

# **Załącznik 3**

---

## **Autoreferat**

przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych, w szczególności określonych w art. 16 ust. 2 Ustawy

dr inż. Andrzej Czerepicki  
Politechnika Warszawska  
Wydział Transportu

Warszawa, wrzesień 2018  
(plik hab\_03\_autoreferat\_pl.pdf)

## Spis treści

<b>1. Imię i nazwisko.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe .....</b>	<b>3</b>
<b>3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych .....</b>	<b>3</b>
<b>4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego 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. nr 65, poz. 595 ze zm.) .....</b>	<b>4</b>
<b>4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego .....</b>	<b>4</b>
<b>4.2. Wykaz prac stanowiących osiągnięcie naukowe.....</b>	<b>5</b>
<b>4.3. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich wykorzystania .....</b>	<b>5</b>
<b>4.3.1. Cel naukowy badań przedstawionych do oceny.....</b>	<b>5</b>
<b>4.3.2. Omówienie osiągniętych wyników badań .....</b>	<b>7</b>
<b>4.3.3. Sposób wykorzystania osiągniętych wyników badań ....</b>	<b>20</b>
<b>5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych ....</b>	<b>22</b>
<b>5.1. Działalność naukowo-badawcza, dydaktyczna i organizacyjna przed uzyskaniem stopnia doktora nauk technicznych (1995 – 1999) .....</b>	<b>22</b>
<b>5.2. Działalność naukowo-badawcza prowadzona po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych (2000 – 2018).....</b>	<b>23</b>
<b>5.3. Działalność dydaktyczna prowadzona po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych (2000 – 2018).....</b>	<b>23</b>
<b>5.4. Działalność organizacyjna prowadzona po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych (2000 – 2018).....</b>	<b>24</b>
<b>5.5. Współpraca z przemysłem prowadzona po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych (2000 – 2018).....</b>	<b>25</b>

## 1. Imię i nazwisko

Andrzej Czerepicki

## 2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe

20 grudnia 1999

Stopień **doktora nauk technicznych** w dyscyplinie Informatyka.

Rozprawa pt. „**Badanie i opracowanie struktur budowy i algorytmów sterowania bazą danych słowników komputerowych**” obroniona 20 grudnia 1999 r. na

Wydziale Technologii Komputerowych oraz Informatyki Państwowego Uniwersytetu Elektrotechniczny w Sankt-Petersburgu "LETI"

Promotor: prof. dr inż. Aleksy Sołodownikow.

7 lutego 1995

Stopień zawodowy **inżyniera ds. badawczych** w zakresie Informatyki (dyplom z wyróżnieniem) uzyskany na Wydziale Technologii Komputerowych oraz Informatyki Państwowego Uniwersytetu Elektrotechniczny w Sankt-Petersburgu "LETI"

Promotor: prof. nzw. dr hab. inż. Aleksander Timofiejew

## 3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

od 10.2012

**Adiunkt na Wydziale Transportu Politechniki Warszawskiej**

ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

10.2011– 08.2013

Adiunkt na Wydziale Menedżerskim Wyższej Szkoły Menedżerskiej w Warszawie

ul. Kawęczyńska 36, 03-772 Warszawa.

03.2009 – 09.2010

Prodziekan Wydziału Informatyki Stosowanej Wyższej Szkoły Menedżerskiej w Warszawie, ul. Kawęczyńska 36, 03-772 Warszawa.

10.2007 – 09.2011

Adiunkt na Wydziale Informatyki Stosowanej Wyższej Szkoły Menedżerskiej w Warszawie, ul. Kawęczyńska 36, 03-772 Warszawa.

## **4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego 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. nr 65, poz. 595 ze zm.)**

### **4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego**

Moim osiągnięciem naukowym, uzyskanym po otrzymaniu stopnia doktora nauk technicznych i stanowiącym istotny wkład w rozwój dyscypliny naukowej „Transport” w rozumieniu art. 16 ust. 2 Ustawy, jest jednotematyczny cykl publikacji przedstawiający autorskie metody komputerowego modelowania systemów transportowych oraz wybrane aspekty ich praktycznej implementacji z wykorzystaniem współczesnych baz danych pt. **„Wybrane zagadnienia modelowania oraz projektowania informatycznych systemów transportowych z wykorzystaniem współczesnych baz danych”**.

Przedstawione do oceny osiągnięcie naukowe składa się z 10 publikacji, w tym 1 monografii autorskiej, 1 publikacji w czasopiśmie z listy „A” MNiSW, 1 publikacji w materiałach konferencyjnych indeksowanych w WebOfScience oraz 7 publikacji w czasopiśmie z listy „B”. Łączna liczba punktów publikacji przedstawionych do oceny wynosi 124 pkt., w tym mój wkład z uwzględnieniem procentowego udziału wynosi 99 pkt.

Włączone do cyklu publikacje zostały dobrane w ten sposób, aby przedstawić zarówno zagadnienia związane z analizą możliwości oraz potencjalnej efektywności zastosowania współczesnych systemów baz danych w transporcie, jak i aspekty związane z praktycznym zastosowaniem zaproponowanych metod w celu rozwiązania wybranych problemów transportowych, w zakresie m. innymi modelowania procesów eksploatacji pojazdów elektrycznych w komunikacji miejskiej.

Publikacje [1, 2] stanowią wstępną analizę możliwości i ewentualnych zakresów zastosowania baz danych NoSQL w transporcie. Pozycje [3,4] przedstawiają analizę efektywności wykorzystania grafowych baz danych w rozwiązaniu wybranych problemów transportowych oraz propozycje metod ich praktycznego zastosowania. Pozycja [5] oraz rozdział 3.3 monografii [6] demonstrują przykłady zastosowania grafowych baz danych do wyszukiwania najlepszej trasy przejazdu pojazdu w zadanych warunkach. W rozdziale 4.3 monografii [6] ujęto istotne aspekty modelowania ruchu autonomicznych pojazdów PRT realizowanego z zastosowaniem grafowej bazy danych. Publikacja [7] rozwija temat modelowania PRT w kierunku zastosowania platformy równoległych obliczeń CUDA w celu podniesienia wydajności modelowania. W pracach [8,9] oraz rozdziałach 4.1, 4.2 monografii [6] w sposób kompleksowy przedstawiono zagadnienia, związane z modelowaniem procesów eksploatacji pojazdów elektrycznych w komunikacji miejskiej. Zaproponowane przez autora podejście do oszacowania zużycia energii elektrycznej na miejskich trasach komunikacyjnych [rozdział 4.1 monografii 6] bazuje na komputerowej realizacji behawioralnego modelu baterii akumulatorowej opisanego w [8 ,9] i stanowi podstawę do budowy i analizy modelu systemu kolejkowego obsługi procesu ładowania pojazdów elektrycznych [rozdział 4.2 monografii 6]. Publikacja [10] opisuje system wykorzystany do pozyskania danych pomiarowych niezbędnych do budowy modelu baterii pojazdu. Efektywność podejścia zaproponowanego w pracach [8-9] oraz rozdziałach 4.1, 4.2 monografii [6] została potwierdzona praktycznym wdrożeniem w przedsiębiorstwie transportowym obsługującym stołeczną autobusową komunikację miejską.

Prace przedstawione w pkt. 4.2 autoreferatu zostały umieszczone w załączniku 8 oraz plikach na CD o nazwach hab\_08\_01.pdf ... hab\_08\_10.pdf.

## 4.2. Wykaz prac stanowiących osiągnięcie naukowe

1. **Czerepicki Andrzej:** Perspektywy zastosowania baz danych NoSQL w inteligentnych systemach transportowych, w: Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, nr 92, 2013, ss. 29-38, **7 pkt. MNiSW**
2. **Czerepicki Andrzej:** Possibilities for using NOSQL databases in information systems in transport, w: Logistics and Transport, The International University of Logistics and Transport in Wrocław, nr 3, 2016, ss. 45-50, **13 pkt. MNiSW**
3. **Czerepicki Andrzej:** Projektowanie transportowych systemów informatycznych z wykorzystaniem grafowej bazy danych, w: Logistyka: czasopismo dla profesjonalistów, Instytut Logistyki i Magazynowania, nr 4, 2014, ss. 1761-1766, **10 pkt. MNiSW**
4. **Czerepicki Andrzej:** Application of graph databases for transport purposes, in: Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Technical Sciences, PAN, vol. 64, nr 3, 2016, ss. 457-466, **20 pkt. MNiSW, IF(1,156)**
5. **Czerepicki Andrzej, Tomczuk Piotr, Chrzanowicz Marcin:** Analiza funkcjonalnych wymagań oraz projektowanie modelu danych informatycznego systemu zarządzania charakterystykami reklam drogowych, w: Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, nr 118, 2017, ss. 85-94, **7 pkt. MNiSW, udział 50%**
6. **Czerepicki Andrzej:** Wybrane zagadnienia zastosowań współczesnych baz danych w modelowaniu i symulacji systemów transportowych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2018, **25 pkt. MNiSW**
7. **Czerepicki Andrzej, Nikoniuk Marcin, Kozłowski Maciej:** Badanie wydajności zastosowania platformy CUDA w komputerowym modelowaniu ruchu pojazdów PRT, w: Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport, nr 119, 2017, ss. 41-51, **7 pkt. MNiSW, udział 70%**
8. **Koniak Marcin, Czerepicki Andrzej, Tomczuk Piotr, Şamşul Burak:** Simulation of the battery pack exploitation based on real measurement data of applied chemical cells, in: MATEC Web of Conferences, EDP Sciences, nr 77, 2016, ss. 1-5, DOI:10.1051/mateconf/20167712002, **15 pkt. MNiSW, udział 30%, WoS**
9. **Czerepicki Andrzej, Koniak Marcin, Kazinski Andrei:** Komputerowy system do modelowania procesów ładowania oraz rozładowania baterii jachtu napędzanego energią elektryczną, w: Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, nr 113, 2016, ss. 63-73, **7 pkt. MNiSW, udział 70%**
10. **Tomczuk Piotr, Czerepicki Andrzej, Koniak Marcin, Jaskowski Piotr:** The Design of the Telemetric System for Recording Operating Parameters of Electric Vehicles, in: Logistics and Transport, The International University of Logistics and Transport in Wrocław, vol. 33, nr 1, 2017, ss. 47-54, **13 pkt. MNiSW, udział 50%**

## 4.3. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich wykorzystania

### 4.3.1. Cel naukowy badań przedstawionych do oceny

Rozwój nowoczesnych środków transportu miejskiego jak np. systemy PRT (ang. *Personal Rapid Transport*), zwiększenie roli komunikacji miejskiej w dużych aglomeracjach

oraz jej stopniowe przestawienie na pojazdy o napędzie elektrycznym wymagają modelowania wybranych rozwiązań zanim zostaną one wdrożone w praktyce. Komputerowe modelowanie procesów transportowych w zakresie komunikacji miejskiej charakteryzuje się wysoką złożonością obliczeniową ze względu na dużą liczbę obiektów biorących udział w modelowaniu, skomplikowane reguły ich funkcjonowania oraz konieczność uwzględnienia na bieżąco dynamicznych zmian w systemie. Przykładem może służyć modelowanie procesów eksploatacji elektrycznych autobusów w komunikacji miejskiej, które składa się ze ściśle ze sobą powiązanych zadań modelowania zużycia energii elektrycznej na pokonanie trasy, prognozowania stanu akumulatora autobusu oraz modelowania procesu obsługi autobusów na krańcach tras.

Podstawę każdego współczesnego systemu modelowania stanowi baza danych. Wydajność modelowania procesów transportowych w znacznym stopniu zależy od efektywności przetwarzania danych w systemie. W ostatnich latach na rynku baz danych obserwowany jest intensywny rozwój modeli danych NoSQL stanowiących alternatywę dla klasycznych relacyjnych baz danych. Stanowi to inspirację do prowadzenia badań w zakresie możliwości oraz efektywności ich zastosowania w informatycznych systemach w transporcie.

