

Stanisław KRAWIEC¹, Ireneusz CELIŃSKI¹

OBSZAROWE CHARAKTERYSTYKI SIECI DROGOWEJ

Streszczenie. W artykule podjęto problem opisu (wymiarowania) sieci drogowej wybranego miasta w ujęciu holistycznym. Współcześnie w niemal wszystkich sieciach drogowych, zlokalizowanych w granicach terytorialnych dużych miast występuje zjawisko permanentnej kongestii ruchu, której zasięg kongestii ruchu obejmuje coraz większe obszary miast. Kongestia ruchu charakteryzuje się również wzrastającą niejednorodnością rozkładu w czasie oraz przestrzeni. Systemy sterowania obszarowego ruchem drogowym, szerzej systemy ITS, obejmują (z tego powodu) swoim zasięgiem coraz to większe tereny współczesnych miast. Rozwiązaniem zmierzającym do ilościowej i jakościowej kwantyfikacji zjawiska kongestii ruchu na rozległych obszarach miast może być holistyczne podejście do zagadnienia opisu ruchu drogowego. W artykule zaproponowano pewien sposób formalnej oceny sieci drogowej w ujęciu globalnym na przykładzie miasta Katowice.

Słowa kluczowe. sterowanie obszarowe, ATCS, charakterystyki ruchu, modele ruchu

ROAD NETWORK AREA CHARACTERISTICS

Summary. The article discusses the problem exists in almost all modern road network located within the territorial boundaries of large cities. These areas are characterized by the permanent traffic congestion. In addition, traffic congestion range cover more and more areas of cities, but also has a heterogeneous distribution in time and space. ATCS and ITS systems include for this reason its reach ever-larger surface area. The solution aimed at the quantitative and qualitative quantification of the phenomenon of traffic congestion in large urban areas may be the research methodology proposed in this article. The proposed methodology applies a holistic approach to the quantification of traffic parameters. In connection with the adopted methodology proposed in the paper a certain way global assessment of road network as an example of Katowice city.

Keywords. area traffic control systems, ATCS, traffic characteristics, traffic models

1. WPROWADZENIE

W artykule została przedstawiona metodyka oceny sieci drogowych w ujęciu holistycznym (z punktu widzenia obszaru całych sieci miejskich). Przyjęta metodyka wynika bezpośrednio z charakteru problemów, z jakimi borykają się obecnie instytucje zarządzające sieciami transportowymi, głównie drogowymi. Podstawowym problemem dotykającym

¹ Faculty of Transport, The Silesian University of Technology, Gliwice, Poland, e-mail: stanislaw.krawiec@polsl.pl; ireneusz.celinski@polsl.pl

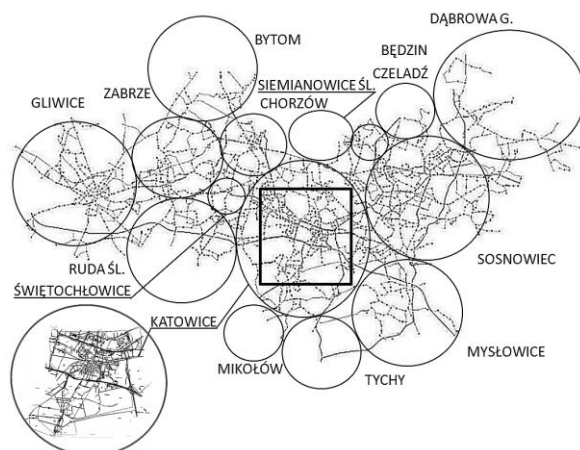
współczesne sieci drogowe jest występowanie zjawiska kongestii ruchu. Zauważyć należy, że zjawisko to nabiera coraz bardziej powszechnego charakteru w skali globalnej. Występuje ono już nie tylko w aglomeracjach -mono i -policentrycznych, ale również w miastach średnich o populacji nie przekraczających kilkudziesięciu tysięcy mieszkańców [23][24][19][20]. Poza typowymi dla pory dnia i lokalizacji w obszarze sieci cyklicznymi zatorami drogowymi pojawiają się również pewne zjawiska i sytuacje towarzyszące kongestii, które można określić jako wyjątkowe. W przypadku wypadków blokujących lub zakłócających ruch arterii drogowych w regionie konurbacji górnośląsko-zagłębiowskiej tworzą się kolejki pojazdów dochodzące do kilkunastu kilometrów długości [23]. Wynika to z istniejącej struktury sieci drogowej, która powoduje, że możliwość wariantowania trasy na obszarze o powierzchni ponad 600 km² jest niewielka. Ponadto, obserwacja dynamiki zjawiska kongestii ruchu wskazuje na występowanie stałego wzrostu jej zasięgu obszarowego. Problem kwantyfikacji charakterystyk ruchu w sieciach drogowych jest szeroko poruszany w literaturze przedmiotu [12][13][4][14]. Dotyczy to różnorodnych metod pomiarowych zarówno w przekrojach dyskretnych sieci, jak i na dużych jej obszarach. Powstają również metody pośrednie pozwalające na kwantyfikację wybranych charakterystyk ruchu drogowego na bazie jego predykcji w wybranych przekrojach charakterystycznych [5][6][3][22]. Wymienione metody mają różnorodne ograniczenia z, których największe związane są z kosztami budowy systemu detekcji na większym obszarze sieci drogowej. Z reguły rozbudowa systemów sterowania i ITS odbywa się na drodze skalowania ich zasięgu obszarowego. Takie postępowanie odniesione do skali globalnej sieci drogowych nie jest zasadne, z uwagi na znacznie zwiększony koszt rozwiązań przy nieznacznym wzroście ich efektywności. Ponadto, przykład takiej filozofii rozwiązywania problemów dotyczących sieci drogowych, zastosowany w Los Angeles udowadnia, że nie jest to właściwa droga rozwoju systemów sterowania ruchem drogowym.

