

**PIOTR KISIELEWSKI**

dr inż., Politechnika Krakowska,  
Pracownia Systemów Logistycznych,  
al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków,  
tel. +48 12 628 33 12, e-mail:  
pkisielewski@pk.edu.pl

# Nowoczesna platforma projektowa i integracyjna systemów IT w transporcie zbiorowym<sup>1</sup>

**Streszczenie:** Rozkład jazdy stanowi podstawę logistyki i fundamentalny systemem informacyjny w publicznym transporcie zbiorowym. Obecnie oprogramowanie do projektowania rozkładów jazdy stanowią zaawansowane technologicznie systemy informatyczne oferujące możliwości szczegółowego projektowania sieci komunikacyjnych, automatycznego generowania kursów, zadań dla pojazdów i kierowców, symulacji ruchu pojazdów w sieci i analityki kosztów operacyjnych systemu transportowego. Systemy rozkładowe zasilają w niezbędne dane inne systemy miejskie m.in. systemy informacji pasażerskiej, dystrybucji biletów, systemy sterowania i kontroli ruchu, systemy ITS i wiele innych. W pracy przedstawiono istotne cechy nowoczesnego systemu projektowania rozkładów, stanowiącego jednocześnie platformę integracyjną systemów informatycznych komunikacji miejskiej.

**Słowa kluczowe:** transport zbiorowy, projektowanie sieci, planowanie i optymalizacja rozkładu jazdy, system informatyczny, platforma integracyjna

## Wprowadzenie

W początkach informatyzacji programy wspomaganie planowania rozkładu jazdy w transporcie zbiorowym sprowadzały się do tabelarycznego generowania kursów w oparciu o zadane parametry wyjściowe, a ich efektem były tabliczki rozkładowe na przystankach i tabele kursowe tzw. kursywki dla operatorów pojazdów. Takie rozwiązanie opiera się całkowicie na wiedzy i doświadczeniu planisty projektanta w zakresie sieci komunikacyjnej, potrzeb pasażerów i dostępnego taboru komunikacyjnego. W przypadku bardzo małych miast i systemów transportowych, doświadczenie takie może być wystarczające do sporządzenia poprawnego rozkładu jazdy, obarczone jest jednak zawsze dużym nakładem pracy i długim czasem realizacji, z możliwością popełnienia licznych błędów trudnych do oceny na etapie planu.

W przypadku większych aglomeracji miejskich i systemów transportowych, odpowiednie wspomaganie projektowania rozkładu jazdy systemem informatycznym staje się koniecznością i stanowi niezbędne wymaganie dla praktycznych projektów realizowanych przez lokalne władze samorządowe, zarządy transportu i operatorów komunikacji.

Odpowiedzią na te wymagania w ostatnich latach są zaawansowane systemy informatyczne w zakresie projektowania sieci komunikacyjnej i optymalizacji rozkładów jazdy. Profesjonalne rozwiązania w tym zakresie oferuje wąskie grono firm specjalizujących się w omawianych zadaniach

[1,2,3,4,5,6,7,8]. W niniejszym artykule zacytowano przykłady z systemu CityLineDesigner [1], zwanego dalej w skrócie CLD.

## Wymagania nowoczesnego systemu planowania/projektowania rozkładów jazdy

Na podstawie wieloletniego doświadczenia autora w pracy w systemach transportu publicznego sformułowano wymagania, jakie powinien spełniać system w zakresie technologii informatycznych i metodyki projektowania rozkładów jazdy.

Wymagania nowoczesnego systemu w zakresie technologii informatycznej obejmują m.in.:

- technologię oprogramowania web tj. przeglądarki internetowej lub klient-serwer z serwerem aplikacji;
- jedną centralną bazę danych systemu na serwerze SQL;
- bazę danych w otwartym standardzie – baza nie może być kodowana;
- możliwość jednoczesnej zsynchronizowanej pracy wieloosobowej (np. jednoczesna praca edycyjna użytkowników systemu na tej samej linii komunikacyjnej lub liniach w brygadach wieloliniowych);
- możliwość dostosowania wyglądu okien edycyjnych programu przez użytkownika (np. ukrywanie niektórych opcji, zmiana położenia, kolejności);
- możliwość pracy na wielowarstwowym systemie mapy/podkładu topograficznego;
- możliwość wyboru/przełączania różnych dostępnych podkładów mapowych;
- możliwość tworzenia własnych kompozycji obszaru roboczego użytkownika systemu (panele dokowane).

