

Stanisław Krawiec¹, Ireneusz Celiński²
Politechnika Śląska Wydział Transportu, Katedra Inżynierii Ruchu

Model ruchu jako instrument oceny oddziaływań strumieni pojazdów w gęstych sieciach drogowych

1. WPROWADZENIE

Wykonywane obecnie analizy i wdrażane w praktyce metody sterowania bądź optymalizacji ruchu w sieciach drogowych dotyczą obszarów w ten lub inny sposób ograniczonych do stosunkowo małych jednostek terytorialnych. Podejście takie wynika z różnorodnych przyczyn, zarówno natury technologicznej, ekonomicznej jak również organizacyjnej. W tych przypadkach, gdzie stosowane rozwiązania technologiczne w ruchu drogowym typu ITS, ATCS dotyczą rozległych terytorialnie obszarów jest to raczej skutkiem skalowania rozwiązań o mniejszym zasięgu, dotychczas istniejących, aniżeli wdrażania nowego podejścia do rozwiązywania problemów, które „rozlewają” się w sieci drogowej.

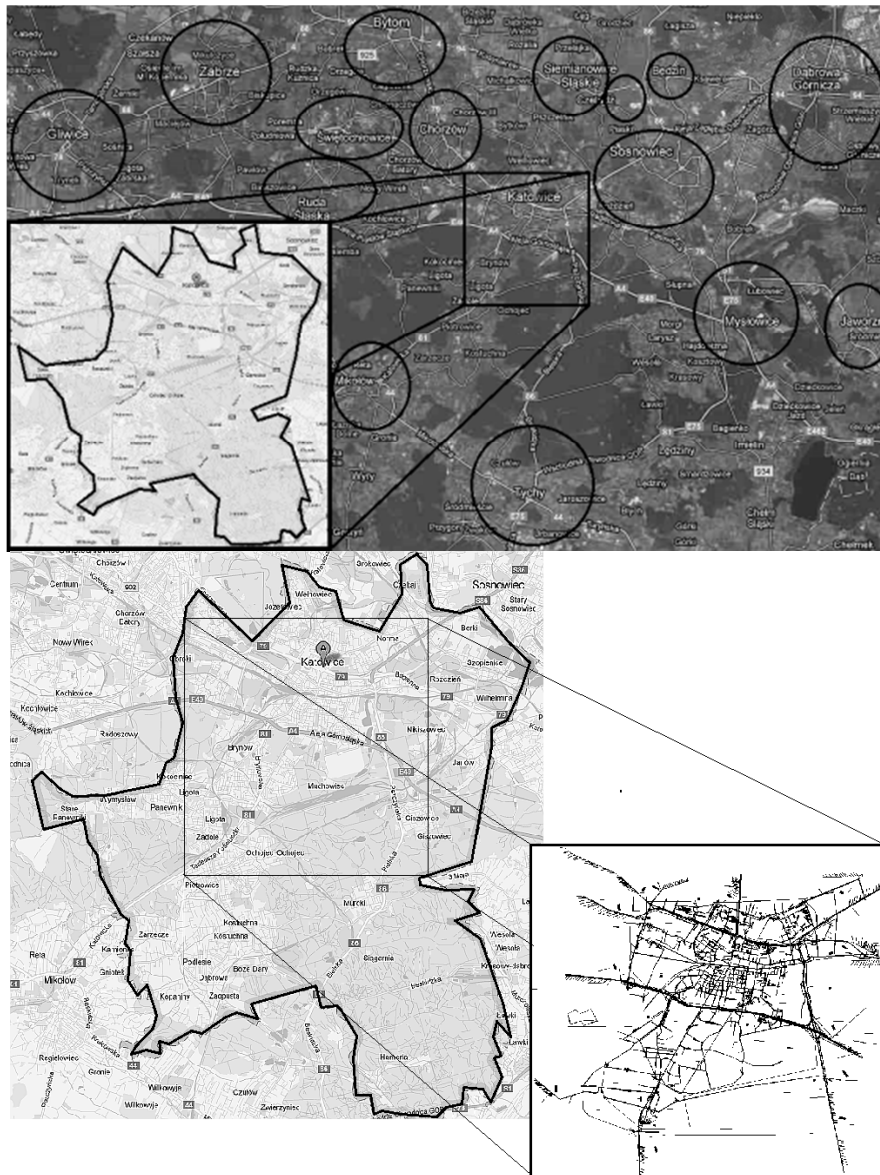
Przemieszczanie się pojazdów oraz pieszych uczestników ruchu stanowi zbiór procesów stochastycznych, niestacjonarnych i niejednorodnych w obszarze sieci drogowej bowiem w krótkich odstępach czasu zachodzi bardzo duża liczba złożonych i współzależnych zjawisk. Powoduje to, że właściwym sposobem analizy sieci drogowych powinno być wykonywanie oceny procesów przemieszczania się uczestników ruchu zarówno w kategoriach przestrzennych jak i przestrzenno-czasowych [12] [19]. Zdaniem J. Ch. Smutsa twórcy teorii holizmu czynnikami determinującymi w naturze są pewne „całości”, których nie da się sprowadzić do sumy ich części. Abstrahując od poważnych uwag krytycznych w stosunku do tej teorii - to przeciwstawne redukcjonizmowi podejście wydaje się mieć istotne znaczenie w odniesieniu do optymalizacji ruchu w gęstych sieciach drogowych. Przykładem uzasadniającym takie stanowisko może być zjawisko kongestii ruchu, którego opis redukcjonistyczny nie uwzględnia właściwości całej sieci drogowej. Zwłaszcza wszelkie analizy warunków ruchu drogowego wykonywane w ograniczonych obszarach lub wręcz na pojedynczych drogach są skrajnym przypadkiem redukcjonizmu [7]. Inżynieria ruchu drogowego w obliczu rozwoju systemów: ITS, ATCS, GPS i GSM znajduje się w szczególnym czasie. Poprzedza on okres w którym będzie możliwe z technicznego punktu widzenia obserwowanie praktycznie, każdej jednostki uczestniczącej w ruchu drogowym. Proponowany dalej w artykule sposób podejścia do analizy gęstych sieci drogowych jest realizowany na gruncie poszukiwania własności obiektu analizy w ujęciu całościowym (holistycznie) następnie redukcjonowania ich w odniesieniu do elementów infrastruktury liniowej i punktowej transportu. Można w tym przypadku mówić o podejściu przeciwstawnym redukcjonizmowi, które polega na równoczesnym skalowaniu problemu „w dół” i „w górę”. W ujęciu całego obszaru analizy (sieci drogowej) poszukiwane są właściwości, które umożliwią właściwe kształtowanie jego poszczególnych elementów [3][8][9].

2. MODEL SIECI DROGOWEJ MIASTA KATOWICE

Dla celów oceny oddziaływania obszarowego potoków ruchu wykorzystano gęstą sieć drogową miasta Katowice. Sieć drogowa Katowic stanowiąca przedmiot analizy zlokalizowana jest w konurbacji górnośląsko-zagłębiowskiej. Konurbacja ta składa się z kilkunastu miast na prawach powiatu i kilkunastu miast typu gminy miejskiej. Ogółem obszar konurbacji zamieszkiwany jest przez ponad 2,5 mln ludzi. Konurbacja ta leży na skrzyżowaniu dwóch transeuropejskich korytarzy transportowych: Drezno-Kijów (nr III), Gdańsk-Bratysława (nr VI). Lokalizacja przedmiotu analizy w kontekście regionalnym i lokalnym zaprezentowana została odpowiednio na rysunku 1a i 1b.