W artykule proponowane jest podejście holistyczne, polegające na analizie ruchu w całej sieci drogowej jednocześnie. Tego typu analiza wykonywana jest z założenia na rozległych terytorialnie obszarach sieci drogowej w czasie zbliżonym do rzeczywistego. Jako „poligon” badawczy wybrano sieć drogową miasta Katowice. W tym celu sformalizowano model ruchu opisany poniżej.

2. DWUSTOPNIOWY MODEL RUCHU W SIECI DROGOWEJ

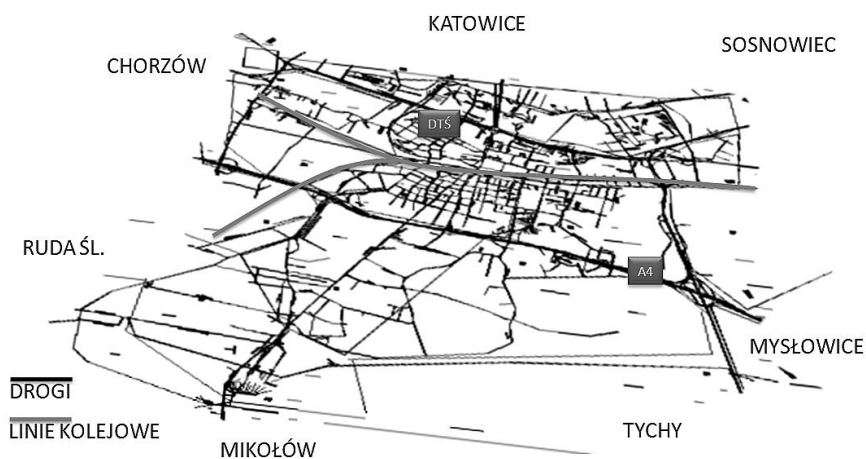
Model sieci drogowej Katowic zbudowany został w celu demonstracji możliwości obliczania charakterystyk ruchu na rozległych obszarach miejskich w ujęciu holistycznym. Model ten zbudowano opierając się na dwóch różnych submodelach. Jeden z nich wykonany jest w skali makro (opis potoków ruchu) drugi w mikro (opis strumieni ruchu). W pierwszym rzędzie, na bazie modyfikacji istniejącego modelu ruchu dla obszaru analizy, opracowano zmodyfikowany makromodel, opisujący potoki źródłowo-celowe (OD) w tym rejonie (submodel 1). Makromodel dla obszaru konurbacji górnośląsko-zagłębiowskiej (dalej: G-Z), przedstawia rys. 1 [10]. W stosunku do modelu prezentowanego w pracy [10] uwzględniono również potoki ruchu z kilku dodatkowych miast (Jaworzno, Mikołów, Mysłowice, Tychy). Makromodel odwzorowujący potoki ruchu OD dla konurbacji G-Z posłużył z kolei do budowy mikromodelu ruchu dla sieci drogowej miasta Katowice (submodel 2). Na rys. 1 obszar uwzględniony w mikromodelu, reprezentujący sieć drogową Katowic wyróżniono w formie kwadratu. Potoki ruchu dla więźby OD określono na podstawie opracowania [10] oraz dodatkowo w budowie modelu wykorzystano wyniki badań GPR (Generalny Pomiar Ruchu), zrealizowany w 2010 roku. W budowie modelu wykorzystano również liczne uwagi i wnioski z innych opracowań, opisujących przedmiotowy system transportowy [8][9]. Międzyrejonowa więźba potoków ruchu posłużyła dla celów budowy zasadnego modelu mikrosymulacyjnego,

który odwzorowuje sieć drogową Katowic. Model mikrosymulacyjny sieci drogowej miasta Katowice zrealizowano w programie PTV VISSIM v.5.30 [16][17]. Realizacja modelu mikrosymulacyjnego ruchu dla tej sieci powstała na bazie deklaracji ponad 1300 tras statycznych oraz około 500 węzłów drogowych. Ogółem odwzorowano w tym modelu blisko 600 km dróg, stanowiących sieć, która jest przedmiotem analizy. Rysunek 2 przedstawia model sieci drogowej zrealizowany w programie VISSIM. Z uwagi na rozmiar przedmiotowego zagadnienia model tej sieci jest w dalszym ciągu systematycznie rozwijany.



Rys. 1. Makromodel sieci transportowej konurbacji górnośląsko-zagłębiowskiej
Fig. 1. Macro model of G-Z conurbation transportation network

Na rys. 1 w formie kół i owali przedstawiono miasta tworzące obszar makromodelu sieci drogowej w konurbacji G-Z. W sumie w modelu tym uwzględniono podróże w 14 miastach grodzkich i jednym na prawie gminy (próbna 1% [10]). Analizowany obszar, pokrywający makromodel sieci drogowej, zamieszkuje ok. 2 milionów mieszkańców. Przy ruchliwości około 1,9 podróży dziennie w analizowanym obszarze generowanych jest kilka milionów przemieszczeń (stan na 2009 rok) [10].



