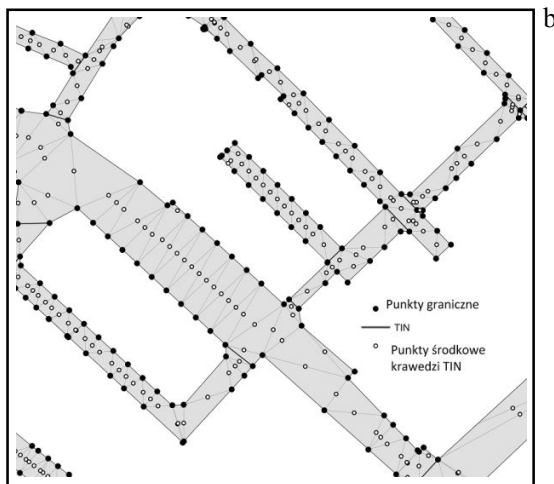
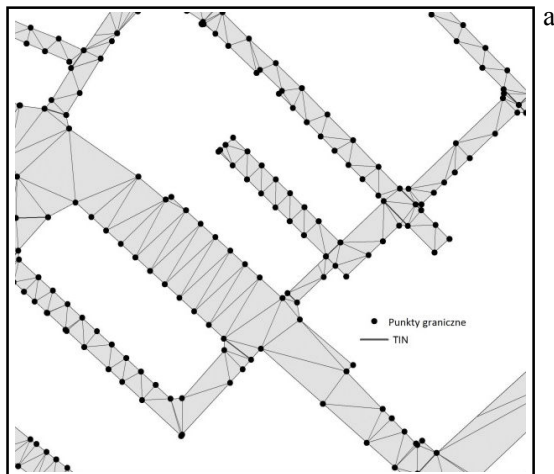
Realizacja

Realizując założony cel, przyjęto wykorzystać pokazany na rysunku 4 zbiór danych katastralnych. Działki pasa drogowego są o zróżnicowanej wielkości i różnej geometrycznej regularności. Zróżnicowana struktura katastralna pozwoli na przeprowadzenie testów weryfikujących funkcjonalności przyjętej metodyki.

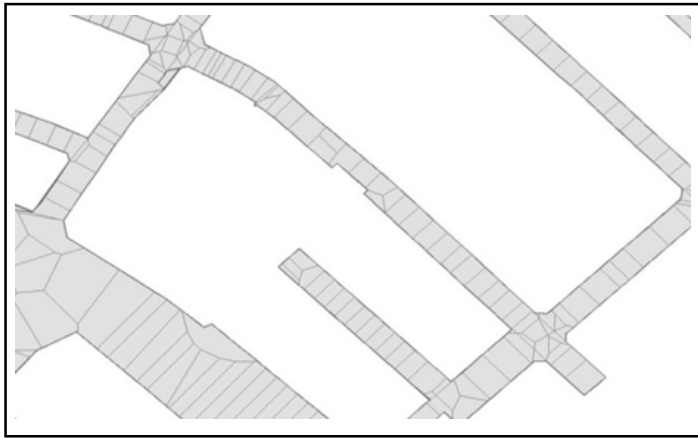
Wynik generowania sieci TIN, w przestrzeni działek pasa drogowego, pokazano na rysunku 5a. Należy zauważyć, że sieć TIN, generowana w regularnych strukturach działek ewidencyjnych, tworzy linię łamaną opartą o punkty graniczne pasa drogowego. Większość krawędzi TIN wewnątrz pasa drogowego przecina działki drogowe w poprzek. Tworzone są także krawędzie TIN, nieprzecinające działki w poprzek, są one oparte o punkty graniczne położone po jednej stronie pasa drogowego. Na rysunku 5b, do prezentacji TIN dodano punkty $\{P_{TIN}\}$ będące środkami krawędzi TIN.