Podstawowym **celem naukowym** przedstawionych do oceny prac jest **opracowanie metod komputerowego modelowania wybranych problemów transportowych w obszarze miejskiej komunikacji zbiorowej oraz infrastruktury drogowej z wykorzystaniem współczesnych baz danych.**

W ramach wyznaczonego celu pracy zostały wyodrębnione następujące zadania badawcze:

- przegląd współczesnych modeli baz danych w aspekcie ich potencjalnego wykorzystania w systemach informatycznych w transporcie, analiza ich silnych i słabych stron w celu zaproponowania dla każdego modelu funkcji pełnionej w transportowym systemie informatycznym,
- oszacowanie możliwości oraz efektywności zastosowania grafowego modelu danych w rozwiązaniu wybranych zadań z zakresu komunikacji miejskiej na podstawie analizy struktur danych oraz algorytmów funkcjonowania grafowej bazy danych, zaproponowanie reguł transformacji uniwersalnego logicznego modelu związków encji systemu na fizyczny model grafowej bazy danych oraz sformułowanie kwerend w deklaracyjnym języku zapytań realizujących istotne funkcje systemu,
- propozycja zastosowania zaproponowanych metod do rozwiązania wybranych zadań transportowych (wyszukiwarka połączeń w komunikacji miejskiej, rozwiązanie zadania transportowego typu „problem komiwojażera”, modelowanie ruchu pojazdów w systemie PRT, gromadzenie danych pomiarowych do analizy infrastruktury drogowej),
- budowa komputerowego modelu baterii pojazdu elektrycznego na podstawie charakterystyk eksploatacyjnych pojedynczego ogniwa uzyskanych w procesie eksperymentalnych pomiarów dla różnych trybów eksploatacji,
- propozycja metody komputerowego modelowania zużycia energii przez pojazd elektryczny na wybranej trasie, na podstawie przeprowadzonych pomiarów charakterystyk ruchu pojazdu oraz charakterystyk obciążenia baterii uzyskanych dla wzorcowych tras, oraz programowa realizacja metody w postaci aplikacji bazodanowej,
- budowa modelu systemu masowej obsługi procesu ładowania pojazdów elektrycznych na wybranych liniach komunikacji miejskiej, w celu oszacowania możliwości i warunków eksploatacji pojazdów o zadanych charakterystykach baterii oraz zużycia

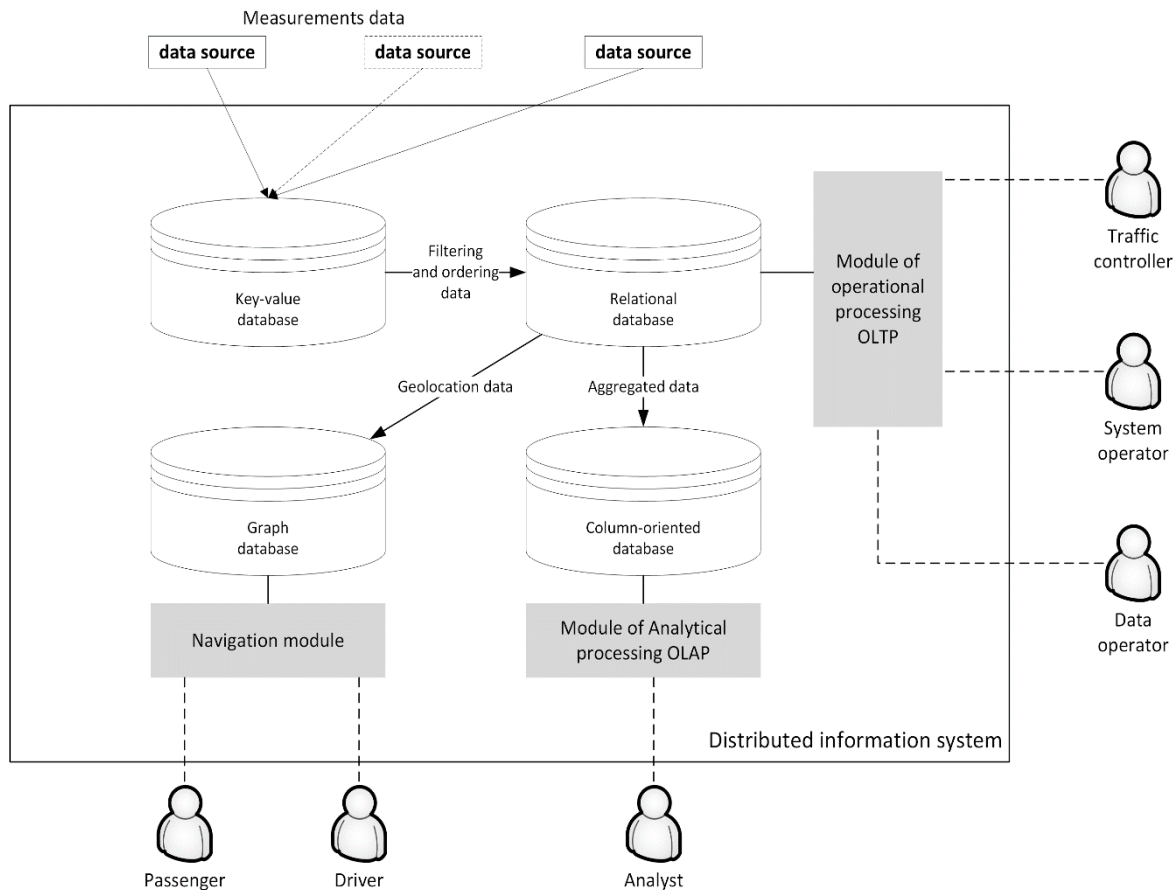
energii na trakcję, dla różnych konfiguracji punktów ładowania umieszczonych na krańcach trasy.

#### 4.3.2. Omówienie osiągniętych wyników badań

Współczesne tendencje rozwoju systemów informatycznych w transporcie można określić jako odejście od klasycznego schematu scentralizowanego systemu zarządzania na rzecz architektury rozproszonej, integrację różnorodnych systemów informatycznych oraz coraz większą rolę użytkownika końcowego jako dostawcy danych. Spowodowały one wzrost wymagań, przede wszystkim w zakresie wydajnej obsługi dużej liczby użytkowników, stabilnego świadczenia obszernej listy usług oraz przetwarzania coraz większych zbiorów danych. Bazy danych określane mianem NoSQL (ang. *Not only SQL*) stanowią dynamicznie rozwijający się nurt współczesnej technologii komputerowej. Zapotrzebowanie na inny niż relacyjny model danych wynika ze słabej poziomej skalowalności relacyjnych baz danych. Większość systemów baz danych zaliczanych do kategorii NoSQL powstała w przeciągu ostatnich kilku lat. Są to systemy od założeń projektowane z uwzględnieniem wysokich wymagań co do objętości przechowywanych danych oraz wydajności ich przetwarzania. Zastosowanie baz danych tego typu stanowi perspektywiczny kierunek rozwoju systemów informatycznych w transporcie.

W pracach [P1], [P2] sformułowano ogólną koncepcję zastosowania baz danych NoSQL we współczesnych systemach informatycznych w transporcie. Przedstawiono założenia modeli baz danych typu „klucz-wartość”, kolumnowego oraz grafowego. Omówiono zasady organizacji danych dla każdego modelu, przeanalizowano ich potencjalne wady oraz zalety w kontekście zastosowania we współczesnych systemach informatycznych w transporcie. Przedstawiono ogólną koncepcję systemu informatycznego ze wskazaniem obszarów wykorzystania poszczególnych baz danych NoSQL w takim systemie (rys. 1).

Grafy stanowią podstawową strukturę danych dla wielu współczesnych systemów informatycznych w transporcie. Efektywność działania algorytmów operujących na grafowych strukturach w znaczącym stopniu zależy od formy reprezentacji grafu w komputerze. Klasyczne relacyjne bazy danych nie oferują wbudowanych narzędzi do przechowania grafów. Zapis struktury grafu do tabeli w relacyjnej bazie danych wymaga dodatkowej konwersji struktury grafowej na relacyjną. W praktyce to prowadzi do wydłużenia operacji odczytu lub zapisu grafowych danych oraz skomplikowania algorytmów ich przetwarzania. Dlatego dalszą uwagę w badaniach skupiono na grafowym modelu danych [P3], [P4]. Grafowe bazy danych są dynamicznie rozwijającym się segmentem rynku współczesnych systemów informatycznych w zakresie przetwarzania silnie powiązanych danych. Istotną zaletą grafowego modelu danych stanowi dokładne odzwierciedlenie wewnętrznej struktury danych dla wielu systemów informatycznych w transporcie, w których naturalną formą reprezentacji danych jest graf: systemów nawigacji, systemów zarządzania komunikacją miejską, etc. Pozwala to na wykorzystanie potencjału grafowych baz danych do podniesienia wydajności wykonania istotnych funkcji systemu informatycznego przy jednoczesnym ułatwieniu projektowania warstwy danych.



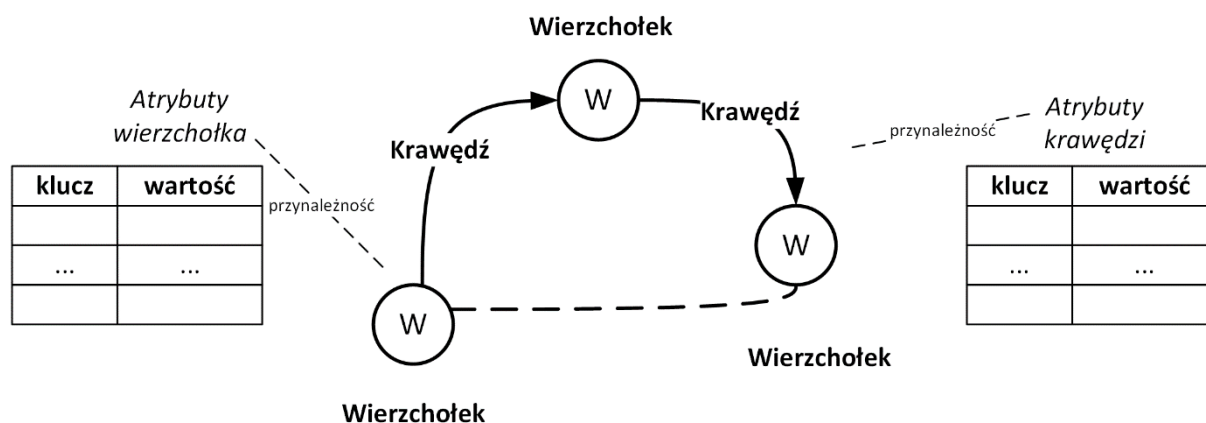
Rys. 1. Koncepcja rozproszonego systemu informatycznego wykorzystującego bazy danych NoSQL

W artykule [P3] dokonano przeglądu grafowego modelu danych, omówiono elementy jego struktury oraz wbudowane operacje. Wyróżniono cechy grafowego modelu istotne z punktu widzenia budowy systemów IT w transporcie. Zaproponowano strukturę grafowej bazy danych na potrzeby systemu informatycznego komunikacji miejskiej. Zademonstrowano podejście do realizacji operacji wyszukiwania połączeń pomiędzy przystankami z wykorzystaniem deklarytywnego języka zapytań grafowej bazy danych.