Rys. 2. Model mikrosymulacyjny sieci drogowej miasta Katowice
Fig. 2. Micro simulation model of road network of Katowice

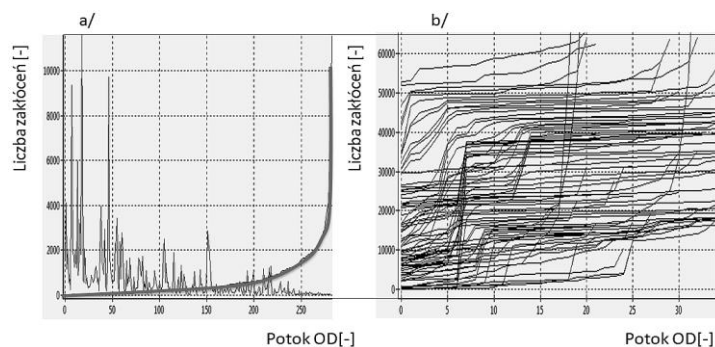
Holistyczny sposób oceny sieci drogowych (transportowych) opiera się na analizie modelu mikrosymulacyjnego. W artykule przedstawiono taką analizę na przykładzie sieci drogowej Katowic, dla której model rozwijany jest etapami. W pierwszym etapie konstruowany jest mikrosymulacyjny model sieci drogowej bez uwzględnienia systemów sterowania i układu linii transportu zbiorowego. Kolejne etapy (w realizacji) przewidują

uwzględnienie zarówno różnych systemów sterowania obszarowego, jak i pozostałych środków transportu, funkcjonujących w tej sieci (transport zbiorowy, PuT). W tym artykule prezentowana jest analiza podstawowa, wykonana na podstawie ruchu symulowanego w tzw. modelu bazowym (wyłącznie transport indywidualny). Transport indywidualny (PrT), zgodnie z opracowaniem [10] stanowi ok 50% ruchu w tej sieci (stan na 2009 rok). Taki uproszczony model, jest bazą dla przedstawienia oryginalnego podejścia do holistycznej oceny sieci transportowej, opierając się na dwuetapowym odwzorowaniu jej parametrów na bazie submodeli w skalach makro i mikro.

3. WYBRANE CHARAKTERYSTYKI SIECI DROGOWEJ

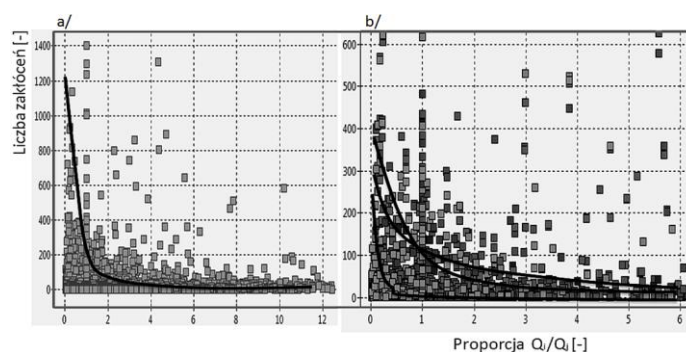
Celem budowy przedstawionych uprzednio modeli sieci drogowej (submodele: I i II) miasta Katowice jest jej zwymiarowanie w sposób holistyczny (całościowy). Charakterystyki analizowanej sieci drogowej obliczane są w zakresie pełnego jej obszaru (uwzględnionego w modelu mikrosymulacyjnym) w czasie zbliżonym do rzeczywistego. Obliczenia realizowane są poprzez przetwarzanie metryk (rejestrów) pojazdów generowanych (następnie symulowanych) w programie symulacyjnym VISSIM. Dane z rejestrów pojazdów przetwarzane są następnie w programie zewnętrznym (autorskim o nazwie VISReader), który wykreśla różnorodne charakterystyki ruchu dla całej analizowanej sieci drogowej jednocześnie. Dane odnośnie ruchu pojazdów w modelowanej sieci drogowej zestawiane są zgodnie z lokalnym czasem w programie symulacyjnym. Praktycznie charakterystyki dla całej sieci zestawiane są *ad hoc* w czasie zbliżonym do rzeczywistego. Problemy z dynamiką oceny sieci powstają dopiero na etapie przetwarzania tych danych w programie zewnętrznym z uwagi na rozmiary zbiorów danych, dochodzące do 0,5 GB. Zbiór danych wielkości 0,5 GB odpowiada 1 minucie symulacji ruchu w przedmiotowej sieci drogowej przy liczbie rejestrowanych w tym czasie interakcji między pojazdami, dochodzącej do 2 milionów zdarzeń. W artykule dla celów oceny sieci drogowej przyjęto pomiar chwilowej różnicy prędkości pojazdów. Jest to bowiem znaczne uproszczenie, wynikające z rozmiarów omawianego zadania. W praktyce analityk korzystający z przedstawianego oprogramowania (VISSIM oraz program autorski) sam określa, jaki poziom zmiany prędkości zostaje zarejestrowany w modelu (poziom próbkowania). W efekcie realizacji przebiegów symulacyjnych w programie VISSIM wygenerowany zostaje zbiór charakterystyk obszarowych dla badanej sieci drogowej (nieprzetworzony). Obróbką danych zajmuje się program zewnętrzny – autorski VISReader. Do interesujących charakterystyk obszarowych, obliczonych w ten sposób należą rozkłady liczby zakłóceń w sieci drogowej w odniesieniu do potoków OD (można również generować ten rozkład dla strumieni ruchu). Miary zakłócenia w sieci definiowane są przez użytkownika dla każdej sieci w formie dopuszczalnego spadku prędkości pojazdów, przy którym ruch pojazdu nie jest uznawany jeszcze za zakłócony. Rozkład liczby zakłóceń określany jest dla wszystkich (lub wybranych) potoków ruchu globalnie w obszarze całej sieci jak również lokalnie dla każdej zdefiniowanej przez użytkownika jednostki przestrzennej w tej sieci (komórki). W praktyce sieć dzielona jest geograficznie na komórki o równej powierzchni (w prezentowanym przykładzie od 625 komórek do 10.000). Tego typu podział jest ciągły. Można np. ustalić pojedynczą komórkę dla celów delimitacji obszaru sieci o wymiarze odpowiadającym powierzchni 1m^2 (teoretycznie do 1 mm). Na rys. 3a przedstawiono rozkład liczby zakłóceń dla obszaru całej analizowanej sieci drogowej w ujęciu potokowym. Na rys. 3b przedstawiono rozkład liczby zakłóceń potoków ruchu w każdej jednostce powstałej na skutek delimitacji sieci na poszczególne komórki. Analizowane są rozkłady liczby zakłóceń we wszystkich potokach OD bez względu na numer potoku zakłócającego. Prezentowane na rys. 3a i 3b charakterystyki nie są obrazem zmiennej ciągłej. Tym niemniej wykreślono je w postaci