¹ stanislaw.krawiec@polsl.pl

² ireneusz.celinski@polsl.pl

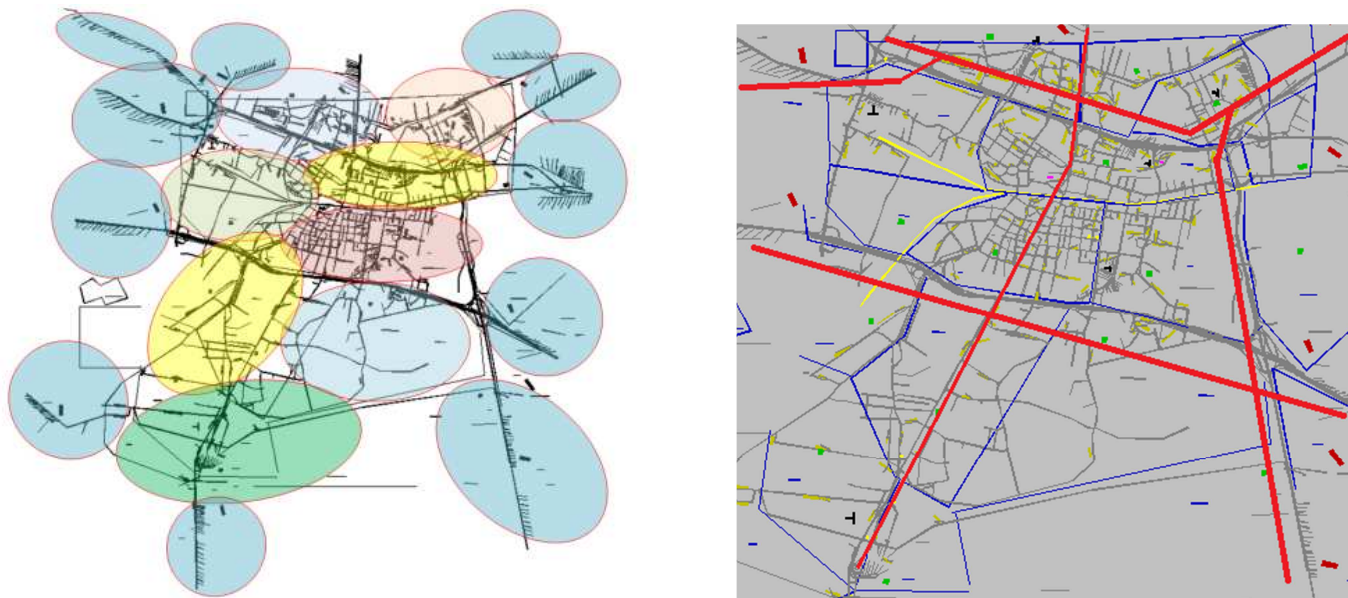


Rys. 1. Lokalizacja analizowanej sieci drogowej na tle: a/ obszaru konurbacji b/ obszaru miasta
Źródło: opracowanie własne na podstawie usługi Google Maps.

Model sieci drogowej miasta Katowice zbudowano wykorzystując w tym celu oprogramowanie firmy PTV [16] [17]. Realizując przedmiotowy model sieci drogowej zdecydowano się na wykorzystanie modelu mikrosymulacji ruchu w oparciu o program VISSIM. Dla celów przedmiotowej analizy wybrano fragment sieci drogowej miasta Katowice charakteryzujący się gęstą siecią drogową w obrębie której notowane są największe kolejki i straty czasu pojazdów (rys. 1b). Orientacyjny obszar, który obejmuje model sieci drogowej stanowi ok. 50% powierzchni miasta Katowice (kwadrat na rysunku 1b). Prezentowany na rysunku nr 1b obszar analizy poza tym, że obejmuje blisko 90% sieci drogowej Katowic to przede wszystkim zawiera najważniejsze ciągi komunikacyjne oraz istotne rejony infrastruktury o charakterze społeczno-ekonomicznym miasta. Sieć drogowa miasta oparta jest głównie na połączeniach w układzie wschód-zachód (podobnie jak cały region konurbacji). Oś komunikacyjna wschód-zachód oparta jest na autostradzie A4 i drodze ekspresowej DTŚ (Droga Trasa Średnicowa). Podobnie jak to ma miejsce dla całej konurbacji, stosunkowo słabo wykształcone są drogi w układzie północ-południe. Obecnie część relacji w układzie południkowym obciąża układ równoleżnikowy - dodatkowo komplikuje to ruch w tej sieci drogowej. Sytuacja ta zmieni się najbliższym czasie po oddaniu do użytkowania nowych dróg w układzie południkowym: autostrady A1 i dróg ekspresowych S1 i S69. Wszystkie wymienione drogi zlokalizowane są poza obszarem miasta Katowice - tym niemniej ich oddanie do eksploatacji powinno znacząco odciążać sieć drogową stanowiącą przedmiot analizy. Na rysunku 2b przedstawiono modelowaną sieć drogową.

Rysunek prezentuje sieć drogową zrealizowaną w programie VISSIM. W modelu uwzględniono praktycznie wszystkie elementy punktowe i liniowe infrastruktury transportowej w obszarze odwzorowanym za pomocą kwadratu na tle obszaru miasta Katowice (rys 1b).

Budując model sieci drogowej w pierwszej kolejności określono parametry potoków ruchu w obszarze analizy oraz jej bezpośrednim otoczeniu. Posłużono się w tym celu danymi statystycznymi przedstawionymi w pracy [4] oraz posiłkując się innymi publikowanymi i niepublikowanymi (badania Katedry Inżynierii Ruchu WT PŚ) danymi opisującymi ruch w analizowanej sieci w latach 2007-2010 [2]. Łącznie przetworzono dane odnośnie blisko 30 tys. podróży indywidualnych, których relacja związana była z obszarem analizy. Dodatkowo uwzględniono dane GPR 2010 w tym na najbardziej obciążonym odcinku tej sieci drogowej (na marginesie: wg GPR 2010 jest to odcinek o największym obciążeniu ruchem w skali kraju). Celem analizy było określenie głównych relacji podróży realizowanych w wybranej sieci jak również wolumenów potoków podróży w godzinie ruchu szczytowego w wybranych relacjach.



Rys. 2. Obszar analizy: a/ układ proponowanych rejonów komunikacyjnych b/ model sieci drogowej

