

## ZASTOSOWANIE MAP OSM W BUDOWIE MODELU SIECI AGLOMERACJI POZNAŃSKIEJ DLA SYMULACJI W MATSIM<sup>1</sup>

**Bartłomiej Piątkowski**

mgr inż., Politechnika Poznańska, Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, e-mail: bartlomiej.piatkowski@doctorate.put.poznan.pl

**Michał Maciejewski**

dr inż., Politechnika Poznańska, Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, e-mail: Poznań michal.maciejewski@put.poznan.pl

*Streszczenie. W artykule przedstawiono procedurę tworzenia modelu sieci drogowej z wykorzystaniem danych GIS OpenStreetMap, a także wstępne wyniki symulacji ruchu dla aglomeracji poznańskiej w systemie MATSim. W tym celu zaprezentowano proces budowy modelu dla aglomeracji poznańskiej i jego wykorzystanie do symulacji wieloagentowej w środowisku MATSim. Następnie dokonano oceny wpływu poziomu szczegółowości modelu sieci na wyniki symulacji. W tym celu stworzono cztery modele sieci drogowej aglomeracji poznańskiej. W kolejnym kroku, na podstawie macierzy OD z modelu aglomeracji otrzymanego z Urzędu Miasta Poznania, stworzono syntetyczną populację agentów reprezentujących stronę popytową. Po przeprowadzeniu symulacji dokonano porównania wyników na podstawie takich wskaźników jak średni czas przejazdu, średnia prędkość itp. Prezentowane prace stanowią pierwszy etap przygotowywania nowego modelu ruchu dla aglomeracji poznańskiej. Planowane jest przeprowadzenie wieloagentowej symulacji w systemie MATSim dla pełnej doby i w oparciu o całodniowe łańcuchy aktywności.*

*Słowa kluczowe: symulacja wieloagentowa, kolejkowe modele przepływu ruchu, MATSim, OpenStreetMap*

### 1. Wprowadzenie

Budowa modelu sieci drogowej jest jednym z etapów tworzenia modeli ruchu. Zazwyczaj sieć reprezentowana jest przez graf skierowany składający się z węzłów reprezentujących skrzyżowania i łączących je odcinków, które odzwierciedlają drogi. Każdy odcinek posiada odpowiednie atrybuty takie jak: liczba pasów, przepustowość, dozwolona prędkość, długość [1,2,3]. Z kolei węzły mogą dodatkowo zawierać opis dopuszczalnych manewrów czy informacje o sygnalizacji świetlnej bądź podporządkowaniu dróg.

Model sieci drogowej powinien być zaprojektowany w ten sposób, aby odzwierciedlał istniejącą sieć drogową zgodnie ze stanem rzeczywistym, z zachowaniem topologii oraz wszystkich informacji niezbędnych do przeprowadzenia badań i symulacji oraz optymalnie spełniać stawiane dodatkowo wymagania [2]. Dlatego

<sup>1</sup> Wkład procentowy poszczególnych autorów: Piątkowski B. 50%, Maciejewski M. 50%

bardzo ważnym aspektem podczas budowy modelu jest wybór odpowiedniego poziomu szczegółowości odwzorowania. W tym miejscu pojawia się jednak dylemat ekonomia a realizm, przed którym staje osoba tworząca model [1]. Z jednej strony bardzo wysoki poziom szczegółowości gwarantuje dużą dokładność modelu, jednak wiąże się z bardzo długim czasem tworzenia samego modelu, a także utrudnia jego późniejszą aktualizację [2]. Z drugiej jednak strony, zbyt uproszczony model może prowadzić m.in. do błędnych wyników symulacji ruchu. Mało dokładny model sieci drogowej, składający się tylko z dróg głównych, może być powodem znacznego przeszacowania natężeń na poszczególnych odcinkach. Co więcej, może nie wykazać pewnych zdarzeń np. zwiększonego ruchu na drogach niższego rzędu (ponieważ nie zostaną one w ogóle uwzględnione w modelu) spowodowanego zamknięciem okolicznej głównej drogi. W modelu ruch zostanie rozłożony po głównych drogach, a w rzeczywistości kierowcy będą używać odcinków o niższej randze.

Jansen and Bovy [4] sprawdzili w jaki sposób odwzorowanie i poziom szczegółów sieci wpływa na wyniki rozkładu ruchu. Po przeprowadzeniu badań postawili tezę, że modelowana sieć drogowa powinna zawierać o jeden poziom niższy w hierarchii typów dróg od tego, który jest badany, np. badając drogi szybkiego ruchu w modelu powinny znaleźć się także drogi krajowe czy też wojewódzkie [1].

Niestety, nie istnieje jedna reguła, według której tworzy się modele sieci drogowych. Osoba budująca model musi w sposób ekspercki określić, które odcinki muszą zostać uwzględnione, a które mogą zostać pominięte bez negatywnego wpływu na jakość wyników badań.

