

Janusz WOCH

ZINTEGROWANY SYSTEM STEROWANIA RUCHEM – PROBLEMY ADAPTACYJNE NA PRZYKŁADZIE KONURBACJI GÓRNOŚLĄSKIEJ

Streszczenie. W aglomeracjach miejskich, takich jak GOP, problemy związane z transportem są najważniejsze i wymagają zastosowania natychmiastowych rozwiązań w ramach określonych przez państwo priorytetów. Prezentowany artykuł omawia wybrane problemy adaptacyjne związane z budową Zintegrowanego Systemu Sterowania (Zarządzania) Ruchem w Konurbacji Górnośląskiej. Zakres prezentowanych problemów oraz idea powstania takiego systemu są odpowiedzią na próby utworzenia Górnośląskiego Związku Metropolitalnego. W artykule przedstawiono analizę punktualności transportu publicznego, rozkłady czasu przejazdu odcinka swobodnego przez tramwaj, problemy związane z koordynacją zamknięć drogowych oraz wykorzystaniem zdjęć satelitarnych w IR. Jest to nowa idea, która nieznacznie zmienia dotychczasowe założenia i zakres przestrzenny analizowanych rozwiązań. Omówione w tym artykule zagadnienia są opracowywane od kilku lat przez zespół pracowników Katedry Inżynierii Ruchu Politechniki Śląskiej.

INTEGRATED TRANSPORTATION SYSTEM— ADAPTATION PROBLEMS ON THE GOP EXAMPLE

Summary. In urban centers such as GOP, transportation problems are most visible and most urgent and intractable. National transportation priorities must be set and quickly implemented in this place. In the GOP area after creation GZM ship – state transportation programs do indeed provide for balanced transportation systems. The basic problems will have to be considered. The analysis of public transport punctuality and reliability in the last time on proper area was done to improve public transport punctuality and journey times. The distribution of tram freeway passing time also considered. We consider that a distribution of tram freeway passing time is lognormal. In this volume the readers will find the facts about some aspects of road closure. Finally the autor explain some problems with satellite traffic monitoring systems. Most transportation professionals say that we cannot build our way out of urban congestion problems. Intelligent transportation systems ITS provide the technology to enable people to make smart travel choices.

1. WPROWADZENIE

9 stycznia 2006 roku w Świętochłowicach Prezydenci miast członkowskich podpisali deklarację o utworzeniu Górnośląskiego Związku Metropolitalnego. Jest to rozwiązanie integrujące większość miast Konurbacji Górnośląskiej w ramach jednego organizmu prawnego. Rozwiązanie to ma na celu zwiększenie dotacji unijnych, które w chwili obecnej są jednymi z najmniejszych w Polsce. Należy pamiętać, że w planach jest rozszerzenie

związku o kolejne miasta – satelickie w stosunku do jego obszaru [1].

Związek ten staje się naturalną jednostką administracyjną, zainteresowaną powstaniem Zintegrowanego Systemu Sterowania (Zarządzania) Ruchem na rozpatrywanym obszarze.

Systemy takie istnieją już w wielu aglomeracjach europejskich i znane są szczegółowe sposoby ich organizacji, w której każdy z nich posiada swoją własną specyfikę.

Specyfiką obszaru obejmowanego zasięgiem Górnośląskiego Związku Metropolitalnego są:

- niejednorodna struktura zabudowy, a co za tym idzie układ połączeń komunikacyjnych,
- gęsta sieć linii tramwajowych (pod względem długości trzecia w Europie),
- brak wspólnej polityki taryfowej przewoźników,
- permanentne zamknięcia drogowe związane z przebudową i modernizacją istniejących układów komunikacyjnych [24][25][26].

W artykule w szczególności położono nacisk na zasygnalizowanie takich zagadnień, jak:

- określenie rozkładów odstępów czasów pomiędzy pojazdami na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną i małych rondach [4][16][22],
- określenie rozkładów czasów przejazdów przez tramwaje konwencjonalne odcinków swobodnych [8][9][12][14],
- badanie punktualności komunikacji zbiorowej [11],
- rozwiązywanie problemów związanych z ograniczeniami w ruchu [24][25][26].

