

## Autoreferat

### 1. Imię i nazwisko

Michał Maciejewski

### 2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe

1. Inżynier, Informatyka, Wydział Elektryczny, Politechnika Poznańska, 2001
2. Magister, Informatyka, specjalność Inżynieria oprogramowania, Wydział Elektryczny, Politechnika Poznańska, 2003
3. Doktor nauk technicznych, Budowa i eksploatacja maszyn, rozprawa: „Identyfikacja parametryczna w procesie budowy modelu zawieszenia dla symulacji w czasie rzeczywistym”, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Politechnika Poznańska, 2007

### 3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

od 2013	starszy naukowiec Transport Systems Planning and Transport Telematics Faculty V – Mechanical Engineering and Transport Systems Technische Universität Berlin (TU Berlin)
2007-2018	adiunkt Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych Wydział Inżynierii Transportu Politechnika Poznańska
2005-2007	asystent Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych Wydział Maszyn Roboczych i Transportu Politechnika Poznańska
2003-2005	analityk systemów komputerowych Poznańskie Centrum Superkomputerowo-Sieciowe Instytut Chemii Bioorganicznej PAN

## 4. Osiągnięcie naukowe<sup>1</sup>

### a) tytuł osiągnięcia naukowego

**Modelowanie, symulacja i optymalizacja usług autonomicznej mobilności na żądanie**

### b) publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego

- [A1] Maciejewski M., Nagel K.: Towards Multi-Agent Simulation of the Dynamic Vehicle Routing Problem in MATSim. W: Wyrzykowski R., Dongarra J., Karczewski K., Wasniewski J. (red.): Parallel Processing and Applied Mathematics. Lecture Notes in Computer Science, 7204, Springer, Berlin, Heidelberg, 2012, s. 551-560.
- [A2] Maciejewski M., Nagel K.: The influence of multi-agent cooperation on the efficiency of taxi dispatching. W: Wyrzykowski R., Dongarra J., Karczewski K., Wasniewski J. (red.): Parallel Processing and Applied Mathematics. Lecture Notes in Computer Science, 8385, Springer, Berlin, Heidelberg, 2014, s. 751-760.
- [A3] Maciejewski M.: Benchmarking minimum passenger waiting time in online taxi dispatching with exact offline optimization methods. Archives of Transport, 30(2), 2014, s. 67-75.
- [A4] Maciejewski M.: Dynamic transport services. W: Horni A., Nagel K., Axhausen K.W. (red.): The Multi-Agent Transport Simulation MATSim. Ubiquity Press, London, 2016, s. 145-152.
- [A5] Maciejewski M., Salanova M., Bischoff J., Estrada M.: Large-scale microscopic simulation of taxi services. Berlin and Barcelona case studies. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 7 (3), 2016, s. 385-393. **IF 1,588**
- [A6] Maciejewski M., Bischoff J., Nagel K.: An assignment-based approach to efficient real-time city-scale dispatching of taxis. IEEE Intelligent Systems, 31, 2016, s. 68-77. **IF 2,374**
- [A7] Bischoff J., Maciejewski M.: Simulation of city-wide replacement of private cars with autonomous taxis in Berlin. Procedia Computer Science, 83, 2016, s. 237-244.
- [A8] Maciejewski M., Bischoff J., Hoerl S., Nagel K.: Towards a testbed for dynamic vehicle routing algorithms. W: Bajo J. i in. (red.): Highlights of Practical Applications of Cyber-Physical Multi-Agent Systems. Communications in Computer and Information Science, 722, Springer, Cham, 2017, s. 69-79.
- [A9] Bischoff J., Maciejewski M., Nagel K.: City-wide Shared Taxis: A Simulation Study in Berlin. IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2017, s. 275-280.
- [A10] Maciejewski M., Bischoff J.: Congestion Effects of Autonomous Taxi Fleets. Transport, 33(4), 2018, s. 971-980. **IF 1,267**
- [A11] Bischoff J., Maciejewski M., Schlenther T., Nagel K.: Autonomous Vehicles and Their Impact on Parking Search. IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, 2019 (Early access: 26.10.2018, <https://doi.org/10.1109/MITS.2018.2876566>) **IF 3,019**

---

<sup>1</sup> wynikające z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.)

### c) cel naukowy, osiągnięte wyniki oraz ich wykorzystanie

Rozwój technologii teleinformatycznych jaki miał miejsce w XXI wieku dostarczył wielu narzędzi do zdalnego zarządzania flotą pojazdów i komunikacji z klientami. W konsekwencji pojawiła się możliwość rozwoju nowoczesnych usług z obszaru inteligentnego transportu: elastycznych, adaptujących się do dynamicznie zmieniającego się popytu czy ruchu drogowego, bardziej bezpiecznych i niezawodnych oraz efektywnych energetycznie i kosztowo. W przypadku transportu pasażerskiego, wokół którego skupia się omawiane osiągnięcie naukowe, zaczęły się pojawiać usługi autobusów na żądanie (DRT, *Demand-Responsive Transport*), współdzielonych taksówek (*shared taxis*), usługi „para-taksówkowe” (*ride-sourcing*; oferowane m.in. przez firmy Uber i Lyft), krótkoterminowego wynajmu samochodów (*carsharing*) czy rowerów (*bike sharing*), szybkiego transportu indywidualnego (PRT, *Personal Rapid Transit*) i wiele innych. W ostatnich latach coraz większe zainteresowanie zyskuje koncepcja „mobilności jako usługi” (MaaS, *Mobility as a Service*), która zakłada integrację różnych form usług transportowych do jednej usługi mobilności dostępnej na żądanie, dzięki której w jednym miejscu (np. za pomocą dedykowanej aplikacji) można planować swoje podróże, nawigować się w trakcie podróży, a także realizować płatności za nie.

Równocześnie w ostatnich latach mają miejsce intensywne prace nad rozwojem pojazdów autonomicznych. Mimo że nie ma jeszcze dostępnych na rynku w pełni autonomicznych pojazdów, pierwsze pilotażowe usługi autonomicznych taksówek uruchomione zostały w kilku miejscach na świecie już w latach 2016-2017 (m.in. przez nuTonomy w Singapurze, Uber w Pittsburghu oraz Waymo w Phoenix). Wprowadzenie usług mobilności w oparciu o pojazdy autonomiczne na szeroką skalę może zrewolucjonizować sposób podróżowania, m.in. wpłynąć na popularyzację koncepcji MaaS, a w konsekwencji przyczynić się do zmian w funkcjonowaniu tradycyjnego transportu zbiorowego czy zmniejszenia liczby własnych samochodów.

#### – Cel naukowy

Przedstawiony cykl publikacji skupia się wokół problematyki modelowania, symulacji i optymalizacji usług autonomicznej mobilności na żądanie. **Celem naukowym przedstawionych prac badawczych było opracowanie metody symulacji rozwiązań „mobilności jako usługi”, opracowanie algorytmów zarządzania flotą (w szczególności autonomiczną) na potrzeby realizacji symulacji usług mobilności na żądanie, a następnie symulacyjna ocena efektów wprowadzenia usług autonomicznej mobilności na żądanie.**

Dla realizacji powyższego celu naukowego zdefiniowano trzy powiązane ze sobą zadania:

#### 1. **Opracowanie metody mikroskopowej symulacji usług mobilności na żądanie**

Rosnąca złożoność usług mobilności wymaga zastosowania metod symulacyjnych pozwalających na szczegółową ocenę rozmaitych konfiguracji usług w celu wdrożenia najkorzystniejszych rozwiązań, co jest niemożliwe przy zastosowaniu istniejących metod analitycznych. Metody te powinny umożliwiać kompleksową mikroskopową symulację systemu transportowego, a w szczególności podróży korzystających z usługi MaaS i floty pojazdów wykonujących tę usługę, z uwzględnieniem konkurencyjnych/alternatywnych usług transportowych oraz pozostałych uczestników ruchu drogowego. Brak kompleksowych rozwiązań pozwalających na prowadzenie badań nad usługami mobilności w środowisku symulacyjnym możliwie wiernie odzwierciedlającym świat rzeczywisty stanowił motywację do podjęcia prac nad stworzeniem metody, a następnie jej komputerową implementacją.

## 2. Opracowanie algorytmów dynamicznej marszrutyzacji pojazdów dla usług mobilności na żądanie

Efektywna marszrutyzacja pojazdów stanowi kluczowy komponent nowoczesnych systemów zarządzania flotą. W przypadku usług mobilności na żądanie mamy do czynienia z dynamicznym wariantem problemu marszrutyzacji pojazdów (DVRP, *Dynamic Vehicle Routing Problem*), w którym, w odróżnieniu od problemu statycznego, nie wszystkie informacje są dostępne z góry: nowe zlecenia napływają w trakcie realizacji wcześniejszych zadań przewozowych, a informacje o ruchu drogowym mają charakter stochastyczny i zmieniają się w czasie. Dodatkową trudnością są wąskie okna czasowe (np. zamówienie przejazdu „na teraz”) oraz duża skala problemu (np. miliony zleceń dziennie w skali miasta dla flot autonomicznych taksówek zastępujących prywatne samochody osobowe). Tak jak w przypadku rzeczywistych usług, również w badaniach symulacyjnych nad rozwiązaniami z obszaru MaaS, algorytm marszrutyzacji jest kluczowym elementem decydującym o sposobie wykonywania zadań przewozowych przez symulowane pojazdy, a w efekcie – funkcjonowaniu symulowanej usługi. Z uwagi na dużą skalę trudności oraz konieczność wykonania symulacji w jak najkrótszym czasie, warunkiem koniecznym do modelowania symulacyjnego rozwiązań z obszaru „mobilności jako usługi” dla dużych miast są efektywne obliczeniowo algorytmy dynamicznej marszrutyzacji pojazdów.