W zakresie metodyki projektowania rozkładów, system poza standardowym tworzeniem kursów i łączeniem ich w brygady, powinien między innymi:

- umożliwiać definiowanie dowolnej liczby projektowych wersji rozkładu zapisanych w jednej bazie danych systemu i zatwierdzanie wybranej wersji do realizacji;
- umożliwiać projektowanie/definiowanie rozkładu na określone kalendarzowo okresy obowiązywania w jednej bazie danych systemu;
- umożliwiać dla wszystkich istotnych elementów (topologii, rozkładów, operatorów, danych) edycję danych w określonych datach kalendarzowych – aktualne dane na każdy dzień wstecz i wprzód;

<sup>1</sup> ©Transport Miejski i Regionalny, 2016.

- mieć możliwość porównania danych historycznych (zawartych w bazie) do danych aktualnych;
- posiadać możliwość własnego tworzenia dowolnej liczby szablonów tabliczek przystankowych przez użytkownika;
- mieć możliwość ewidencji i reprezentacji dowolnych rodzajów obiektów lokalizacji (słupki, punkty przelotowe, zabytki, obszary parkowania);
- mieć wbudowane zestawienia statystyczne odnośnie danych rozkładowych i kosztowych w postaci tabel i wykresów;
- umożliwiać wykrywanie konfliktów w rozkładzie i mieć możliwość ich reprezentacji na mapie;
- mieć możliwość autoryzowanego zatwierdzania rozkładów do realizacji;
- mieć możliwość przypisania użytkownikowi zakresu danych, na których może pracować (np. użytkownik ma przypisane tylko linie 1, 2, a co za tym idzie – nie może modyfikować danych z innych linii komunikacyjnych).

Wymienione wymagania spełnia zaledwie kilka rozwiązań na świecie i nie obejmują one wszystkich istotnych cech nowoczesnego systemu projektowania rozkładów jazdy.

### Wiele rodzajów transportu – jeden system

W dużych aglomeracjach miejskich często wykorzystywane są w transporcie publicznym różne typy transportu samochodowego i szynowego, co pokazano schematycznie na rysunku 1. W większości istniejących rozwiązań softwarowych do projektowania sieci komunikacyjnych i rozkładu jazdy aplikacje obsługują oddzielne bazy danych dla każdego typu transportu. Takie rozwiązanie jest złe i stanowi istotne ograniczenie w optymalizacji /synchronizacji systemu transportowego miasta, który winien być traktowany wspólnie jako całość. Oprogramowanie CityLineDesigner wyróżnia intermodalność, kompleksowe projektowanie systemu komunikacyjnego miasta z opisem jego różnych typów transportu w jednej bazie danych.

### Topologia systemu i modelowanie sieci komunikacyjnej

Nowoczesny system rozkładowy cechuje wykorzystanie rozbudowanej, szczegółowej topologii sieci komunikacyjnej, opisanej m.in. w pracach [9,10,11,12,13,14,15,16].



Rys. 1. Intermodalność systemu

Matematyczny model sieci oparty jest na grafie skierowanym, którego stopień szczegółowości zależy od poziomu analizy. Na najwyższym poziomie szczegółowości, jako węzeł grafu, modelowane jest każde stanowisko przystankowe (pozycja, słupki) i dodatkowe punkty kontrolne (przelotowe), a krawędzie grafu stanowią wszystkie odcinki międzyprzystankowe (międzysłupkowe). Wszystkim obiektom sieci odwzorowanym w grafie nadawane są istotne w komunikacji parametry-trybuty np. pojemność stanowiska, przepustowość krawędzi.

Dane sieciowe zapisane w formie tabelarycznej mają ściśle odpowiedniki w modelu grafowym. Graf reprezentowany jest na oddzielnej warstwie podkładu mapowego. Podkład mapowy systemu, prezentowany na oddzielnej warstwie, zasilany jest z serwerów mapowych serwisów internetowych wybranych dostawców. Na oddzielnej warstwie może być zastosowany dedykowany podkład standardowej mapy GIS [1,5].