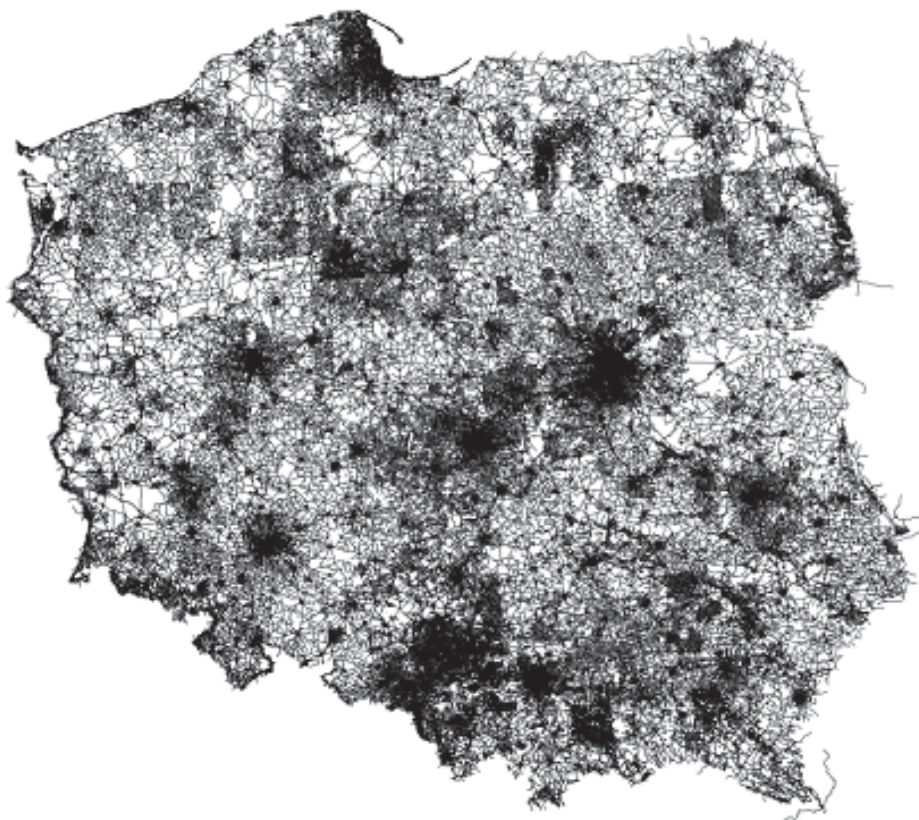
## 2. Automatyzacja tworzenia sieci drogowej

W przypadku małych miejscowości, gdzie w obszarze analizy występuje rzadka i nieskomplikowana sieć drogowa, proces budowy modelu sieci jest relatywnie szybki. Zazwyczaj polega na wykorzystaniu zdigitalizowanej mapy jako tła projektu i ręcznym wstawianiu odcinków pokrywających się z występującymi drogami [5]. Jednak w przypadku większych obszarów analizy zawierających kilka- lub kilkanaście miejscowości lub modelując duże miasto bądź aglomerację, proces ręcznego tworzenia sieci drogowej znacznie wydłuża się w czasie. Na obszarze analizy występuje nie tylko większa liczba typów dróg (autostrady, drogi szybkiego ruchu, drogi krajowe, wojewódzkie itp.), ale także odcinki posiadają bardziej zróżnicowane atrybuty jak liczba pasów, prędkość w ruchu swobodnym, przepustowość itp.

W celu zminimalizowania czasu budowy modelu sieci drogowej z zachowaniem wysokiego poziomu szczegółowości wskazane jest wykorzystanie map i danych zapisanych w postaci GIS [6, 7]. Posiadają one nie tylko informacje dotyczące sieci drogowej, ale także o sieci kolejowej, zbiornikach oraz szlakach wodnych, obrysach budynków, czy zagospodarowaniu przestrzennym itp. [6, 7]. Jednym z darmowych zasobów takich danych jest globalny projekt OpenStreetMap (OSM) [8],

w którym każdy użytkownik może współtworzyć elementy cyfrowej mapy całego świata. Dzięki temu zasoby OpenStreetMap w porównaniu do komercyjnych map są na bieżąco aktualizowane. Wszelkie dane udostępniane są na otwartej licencji, co umożliwia ich swobodne wykorzystanie.

Pierwszym krokiem procedury tworzenia sieci drogowej z wykorzystaniem dostępnych baz danych OSM jest pozyskanie najnowszych map. W ramach artykułu na potrzeby stworzenia modelu sieci drogowej dla aglomeracji poznańskiej punktem wyjścia była szczegółowa mapa OSM Polski (rys.1), aktualizowana na stronach [geofabrik.de](http://geofabrik.de) [9].



*Rys. 1. Przygotowana do obróbki, aktualna drogowa mapa Polski*

Drugim krokiem jest ograniczenie obszaru analizy z zaznaczeniem niezbędnych danych, które powinny być zawarte w modelu. Najlepszym rozwiązaniem jest zdefiniowanie wielokąta określając współrzędne geograficzne każdego jego wierzchołka na podstawie np. granic administracyjnych miasta czy aglomeracji, a następnie określenie jakiego typu dane powinny zostać odfiltrowane w stworzonych obszarach, aby pozostawić tylko te, które są istotne z punktu widzenia przeprowadzanych badań. Przygotowując model aglomeracji poznańskiej obszar podzielono na dwa podobszary:

- aglomeracja poznańska, w którym znalazły się autostrady, drogi ekspresowe, drogi krajowe, drogi wojewódzkie, drogi powiatowe, drogi gminne, drogi miejskie i osiedlowe,
- otoczenie aglomeracji, w którym pozostawiono autostrady, drogi szybkiego ruchu i drogi krajowe.

Kategoryzację typów dróg występujących w modelu wykonano przypisując poszczególnym odcinkom w systemie OSM – kategorie dróg wyróżniane w Polsce (tab.1). Następnie połączono oba podobszary i stworzono model sieci drogowej aglomeracji poznańskiej wraz z jej najbliższym sąsiedztwem (rys. 2). Ekstrakcja obu obszarów z mapy Polski i ich późniejsza integracja zostały zautomatyzowane w oparciu o oprogramowanie osmosis [10].



*Rys. 2. Wygenerowana sieć aglomeracji poznańskiej*

Ostatnim etapem budowy modelu sieci jest ekstrakcja wybranych danych z formatu OSM i zbudowanie w sposób automatyczny modelu sieci drogowej na potrzeby symulacji w systemie MATSim [11,12]. Jako że w MATSim zastosowano mezoskopowy kolejkowy model przepływu ruchu, niezbędne były informacje o liczbie pasów, prędkości ruchu swobodnego oraz przepustowości dla każdego z odcinków.