## 3. Symulacyjna ocena efektów wprowadzenia usług autonomicznej mobilności na żądanie

Usługi autonomicznej mobilności na żądanie, realizowane w oparciu o współdzielone pojazdy autonomiczne, są często rozważane jako jeden ze sposobów rozwiązania wielu problemów współczesnego transportu: poprawy bezpieczeństwa, usprawnienia ruchu drogowego, zmniejszenia energochłonności podróży, czy zwiększenia mobilności. Ponadto korzystanie ze współdzielonych autonomicznych pojazdów może okazać się tańsze od posiadania własnego samochodu. Autonomiczne pojazdy wiążą się także z wieloma obawami o m.in. pogorszenie tradycyjnej komunikacji zbiorowej czy brak spójnej polityki transportowej. Wyzwania związane z wprowadzeniem autonomicznego transportu wymagają wcześniejszej szczegółowej analizy sposobów kształtowania przyszłych usług autonomicznej mobilności na żądanie, co jest możliwe poprzez modelowanie i symulację działania usług mobilności, a następnie ocenę wyników symulacji zgodnie z zadanymi kryteriami.

Powyższe zadania są ze sobą ściśle powiązane i realizowane były równolegle. Często na podstawie analizy wyników badań symulacyjnych pojawiała się konieczność rozbudowy modelu symulacyjnego czy algorytmów optymalizacyjnych. Znalazło to także swoje odzwierciedlenie w chronologii publikacji. Omówienie osiągniętych wyników badań usystematyzowano według zdefiniowanych zadań.

### – Opracowanie metody mikroskopowej symulacji usług mobilności na żądanie

Idea budowy komputerowego systemu do modelowania i mikroskopowej symulacji usług mobilności na żądanie powstała około roku 2010 w trakcie realizacji projektu badawczego dotyczącego dynamicznej marszrutyzacji pojazdów w procesach city-logistics [II.J.6]. Główną motywacją był brak gotowych rozwiązań pozwalających na dokładne testowanie tworzonych koncepcji i algorytmów w środowisku możliwie wiernie odzwierciedlającym złożone miejskie systemy transportowe.

Pierwsze prace koncepcyjne nad metodą symulacyjną, jej prototypowa komputerowa implementacja oraz uzyskane rezultaty symulacji zostały przedstawione w [A1]. Na podstawie szczegółowej analizy wymagań funkcjonalnych (m.in. modelowanie zachowania poszczególnych pasażerów i pojazdów, niezagregowany model ruchu drogowego, wybór alternatywnych usług lub środków transportu, możliwość symulacji wielkoskalowych systemów transportowych) podjęto decyzję o zastosowaniu MATSim<sup>2</sup> (*Multi-Agent Transport Simulation*) jako platformy symulacyjnej. Następnie opracowano architekturę modelu symulacyjnego oraz przepływ danych między jego głównymi komponentami w trakcie wykonywania symulacji. W pierwszym prototypie systemu wykorzystano algorytmy genetyczne (zastąpione zostały one później przez efektywne algorytmy marszrutyzacji opracowane w ramach drugiego zadania). Po wykonaniu implementacji opracowanej metody przeprowadzono pozytywną weryfikację metody symulacji na podstawie eksperymentów obliczeniowych na przykładzie usług taksówkowych oraz kurierskich.

Rozpoczęcie prac nad rozbudową platformy MATSim (tworzonego przez politechniki TU Berlin i ETH Zurich) o funkcjonalność symulacyjnego modelowania szeroko rozumianych dynamicznych systemów transportowych (obejmujących usługi mobilności na żądanie) zainicjowało nawiązanie wieloletniej współpracy z obu uczelniami, w których w latach 2010-2012 odbyłem stażę [III.L] (m.in. jako stypendysta fundacji DAAD [II.K]). Od roku 2013 jestem pracownikiem naukowym na TU Berlin w zespole prof. Kaia Nagela, a jednym z moich zadań jest dalsza rozbudowa modelu symulacyjnego.

W latach 2012-2015, kierując projektem NCBiR „eTaxi: System symulacyjny dla zrównoważonego zarządzania mieszaną elektryczną i spalinową flotą taksówek” [II.J.1] realizowanym przez konsorcjum złożone z Politechniki Poznańskiej i Politechniki Krakowskiej, miałem możliwość dalszego rozwoju modelu symulacyjnego i przeprowadzenie pełnej integracji jego komputerowej implementacji z platformą MATSim w postaci modułu o nazwie **DVRP** (*Dynamic Vehicle Routing Problem*) [B1]. Udostępnienie tego oprogramowania w modelu „open-source” pozwoliło innym ośrodkom naukowym realizować prace koncepcyjne nad nowoczesnymi usługami transportowymi. Wśród pierwszych użytkowników modułu DVRP znalazły się czołowe ośrodki na świecie (m.in. ETH Zurich, MIT – SMART Singapore, German Aerospace Center (DLR), University of Texas, University of Melbourne). Równocześnie zainicjowana została współpraca z przedsiębiorstwami branży motoryzacyjnej (m.in. firmy VW, Audi, BMW) oraz transportowej (m.in. KPMG Australia, Berlin Transport Company, Senozon, Simunto), w ramach której uczestniczyłem w realizacji zamawianych projektów badawczych w zakresie modelowania i symulacji nowoczesnych rozwiązań „mobilności jako usługi” (m.in. współdzielone taksówki, autonomiczne taksówki, minibusy na żądanie). Wspólna realizacja badań symulacyjnych usług mobilności na żądanie na przykładzie rzeczywistych miast wraz z partnerami z przemysłu oraz współpraca naukowa i wymiana doświadczeń z innymi ośrodkami naukowymi pozwalała na ciągłą walidację zaproponowanej metody i jej komputerowej implementacji oraz wyznaczała kierunki dalszych prac.

Opis metody mikroskopowej symulacji usług mobilności na żądanie został zawarty w [A4] będącym rozdziałem oficjalnej książki o platformie MATSim zredagowanej m.in. przez prof. Kaia Nagela (TU Berlin) i prof. Kaya Axhausena (ETH Zurich) kierujących pracami nad platformą MATSim. Rozdział przedstawia informacje o głównych komponentach i funkcjonalności modułu DVRP. Omówiony został przepływ danych i sterowania: zrealizowana metoda symulacji jest oparta na zdarzeniach, gdzie każde zdarzenie (np. nowe zlecenie, wyjazd pojazdu, opóźnienie pojazdu itp.) jest informacją wejściową dla algorytmu zarządzającego flotą, natomiast wynik działania algorytmu (np. zmiana

---

<sup>2</sup> [www.matsim.org](http://www.matsim.org)

marszruty pojazdów czy odrzucenie nowego zlecenia) jest z kolei daną wejściową dla symulacji. Ponieważ platforma MATSim służy do symulacji wstępnie wyznaczonych całodziennych planów aktywności (tzw. łańcuchy aktywności), sprzężenie obu komponentów (symulacja i optymalizacja) wymagało dodania funkcjonalności podejmowania decyzji na bieżąco (tj. w dowolnym kroku czasowym symulacji). W tym celu opracowano i zaimplementowano:

- model tzw. dynamicznych agentów (np. kierowca lub sterownik autonomicznego pojazdu), którzy w sposób aktywny decydują o akcjach wykonanych w poszczególnych krokach symulacji (np. przemieszczenie się w sieci, oczekiwanie na pasażera) mając na uwadze realizację przydzielonych zadań;
- algorytm monitorowania floty pojazdów i predykcji czasu dotarcia do celu, umożliwiającą podjęcie decyzji o ewentualnych zmianach w marszrutach z uwagi na rozbieżności pomiędzy harmonogramem zadań a ich wykonaniem (np. opóźnienia pojazdu).

Kolejnymi istotnymi cechami opracowanej metody symulacji, omówionymi w [A4], są modelowanie usług transportowych w sposób elastyczny (tzw. bogaty problem marszrutyzacji pojazdów, *Rich VRP*) oraz umożliwienie stosowania zewnętrznych algorytmów dynamicznej marszrutyzacji. Dzięki temu stworzoną metodę można zastosować na potrzeby modelowania szerokiego spektrum usług mobilności na żądanie (a także innych dynamicznych usług transportowych, również w obszarze transportu towarów). Jej komputerowa implementacja w postaci modułu DVRP stała się wszechstronnym narzędziem umożliwiającym prowadzenie badań symulacyjnych.