Na podstawie pokazanego na rysunku 5b zbioru punktów posegmentowano przestrzeń pasa drogowego wykorzystując diagramy Voronoi (rys. 6a). Na rysunku 6a widać, że w załamaniach linii granicznej pasa drogowego i na skrzyżowaniach, segmentacja nie zachowuje regularności. Występuje ona na przykład w miejscach gdzie punkty zbioru $\{P_{TIN}\}$ są środkami krawędzi TIN, które nie przecinają drogi na wskroś przez szerokość drogi. Segmentację diagramami Voronoi powtórzono (rys. 6b), wykorzystując zbiór punktów $\{P_{TIN}^{select}\}$, czyli $\{P_{TIN}^{select}\} \subset \{P_{TIN}\}$. Usunięto ze zbioru punkty leżące blisko linii granicznej pasa drogowego.

Rysunek 4. Obiekt badań,
fragment mapy katastralnej



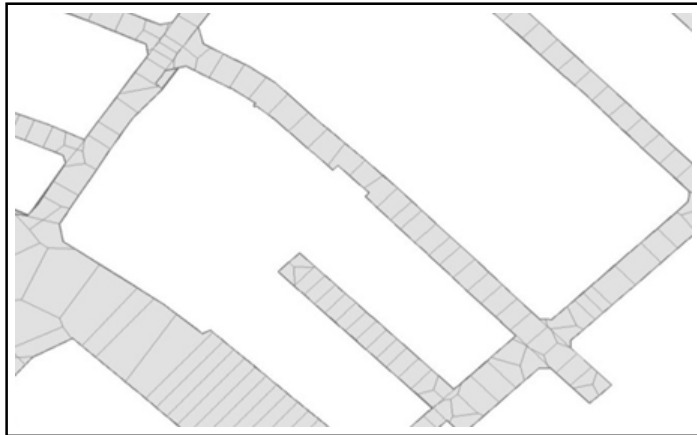
Rysunek 5. Zygzakowanie przestrzeni działek pasa drogowego siatką TIN:
a – TIN utworzone na podstawie punktów granicznych działek pasa drogowego,
b – wygenerowanie punktów środkowych wybranych krawędzi TIN do wygenerowania diagramów Voronoi



Rysunek 6. Segmentacja działek pasa drogowego w oparciu o diagramy Voronoi przycięte do powierzchni działek ewidencyjnych; do budowy diagramów Voronoi wybrano:

