

Dr hab. inż. Katarzyna Sobolewska – Mikulska prof. PW
Politechnika Warszawska
Wydział Geodezji i Kartografii
Zakład Katastru i Gospodarki Nieruchomościami
Pl. Politechniki 1. 00-661 Warszawa

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Marty Figurskiej pt.:

„Zastosowanie metod teselacji w analizach geoprzestrzennych rynku nieruchomości”

Promotor – dr hab. inż. Mirosław Belej,
Promotor pomocniczy – dr inż. Elżbieta Zysk

Podstawę sporządzenia recenzji stanowi uchwała Rady Wydziału nr 489 podjęta 14 maja 2019 r. na posiedzeniu RW Wydziału Geodezji, Inżynierii Przestrzennej i Budownictwa Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie.

1. Wybór tematu, cel pracy i uwagi ogólne

Problematyka badania przestrzeni, w aspekcie elementów wpływających na rozwój społeczno-gospodarczy oraz optymalne zagospodarowanie wpisują się w gospodarkę przestrzenną. Jednym elementów gospodarki przestrzennej jest gospodarka nieruchomościami, w której ważną rolę odgrywają uwarunkowania dla funkcjonowania rynku nieruchomości. W chwili obecnej, kiedy działania realizowane są w oparciu o ogólne idee społeczeństwa informacyjnego bardzo ważny jest dostęp do aktualnych danych i informacji o przestrzeni. Dla rynku nieruchomości w aspekcie informacji o przestrzeni zależnych od podejmowanych decyzji inwestycyjnych są ceny transakcyjne dla nieruchomości. Immanentną cechą rynku nieruchomości jest duże rozproszenie i dyskretny charakter danych oraz ich nieregularna zmienność czasowa. Dlatego też istotne wydaje się wyszukiwanie wśród tych struktur odpowiednich wzorców umożliwiających określenie obszarów homogenicznych w ramach danej zbiorowości. Takie działania stanowią pomoc w podejmowaniu decyzji w ramach gospodarki nieruchomościami. Uzyskanie przestrzennej ciągłości z rozproszonego zbioru punktów jest możliwe wykorzystując procesy interpolacji, która jednak charakteryzuje się tendencją do nadmiernego upraszczania otrzymanych wyników zwanych „kominami lub depresjami” cenowymi, co z kolei prowadzi do wyciągania wniosków nie reprezentujących specyfiki rynku nieruchomości. I dlatego potrzeba

znalezienia właściwej do tego zadania metody była bezpośrednią motywacją dla mgr inż. Marty Figurskiej do podjęcia

tematu rozprawy doktorskiej. W rozprawie badane są

Uniwerytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
Wydział Geodezji, Inżynierii Przestrzennej i Budownictwa

Wpłynęło
dnia 2019-08-12

L.dz. WG-IPB-DZ.6350.2.2018

podpis osoby
przyjmującej Gmyb G.

możliwości zastosowania różnych metod teselacji w analizach przestrzennych na rynku nieruchomości. Jako obszar badań został wybrany powiat olsztyński i miasto Olsztyn. Dla wskazanych obszarów badawczych opisano szeroki zakres zagadnień powiązanych z podziałem przestrzeni, a efekty badań przedstawiono z wykorzystaniem narzędzi GIS (QGIS, ArcGIS Pro), arkuszy kalkulacyjnych oraz środowiska Matlab.

Dla Autorki celem rozprawy, jest cyt. *„zbadanie użyteczności wybranych metod teselacji do analiz geoprzestrzennych na rynku nieruchomości na potrzeby gospodarki nieruchomościami”* osiągniętego z pomocą realizacji następujących zadań szczegółowych:

1. Zgromadzenie danych oraz utworzenie na ich podstawie baz danych do dalszych analiz;
2. Wizualizacja aktywności rynku nieruchomości za pomocą diagramów Woronoja oraz wskazanie pól cenności na rynku nieruchomości z wykorzystaniem metody kartogramu;
3. Wizualizacja nieciągłości przestrzennej rozkładu cen nieruchomości przy zastosowaniu modelowania 3D;
4. Wykonanie modelowania przestrzennej dynamiki cen na badanym rynku;
5. Wizualizacja przestrzennego zróżnicowania cech rynkowych nieruchomości oraz identyfikacja obszarów o skupiskach nieruchomości podobnych;
6. Przeprowadzenie analizy dostępności przestrzennej wybranych obiektów publicznych z wykorzystaniem diagramów Woronoja;
7. Opracowanie procedury podejmowania decyzji inwestycyjnych na rynku nieruchomości;
8. Porównanie wyników za pomocą metod interpolacji i teselacji dla danego zbioru.