Z uwagi na rosnące zainteresowanie i sugestie dalszych kierunków rozwoju, w pracy [A8] zaproponowano zastosowanie zaimplementowanej metody (w postaci modułu DVRP) jako otwartego środowiska testowego do oceny efektywności algorytmów dynamicznej marszrutyzacji pojazdów. Zasadniczym problemem przy ocenie algorytmów dynamicznej optymalizacji jest ograniczenie stosowania metod analitycznych (np. *competitive analysis*, czyli tzw. „analiza najgorszego przypadku”) tylko do bardzo uproszczonych instancji problemów. Dla dużych rzeczywistych instancji zastosowanie symulacji jest obecnie jedynym sposobem szczegółowej oceny efektywności algorytmów. Brak gotowych rozwiązań pozwalających na precyzyjną symulacyjną ocenę algorytmów marszrutyzacji stanowił motywacją do podjęcia prac.

Publikacja [A8] prezentuje podstawowe założenia stawiane takiemu środowiskowi testowemu oraz przykłady podłączania własnych algorytmów do modułu DVRP, a następnie ich testowania za pomocą mikroskopowej symulacji. Wyniki prac są wykorzystywane przez Sebastiana Hoelra (współautora publikacji) oraz zespół kierowany przez prof. Emilio Frazzoli (ETH Zurich), współzałożyciela nuTonomy – firmy realizującej pierwsze wdrożenie autonomicznych taksówek (Singapur, 2016). Zbudowany przez nich symulator AMoDeus, korzystający z platformy MATSim i modułu DVRP, będzie wykorzystany do oceny algorytmów zarządzania flotą autonomicznych taksówek zgłoszonych w ramach AI Driving Olympics<sup>3</sup> w konkurencji „Autonomous Mobility on Demand” podczas ICRA 2019<sup>4</sup>, jednej z najważniejszych światowych konferencji w obszarze robotyki. Testy algorytmów będą przeprowadzane na podstawie efektywności zarządzania flotą w ramach usług autonomicznej mobilności na żądanie w czterech miastach: Berlin, Zurych, Tel Awiw i Santiago.

---

<sup>3</sup> [www.duckietown.org/research/ai-driving-olympics](http://www.duckietown.org/research/ai-driving-olympics)

<sup>4</sup> IEEE International Conference on Robotics and Automation, Montreal, 20-24.05.2019

Poza publikacjami i wystąpieniami konferencyjnymi rezultaty prowadzonych prac przedstawiałem podczas następujących wykładów zapraszanych:

- Simulation and dynamic optimization of taxi services in MATSim. Institute of Transportation Systems, DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (German Aerospace Center), Berlin, 26.03.2013.
- From taxi FCD to microscopic simulation of electric taxis. Department of Information Systems, School of Business and Economics, Freie Universität Berlin, Berlin, 15.12.2015.

#### – Opracowanie algorytmów dynamicznej marszrutyzacji pojazdów dla usług mobilności na żądanie

Kluczowym elementem zapewnienia sprawnie działającej usługi mobilności jest algorytm marszrutyzacji pojazdów. W podstawowym wariantcie algorytm ma za zadanie wyznaczenie optymalnych marszrut, podczas których pojazdy realizują na bieżąco napływające zadania przewozowe. W szerszym ujęciu, algorytm powinien także uwzględniać dodatkowe zadania jak np. relokację beczynnych pojazdów oraz ładowanie pojazdów elektrycznych. Ponadto w przypadku zarządzania dużymi flotami pojazdów przy jednoczesnym wysokim popycie na usługę algorytmy powinny być efektywne obliczeniowo, aby rozwiązania były znajdowane niemal natychmiastowo (tzw. tryb online).

W celu spełnienia trudnych wymagań odnośnie jakości rozwiązań i czasu obliczeń, tworzone algorytmy są na ogół dedykowane konkretnemu wąskiemu zagadnieniu optymalizacyjnemu. W pierwszych etapach prac nad algorytmami skupiono uwagę na tradycyjnych usługach taksówkowych oraz zyskujących na popularności usługach „parataksówkowych” (typu Uber czy Lyft), gdzie mamy do czynienia z niewspółdzielonymi przejazdami. W jednej z pierwszych publikacji poświęconych tej tematyce [A2] przeanalizowano wpływ rodzaju i ilości informacji przekazywanych pomiędzy klientem, kierowcą a dyspozytorem na efektywność przydziału taksówek do klientów. W artykule przedstawiono także model optymalizacyjny usług taksówkowych, który był rozwijany w późniejszych pracach wraz z dodawaniem nowych funkcjonalności (np. harmonogramowanie ładowania taksówek elektrycznych).

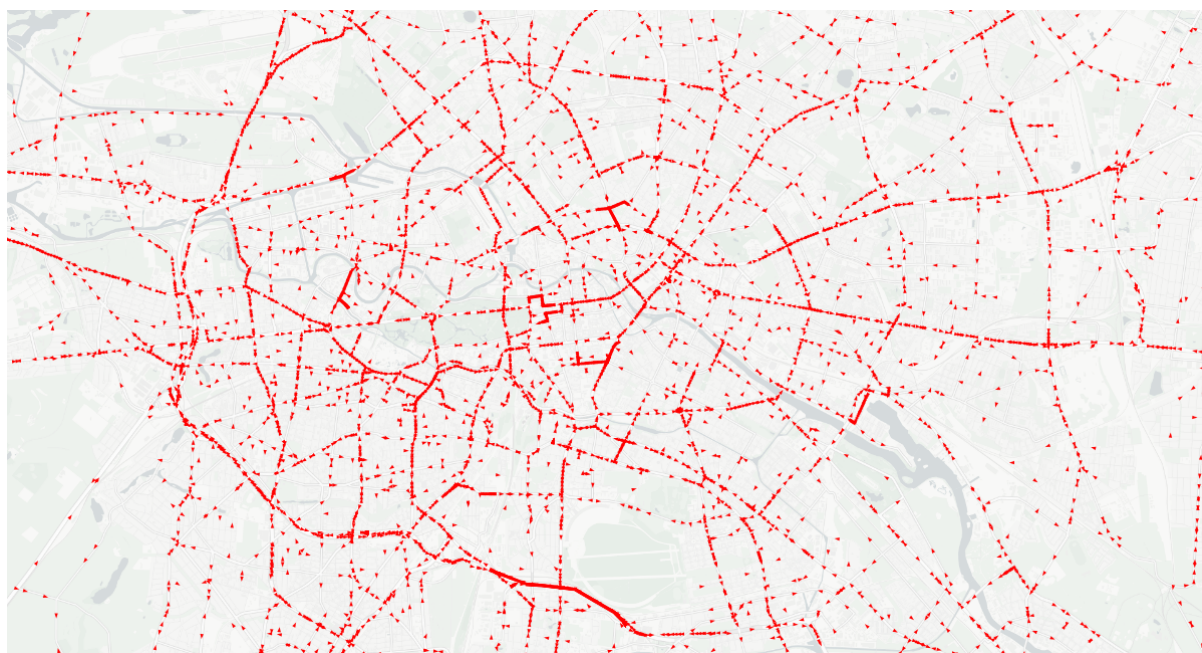
Szczegółową analizę wielu zaimplementowanych strategii wysyłki taksówek przedstawiono w [A3]. Otrzymane wyniki następnie porównano z rezultatami uzyskanymi przy wykorzystaniu pakietu oprogramowania optymalizacyjnego Gurobi, gdzie wysyłkę taksówek zamodelowano jako problem całkowitoliczbowego programowania matematycznego. Analiza porównawcza wykazała, że dla problemu wysyłki taksówek o dużym rozmiarze (gdzie czas znajdowania rozwiązania powinien pozostawać na niskim poziomie) i przy nieznajomości dokładnych czasów przejazdu oraz przyszłych zleceń, najlepszym podejściem jest stosowanie strategii optymalizacyjnych operujących na krótkim krocącym horyzoncie planowania.

Dalsze prace doprowadziły do opracowania regułowej strategii heurystycznej bilansującej popyt z podażą, która działa w dwóch trybach: przewaga podaży (gdzie priorytetowe jest szybkie obsłużenie nadchodzących zleceń) oraz przewaga popytu (gdzie priorytetowe jest zwiększenie przepustowości usługi kosztem wydłużenia czasu oczekiwania na taksówkę niektórych klientów). W pracy [A5] strategia ta została omówiona i zweryfikowana w oparciu o rzeczywiste dane telemetryczne z kilkuset tysięcy przejazdów zarejestrowanych dla taksówek w Berlinie i Barcelonie. Dane dla Berlina pozyskane były dzięki współpracy z German Aerospace Center (opis procedury pozyskiwania i analizy



danych w [C49]). Dane dla Barcelony zostały opracowane przez partnerów z Center for Research and Technology Hellas (Saloniki) oraz Technical University of Catalonia (Barcelona). Eksperymenty obliczeniowe potwierdziły efektywność zaproponowanej strategii bilansującej popyt z podażą. W przypadku obu miast możliwe było zachowanie średnich czasów oczekiwania poniżej 10 minut nawet przy kilkukrotnym zwiększeniu popytu na usługi.