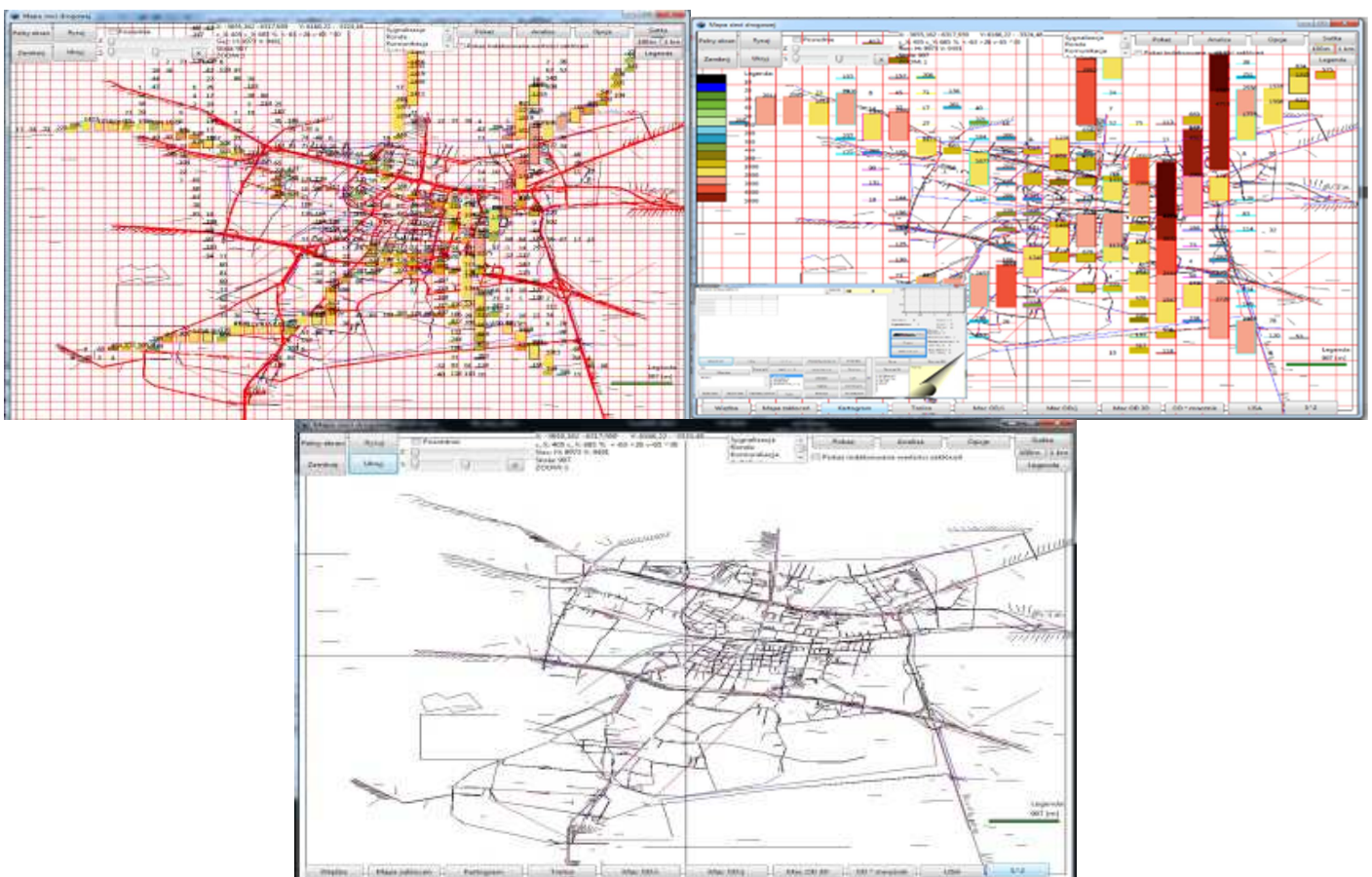
Źródło: opracowanie własne na bazie programu VISSIM i VISUM [16] [17].

Docelowo, uwzględniając rozpoznaną specyfikę ruchu, obszar analizy podzielono na 29 rejonów komunikacyjnych w tym wyróżniono 8 rejonów tzw. wewnętrznych. Podział obszaru analizy na rejony komunikacyjne przedstawia rysunek nr 2a. Na rysunku 2a wyróżniono rejony zewnętrzne (niebieskie) i rejony wewnętrzne (w innych kolorach). Rejony zewnętrzne zagregowano w przekrojach wybranych dróg wylotowych (Mikołów DK81, Tychy DK86, „Zachód”: A4, DW 902, DK 79, „Wschód” S86 DK 79 etc.). Dla 8 rejonów wewnętrznych obejmujących obszar gęstej sieci drogowej miasta Katowice zbudowano szczegółowy model mikrosymulacyjny ruchu w programie VISSIM. Rysunek nr 2b przedstawia ten model z naniesionymi orientacyjnie linią czerwoną głównymi ciągami komunikacyjnymi miasta. Model mikrosymulacyjny sieci drogowej zbudowano w oparciu na ponad 300 skrzyżowaniach i ok. 5000 odcinkach i łącznikach. Model ten z uwagi na swoje rozmiary jest cały czas systematycznie aktualizowany i poprawiany. Rozmiar analizowanej sieci podyktowany jest wspomnianym wcześniej „holistycznym” sposobem podejścia do przedmiotowego zagadnienia. W oparciu o analizę potoków ruchu występujących w obszarze w modelu zaimplementowano 1384 trasy statyczne [2][4]. Na trasy statyczne zdecydowano się z uwagi na sposób organizacji ruchu w analizowanej sieci drogowej (wiele dróg jednokierunkowych, nietypowy układ głównych ciągów komunikacyjnych, punktowy rozkład zabudowy społeczno-ekonomicznej w przestrzeni analizy etc.). W praktyce, mimo iż jest to sieć gęsta, pomiędzy rejonami komunikacyjnymi można przemieszczać się z reguły w kilku, maksymalnie kilkunastu wybranych wariantach tras. W przyszłości wyłącznie dla celów studialnych zaimplementowany zostanie moduł rozkładu dynamicznego w analizowanej sieci. Realizacja obliczeń w takim modelu wymaga, co ważne, specyficznego rozłożenia punktów generacji ruchu (generatorów) jak również kolektorów ruch

agregujących. Ruch pojazdów w sieci analizowany jest nie tylko w układzie obszarowym - fizycznym lecz również w układzie potoków źródłowo-celowych. W sumie w analizowanej sieci wyróżniono ponad 600 głównych potoków OD (ang. origin-destination). W każdym przebiegu symulacyjnym aktualizowanych jest blisko 400 000 możliwych przypadków interakcji potoków ruchu w przedmiotowej sieci. W praktyce w okresie nasycenia ruchem pojazdów głównych ciągów komunikacyjnych w okresie minuty rzeczywistego czasu przebiegu symulacji w analizowanej sieci na obszarze ok. 50 km² generowanych jest blisko 1÷2 miliona zdarzeń losowych. Model utworzony został w oparciu o specyfikację techniczną producenta prezentowaną w publikacjach [16] [17] i innych źródłach. Dla celów analizy wyników symulacji napisano zewnętrzną aplikację przetwarzającą dane z programu VISSIM, opartą na bazie metod analizy danych przestrzennych oraz algorytmach autorskich. Uzyskane z pomocą tego programu wyniki przedstawiono poniżej.

3. OCENA ODDZIAŁYWANIA STRUMIENI RUCHU W SIECI DROGOWEJ KATOWIC

Jednym z podstawowych sposobów oceny obszaru sieci drogowej pod względem interakcji pojazdów jest kartogram zakłóceń potoków i strumieni ruchu. Na rysunku 3a w formie kartogramu dla obszaru analizy przedstawiono rozkład zakłóceń w godzinie ruchu szczytowego. Wartości na prezentowanym kartogramie oznaczają liczbę zakłóceń w ruchu, przypadającą na pole powierzchni obszaru, zanotowaną w ciągu 1' symulacji. Delimitacja obszaru na rysunku nr 3a została przeprowadzana w oparciu o segmenty kwadratowe o powierzchni 0,16 km². W analizowanym przypadku oznacza to delimitację obszaru analizy na ogółem 625 jednostek przestrzennych. Uzyskany rezultat pomiaru może posłużyć do realizacji wstępnych zmian w organizacji i zarządzaniu ruchem drogowym. Obszar analizy może być w ten sposób delimitowany płynnie, globalnie w odniesieniu do potoków ruchu i lokalnie w odniesieniu do strumieni pojazdów (zobacz też: [6]).



Rys. 3. Mapa zakłóceń a/ (rozmiar segmentu: 0,16 km²) b/ sieć bazowa c/ segment 0,04 km²
 Źródło: opracowanie własne na bazie autorskiego programu.