Dane o topologii sieci mogą do systemu być wprowadzane i edytowane w tabelach, na mapie, za pomocą narzędzi graficznych lub importowane z innych systemów, jak pokazano na rysunku 2 [1]. Każda zmiana w tabelach bazy jest automatycznie odzwierciedlana na mapie sieci komunikacyjnej. Szczególnie interesująca jest możliwość automatycznego wprowadzania danych z urządzeń mobilnych np. rejestrujących dokładnie trasę pojazdu, jego trajektorię ruchu i zatrzymania na przystankach [13,14].



Rys. 2. Topologia i modelowanie sieci w systemie CityLineDesigner

### Nowatorskie technologie informatyczne

CityLineDesigner to kompleksowy, zintegrowany system informatyczny do konstruowania projektowania rozkładów jazdy [1], uwzględniający w jednej bazie danych:

- różne typy transportu zintegrowane w jednym rozkładzie,
- wielu przewoźników działających wspólnie dla miasta,
- wspólne przewozy dla różnych jednostek administracyjnych,
- rzeczywiste dane o natężeniu ruchu pasażerskiego.

System powstał w odpowiedzi na podstawowe problemy organizatorów komunikacji, takie jak:

- brak krajowego, nowoczesnego rozwiązania do edycji rozkładów;

- problemy technologiczne dotychczasowych rozwiązań;
- problemy z wymianą danych (integracją) ze stosowanymi systemami ITS;
- rozwój nowych technologii informacji pasażerskiej i konieczność współpracy z nimi „On-Line”;
- nowe trendy topologii i modelowania sieci komunikacyjnej.

Zapotrzebowanie rynku zbiegło się z dynamicznym rozwojem technologii informatycznych i narzędzi matematycznych, które umożliwiły realizację w systemie funkcjonalności na miarę oczekiwań współczesnych organizatorów komunikacji. W procesie tworzenia oprogramowania CityLineDesigner wykorzystano rozwój w trzech obszarach:

- nowoczesnych algorytmów matematycznej optymalizacji zwłaszcza metaheurystycznych,
- technologii mobilnej wspierającej działanie aplikacji instalowanych w urządzeniach mobilnych,
- technologii webowej z jej najnowszymi osiągnięciami w budowie aplikacji mapowych.

Graficzna, intuicyjna edycja punktów terenowych, przystanków i linków (odcinków międzyprzystankowych) na podkładzie mapowym oraz samodzielny wybór podkładu mapowego przez użytkownika – mapy własne lub z serwerów mapowych Google Maps, OpenStreet Maps, Ovi Maps (rysunek 3) – stanowi niewątpliwą atut systemu.

### Proces projektowania

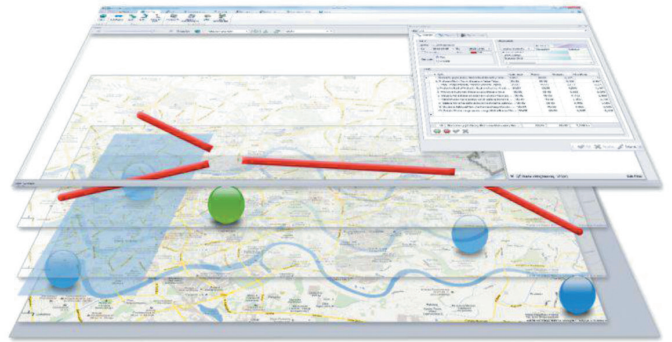
Na rysunku 5 pokazano schematycznie proces projektowy rozkładu jazdy, z zaznaczeniem procesów w aspekcie innowacji, uniwersalności, wizerunku i finansów.

Budowa topologii sieci komunikacyjnej stanowiąca bazowy etap projektu może być wspomagana przez technologie mobilne, co pokazano schematycznie na rysunku 4., m.in. poprzez automatyczne przenoszenie tras, przystanków i czasów przejazdów z aplikacji mobilnych do systemu [1,5,10].

W kolejnym etapie na podstawie danych o rzeczywistych i przewidywanych potokach pasażerskich konstruowane są warianty tras linii komunikacyjnych i kombinacje rozkładów na różne dni tygodnia. W kolejności ręcznie lub automatycznie generowane są kursy rozkładowe transportu, brygady, czyli zadania dla pojazdów i w końcu służby planowe dla kierowców.