Z uwagi na bardzo krótki czas obliczeń, powyższa strategia została zastosowana w pracach nad zastąpieniem pojazdów osobowych autonomicznymi taksówkami w Berlinie [A7], gdzie 24-godzinna symulacja dla 2,5 miliona zleceń (w godzinach szczytu napływ do 100 zleceń na sekundę) realizowanych przez 100 tysięcy taksówek była wykonywana w niecałe 3 godziny na komputerze klasy PC. Skala problemu została przedstawiona na rys. 1, gdzie dla przejrzystości zwizualizowano tylko co dziesiątą taksówkę spośród symulowanych 100 tysięcy. Szczegółowe omówienie pracy [A7], a w szczególności rezultatów, zawarto w dalszej części autoreferatu.



*Rys. 1. 100,000 autonomicznych taksówek poruszających się w Berlinie (próbna 10%)*

Kolejne prace badawcze ukierunkowano na potrzeby symulacji współczesnych usług taksówkowych i „parataksówkowych”, gdzie liczba zgłoszeń i liczba taksówek jest niższa, zatem czas obliczeń nie jest tak krytyczny jak w przypadku omawianych wcześniej symulacji usług autonomicznych taksówek. W pracy [A6] zaproponowano przekształcenie zagadnienia wysyłki taksówek do liniowego problemu przydziału, gdzie nadchodzące zlecenia są buforowane w krótkim czasie (np. 10 lub 30 sekund), a następnie przydzielane do taksówek w oparciu o tzw. metodę węgierską. Ponieważ celem problemu przydziału jest globalna minimalizacja kosztu, dzięki takiemu sformułowaniu zagadnienia możliwa była dalsza poprawa jakości znajdowanych rozwiązań w porównaniu do opisanej wcześniej strategii bilansującej popyt z podażą, w której decyzje podejmowane były dla pojedynczych zleceń wraz z ich zgłaszaniem. Proponowane podejście zostało przetestowane na przykładzie danych pochodzących z korporacji Taxi Berlin zarządzającej flotą ok. 5000 taksówek. Dla 24-godzinnej symulacji otrzymano poprawę rezultatów w porównaniu do strategii bilansującej popyt-podaż.

Rosnąca popularność koncepcji „ekonomii współdzielenia” wywarła wpływ również na usługi taksówkowe, gdzie poza usługami „parataksówkowymi” pojawiły się w ostatnich latach usługi



współdzielonych taksówek. Również rośnie zainteresowanie ze strony władz lokalnych usługami autobusów na żądanie. W latach 2014-2016, kierując na Politechnice Poznańskiej projektem ERA NET TRANSPORT III „Smart PT: Intelligent Adaptive Public Transport” [II.J.2] realizowanym wraz z Tel Aviv University, KTH Stockholm, Hasselt University, TU Berlin, Austrian Institute of Technology, opracowałem algorytmy służące marszrutyzacji współdzielonych taksówek i autobusów na żądanie. W pracy [A9] przedstawiony został algorytm insercji zleceń przy ograniczeniach czasowych, który pozwala znaleźć marszruty minimalizujące wozokilometry przy jednoczesnym nałożeniu ograniczenia górnego na ewentualne wydłużenie czasu podróży z uwagi na wizyty na przystankach pośrednich w celu obsługi pozostałych pasażerów. Algorytm został przetestowany na przykładzie Taxi Berlin i pozwolił zredukować minimalną liczbę pojazdów we flocie. Eksperymenty obliczeniowe wykazały wysoki wskaźnik współdzielenia taksówek poruszających się w centrum Berlina, gdzie nawet po uwzględnieniu pustych przejazdów między zleceniami, średnie zajęcie taksówek przekraczało 1,5 pasażera.

Przedstawione w tym punkcie algorytmy marszrutyzacji zostały także rozszerzone o funkcjonalność harmonogramowania ładowania elektrycznych pojazdów. Zagadnienie to wykracza poza zakres omawianego osiągnięcia naukowego i zostało opisane w punkcie 5 autoreferatu.

#### – Symulacyjna ocena efektów wprowadzenia usług autonomicznej mobilności na żądanie

Idea autonomicznej mobilności na żądanie jest obecnie przedmiotem wielu badań. Z uwagi na potencjalne szanse ale też zagrożenia dla przemysłu motoryzacyjnego wynikające z wprowadzenia takich usług w przyszłości, jest duże zainteresowanie producentów samochodów tą tematyką. Przedstawione w niniejszym punkcie prace były przedmiotem projektów badawczych realizowanych m.in. dla Audi Electronics oraz BMW Group [II.J].

W ramach prac nad oceną efektów wprowadzenia usług mobilności na żądanie w Berlinie w pracy [A7] przeanalizowano efekty zastąpienia wszystkich pojazdów osobowych (ok. 1,1 miliona) flotą autonomicznych taksówek. W tym celu przeprowadzono symulację zwykłego dnia roboczego, gdzie ponad 2,5 miliona podróży wewnątrz miasta, odbywanych obecnie pojazdami osobowymi, zostało obsłużonych przez 100 tysięcy taksówek autonomicznych. Z uwagi tak dużą skalę problemu marszrutyzacji pojazdów, zdecydowano się zastosować omówioną wcześniej efektywną obliczeniowo strategię heurystyczną bilansującą popyt z podażą. Średniodobowy czas oczekiwania na taksówkę wynosił 2,5 minuty, choć w przypadku niektórych pasażerów podróżujących z obrzeży Berlina w trakcie godzin szczytu czas ten ulegał wydłużeniu do 15 minut. Analizę przeprowadzono dla innych rozmiarów flot (od 50 do 250 tysięcy pojazdów), jednak flota 100 taksówek stanowiła kompromis pomiędzy czasem oczekiwania w szczycie a średniodobowym wykorzystaniem pojazdów. W rezultacie otrzymano współczynnik 11:1 zastąpienia pojazdów prywatnych autonomicznymi taksówkami. Dodatkowe spojrzenie na potencjalne efekty wdrożenia usługi, w szczególności ich czasoprzestrzenną wizualizację i analizę, zamieszczono w pracy [C59] niewchodzącej w cykl ocenianych publikacji.

Ponieważ autonomiczne taksówki przemieszczają się puste pomiędzy kolejnymi zleceniami, średniodobowy wzrost wozokilometrów wyniósł ok. 15%, a w godzinach szczytu przekroczył 25% z uwagi na mniejszą dostępność taksówek. Z drugiej strony przewiduje się, że w porównaniu do tradycyjnych pojazdów, pojazdy autonomicznie będą bardziej płynnie poruszać się po drogach z uwagi na krótsze czasy reakcji, a w konsekwencji – krótsze odstępy czasowe między kolejnymi pojazdami. Obecne szacunki mówią o wzroście przepustowości dróg od 1,5 do 2 raza.

Problemem zwiększonego natężenia ruchu przy jednoczesnym zwiększeniu przepustowości dróg był przedmiotem badań zaprezentowanych w pracy [A10]. W tym celu rozbudowano istniejący kolejkowy model przepływu ruchu w MATSim o pojazdy autonomiczne cechujące się większą płynnością ruchu. W badaniach symulacyjnych założono wzrost przepustowości o 0%, 50% i 100%, a następnie porównano otrzymane wyniki z bazowym scenariuszem reprezentującym stan obecny. Eksperymenty obliczeniowe wykazały, że już w przypadku 50% wzrostu przepustowości czasu przejazdu ulegają obniżeniu w stosunku do wariantu bazowego.

Niezależnie od potencjalnego wzrostu przepustowości dróg, jednym ze sposobów zmniejszenia zatłoczenia na drogach jest wprowadzenie współdzielonych autonomicznych taksówek. Korzystając z algorytmów przedstawionych w pracy [A9] (opracowanych w ramach drugiego zadania) wykazano, że przy maksymalnej liczbie czterech pasażerów równocześnie współdzielących przejazd, flota 60 tysięcy taksówek może zastąpić 1,1 miliona pojazdów osobowych w Berlinie<sup>5</sup>.

Przedstawione powyżej rezultaty prac badawczych wskazują jednoznacznie na duży potencjał usług autonomicznej mobilności na żądanie. Jednocześnie istnieją obawy o nieskoordynowane wprowadzenie pojazdów autonomicznych. Problem ten poruszono w pracy [A11], gdzie przedstawiono analizę dla przypadku, gdy podróżujący korzystają z własnych autonomicznych pojazdów zamiast z usług autonomicznych taksówek. W pracy założono trzy różne strategie autonomicznego parkowania po wyjściu pasażera z pojazdu: (1) poszukiwanie wolnego miejsca w sąsiedztwie, (2) skorzystanie z wyznaczonych parkingów, (3) krążenie po sąsiadujących ulicach w oczekiwaniu na powrót pasażera. W szczególności istnieje obawa, że ostatni wariant może być praktykowany w miejscach, gdzie opłaty za parkowanie są wysokie i/lub występuje brak miejsc parkingowych. Na podstawie przeprowadzonych eksperymentów i dokonaniu oceny wariantów według zaproponowanych kryteriów (m.in. puste wozokilometry, czas oczekiwania na powrót pojazdu) stwierdzono, że najkorzystniejszym rozwiązaniem jest wariant drugi. Z kolei wariant trzeci jest najmniej korzystny: krążenie pojazdów poza wzrostem pustych wozokilometrów powodowało również wzrost zatłoczenia, co skutkowało wydłużeniem czasu oczekiwania na pojazd oraz samej podróży.