funkcji ciągłych wyłącznie z uwagi na ułatwienie obserwacji zmienności tych charakterystyk zarówno w poszczególnych potokach (dla całej sieci), jak i w poszczególnych komórkach sieci.



Rys. 3. Rozkład zakłóceń w sieci: a) cały obszar, b) reżimy przestrzenne analizy (komórki)
Fig. 3. Distribution of disruption in the network: a) entire area, b) regimes of spatial analysis

Na rys. 4 przedstawiono inny, interesujący rozkład dla analizowanej sieci drogowej – liczby zakłóceń odniesiony do proporcji natężeń zakłócających się potoków ruchu. Podobnie jak na rys. 3 przedstawiono rozkład w odniesieniu zarówno do całego obszaru sieci (rys. 4a) jak również w odniesieniu do poszczególnych komórek analizy (rys. 4b).



Rys. 4. Rozkład zakłócenia, a proporcje potoków: a) cały obszar, b) reżimy przestrzenne (komórki)
Fig. 4. Distribution of disruption and the proportion of flows: a) entire area b) regimes of SA.

Na rys. 4a zaznaczono krzywą rozkładu zakłóceń we wszystkich potokach ruchu dla wszystkich proporcji. Na rys. 4b przedstawiono analogiczne krzywe, ale wykreślone tym razem dla poszczególnych komórek (wybrano kilka spośród 625), rozmieszczonych dowolnie w obszarze analizy. Na rysunku tym dostrzegalne jest silne zróżnicowanie interakcji pomiędzy potokami OD w obszarze analizy w poszczególnych jego komórkach. Sposób interpretacji przedstawionych powyżej podstawowych charakterystyk analizy obszarowej zostanie wyjaśniony w kolejnym rozdziale.

4. CHARAKTERYSTYKI OBSZAROWE - INTERPRETACJA

W ramach proponowanej oceny obszarowej, w postaci globalnych charakterystyk sieci drogowej możliwe są analizy w różnorodnych przekrojach, które ograniczone są głównie funkcjonalnością programu przeznaczonego do mikrosymulacji ruchu drogowego. Każda obserwowana charakterystyka może być kwantyfikowana w czasie symulacji i w przestrzeni sieci drogowej. Rozdzielczość delimitacji każdej z charakterystyk teoretycznie nie jest

ograniczona w czasie i przestrzeni (minimalne wartości to 1 [ms] i 1 [mm]). Ograniczenia dotyczą głównie logiki delimitacji sieci i jej oceny. Dla przykładu oceniając natężenia ruchu nie ma sensu delimitować sieci na mniejsze reżimy przestrzenne (komórki) niż wynosi pole powierzchni zajmowane przez pojedynczy pojazd lub jest na powierzchni o tej wielkości możliwa lokalizacja pojazdu w wybranych systemach telekomunikacyjnych [15]. Dowolny mierzony w programie symulacyjnym parametr ruchu: X (natężenie, liczba zakłóceń, długość kolejki, straty czasu itp.), może być zatem oceniany w funkcji: numeru potoku źródłowo-celowego, numeru strumienia ruchu, czasu symulacji oraz punktu w przestrzeni sieci drogowej, zatem miarą oceny sieci jest zbiór wartości:

$$\left\{ \mathcal{X}_{t,s}^{i/(j,k,\dots,n)}(\{E\}\{G\}), \right\} \quad (1)$$

gdzie:

x – miara oceny ruchu (liczba zakłóceń, natężenie, długość kolejek...) [i];