Finalnym efektem wizualnym projektu są wydruki tabliczek przystankowych z rozkładem, kursówek pojazdów i innych raportów. W aspekcie finansowym i statystycznym system automatycznie dokonuje analizy kosztów planowanego transportu i przeglądu analitycznego pod kątem poprawności projektu zgodnie z założeniami wyjściowymi.

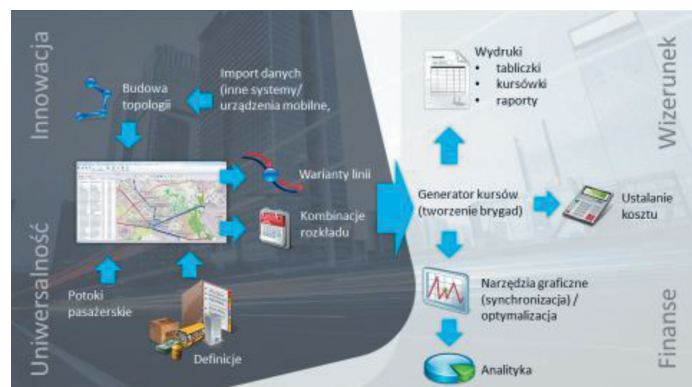
Na rysunku 6 przedstawiono typowe narzędzia graficzne służące do edycji i generacji planowych kursów pojazdów w postaci wykresów piłokształtnych i blokowych



Rys. 3. Wybór warstw i podkładu mapowego przez użytkownika



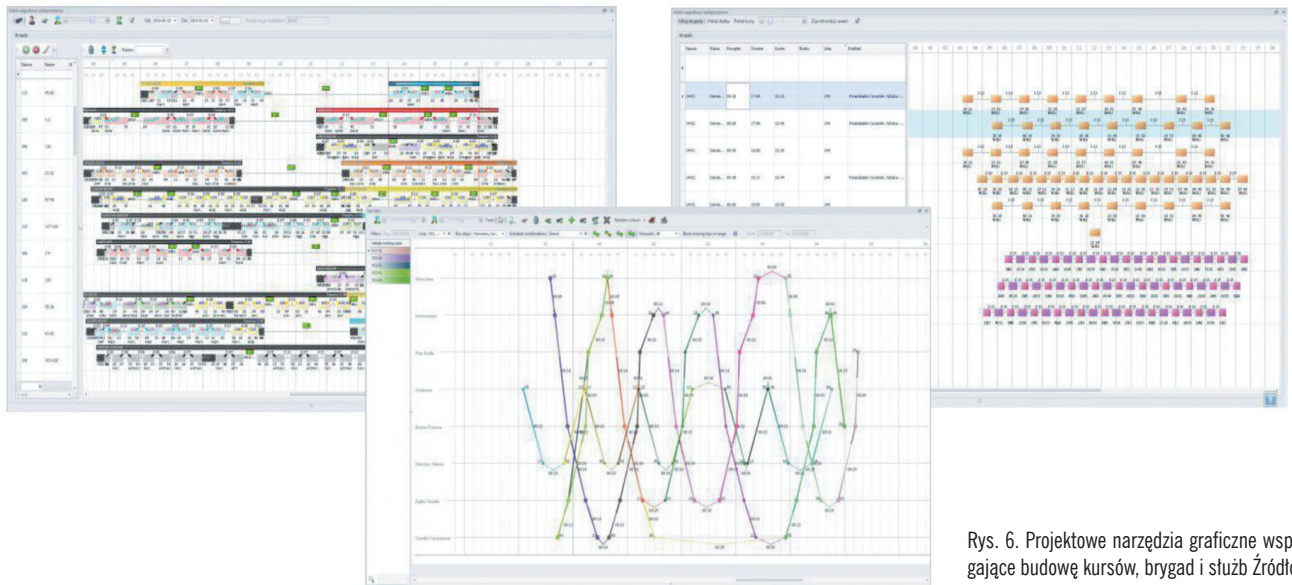
Rys. 4. Wykorzystanie technologii mobilnych w projektowaniu sieci komunikacyjnej i rozkładu jazdy



Rys. 5. Procesy realizowane w systemie projektowania rozkładów jazdy

[1,2,5,6]. Wykresy te służą również do wizualizacji i skłaniania kursów w zadania dla pojazdów tzw. brygady oraz zadania dla kierowców tzw. służby.

Zestawy kursów rozkładowych, brygad i służb mogą być generowane ręcznie lub automatycznie z wykorzystaniem różnych automatów działających w oparciu o zdefiniowane przez użytkownika parametry.