Niestety w danych z systemu OSM, jak również w innych mapach cyfrowych, tylko część odcinków ma wyspecyfikowany pełen zestaw atrybutów. Dlatego, aby w sposób automatyczny dokonać ustalenia wartości brakujących atrybutów odcinków, przyjęto wartości domyślne dla każdego typu dróg (tab. 1). W wyniku analizy odcinków o niesklasyfikowanym typie przyjęto, że w większości przypadków odpowiadają one drogom miejskim. Na podstawie map i zdjęć satelitarnych obszaru

stwierdzono, że odcinki dróg ekspresowych jednojezdniowych, dwukierunkowych posiadają po jednym pasie w każdym kierunku. Dodatkowo w przypadku braku informacji o liczbie pasów dla jednokierunkowych odcinków dróg ekspresowych, krajowych, wojewódzkich i powiatowych przyjmowano liczbę pasów równą 2, zakładając, że odcinek ten reprezentuje jezdnię drogi dwujezdniowej.

*Tablica 1. Podział na typy odcinków wraz z domyślnymi wartościami ich atrybutów*

Lp.	Typ drogi w OSM	Typ odcinka zgodnie z kategoryzacją dróg w Polsce	Liczba pasów	Prędkość dopuszczalna	Przepustowość
1	motorway	autostrady	2	140	2000
2	motorway_link	wjazdy i zjazdy z autostrad	1	70	1500
3	trunk	drogi ekspresowe	1	120	2000
4	trunk_link	wjazdy i zjazdy z dróg ekspresowych	1	70	1500
5	primary	drogi krajowe	1	90	1500
6	primary_link	wjazdy i zjazdy z dróg krajowych	1	60	1500
7	secondary	drogi wojewódzkie	1	50	1000
8	secondary_link	wjazdy i zjazdy z dróg wojewódzkich	1	40	1000
9	tertiary	drogi powiatowe	1	50	800
10	tertiary_link	wjazdy i zjazdy z dróg powiatowych	1	50	600
11	unclassified	drogi gminne	1	40	600
12	residential	drogi miejskie + drogi niesklasyfikowane	1	30	600
13	living_street	drogi osiedlowe	1	20	300

Przy konwersji danych zawartych w mapach OSM należy zwrócić szczególnie uwagę na ich jakość. Zdarzają się przypadki niepoprawnie zamodelowanych elementów sieci (np. błędnie określone kierunki ruchu na drogach jednokierunkowych) lub wręcz ich braku. Identyfikacja tego typu problemów polega na weryfikacji stworzonego modelu sieci, a także na analizie przebiegu i wyników symulacji. W trakcie prac niejednokrotnie znajdowano błędy w modelu sieci, których przyczyną były błędy w mapie OSM. W takich przypadkach, nanoszono poprawki w mapie OSM, a następnie generowano ponownie model sieci drogowej. Proces ten powtarzano iteracyjnie, aż otrzymany model wedle wiedzy autorów pozbawiony był błędów.

Autorzy mają świadomość, że zastosowanie domyślnych wartości w przypadku braku wartości dla atrybutów odcinków (tab.1) może prowadzić do niepoprawnych wartości atrybutów odcinków. W przypadku zauważenia występowania tego typu błędów dla istotnych odcinków wprowadzono poprawne wartości atrybutów bezpośrednio w mapach OSM. Należy podkreślić, że w trakcie prac nie stwierdzono żadnych dodatkowych błędów wynikających bezpośrednio z procesu konwersji danych z formatu OSM do MATSim.



### 3. Model ruchu

#### 3.1. Sieć drogowa

W celu analizy wpływu poziomu szczegółowości modelu sieci drogowej na wyniki symulacji ruchu drogowego przygotowano cztery modele sieci, każdy o innym poziomie szczegółowości. W poszczególnych wariantach ujęto następujące typy dróg:

- 1) odcinki typów od 1 do 13 z tab. 1 (najbardziej szczegółowy wariant, zawierający drogi wszystkich typów),
- 2) odcinki typów od 1 do 12 z tab.1,
- 3) odcinki typów od 1 do 11 z tab.1,
- 4) odcinki typów od 1 do 10 z tab.1 (najmniej szczegółowy wariant, od autostrad po drogi powiatowe).

W wariancie 1 model aglomeracji poznańskiej składał się z 13009 węzłów i 30496 odcinków (rys. 2). Dla porównania, sieć z najmniejszą liczbą odwzorowanych typów dróg (wariant 4) składała się z 3239 węzłów i 5883 odcinków (rys. 3).



Rys. 3. Wygenerowana sieć aglomeracji poznańskiej z najmniejszym stopniem szczegółowości