2. SZCZEGÓŁOWE PROBLEMY ADAPTACYJNE ZINTEGROWANEGO SYSTEMU STEROWANIA RUCHEM W GÓRNOŚLĄSKIM ZWIĄZKU METROPOLITALNYM

Krytycznym obszarem każdego systemu zintegrowanego sterowania ruchem jest komunikacja zbiorowa i podstawowy miernik jakości działania - punktualność [2][11]. W typowych rozwiązaniach analizy punktualności komunikacji zbiorowej najczęściej wykonywaną grupą badań są pomiary dynamiczne. W Katedrze Inżynierii Ruchu Politechniki Śląskiej poddano badaniu punktualność komunikacji zbiorowej wybranych, głównych linii autobusowych (m in. w relacji Katowice-Gliwice). Zastosowano metodę dynamiczną, określając podstawowe dla tego rodzaju badań parametry [10][13]:

- Q – wskaźnik „stopień punktualności”,
- D – odchyłka,
- U – wskaźnik „uciążliwość niepunktualności”.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że różnica d między przewidywanym w rozkładzie jazdy czasem odjazdu (ew. przyjazdu) z określonego punktu na trasie, a rzeczywistym czasem odjazdu (ew. przyjazdu) waha się w granicach od + 4 do -15 minut. Wartości te dochodzą w wielu przypadkach do kilkunastu procent całkowitego czasu podróży na wybranych trasach. Stanowi to istotną informację w procesie budowy Zintegrowanego Systemu Sterowania Ruchem (zwanym w dalszej części opracowania **Systemem**)[11].

Oczywiste jest, że stosowane obecnie badania dynamiczne nie mogą mieć zastosowania w Systemie. Dla celów Systemu jedynym dopuszczalnym rozwiązaniem są wyłącznie metody oceny punktualności z wykorzystaniem pomiarów opartych na Global Positioning Systems (GPS). Badania dynamiczne mogą być jedynie badaniami uzupełniającymi i pomocniczymi w trakcie tworzenia Systemu.

Wskaźnik uciążliwości niepunktualności U , określony na podstawie pracy [2], w przypadku od 50 do 60% przystanków komunikacji zbiorowej okazał się być niedostateczny, natomiast zaledwie w 10% okazał się być dobry lub bardzo dobry.

Parametry te dobitnie pokazują, jak ważny dla celów przyszłego Systemu jest sposób badania punktualności komunikacji zbiorowej i sposób jej prezentacji dla użytkowników

procesu transportowego. Niekorzystne tendencje w zakresie komunikacji zborowej nie ulegną z pewnością odwróceniu w perspektywie kilkunastu najbliższych lat. Składa się na taki stan rzeczy kilka czynników:

- stały wzrost kongestii ruchu – a należy pamiętać, że w Polsce nie został jeszcze osiągnięty europejski wskaźnik motoryzacji,
- zaplanowane inwestycje drogowe w horyzoncie czasowym do 2020 r.

Na obszarze objętym zasięgiem terytorialnym Górnośląskiego Związku Metropolitalnego nadal zauważalna jest tendencja zastępowania istniejących rozwiązań geometrycznych skrzyżowań drogowych małymi rondami. W niektórych miastach należących do Związku takie rozwiązania komunikacyjne (ronda), kompaktowe stają się dominującym elementem układu komunikacyjnego miasta. Takim przykładem może być zarówno miasto Tychy, jak i Piekary Śląskie, gdzie małe ronda stają się dominującym rozwiązaniem w zakresie elementów geometrycznych miejskich układów komunikacyjnych. W planach znajdują się projekty budowy nowych rond w tych miastach. Zaistniała sytuacja dotyczy również innych miast satelickich Związku, takich jak Mikołów czy też Tarnowskie Góry, które z różnych przyczyn nie weszły do struktur powyższej organizacji (ostatecznie do momentu wprowadzenia poprawek legislacyjnych weszły do Związku tylko miasta na prawach powiatu).

W Katedrze Inżynierii Ruchu Politechniki Śląskiej od kilku lat prowadzone są prace w kierunku budowy modeli symulacyjnych [17][18][19][20][21] małych rond, co powoli w perspektywie wdrożyć przedmiotowe algorytmy do Systemu. Podstawowym problemem rozpatrywanym w takich modelach są pomiar i analiza rozkładów odstępów czasu pomiędzy pojazdami poruszającymi się jezdnią małego ronda.

Pomiary w celu przeprowadzenia przedmiotowej analizy wykonano w wybranych miastach, analizując podstawowe rozkłady statystyczne: wykładniczy, rozkład Gamma, rozkład Erlanga, rozkład logarytmiczno-normalny.