a – zbiór $\{P_{TIN}\}$

b – podzbiór $\{P_{TIN}^{select}\}$



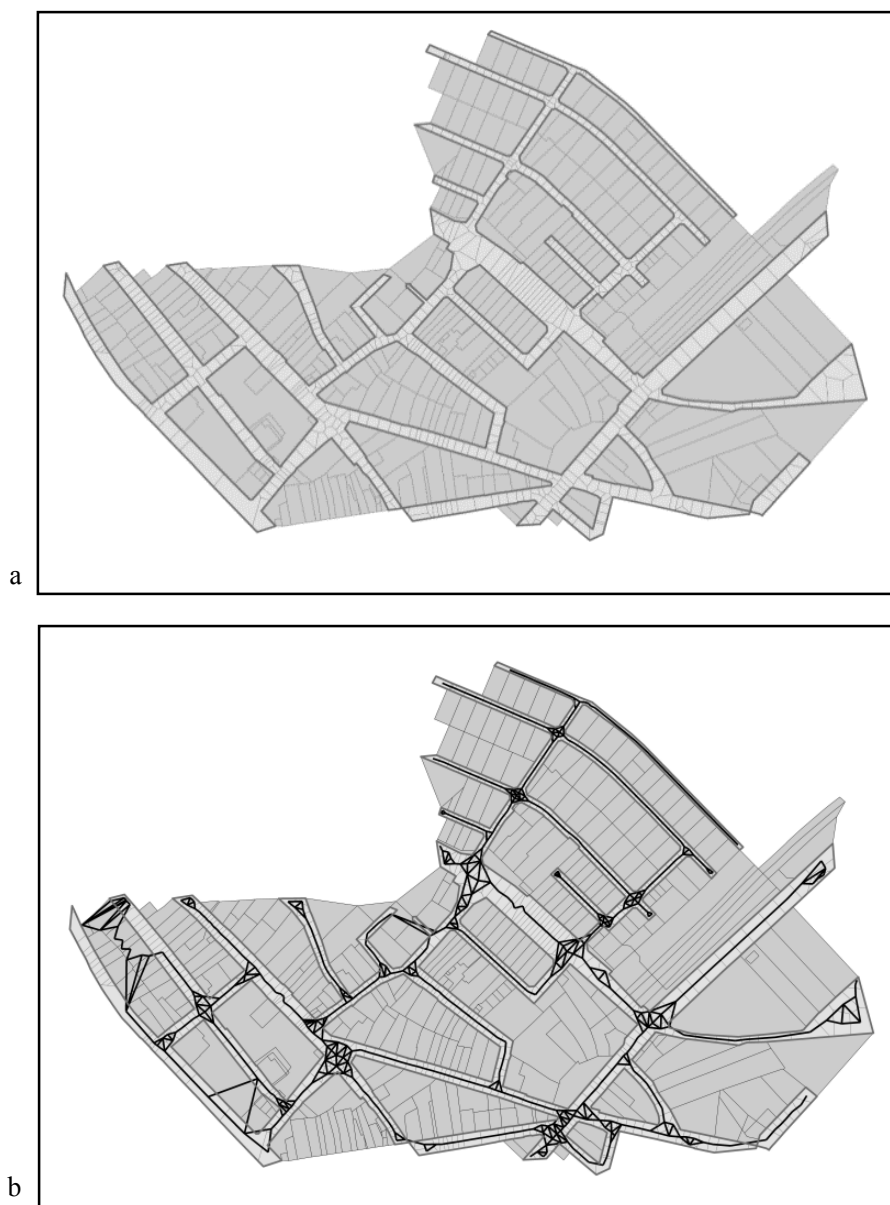
a

b

Przyjętą metodykę segmentacji przestrzeni działek pasa drogowego zapisano jako zespół operacji analitycznych w narzędziu Model Builder w oprogramowaniu ArcGIS.

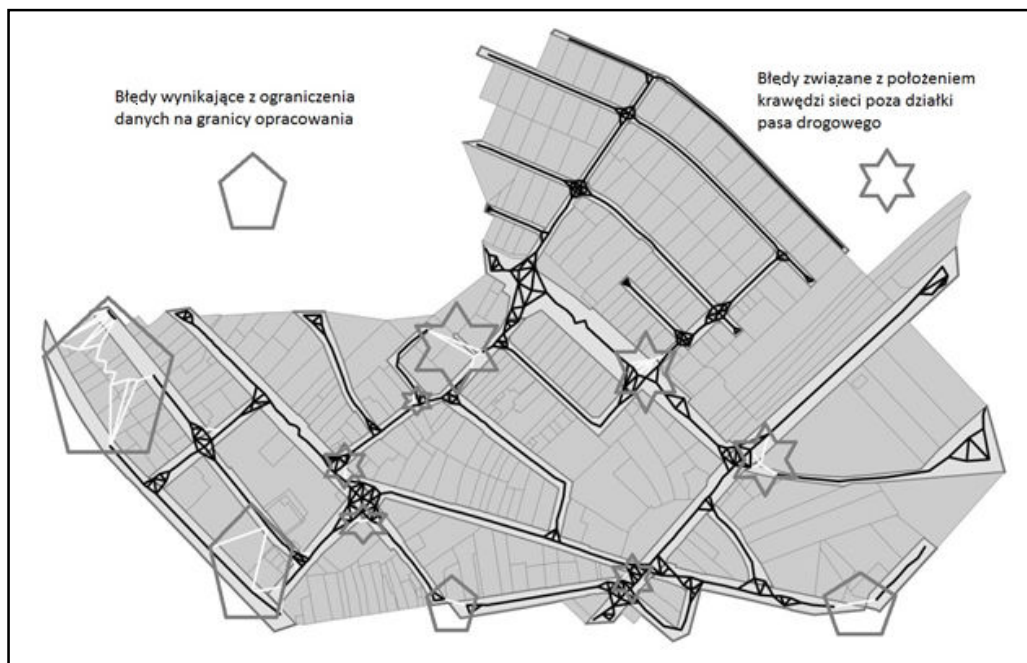
Do kolejnego etapu prezentacji badań wybrano segmentację wykonaną diagramem Voronoi, w oparciu o podzbiór $\{P_{TIN}^{select}\}$ pokazaną na rysunku 7a. Na jej podstawie i na podstawie związków topologicznych sąsiedztwa (CRSS), wygenerowano model sieci komunikacyjnej, pokazany na rysunku 7b. Do wygenerowania sieci na podstawie topologii segmentowanego pasa drogowego wykorzystano grafową bazę danych i autorską metodykę szczegółowo opisaną w publikacjach Lisowskiego i Lewandowicz (2017, 2018).