Identyfikacja miejsc charakteryzujących się największą liczbą zakłóceń pojazdów umożliwia wprowadzenie zasadnych zmian w organizacji ruchu. W szerszym zakresie umożliwia również analizę wariantów inwestycyjnych w zakresie rozbudowy infrastruktury transportu. W praktyce obraz zakłóceń w ruchu przedstawiony na rysunku 3 dotyczy okresu czasu $\Delta t = 1'$ (w tym przypadku jest to kolejna 40-minutowa symulacja). Obserwowana jest w tym czasie pewna chwilowa macierz zakłóceń $[z_{ij}]_{m \times n}$. Podstawą decyzji optymalizacyjnych, organizacyjnych dla ruchu drogowego powinien być zbiór tych macierzy $\{[z_{ij}]_{m \times n}\}$ lub wartości średnie obserwowanej zmiennej endogenicznej \bar{z}_{ij} . Delimitacja sieci drogowej na podstawie ilości zakłóceń w ruchu lub innego parametru charakterystycznego dla pojazdów jest wstępnym etapem analizy. W etapie tym sieć zostaje oceniona punktowo bez uwzględniania wzajemnych powiązań pomiędzy jej segmentami. Powiązania te są widoczne na rysunku nr 3 natomiast brak im syntetycznej miary i oceny. W celu oceny istniejących powiązań pomiędzy segmentami analizowanej sieci drogowej należy zastosować jeden ze znanych modeli lub jedną z metod analizy danych przestrzennych. Z uwagi na fakt, że czasami występuje autokorelacja przestrzenna lokalna przy braku istnienia autokorelacji globalnej w przedmiotowym przypadku wykorzystano wartości statystyki lokalnej autokorelacji LISA. W odróżnieniu od autokorelacji globalnej lokalna odmiana tej statystyki dotyczy powiązania wartości zmiennej w wybranej lokalizacji w stosunku do wartości jej sąsiadów. Statystyka taka wskazuje na statystycznie istotne miejsca skupienia podobnych wartości określonej zmiennej losowej w sąsiednich miejscach analizowanego obszaru [1] [12] [19]. W literaturze przedmiotu lokalna autokorelacja opisywana jest jako cecha, która umożliwia identyfikację maksymalnego dystansu dostrzegalnych współzależności w przestrzeni, identyfikację skupień małych i dużych wartości (ang. cold spots, hot spots). Statystyka ta umożliwia również delimitację obszaru na jednorodne podobszary tzw. reżimy przestrzenne [1] [12]. W kontekście problematyki IRD może to pozwolić na dywersyfikację obszaru pod kątem wydzielenia granic zasięgu systemu sterowania ruchem lub strefy płatnego parkowania etc. W analizie przedmiotowej sieci drogowej wykorzystano lokalną statystykę Morana I_i wyrażoną wzorem:

$$I_{i(w)} = \frac{(x_i - \bar{x}) \sum_j^n w_{ij}^* (x_j - \bar{x})}{\sum_i^n (x_i - \bar{x})^2} = \frac{z_i \sum_j^n w_{ij}^* z_j}{\sum_i^n z_i^2} \quad (1)$$

gdzie:

$z = (x_i - \bar{x})$ – analizowana zmienna w i-tej (j-tej) jednostce obszaru,

w – macierz wag standaryzowana wierszami.

Standaryzując analizowaną zmienną w obszarze analizy, równanie (1) można zapisać:

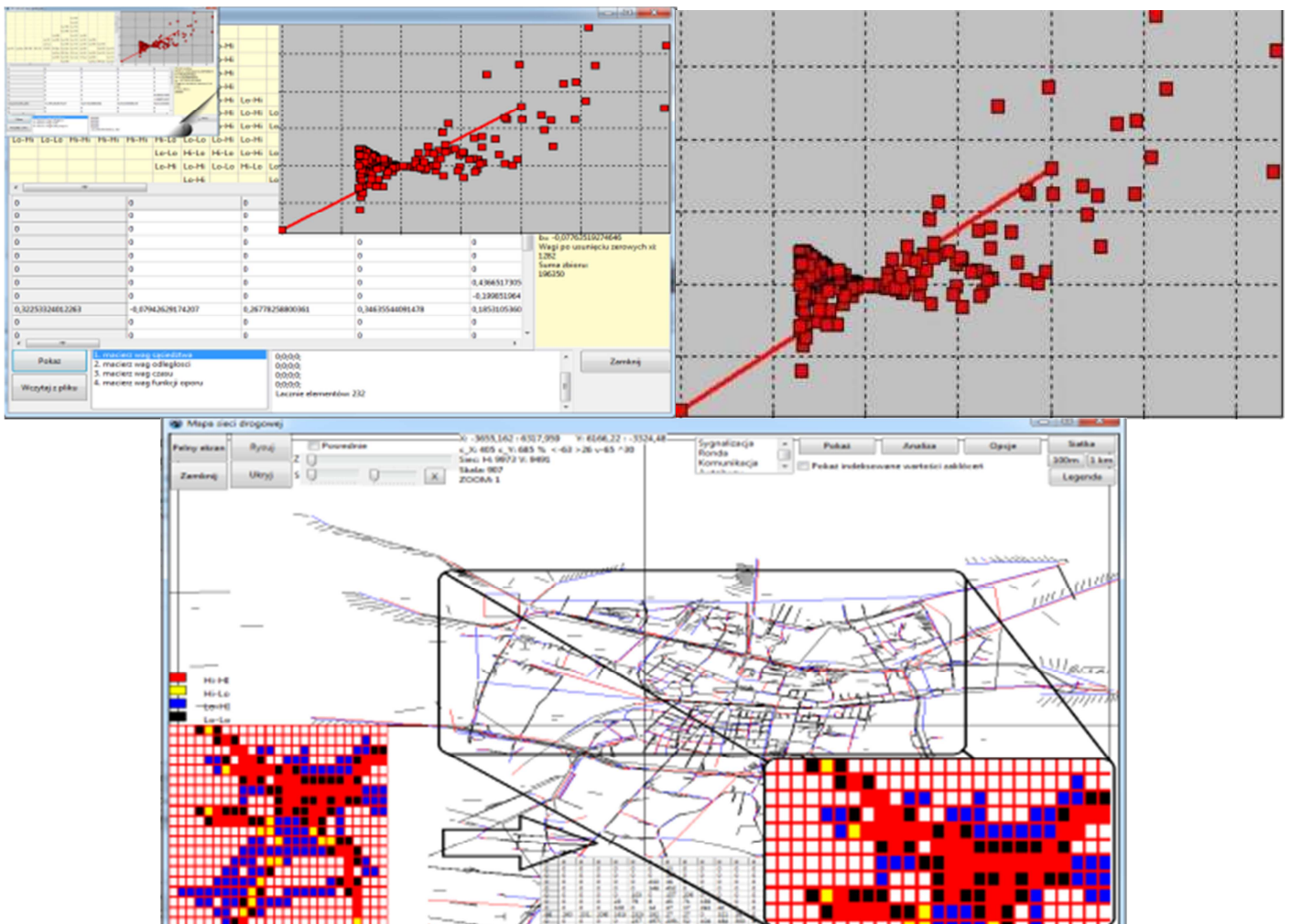
$$I_{i(wzs)} = z_i^s \sum_j^n w_{ij}^* z_j^s \quad (2)$$

Jako wagi w równaniach (1) i (2) można zastosować macierz kontyngencji lub inne elementy wiążące logicznie lub wymiennie sąsiadujące ze sobą obszary sieci drogowej. Jest to jeden ze sposobów przeprowadzenia pomiaru lokalnej autokorelacji zmiennych w poszczególnych rejonach sieci drogowej. W tym celu można wykorzystać również lokalne statystyki Geary'ego C, Getisa, Orda [1] [12] [19]. W przypadku ogólnym nie wystarcza analiza lokalnej autokorelacji przestrzennej jednej zmiennej losowej. Na rysunku nr 4a przedstawiono wyniki dla statystyki lokalnej autokorelacji LISA w analizowanym obszarze w podziale na segmenty których powierzchnia wynosi 0,16 km². Na rysunku 4b przedstawiono wykres rozproszenia autokorelacji, który pozwala w sposób bardziej szczegółowy na analizę danych przestrzennych [12]. Wykres ten przedstawia zależność funkcyjną typu autoregresyjnego w badanej zmiennej:

$$(x_i - \bar{x}) \Leftarrow \sum_j^n w_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad (3)$$