Przeprowadzone badania jednoznacznie wskazują na konieczność koordynacji i regulacji wprowadzania pojazdów autonomicznych na drogi. Wydaje się, że najkorzystniejsze jest wprowadzenie usług autonomicznej mobilności na żądanie i jej ewentualne zintegrowanie z istniejącymi systemami transportu publicznego do obsługi dużych potoków pasażerskich (np. metro czy kolej miejska), co zostało przedstawione w [D69]. Jeśli jednak pozostaniemy przy modelu posiadania własnego samochodu, również wtedy niezbędne będą działania zmierzające m.in. do uregulowania kwestii parkowania i ograniczenia pustych przejazdów.

Przedstawione w tym punkcie prace dotyczyły miasta Berlin. Uczestniczyłem także w badaniach symulacyjnych dla miast Braunschweig i Wolfsburg (dla VW) [C62, II.J], Melbourne (dla KPMG Australia) [II.J] czy San Francisco (dla University of California, Davies) [D77]. Również na przestrzeni kilku ostatnich lat udzielałem pomocy merytorycznej przy wielu projektach z obszaru usług autonomicznej mobilności na żądanie realizowanych z wykorzystaniem autorskiej metody symulacji (modułu DVRP) i algorytmów marszrutyzacji w wielu renomowanych ośrodkach naukowych (m.in.

---

<sup>5</sup> Wyniki dostępne online: [www.linkedin.com/pulse/dynamic-route-optimisation-large-autonomous-vehicle-maciejewski/](http://www.linkedin.com/pulse/dynamic-route-optimisation-large-autonomous-vehicle-maciejewski/)

University of Stanford, TU Delft, University of Melbourne, ETH Zurich, Tel Aviv University, University of Texas, New York University, University of Chile).

Poza publikacjami i wystąpieniami konferencyjnymi rezultaty prowadzonych prac przedstawiałem podczas następujących wykładów zapraszanych:

- Autonomous vehicles and the future of urban transport. Wykład w ramach przedmiotu „Information and Operations Management for Transportation Systems” dla studentów kierunku „Business Administration” na Europe University Viadrina, Frankfurt nad Odrą, 23.05.2017.
- Autonomous vehicles and urban mobility – ISCI Seminar. Complex Engineering Systems Institute, University of Chile, Santiago, Chile, 5.12.2017.

#### – Podsumowanie osiągnięcia naukowego

W skład prezentowanego osiągnięcia naukowego pt. „Modelowanie, symulacja i optymalizacja usług autonomicznej mobilności na żądanie”, stanowiącego znaczny wkład w rozwój dyscypliny naukowej Transport, wchodzi:

- Opracowanie metody mikroskopowej symulacji usług mobilności na żądanie, która umożliwia prowadzenie symulacyjnych badań nad koncepcjami z obszaru MaaS. Opracowana metoda wraz z jej komputerową implementacją jest odpowiedzią na brak kompleksowych rozwiązań pozwalających na prowadzenie badań nad usługami mobilności w środowisku symulacyjnym możliwie wiernie odzwierciedlającym świat rzeczywisty. Potwierdzeniem nowatorskości i użyteczności zaproponowanej metody są jej liczne zastosowania przez uznane ośrodki naukowe i przedsiębiorstwa na całym świecie.
- Opracowanie zbioru algorytmów dynamicznej marszrutyzacji pojazdów dla wybranych rodzajów usług mobilności (także autonomicznej) na żądanie. Opracowane algorytmy i ich implementacja komputerowa pozwalają na efektywną marszrutyzację pojazdów w problemach o bardzo dużej skali (m.in. dynamiczna marszrutyzacja 100 tysięcy taksówek autonomicznych obsługujących 2,5 miliona zleceń dziennie). Stworzone algorytmy zostały zastosowane przez naukowców oraz praktyków w badaniach symulacyjnych nad różnymi wariantami usług taksówkowych, współdzielonych taksówek czy autobusów na żądanie, co dowodzi ich pozytywnej oceny i przydatności w prowadzeniu badań w obszarze transportu.
- Symulacyjna ocena efektów wprowadzenia usług autonomicznej mobilności na żądanie. W tym celu, poza zastosowaniem opracowanej metody mikroskopowej symulacji i algorytmów dynamicznej marszrutyzacji pojazdów, rozszerzono model kolejkowy przepływu ruchu o pojazdy autonomiczne, co stanowi oryginalne dokonanie. Prezentowane prace są pierwszymi badaniami na świecie, w ramach których przeprowadzono wielkoskalowe symulacje usług autonomicznej mobilności na żądanie (np. dla całych aglomeracji miejskich) przy jednoczesnym zachowaniu odpowiednio wysokiego poziomu szczegółowości modelu.

#### – Rezultaty praktyczne

Rezultaty praktyczne przeprowadzonych badań to przede wszystkim komputerowe implementacje: metody mikroskopowej symulacji, algorytmów marszrutyzacji pojazdów oraz modelu przepływu

ruchu dla pojazdów autonomicznych, będące moim oryginalnym wkładem w rozwój dyscypliny naukowej Transport.

Poza opisanym modułem DVRP, który w połączeniu z platformą MATSim stanowi system do symulacji szeroko rozumianych dynamicznych usług transportowych, stworzone zostały (bezpośrednio związane z opisywanym osiągnięciem naukowym) moduły Taxi i DRT (zawierające m.in. implementacje algorytmów) oraz moduł AV (zawierający m.in. model przepływu ruchu pojazdów autonomicznych). Skrócony opis funkcjonalności modułów zamieszczono poniżej (wraz z odnośnikami do załącznika 3, gdzie zawarto bardziej szczegółowy opis osiągnięć).

#### 1. **DVRP (Dynamic Vehicle Routing Problem) [B1]**

Moduł umożliwiający przeprowadzenie mikroskopowej symulacji szeroko rozumianych dynamicznych usług transportowych. Głównym celem modułu DVRP jest wsparcie prac koncepcyjnych nad innowacyjnymi usługami transportowymi, ze szczególnym naciskiem na rozwój algorytmów dynamicznej optymalizacji, które mogą być następnie wykorzystane do zarządzania rzeczywistą flotą pojazdów.

#### 2. **Taxi [B2]**

Moduł umożliwiający symulacje usług taksówkowych z wykorzystaniem szeregu algorytmów optymalizacyjnych: od szybkich algorytmów regułowych pozwalających na optymalizację tras dla setek tysięcy taksówek po zaawansowane algorytmy bazujące na problemie przydziału czy programowaniu matematycznym całkowitoliczbowym. Moduł zawiera także algorytmy zarządzania flotą elektrycznych taksówek, dla których, poza harmonogramowaniem zadań przewozowych, przeprowadzane jest planowanie ładowania akumulatorów (wraz z przydziałem do stacji ładowania).

#### 3. **DRT (Demand-Responsive Transport) [B3]**

Moduł umożliwiający symulację usług transportu na żądanie realizowanych w oparciu o współdzielone taksówki czy mikro-/minibusy. Stworzone algorytmy pozwalają na znajdowanie efektywnych kosztowo (wg zadanego kryterium) tras, podczas których przejazdy mogą być współdzielone przez pasażerów o różnych miejscach początku i/lub końca podróży, przy założeniu, że nie przekroczone zostaną ograniczenia maksymalnego czasu przejazdu czy oczekiwania na pojazd. Dodatkowo możliwa jest proaktywna relokacja pustych pojazdów (tzw. rebalansowanie floty) do obszarów z prognozowanym niedoborem pojazdów. Moduł zawiera także warianty algorytmów zarządzania flotą elektryczną, gdzie poza harmonogramowaniem zadań przewozowych przeprowadzane jest planowanie ładowania akumulatorów (wraz z przydziałem do stacji ładowania).

#### 4. **AV (Autonomous Vehicle) [B4]**

Moduł umożliwiający modelowanie i symulację przepływu ruchu pojazdów autonomicznych w sieci drogowej. Moduł zawiera autorski kolejkowy model przepływu ruchu dla potoków autonomicznych i mieszanych. Moduł pozwala także na modelowanie ograniczeń maksymalnej prędkości ruchu dla pojazdów autonomicznych. Kolejną funkcjonalnością modułu jest wsparcie dla symulacji intermodalnych, gdzie przejazdy pojazdami autonomicznymi dotyczą tzw. pierwszej i ostatniej mili.

Powyższe moduły zostały stworzone jako oprogramowanie open-source opublikowane pod licencją GNU General Public License (tak jak platforma MATSim) i są dostępne do pobrania w serwisie GitHub (adresy do kodu źródłowego w serwisie GitHub podane zostały w załączniku 3).