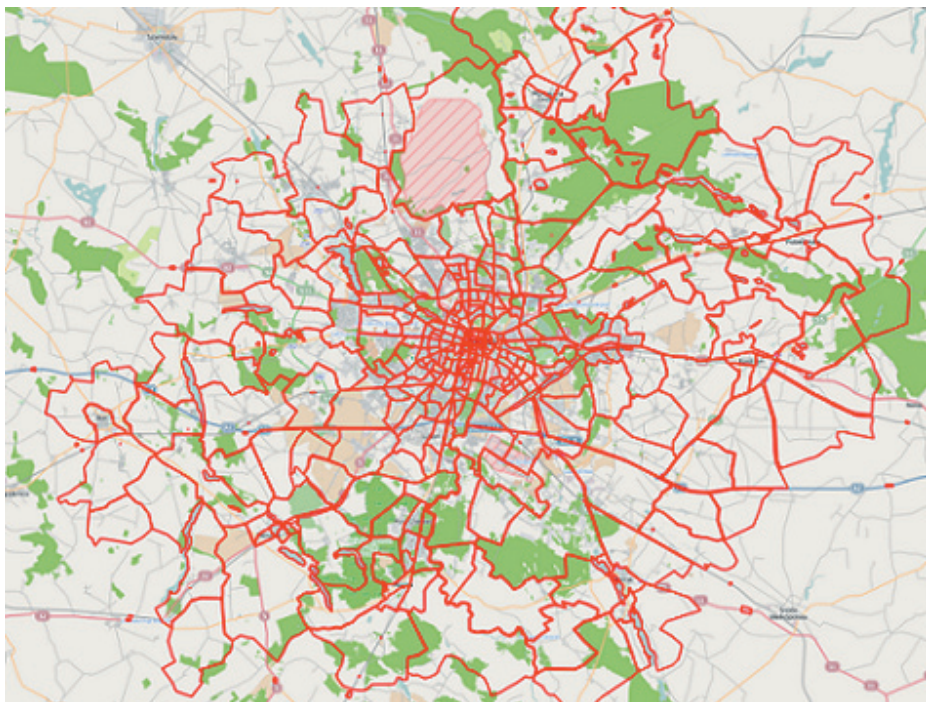
### 3.2. Popyt

Do odwzorowania popytu na transport wykorzystano dane na temat podróży w modelu aglomeracji poznańskiej otrzymanym z Urzędu Miasta Poznania, który został wykonany w systemie VISUM (w 2008 roku model ten przeszedł aktualizację). Wymagało to odpowiedniej obróbki danych, aby były kompatybilne z systemem MATSim i stworzonym modelem sieci drogowej.

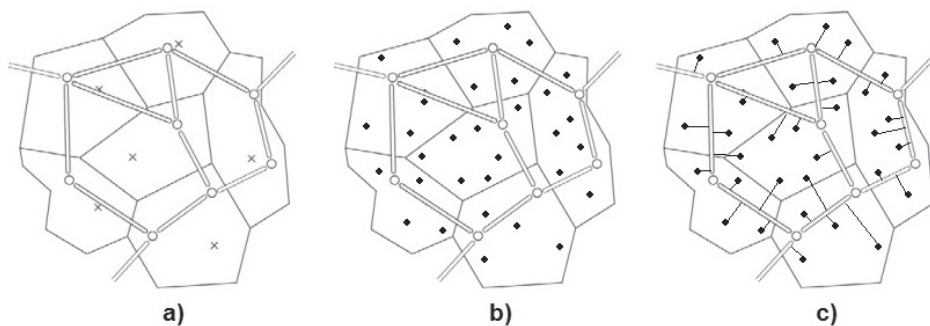
W pierwszej kolejności przeniesiono zony z oryginalnego modelu poznańskiego, a następnie dostosowano ich geometrię i położenie do układu współrzędnych WGS84 UTM 33N. Granice rejonów komunikacyjnych (rys. 4), zgodnie z [13] poprowadzono po naturalnych przeszkodach (np. rzekach, jeziorach), granicach podziału administracyjnego (gminy ościenne), liniowych elementach infrastruktury oraz przez tereny niezabudowane. Łącznie zamodelowano 26 rejonów zewnętrznych doprowadzający ruch spoza aglomeracji oraz ruch tranzytowy, 131 rejonów gmin ościennych należących do aglomeracji poznańskiej, 199 rejonów wewnątrz miasta Poznań i 61 rejonów punktowych, nie posiadających obrysu, a będące jedynie centroidami.

Do zamodelowania popytu wykorzystano macierz OD dla komunikacji indywidualnej z oryginalnego modelu aglomeracji poznańskiej. Macierz zawierała 62764 podróży (na godzinę) pomiędzy rejonami komunikacyjnymi. W celu odwzorowania dynamiki porannego szczytu ruchowego, a więc wraz z narastaniem i opadaniem krzywych ruchu, przyjęto na potrzeby eksperymentów symulacyjnych 7-godzinny czas symulacji, podzielony na 7 godzinnych okresów. Założono, że w każdej godzinie popyt na ruch jest ułamkiem popytu z godziny szczytowej zgodnie z następującym schematem: 20%, 40%, 80%, 100%, 60%, 40% i 20%. Dzięki temu uzyskano przebieg rozpoczynających się podróży w czasie pokazanym na rys. 3.

W systemie MATSim do modelowania popytu nie wykorzystuje się macierzy OD – jest on reprezentowany przez agentów posiadających plany aktywności wraz z podróżami pomiędzy nimi [11,12]. Dlatego każdą podróż z macierzy OD zamodelowano jako plan zawierający jedną podróż pomiędzy dwoma aktywnościami zlokalizowanymi w konkretnych rejonach komunikacyjnych. Współrzędne określające szczegółową lokalizację aktywności generowane są losowo respektując granice zony źródłowej i docelowej, a agenci trafiają do sieci i opuszczają sieć poprzez odcinek zlokalizowany najbliżej miejsca odbywania kolejnych czynności [14]. Algorytm generacji agentów w systemie MATSim przedstawiono na rys. 5. Należy zauważyć, że im wyższy poziom szczegółowości sieci drogowej, tym bardziej precyzyjnie są wyznaczone odcinki początkowe i końcowe podróży.



Rys. 4. Granice stworzonych rejonów komunikacyjnych na tle mapy aglomeracji poznańskiej



Rys. 5. Algorytm lokalizowania agentów {14}: a) dostępna sieć drogowa zawierająca odcinki i węzły oraz zdefiniowane rejony komunikacyjne, b) losowo wygenerowani agenci, c) przypisanie agentom najbliższych odcinków

## 4. Symulacja ruchu

### 4.1. Symulacja w systemie MATSim

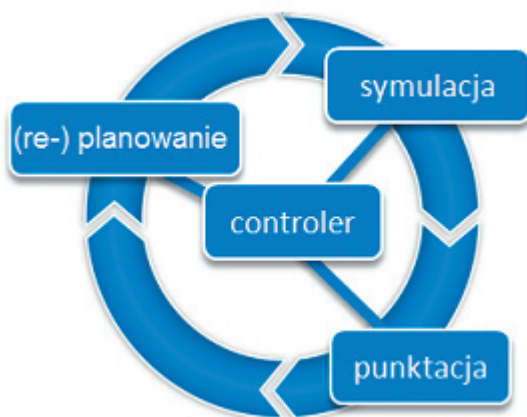
MATSim jest systemem wieloagentowej mikrosymulacji transportu, w tym przepływu ruchu drogowego. System ten jest oparty na modelach aktywności syntetycznych mieszkańców zwanych agentami [15]. Agenci posiadają dzienne plany zawierające aktywności, w których uczestniczy dana osoba. Działanie systemu