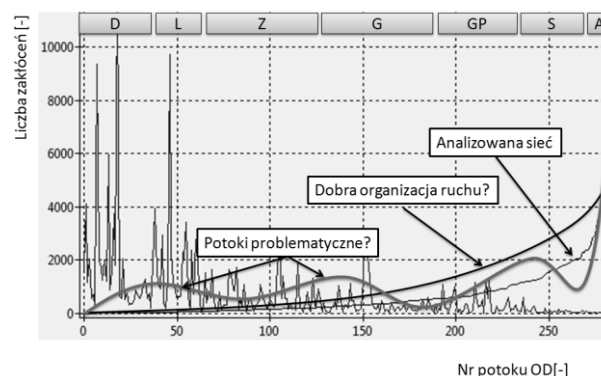
s – droga [m]; t – czas [s];

i/j – i -ty potok odniesienia miary (j -ty, k -ty... n -ty potok oddziałujący);

$\{E\}$ -zbiór zmiennych endogenicznych modelu oceny;

$\{G\}$ -zbiór zmiennych egzogenicznych dla modeli mikrosymulacyjnych.

W chwili obecnej problemem jest brak dla polskiej sieci drogowej zasadnego modelu ruchu dla programów mikrosymulacyjnych, takich jak model Weidemana dla niemieckiej sieci drogowej. Zbiór wartości $\{G\}$ należy określić (dla polskiej sieci drogowej) na drodze osobnych badań i kalibracji. Kolejno miary oceny sieci mogą być odnoszone również do parametrów sieci drogowej w miejscach, dla których zostały ustalone. Teoretycznie umożliwia to uporządkowanie, przedstawionych na rys. 3, charakterystyk w odniesieniu do klasy i kategorii drogi zgodnie z miejscem, w którym następuje pomiar charakterystyki X . Można zatem próbować ustalić charakterystyki przedstawiające miary oddziaływania w sieci drogowej lub inne popularne charakterystyki ruchu odnoszone do kategorii danej drogi. Taki teoretyczny rozkład zaproponowano na rys. 5.



Rys. 5. Rozkład zakłócenia, a klasa techniczna drogi

Fig. 5. Distribution of disruption and technical class of the roads

Na rys. 5 literami: A, S, GP itp. oznaczano klasy techniczne dróg w analizowanej sieci. Rozkład prezentowany na rys. 5 rozkład może posłużyć do oceny uporządkowania organizacyjnego całej sieci drogowej. Można oczekiwać, że istnieje prawidłowa organizacja ruchu dla danej sieci drogowej i charakteryzuje się jakimś statystycznym uporządkowaniem (określoną funkcją gęstości rozkładu lub złożeniem takich funkcji jak natężen, zakłóceń, długości kolejek itp.). Oznacza to, że drogi o niższej klasie technicznej będą akumulowały zakłócenia proporcjonalnie do ich liczebności w sieci drogowej oraz parametrów ruchu, jakie