Artykuł [P4] wprowadza formalną definicję grafowego modelu danych. Podstawę modelu stanowi niespójny skierowany multigraf  $G = (W, K)$ , który składa się ze zbioru wierzchołków  $W = \{W_1, W_2, \dots, W_n\}$  oraz krawędzi  $K = \{K_1, K_2, \dots, K_m\}$  (rys. 2). Każdy wierzchołek  $W_i \in \{W\}$  reprezentuje obiektowy typ danych tj. należy do określonej klasy obiektów  $C_i \in \{C\}$ , gdzie  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_r\}$  stanowi zbiór wszystkich klas w bazie danych. Każda krawędź  $K_i \in \{K\}$  ma swój początek i koniec w postaci elementów należących do zbioru wierzchołków  $\{W\}$ . Wierzchołki oraz krawędzie mogą posiadać listy atrybutów  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_k\}$ . Atrybutem  $A_i \in \{A\}$  nazywa się para  $(k, v)$  gdzie  $k$  stanowi klucz atrybutu,  $v$  – jego wartość. Zarówno  $k$  jak i  $v$  są reprezentowane przez wartości z domen typów danych dozwolonych dla wybranej fizycznej implementacji bazy danych: liczba całkowita, tekst, data, etc. Model danych nie ma ograniczeń na sposób łączenia wierzchołków za pomocą krawędzi, tj. liczba krawędzi nie jest zależna od liczby wierzchołków. Każda krawędź łączy uporządkowaną parę wierzchołków, ale nie wszystkie wierzchołki muszą być połączone. Przy tym dozwolone jest połączenie dwóch wierzchołków dowolną liczbą krawędzi. Więzi



integralnościowe zapewniają spójność bazy danych, tj. zgodność modelu danych z fragmentem odzwierciedlanej rzeczywistości. W grafowych bazach integralność jest zapewniona przez wymóg posiadania unikalnego w skali całej bazy identyfikatora dla każdego wierzchołka, tj. tożsamość instancji (integralność encji), wymóg połączenia dwóch wierzchołków przez krawędź (integralność referencji), wymóg unikalności nazw atrybutów w ramach jednego wierzchołka (integralność atrybutów).



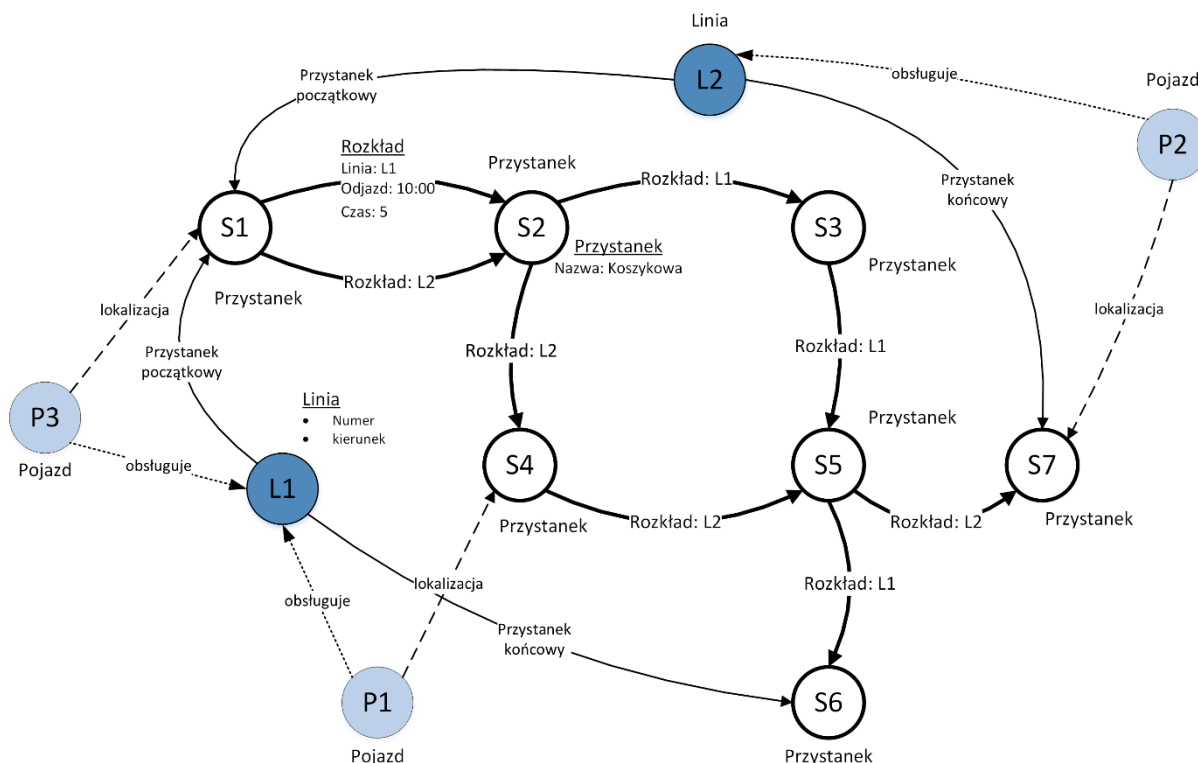
Rys.2. Grafowy model danych

Na podstawie analizy fizycznej struktury pliku grafowej bazy danych postawiono hipotezę, że dla transportowych systemów informatycznych, gdzie operacja wyszukiwania w grafie będzie jedną z najczęściej wykonywanych, zastosowanie grafowej bazy danych pozwoli osiągnąć większą wydajność realizacji wybranych zadań w porównaniu z relacyjną strukturą. W celu udowodnienia hipotezy oszacowano algorytmiczną złożoność czasową operacji przejścia pomiędzy wierzchołkami połączonymi krawędzią, dla struktur relacyjnej oraz grafowej bazy danych. Operacja ta stanowi podstawę każdego algorytmu wyszukiwania ścieżki w grafie, co pozwala interpolować czas wykonania pojedynczej operacji na czas wykonania całego algorytmu. Udowodniono, że średni czas ww. operacji w relacyjnej bazie danych  $\bar{t}_{rbd}$  stanowi sumę czasów wyszukiwania wierzchołka docelowego oraz łączącej wierzchołki krawędzi, co można oszacować jako  $\bar{t}_{rbd} \cong \frac{|K|+|W|}{2}$  lub przy zastosowaniu gęstej indeksacji tabeli sąsiedztwa  $\bar{t}_{rbd} \cong \frac{\log_2 |K| + \log_2 |W|}{2}$ , gdzie  $|K|$  jest liczbą wszystkich krawędzi w grafie,  $|W|$  - liczbą wszystkich wierzchołków. Dla grafowej bazy danych czas wyszukiwania krawędzi zależy wyłącznie od liczby wszystkich wychodzących z wierzchołka krawędzi i wynosi  $\bar{t}_{gbd} \cong \frac{|K|}{2|W|} + 1$ . Na podstawie porównania czasów  $\bar{t}_{rbd}$  oraz  $\bar{t}_{gbd}$  można wnioskować, że średni czas pojedynczej operacji przejścia pomiędzy wierzchołkami wzdłuż krawędzi dla struktur relacyjnej bazy danych zależy przede wszystkim od rozmiaru grafu (liczby wszystkich wierzchołków oraz krawędzi) i znacznie mniej zależy od liczby krawędzi wychodzących z danego wierzchołka. Dla grafowej bazy danych czas ten zależy przede wszystkim od liczby krawędzi wychodzących z wierzchołka, tj. w skali całego grafu - od jego gęstości (relacji pomiędzy liczbą wierzchołków a liczbą krawędzi). Można więc stwierdzić, że **efektywność zastosowania grafowej bazy danych w systemie transportowym zależy od charakterystyk grafu reprezentującego strukturę danych i bezpośrednio nie zależy od jego wielkości**. Dla rzadkich grafów  $|W| \cong |K|$  można oczekiwać, że średni czas wykonania operacji wyszukiwania ścieżki w grafowej bazie danych będzie krótszy w porównaniu z relacyjną.

Dlatego hipotezę dot. możliwości wykorzystania grafowej bazy danych w celu podniesienia wydajności transportowych systemów informatycznych można uznać za zasadną.

Praktyczna implementacja systemu informatycznego z użyciem grafowej bazy danych wymaga zaprojektowania fizycznej struktury bazy danych na podstawie logicznego modelu związków encji opisującego dziedzinę problemu transportowego w postaci obiektów oraz relacji pomiędzy nimi. W pracy [P4] zaproponowano ogólne postulaty transformacji modelu związków encji na model grafowy. Transformacja encji modelu ER odbywa się do postaci wierzchołków modelu grafowego, przy czym każda encja stanowi typ (klasę) wierzchołka, atrybut encji jest transformowany do postaci atrybutu wierzchołka grafu, wszystkie wierzchołki tego samego typu posiadają identyczny zbiór atrybutów, atrybut kluczowy encji jest transformowany do postaci unikatowego identyfikatora wierzchołka. Transformacja związków encji odbywa się do postaci krawędzi grafu łączących wierzchołki grafu, przy czym typ wierzchołków łączonych krawędzią jest określany poprzez typ danych encji biorących udział w związku, sposób transformacji związków encji zależy od kilku czynników: krotności związku (jeden-do-jeden, jeden-do-wiele lub wiele-do-wiele), opcjonalności związku (opcjonalny lub obowiązkowy), oraz ukierunkowania związku.

Wykorzystując zaproponowane reguły, zaprojektowano strukturę grafowej bazy danych na przykładzie wyszukiwarki połączeń w komunikacji miejskiej (rys. 3). Została ona zaimplementowana z użyciem grafowej bazy danych Neo4j. Jako dane źródłowe do weryfikacji poprawności działania algorytmu wyszukiwania ścieżki wykorzystano fragment rozkładów jazdy ze strony internetowej ZTM w Warszawie. Następnie zostały sformułowane kwerendy w deklaratywnym języku Cypher grafowej bazy danych, które realizują algorytm wyszukiwania trasy przejazdu pomiędzy wyznaczonymi przystankami. Uzyskane wyniki zostały zweryfikowane względem rzeczywistych rozkładów jazdy.



Rys. 3. Fragment fizycznego modelu grafowej bazy danych wyszukiwarki połączeń komunikacji miejskiej

Zaproponowane w pracach [P3], [P4] podejście do projektowania informatycznych systemów z zastosowaniem grafowej bazy danych zostało wykorzystane do rozwiązania wybranych problemów transportowych opisanych w pracach [P5] oraz [P6, rozdział 3.3.2].

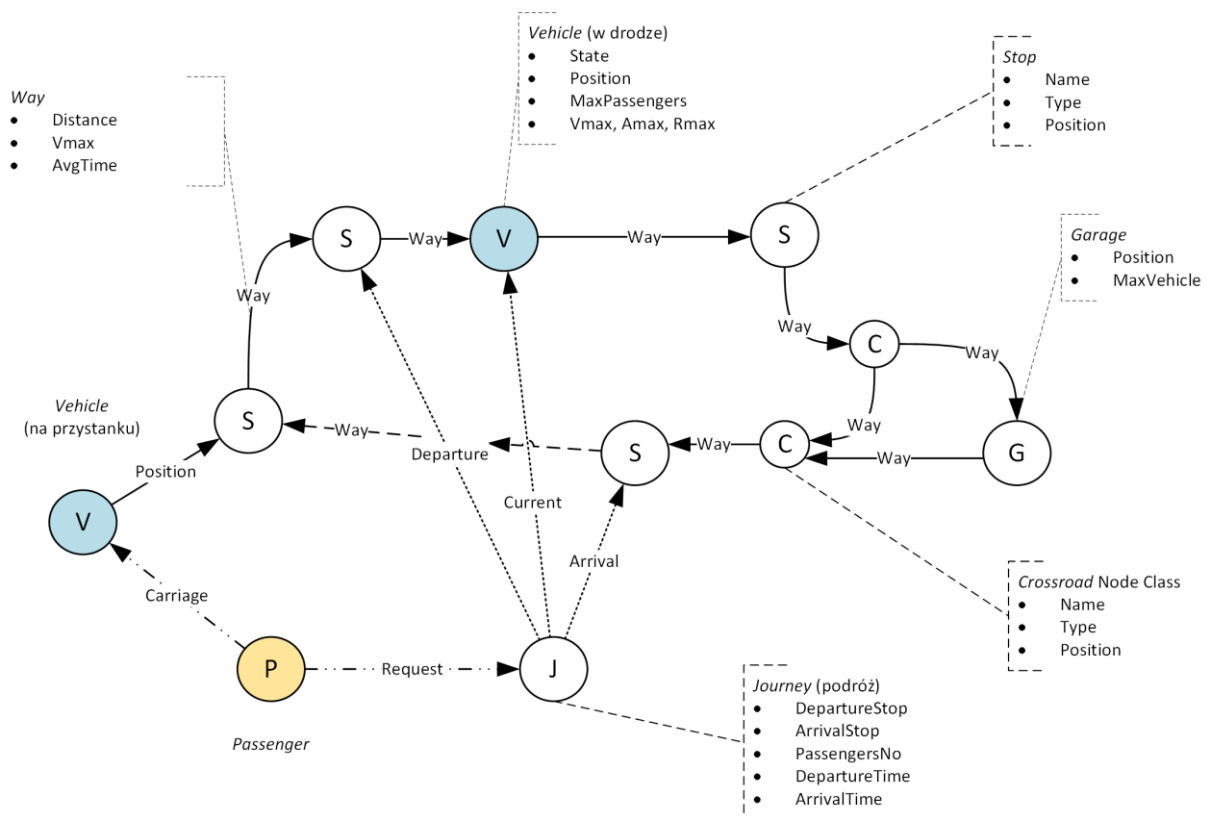
W pracy [P5] opisuje się autorskie rozwiązanie polegające na wykorzystaniu grafowej bazy danych do przechowywania oraz przetwarzania charakterystyk reklam umieszczanych w pasie drogowym, analiza których pod względem wpływu na bezpieczeństwo ruchu była jednym z wiodących tematów naukowo-badawczego projektu ROADVERT. Artykuł przedstawia etapy projektowania systemu, w tym sformułowanie wymagań, analizę struktury oraz kategoryzację cech reklamy drogowej jako obiektu badań, określenie istotnych funkcjonalności systemu oraz budowę struktury warstwy danych systemu. Efektem praktycznej aplikacji wyników prac prowadzonych w ramach projektu jest działający prototyp komputerowego systemu, wkraczający obecnie w fazę testów funkcjonalnych.