Wynik nie spełnia wszystkich oczekiwań autorów, miejscami linia się załamuje, a powinna mieć przebieg prostoliniowy. Model sieci zawiera też błędy, krawędzie sieci drogowej wychodzą poza przestrzeń pasa drogowego (rys. 8). Algorytm powinien takie krawędzie usuwać lub transformować do położenia wewnątrz pasa drogowego. Inne krawędzie zostały źle wygenerowane z powodu ograniczenia danych na granicy opracowania (rys. 8). Ten błąd należy poprawić rozszerzając zbiory danych poza granice opracowania. W obszarze skrzyżowań, elementy modelu sieci są rozbudowane, należy je uprościć (rys. 9). Pomimo tych niedociągnięć, po drobnych korektach, uzyskana sieć może spełniać swą funkcjonalność

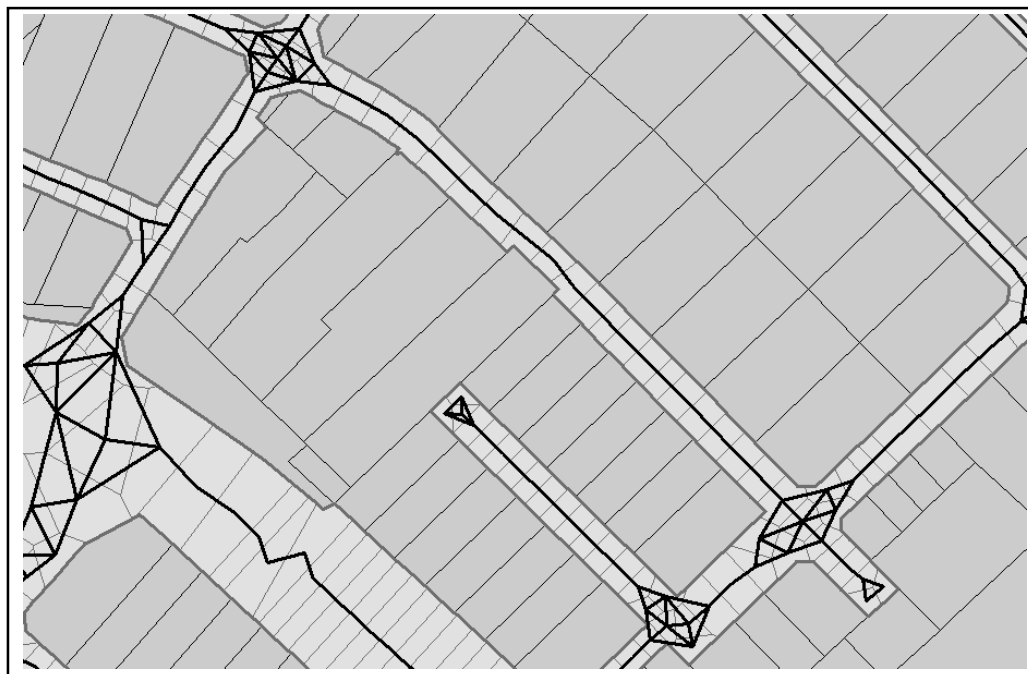


Rysunek 7. Wyniki badań: a – segmentacji działek pasa drogowego,
b – otrzymany model sieci drogowej metodą *CRSS*

w wybranych narzędziach analitycznych na przykład do: wizualizacji drogi i wyliczenia długości, do obliczania odległości na potrzeby map dostępności czasowej, itp. Utworzone modele mogłyby tylko wspierać budowę modeli nawigacyjnych, które wymagają precyzyjnych ustaleń punktów generujących komunikaty. Konieczna byłaby modyfikacja sieci w oparciu o dane bardziej szczegółowe na przykład z *BDOT_500*.



Rysunek 8. Oznaczenie miejsc, w których wystąpiły błędy w procesie automatycznego generowania modelu sieci drogowej, kolorem białym oznaczono błędne linie



Rysunek 9. Prezentacja modelu sieci z różnymi wynikami na obszarach skrzyżowań

Podsumowanie i dyskusja

Przeprowadzone badania wskazują, że dane katastralne mogą być podstawą do generowania uproszczonych modeli sieci komunikacyjnych. W wyniku generowania modeli sieci zauważono, że struktura geometryczna działek ewidencyjnych znacznie wpływa na osiągane wyniki końcowe, to jest na model sieci drogowej. Wszelkie odstępstwa od regularnych (prostoliniowych) granic, powodują generowanie dodatkowych krawędzi TIN, które utrudniają generowanie osi obiektu. Uniknięcie tych niedoskonałości wymagałoby rozbudowania proponowanych algorytmów. Przy strukturze regularnych podziałów katastralnych, z prostoliniowymi liniami granicznymi, liczba takich błędów jest mniejsza.

Istota prezentowanej metodyki, tworzenia modeli sieci drogowej, nawiązuje do rozwiązań zwanych NRS. Wcześniejsze rozwiązania opierały się segmentacji przestrzeni, poligonami TIN (Krúminaitė, 2014) lub poligonami Voronoi (Bogusławski i in., 2016). Automatycznie zbudowane modele sieci zawierały krawędzie w formie linii łamanych, które, należało prostować dodatkowymi algorytmami. Autorzy prezentowanego rozwiązania zastosowali własną rozbudowaną metodykę segmentacji, pozwalającą na generowanie prostoliniowych fragmentów modelu sieci, które nie wymagają prostowania.

Łatwo zauważyć, że prezentowana metodyka może być stosowana do generowania osi innych obiektów powierzchniowych o wydłużonych kształtach (chodników, ciągów przesyłowych, przewodów ciepłowniczych, itp.). Potrzebne są w tym celu dane geometryczne tych obiektów w formie poligonów. Dalsze prace, w zakresie modyfikacji i testowania algorytmu na różnych obiektach, będą kontynuowane.

Podziękowania. Publikacja była możliwa do wykonania dzięki platformie ArcGIS Esri pozyskanej w ramach projektu pt. „Wyposażenie w sprzęt aparaturowy laboratorium nauk technicznych na rzecz zwiększenia oferty badawczej UWM w Olsztynie”, realizowanego w ramach Programu Operacyjnego Rozwój Polski Wschodniej na lata 2007-2013, zgodnie z zapisami umowy numer POPW.01.03.00-28-21/09-00. Wszystkim osobom zaangażowanym w tych przedsięwzięciach, składamy szczególne podziękowania.