MATSim polega na iteracyjnym wykonywaniu następujących trzech podstawowych kroków (rys. 6): planowanie (tworzenie nowych lub modyfikacja istniejących planów), symulacja (wykonanie planów) oraz ocena (ewaluacja planów) [16]. Dzięki iteracyjnemu powtarzaniu symulacji agenci uczą się (faza oceny) i na podstawie zdobytych doświadczeń próbują poprawiać swoje plany (faza planowania). Przy dostatecznie dużej liczbie iteracji oraz odpowiednio dostrojonych parametrach systemu (w szczególności definiujących możliwości adaptacyjne agentów), przebieg kolejnych symulacji stabilizuje się (osiągany jest stan relaksacji, odpowiednik stanu równowagi w systemie transportowym).

Sama symulacja przepływu ruchu drogowego opiera się na teorii kolejek, a ruch odbywa się w sieci, której odcinki zamodelowane są jako kolejki FIFO (*First In, First Out*) opisane parametrami: długość, liczba pasów, prędkość w ruchu swobodnym oraz przepustowość. Podczas symulacji agenci przemieszczają się po sieci respektując jej ograniczenia [17], a także wykonują zaplanowane aktywności.

W fazie oceny następuje ewaluacja wykonania każdego planu na podstawie zdarzeń takich jak udział w zaplanowanej aktywności, czas spędzony w podróży, spóźnienie lub pominięcie aktywności [14]. Po dokonaniu oceny system uruchamia ponownie proces planowania, w którym na podstawie uzyskanych ocen z poprzedniej iteracji, wybierany jest nowy lub modyfikowany poprzedni plan dla każdego agenta.



Rys. 6. Fazy działania systemu MATSim [12]

Z uwagi, że plany agentów zostały bezpośrednio zaczerpnięte z godzinnej macierzy OD, początki podróży (tzn. moment w którym agent opuszcza lokalizację aktywności i próbuje dostać się do sieci) zostały równomiernie rozłożone w ramach całej godziny. Dlatego w ramach fazy planowania zrezygnowano z operacji modyfikacji chwili rozpoczęcia podróży, a pozostawiono agentom możliwość modyfikacji przebiegu trasy.

## 4.2. Wyniki symulacji

Badania symulacyjne przeprowadzono dla 4 wariantów sieci drogowych. Następnie opracowano i dokonano porównania następujących statystyk: średni czas przejazdu, średnia przejechana odległość, średnia prędkość w sieci, praca przewoźowa oraz wykresy dojazdów do celu w czasie.

### 4.2.1. Średni czas podróży

Rys. 7 przedstawia czasy podróży w kolejnych iteracjach dla poszczególnych wariantów sieci drogowej. Z wykresu można wywnioskować, że o ile w dwóch pierwszych wariantach stan relaksacji zostaje szybko osiągnięty (po około 10–15 iteracjach) i średnie czasy podróży w późniejszych iteracjach stabilizują się, to w pozostałych dwóch wariantach (mniej szczegółowych) po przeprowadzeniu 40 iteracji średnie czasy podróży nadal oscylują. Spowodowane jest to znacznym przesyleniem sieci, a to skutkuje powstawaniem kongestii. Stan całego systemu jest wtedy bardzo czuły na najmniejsze zmiany (takie jak modyfikacje tras przejazdów w części planów, co jest wykonywane w każdej iteracji), które powodują znaczące zmiany dla całego systemu.