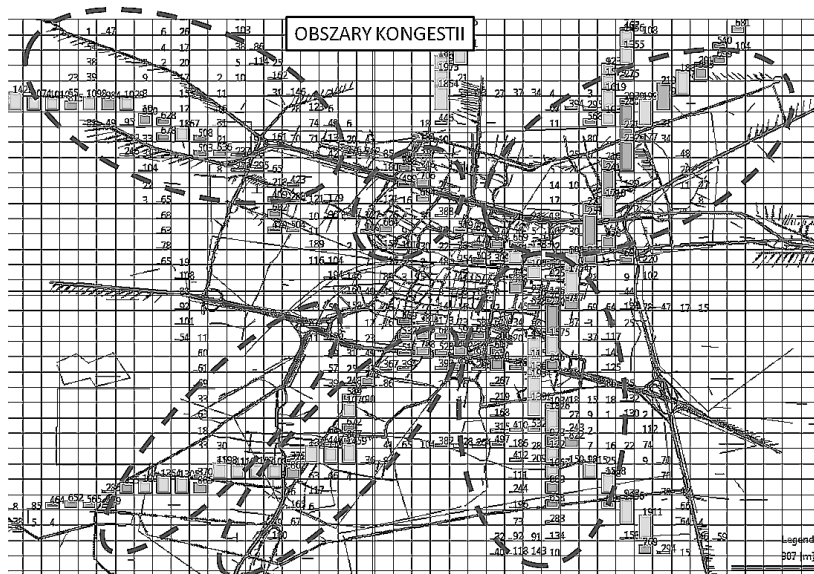
są na nich obserwowane. Natomiast drogi o wyższej klasie technicznej będą generowały proporcjonalnie wyższą liczbę zakłóceń. Przy dobrej organizacji ruchu problemy diagnozowane w sieci drogowej powinny być rozpraszane proporcjonalnie na cały jej układ. Prowadzić to ma do optymalnego wykorzystania wszystkich dostępnych zasobów infrastrukturalnych i organizacyjnych w danej sieci drogowej [7]. Jeśli występują w tym przypadku określone zależności, to również powinny być obserwowane na takim wykresie jakiegokolwiek anomalie w ruchu i organizacji sieci drogowej. Wykres taki można zestawiać dla różnych horyzontów i przekrojów obszaru sieci drogowej. Wykres taki może być źródłem wstępnej oceny całej sieci drogowej, podobnie jak ma to miejsce w przypadku analizy kartogramu ruchu dla pojedynczego skrzyżowania. Zarówno charakterystyki prezentowane na rys. 3, jak i 4 stanowią źródło bogatej analizy funkcjonowania sieci drogowej. Istotne jest to, że w tej metodyce sieć może być obserwowana holistycznie (całościowo), jak i w rozbiciu na wszystkie komórki analizowanego obszaru jednocześnie. Wykres przedstawiony na rys. 3a odwzorowuje uporządkowanie organizacyjne ruchu w całej sieci globalnie. Na rys. 3b przedstawione są analogiczne rozkłady dla każdej komórki analizowanego obszaru. Komórki mogą być przede wszystkim porównywane ze sobą, co stanowi przesłankę do zasadnej delimitacji sieci drogowej. Można np. na jej obszarze wyróżnić jednorodne reżimy przestrzenne dla celów implementacji rozwiązań z zakresu ITS lub ATCS [11]. Taka metoda pozwala na zasadne realizowanie koncepcji reorganizacji obszarów sterowania obszarowego, znanej z systemów ATCS jako „marriage & divorce logic”. Komórki obszaru analizy mogą być również analizowane z osobna. Mogą być one zaliczane do różnych kategorii opisowych (podobnie jak poziomy swobody ruchu (PSR) (np.: masywna kongestia ruchu w komórce, częściowa kongestia, uporządkowanie ruchu: wzorcowe, komórki z dominującą arterią, komórki o zwiększonej pojemności komunikacyjnej itd.). Szerszy opis przedmiotowego zagadnienia przekracza ramy niniejszego artykułu. Charakterystyki potoków ruchu przedstawione na rys. 3a i 3b można odwracać, tzn. zamiast analizy zakłócenia potoku i-tego od j-tego, w obszarze, w czasie, $i/j(t,s)$ można analizować zależności odwrotne, zestawiając charakterystyki potoków ruch zakłócających. Prowadzi to, do niezmiernie interesujących obserwacji w analizowanej sieci drogowej. W ramach badań dla sieci drogowej Katowic stwierdzono asymetrię w rozkładzie liczby zakłóceń ruchu w odniesieniu do potoków zakłócanych i zakłócających. Obrazowo można powiedzieć, że w sieci tej dużo strumieni ruchu powoduje zakłócenia przy małej liczbie strumieni zakłócanych. To z kolei może świadczyć o złej organizacji ruchu (abstrahując od różnorodnych okoliczności tego stanu rzeczy). W prezentowanych na rys. 4a i 4b wykresach zestawiono liczbę zakłóceń, która przedstawiono w odniesieniu do proporcji natężeń dwóch oddziałujących na siebie potoków ruchu. Taka charakterystyka pozwala na kontrolę zasadności stosowanej organizacji ruchu lub systemów sterowania w określonych, węzłowych elementach sieci drogowej. Jakakolwiek nieprawidłowa organizacja ruchu lub źle dobrane parametry sterowania natychmiast uwydatniają się na tego typu wykresach (wszystkie odchylenia od średniej na wykresach 4a i 4b). Przy czym wszystkie prezentowane wyżej wykresy, co należy wyraźnie podkreślić, zestawiane są dla całej sieci w czasie zbliżonym do rzeczywistego.

5. INNE PRZYDATNE CHARAKTERYSTYKI

Często stosowanym rozwiązaniem w implementacjach systemów ITS jest sposób wizualizacji parametrów ruchu w sieci, w formie graficznego odwzorowywania obciążenia poszczególnych przekrojów sieci drogowej. W wybranych przekrojach sieci drogowej podawane są komunikaty zmiennej treści VMS na temat warunków ruchu lub inne, przydatne informacje. Takim przykładem mogą być implementacje systemów zarządzania sieciami drogowymi przedstawione w serwisach: [21][25]. W prezentowanej w tym artykule metodyce

oceny sieci drogowych w ujęciu holistycznym można zestawiać charakterystyki podobnego typu. Statystyki obciążenia sieci drogowej prezentuje rys. 6, prezentowana jest też sytuacja ruchowa w całej sieci drogowej dla określonej minuty symulacji. W odwzorowaniu tego typu charakterystyk dokładnie w czasie rzeczywistym barierą jest wyłącznie zdolność obliczeniowa platformy, na której wykonywane są obliczenia; w tym wypadku ograniczona wyłącznie przyjętą metodyką oceny sieci. Nic nie stoi na przeszkodzie w innej implementacji proponowanych procedur.

Na rys. 6 w formie wykresu kartogramu liczebności podawany jest rozkład liczby zakłóceń w analizowanej sieci drogowej, przypadający na każdą komórkę. Jest to typowy przykład analizy rozkładu przestrzennego badanej cechy, znany z zagadnień ekonometrii przestrzennej.