Natomiast za hipotezę badawczą przyjęto założenie, że cyt. *„Diagramy Woronoja poprzez zastosowanie nieregularnego podziału obszarów na lokalnych rynkach nieruchomości umożliwiają wizualizację przestrzennego aspektu zjawisk występujących na rynku nieruchomości w sposób zbliżony do ich faktycznej heterogenicznej natury, zwłaszcza w przypadku rozproszonych danych lub niewielkiej ich ilości.”*

Jako tezy Doktorantka przyjęła twierdzenia, że:

1. Aktywność na rynku nieruchomości nie jest skorelowana z granicami ewidencyjnymi w podziale makro (powiaty), mezo (obrębny) i mikro (działki), a stosowane z reguły uśrednienia wartości obserwacji w ich granicach jest zbytnim uproszczeniem zniekształcającym obraz rzeczywistości.
2. Teselacja w połączeniu z metodą kartogramu umożliwia przejrzystą wizualizację aktywności rynku nieruchomości oraz obserwowanie i przewidywanie występujących

na nim tendencji, zwłaszcza w granicach między poszczególnymi jednostkami ewidencyjnymi.

Zdaniem recenzenta tak sformułowany cel i teza są poprawne, a cele szczegółowe służące osiągnięciu celu głównego zdefiniowane poprawnie. Do osiągnięcia zamierzonego celu, wykorzystano nowoczesne techniki i metody numeryczne umożliwiające pozyskiwanie aktualnych danych oraz wykonanie wielowariantowych analiz wraz z ich prezentacją graficzną, co zostało bardzo przejrzysto zaprezentowane w schemacie organizacji pracy badawczej na rysunku 1.

2. Ocena układu i strony edytorskiej pracy

Rozprawa doktorska została podzielona na 6 merytorycznych rozdziałów stanowiących 179 stron z 203 stron pełnego opracowania wraz z załącznikami, spisem literatury, rysunków i tabel oraz streszczenia. W rozprawie zostało zamieszczonych 139 rycin i 13 tabel. Wszystkie wykorzystane i zamieszczone we fragmentach materiały źródłowe, zostały przez Autorkę właściwie zweryfikowane do rozwiązywanego problemu.

Podział rozprawy doktorskiej na rozdziały nie budzi zastrzeżenia recenzenta, jest on czytelny poprzez rozdzielenie części poznawczej - badań literaturowych (teoretycznych) i doświadczalnej, gdzie nastąpiła weryfikacja analiz na obiekcie doświadczalnym.

Budowa pracy doktorskiej jest przejrzysta i obejmuje część poznawczą, analityczno-badawczą i podsumowująco-kończącą.

Oceniając układ rozprawy recenzent uważa go za poprawny.

Edycja graficzna rozprawy doktorskiej jest na bardzo dobrym poziomie, a tak liczne opracowania graficzne zamieszczone w rozprawie są czytelne.

3. Ocena doboru literatury

Wykaz bibliografii wskazuje na korzystanie z bardzo obszernej literatury przedmiotu. W spisie pozycji literaturowych znajduje się aż 316 pozycji, które zostały właściwie zweryfikowane do prezentowanych zagadnień. Pozycje literaturowych anglojęzycznych jest aż 134. W wykazie publikacji znajduje się 1 współautorska praca Doktorantki. Wykorzystywana przez Doktorantkę bibliografia jest związana z tematem rozprawy, a jej przegląd jest właściwy i poprawnie zweryfikowany do tematu rozprawy.

4. Ocena metodyczna i merytoryczna rozprawy

Wstęp do rozprawy (rozdział 1) stanowi wprowadzenie, w którym wyjaśniono podstawowe pojęcia związane z pracą. W rozdziale 2 zaprezentowano cele badawcze pracy tezy i hipotezy oraz metody badawcze, co recenzent przedstawił powyżej. Zdaniem recenzenta rozdziały te zostały poprawnie opracowane i stanowi właściwe wprowadzenie do dysertacji.