W takim układzie na osi odciętych nanoszone są standaryzowane wartości analizowanej zmiennej natomiast na osi rzędnych sumy ważonych różnic tej zmiennej w sąsiednich jednostkach przestrzennych. W konsekwencji w I ćwiartce układu rejestrowane są odpowiednio elementy składowe obszaru

charakteryzujące się wysokimi wartościami analizowanej zmiennej której towarzyszą wysokie wartości w komórkach sąsiednich (tzw. układ komórek Hi-Hi lub High-High). Komórki obszaru zlokalizowane w tej ćwiartce mogą być podstawą tworzenia obszaru systemu sterowania ruchem drogowym. W ćwiartce trzeciej rejestrowane są wartości niskie analizowanej zmiennej losowej, której towarzyszą niskie wartości w komórkach sąsiednich (Lo-Lo). Odpowiednio w ćwiartkach II i IV rejestrowane są układy Lo-Hi i Hi-Lo. Na rysunku 4b przedstawiono również prostą dopasowaną do punktów pomiarowych uzyskanych na podstawie danych z 625 komórek na jakie podzielono obszar analizy (Katowice). Na rysunku 4b prosta dopasowana charakteryzuje się dodatnią wartością współczynnika kierunkowego co oznacza silną autokorelację przestrzenną w analizowanym obszarze. To co warto podkreślić na podstawie analizy LISA w stosunku do rozpatrywanego obszaru to stosunkowo duża liczba komórek analizy o skrajnie wysokich wartościach obserwowanej zmiennej losowej (prawy-górny róg diagramu, 4b). Są to jednoznacznie identyfikowane obszary występowania kongestii ruchu. Istotna statystycznie na rysunku 4b liczba komórek typu Hi-Lo i jeszcze większa Lo-Hi wynika z charakteru delimitacji obszaru.



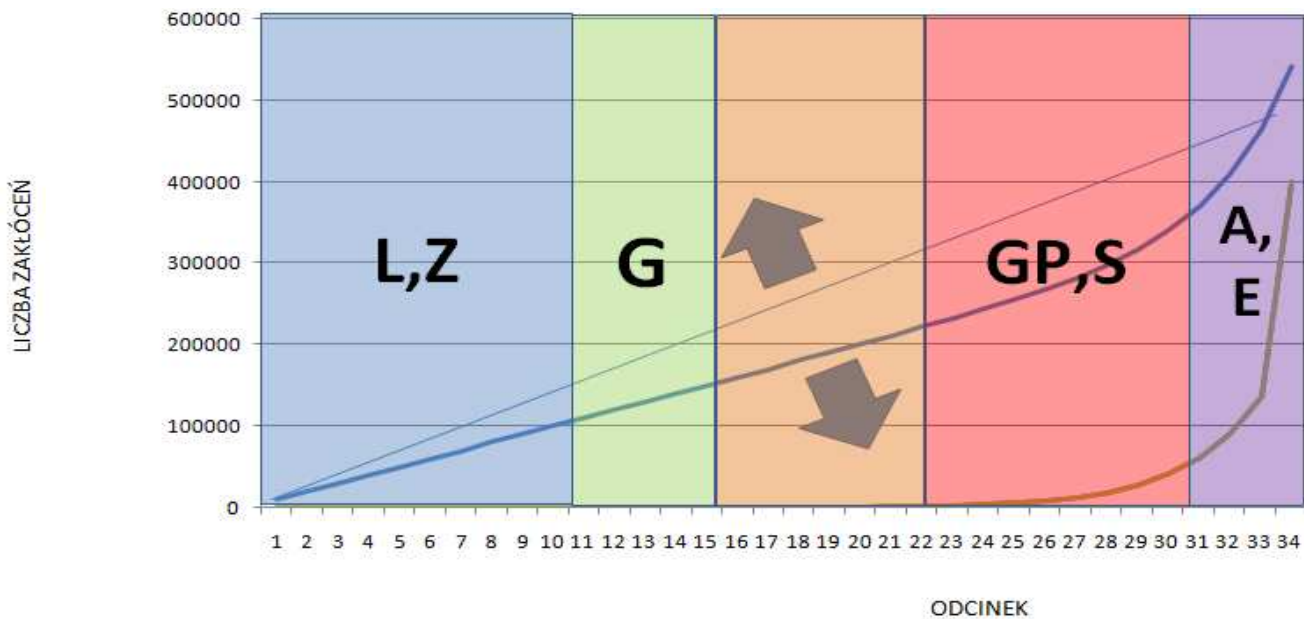
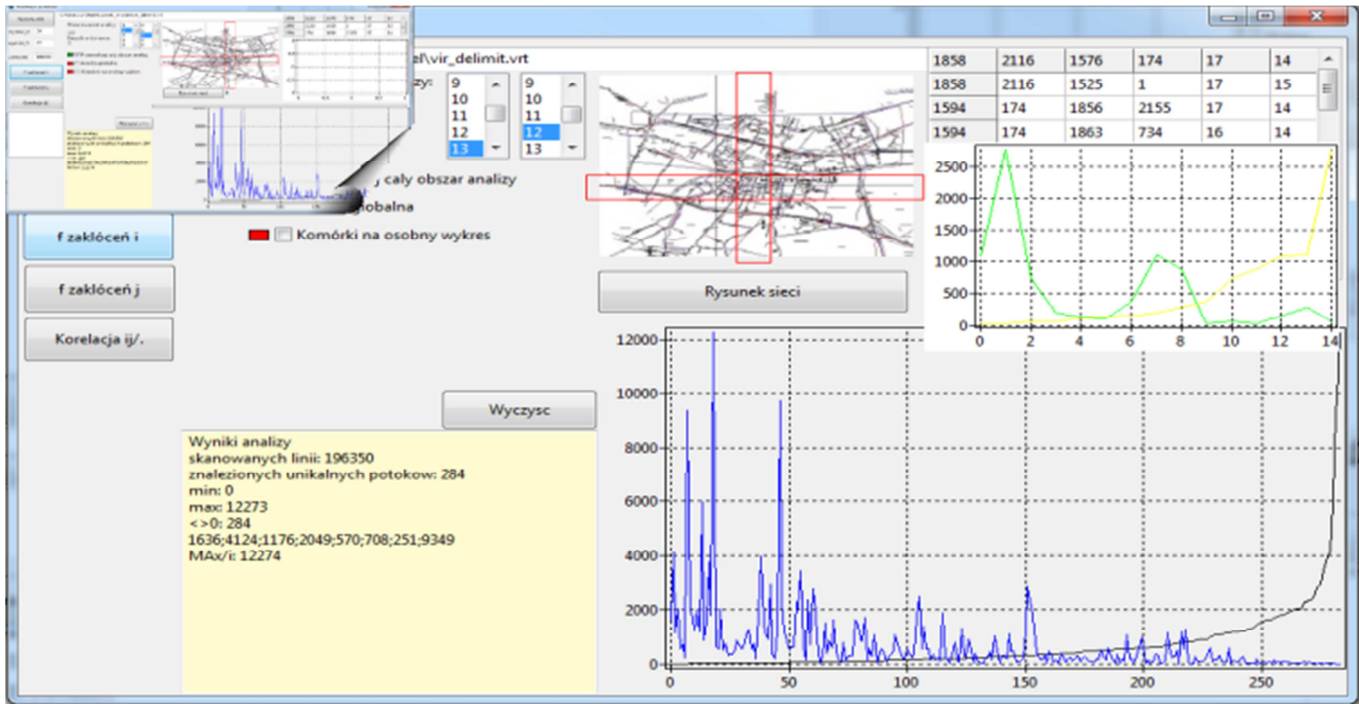
Rys. 4. Wyniki – LISA: a/ okno programu b/ dopasowana prosta c/obszar w podziale na klaster

Źródło: opracowanie własne na bazie autorskiego programu.