Rys. 6. Projektowe narzędzia graficzne wspomagające budowę kursów, brygad i służb. Źródło: [1]

### Synchronizacja kursów

Synchronizacja kursów w planowanych rozkładach jazdy ma kluczowe znaczenie dla pozytywnego postrzegania transportu przez pasażerów [16,17,18,19]. W teorii i praktyce wyróżnia się dwa typy synchronizacji kursów linii komunikacyjnych:

- synchronizację węzłową, zwaną inaczej przesiadkową,
- synchronizację interwałową, zwaną inaczej liniową.

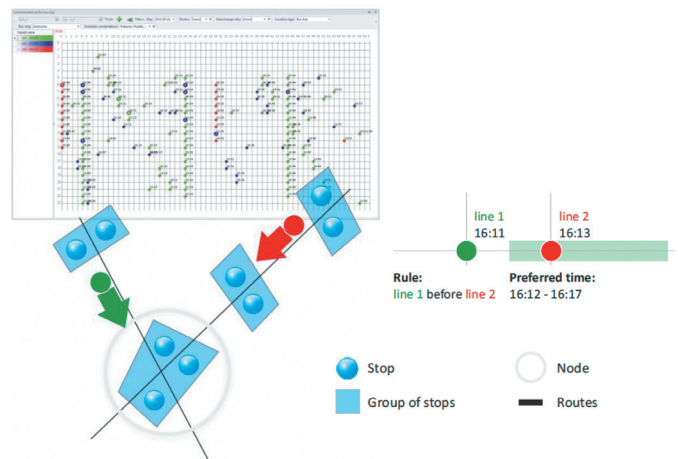
Na rysunku 7 przedstawiono schemat synchronizacji węzłowej dwóch linii komunikacyjnych.

Przez węzeł komunikacyjny rozumie się pojedynczy przystanek lub zespół przystankowy [11,12]. Celem tej synchronizacji jest takie zaplanowanie czasów kursów, aby w wyznaczonym węźle komunikacyjnym zapewnić możliwość komfortowych przesiadek pasażerów pomiędzy kursami różnych linii. Komfort oznacza tutaj minimalizację czasu oczekiwania pasażera przy zapewnieniu odpowiedniego czasu na przejście do innego pojazdu. Do tego w każdym węźle konieczne jest zdefiniowanie odpowiednich reguł przesiadkowych, określających wielkość i położenie okien czasowych dla każdej przesiadki.

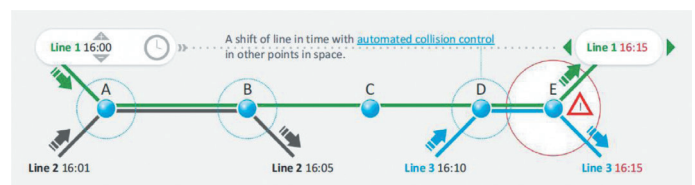
Odpowiedni punktowy wykres synchronizacyjny [1], jak na rysunku 7, umożliwi wizualizację możliwości lub braku możliwości przesiadki oraz odpowiednią korektę kursów celem odpowiedniej ich synchronizacji. Synchronizacja węzłowa ma istotne znaczenie w publicznej komunikacji międzymiastowej przy małej częstotliwości kursów, dużych odstępach czasowych pomiędzy pojazdami, gdzie uniknięcie długiego oczekiwania pasażerów podczas przesiadek jest szczególnie pożądane.

Odmienne jest cel synchronizacji interwałowej, co schematycznie przedstawiono na rysunku 8.

Ten typ dotyczy synchronizacji różnych linii na ich wspólnych odcinkach tras i gdzie dąży się do takiego zaplanowania kursów, aby pojazdy na wspólnych odcinkach kursowały w równych odstępach czasów. Do wizualizacji i ręcznej korekty kursów stosuje się punktowe wykresy synchro-



Rys. 7. Schemat synchronizacji węzłowej



Rys. 8. Schemat synchronizacji interwałowej

nizacyjne podobne do przedstawionego na rysunku 7. Synchronizacja kursowa ma kluczowe znaczenie w komunikacji miejskiej, gdzie duża liczba pojazdów obsługuje linie komunikacyjne, częstotliwość kursów jest znaczna i konieczne jest uniknięcie zjawiska grupowania się pojazdów.