Rozdział 3.3.2 autorskiej monografii [P6] przedstawia zastosowanie metody projektowania transportowych systemów informatycznych wykorzystujących grafową bazę danych, do rozwiązania problemu logistycznego typu TSP („problem komiwojażera”). W pracy przedstawiono rozwiązanie bardziej ogólnego problemu różniącego się od zadania klasycznego tym, że komiwojażer nie musi odwiedzać wszystkich miast, a podróż nie musi się kończyć w miejscu jej rozpoczęcia. Zadaniem komiwojażera jest wyznaczenie najkrótszej drogi pomiędzy wybranymi miastami. Struktura grafowej bazy danych została zaprojektowana zgodnie z regułami zaproponowanymi w [P4]. Realizacja algorytmu wyszukiwania najlepszej trasy przejazdu została przedstawiona w postaci kolejnych iteracji – etapów projektowania kwerend do grafowej bazy danych w języku Cypher, poczynając od wyznaczenia punktów początkowego a końcowego trasy, poprzez określenie obowiązkowych do wizytacji punktów i kończąc obliczeniem sumarycznej odległości tras wraz z wyborem najkrótszej z nich. Zaproponowane rozwiązanie problemu TSP demonstruje możliwość przełożenia realizacji funkcji wyszukiwania ścieżki w grafie na wewnętrzne mechanizmy grafowej bazy danych, pozwalając użytkownikowi skupić się na opisanu problemu w postaci zapytania tekstowego. Podejście takie charakteryzuje się wysoką elastycznością ze względu na łatwość wprowadzenia zmian zarówno w strukturze bazy danych, jak i w zapytaniu. Nie stanowi również problemu dodanie kolejnych warunków bądź ograniczeń np. co do długości pojedynczej ścieżki, maksymalnej odległości pomiędzy dwoma odwiedzanymi miastami itp. Zaletą rozwiązania jest również łatwość adaptacji do zmieniającej się sytuacji na drogach: zamknięcie lub objazd wybranego odcinka trasy nie ma wpływu na pozostałe elementy grafu, więc w przypadku zapytań wykonywanych na bieżąco lokalne zmiany struktury będą uwzględniane automatycznie.

Modelowanie komputerowe jest bardzo istotnym elementem procesu projektowania oraz wdrożenia nowych rodzajów transportu. Dlatego dalsze prace badawcze były prowadzone w kierunku opracowania metod modelowania procesów transportowych z wykorzystaniem baz danych NoSQL. W rozdziale 4.3 autorskiej monografii [P6] przedstawiono wyniki prac naukowo-badawczych w zakresie modelowania systemu transportowego typu PRT (ang. *Personal Rapid Transit*), które były prowadzone w ramach międzynarodowego projektu ECO Mobilność. Koncepcję systemu PRT stanowi połączenie wybranych cech transportu publicznego takich jak np. rozbudowana sieć połączeń oraz przystanków, z zaletami transportu osobowego: wygodą, personalizacją oraz szybkością obsługi zgłoszeń pasażerów. Transport PRT należy do kategorii ekologicznych rodzajów transportu ze względu na wykorzystanie energii elektrycznej do napędzania pojazdów oraz wykorzystuje najnowsze osiągnięcia w zakresie technologii autonomicznych pojazdów. System PRT składa się z przystanków, które

są połączone jednokierunkowymi odcinkami drogi torowej. Na przystankach są przyjmowane zgłoszenia od pasażerów zawierające liczbę osób oraz punkt docelowy podróży. System informatyczny automatycznie klasyfikuje zgłoszenia, ustala ich priorytety oraz kolejność wykonania w zależności od zaprogramowanych algorytmów. Pasażerowie są informowani na bieżąco o statusie zgłoszenia oraz oczekiwanym czasie realizacji. Realizacja zgłoszenia polega na przewiezieniu grupy pasażerów do punktu docelowego bez zatrzymywania się na przystankach pośrednich.

Jednym z wiodących tematów badawczych projektu ECO Mobilność była analiza efektywności wykorzystania PRT w różnych topologiach sieci dróg oraz odmiennym natężeniu ruchu pasażerów. W tym celu zbudowano komputerowy symulator ruchu pojazdów PRT, za pomocą którego przeprowadzono liczne symulacje procesu obsługi pasażerów. Modelowanie PRT polega na określeniu topologii trasy, liczby przystanków oraz pojazdów oraz ich podstawowych charakterystyk (np. liczba miejsc, maksymalna prędkość etc.). Oryginalna wersja komputerowego symulatora została zrealizowana w jednostanowiskowej scentralizowanej architekturze. Takie podejście charakteryzuje się wysoką wydajnością modelowania, aczkolwiek nakłada szereg ograniczeń na liczbę użytkowników aplikacji, możliwość jej działania w sieci oraz potencjalne wykorzystanie w systemach sterowania pojazdami PRT w czasie rzeczywistym.



Rys. 4. Model danych grafowej bazy danych systemu PRT

Wkład autora do projektu polegał na wprowadzeniu do komputerowego symulatora PRT grafowej bazy danych w celu zapewnienia wymogów wydajności, skalowalności oraz bezpieczeństwa systemu. W ramach przeprowadzonych badań została zaproponowana struktura grafowej bazy danych odzwierciedlająca model PRT (rys. 4), która uwzględnia statyczne elementy topologii (przystanki, skrzyżowania, zajezdnie etc.), obsługę w czasie rzeczywistym dynamicznych elementów sieci PRT (kursowanie pojazdów, wjazd i wyjazd na

przystankach, obsługa pasażerów), wspomaganie lub całkowita realizacje wybranych algorytmów modelowania (np. wyznaczenie trasy przejazdu pojazdu PRT, z uwzględnieniem stanu systemu na moment wywołania funkcji wyszukiwania, parametrów wejściowych oraz wybranych kryteriów oceniania trasy - czas przejazdu, koszt przejazdu, odległość etc.).

Zaproponowany model został zaimplementowany z wykorzystaniem grafowej bazy danych Neo4j oraz podejścia ORM (ang. Object-Relational Mapping), co pozwoliło zrezygnować z pisania poleceń w języku Cypher na rzecz bezpośredniego operowania na obiektach systemu PRT. Zastosowane podejście znacząco przyspieszyło oraz ułatwiło wprowadzenie grafowej bazy danych do systemu komputerowego modelowania. Weryfikacja procesu symulacji odbyła się na podstawie przykładowej topologii sieci połączeń [P6, rozdział 4.3.4]. W rezultacie uzyskano charakterystyki procesu przewozowego w przekroju czasowym takie jak zestawienie liczby obsłużonych pasażerów, średnie prędkości pojazdów pustych oraz z pasażerami, liczby wolnych oraz zajętych pojazdów oraz ich przebieg.

Jedną z istotnych charakterystyk komputerowego systemu modelowania jest szybkość jego działania. W celu podniesienia wiarygodności statystycznych danych pozyskanych drogą komputerowej symulacji, należy przeprowadzić wielokrotne testy systemu na identycznych zbiorach danych wejściowych. Przy zmianie topologii sieci PRT symulacje należy powtórzyć dla każdej konfiguracji, co znacząco wydłuża czas modelowania. W pracy [P7] zaproponowano podejście polegające na wykorzystaniu platformy równoległych obliczeń CUDA w celu podniesienia wydajności modelowania. Podejście zostało zweryfikowane w praktyce poprzez wprowadzenie odpowiednich zmian w programie symulacyjnym mających na celu rozłożenie obliczeń stanów systemu na jednostki obliczeniowe GPU. Przeprowadzone badania wykazały istotny wzrost wydajności modelowania dla topologii sieci PRT o dużym zasięgu oraz znaczącą stabilizację czasu wykonania symulacji dla znacząco różniących się danych wejściowych.

Publikacje [P8], [P9] oraz rozdziały 4.1, 4.2 monografii [P6] dotyczą zagadnień związanych z modelowaniem procesów eksploatacji pojazdów elektrycznych. Przedstawiona koncepcja modelowania polega na budowie trzech ściśle powiązanych ze sobą modeli: modelu baterii pojazdu elektrycznego zbudowanego na podstawie pomiarów eksperymentalnych, modelu rozchodowania energii przez pojazd elektryczny na pokonanie wyznaczonej trasy przejazdu oraz modelu obsługi procesu ładowania pojazdów podczas postoju. Bazy danych NoSQL odgrywają w wymienionych modelach rolę przechowalni dużych zbiorów danych pomiarowych z możliwością szybkiego wyszukiwania lub obliczenia najlepszej trasy przejazdu, doboru trybu ładowania lub rozładowania baterii, średniego zużycia energii na trasie etc.

W pracy [P8] zaproponowano koncepcję modelowania stanu baterii pojazdu o napędzie elektrycznym w oparciu o charakterystyki pomiarowe pojedynczego ogniwa. Zaproponowany model behawioralny baterii został zrealizowany w postaci aplikacji komputerowej korzystającej ze zgromadzonych w bazie danych charakterystyk pomiarowych pojedynczego ogniwa baterii. Jednym z założeń metody jest ekstrapolacja zachowania pojedynczego ogniwa na całą baterię składającą się z identycznych ogniw. Charakterystyki pomiarowe dla pojedynczego ogniwa zostały pozyskane w drodze eksperymentu, który polegał na dokonaniu pomiarów zmian pojemności baterii od stanu pełnego naładowania do stanu rozładowania w ujęciu czasowym przy obciążeniu stałym prądem. Pomiarzy były powtarzane dla różnych wielkości prądów z zakresu dopuszczalnych dla wybranego typu baterii. W celu przeprowadzenia pomiarów zbudowano stanowisko laboratoryjne przedstawione w artykule.