#### – Wykorzystanie wyników

Efekty prowadzonych prac badawczych w postaci modeli, metod symulacyjnych i algorytmów optymalizacyjnych zostały zaimplementowane w postaci wymienionych we wcześniejszym punkcie modułów i znalazły liczne zastosowania w pracach nad szeroko rozumianymi nowoczesnymi dynamicznymi usługami transportowymi. Dzięki otwartości kodu oraz braku narzędzi o zbliżonej funkcjonalności, systematycznie rośnie popularność i liczba zastosowań stworzonego oprogramowania.

W ostatnich latach stworzone moduły zostały zastosowane do symulacji i optymalizacji następujących nowoczesnych usług transportowych oraz modeli zachowań podróżujących:

- usługi taksówkowe: autonomiczne taksówki, współdzielone taksówki, elektryczne taksówki oraz warianty mieszane (np. współdzielone autonomiczne elektryczne taksówki);
- autobusy na żądanie, w tym autonomiczne autobusy, elektryczne autobusy, autonomiczne elektryczne autobusy;
- PRT (*Personal Rapid Transit*, szybki transport indywidualny);
- krótkoterminowy wynajem samochodów (*carsharing*);
- poszukiwanie miejsca parkingowego: samochody tradycyjne, samochody autonomiczne;
- dostawy towarów autonomicznymi pojazdami;
- UAM (*Urban Air Mobility*, miejska mobilność powietrzna).

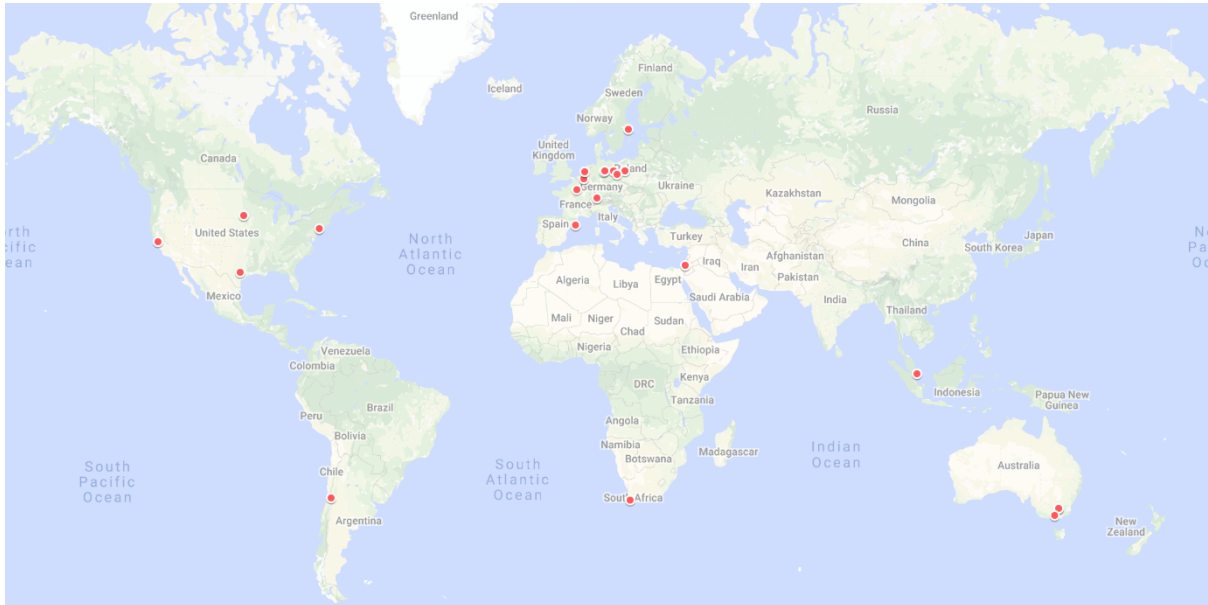
Niekompletna<sup>6</sup> lista miast, dla których realizowano badania symulacyjne z wykorzystaniem stworzonego oprogramowania:

- Poznań
- Berlin
- Barcelona
- Sztokholm
- Tel Awiw
- Leuven
- Braunschweig i Wolfsburg
- Yarrowonga-Mulwala
- Melbourne
- Singapur
- Zurych
- Paryż
- Nowy Jork
- Austin
- Santiago

---

<sup>6</sup> Z uwagi na dostęp do oprogramowania w modelu open-source, każdy może je pobrać i wykorzystać bez mojej wiedzy. Dlatego przedstawione w tym punkcie zestawienia są niekompletne – stworzyłem je na podstawie publikacji oraz korespondencji i bezpośrednich kontaktów z osobami realizującymi te prace.

- Sioux Falls
- Amsterdam
- Cottbus
- San Francisco
- Cape Town
- Rouen.



*Rys. 2. Miasta dla których zbudowano modele dynamicznych usług transportowych z wykorzystaniem stworzonego oprogramowania (interaktywna mapa: [bit.ly/2XsJ8E3](http://bit.ly/2XsJ8E3))*

Niekompletna lista uniwersytetów i ośrodków badawczych, które stosowały stworzone moduły:

- Politechnika Poznańska
- TU Berlin
- German Aerospace Center (DLR)
- Polytechnic University of Catalonia
- CERTH - Greek Centre for Research & Technology
- University of Melbourne
- Swinburne University
- University of Hasselt
- ETH Zurich
- TU Braunschweig
- MIT – SMART Singapore
- Stanford University
- University of Texas
- New York University
- FCL Singapore
- TU Delft
- UC Davies
- Université Paris-Saclay



- Austrian Institute of Technology.

Niekompletna lista przedsiębiorstw, które stosowały stworzone moduły:

- Audi
- Volkswagen
- BMW
- Daimler
- Renault
- Airbus
- KPMG Australia
- Berlin Transport Company
- Senozon
- InnoZ
- Simunto
- IRT SystemX
- Transport Foundry.

Kolejnym zastosowaniem powstałego modułu DVRP jest jego wykorzystanie w symulatorze AMoDeus. Symulator ten będzie wykorzystany w ramach AI Driving Olympics do oceny algorytmów marszrutyzacji autonomicznych taksówek w konkurencji „Autonomous Mobility on Demand” podczas ICRA 2019, jednej z najważniejszych światowych konferencji w obszarze robotyki.

Zdobyty w trakcie realizacji prac „know-how” w zakresie modelowania, symulacji i optymalizacji dynamicznych usług transportowych znalazły także zastosowanie niezwiązane z platformą MATSim. Bazując na zdobytej wiedzy i doświadczeniach realizuję obecnie następujące projekty dla biznesowych partnerów:

- „Autonomous All-Electric Vehicle Fleet Optimization” dla Einride<sup>7</sup> – szwedzki startup, który produkuje autonomiczne elektryczne samochody ciężarowe. Jestem autorem tworzonego oprogramowania optymalizującego trasy i ładowanie pojazdów.
- „Dynamic Route Optimization API” dla GraphHopper<sup>8</sup> – niemiecki startup oferujący planowanie i optymalizację tras jako usługę online dla setek klientów na całym świecie. Jestem autorem nowo tworzonej usługi dynamicznej optymalizacji tras pojazdów.

---

<sup>7</sup> [www.einride.tech](http://www.einride.tech)

<sup>8</sup> [www.graphhopper.com](http://www.graphhopper.com)

## 5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych

### a) Elektromobilność

W obszarze elektromobilności zajmuję się kilkoma obszarami tematycznymi. Pierwszy z nich dotyczy zagadnień marszrutyzacji pojazdów elektrycznych, drugi – optymalizacji infrastruktury ładowania, natomiast trzeci – modelowania procesów zużycia energii oraz ładowania akumulatorów pojazdów elektrycznych.

W latach 2012-2015, kierując projektem NCBiR „eTaxi: System symulacyjny dla zrównoważonego zarządzania mieszaną elektryczną i spalinową flotą taksówek” [II.J.1] realizowanym przez konsorcjum złożonym z Politechniki Poznańskiej i Politechniki Krakowskiej, kierowałem pracami zespołu badawczego w wyżej wymienionych trzech obszarach.

W latach 2013-2015 uczestniczyłem w projekcie dotyczącym symulacji elektrycznych taksówek w Berlinie realizowanym przez TU Berlin i DLR (German Aerospace Center). Projekt był sfinansowany przez Einstein Foundation Berlin [II.J], a moim obszarem badań były zagadnienia marszrutyzacji elektrycznych taksówek oraz lokalizacji stacji ładowania.

W roku 2018 realizowałem prace z tego zakresu dla Politechniki Śląskiej w ramach projektu ERA NET Electric Mobility Europe pt. „Electric Travelling: Platform to support the implementation of electromobility in Smart Cities based on ICT applications” realizowanym wspólnie z Saitec Engineering, TU Delft, Budapest University of Technology and Economics [III.J]. Moim zadaniem było modelowanie procesów ładowania i rozładowywania akumulatorów.

W latach 2018-2020 uczestniczę w projekcie realizowanym przez TU Berlin i Lund University “IDEAS: Understanding the impact of the deployment of ERS with the help of agent-based transport simulations” finansowanym przez Swedish Electromobility Centre [III.K], w ramach którego rozszerzam moduł EV [B4] o nowe funkcjonalności oraz modele pojazdów i ładowarek.