Zawężając obszar pojedynczej komórki (skalując „w dół”) można analizować związki poszczególnych segmentów obszaru analizy i w konsekwencji drogi z coraz większą precyzją. W wyniku tej operacji istnieje możliwość delimitacji sieci drogowej na powiązane ze sobą fragmenty. W praktyce nie ma sensu delimitacja większa niż dopuszczają to popularne systemy nawigacji 10-20 metrów [6]. Rysunek 4c przedstawia wyniki obliczenia statystyki lokalnej autokorelacji LISA w syntetycznej formie, gdzie przypadki autokorelacji pomiędzy sąsiednimi lokalizacjami w analizowanej sieci zaprezentowano graficznie. W rezultacie otrzymywana jest mapa klastrów, gdzie kolorem czerwonym zaznaczono obszary w których sąsiednie komórki charakteryzują się skrajnie wysokim poziomem zakłóceń znajdujących się tam pojazdów. Kolorem

żółtym oznaczono przypadki autokorelacji typu Hi-Lo, kolorem niebieskim Lo-Hi i odpowiednio kolorem czarnym Lo-Lo. Na rysunku 4c w przejrzysty sposób została przedstawiona podstawowa cecha, czy też mankament sieci drogowej Katowic - brak wykształconych silnych połączeń w układzie południkowym. Jednocześnie z układów komórek typu Hi-Lo i Lo-Hi można wnioskować, że ten fragment sieci drogowej charakteryzuje się dużymi dysproporcjami w ruchu na poszczególnych odcinkach.

Prezentowany artykuł przedstawia tylko niektóre, wybrane przekroje analizy spośród wielu możliwych. Jednym z interesujących opcji autorskiego programu jest narzędzie umożliwiające obserwację rozkładu zakłóceń w poszczególnych potokach ruchu i strumieniach pojazdów analizowanej sieci drogowej (w układzie macierzy OD). Niezależnie można analizować potoki (w komórkach strumienia) zakłócanie i zakłócające ruch drogowy. Można tu mówić o delimitacji przestrzennej i organizacyjnej sieci drogowej. Rysunek 5 przedstawia rozkład liczby zakłóceń w odniesieniu do potoków źródłowo – celowych.

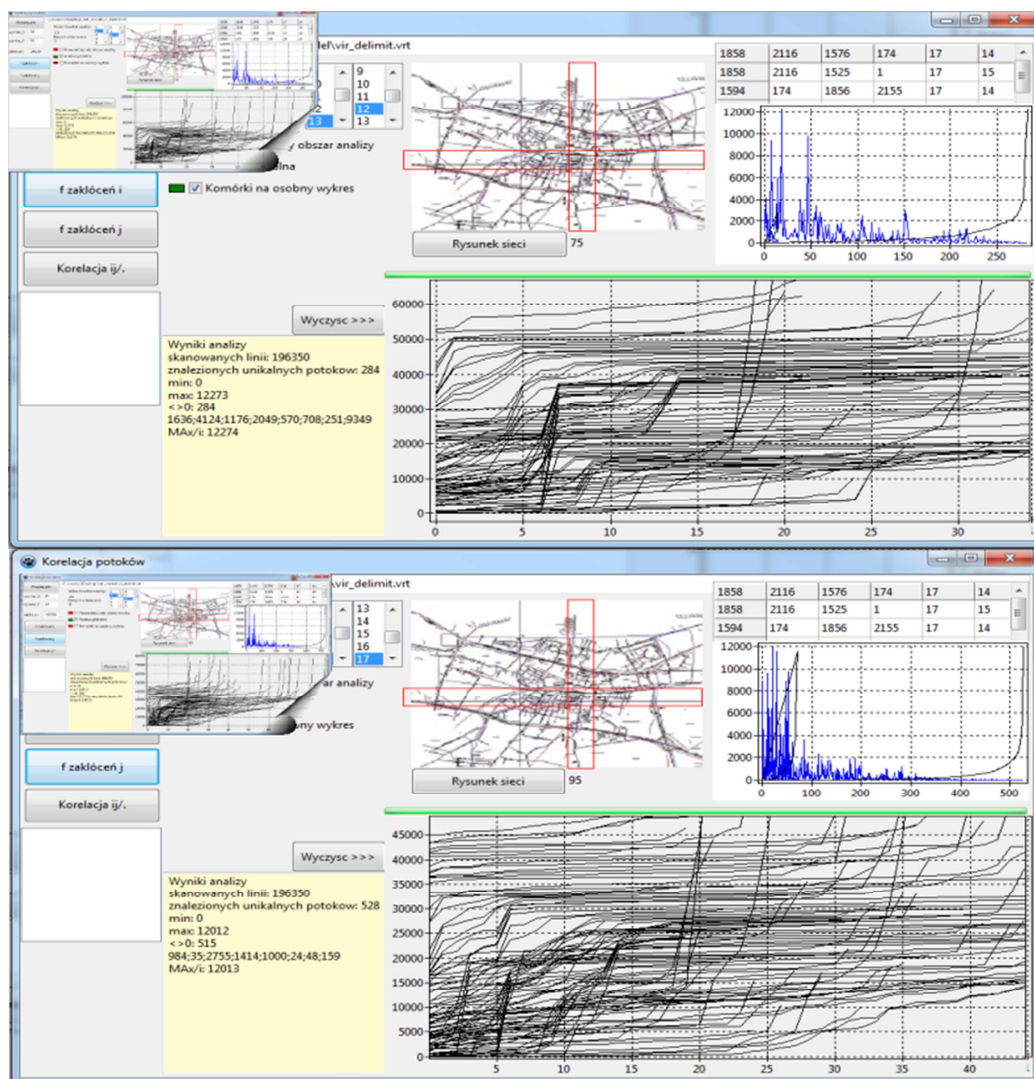


Rys. 5. Rozkład zakłóceń potoków ruchu a/ przykład praktyczny b/idea właściwego kształtowania (rozpraszania) rozkładu zakłóceń w sieci

Źródło: opracowanie własne na bazie autorskiego programu.

Na rysunku 5, po uporządkowaniu rosnąco, zademonstrowano przebieg badanego rozkładu. Rozkład ten jest wykładniczy. W praktyce oznacza to, że część potoków ruchu w ogóle nie doznaje zakłóceń w ruchu natomiast mniejsza część notuje nieproporcjonalnie dużą ich liczbę. Stosunek ten nie jest w żaden sposób uzasadniony istniejącą proporcją odcinków w danej sieci charakteryzujących się określoną klasą techniczną drogi. Wykładniczy rozkład może świadczyć o małej liczbie dróg wysokiej klasy technicznej lub o źle zaprojektowanej organizacji ruchu drogowego, ew. o źle dobranym sterowaniu ruchem (ruch rozłożony jest na małej części dróg stanowiących daną sieć drogową). W przypadku ogólnym rozkład liczby zakłóceń w sieci drogowej powinien „z grubsza” odpowiadać proporcjom udziału liczby odcinków dróg w danej sieci w poszczególnych klasach technicznych (rys. 5b). W takim przypadku można mówić o równomiernym obciążeniu infrastruktury transportu. W przypadku jednostajnego rozkładu klas technicznych odcinków dróg idealną sytuacją w odniesieniu do tej prezentowanej na rysunku 5b była by prosta aficzna. Idea „poprawności” obciążenia sieci, a więc zasadności stosowanego sterowania i organizacji w sieci drogowej przedstawiona jest na rysunku 5b. Zgodnie z ideą prezentowaną na tym rysunku rozkład zakłóceń powinien być proporcjonalny do udziału liczby odcinków drogi danej klasy technicznej w strukturze całej sieci drogowej.

Na rysunku 6a zaprezentowano rozkład liczby zakłóceń pojazdów w odpowiednich strumieniach w poszczególnych komórkach analizowanej sieci drogowej. Natomiast na rysunku 6b zaprezentowano rozkład liczby pojazdów, które ruch zakłócają w poszczególnych potokach ruchu i strumieniach pojazdów.