Zgromadzone dane pomiarowe wykorzystano do zbudowania komputerowego modelu zastosowanego w symulacji procesu zużycia baterii. Zadaniem symulacji było prognozowanie

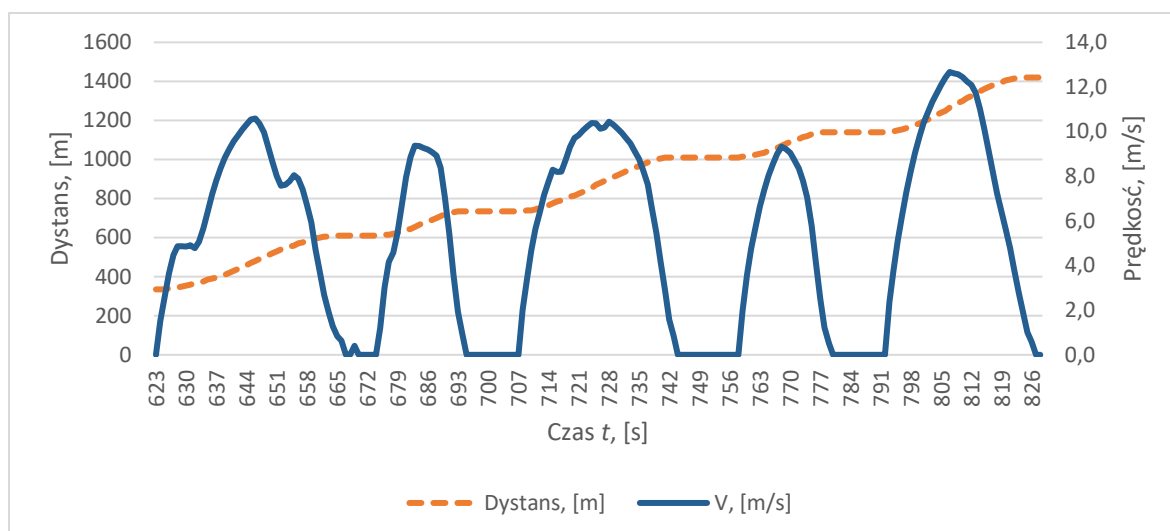
przepływu energii w akumulatorze trakcyjnym przy znanym rozkładzie obciążenia w czasie. Architektura komputerowego modelu oraz szczegóły jego funkcjonowania przedstawiono w pracy [P9]. W celu przeprowadzenia symulacji procesu eksploatacji baterii, należy określić konfigurację baterii (liczbę oraz charakterystyki ogniw), jej początkowy stan naładowania, wskazać rodzaj ogniwa, dla którego muszą istnieć wzorcowe dane pomiarowe, a także podać charakterystykę zmian prądu obciążenia baterii w czasie (hipotetyczną lub zmierzoną z użyciem rzeczywistego pojazdu elektrycznego).

Algorytm modelowania polega na iteracyjnym obliczeniu zmiany energii baterii w czasie wg wzoru  $E(t, I) = E_0 + \sum_{n=1}^k \Delta E_k$  gdzie  $E_0$  - stan początkowego naładowania baterii,  $\Delta E_k$  - zmiana energii baterii na odcinku czasowym  $t = (t_i, t_{i+1})$ , dla którego prąd obciążenia baterii jest stały, jako  $\Delta E_k = E(t_{i+1}, I(t_{i+1})) - E(t_i, I(t_i))$ . Programowa realizacja algorytmu modelowania wykorzystuje relacyjną bazę danych. W celu podniesienia wydajności obliczeń wykorzystano funkcjonalność kolumnowej bazy danych w postaci tzw. kolumnowych indeksów. Ponieważ wszystkie rekordy pomiarów mają stały rozmiar (pola typów liczbowych), a sama liczba rekordów jest b. duża (w trakcie eksperymentów pozyskano ponad 2 mln. pomiarów), zastosowanie podejścia kolumnowego pozwoliło na podniesienie wydajności obliczeń ok 30%.

Jednym z kierunków rozwoju współczesnej komunikacji miejskiej jest przejście na wykorzystanie pojazdów elektrycznych w zamian spalinowych. Wprowadzenie pojazdu elektrycznego na trasę komunikacji miejskiej wiąże się z oszacowaniem możliwości oraz celowości takiej zamiany. Przede wszystkim, pojazd elektryczny powinien móc zastąpić pojazd spalinowy bez dokonania modyfikacji rozkładów jazdy. Taka zamiana nie może również spowodować zmiany liczby brygad obsługujących linie komunikacyjne, co oznacza, że bateria pojazdu elektrycznego powinna zapewnić określoną liczbę kursów dziennie. Wiąże się to z oszacowaniem zużycia energii elektrycznej na każdej trasie, dla której planowana jest zamiana pojazdu na elektryczny. Brak możliwości oszacowania zużycia energii elektrycznej może stanowić zagrożenie płynnej obsługi pasażerów. Wdrożenie autobusów elektrycznych w komunikacji miejskiej wymaga oprócz tego zmiany infrastruktury na przystankach krańcowych linii w celu obsługi procesu doładowania baterii autobusów po ukończeniu kursu: montaż określonej liczby ładowarek, określenie ich mocy oraz zdefiniowania algorytmów ładowania pojazdów podczas postoju na krańcach.

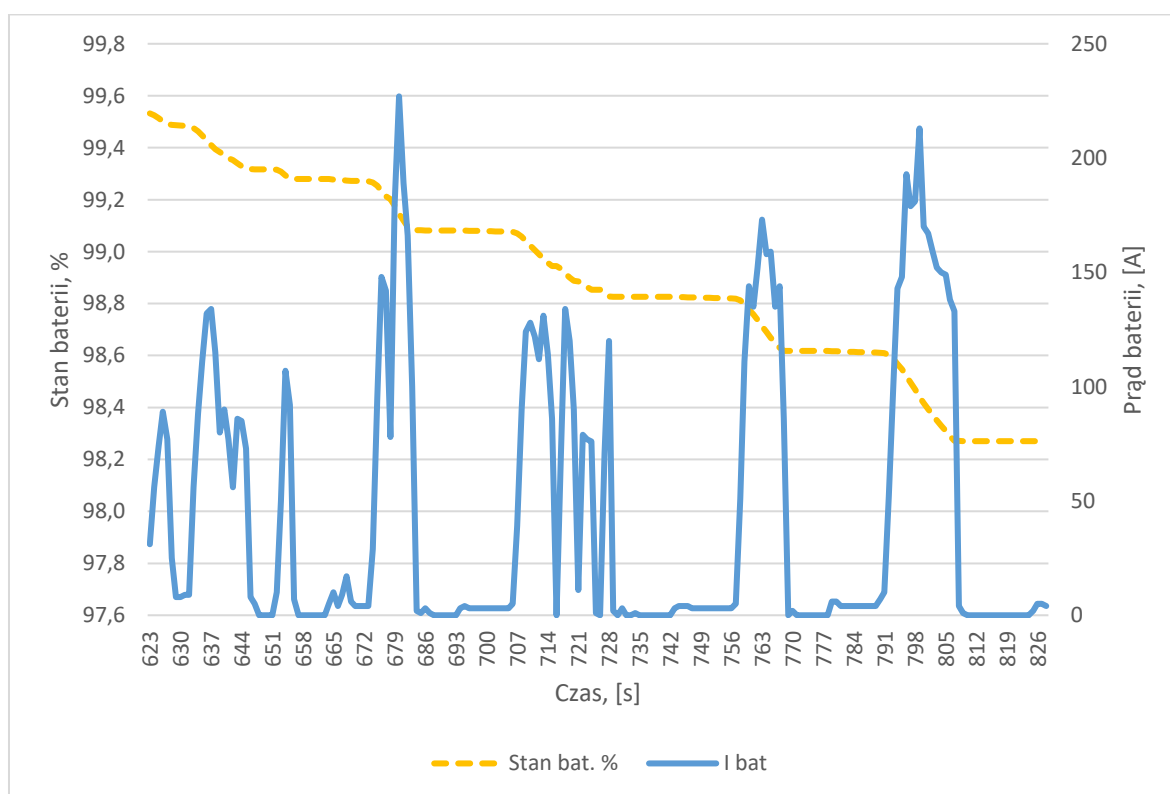
Dlatego dalsze prace badawcze, których wynik przedstawia w skrócie rozdział 4.1 monografii [P6], zostały skupione wokół zagadnień związanych z modelowaniem zużycia energii elektrycznej przez pojazd poruszający się wzdłuż zadanej trasy, na podstawie pomiarów dokonanych na trasie wzorcowej. Zaproponowano metodę oszacowania zużycia energii przez pojazd elektryczny na dowolnej trasie, dla której zostały zmierzone wybrane charakterystyki ruchu pojazdu. Metoda zakłada posiadanie pomiarów charakterystyk tras wzorcowych wraz z zużyciem energii na ich pokonanie.

Cykl pracy pojazdu elektrycznego na liniach komunikacyjnych jest określony poprzez obowiązkowe (przystanki) oraz losowe (światła, korki, etc.) zatrzymania się pojazdu (rys. 5).



Rys. 5. Cykl pracy pojazdu elektrycznego dla wybranego odcinka trasy

Na podstawie dokonanych pomiarów chwilowych wartości prądu oraz napięcia baterii pojazdu zostało obliczone zużycie energii elektrycznej w zależności od czasu przejazdu oraz pokonanego dystansu (rys. 6).

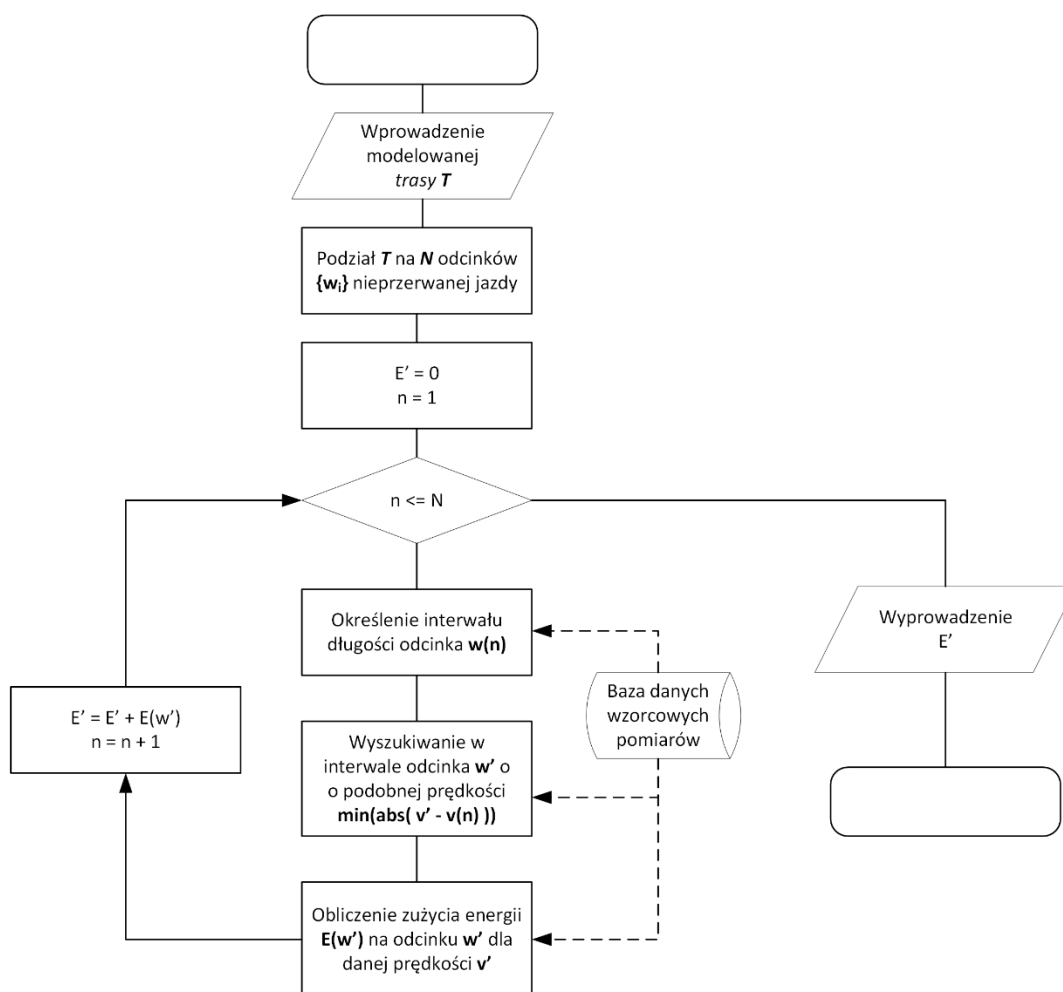


Rys. 6. Zmiany stanu baterii pojazdu w czasie

Wszystkie przejazdy wzorcowe zostały podzielone na odcinki. Dla każdego z odcinków obliczono jego długość, średnią prędkość przejazdu oraz sumaryczne zużycie energii. Następnie odcinki zgrupowano w interwały po 100 m każdy w zależności od długości odcinka. Dla każdego z interwałów zostały przeanalizowane charakterystyki mieszczących się w nim odcinków: średnia prędkość przejazdu odcinka oraz zużyta przy tym energia elektryczna. Następnie z wykorzystaniem analizy statystycznej potwierdzono hipotezę o normalnym

rozkładzie zmiennej losowej charakteryzującej zużycie energii elektrycznej, dla każdego z interwałów. Ustalono, że istnieje istotna zależność pomiędzy zużyciem energii a średnią prędkością pokonania odcinka. Pozwala to wnioskować, że przy dużej liczbie obserwacji (wzorcowych przejazdów) wiarygodną charakterystyką zużycia energii na odcinku o zadanej długości może być średnia prędkość pojazdu elektrycznego na tym odcinku.