Analiza wyników pomiarów odstępów czasu pomiędzy pojazdami poruszającymi się jezdnią małego ronda pozwoliła stwierdzić dużą zgodność z rozkładami prostymi: wykładniczym, logarytmiczno-normalnymi, Gamma. Sytuacja taka ma miejsce w odniesieniu do małych natężeń ruchu na jezdni ronda. W przypadku natężeń ruchu przekraczających małe i umiarkowane, rozkłady te nie zostały zweryfikowane. Ruch pojazdów w warunkach kongestii (a więc w większości przypadków identyfikowanych na terenie Związku) najkorzystniej opisywać za pomocą rozkładów złożonych, takich jak rozkład Erlanga i rozkład Hyperlangu.

W przypadku analizy odstępów między pojazdami na wlotach skrzyżowań zakłada się, że odstęp czasu przyjmują rozkład wykładniczy w przypadku ruchu swobodnego [3][4][5]. Ruchu drogowy, charakteryzujący się skończoną długością każdego pojazdu oraz zachowaniem bezpiecznego odstępu, powoduje, że celowe jest przyjęcie rozkładu wykładniczego z przesunięciem. Konieczne jest uwzględnienie minimalnego, technicznego odstępu czasowego. Ogólnie element taki nazywamy buforem lub pamięcią systemu. W takim zapisie funkcja takiego rozkładu przedstawia się następująco:

$$F(t) = 1 - e^{-\frac{(t-t_0)}{(t-t_0)}} \quad (1)$$

gdzie:

t_{ij} – odstęp między pojazdami równy: $t_{ij} = t_{zi} + t_0$,

t_{zi} – część losowa odstępu,

t_0 – część techniczna odstępu tzw. odstęp minimalny.

W przypadku ruchu pojazdów z umiarkowaną lub dużą intensywnością obserwujemy rozkład logarytmiczno-normalny:

$$f(x) = \frac{1}{(x-\theta) \cdot \sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{(\ln((x-\theta)/m))^2}{2\sigma^2}} \quad \text{dla } x \geq \theta; m, \sigma > 0 \quad (2)$$

gdzie:

m – parametr skali,

σ – parametr kształtu,

θ – parametr przesunięcia.

Paradoksalnie w rozpatrywanym obszarze, a jest to obszar charakteryzujący się kongestią ruchu w szczytach komunikacyjnych, dochodzi do zgłaszania się pojazdów na wlotach skrzyżowania w odstępach czasu charakteryzujących się rozkładami jednostajnymi jednopunktowymi. Mimo prostego opisu takiego zjawiska należy pamiętać, że jest to związane z degeneracją ruchu i całkowitą utratą jego płynności [5][23].

W zintegrowanym systemie sterowania ruchem istotną informacją są czasy przejazdu odcinka swobodnego trasy. Informacja ta nabiera szczególnego znaczenia w punktach węzłowych w przypadku sterowania ruchem tramwajów. W analizowanym obszarze występują tramwaje klasyczne, a tramwaj szybki pojawi się w perspektywie 10-15 lat, chociaż trudno sobie wyobrazić w analizowanym obszarze tramwaj całkowicie pozbawiony kolizyjnych miejsc zatrzymań. Z tego powodu istotne jest uzyskanie rozkładów czasów przejazdów tramwaju klasycznego na odcinkach swobodnych. Odcinek swobodny jest to część torowiska ograniczona z obydwu stron punktami wymuszającymi zatrzymanie biegu pojazdu, na całej swojej długości pozbawiony jest on przeszkód dla ruchu.

W ramach projektów realizowanych w Katedrze Inżynierii Ruchu Politechniki Śląskiej przeprowadzono badania w sieci tramwajowej Zagłębia Dąbrowskiego. Przebadano blisko 9 tys. przypadków. Weryfikacja danych pomiarowych pozwoliła stwierdzić zgodność rozkładu czasu przejazdów tramwajów wybranymi odcinkami swobodnymi z rozkładem logarytmiczno-normalnym. Ponadto, zbadano zależność parametrów rozkładu od długości odcinka przejazdu. W analizowanych przypadkach zależność ta przedstawia się następująco:

$$m = 0,121s + 5,5 \quad (3)$$

gdzie:

m – średni czas przejazdu odcinka [s],

s – długość odcinka w metrach.

W ramach prac Katedry wykonano analizę finansową i techniczną opłacalności wykorzystywania komercyjnych zdjęć satelitarnych do celów analizy i sterowania ruchem drogowym na wybranym obszarze [6].

