

Modelowanie oddziaływania informacji w czasie rzeczywistym o napelnieniu pasażerskim w sieciach miejskiego transportu zbiorowego

Zatłoczenie pasażerskie jest ważnym i powszechnym problemem, szczególnie w systemach miejskiego transportu zbiorowego (TZ). Wiąże się ono z nieoptymalnym wykorzystaniem zasobów przewozowych TZ i objawia się poprzez szereg negatywnych konsekwencji, zarówno dla pasażera (jakość podróży) jak i operatora (efektywność systemu). Równocześnie, współczesne rozwiązania w ramach tzw. inteligentnych systemów transportowych (ITS) oferują coraz większy potencjał ich zastosowania w zarządzaniu popytem m. in. w celach ograniczenia negatywnych skutków zatłoczenia pasażerskiego. W tym kontekście ciekawym – i coraz bardziej wykonalnym – rozwiązaniem może być dostarczanie podróżnym informacji o napelnieniu pasażerskim pojazdów TZ w czasie rzeczywistym (z ang. RTCI – *real-time crowding information*). Jest to jednakże wątek o wciąż istotnych lukach badawczych, dotyczących: braku badań empirycznych nt. wpływu RTCI na zachowania transportowe, a także niewystarczających metod (narzędzi do) analizy konsekwencji RTCI dla decyzji podróżnych oraz wynikowego funkcjonowania sieci.

Celem zasadniczym niniejszej pracy jest dostarczenie wkładu naukowego w postaci metod (narzędzi) modelowania efektów dostarczania informacji o napelnieniu pasażerskim w czasie rzeczywistym (RTCI) na decyzje podróżnych o wyborze trasy lub kursu przejazdu w systemach miejskiego transportu zbiorowego (TZ). Zakres naukowy pracy został sformułowany na podstawie **3 otwartych pytań badawczych**, które były przedmiotem prac analitycznych:

- a) Jaki może być efekt globalny wpływu informacji RTCI na wybór trasy przejazdu w skali sieci transportu zbiorowego?
- b) Jaki jest wpływ informacji RTCI na skłonność pasażerów do wyboru późniejszego, ale mniej zatłoczonego odjazdu z tego samego przystanku?
- c) Czy dostępność informacji RTCI może przyczynić się do poprawy jakości podróży w sytuacji zakłóceń funkcjonowania sieci?

Szczegółowe wyniki prac naukowych przedstawiają 3 zasadnicze rozdziały niniejszej pracy. W rozdziale pierwszym zaprezentowano dynamiczny algorytm, który symuluje wpływ natychmiastowej RTCI na decyzje podróżnych o wyborze trasy przejazdu oraz wynikające z nich konsekwencje w funkcjonowaniu sieci TZ. Rozdział drugi koncentruje się na badaniach ankietowych wpływu RTCI na gotowość pasażerów do celowego oczekiwania na późniejszy odjazd na danym przystanku w celu redukcji (lub uniknięcia) zatłoczenia w pojeździe TZ. Rozdział trzeci z kolei przedstawia dynamiczny model wpływu natychmiastowej RTCI na decyzję o wyborze kursu (odjazdu) z danego przystanku i demonstrowuje potencjalne skutki dostarczania takiej RTCI podczas zakłóceń funkcjonowania sieci TZ, na przykładzie znanego problemu deregulacji kursowania pojazdów (tzw. *bus bunching problem*).

Wyniki badań naukowych składających się na niniejszy cykl przedstawiają szereg potencjalnych efektów systemów RTCI w sieciach miejskiego TZ. Rozdział drugi ukazuje, jak dostęp do RTCI może wzbudzić znaczną *gotowość podróżnych do poczekania na późniejszy, mniej zatłoczony odjazd* z przystanku, nawet do 15 minut. Prace modelowe w rozdziale pierwszym i trzecim ilustrują z kolei ciąg zdarzeń, jaki zachodzi w procesie decyzyjnym pasażera po uzyskaniu dostępu do RTCI w trakcie podróży TZ. Symulacje na modelach rzeczywistych sieci transportowych miast Krakowa i Warszawy ukazują ich dalsze konsekwencje dla funkcjonowania sieci oraz doświadczenia podróży. Wyniki tych prac sugerują, że wpływ RTCI na *wybór trasy przejazdu* może poprawić jakość podróży o ok. 3% w godzinie szczytu, a nawet o 30% zmniejszyć ryzyko wystąpienia najwyższego poziomu zatłoczenia w pojazdach, ale z drugiej strony – okazuje się, że istnieje także wyraźne ryzyko niedoszacowania poziomu zatłoczenia przez system RTCI, nawet w 30% przypadków. W dalszych pracach symulacyjnych pokazano z kolei, jak wpływ RTCI na *wybór kursu (odjazdu) z przystanku* tej samej linii pozwala zahamować postępującą deregulację kursowania pojazdów (efekt *bus bunching*) i wyraźnie zmniejszyć wahania liczby pasażerów w kolejnych odjazdach. Dzięki temu efekty najwyższego poziomu zatłoczenia maleją w skali globalnej o 40%, a nawet mogą całkowicie zanikać w wybranych elementach sieci TZ.

Rezultatem naukowym niniejszej pracy jest cykl artykułów opublikowanych w recenzowanych czasopismach i materiałach konferencyjnych (przygotowanych jako pierwszy współautor). Zawierają one zestaw metod i narzędzi do badań i oceny skutków dostarczania informacji RTCI w sieciach miejskiego TZ, z perspektywy zarówno użytkownika, jak i operatora sieci. Narzędzia te mogą wspierać formułowanie działań strategicznych i operacyjnych, dążących do optymalizacji wykorzystania zasobów przewozowych sieci TZ w czasie rzeczywistym i poprawy jakości podróży. Modele analityczne mogą być stosowane do oceny skutków RTCI dla różnych scenariuszy i warunków sieciowych. W przyszłych pracach możliwe jest ich rozszerzenie o bardziej zaawansowane metody dostarczania informacji o napełnieniu pasażerskim, czy też o algorytmy prognozy napełnienia pojazdów. Wnioski praktyczne z niniejszej pracy mogą także wspomóc rozwój przyszłych systemów RTCI jako efektywnych narzędzi zarządzania mobilnością we współczesnych systemach miejskiego TZ.

Słowa kluczowe: modelowanie transportowe; zachowania transportowe; transport zbiorowy; zatłoczenie pasażerskie; informacja o napełnieniu pasażerskim; RTCI; inteligentne systemy transportowe; ITS