Na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej sformułowano podstawowe założenia algorytmu modelowania zużycia energii przez pojazd elektryczny na trasie, dla której znane są pomiary prędkości oraz pokonanej odległości w czasie. Wejściowymi danymi algorytmu modelowania są pary dyskretnych wartości funkcji prędkości pojazdu oraz dystansu na całej analizowanej trasie (od krańca początkowego do krańca końcowego). Algorytm korzysta z danych pomocniczych w postaci wyników agregacji wzorcowych danych pomiarowych w postaci tabelarycznej. Modelowana trasa jest dzielona na odcinki, z których każdy stanowi fragment nieprzerwanej jazdy. Następnie dla każdego odcinka jest obliczana jego długość oraz średnia prędkość przejazdu. Na podstawie długości odcinka jest określany interwał jego przynależności. Spośród wzorcowych pomiarów przechowywanych w bazie danych dla danego interwału są wyszukiwane najbliższe względem odchylenia od średniej prędkości dla interwału. Szacowane zużycie energii elektrycznej na całej trasie modelowanej stanowi sumę obliczeń energii dla odcinków. Schemat blokowy algorytmu przedstawia rys. 7.



Rys. 7. Algorytm modelowania zużycia energii przez pojazd elektryczny

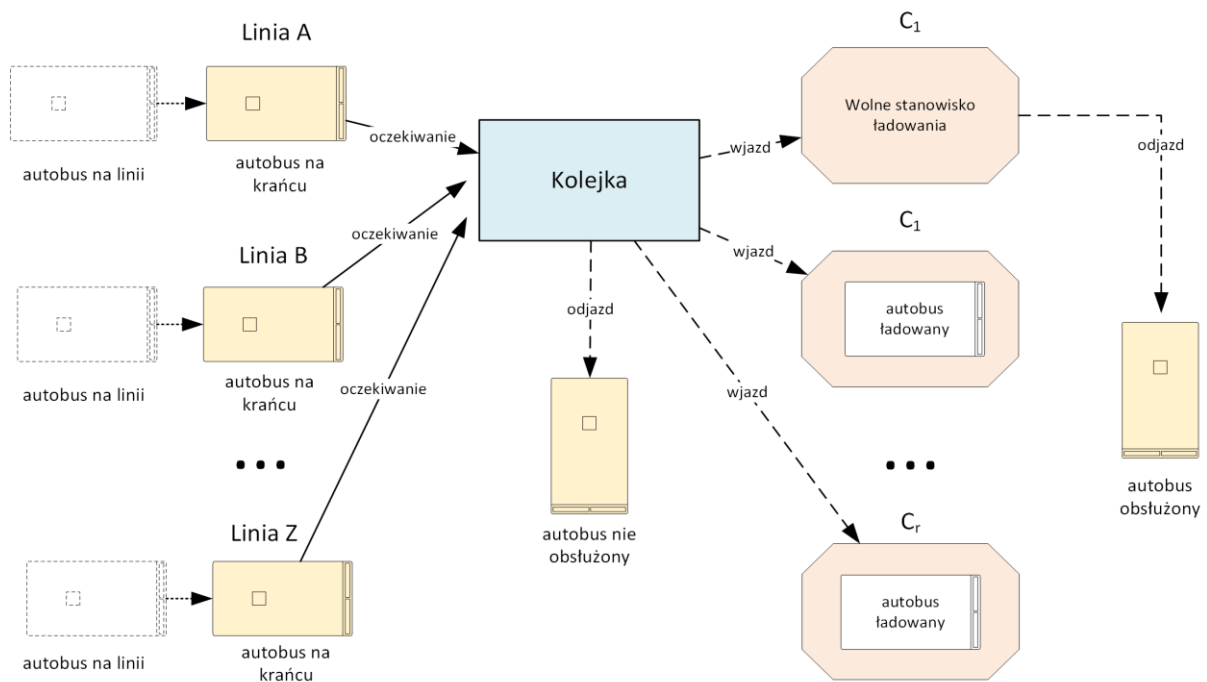


Algorytm modelowania z wykorzystaniem opracowanej metody został zaimplementowany w postaci komputerowej aplikacji, która wykorzystuje relacyjną bazę danych do przechowania danych pomiarowych oraz grafową bazę danych do przechowania topologii tras oraz zagregowanych wyników zużycia energii na odcinkach trasy. Do zalet metody można odnieść względnie łatwą implementację praktyczną oraz wysoką szybkość działania ograniczoną wyłącznie dostarczeniem danych pomiarowych dla badanej trasy przejazdu, a także średni błąd estymacji nie przekraczający progu 10% (w porównaniu z faktycznym zużyciem energii). Ograniczenia metody polegają na konieczności przeprowadzenia pomiarów wzorcowych za pomocą pojazdów elektrycznych wyposażonych w rejestratory charakterystyk ruchu oraz układu zasilania, silne przywiązanie do terenu oraz brak uwzględnienia skrajnych warunków drogowych. Wymienione wady jednak nie są znaczące w kontekście rozwiązania ściśle określonego zadania jakim jest przedstawienie komunikacji miejskiej na pojazdy elektryczne w ramach całego miasta.

Zaproponowana metoda została zweryfikowana z wykorzystaniem danych pomiarowych dostarczonych przez miejskie Zakłady Autobusowe w Warszawie. Ze względu na poufny charakter danych przedstawienie wyników modelowania w ogólnodostępnych źródłach nie było możliwe. Potwierdzeniem efektywności metody jest jej praktyczne wdrożenie w MZA potwierdzone kartą aplikacji produktu (str. 21).

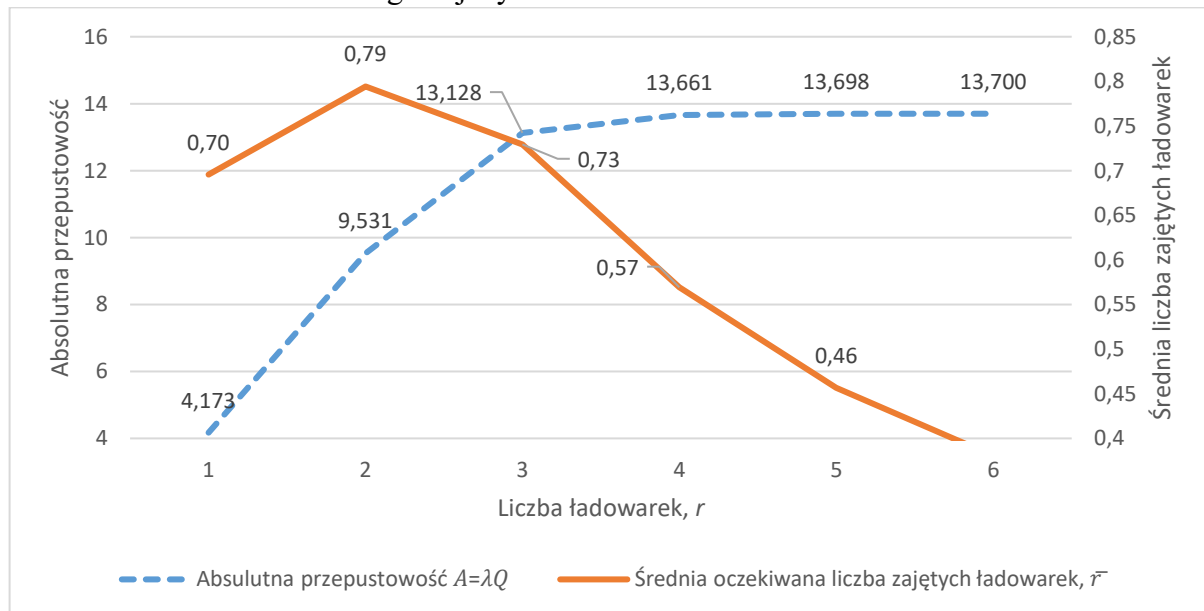
Zaproponowana metoda estymacji zużycia energii została zastosowana w dalszych badaniach procesów eksploatacyjnych pojazdów o napędzie elektrycznym. W rozdziale 4.2 monografii [P6] opisano system masowej obsługi (SMO) procesu ładowania autobusów elektrycznych na krańcach trasy, umożliwiającą oszacowanie warunków niezbędnych do prawidłowej obsługi miejskiej linii komunikacyjnej przez autobusy elektryczne. Danymi wejściowymi modelu są liczba i moc ładowarek, oraz rozkład kursowania autobusu. Algorytm modelowania wykorzystuje metody oszacowania stanu baterii pojazdu ([P8], [P9]) oraz zużycie energii na trasie ([P6], rozdział 4.1). Celem badań jest oszacowanie czasu wykorzystania ładowarek oraz estymacja zależności stanu naładowania baterii autobusu w zależności od liczby wykonanych przejazdów.

Przy budowie modelu SMO przyjęto następujące założenia. Linie komunikacji miejskiej obsługiwane przez autobusy elektryczne stanowią skończony zbiór. Krańce linii komunikacyjnej są wyposażone w elektryczne ładowarki, za pomocą których autobusy przybywające na przystanek końcowy mogą uzupełnić zużytą na pokonanie trasy przejazdu. Każda linia jest obsługiwana przez zbiór autobusów elektrycznych, przy czym przyjmuje się że jeden autobus obsługuje tylko jedną linię. W procesie eksploatacji autobusu na miejskiej linii komunikacyjnej zgromadzona w akumulatorze energia jest rozchodowana na pokonanie trasy przejazdu. Bateria autobusu może być ładowana wyłącznie na krańcach linii komunikacyjnej. Maksymalny czas ładowania zależy od rozkładu kursowania autobusu i nie może przekroczyć czasu postoju na krańcu. Schemat obsługi autobusu na krańcu przedstawia rys. 8.



Rys. 8. Schemat obsługi procesu ładowania autobusu elektrycznego na krańcu

Następnie zdefiniowano intensywność strumienia obsługi na podstawie rzeczywistego rozkładu jazdy. Obliczono charakterystyki SMO dla wybranej konfiguracji autobusu elektrycznego oraz różnej liczby ładowarek na krańcu. Określono absolutną przepustowość systemu, która charakteryzuje oczekiwaną liczbę autobusów naładowanych w jednostkę czasu (rys. 9). Obliczono wartości oczekiwane zużycia energii na doładowanie autobusów oraz liczby kursów w zależności od konfiguracji systemu.



Rys. 9. Wybrane charakterystyki SMO procesu ładowania autobusów na krańcach.

Uzyskane wyniki teoretyczne stanowią punkt odniesienia do weryfikacji wyników uzyskanych drogą komputerowego modelowania procesów stochastycznych w zakresie SMO pojazdów elektrycznych w komunikacji miejskiej. Założenia przyjęte w trakcie budowy modelu SMO były wykorzystane między innymi w procesie formalizowania wymagań funkcjonalnych do komputerowego systemu modelowania obsługi autobusów elektrycznych w skali całego miasta (postępowanie przetargowe MZA nr 64 /PN/WM /17).

W celu gromadzenia charakterystyk eksploatacyjnych pojazdu elektrycznego (napięcie na baterii, prąd, prędkość, przyspieszenie, współrzędne etc.) wykorzystano autorski system telemetryczny opisany w pracy [P10]. Najważniejsze cechy zaprojektowanego systemu stanowią możliwość dokonania dokładnych pomiarów wymienionych charakterystyk oraz ich przekazanie na dużą odległość w trybie online. Do rejestracji dużej liczby danych napływających z rejestratora, wykorzystano bazę danych MongoDB typu „klucz-wartość”, która pozwala gromadzić bardzo duże zbiory danych bez istotnych ograniczeń czasowych przy ich wstępnej obróbce oraz zapisie.