Omówione w rozdziale 3 możliwości wykorzystania analiz geoprzestrzennych z zastosowaniem narzędzi GIS zostały omówione z punktu postrzegania przestrzeni z podziałem na przestrzeń geodezyjną, geograficzną (w tym przyrodniczą, ekonomiczną społeczną i kulturową) oraz powiązań z gospodarką przestrzenną. Wskazano na bardzo istotną rolę gospodarki nieruchomościami jako przestrzennego, prawnego, finansowego i technicznego wymiaru gospodarki przestrzennej. Ze względu na interdyscyplinarny charakter wiedzy o nieruchomościach zaczęto również wyróżniać ekonomikę nieruchomości, ekonometrię przestrzenną, ekonomię przestrzenną i nową ekonomię geograficzną. Jak widać szerokie spektrum możliwości postrzegania nieruchomości w ramach gospodarki nieruchomościami wymaga wsparcia narzędzi informatycznych dostępnych w ramach systemów informacji geograficznej.

W podrozdziale 3.2 pt. „Systemy informacji geograficznej i analizy przestrzeni” Doktorantka przedstawiła cel tworzenia narzędzi GIS i możliwości modelowania rzeczywistości rozumianego jako próba matematycznego zapisu procesów zachodzących w przestrzeni. Omówiono: modele jawne procesowo, modele neutralne i geostatyczne oraz powiązanie je z analizami geoprzestrzennymi.

Analizy pojęciowe przeprowadzone w tym podrozdziale pozwoliły na zdefiniowanie w drodze analiz literaturowych zastosowania analiz geoprzestrzennych na rynku nieruchomości. Pierwszym etapem analizy rynku nieruchomości jest zgromadzenie odpowiedniej bazy danych z różnych źródeł takich jak np.: statystyka publiczna, akty notarialne, rejestry cen umowy sprzedaży i najmu, portale społecznościowe, księgi wieczyste, kataster i inne. Niestety specyfika rynku nieruchomości sprawia, że dane są zróżnicowane, nie tylko w zakresie cech nieruchomości, czasu zawarcie transakcji, lokalizacji i innych, ale sprawia, że dane te słabo odzwierciedlają sygnały z rynku. Rozważania te skłoniły Doktorantkę do analizy wykorzystania do uzyskania przestrzennej ciągłości danych grupy metod interpolacji. Doktorantka szczegółowo scharakteryzowała:

- ✓ Metodę odwrotnych odległości IDW,
- ✓ Metodę interpolacji wielomianowej,
- ✓ Metodę najbliższego sąsiada / metoda maksymalnej bliskości,
- ✓ Metodę quasi-naturalną,
- ✓ Kriging.

Wnioski płynące z badań literaturowych wyżej wskazanych metod skłoniły Doktorantkę do poszukiwania innych metod. W rozdziale 4 rozprawy pt. „Wprowadzenie do stosowanych metod badawczych” podjęto badania nad istotą teselacji w ujęciu historycznym i obecnie obowiązujących norm. Proces modelowania zjawisk za pomocą teselacji składa się z 3 etapów:

1. Generowania wzorców, bazując na przestrzennym rozmieszczeniu punktów oraz podziale przestrzeni,
2. Przetwarzaniu wyników teselacji w celu uzyskania bardziej dopasowanego do rzeczywistości obrazu badanego zjawiska,
3. Obliczenie statystyk otrzymanych efektów pracy.

Za bardzo interesujące recenzent uważa zestawienie 6-cio stronicowej tabeli (nr 2) zastosowania teselacji w różnych obszarach wiedzy, zarówno w naukach przyrodniczych, technicznych, o ziemi, sztuce i innych .

W podrozdziale 4.3 na podstawie badań literatury międzynarodowej Doktorantka wskazała na podział teselacji z podziałem na kształty regularne i nieregularne. Scharakteryzowała metody bazujące na kształtach regularnych i nieregularnych i omówiła je jako:

- ✓ Teselację prostokątną,
- ✓ Triangulację (kompleks sympleksyjny) Delaunaya,
- ✓ Diagramy Woronoja.

Doktorantka zestawiła w tabeli (3) alternatywne nazwy diagramów Woronoja wykorzystywane w różnych dziedzinach wiedzy i wskazała ich przykłady.