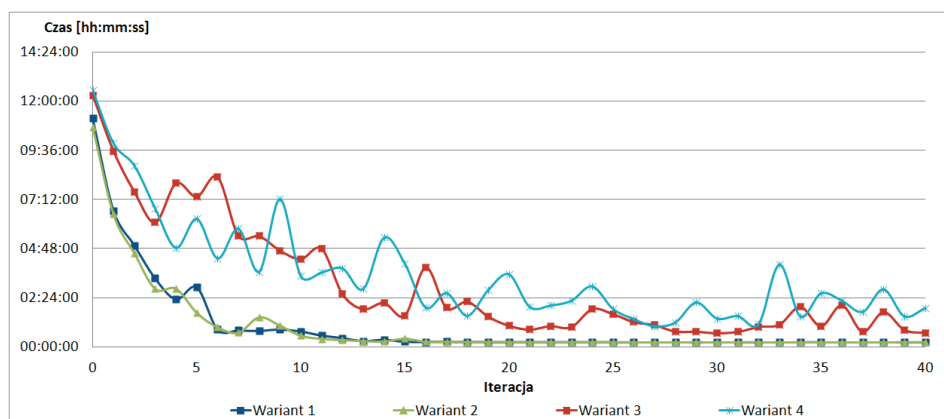
### 4.2.2. Średni dystans podróży

Drugim wskaźnikiem wykorzystanym do porównania wariantów jest średni dystans podróży (rys. 8). We wszystkich wariantach na początku symulacji (pierwsza iteracja) system wygenerował dla każdego z agentów najkrótszą czasowo trasę w sieci przy niskim natężeniu ruchu – wykorzystane do tego były dane wejściowe o prędkości ruchu swobodnego na wszystkich odcinkach. Dlatego średnia przejechana odległość w każdym z modeli jest najkrótsza w porównaniu do późniejszych iteracji. Niestety spowodowało to znaczne kongestie w sieci, na co wskazuje średni czas podróży w pierwszej iteracji dla każdego z modeli na rys. 7. Dlatego w celu ich uniknięcia w kolejnych iteracjach system stopniowo modyfikuje trasy używając bieżących (tj. pochodzących z poprzedniej iteracji) statystyk czasów przejazdu na poszczególnych odcinkach, co odzwierciedla dalsza część wykresu (iteracje od 1 do około 10). W przypadku dwóch pierwszych modeli średni przejechany dystans narasta wolniej – agenci mają do wyboru większą liczbę odcinków oraz gęstsza sieć. Po 10 iteracjach średni przejechany dystans zaczyna się zmniejszać, większa liczba agentów używa alternatywnych dróg, a wcześniej przesycone odcinki zaczynają być ponownie przejezdne. W przypadku dwóch pozostałych modeli (model 3 i 4) sieć jest rzadsza, więc do wyboru jest znacznie mniej alternatywnych tras, przez co agenci chcąc ominąć kongestię zmuszeni są znacznie wydłużyć podróż. Jak zostało wspomniane wcześniej, wrażliwość przesyconego systemu transportowego na drobne zmiany w planach powoduje występowanie oscylacji (naprzemienne poprawy i pogorszenia sytuacji z iteracji na iterację), przez co proces zbieżności przebiega znacznie dłużej, a stan równowagi nie zostaje w pełni osiągnięty. Z uwagi na kongestie również czas przeprowadzenia pojedynczej symulacji (tzn. czas wykonywania obliczeń komputerowych) jest znacznie dłuższy w wariantach 3–4,

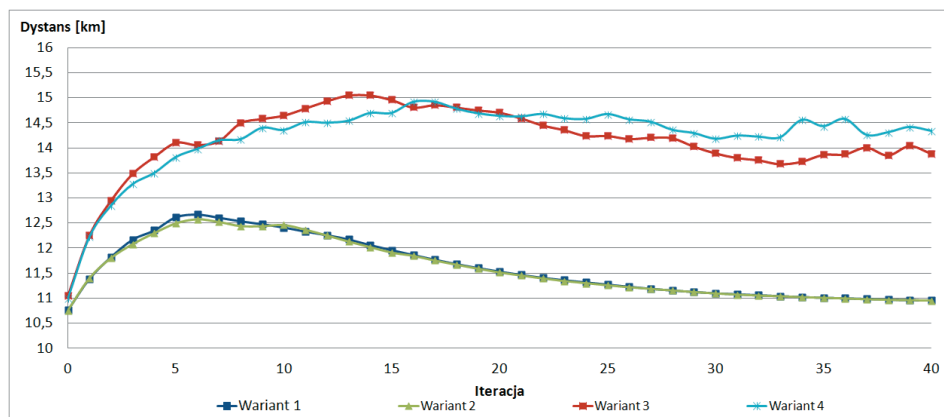
choć z pozoru wydawałoby się, że symulacja dla mniejszej sieci (zatem dla mniejszej liczby kolejek FIFO) powinna być przeprowadzana szybciej.

#### 4.2.3. Średnia prędkość w sieci

Wykres średniej prędkości osiągniętej w całej sieci, w poszczególnych modelach w kolejnych iteracjach (rys. 9) potwierdza wcześniejsze tezy. W pierwszych dwóch modelach, w których sieć jest gęsta i posiada większą liczbę odcinków, agenci poruszają się swobodniej dzięki rozłożeniu ruchu na większą liczbę niezapełnionych odcinków. Z każdą iteracją dla tych modeli średnia prędkość rośnie, co pokazuje efekty procesu nauki agentów. W przypadku pozostałych dwóch modeli z rzadszą siecią, pomimo procesu optymalizacji, niektórym agentom nie udaje się uniknąć kongestii ze względu na małą liczbę alternatywnych odcinków, a ponieważ poruszają się po zatłoczonych odcinkach, ich średnia prędkość podróży utrzymuje się na niskim poziomie.

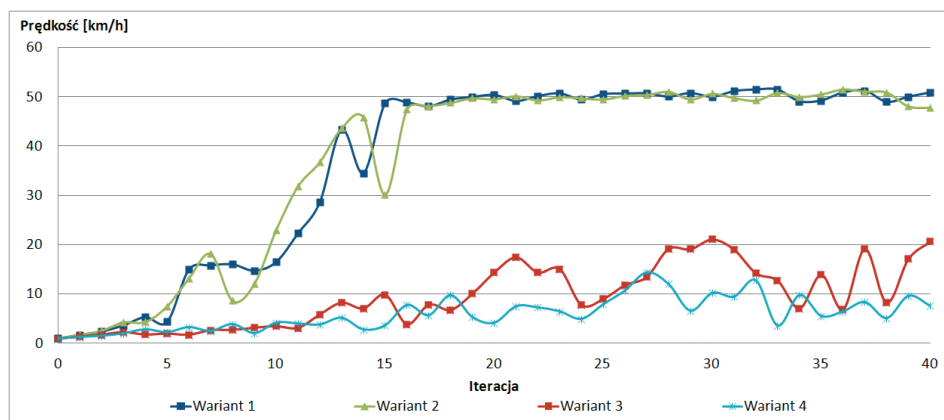


Rys. 7. Porównanie średnich czasów podróży w poszczególnych modelach w kolejnych iteracjach