### **Podsumowanie.**

Wdrożenie nowoczesnych rodzajów transportu wymaga analizy efektywności ich funkcjonowania oraz integracji z istniejącymi systemami. Istotną rolę w procesie analizy odgrywają metody komputerowego modelowania procesów transportowych. Metody te muszą odzwierciedlać rzeczywiste procesy z maksymalnie możliwą dokładnością, dlatego badania są prowadzone na dużych zbiorach danych pozyskanych w drodze pomiarów eksperymentalnych lub pochodzących z działających w czasie rzeczywistym transportowych systemów informatycznych. Duża objętość danych oraz ich złożona struktura wymagają zastosowania nowoczesnych narzędzi informatycznych, w tym baz danych. W ostatnich latach w dziedzinie baz danych obserwowany jest intensywny rozwój modeli danych NoSQL, które charakteryzują się zdolnością do wydajnej obsługi dużej liczby użytkowników, wysoką wydajnością przetwarzania danych o określonych strukturach takich jak np. graf czy tablica haszująca, zdolnością do efektywnego podziału na partycje rozmieszczone na serwerach w sieci i działających w ramach jednego klastra. Stanowi to przesłankę do ich wykorzystania między innymi w systemach komputerowego modelowania procesów transportowych.

W ramach wykonanych prac naukowo-badawczych dokonano przeglądu współczesnych systemów baz danych realizujących nowoczesne modele danych, przeanalizowano ich charakterystyki oraz wskazano potencjalne obszary wykorzystania w transportowych systemach informatycznych. Przytoczono przykłady wykorzystania modeli danych w aplikacjach komputerowych z zakresu transportu. Zaproponowano koncepcję rozproszonego systemu informatycznego, wykorzystującego współpracę relacyjnych baz danych z bazami danych NoSQL. W trakcie badań postawiono i udowodniono tezę, że grafowa baza danych w określonych konfiguracjach charakteryzuje się większą wydajnością aniżeli klasyczna relacyjna baza danych. Zaproponowano autorską koncepcję przejścia od ogólnego modelu związków encji dziedziny problemu transportowego do fizycznej struktury grafowej bazy danych. Analizę teoretyczną uzupełniono prezentacją praktycznych rozwiązań w zakresie modelowania systemów informatycznych komunikacji miejskiej, systemów transportu personalnego typu PRT oraz rozwiązywania zadań logistycznych typu TSP. Zbudowano model komputerowy estymacji stanu baterii pojazdu elektrycznego. Zaproponowano autorską metodę oszacowania zużycia energii przez pojazd elektryczny na podstawie charakterystyk pomiarowych wybranej trasy. Realizacja tej metody w formie bazodanowej aplikacji komputerowej została wdrożona w przedsiębiorstwie zarządzającym autobusową komunikacją

miejską. Zbudowano model matematyczny systemu masowej obsługi procesu ładowania pojazdów elektrycznych w komunikacji miejskiej. Na podstawie opracowanego modelu oszacowano charakterystyki eksploatacyjne pojazdów na wybranych trasach, w tym stopień rozładowania baterii oraz liczbę cykli pracy bez doładowania oraz z doładowaniem na przystankach krańcowych, a także liczbę oraz konfigurację ładowarek niezbędnych do zapewnienia prawidłowego funkcjonowania systemu komunikacji miejskiej w aspekcie przejścia na pojazdy elektryczne.

Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że bazy danych NoSQL mogą stanowić efektywne uzupełnienie klasycznych relacyjnych baz danych w modelowaniu oraz implementacji informatycznych systemów w transporcie, co potwierdzają liczne praktyczne implementacje zaproponowanych modeli.

#### **4.3.3. Sposób wykorzystania osiągniętych wyników badań**

Wyniki uzyskane w procesie badań naukowych znalazły praktyczne zastosowania w projektach naukowo-badawczych, w których autor brał aktywny udział.

W ramach projektu ECO Mobilność („European Union Operation Programme Innovative Economy – priority axis I – research and development of new technologies”) zostało zbudowane oprogramowanie do projektowania topologii sieci PRT oraz rozszerzono system modelowania komputerowego o wykorzystanie grafowej bazy danych, co stanowi ważny krok w kierunku przejścia do systemu zarządzania w czasie rzeczywistym.

Na podstawie badań efektywności zastosowania platformy CUDA w modelowaniu procesów transportowych opracowano modyfikację systemu modelowania PRT, która pozwoliła na kilkukrotne podniesienie wydajności modelowania.

W projekcie ROADVERT („Wpływ reklam na poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego”, program „Wspólne przedsięwzięcie RID - Rozwój Innowacji Drogowych” finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju oraz Generalną Dyрекcyję Dróg Krajowych i Autostrad) zademonstrowano możliwość efektywnej współpracy grafowej oraz relacyjnej baz danych w ramach jednego systemu informatycznego w transporcie.

Zastosowanie kolumnowej bazy danych jako podstawy komputerowego modelu estymacji stanu baterii pojazdu elektrycznego pozwoliło na określenie parametrów układu zasilania jachtu elektrycznego, którego prototyp został zaprojektowany w ramach projektu naukowo-badawczego REP SAIL (“Renewable Energy Powered Hybrid Innovative Sailing Yacht”) realizowanego w ramach programu „ERA-NET Transport Travelling Future III”.

W ramach prac badawczo-wdrożeniowych prowadzonych na zlecenie Miejskich Zakładów Autobusowych w Warszawie (MZA) została opracowana oryginalna metoda estymacji zużycia energii przez pojazd elektryczny dla dowolnej linii w komunikacji miejskiej, która została wdrożona w praktyce (rys. 10).

Połączenie autorskiego modelu zużycia energii przez autobus elektryczny z systemem masowej obsługi procesu ładowania autobusów na krańcach tras komunikacji miejskiej zaowocowało powstaniem systemu komputerowego, za pomocą którego została zweryfikowana koncepcja wdrożenia autobusów elektrycznych w stołecznej komunikacji miejskiej oraz określono wymagania do zasobników energii pojazdu elektrycznego.

Podsumowując, najważniejsze wyniki badań zostały zweryfikowane oraz znalazły zastosowanie w praktycznych implementacjach komputerowych systemów zorientowanych na modelowanie procesów transportowych, przede wszystkim w zakresie komunikacji publicznej z wykorzystaniem pojazdów o napędzie elektrycznym.

KARTA APLIKACJI PRODUKTU będącego wynikiem badań naukowych lub prac rozwojowych prowadzonych w <b>Politechnika Warszawska Wydział Transportu</b> Wyszczególnienie		
Lp.	Wyszczególnienie	
1.	Nazwa zadania badawczego, w wyniku realizacji którego powstał produkt, i data realizacji (bez względu na źródło finansowania) <b>Ekspertyza „Dobór typu i pojemności baterii trakcyjnej do elektrycznych autobusów przegubowych planowanych do eksploatacji na określonych liniach komunikacyjnych w Warszawie”, 2016</b>	
2.	Nazwa produktu <b>Charakterystyki pracy akumulatora na wybranej autobusowej linii komunikacyjnej w Warszawie</b>	
3.	Opis aplikacji produktu, z uwzględnieniem takich elementów, jak: oryginalność, twórcza zmiana w funkcjonowaniu podmiotu korzystającego z aplikacji i powtarzalność albo okres wykorzystania. W wyniku realizacji zadania badawczego powstała metoda wyznaczania charakterystyk eksploatacyjnych autobusów 18 metrowych na dowolnej trasie w oparciu o zarejestrowane danej przejazdów autobusów elektrycznych 12 metrowych. Wynikiem zastosowane opracowane metody są charakterystyki pracy akumulatora uwzględniające prąd pobierany na potrzeby trakcyjne oraz prąd zwrotu energii podczas hamowania. Uzyskane dane zostały przez podmiot korzystający z wyników przekazane do producenta autobusów i ogólni chemików, którzy zaprobowali ich jakość i na ich podstawie określili przewidywany czas pracy akumulatorów w autobusie miejskim dla przedstawionych warunków eksploatacji.	
4.	Nazwa i adres podmiotu potwierdzającego aplikację produktu oraz jego numer identyfikacji skarbowej (w Rzeczypospolitej Polskiej NIP), numer identyfikacyjny producenta rolnego lub gospodarstwa rolnego (w Rzeczypospolitej Polskiej nadawany przez Agencję Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa) albo numer identyfikacji statystycznej (w Rzeczypospolitej Polskiej REGON)	
5.	<b>Miejskie Zakłady Autobusowe Sp. z o.o.</b> z siedzibą w Warszawie, ul. Włocławska 52, 01-710 Warszawa, NIP: 525-22-56-730, nr REGON 015314853 Forma prawna przekazania produktu W formie załącznika do ekspertyzy.	
6.	Zasięg oddziaływania aplikacji produktu w latach 2016- mały/lokalny (zasięg nie większy niż 2 województwa lub liczba podmiotów, które zastosowały produkt, nie większa niż 9) średni/krajowy (zasięg nie mniejszy niż 3 województwa lub liczba podmiotów, które zastosowały produkt, nie mniejsza niż 10) duży/międzynarodowy (aplikacja produktu na terenie więcej niż jednego państwa)	we właściwym polu należy wpisać znak X
7.	Powierzenie aplikacji przez podmiot, który zastosował produkt <i>28 grudnia 2016</i> PREZES ZARZĄDU data i podpis osoby uprawnionej do reprezentowania podmiotu powierającego aplikację produktu	Nazwa i adres właściwego organu lub organizacji (jeżeli nie można wskazać podmiotu, który zastosował produkt) ..... data i podpis osoby uprawnionej do reprezentowania organu lub organizacji

KARTA APLIKACJI PRODUKTU będącego wynikiem badań naukowych lub prac rozwojowych prowadzonych w <b>Politechnika Warszawska Wydział Transportu</b> Wyszczególnienie		
Lp.	Wyszczególnienie	
1.	Nazwa zadania badawczego, w wyniku realizacji którego powstał produkt, i data realizacji (bez względu na źródło finansowania) <b>Ekspertyza „Dobór typu i pojemności baterii trakcyjnej do elektrycznych autobusów przegubowych planowanych do eksploatacji na określonych liniach komunikacyjnych w Warszawie”, 2016</b>	
2.	Nazwa produktu <b>Analiza doboru typu i pojemności baterii trakcyjnej do elektrycznych autobusów przegubowych planowanych do eksploatacji na określonych liniach komunikacyjnych w Warszawie</b>	
3.	Opis aplikacji produktu, z uwzględnieniem takich elementów, jak: oryginalność, twórcza zmiana w funkcjonowaniu podmiotu korzystającego z aplikacji i powtarzalność albo okres wykorzystania. W wyniku realizacji zadania badawczego powstała charakterystyka techniczna baterii litowo-jonowych typu LTO oraz LFP, które mogą znaleźć zastosowanie w 18 metrowych autobusach elektrycznych. Wyniki te zostały dołączone do wniosku o dofinansowanie zakupu autobusów elektrycznych oraz zostaną wykorzystane do przygotowania opisu przedmiotu zamówienia Siwz w postępowaniu o udzielenie zamówienia publicznego na dostawę autobusów elektrycznych dla MZA.	
4.	Nazwa i adres podmiotu potwierdzającego aplikację produktu oraz jego numer identyfikacji skarbowej (w Rzeczypospolitej Polskiej NIP), numer identyfikacyjny producenta rolnego lub gospodarstwa rolnego (w Rzeczypospolitej Polskiej nadawany przez Agencję Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa) albo numer identyfikacji statystycznej (w Rzeczypospolitej Polskiej REGON)	
5.	<b>Miejskie Zakłady Autobusowe Sp. z o.o.</b> z siedzibą w Warszawie, ul. Włocławska 52, 01-710 Warszawa, NIP: 525-22-56-730, nr REGON 015314853 Forma prawna przekazania produktu W formie pisemnej - ekspertyzy.	
6.	Zasięg oddziaływania aplikacji produktu w latach 2016- mały/lokalny (zasięg nie większy niż 2 województwa lub liczba podmiotów, które zastosowały produkt, nie większa niż 9) średni/krajowy (zasięg nie mniejszy niż 3 województwa lub liczba podmiotów, które zastosowały produkt, nie mniejsza niż 10) duży/międzynarodowy (aplikacja produktu na terenie więcej niż jednego państwa)	we właściwym polu należy wpisać znak X
7.	Powierzenie aplikacji przez podmiot, który zastosował produkt <i>28 grudnia 2016</i> PREZES ZARZĄDU data i podpis osoby uprawnionej do reprezentowania podmiotu powierającego aplikację produktu	Nazwa i adres właściwego organu lub organizacji (jeżeli nie można wskazać podmiotu, który zastosował produkt) ..... data i podpis osoby uprawnionej do reprezentowania organu lub organizacji