Recenzentom dziękujemy za wnikliwe analizowanie wyników, cenne uwagi, które podniosły poziom merytoryczny przedstawionej publikacji oraz wskazały dalsze kierunki badań.

Finansowanie. Prowadzone badania i niniejsza publikacja została sfinansowana z tematu statutowego „Geoinformacja w aspekcie teoretycznym, analitycznym i wdrożeniowym” o numerze 28.610.033-300, ze środków MNiSW.

Literatura (References)

- Bogusławski Paweł, Mahdjoubi Lamine, Zverovich Vadim, Fadli Fodul, 2016: Automated construction of variable density navigable networks in a 3D indoor environment for emergency response. *Automation in Construction* 72:115-128.
- Costa Constantinos, Chatzimilioudis Georgios, Zeinalipour-Yazti Demetrios, Mokbel Mohamed F., 2017: Towards Real-Time Road Traffic Analytics using Telco Big Data. Proceedings of the International Workshop on Real-Time Business Intelligence and Analytics, Article No. 5, August 28, 2017. Munich, Germany.
- Deo Narsingh, 1974: Graph Theory with Applications to Engineering and Computer Science. Dover Publications, INC, Mineola, New York: 496 p.

- Eder Günther, Held Martin, Palfrader Peter, 2018: Parallelized ear clipping for the triangulation and constrained Delaunay triangulation of polygons. *Computational Geometry* 73: 15-23.
<https://doi.org/10.1016/j.comgeo.2018.01.004>
- Hycner Ryszard: 2004: Podstawy katastru (Foundations of the cadastre). Kraków, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH.
- Kowalski Michał, Wiśniewski Szymon, 2017: Centrum handlowe jako czynnik ruchotwórczy w transporcie samochodowym – przykład Portu Łódź (A shopping centre as a traffic-generating factor in car transport as exemplified by Port Łódź, Poland). *Przegląd Geograficzny* 89 (4): 617-639.
- Kulikowski J.L., 1986: Zarys teorii grafów (Outline of the graph theory). Warszawa, Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- Krűminaitė Marija, Zlatanova Sisi, 2014: Indoor Space Subdivision for Indoor Navigation. Proceedings of the Sixth ACM SIGSPATIAL International Workshop on Indoor Spatial Awareness: 25-31. Dallas/Fort Worth, Texas November 04, 2014, ACM, New York, NY, USA.
- Krűminaitė Marija, 2014: Space Subdivision for Indoor Navigation. Master Thesis, TU Delft, the Netherlands. <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:c2a9a308-5cdc-4df2-bf30-9eea5ea176c5>
- Lee Jiyeong, 2004: A spatial access-oriented implementation of a 3-D GIS topological data model for urban entities. *GeoInformatica* 8 (3): 237-264.
- Lewandowicz Elżbieta, Packa Alicja, Kondratowicz Szymon, 2013: Przekształcanie danych topologicznych, geometrycznych i atrybutowych GIS do modeli analitycznych (Conversion topological geometric and attribute GIS data to analytical models). *Acta Universitatis Lodzianensis, Folia Geographica Socio-Oeconomica* 14: 33-44, Łódź.
- Lewandowicz Elżbieta, 2013: Modele struktur katastralnych (Cadastral structure models). *Roczniki Geomatyki* 11 (2): 47-58, Warszawa, PTIP.
- Lewandowicz Elżbieta, 2010: Algebraiczne przekształcenia danych topologicznych mapy ewidencyjnej (Algebraic transformations of cadastral map topology data). *Roczniki Geomatyki* 8 (5): 79-86, Warszawa, PTIP.
- Lisowski Przemysław, Lewandowicz Elżbieta, 2017: Topological Model of Selected Cadastral Structures Visualized in Form of Graphs. *Geomatics and Environmental Engineering* 11 (4): 51-63.
- Lisowski Przemysław, Lewandowicz Elżbieta, 2018: Metodyka zapisu topologicznego modelu struktur katastralnych w grafowych bazach danych (Methodology of storing topological models of cadastral structures in graph databases). *Roczniki Geomatyki* 16 (1): 45-54, Warszawa, PTIP.
- Tang S.J., Zhu Q., Wang W.W., Zhang Y.T., 2015: Automatic topology derivation from IFC building model for in-door intelligent navigation. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XL-4/W5: 7-11.
- Yang Liping, Worboys Michael F., 2015: Generation of navigation graphs for indoor space. *International Journal of Geographical Information Science* 29 (10): 1737-1756.
- Wallgrűn Jan Oliver, 2005: Autonomous construction of hierarchical Voronoi-based route graph representations. [In:] Freksa C., Knauff M., Krieg-Brűckner B., Nebel B., Barkowsky T. (eds.), *International Conference on Spatial Cognition IV. Reasoning, Action, Interaction*: 413–433. Lecture Notes in Computer Science, Springer Berlin Heidelberg.
- Xu Man, Wel Shuangfeng, Zlatanova Sisi, 2017: BIM-based indoor path planning considering obstacles. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* vol. IV-2/W4. *ISPRS Geospatial Week 2017*, 18-22 September 2017, Wuhan, China.
- Zverovich Vadim, Mahdjoubi L., Bogusławski P., Fadli F., 2017: Analytic Prioritization of Indoor Routes for Search and Rescue Operations in Hazardous Environments. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* 31(8): 617-632.