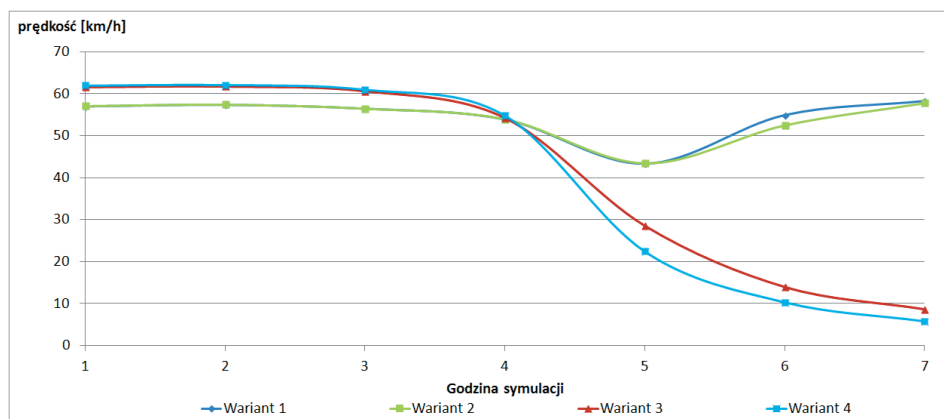


Rys. 8. Porównanie średnich odległości podróży w poszczególnych modelach w kolejnych iteracjach

Dodatkowo porównano wielkości średnich prędkości w sieci dla ostatniej iteracji (rys.10) w poszczególnych jednogodzinnych przedziałach czasu symulacji. W tym wypadku dwa pierwsze warianty cechują się początkowo niższą średnią prędkością (od 1 do 4 godziny symulacji). Spowodowane jest to dodaniem odcinków o niskich prędkościach ruchu (drogi osiedlowe i drogi miejskie), których nie było w wariantach 3–4, zatem bezpośredni dojazd do czy wyjazd z miejsca aktywności prowadzony jest drogami o gorszych parametrach, podczas gdy w wariantach 3–4 agenci korzystają tylko z dróg cechujących się stosunkowo wyższą szybkością. Dopiero gdy sieć ulegnie napełnieniu, sytuacja się odменя. W wariantach 1–2 kongestie są mniejsze i krótsze czasowo, zatem po chwilowym spadku wartości omawianego wskaźnika, wraca on do wysokiego poziomu. W wariantach 3–4 kongestia przyjmuje większe rozmiary i trwa znacznie dłużej (sięga ona poza pierwsze 7 godzin, podczas których generowany jest ruch). Spowodowane jest to małą liczbą odcinków, co w konsekwencji prowadzi do znaczącego spadku średniej prędkości w sieci.



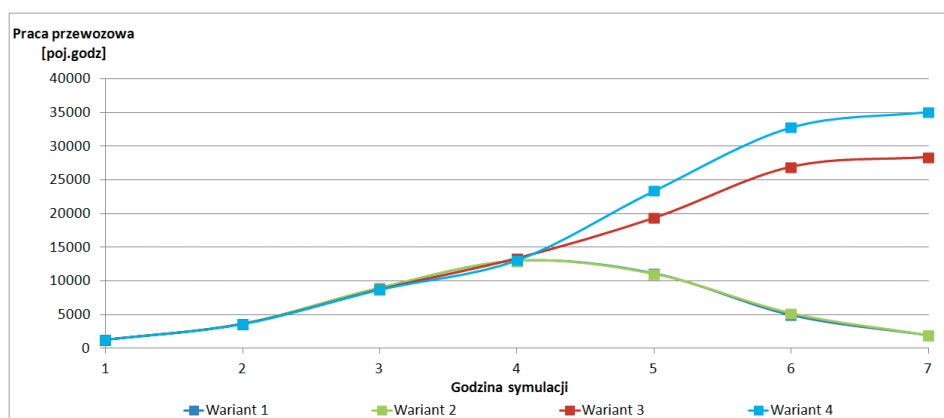
Rys. 9. Porównanie średnich prędkości w sieci w poszczególnych modelach w kolejnych iteracjach



Rys. 10. Porównanie średnich prędkości w sieci w poszczególnych modelach w ostatniej iteracji symulacji z podziałem na godziny symulacji

#### 4.2.4. Praca przewozowa

W celu zobrazowania łącznego czasu spędzonego w sieci przez agentów w pierwszych siedmiu godzinach symulacji porównano pracę przewozową wyrażoną w pojazdogodzinach (rys. 11). W początkowych okresach symulacji – napełnianie sieci agentami – we wszystkich wariantach liczba pojazdogodzin jest niemal identyczna (niższa prędkość w wariantach 1–2 jest rekompensowana krótszymi trasami). Dopiero po zapełnieniu sieci widać, jak w wariantach 3–4 na skutek spadku prędkości (i jednocześnie przy dłuższych trasach) agenci utykają w kongestiach i w efekcie trasy wykonują zdecydowanie wyższą pracę przewozową. Sumarycznie w pierwszych 7 godzinach symulacji łączna praca przewozowa w wariantach 1–4 wynosi odpowiednio: 44.786, 44.954, 101.666 i 117.986 pojazdogodzin.



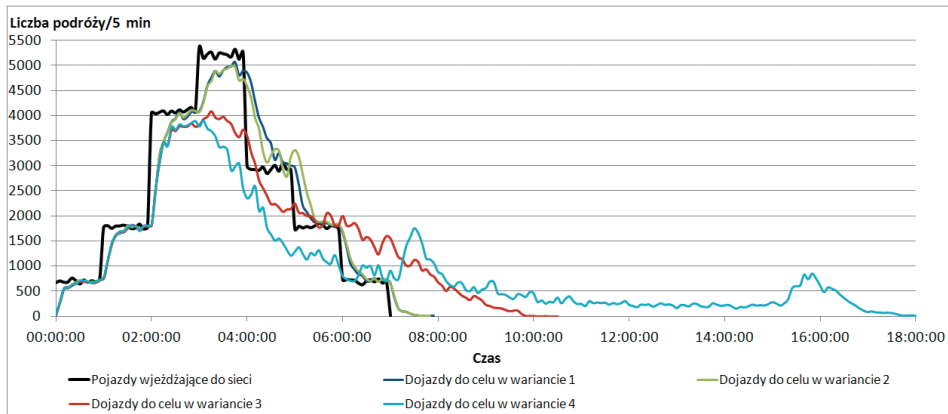
Rys. 11. Porównanie pracy przewozowej w poszczególnych modelach w ostatniej iteracji symulacji z podziałem na godziny symulacji

#### 4.2.5. Generacja i dojazdy agentów w sieci

Ostatnim porównanym wskaźnikiem jest tempo dojeżdżania do celu (tj. końca podróży) jakie ma miejsce przy identycznym dla każdego wariantu tempie rozpoczynania podróży przez agentów w trakcie pierwszych 7 godzin symulacji (kolor czarny, rys. 12). Wszystkie wskaźniki liczone są jako liczba podróży rozpoczętych/zakończonych w okresie 5 minut.