Tablica 1

Powierzchnie wybranych miast ($1 \text{ km}^2 = 320 \text{ zł}$)

Miasto/ typ zamówienia/ koszt w PLN	Powierzchnia [km^2]	Liczba map $X \cdot 100 \text{ km}^2$	Jednorazowe wyk. ortofotomapy, PLN	Ściste centrum	Zdjęcia z archiwum	Kolekcja całoroczna 120 zdjęć, PLN
Katowice	164	1	32 000	13 500	13 500	3 840 000
Kraków	327	6(3x2)	192 000	13 500	81 000	23 040 000
Szczecin	301	4(2x2)	128 000	13 500	54 000	15 360 000
Poznań	261	4(2x2)	128 000	13 500	54 000	15 360 000
Warszawa	517	6 (3x2)	192 000	13 500	81 000	23 040 000

Źródło: [6]

Jeżeli chodzi o stronę techniczną przedsięwzięcia, to przeszkodą na obecnym etapie jest zbyt mała częstotliwość obrazowania powierzchni objętej zasięgiem Górnośląskiego Związku Metropolitalnego, wynosząca 2 obrazowania na tydzień. Należy zaznaczyć, że jest ona zależna nie od konkretnej lokalizacji powierzchni, ale od liczby i orbity (inklinacji) satelitów. Jeżeli natomiast chodzi o stronę ekonomiczną przedsięwzięcia, to w tabeli 1 przedstawiono szacunkowe koszty obrazowania większych miast w Polsce. Wynika z niej jednoznacznie, że wykorzystanie techniki satelitarnej do sterowania Systemem w czasie rzeczywistym jest w najbliższych latach wykluczone.

Kluczowym zagadnieniem do 2020 roku będą koordynacja i optymalizacja zamknięć drogowych. Związane jest to z licznymi inwestycjami i modernizacjami w układzie komunikacyjnym analizowanego obszaru. Optymalizacja polega na wyborze r -tego wariantu rozwiązania organizacyjnego dla struktury ruchu. Każdemu wariantowi przyporządkowane są globalne czasy podróży. Dla każdego r -tego wariantu organizacji ruchu wyznaczamy globalne opóźnienia F_D , jako [5][23]:

$$F_D = F_{GCP} - F_{GCP_0} \quad [\text{s}] \quad (4)$$

gdzie:

 F_{GCP} – globalny czas podróży po wprowadzeniu r -tego wariantu, F_{GCP_0} – globalny czas podróży przed wprowadzeniem ograniczenia ruchu.

Podstawowym celem optymalizacji sieci transportowych jest minimalizacja globalnych opóźnień sieci transportowych, co, ze względu na nieliniowe zależności, wymaga zastosowania metod badań warunkowych przepustowości węzłów transportowych. Optymalizowana struktura ruchu może dokonywać się tylko przez zmniejszanie opóźnień w czasie podróży, natomiast wybrany sposób organizacji ruchu powinien zapewnić właściwą przepustowość oraz najmniejsze opóźnienia pojazdów. Rozwiązanie takie zapisujemy jako F_D^* :

$$F_D^* = \min_r F_D, \quad [\text{s}] \quad (5)$$

gdzie:

 r – numer analizowanego wariantu organizacji ruchu, F_D – globalne opóźnienie dla r -tego wariantu organizacyjnego w godzinie szczytowej.

Istniejące algorytmy, metody badań, sposoby rejestracji i obrazowania ruchu stanowią grunt dla tworzenia praktycznej implementacji Zintegrowanego Systemu Sterowania (Zarządzania) Ruchem. Istniejące w Polsce rozwiązania, które polegają na sterowaniu ruchem w izolowanych węzłach drogowych lub w izolowanych ciągach ruchu, nie są w chwili obecnej rozwiązaniem wystarczającym z punktu widzenia globalnej optymalizacji ruchu w obszarach miejskich. Powstający Górnośląski Związek Metropolitalny będzie dysponował odpowiednimi uprawnieniami i środkami finansowymi na wdrożenie zintegrowanego Systemu Sterowania (Zarządzania) ruchem.

