

**Jacek Oskarbski, Marcin Zawisza, Karol Źarski**

Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

## **MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA SYSTEMU TRISTAR DO BADANIA WPŁYWU WARUNKÓW ATMOSFERYCZNYCH NA RUCH DROGOWY**

Rękopis dostarczono: kwiecień 2016

**Streszczenie:** Efektywność systemów transportowych jest niezbędna do prawidłowego funkcjonowania aglomeracji miejskich. Niezawodny, bezpieczny i ekologiczny transport przyczynia się do podnoszenia konkurencyjności obszarów aglomeracyjnych poprzez zwiększenie ich atrakcyjności oraz poprawę jakości życia mieszkańców. Jednym z elementów mających znaczący wpływ na poziom niezawodności i sprawność systemów transportowych mają warunki atmosferyczne. Wystąpienie niekorzystnych warunków pogodowych może wpływać na obniżenie poziomu niezawodności systemu transportowego. Warunki atmosferyczne mają znaczący wpływ na zachowania kierowców w ruchu ulicznym. W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań dotyczących wpływu warunków pogodowych na parametry ruchu drogowego oraz możliwość wykorzystania Zintegrowanego Systemu Zarządzania Ruchem TRISTAR, jako stanowiska badawczego dla analiz wpływu warunków pogodowych na ruch drogowy w warunkach miejskich.

**Słowa kluczowe:** inżynieria ruch drogowy, Inteligentne Systemy Transportu, sterowanie ruchem

### **1. WSTĘP**

Warunki pogodowe są jednym z czynników mających istotny wpływ na ruch drogowy. Wystąpienie niekorzystnych warunków atmosferycznych może wpływać na obniżenie poziomu bezpieczeństwa w sieci ulicznej (zwiększone ryzyko wypadków), jak również spadek sprawności a tym samym poziomu niezawodności sieci transportowej. Zjawiska atmosferyczne wpływają zarówno na stan infrastruktury transportowej, jak i na zachowania kierowców (przyspieszenia, prędkość ruchu, odstępy między pojazdami), zmieniając tym samym charakterystykę ruchu drogowego [6]. Wpływ poszczególnych zjawisk pogodowych na infrastrukturę oraz ruch drogowy został przedstawiony w tab. 1

Tab.1

**Wpływ zjawisk atmosferycznych na infrastrukturę oraz ruch drogowy (źródło: [6])**

Zjawiska pogodowe	Wpływ na infrastrukturę	Wpływ na ruch drogowy
Śnieg, deszcz, gołoledź	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ograniczona widoczność,</li> <li>- Zmniejszona przyczepność nawierzchni,</li> <li>- Blokowanie pasa ruchu,</li> <li>- Zmniejszone osiągi pojazdu,</li> <li>- Uszkodzenia infrastruktury.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ograniczenie przepustowości,</li> <li>- Zmniejszenie prędkości,</li> <li>- Zwiększenie strat czasu,</li> <li>- Zwiększenie zmienności (wariancji) prędkości,</li> <li>- Zwiększenie ryzyka wypadku,</li> <li>- Zamykanie dróg i obiektów inżynierskich.</li> </ul>
Silny wiatr	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ograniczona widoczność,</li> <li>- Blokowanie pasa ruchu,</li> <li>- Zmniejszone osiągi pojazdu.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zmniejszenie prędkości,</li> <li>- Zwiększenie strat czasu,</li> <li>- Zamykanie dróg i obiektów inżynierskich.</li> </ul>
Mgła/smog	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ograniczona widoczność</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zmniejszenie prędkości,</li> <li>- Zwiększenie strat czasu,</li> <li>- Zwiększenie zmienności (wariancji) prędkości,</li> <li>- Zwiększenie ryzyka wypadku,</li> <li>- Zamykanie dróg i obiektów inżynierskich.</li> </ul>
Wyładowania atmosferyczne, ekstremalne temperatury	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uszkodzenia infrastruktury</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uszkodzenie urządzeń sterowania ruchem,</li> <li>- Utrata zasilania/komunikacji usług związanych z ruchem drogowym.</li> </ul>

Obecnie na świecie w tym także w Polsce rozwijane są metody i środki Inteligentnych Systemów Transportu (ITS), których zadaniem jest m.in. poprawa efektywności sieci transportowej poprzez zastosowanie narzędzi umożliwiających sterowanie ruchem drogowym. Przykładem takiego systemu jest Trójmiejski Zintegrowany System Zarządzania Ruchem TRISTAR, którego elementem jest System Sterowania Ruchem Drogowym oparty na metodzie sterowania BALANCE/EPICS. BALANCE jako system obszarowy przejmuje zadanie nadrzędnej koordynacji sterowania ruchem. EPICS odpowiada za lokalną optymalizację ruchu na skrzyżowaniu włącznie z obsługą priorytetów dla transportu zbiorowego. Większość wdrażanych systemów sterowania ruchem nie uwzględnia bezpośrednio wpływu warunków atmosferycznych na parametry sterowania ruchem z wykorzystaniem sygnalizacji świetlnej. Jest to o tyle istotne gdyż większość algorytmów sterujących (np. w systemach SCATS lub BALANCE) bierze pod uwagę stopień nasycenia ruchu na wlotach skrzyżowań, obliczonych na podstawie wzbudzeń detekcji pojazdów. Ze względu na powyższe zmiana zachowań kierowców, będąca wynikiem wystąpienia złych warunków atmosferycznych, przy jednoczesnym braku korekty wartości natężenia nasycenia, powoduje, że sterowanie staje się nieefektywne. Wiedza na temat zmian parametrów ruchu wynikająca ze zmiany pogody, pozwoli na dostosowanie parametrów sygnalizacji świetlnej do panujących warunków,