Jestem autorem algorytmów optymalizujących marszruty i harmonogramujących ładowanie dla elektrycznych taksówek (dostępne w module Taxi [B2]) oraz elektrycznych taksówek współdzielonych i autobusów na żądanie (dostępne w module DRT [B3]). Algorytmy te zostały przedstawione w [C43, D65, D68].

Prowadziłem prace nad oszacowaniem zapotrzebowania na infrastrukturę ładowania dla flot elektrycznych pojazdów [C50], a także opracowałem algorytmy dla problemu optymalnej lokalizacji stacji ładowania pojazdów [C48]. Uczestniczyłem także w pracach nad opracowaniem strategii wdrożenia taksówek elektrycznych w miastach [C50, C58].

Uczestniczę w badaniach nad budową modeli energochłonności ruchu pojazdów elektrycznych na potrzeby symulacji flot elektrycznych. Zaproponowałem koncepcję odcinkowej estymacji konsumpcji energii zgodnie z odcinkami sieci drogowej w celu przejścia ze skali mikroskopowej do mezoskopowej [C56, D66] oraz uczestniczyłem w analizie wyników i weryfikacji modelu konsumpcji energii [C61]. Prace te są bezpośrednio związane z przewodem doktorskim Bartłomieja Ohde (Politechnika Poznańska), w którym jestem promotorem pomocniczym [III.K].

Jestem ekspertem w programie ERA-NET Cofund Electric Mobility Europe (2016-2021). Moim zadaniem było zdefiniowanie obszaru „Smart mobility concepts and ICT applications” na potrzeby konkursu Electric Mobility Europe Call 2016 (1 z 5 obszarów badawczych objętych konkursem) [III.A.8, III.N.1].

W roku 2015 wygłosiłem wykład zapraszany na Freie Universität Berlin (Department of Information Systems, School of Business and Economics) wykład pt. „From taxi FCD to microscopic simulation of electric taxis” [III.I].

Od roku 2018 tworzę autorskie oprogramowanie optymalizujące trasy i ładowanie pojazdów dla autonomicznych elektrycznych pojazdów ciężarowych produkowanych przez Einride.

### b) Modelowanie i symulacja ruchu drogowego

W obszarze symulacji ruchu drogowego moje badania dotyczyły modelowania mikro- i mezoskopowego przepływu ruchu i ich kalibracji oraz wykorzystania na potrzeby modeli energochłonności ruchu, szacowania czasów przejazdu czy emisji zanieczyszczeń.

W badaniach nad mikrosymulacją wykorzystywałem różne systemy symulacyjne: TRANSIMS [C20, C23], SUMO [C22], VISSIM [C24] oraz TRITONE[C38]. Prowadziłem analizy porównawcze modeli mikroskopowych [C9, C38] oraz mikrosymulatorów [C19]. W roku 2010 odbyłem staż szkoleniowy w PTV Planung Transport Verkehr AG, Karlsruhe [III.A].

W pracach nad modelami mezoskopowymi skupiłem główną uwagę na modelach kolejkowych, m.in. wykorzystywanych w MATSim. Prowadziłem prace nad ich kalibracją parametryczną [C28], kompensacją ruchu pojazdów transportu zbiorowego w przypadku tzw. podpróbekowanych symulacji [D73], a także dodaniem modelu pojazdów autonomicznych o zwiększonej płynności ruchu [A10] stanowiącego element modułu AV [B4], co zostało omówione szerzej w pkt. 4 autoreferatu.

Zajmowałem się także zagadnieniami związanymi z wykorzystaniem symulacji mikroskopowej do poprawy skuteczności programów sygnalizacji świetlnej [C18, C30, C33] oraz symulacji emisji i dyspersji zanieczyszczeń [C13, C15, C54, C55].

W latach 2012-2016 kierowałem pracami zespołu nad budową modelu 24-godzinnej wieloagentowej mikroskopowej symulacji ruchu drogowego dla aglomeracji poznańskiej w MATSim [C45, C46]. Budowa modelu była wieloetapowa. W pierwszej kolejności stworzono sieć drogową w oparciu o dane OSM (*OpenStreetMap*) [C32]. Następnie przekształcono makroskopowy popyt na podróże do mikroskopowych łańcuchów aktywności [C34]. W celu osiągnięcia większej precyzji w odniesieniu do lokalizacji miejsc aktywności agentów, zastosowano dane GIS o zagospodarowaniu przestrzennym także pochodzące z OSM [C37]. Opis modelu aglomeracji poznańskiej został także opublikowany jako rozdział [C60] oficjalnej książki o platformie MATSim (wydanej przez jej twórców).

W trakcie pracy na Politechnice Poznańskiej oraz TU Berlin byłem opiekunem staży zagranicznych naukowców realizujących prace w obszarze makrosymulacji [III.Q]: dr Vincenzo Pasquale Giofre z University of Calabria (symulacja mikroskopowa), dr Andrey Shabalov z Tel Aviv University (budowa modeli ruchu w MATSim) oraz Golan Ben-Dor z Tel Aviv University (symulacja transportu zbiorowego w MATSim).

W latach 2013-2014 uczestniczyłem w pracach zespołu badawczego realizującego plan zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego dla Urzędu Marszałkowskiego Województwa Wielkopolskiego [II.J].

### c) Optymalizacja strategiczna w transporcie

Poza zagadnieniami dotyczącymi operacyjnego zarządzania flotą (pkt. 4), uczestniczyłem w pracach nad optymalizacją strategiczną dla planowania o długim horyzoncie czasu. Jednym z zagadnień był przedstawiony w pkt. 5.a problem optymalnej lokalizacji stacji ładowania pojazdów [C48, C50].

Kolejnym zagadnieniem był problem kompozycji taboru, dla którego rozwiązania opracowałem hybrydowy algorytm genetyczny [C31]. Uczestniczyłem także w pracach nad optymalizacją sieci recyklingu pojazdów, na potrzeby której opracowałem algorytmy ewolucyjne [C39].

#### d) Dynamika pojazdów

Dynamiką pojazdów zajmowałem się głównie do roku 2009. Większość realizowanych badań dotyczyła tematyki półaktywnych zawiesznień i była związana z moją rozprawą doktorską [C11]. Badałem zagadnienia związane z identyfikacją parametryczną modelu zawieszenia pojazdu [C7, C8] oraz modelu stanowiska badawczego dla zawiesznień [C10, C14]. Stworzone modele były następnie wykorzystane w pracach nad sterownikami zawieszenia półaktywnego [C17, C25]. Prowadzone prace badawcze były realizowane w ramach wspólnych projektów Politechniki Poznańskiej i Solaris Bus&Coach [II.J].

Uczestniczyłem w pracach zespołu Politechniki Poznańskiej i Solaris Bus&Coach nad skonstruowaniem pierwszego w Europie seryjnie produkowanego autobusu o napędzie hybrydowym, Solaris Urbino 18 Hybrid, za co otrzymałem nagrodę zespołową Marszałka Województwa Wielkopolskiego w konkursie „i-Wielkopolska – Innowacyjni dla Wielkopolski” w 2008 roku.

#### e) Podsumowanie osiągnięć

- 67 publikacji, w tym 4 w czasopismach z listy JCR (sumaryczny IF: 8,248) [II.G], liczba cytowań publikacji: 567 (Google Scholar) i 83 (Web of Science) [II.H], indeks Hirscha: 14 (GS) i 5 (WoS) [II.I]; dane bibliometryczne z obu systemów zostały zamieszczone na rys. 3 i 4;
- kierownik 2 projektów NCBiR (PBS 1 oraz ERA NET ENT III) [II.J] oraz programów wymiany naukowców (DAAD Ostpartnerschaften) [III.F];
- uczestnik programów i projektów europejskich [II.J, III.A];
- ekspert w programach ERA-NET Cofund Electric Mobility Europe oraz European Cooperation in Science and Technology (COST), ekspert NCBiR [III.N, III.O];
- międzynarodowa współpraca naukowa z wieloma ośrodkami naukowymi, liczne wspólne publikacje z naukowcami z: TU Berlin, ETH Zurich, Tel Aviv University, German Aerospace Centre, Hasselt University, Centre for Research and Technology Hellas, Polytechnic University of Catalonia, University of California (Davies), Lund University [III.F];
- współpraca z przemysłem – wspólne projekty badawcze i prace zleczone (m.in. Volkswagen, Audi, BMW, KPMG, Senozon, Simunto, Berlin Transport Company) [II.J];
- uczestnik staży naukowych i szkoleniowych (TU Berlin, ETH Zurich, University of Chile, PTV) [III.L];
- opiekun staży zagranicznych naukowców na Politechnice Poznańskiej i TU Berlin [III.Q];
- promotor pomocniczy w przewodzie doktorskim Bartłomieja Ohde (Politechnika Poznańska), konsultant przy realizacji zagranicznych prac doktorskich i dyplomowych z wykorzystaniem stworzonego oprogramowania [III.J, III.K];
- członek komitetów programowych i organizacyjnych międzynarodowych konferencji oraz przewodniczący sesji na konferencjach w Polsce i zagranicą [III.B, III.C];