Literatura

1. www.pl.wikipedia.org
2. Rudnicki A.: Jakość komunikacji miejskiej. Zeszyt Naukowo – Techniczny Oddziału SITK, Kraków 1999.
3. Krysek R. i in.: Symulacja ruchu potoku pojazdów. Wybrane zagadnienia. WKŁ, Warszawa 1980, s. 52.
4. Sierpiński G.: Weryfikacja modelu opóźnień Webstera dla skrzyżowania z sygnalizacją świetlną z próbą zastosowania teoriokolejkowych modeli analitycznych. Rozprawa doktorska. Instytut Inżynierii Lądowej, Politechnika Wrocławska. Raport serii PRE nr 16/2006.
5. Woch J.: Nowe ujęcie przepustowości drogi z porównaniem modeli. Materiały I Konferencji Naukowo – Technicznej na temat „Systemy Transportowe, Teoria i praktyka”. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003, s. 43 - 72.
6. Celiński I.: Wykorzystanie zdjęć lotniczych i satelitarnych w inżynierii ruchu drogowego. Transport Miejski, nr 1, 2007.
7. Bennett Ch., R.: A Speed Prediction Model For Rural Two-Lane Highways. Department of Civil Engineering. The University of Auckland, Auckland, New Zealand 1994, p. 145.
8. Molecki A.: Wpływ ograniczeń zewnętrznych na przepustowość przystanku TTS – technika transportu szynowego, nr 9, 2007.
9. Molecki A.: Znaczenie powiązania różnych ograniczników dla określania przepustowości tras komunikacyjnych. Problemy Transportu, t. 2. z. 1, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.
10. Starowicz W.: Kształtowanie jakości usług przewozowych w miejskim transporcie zbiorowym. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 2001.
11. Sobota A.: Analiza punktualności komunikacji zbiorowej na przykładzie wybranej linii autobusowej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Transport, z. 61, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.
12. Molecki A.: Znaczenie powiązania różnych ograniczników dla określania przepustowości tras komunikacyjnych. Problemy Transportu, t. 2, z. 1, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.
13. Datka S., Suchorzewski W., Tracz M.: Inżynieria Ruchu WKiŁ, Warszawa 1997.
14. Molecki A.: Określenie rozkładu czasu przejazdu odcinka swobodnego trasy tramwaju konwencyjnego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Transport, z. 61, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.
15. Gartner N., Messer C. J., Rathi A. K.: Traffic Flow Theory A State-of-the-Art Report. Transportation Research Board. <http://www.cta.ornl.gov/cta/research/trb/tft.html>.
16. Chodur J. (red.): Metoda obliczania przepustowości skrzyżowań z sygnalizacją świetlną. GDDKiA, Warszawa 2004.

17. Jastrzębski W., Marganiec M., Suchorzewski W.: Modelowanie ruchu w wycinku sieci ulic przy zastosowaniu pakietu programów QRS. Modelowanie procesów ruchu. Zeszyt Naukowy Politechniki Krakowskiej, Kraków 1990.
18. Komar Z., Wolek Cz.: Inżynieria ruchu drogowego – wybrane zagadnienia. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1994.
19. Krystek R. i in.: Koordynacja sygnalizacji świetlnej – wybrane zagadnienia. WKiŁ, Warszawa 1977.
20. Leško M., Guzik J.: Sterowanie ruchem drogowym. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2000.
21. Steenbrink P.: Optymalizacja sieci transportowych. WKiŁ, Warszawa 1978.
22. Tracz M., Chodur J., Tarko A.: Przepustowość skrzyżowań z sygnalizacją świetlną. IGPIK, Warszawa 1992.
23. Woch J.: Kształtowanie płynności ruchu w gęstych sieciach transportowych. Polska Akademia Nauk – Oddział w Katowicach, Komisja Transportu, Wydawnictwo Szumacher, Kielce 1998.
24. Żochowska R., Karoń G.: Analiza statystyczna zamknięć drogowych w centrum Katowic. Materiały konferencyjne Międzynarodowej Konferencji i Specjalistycznej Wystawy nt. „Rozwój infrastruktury transportowej Śląska i Północnych Moraw – Część środkowoeuropejskiego systemu transportowego”, Ostrawa – Katowice 1997.
25. Żochowska R.: Koordynacja zamknięć w gęstych sieciach drogowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Transport, z. 41, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2000.
26. Żochowska R.: Informatyczne narzędzia wspomaganie planowania zamknięć drogowych – przepustowość skrzyżowań bez sygnalizacji świetlnej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Transport, z. 42, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2001.

Recenzent: Prof. dr hab. Paweł Śniady

Praca wykonana w ramach badań BK-287/RT5/2007