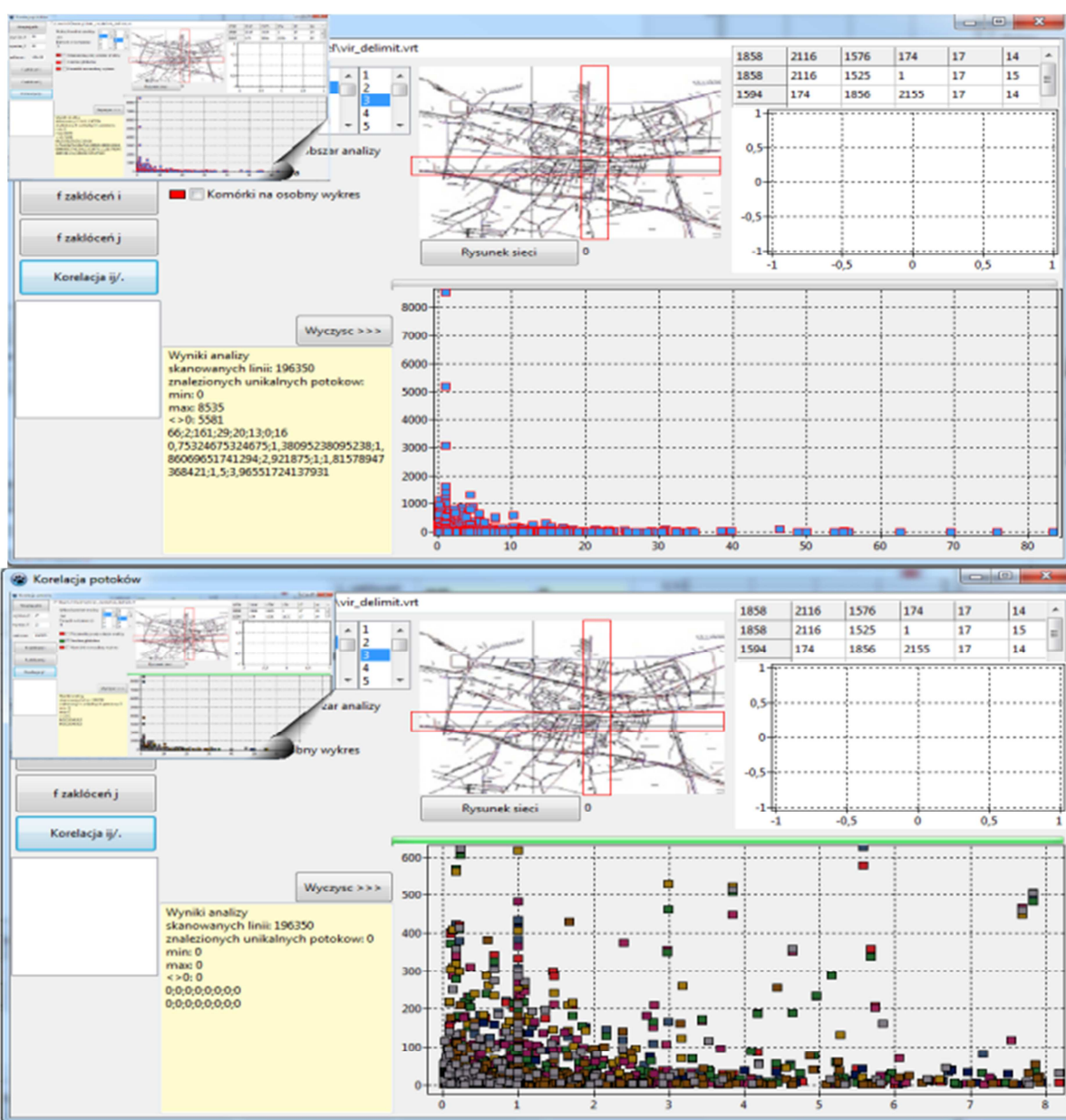


Rys. 6. Rozkład liczby zakłóceń a) pojazdów i-tych potoków ruchu w poszczególnych komórkach analizowanego obszaru b) pojazdów zakłócających z j-tych potoków w poszczególnych komórkach

Źródło: opracowanie własne na bazie autorskiego programu.

Prezentowane na rysunku 6 wykresy demonstrowają istotne dysproporcje w analizowanej sieci drogowej pomiędzy potokami ruchu w segmentach obszaru analizy. Rozkład zakłóceń w komórkach analizowanej sieci nie jest jednorodny jak również charakteryzuje się różnymi profilami. Elementem wspólnym tego obrazu jest to, że w większości komórek wybrane - nieliczne strumienie ruchu wykazują skrajnie wysoką liczbę zakłóceń. Z kolei część komórek obszaru analizy charakteryzuje się bardzo dobrą organizacją ruchu, zakłócenia we wszystkich strumieniach tworzą linię zbliżoną do prostej aficznej o podobnych wartościach współczynnika kierunkowego. Im mniejszy współczynnik kierunkowy takiej prostej tym płynniejszy zdaniem autorów ruch w takim fragmencie sieci drogowej – oznaczający równomierne obciążenie odcinków drogi w stosunku do ich klasy technicznej oraz małą liczbę zakłóceń w poszczególnych grupach.

Przedstawiony na rysunkach 5 i 6 rozkład liczby zakłóceń w poszczególnych potokach ruchu jak również w odniesieniu do poszczególnych strumieni pojazdów w komórkach analizowanego obszaru wymaga w dalszej kolejności analizy tych charakterystyk w dekompozycji na odcinki drogowe i rozwiązania problemu przeniesienia zakłóceń z potoków charakteryzujących się ich dużą liczbą na potoki w których notuje się ich niewielką liczbę. Nie należy mylić tych wykresów z zależnościami typu droga-czas. Analiza tego typu sprowadza się do problemów optymalizacji wielokryterialnej [6] [11].



Rys. 7. Rozkład zakłóceń w poszczególnych potokach w zależności od proporcji potoków i-tego i j-tego a) prezentacja dla całej sieci b) prezentacja w poszczególnych komórkach

Źródło: opracowanie własne na bazie autorskiego programu.

Rysunek 7 przedstawia inną interesującą charakterystykę dla potoków ruchu w analizowanej sieci drogowej. Na rysunku tym przedstawiono rozkład liczby zakłóceń w zależności od proporcji natężeń ruchu pojazdów z potoków zakłócanego i zakłócającego. Rysunek 7a przedstawia ten rozkład z punktu widzenia całej analizowanej sieci drogowej, w odniesieniu do potoków ruchu. Rysunek 7b przedstawia przedmiotowy rozkład we wszystkich komórkach analizowanej sieci drogowej (strumienie ruchu). Na podstawie rysunków 7a i b można stwierdzić, że przeważająca liczba zakłóceń ma miejsce przy zbliżonych proporcjach dwukolizyjnych potoków ruchu. Znacznie mniejsza liczba odnotowanych zakłóceń ruchu dotyczyła potoków ruchu źródłowo-celowych charakteryzujących się znacznie od siebie różniącymi natężeniami ruchu. Przypadki w których zanotowano dużą liczbę zakłóceń w odniesieniu do potoków charakteryzujących się skrajnie różniącymi się natężeniami zanotowano stosunkowo niewiele. To co zwraca również uwagę na rysunkach nr 7a i b to fakt, że w niektórych komórkach analizowanej sieci liczba zakłóceń nie harmonizuje z proporcjami natężeń potoków zakłócającego i zakłócanego. Świadczyć to może o istniejących rezerwach w zakresie organizacji i sterowania ruchem w analizowanej sieci drogowej. Jest to obszar dalszych poszukiwań i dociekań w tym przypadku sieci i kwestia zastosowania odpowiednich rozwiązań optymalizacyjnych. Przedstawione wybrane aspekty oceny oddziaływania w ruchu drogowym służą przede wszystkim jako baza dla wprowadzania zmian w organizacji ruchu drogowego. Mogą posłużyć również w systemach obszarowych sterowania ruchem drogowym jako pomoc w konstrukcji algorytmów i metod sterowania nimi [5]. W tym przypadku istotną przeszkodą jest pozyskiwanie i przetwarzanie dużej liczby danych w czasie rzeczywistym (200-400MB/min.). Między innymi poprzez te zastosowania prezentowane przekroje analizy mogą również wspierać logistykę miejską [14] [18]. Być może właściwa ocena oddziaływania potoków w ruchu drogowym zapewni efektywniejszą jego organizację, zarządzanie i ewentualnie sterowanie. W uzasadnionych przypadkach systemy sterowania obszarowego mogą być rozszerzane o segmenty w których występuje duża liczba zakłóceń a wykazują istotne znaczenie w systemie logistyki miejskiej. Dotyczy to zwłaszcza zaopatrzenia w centrach dużych miast.