Rys. 6. Rozkład liczby zakłóceń w przestrzeni sieci drogowej
Fig. 6. Distribution of the disruption of the road network area

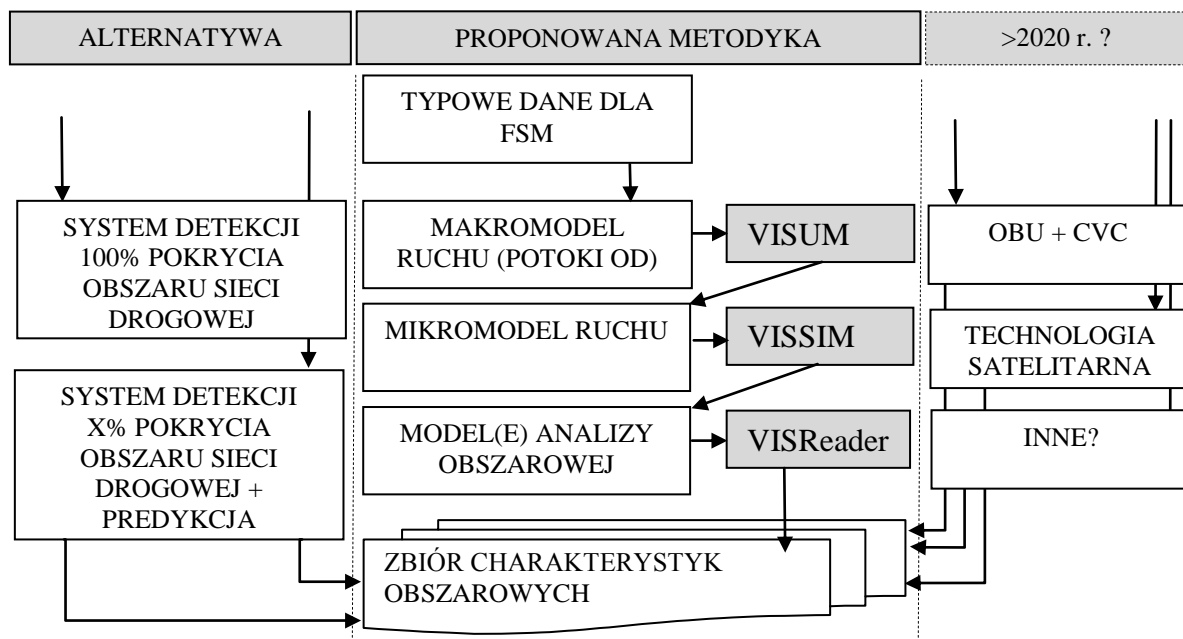
6. EKSPERYMENT EMPIRYCZNY

Warto zwrócić uwagę na fakt, że prezentowane podejście jest wyłącznie pewnym etapem pośrednim na drodze do holistycznej oceny warunków ruchu w sieciach drogowych, realizowanej w czasie rzeczywistym, w realnej sieci drogowej. W tej chwili przedstawione podejście (metodyka holistyczna dla modelu symulacyjnego) uzasadnione jest określonymi trudnościami na drodze do realizacji badania charakterystyk obszarowych sieci w formie empirycznej. Takie badanie (doświadczenie empiryczne) wymaga odpowiedniego wsparcia technicznego i technologicznego w zakresie wyposażenia środków zarówno transportu zbiorowego, jak i indywidualnego. Tego typu wyposażeniem są komputery centralne pojazdów (CVC, ang. central vehicle computer) w połączeniu z urządzeniami typu OBU (ang. OnBoard Unit). Można w tym zakresie realizować również zasadne badania częściowe populacji z wykorzystaniem OBU, montowanych w wybranych pojazdach poruszających się w danej sieci drogowej [18]. Jakkolwiek prezentowane w pracy [18] podejście na bazie badań częściowych na próbie empirycznej nie ma zasadnego odniesienia dla rozpatrywanego przypadku. Można oczekiwać, że błąd generowany przy takim sposobie realizacji badań jest nie do zaakceptowania. Wynika to z faktu, że miary oddziaływania w sieci drogowej mają zupełnie inny charakter aniżeli proste statystyki ilościowe. Tym niemniej układ urządzeń

CVC + OBU umożliwia rejestrację parametrów niezbędnych dla celów analizy obszarowych charakterystyk sieci drogowych w czasie rzeczywistym. Niestety obecnie większość pojazdów, głównie w transporcie indywidualnym nie jest przystosowana do tego typu badań. Powoduje to, że w perspektywie najbliższych dwóch dekad podejście proponowane w pracy będzie zasadne. Innym sposobem realizacji empirycznej tego typu badań może być przetwarzanie obrazów satelitarnych powierzchni ziemi (w tym również sieci drogowej) w czasie rzeczywistym. W tym aspekcie na przeszkodzie przed wdrożeniem tej technologii do badań stoi specyfikacja techniczna satelitarnych systemów geostacjonarnych. Obecnie nie dysponują one funkcjonalnością, predestynującą je do ciągłego pomiaru parametrów ruchu drogowego. W przyszłości sytuacja ta może ulec zmianie. Nawet jednak w takim przypadku metoda pomiaru charakterystyk ruchu z powietrza, z wykorzystaniem przetwarzania obrazów z ortofotomap będzie miała istotne ograniczenia funkcjonalne.

7. WNIOSKI

Obecnie badanie sieci drogowych w ujęciu holistycznym można realizować na kilka sposobów. Jeden z nich oparty na dwóch poziomach (skalach) modelowania ruchu zaprezentowano w tym artykule. Alternatywą dla tego typu badań jest pełne nasycenie sieci drogowych systemami detekcji ruchu po stronie infrastruktury liniowej i punktowej. Wariant taki jest realizowalny technicznie, aczkolwiek problematyczne są koszty i zasadność jego wykonania. Innym, możliwym do realizacji wariantem jest budowa częściowego systemu detekcji w warstwie infrastruktury sieci drogowej z predykcją charakterystyk ruchu, ekstrapolowaną na cały obszar sieci drogowej. Ewentualnie, tak jak w pracy [18], można próbować ekstrapolować wyniki z próby częściowej na całą populację. W perspektywie jednej, dwóch dekad realne stają się implementacje systemów pomiarowych oparte na OBU bądź też na systemach rozpoznawania obrazów via systemy satelitarne [1] [2]. Schemat proponowanego w artykule podejścia wraz z rozwiązaniami alternatywnymi oraz potencjalnymi możliwościami w tym zakresie prezentuje rys. 7.