Manualne wykonanie jednoczesnej synchronizacji kursów w wielu punktach, węzłach synchronizacyjnych sieci komunikacyjnej jest bardzo uciążliwe i czasochłonne, gdyż działania synchronizacyjne w jednym punkcie mogą istotnie pogarszać koordynację w innych węzłach sieci. Efektywnym narzędziem dla planistów rozkładu są automaty generacyjne kursów wg warunków synchronizacyjnych narzuconych w wybranym, jednym węźle sieci.

Synchronizacja rozkładu jazdy w wielu wybranych punktach sieci komunikacyjnej wg zadanych parametrów jest praktycznie możliwa tylko przy wykorzystaniu specjalistycznych algorytmów matematycznej optymalizacji [10,12,13,17,18,19,20].

### Optymalizacja systemu

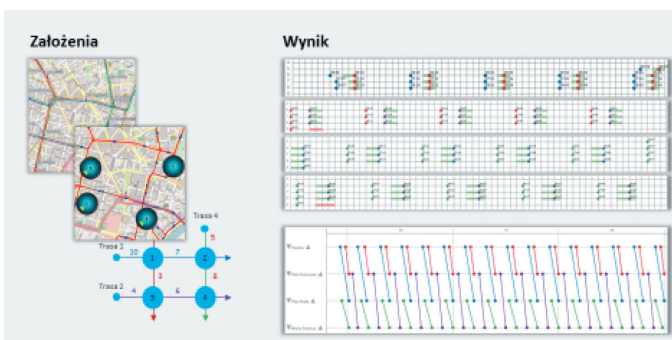
Zastosowanie matematycznej optymalizacji już na etapie planowania strategicznego w zakresie rozkładu przystanków i konstrukcji tras linii komunikacyjnych jest złożonym problemem matematycznym, znajdującym zastosowanie w nielicznych praktycznych projektach i implementacjach softwarowych [1,5,9,12,20,21].

W najnowszych rozwiązaniach [1,2,3,5,7,8] system projektowania rozkładu wyposażony jest w moduły optymalizacyjne kursów, brygad i służb, generujące wymienione obiekty w sposób całkowicie automatyczny z wykorzystaniem algorytmów matematycznej optymalizacji [16,17,18,20,21,22,23,24,25,26]. Wszystkie wymienione wyżej problemy optymalizacyjne należą do tzw. klasy problemów NP trudnych [27].

Problem optymalizacji kursów rozkładu jazdy jest rozpatrywany jako zagadnienie planowania strategicznego i matematycznie modelowany jest na różne sposoby, jako tzw. zagadnienie QSAP (*Quadratic Semi-Assignment Problem*), MIP (*Mixed Integer Programming*) albo PTSP (*Periodic Time Scheduling Problem*) [10,16,18,19,20,25].

Najczęściej optymalizacja kursów rozkładu jazdy modelowana jest jako zagadnienie synchronizacji kursów w zestawie węzłów z dodatkowymi ograniczeniami. W systemie CLD poszukuje się optymalnego zestawu kursów na podstawie synchronizacji interwałowej i przesiadkowej w dowolnie licznie wybranych punktach synchronizacyjnych sieci, z uwzględnieniem priorytetów (wag) tych punktów, priorytetów linii komunikacyjnych oraz wag dla synchronizacji interwałowej i przesiadkowej.

Stosowane metody optymalizacyjne poszukują minimum funkcji kosztów tworzonego zestawu kursów przy licznych definiowalnych przez użytkownika ograniczeniach. Warunki optymalizacji oraz wyniki w postaci wartości funkcji kosztu, z uwzględnieniem udziału wybranych punktów synchronizacyjnych w jej wartości, są prezentowane w systemie CLD w praktycznej i czytelnej dla projektanta graficznej formie, jak na rysunku 9 dla 4 węzłów synchronizacyjnych sieci komunikacyjnej.



Rys. 9. Przykład optymalizacji rozkładu kursów w systemie CLD

Po zaplanowaniu rozkładu jazdy następuje etap planowania operacyjnego, w którym w kolejności kursy łączone są w brygady tj. zadania dla pojazdów, a te z kolei dzielone na prace kierowców tj. służby. Oba te etapy są niezwykle trudne do planowania manualnego i wspomagane metodami matematycznej optymalizacji, najczęściej z wykorzystaniem programowania liniowego i metod heurystycznych [13,14,16,22,23,24,26]. Te ostatnie praktycznie zastosowano w systemie CLD.