Początkowo we wszystkich wariantach warunki ruchowe są zbliżone, więc tempo ubywania agentów (tj. końca podróży) jest zbliżone. Dopiero po upływie około 2,5 godziny (sieć napełniła się) zaczynają uwidaczniać się rozbieżności pomiędzy wariantami. Ponownie w dwóch pierwszych, najbardziej szczegółowych wariantach, agenci bez problemu dojeżdżają do celu, a wykresy liczby dojazdów do celu są bardzo zbliżone. Natomiast przy mniej szczegółowych modelach sieci, na odcinkach tworzą się kongestie, a agenci często dopiero po wielu godzinach osiągają cel podróży.





Rys. 12. Liczba generowanych (identyczna dla każdego wariantu) i dojeżdżających agentów do celu w czasie dla ostatniej iteracji.

## 5. Podsumowanie

W artykule przedstawiono procedurę wykorzystania map systemu OpenStreetMap oraz odpowiednich narzędzi do ich obróbki, w celu stworzenia modelu sieci drogowej. Pozwala ona na znacznie skrócenie czasu spędzonego na przygotowywaniu danych wejściowych do modelu. Proponowane podejście wykorzystuje darmowe, ogólnodostępne dane oraz aplikacje. Podczas tworzenia modelu przy użyciu proponowanej procedury należy zwrócić uwagę, czy elementy występujące w badanym obszarze posiadają odpowiednie i wymagane charakterystyki. Należy także zwrócić uwagę na jakość danych zawartych w mapach cyfrowych. Mając to na uwadze, należy weryfikować poprawność wygenerowanego modelu sieci. Brak weryfikacji może przyczynić się do błędnych wyników całej analizy układu transportowego. Alternatywą dla darmowych map jest wykorzystanie komercyjnych (płatnych) map GIS, niestety wiąże się to z kosztami zakupu samych map, przedłużenia okresu licencjonowania oraz zakresu aktualizacji.

W ramach pracy przeprowadzono eksperymenty obliczeniowe mające na celu wykazanie wpływu poziomu szczegółowości wykorzystywanego modelu sieci na wyniki symulacji.

Udowodniono, że zbyt ogólna i mało szczegółowa sieć (warianty 3–4) może być niewystarczająca do przeprowadzenia badań symulacyjnych. W przypadku aglomeracji poznańskiej pominięcie dróg osiedlowych nie miało wpływu na jakość symulacji, jednak brak dróg miejskich czy gminnych prowadził do nieprawidłowych wyników symulacji. Prezentowane prace stanowią pierwszy etap przygotowywania nowego modelu ruchu dla aglomeracji poznańskiej. Planowane jest przeprowadzenie wieloagentowej symulacji w systemie MATSim dla pełnej doby i w oparciu o całodniowe łańcuchy aktywności.

## Bibliografia

- [1] Dios Ortuzar J., Willumsen L., *Modelling Transport*. Wiley, 2011.
- [2] Kutz M.: *Handbook of Transportation Engineering*. McGraw-Hill, 2004.
- [3] Hensher D., Button K., *Handbook of Transport Modelling*. Emerald Group Publishing Limited, 2007.
- [4] Jansen G.R.M., Bovy P.H.L., The effect of zone size and network detail on all-or-nothing and equilibrium assignment outcomes. *Traffic Engineering and Control*, 23, 1982, s. 311–317.
- [5] Szarata A., Estymacja Więżby ruchu metodą makrosymulacji z wykorzystaniem pomiarów przekrojowych na przykładzie Nowego Sącza. *Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej. Budownictwo Lądowe*, 603, 2006, s. 275–282.
- [6] Fischer M., GIS and Network Analysis. In: *Handbook 5 Transport Geography and Spatial Systems*, 5, Pergamon, 2003, s.391–408.
- [7] Longley P., Goodchild M., Magurie D., Rhind D., *GIS Teoria I praktyka*, PWN, Warszawa, 2006.
- [8] <http://ww.openstreetmap.org.pl>.
- [9] <http://download.geofabrik.de/osm/europe/>.
- [10] <http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Osmosis>.
- [11] Balmer M., Rieser M., Meister K., Charypar D., Lefebvre N., Nagel K., *MATSim-T: Architecture and Simulation Times*. Multi-Agent Systems for Traffic and Transportation Engineering, Hershey, 2008, s. 57-78.
- [12] <http://ww.matsim.org>.
- [13] Podoski J., *Transport w miastach*. Warszawa, 1977.
- [14] Rieser M., Nagel K., Beuck U., Balmer M., Rūmenapp J., Truly agent-oriented coupling of an activity-based demand generation with a multi-agent traffic simulation. 11th WCTR, Berkeley, 2007.
- [15] Maciejewski M., Parametric Calibration of the Queue-Based Traffic Flow Model in MATSim. W: Janecki R., Krawiec S. (red.): *Contemporary Transportation Systems. Selected Theoretical And Practical Problems. Models of Change in Transportation Subsystems*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2011, s. 217–226.
- [16] Piątkowski B., Maciejewski M., Comparison of traffic assignment in VISUM and transport simulation in MATSim. *Transport Problems*, Katowice, 2012.
- [17] Rieser, M., Adding Transit to an Agent- Based Transportation Simulation: Concepts and Implementation. Praca doktorska, TU Berlin, 2010.