Wnioski z badań literaturowych wskazują, że największą zaletą metody diagramów Woronoja jest ich elastyczność i możliwość dopasowania do dowolnego kształtu analizowanej przestrzeni w przeciwieństwie do metod bazujących na kształtach regularnych. Modele oparte na diagramach Woronoja, jako bardziej dopasowujące się do złożonej rzeczywistości dają możliwość definiowania zależności występujących między analizowanymi elementami, co w kontekście przeprowadzania geosymulacji umożliwia podejmowania decyzji dotyczących wyboru najlepszego rozwiązania spośród różnych scenariuszy. Teselacja metodą diagramów Woronoja jest metodą stosunkowo obiektywną, ponieważ nie wyszukuje konkretnej geometrii źródłowej, nie wymaga *a priori* promienia wyszukiwania tworząc w zamian gotowe obszary wpływu w obrębie badanych punktów. W dysertacji Doktorantka skupiła się na klasycznej metodzie diagramów Woronoja w odniesieniu do punktów zwanej zwyczajnym diagramem Woronoja.

Zasadność stosowania różnych metod teselacji do analiz geoprzestrzennych Doktorantka zweryfikowała na podstawie danych dotyczących dwóch rynków nieruchomości tj. nieruchomości gruntowych niezabudowanych o funkcji rolnej na terenie powiatu olsztyńskiego i nieruchomości lokalowych o funkcji mieszkalnej na terenie miasta Olsztyna. Prace zostały zrealizowane według następującego algorytmu:

- ✓ Opis danych,
- ✓ Wykonanie podstawowej analizy statystycznej danych,
- ✓ Wykonanie teselacji za pomocą kwadratów, podziału ewidencyjnego i diagramów Woronoja,

- ✓ Porównanie uzyskanych wyników z efektami przeprowadzenia powszechnie stosowanych w analizach nieruchomości interpolacji metodą IDW oraz krigingu, a także metody naturalnego sąsiada będącą pochodną diagramów Woronoja.

Badania zrealizowano z wykorzystaniem programów QGIS, Arc GIS Pro, Matlab, Microsoft Excel.

Część II rozprawy – część badawcza została podzielona na 2 części - badania dla powiatu olsztyńskiego i miasta Olsztyn przeprowadzone według takich samych procedur, do których należą:

- Opis danych,
- Teselacja za pomocą podziału ewidencyjnego,
- Teselacja za pomocą diagramów Woromoja, a w tym:
 - ✓ Wizualizacja aktywności rynku,
 - ✓ Generowanie pól cenności rynku,
 - ✓ Wizualizacja nieciągłości przestrzennej rozkładu cen nieruchomości przy zastosowaniu modelowania 3D,
 - ✓ Modelowanie przestrzennej dynamiki cen na rynku nieruchomości

A dla rynku miasta Olsztyn dodatkowo opracowano:

- ✓ Wizualizację przestrzennego zróżnicowania cech rynkowych nieruchomości,
- ✓ Wyszukiwanie lokalnych skupisk nieruchomości podobnych,
- ✓ Analizę dostępności przestrzennej wybranych obiektów publicznych,
- ✓ Opracowanie procedury podejmowania decyzji inwestycyjnych.

Uzyskane wyniki dla metod teselacji i interpolacji porównano dla obu rynków.

Dla obszaru powiatu olsztyńskiego baza danych obejmowała 30 037 transakcji dotyczących prawa własności nieruchomości gruntowych niezabudowanych o funkcji rolnej zawartych w latach 2007-2016 oraz w pierwszym półroczu 2017r. W efekcie selekcji danych do dalszych analiz zakwalifikowano 18 838 transakcji, dla których przedstawiono podstawowe statystyki opisowe dla uzyskanej bazy danych. Opracowane wyniki teselacji zostały zobrazowane na rysunkach (od 36 – 65) w sposób przejrzysty i czytelny.

Porównanie wyników wybranych metod teselacji i interpolacji przeprowadzono dla wybranego zbioru punktów i wykonano mapy przedstawiające przestrzenne rozmieszczenie transakcji, przeprowadzenie interpolacji i teselacji, obliczono średnie RMS i odchylenia standardowe oraz różnice względne i bezwzględne pomiędzy ceną transakcyjną i wyinterpolowaną oraz wykonano mapę przedstawiającą wielkość uzyskanych różnic względnych dla poszczególnych transakcji. Rezultaty porównań zostały także przedstawione graficznie (rysunki od 67 – 68).