### Symulacja planowanego ruchu pojazdów

Zaplanowany rozkład jazdy przed zatwierdzeniem do realizacji powinien być wszechstronnie sprawdzony celem wykrycia nieprawidłowości, takich jak np. niespełnienie wymogów taborowych, zbyt duże obciążenie odcinków sieci, brak przydziału kursów do brygad.

Sprawdzenia reguł rozkładowych powinny być dokonywane na każdym etapie projektowania automatycznie przez system. W systemie CLD użytkownik ma ponadto możliwość symulacji procesu ruchu pojazdów wg rozkładu na sieci z wizualizacją graficzną potencjalnych sytuacji konfliktowych i niepożądanych, co zaprezentowano na rysunku 10.



Rys. 10. Symulacja planowanego ruchu pojazdów na sieci komunikacyjnej

### Platforma integracyjna

W przeszłości system planowania rozkładu stanowił wydzielone oprogramowanie, niezależne od innych istotnych dla komunikacji publicznej systemów. Aktualnie istnieje silna interakcja pomiędzy systemem rozkładowym i systemem biletowym, informacją pasażerską, systemem kontroli i sterowania ruchem, systemami zarządzania flotą pojazdów i innymi, co schematycznie zobrazowano na rysunku 11. Oprogramowanie rozkładowe CityLineDesigner zasila pozostałe systemy w dane dotyczące topologii sieci komunikacyjnej, podziału administracyjnego, stref komunikacyjnych, obszaru pokrycia komunikacyjnego [12], rozkładu jazdy i pobiera z tych systemów istotne dane m.in.: zmiany w układzie komunikacyjnym miasta, dane taborowe, dane o potokach pasażerskich, dane o aktualnej sytuacji ruchowej w zakresie realizacji planowych przewozów i obciążenia arterii komunikacyjnych.



Rys.11. Powiązanie systemu projektowania rozkładu jazdy z innymi systemami w transporcie publicznym

Integracja systemowa CLD przebiega na poziomie bazy danych systemu, jest w pełni automatyczna i realizowana z minimalnym opóźnieniem czasowym.

Na rysunku 12 przedstawiono możliwości integracyjne systemów, poczynając od najstarszego rozwiązania opartego na plikowej wymianie danych, po nowoczesne rozwiązania oparte na szynach danych, web serwisach czy też bezpośredniej integracji bazodanowej. Bardzo ważnym elementem systemu jest standaryzacja bazodanowej wymiany danych pochodzących od systemów różnych dostawców. W komunikacji miejskiej w Europie preferowane przez organizację UITP [28] standardy to VDV, Transmodel i TransXchange.

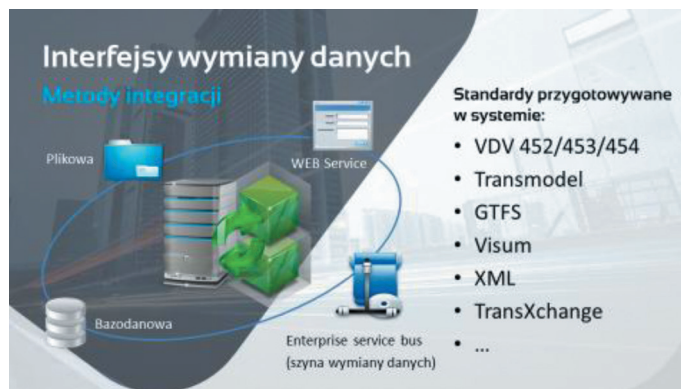
Modelowy projekt integracji bazodanowej systemów transportowych wg powyższych założeń jest realizowany w kilkunastu miastach Polski, między innymi w Miejskich Zakładach Autobusowych w Warszawie.

## Podsumowanie

W artykule przedstawiono istotne wymagania i cechy nowoczesnego systemu projektowania rozkładów jazdy w komunikacji miejskiej. Szczególną uwagę zwrócono na wykorzystanie współczesnych technologii informatycznych, w tym zastosowanie urządzeń mobilnych. Sformułowano ważne wymagania w zakresie bazy danych systemu i powiązania jej z innymi systemami informatycznymi miasta, zwłaszcza w zakresie systemów ITS, informacji pasażerskiej, systemów sterowania i kontroli ruchu. Na przykładach opisano w skrócie etapy procesu konstrukcji rozkładów jazdy. Podkreślono rolę, jaką odgrywają nowoczesne metody matematycznej optymalizacji w procesie projektowania rozkładów jazdy.