4. WNIOSKI I UWAGI KOŃCOWE

W artykule przedstawiono w zarysie sposób konstrukcji i analizy modelu ruchu dla gęstej sieci drogowej na potrzeby oceny oddziaływania potoków ruchu w jej obszarze. Model ten jest podstawą do przeprowadzenia szerokiego spektrum analiz w celu wykrycia i oceny prawidłowości określających siłę i zasięg interakcji w ruchu drogowym. Dotyczy to nie tylko oddziaływania pomiędzy potokami ruchu/strumieniami, ale również wzajemnych relacji podobszarów sieci drogowej. W artykule przedstawiono zaledwie kilka przekrojów oceny oddziaływania w ruchu drogowym - są to pewne przykłady możliwych działań, które można podjąć w zakresie analizy sieci drogowej w aspekcie oddziaływania potoków w ruchu drogowym. Zmienną endogeniczną analizowaną jest w tym przypadku wyłącznie liczba zakłóceń. Można w tym sensie jako taką zmienną rozpatrywać szereg innych charakterystyk ruchu drogowego: natężenia, gęstości, prędkości etc. Właściwym podejściem wydaje się być, podejmowanie decyzji optymalizacyjnych na podstawie analizy wielokryterialnej [6][11]. Prezentowany artykuł dotyczy konkretnego przypadku sieci drogowej, który jest stosunkowo dobrze rozpoznany. Znane są mankamenty tej sieci drogowej, charakterystyczne elementy etc. Tym niemniej prezentowane metody pozwalają wiedzę ogólną na temat tej sieci drogowej przedstawić w syntetycznej formie, wyrażonej w konkretnych miarach. Miarą taką są np. uzyskiwane za pomocą statystyki LISA związki przestrzenne segmentów sieci o zbliżonych wartościach zakłóceń. Dokładność tej prezentacji jest proporcjonalna do stopnia delimitacji sieci (deklarowana dokładność w programie VISSIM może wynosić nawet 1 mm). W rzeczywistości dokładność systemu analizy oddziaływania obszarowego wyznaczana jest powszechnie obowiązującymi standardami systemu GPS [11]. W tym kontekście decyzja o budowie systemu sterowania obszarowego w ogólnym przypadku powinna być oparta o wiedzę na temat rozkładu liczby zakłóceń w sieci drogowej lub zbiór podobnych charakterystyk ruchu. Klasyfikacja segmentów sieci pod kątem interakcji potoków OD lub strumieni pojazdów w ich obszarze również może być przyczynkiem do lepszego konstruowania systemów sterowania obszarowego.

Metoda oceny oddziaływania omówiona na przykładzie gęstej sieci drogowej Katowic posiada zdecydowanie szerszy kontekst związany z modelowaniem procesów transportowych. Zastosować można ją w tych przypadkach, wymagana jest jakakolwiek ocena oddziaływania pomiędzy pojazdami uczestniczącymi w ruchu. Zmienna egzogeniczna wykorzystana w metodzie, której ocena często zależy od kontekstu sytuacyjnego, powoduje, że kolejnym etapem rozwoju metody będzie implementacja w niej elementów teorii zbiorów rozmytych i algorytmów genetycznych.

Streszczenie

W artykule przedstawiono zagadnienie oceny oddziaływań strumieni pojazdów w gęstej sieci drogowej na przykładzie miasta Katowice. W zarysie omówiony został sposób budowy modelu sieci drogowej Katowic stanowiący instrument oceny organizacji ruchu. Zaprezentowano również kilka wybranych przekrojów oceny tej sieci drogowej. Szczególną uwagę poświęcono identyfikacji oddziaływań strumieni pojazdów w sieci drogowej na bazie wyników statystyki lokalnej autokorelacji LISA. W artykule przedstawiono również oryginalne sposoby rozpoznawania problemów zakłóceń strumieni pojazdów w ruchu drogowym. Prezentowane sposoby analizy sieci drogowej zilustrowano wykresami uzyskanymi z wykorzystaniem autorskiego narzędzia informatycznego. Omawiana metodyka oceny sieci może mieć zastosowanie w organizacji ruchu drogowego w tym również w logistyce miejskiej.

Słowa kluczowe: modelowanie ruchu, inżynieria ruchu drogowego, analiza danych przestrzennych, interakcje obszarowe, zakłócenia w ruchu drogowym, logistyka miejska.

The model of traffic as instrument to estimate stream interaction in dense road network

Abstract

The article presents the problem estimate traffic flow and stream interaction in the dense road network on example of Katowice city. The article explains the way of construction of the road network model. Then presents some specific sections of an impact assessment of area in the network. Particular attention is given to identify the area interaction of the road network based on the LISA results. It also presents original ways to recognize problems in the dense road network which is the subject of analysis. Selected methods of analysis are illustrated with graphs obtained from authoring tool.

Key words: traffic flow, transport modeling, spatial analysis, spatial interactions, traffic disturbances, city logistics.

LITERATURA

- [1] Anselin L.: Local indicators of Spatial Association-LISA, *Geographical Analysis*, nr 27, 1995
- [2] Celiński I.: Determinanty poziomu ruchu, *Transport Miejski i Regionalny*, Nr 04, 2011
- [3] Hempel C.G., Fetzer J.H: *The philosophy of C.G. Hempel*, Oxford Univ. Press, NY 2011
- [4] Karoń, R. Janecki, A. Sobota z zespołem, Program inwestycyjny rozwoju trakcji szynowej na lata 2008 2011. Analiza ruchu, Praca NB, Wydział Transportu Politechniki Śl., Katowice 2009
- [5] Kawalec P., Sobieszuk-Durka S.: Metody i algorytmy obszarowego sterowania ruchem drogowym, *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej*, s. Transport, z. 80, Warszawa 2011
- [6] Jacyna M.: Modelowanie i ocena systemów transportowych, *Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej (OWPW)*, Warszawa 2009
- [7] Kerner B.S: Congested traffic flow: Observations and theory, *TRB*, nr 1678. 1999
- [8] Krawiec S., Celiński I.: Sterowanie obszarowe - przykłady rozwiązań w aspekcie modelowania ruchu drogowego w miastach, *Logistyka* 4/2010 r.
- [9] Krawiec S., Celiński I.: Sterowanie obszarowe - przykłady rozwiązań w aspekcie modelowania ruchu drogowego w miastach. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej*, z.73 Warszawa 2010
- [10] Moran P.A.P: Notes on continuous stochastic phenomena, *Biometrika* nr. 37 1950

- [11] Leszczyński J.: Modelowanie systemów i procesów transportowych, OWPW, Warszawa 1999
- [12] Suhecki B.(redakcja naukowa): Ekonometria przestrzenna. Metody i modele analizy danych przestrzennych, Wydawnictwo C.H. Beck, Warszawa 2010
- [13] Suda J.: Dokładność satelitarnej lokalizacji pojazdów transportu publicznego. Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie, z.11. 2006.
- [14] Szymczak M.: Logistyka miejska. Wyd. Uniwersytetu Ekonom. w Poznaniu, Poznań, 2008.
- [15] Tobler W.:A computer model simulating urban growth ..., Economic Geography, nr 46, 1970
- [16] VISSIM Podręcznik użytkownika v.5.4, PTV 2010.
- [17] VISSIM User Manual. v.5.2, PTV 2009.
- [18] Tundys B.: Logistyka miejska, Wydawnictwo DIFIN, 2008
- [19] Zeliaś A. (redakcja naukowa): Ekonometria przestrzenna, PWE, Warszawa 1991.