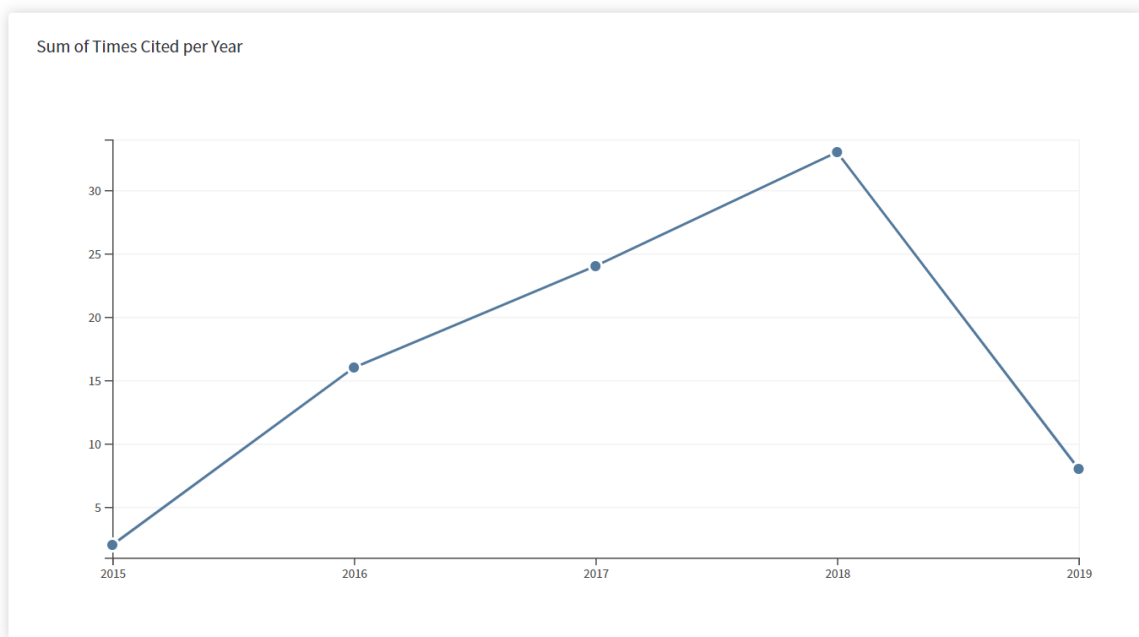
- prelegent na zagranicznych wykładach zapraszanych [III.I];
- recenzent wielu czasopism naukowych, w tym 10 z listy JCR, oraz 5 serii wydawniczych wydawnictwa Springer [III.P];
- stypendysta Fundacji DAAD [II.K];
- laureat nagród za działalność naukową oraz dydaktyczną [II.K, III.D].

You searched for: Article Group for: Maciejewski, Michal ...[More](#)

This report reflects citations to source items indexed within Web of Science Core Collection. Perform a Cited Reference Search to include citations to items not indexed within Web of Science Core Collection.

Export Data: Save to Excel File

<p>Total Publications </p> <p><b>13</b> <a href="#">Analyze</a></p> <p>1999 2018</p>	<p><i>h</i>-index </p> <p><b>5</b></p> <p>Average citations per item</p> <p><b>6.38</b></p>	<p>Sum of Times Cited </p> <p><b>83</b></p> <p>Without self citations</p> <p><b>63</b></p>	<p>Citing articles </p> <p><b>63</b> <a href="#">Analyze</a></p> <p>Without self citations</p> <p><b>55</b> <a href="#">Analyze</a></p>
--	---	--	---



Sort by: Times Cited Date More

◀ 1 of 2 ▶

	2015	2016	2017	2018	2019	Total	Average Citations per Year
Use the checkboxes to remove individual items from this Citation Report							
or restrict to items published between <input type="text" value="1945"/> and <input type="text" value="2019"/> <input type="button" value="Go"/>							
<input type="checkbox"/>	2	16	24	33	8	83	16.60
1. <a href="#">An Assignment-Based Approach to Efficient Real-Time City-Scale Taxi Dispatching</a> By: Maciejewski, Michal; Bischoff, Joschka; Nagel, Kai IEEE INTELLIGENT SYSTEMS Volume: 31 Issue: 1 Pages: 68-77 Published: JAN-FEB 2016	0	5	8	8	3	24	6.00

Rys. 3. Dane bibliometryczne z Web of Science





Michał Maciejewski

FOLLOWING

Transport System Planning and Telematics, TU Berlin

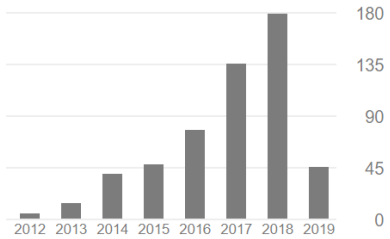
Verified email at vsp.tu-berlin.de

vehicle routing DRT e-mobility autonomous vehicles traffic simulation

TITLE	CITED BY	YEAR
Simulation of city-wide replacement of private cars with autonomous taxis in Berlin J Bischoff, M Maciejewski Procedia computer science 83, 237-244	74	2016
An assignment-based approach to efficient real-time city-scale taxi dispatching M Maciejewski, J Bischoff, K Nagel IEEE Intelligent Systems 31 (1), 68-77	42	2016
Towards multi-agent simulation of the dynamic vehicle routing problem in matsim M Maciejewski, K Nagel International Conference on Parallel Processing and Applied Mathematics, 551-560	42	2011
Simulation and dynamic optimization of taxi services in MATSim M Maciejewski, K Nagel VSP Working Paper 13-0. TU Berlin, Transport Systems Planning and Transport ...	37	2013
A comparison of microscopic traffic flow simulation systems for an urban area M Maciejewski Transport Problems 5, 27-38	34	2010
Analysis of Berlin's taxi services by exploring GPS traces J Bischoff, M Maciejewski, A Sohr 2015 International conference on models and technologies for intelligent ...	33	2015
Congestion effects of autonomous taxi fleets M Maciejewski, J Bischoff	26	2016
Autonomous taxicabs in Berlin—a spatiotemporal analysis of service performance J Bischoff, M Maciejewski Transportation Research Procedia 19, 176-186	24	2016
Agent-based simulation of electric taxicab fleets J Bischoff, M Maciejewski	23	2014
Towards a testbed for dynamic vehicle routing algorithms M Maciejewski, J Bischoff, S Hörli, K Nagel International Conference on Practical Applications of Agents and Multi-Agent ...	22	2017
Large-scale microscopic simulation of taxi services M Maciejewski, J Bischoff Procedia Computer Science 52, 358-364	22	2015
Dynamic Transport Services M Maciejewski Horni, A, Nagel, K and Axhausen, K W. (eds.) The Multi-Agent Transport ...	20	2016
Heuristic approach to fleet composition problem A Redmer, J Żak, P Sawicki, M Maciejewski Procedia-Social and Behavioral Sciences 54, 414-427	15	2012
The influence of multi-agent cooperation on the efficiency of taxi dispatching M Maciejewski, K Nagel International Conference on Parallel Processing and Applied Mathematics, 751-760	14	2013
Large-scale microscopic simulation of taxi services. Berlin and Barcelona case studies M Maciejewski, JM Salanova, J Bischoff, M Estrada	12	2016

Cited by VIEW ALL

	All	Since 2014
Citations	567	525
h-index	14	13
i10-index	16	16

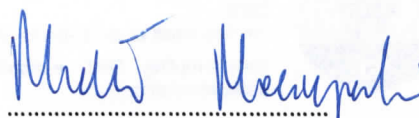


Co-authors EDIT

- Joschka Bischoff  
Verkehrssystemplanung und Ver...
- Kai Nagel
- Grzegorz Ślaski  
Poznan University of Technology...
- Agnieszka Merkisz-Guranowska  
Politechnika Poznańska
- Josep Maria Salanova Grau  
Associate researcher, Center for ...
- Miquel Estrada  
Associate professor at UPC Barc...
- Sebastian Hörli  
ETH Zurich, IVT
- Kay Axhausen  
Professor for Transport Planning,...
- Andreas Horni  
Dr. of Science, ETH Zürich, MSc ...
- Adam Redmer  
Adiunkt logistyki, Politechnika Po...
- Piotr Sawicki  
Politechnika Poznańska, Zakład ...
- Ihab Kaddoura  
Transport System Planning and ...
- Iraklis Stamos  
Urban Innovative Actions
- Panagiotis Tzenos  
Software Developer, Hellenic Ins...
- Stanislaw Osinski  
Carrot Search
- Vincenzo Pasquale Giofrè  
Postdoctoral Research, Universit...
- Cezary Mazurek  
Poznan Supercomputing and Ne...
- Vittorio Astarita  
Università della Calabria
- Ninja Soeffker  
Technische Universität Braunsch...
- Davy Janssens

Rys. 4. Dane bibliometryczne z Google Scholar

Poznań, 26 kwietnia 2019

  
.....  
Michał Maciejewski