## Literatura

1. Strona internetowa: [www.dpksystem.com](http://www.dpksystem.com)
2. Strona internetowa: [www.giro.ca](http://www.giro.ca)
3. Strona internetowa: [www.goalsystems.com](http://www.goalsystems.com)
4. Strona internetowa: [www.initag.com](http://www.initag.com)
5. Strona internetowa: [www.ivu.com](http://www.ivu.com)
6. Strona internetowa: [www.lumiplan.com](http://www.lumiplan.com)
7. Strona internetowa: [www.maioir.it](http://www.maioir.it)
8. Strona internetowa: [www.trapezegroup.com](http://www.trapezegroup.com)
9. Ceder A., *Designing public transport network and routes. Advanced Modeling for Transit Operations and Service Planning*, Lam W.H.K., Bell G.H., Emerald Group Publishing Ltd., UK, 2003.



Rys. 12. Standardy bazodanowej wymiany danych w transporcie publicznym

10. Grzyb A., Kisielewski P., *Problemy optymalizacyjne strategicznego planowania transportu pasażerskiego*, XXXII Konferencja Optymalizacja i CAD, Politechnika Koszalińska 2014.
11. Kisielewski P., *Modeling of transport networks with graph theory*, XX Warsztaty Naukowe PTSK, Koszalin-Mielno 2013.
12. Kisielewski P., *Wybrane problemy optymalizacyjne strategicznego planowania w komunikacji miejskiej*, „Logistyka”, 2014, nr 6.
13. Kisielewski P., *Logistic Planning in City Public Transit*, 2nd International Conference on „IT Solutions in Logistics”, Łomża, Poland 2014.
14. Kisielewski P., *Operational planning in city public transit*, XXI Warsztaty Naukowe PTSK, Białystok-Białowieża 2014.
15. Kisielewski P., Ulman B., *Projektowanie sieci komunikacji miejskiej w oparciu o kompleksowe badania ruchu*, „Logistyka”, 2015, nr 3.
16. Lam W., Bell M., *Advanced modeling for transit operations and service planning*, Pergamon 2003.
17. Ceder A., Tal O., *Timetable synchronization for buses*, *Computer-Aided Transit Scheduling*, Proceedings of the Seventh International Workshop on Computer-Aided Scheduling of Public Transport, Cambridge, MA, USA, 1997.
18. Eranki A., *A model to create bus timetables to attain maximum synchronization considering waiting times at transfer stops*, Graduate School Theses and Dissertations. University of South Florida, 2004.
19. Klemt W.D., Stemme W., *Schedule Synchronization for Public Transit Networks*, Daduna J.R., Wren A., *Computer-Aided Transit Scheduling*, Springer-Verlag Berlin-Heidelberg, 1988.
20. Quak C.B., *A passenger-oriented approach of the construction of a global linen network and an efficient timetable*, Delft University of Technology, 2003
21. Ceder A., *Operational objective functions in designing public transport routes*, *Journal of Advanced Transportation*, Vol. 35, No. 2, 2001.
22. Ahuja R., Mohring R., Zaroliagis C., *Robust and Online Large-Scale Optimization: Models and Techniques for Transportation Systems*, Springer-Verlag, Berlin 2009.
23. Kisielewski P., *Planning and dispatching optimization of city transport*, Konferencja IGKM, Białystok 2012.
24. Kisielewski P., *City transit logistics system with optimization module*, XXX Konferencja Polioptymalizacja i CAD, Politechnika Koszalińska, Mielno 2012.
25. Liebchen C., *Periodic Timetable Optimization in Public Transport*, Technische Universität, Disertations, Berlin 2006.
26. Wilson N., Nuzzolo A., *Schedule-Based Dynamic Transit Modeling: Theory and Applications*, Kluwer Academic Publishers 2010.
27. Simchi-Levi D., Chen X., Bramel J., *The Logic of Logistics*, Springer, 2014.
28. Strona internetowa: [www.uitp.org](http://www.uitp.org)