Rys. 10. Karty wdrożeń wyników prac naukowo-badawczych

## 5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych

### 5.1. Działalność naukowo-badawcza, dydaktyczna i organizacyjna przed uzyskaniem stopnia doktora nauk technicznych (1995 – 1999)

#### Działalność naukowa przed uzyskaniem stopnia doktora

Po ukończeniu jednolitych studiów inżynierskich, w roku 1996 rozpocząłem studia doktoranckie na Wydziale Technologii Komputerowych oraz Informatyki Państwowego Uniwersytetu Elektrotechnicznego LETI w Sankt-Petersburgu. Zajmowałem się zagadnieniami związanymi z zastosowaniem baz danych w systemach wydawnictw elektronicznych oraz słowników komputerowych, rozpoznawaniem tekstów drukowanych z wykorzystaniem metod rozmytej logiki oraz technologiami maszynowej korekty dużych tekstowych zbiorów. Spośród publikacji w recenzowanych czasopismach w tym okresie można wymienić:

- 1) **A. Czerepicki.** Zastosowanie metod grupowego przekształcenia tekstów do wyszukiwania oraz korekty błędów. (w języku oryg.: «Применение методов групповой обработки текстов для поиска и исправления ошибок»). Wydawnictwo Państwowego Uniwersytetu Elektrotechnicznego „LETI” w Sankt-Petersburgu, Zeszyt WINITI 2389-B99, Sankt-Petersburg, 1999.
- 2) A. Aleksiejew, K. Knot, A. Sołodownikow, A. Spiwakowski, **A. Czerepicki.** Algorytm kształtowania cech diagnostycznych rozmytych eksperymentalnych sygnałów (w języku oryg.: «Алгоритм формирования диагностических признаков нечетких экспериментальных сигналов»). Zeszyty naukowe Wiadomości Państwowego Uniwersytetu Elektrotechnicznego „LETI”, seria „Informacyjne technologie w technicznych i organizacyjnych systemach”, Wyd. 514. Sankt-Petersburg, 1997 r. s. 76-80.
- 3) **A. Czerepicki,** O. Dyczkowska-Uss. Przygotowanie tekstów do słowników komputerowych. Materiały konferencji „Książki multimedialne i elektroniczne w edukacji i biznesie”. Prace Instytutu Maszyn Matematycznych. Warszawa, 1998.

#### Działalność dydaktyczna i organizacyjna przed uzyskaniem stopnia doktora

W latach 1996-1998 prowadziłem laboratoria z przedmiotu „Programowanie w języku C++” na Wydziale Komputerowych Technologii i Informatyki Państwowego Uniwersytetu Elektrotechnicznego LETI w Sankt-Petersburgu (1998). Brałem udział w organizacji corocznych naukowo-technicznych konferencji dla młodych naukowców i doktorantów LETI.

#### Współpraca z przemysłem przed uzyskaniem stopnia doktora

W latach 1994-1999 prowadziłem aktywną współpracę z firmą informatyczną Polnet Sp. z o.o. (ul. Konstruktorska 6, Warszawa) w zakresie analizy i wdrożenia metod komputerowego przekształcenia dużych zbiorów tekstów drukowanych do postaci komputerowej bazy danych. Do najważniejszych osiągnięć w tym zakresie zaliczam:

- 1) Autorskie oprogramowanie „POLNET BookReader” do pierwszej w Polsce książki elektronicznej (1995 r.)
- 2) Autorskie oprogramowanie do komputerowych słowników (1996-1999): Słownik języka polskiego PWN, Wielki słownik rosyjsko – polski oraz polsko-rosyjski, Wielki słownik francusko-polski oraz polsko-francuski, etc. (razem ponad 20 dużych i małych słowników)

- 3) Autorskie oprogramowanie komputerowej wersji „Biblioteki Prawniczej” Domu Wydawniczego ABC (1995 - 1997 r.) – 7 tomów aktów prawnych.
- 4) Autorskie oprogramowanie „Komentarz do Dziennika Ustaw na CD” Wydawnictwa INFOR (1997 – 1999 r.)
- 5) Autorskie oprogramowanie komputerowej wersji „Orzecznictwa Sądów Polskich” Wydawnictwa PWN (1997 r.)

## **5.2. Działalność naukowo-badawcza prowadzona po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych (2000 – 2018)**

Szczegółowy wykaz osiągnięć naukowo-badawczych stanowi Załącznik 5.

## **5.3. Działalność dydaktyczna prowadzona po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych (2000 – 2018)**

### **Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej (od roku 2012)**

- 1) Prowadzone zajęcia dydaktyczne

<b>Lp.</b>	<b>Nazwa przedmiotu</b>	<b>Stopień</b>	<b>Studia stacjonarne</b>	<b>Studia niestacjonarne</b>
1.	Technologia informacyjna (wykład)	1	X	
2.	Informatyka I (wykład, laboratoria)	1	X	X
3.	Informatyka II (laboratoria)	1	X	X
4.	Wybrane działy informatyki stosowanej (wykład, laboratoria)	2	X	X

- 2) Recenzent 10 prac inżynierskich oraz magisterskich.
- 3) Promotor pomocniczy przewodu doktorskiego mgr inż. Marcina Koniaka „Metoda wspomaganie projektowania litowo-jonowego akumulatora trakcyjnego uwzględniająca cykle pracy wybranego środka transportu” (od roku 2016)
- 4) Promotor pomocniczy przewodu doktorskiego mgr inż. Piotra Jaskowskiego „Metoda pomiaru stanu infrastruktury oświetleniowej w ruchu drogowym” (od roku 2018)
- 5) Dodatkowe zajęcia z członkami Studenckiego Koła Naukowego KNEST z zakresu:
  - o programowania baz danych
  - o programowania mikrokontrolerów na bazie platformy Arduino
- 6) Ocena prowadzącego przez studentów: w latach 2012-2018 powyżej średniej wydziałowej
- 7) Autor przedmiotu obieralnego “Podstawy algorytmiki” dla studentów I stopnia.

### **Wyższa Szkoła Menedżerska w Warszawie (2007 – 2013)**

- 1) Prowadzone zajęcia dydaktyczne:

<b>Lp.</b>	<b>Nazwa przedmiotu</b>	<b>Stopień</b>	<b>Studia stacjonarne</b>	<b>Studia niestacjonarne</b>
1.	Administrowanie serwerem baz danych Microsoft SQL Server (wykład, laboratoria)	1		X

2.	Administrowanie serwerem usług sieciowych Microsoft Windows Server (wykład, laboratoria)	1		X
3.	Bazy danych (wykład, laboratoria)	1		X
4.	Informatyka i komputerowe wspomaganie prac inżynierskich (wykład, laboratoria)	1		X
5.	Indywidualny projekt specjalnościowy (seminarium)	1	X	X
6.	Inżynieria oprogramowania (wykład, ćwiczenia)	1		X
7.	Języki i paradygmaty programowania (wykład, laboratoria)	1	X	
8.	Języki skryptowe (wykład, laboratoria)	1		X
9.	Podstawy programowania (wykład, laboratoria)	1		X
10.	Programowanie C++ (wykład, laboratoria)	1		X
11.	Programowanie sieciowe (laboratoria)	1		X
12.	Seminarium dyplomowe	1	X	X
13.	Technologie informacyjne (wykład, laboratoria)	1		X
14.	Technologie sieciowe (laboratoria)	1		X
15.	Zarządzanie projektami informatycznymi (wykład)	1		X
16.	Informatyka w zarządzaniu (wykład)	2		X

- 2) Promotor 40 prac inżynierskich.
- 3) Recenzent ponad 60 prac inżynierskich.

#### **5.4. Działalność organizacyjna prowadzona po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych (2000 – 2018)**

##### **Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej**

- 1) **Kierownik zespołu naukowo-dydaktycznego Informatyki** w Zakładzie Systemów Informatycznych i Mechatronicznych SIMT (od roku 2016).
- 2) **Opiekun naukowy Studenckiego Koła Naukowego Elektrotechniki w Systemach Transportowych KNEST** (od roku 2015)
- 3) Członek Zespołu Roboczego ds. Przygotowania Przekształcenia Zakładów TKUT /Teorii Konstrukcji Urządzeń Transportowych oraz SIiTWT /Systemów Informatycznych i Trakcyjnych w Transporcie/ w jedną jednostkę organizacyjną Wydziału (2014 r.)

##### **Wyższa Szkoła Menedżerska w Warszawie**

- 1) **Prodziekan Wydziału Informatyki Stosowanej** (2009 – 2010)



### **Organizacja konferencji**

- 1) **Członek komitetu naukowego** konferencji międzynarodowej 2016 International Conference on Power, Energy and Mechanical Engineering (ICPEME 2016) Bangkok, Thailand, June 18-20, 2016 (konferencja WebOfScience)
- 2) **Sekretarz komitetu organizacyjnego** międzynarodowej konferencji „Innowacyjność w zarządzaniu: produkcją, logistyką i jakością. Nauka i praktyka w ujęciu produkt, proces, organizacja”. – Wyższa Szkoła Menedżerska w Warszawie, Wydział Menedżerski, Warszawa, 12 grudnia 2012 r.
- 3) **Członek komitetu organizacyjnego** Seminarium Międzynarodowego „Modelowanie systemów transportowych” – Brzeski Państwowy Uniwersytet im. A. Puszkina, 17-20 maj 2018, Brześć, Białoruś.

### **5.5. Współpraca z przemysłem prowadzona po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych (2000 – 2018)**

- 1) Współpraca z firmą Mercomp Sp. z o.o. ul. Św. Bonifacego 92 lok. 35 w zakresie opracowania oprogramowania wspomagającego zarządzanie przedsiębiorstwem (2002 – 2012):
  - System finansowo-księgowy „FK Mercomp” dla dużych i średnich przedsiębiorstw, wdrożony m. innymi w Urzędzie Dozoru Technicznego (UDT), Instytucie Podstawowych Problemów Techniki (IPPT), Instytucie Łączności (IŁ), ESSILOR Sp. z o.o., Lamina Sp. z o.o. oraz innych instytucjach przemysłowych oraz jednostkach naukowo-badawczych.
  - System analityczny „Analizy i Raporty Mercomp” realizujący funkcjonalność analitycznej hurtowni danych z wykorzystaniem baz danych NoSQL.**[Potwierdzenie wdrożenia w Zał. 9]**
- 2) Współpraca z firmą Vitesse Sp. z o.o. ul. Niepodległości 5A, Wyszogród w zakresie opracowania oprogramowania komputerowego klasy ERP oraz CRM do zarządzania pełnym cyklem produkcji, sprzedaży i logistyki (2004 - 2018)
- 3) Współudział w wykonaniu pracy badawczo-rozwojowej “Dobór typu i pojemności baterii trakcyjnej do elektrycznych autobusów przegubowych planowanych do eksploatacji na określonych liniach komunikacyjnych w Warszawie” dla Miejskich Zakładów Autobusowych w Warszawie w zakresie analizy danych pomiarowych, projektowania bazy danych oraz programowania aplikacji komputerowej do modelowania zużycia energii elektrycznej przez autobusy o napędzie elektrycznym na wybranych liniach komunikacji miejskiej w Warszawie (2016 r.) **[Potwierdzenie wdrożenia w Zał. 9]**
- 4) Wykonanie i wdrożenie oprogramowania do gromadzenia i przetwarzania danych z pomiarów oświetlenia przejść dla pieszych w Warszawie na zlecenie Biura Konsultacyjno- Projektowego Inżynierii Drogowej TRAFIK s.c. (2016-2017)



/ podpis /