Dla miasta Olsztyn przedmiotem badań był rynek nieruchomości lokalowych o funkcji mieszkalnej stanowiący 7 303 transakcje. Bazy danych utworzone dla wybranego rynku na podstawie Rejestru Cen i Wartości pozwoliły na przyjęcie do dalszych analiz następujących cech:

- Powierzchnia sprzedawanych lokali mieszkalnych,
- Położenie na piętrze.

Przebieg przygotowania danych dla miasta Olsztyn był następujący:

- ✓ Zgromadzenie danych, usunięcie rekordów niepełnych, ujednoczenie bazy i sporządzenie histogramu cen jednostkowych,
- ✓ Import bazy do programu, geokodowanie,
- ✓ Sporządzenie mapy przedstawiającej rozmieszczenie i liczbę transakcji w poszczególnych obrębach,
- ✓ Porównanie rozmieszczenia transakcji z rozmieszczeniem terenów zalesionych oraz wód i terenów przemysłowych,
- ✓ Opis wybranych cech rynkowych (powierzchnia i położenie na piętrze).

Uzyskane wyniki podobnie jak dla powiatu olsztyńskiego zostały przedstawione w tabelach i na rysunkach (83 – 137), co zdecydowanie ułatwia interpretację wyników. Na szczególną uwagę, zdaniem recenzenta zasługują zobrazowania dostępności przestrzennej wybranych obiektów użyteczności publicznej oraz te obrazujące procedury podejmowania decyzji inwestycyjnych różnego typu.

Rozprawę doktorską kończy rozdział, w którym przedstawiono zsyntetyzowane wnioski badań i analiz dla obiektów badawczych weryfikując użyteczność teselacji za pomocą kwadratów, podziału ewidencyjnego oraz diagramów Woronoja w przeprowadzaniu różnego rodzaju analiz geoprzestrzennych na rynku nieruchomości na potrzeby gospodarki nieruchomościami. Tym samym cel główny rozprawy został osiągnięty.

Dzięki implementacji diagramów Woronoja wyniki analiz geoprzestrzennych mogą stanowić dodatek aplikacyjny do miejskich lub powiatowych systemów informacji przestrzennej, narzędzi wykorzystywanych przez rzeczoznawców majątkowych lub pośredników w obrocie nieruchomościami, czy systemów wspomagających prace banków w procesie weryfikacji uzyskania kredytów hipotecznych. Mogą stanowić także narzędzie wspomagające podejmowanie decyzji inwestycyjnych w zakresie gospodarki nieruchomościami. Zaprezentowane w rozprawie możliwości wykorzystania oprogramowań GIS w zakresie analitycznym skraca czas pracy i przyspiesza podjęcie decyzji.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska stanowi dobry przykład możliwości wykorzystania współczesnych narzędzi informatycznych w procesach analitycznych i decyzyjnych z właściwym ograniczeniem atrybutów analizowanych obiektów wspomagając

podejmowanie decyzji w procedurach związanych z gospodarką nieruchomościami. Do niewątpliwych elementów nowości rozprawy należy zaliczyć m.in.: implementację diagramów Woronoja do wykorzystania statystycznych analiz geoprzestrzennych na rynku nieruchomości jako metody postrzegania i dzielenia przestrzeni w ujęciu nieregularnym w opozycji do stosowanych dotychczas metod interpolacji lub teselacji.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska stanowi bardzo dobry przykład pracy, która gdyby została opublikowana, do czego recenzent gorąco Doktorantkę zachęca, stanowiłaby cenne źródło informacji literaturowych, szczególnie w zakresie badania literatury zagranicznej zastosowania analiz przestrzennych na rynku nieruchomości i ich aplikacji na polski rynek nieruchomości.

Podsumowanie

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa doktorska pt. „Zastosowanie metod teselacji w analizach geoprzestrzennych rynku nieruchomości” stanowi nowe ujęcie możliwe do aplikacji z wykorzystaniem systemów informatycznych. Rozprawa doktorska stanowi dowód, że mgr inż. Marta Figurska potrafi stawiać problemy badawcze, bardzo wnikliwie je analizować i rozwiązywać.

Reasumując stwierdzam, że recenzowana przeze mnie rozprawa spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim określonym w ustawie z 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2017 r. poz. 1789) dlatego wnoszę do Rady Wydziału Geodezji Inżynierii Przestrzennej i Budownictwa Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie o jej przyjęcie i dopuszczenie do dalszego procedowania.



Katarzyna Sobolewska – Mikulska

Warszawa, dnia 23 czerwca 2019 r.