Streszczenie

Dane katastralne są podstawą analiz przestrzennych w wielu dziedzinach badań. Przekształcając je do nowych form, można uzyskać nowe modele danych katastralnych. Celem podjętych badań było przekształcenie zbioru danych przestrzennych – działek ewidencyjnych, do modeli sieci drogowych. W pierwszym etapie badań wykonano różne segmentacje działek pasa drogowego, zwiększając rozdzielczość danych. W drugim etapie, zaprezentowano wygenerowany model sieci drogowej. Zbudowano go w oparciu o związki topologiczno-semantyczne. Wyniki wskazują, że można automatycznie uzyskać modele sieci drogowej z danych katastralnych, które nadają się do analiz sieciowych. Jakość modeli zależy od regularności struktur katastralnych. Prezentowaną metodykę można wykorzystać do uzupełniania sieci ciągów komunikacyjnych w terenach niedostępnych, a zinwentaryzowanych w katastrze. Powinna być ona także stosowana do generowania osi innych obiektów powierzchniowych o wydłużonych kształtach, na przykład ciągów pieszych, zapisanych za pomocą poligonów.

Abstract

Cadastral data is the basic data for spatial analyses in many areas of research. Converting this data to new forms, one can obtain new models of cadastral data. The aim of this publication is to transform the set of cadastral parcel data into road network models. During the first stage of research works different segmentations of road parcels were performed and data resolution was improved. At the second stage the generated model of the road network was presented. It was based on topological-and-semantic relations. The results indicate that road network models can be automatically obtained from cadastral data and may be used for network analyses. The quality of models depends on regularity of cadastral structures. The presented methodology can be used to supplement the network of road routes in inaccessible areas, and inventoried in the cadastre. It should also be used to generate axes of other elongated, surface features, such as walking routes saved as polygons.

Dane autorów / Authors details:

dr hab. inż. Elżbieta Lewandowicz, prof. UWM
<https://orcid.org/0000-0001-8847-2835>
leela@uwm.edu.pl

mgr inż. Przemysław Lisowski
<https://orcid.org/0000-0002-6111-5763>
plis@agh.edu.pl

Przesłano / Received 7.05.2018
Zaakceptowano / Accepted 10.08.2018
Opublikowano / Published 15.11.2018