Rys. 7. Metodyka postępowania prezentowana w pracy na tle rozwiązań konkurencyjnych
Fig. 7. The methodology presented in the work on the background of competing solutions

Metodyka prezentowana w artykule metodyka ma znacznie szerszy kontekst badawczy. Przede wszystkim tego typu podejście pozwala określać związki pomiędzy elementami sieci drogowej oraz strukturami opisującymi ruch drogowy: potokami i strumieniami. Jest więc pewnym rozszerzeniem dotychczas stosowanych sposobów parametryzacji sieci drogowych. Ponadto, parametryzacja ta odbywa się w sposób globalny dla całego obszaru sieci praktycznie w czasie zbliżonym do rzeczywistego. Kolejnym istotnym elementem jest więc dynamika zestawianych w ten sposób charakterystyk. To z kolei predestynuje prezentowaną koncepcję do wykorzystania w systemach obszarowego sterowania ruchem.

Bibliografia

1. Celiński I., Karoń G.: Wykorzystanie techniki satelitarnej w badaniach i sterowaniu ruchem drogowym, *Transport Miejski i Regionalny*, nr 9/1998, s. 2-5.
2. Celiński I.: Badania parkingowe z wykorzystaniem techniki cyfrowego rozpoznawania obrazu, *Transport Miejski i Regionalny*, nr 7-8/2010.
3. Feng J., Zhu Z., Xu R.: A Traffic Flow Prediction Approach Based on Aggregated Information of Spatio-temporal Data Streams, *Intelligent Interactive Multimedia: Systems and Services Smart Innovation, Systems and Technologies*, Volume 14, 2012, pp 53-62.
4. Helbing D.: Traffic and related self-driven many-particle systems. *Rev. Mod. Phys.*, 73.
5. Lämmer S., Donner R., Helbing D.: Anticipative control of switched queueing systems *The European Physical Journal B*, Volume 63, Issue 3, pp 341-347, 2008.
6. Innamaa S.: Short-term prediction of traffic flow status for online driver information (dissertation), Helsinki University of Technology, 2009.
7. Jacyna M.: Modelowanie i ocena systemów transportowych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej (OWPW), Warszawa 2009.
8. Janecki R., Krawiec S., Sierpiński G.: Publiczny transport zbiorowy jako kluczowy element zrównoważonego systemu transportowego Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii Silesia. [w:] Pyka R. (ed.): Sposób na Metropolię. Idee a społeczne oczekiwania wobec projektu utworzenia Śląsko-Zagłębiowskiej metropolii. UM Katowice, RSS MSNP UŚ, Katowice 2010, s. 105-132.
9. Janecki R., Krawiec S., Sierpiński G.: The directions of development of the transportation system of the metropolitan area of Upper Silesia until 2030. *International Scientific Conference Transbaltica 2009*, pp. 86-91.
10. Karoń G., Janecki R., Sobota A., Celiński I., Krawiec S., Macioszek E., Pawlicki J., Sierpiński G., Zientara T., Żochowska R.: Program inwestycyjny rozwoju trakcji szynowej na lata 2008÷2011. Analiza ruchu. Praca naukowo-badawcza NB-67/RT5/2009.
11. Kawalec P., Sobieszuk-Durka S.: Metody i algorytmy obszarowego sterowania ruchem drogowym, *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej*, s. Transport, z. 80, Warszawa 2011.
12. Kerner B.S: *Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control: The Long Road to Three-Phase Traffic Theory*, Springer, Berlin, New York, 2009.
13. Kerner B.S.: *The Physics of Traffic*, Springer, Berlin, New York, 2004.
14. Nagel K.: *High-speed Microsimulations of Traffic Flow*. PhD, Universität zu Köln, 1994.
15. Suda J.: Dokładność satelitarnej lokalizacji pojazdów transportu publicznego. *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie*, z.11. 2006.
16. VISSIM Podręcznik użytkownika v.5.4, PTV 2010.
17. VISSIM User Manual. v.5.2, PTV 2009.

Pozycje internetowe:

18. Fastenrath U.: Floating Car Data on a Larger Scale, <http://www.ddg.de/pdf-dat/ddgfc.pdf>.
19. Downie A.: "The World's Worst Traffic Jams".Time. <http://www.time.com/time/world/article/>.
20. <http://www.ops.fhwa.dot.gov/aboutus/opstory.htm>.
21. UTMS Szczecin; <https://szr.szczecin.pl/utms/index>.
22. Williams B.M., Hoel A.L, Modeling and Forecasting Vehicular Traffic Flow as a Seasonal ARIMA; <http://www.nd.edu/>.
23. Wypadek i wielki korek; <http://www.mmsilesia.pl/245122/2009/7/>.
24. Wypadek na DTŚ; <http://www.tvs.pl/42298>.
25. Zintegrowany system zarządzania ruchem; <http://zszyr.zdm.waw.pl/>.

Praca wykonana w ramach BK