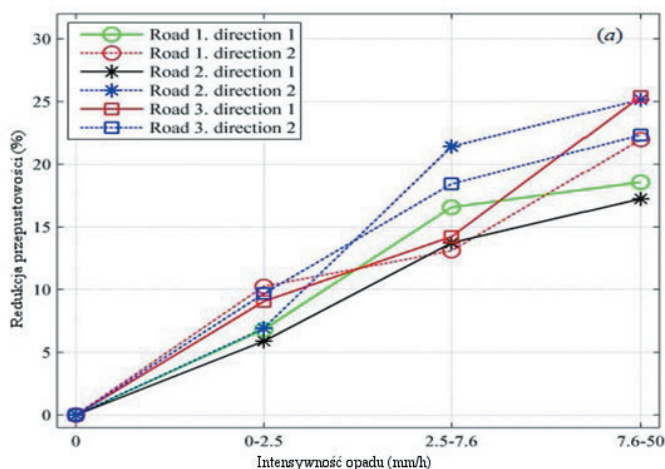


minimalizując okresowy spadek sprawności sieci transportowej, podnosząc tym samym poziom jej niezawodności.

W niniejszym artykule przedstawiony zostanie przegląd literatury w zakresie badań wpływu pogody na parametry ruchu drogowego, dokonana zostanie analiza możliwości wykorzystania systemu TRISTAR do opracowania stanowiska badawczego pozwalającego na określenie wpływu parametrów meteorologicznych na warunki ruchu drogowego. Określone zostaną ponadto dalsze kierunki badań, mające na celu opracowanie m.in. strategii sterowania w różnych warunkach atmosferycznych.

## 2. PRZYKŁADY BADAŃ WPLYWU WARUNKÓW POGODOWYCH NA PARAMETRY RUCHU

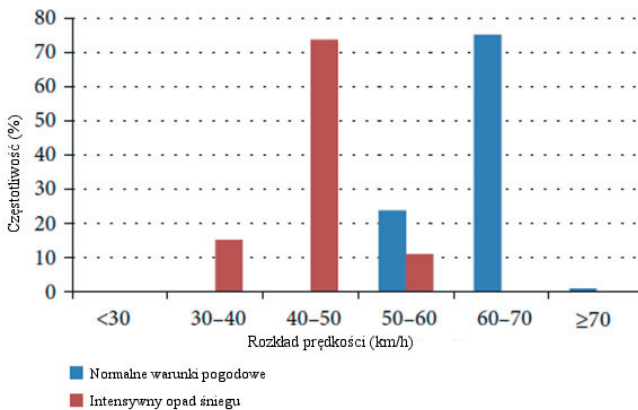
Problematyka wpływu warunków pogodowych na ruch drogowy jest poruszana przez badaczy z różnych stron świata. Przykładem takich badań są badania przeprowadzone w Stambule, gdzie wykorzystano dane o historycznych warunków meteorologicznych (nie sprecyzowano ich pochodzenia) oraz stacji pomiaru ruchu (zlokalizowane na dwóch mostach drogi ekspresowej łączącej dwa brzegi cieśniny Bosfor) do wyznaczenia zależności pomiędzy prędkością, gęstością i natężeniem w różnych warunkach atmosferycznych z uwzględnieniem ruchu ciężarowego [1]. Wyniki tych badań pokazują istotny wpływ warunków atmosferycznych na parametry ruchu. Badania wykazały, że opady deszczu wpływają w sposób istotny na średnią prędkość pojazdów (zmniejszenie 8 do 12%), przepustowość drogi (zmniejszenie 5% - 25%), a wystąpienie śniegu spowodowało spadek natężenia ruchu na drodze o około 65%.



Rys. 1. Wpływ intensywności opadów na zmniejszenie przepustowości drogi [1]

Podobne badania przeprowadzone zostały w Chinach [5], gdzie analizowano wpływ opadów atmosferycznych na drogach łączących obwodnice (tzw. Ringi) otaczające Pekin. W tym celu wykorzystane stacje pomiaru ruchu (96 detektorów) oraz dane pochodzące z urządzeń mierzących intensywność opadów, należące do National Meteorological Center (NMC) oraz Meteorological Administration (CMA). Również i w tym przypadku badania wykazały wpływ niekorzystnych warunków atmosferycznych na zmianę parametrów ruchu drogowego. W zależności od intensywności opadów, przepustowość analizowanych dróg uległa redukcji nawet o 25%, przy jednoczesnym spadku średniej prędkości o ok. 9% oraz prędkości swobodnej o 11% [5]. Na podstawie danych opracowano zmodyfikowane funkcje dla zależności prędkość-gęstość oraz prędkość-natężenie dla różnych intensywności opadu, oraz uogólniony model prędkość – natężenie – intensywność opadu.

Na terenie Chin badano również wpływ opadów śniegu na ruch drogowy [10]. Na podstawie danych z detektorów (detektory mikrofalowe) zlokalizowanych na drogach ekspresowych, obsługujących miasto Pekin. Dane z detektorów zostały zestawione w zależności od warunków atmosferycznych. Badacze zaobserwowali znaczną zmianę rozkładów prędkości w przypadku wystąpienia opadów śniegu (rys. 2). Podobnie jak w pracach [1] i [5] zaobserwowano w czasie niekorzystnych warunków atmosferycznych spadek natężenia ruchu (około 60 -70%) oraz spadek średniej prędkości (około 10%) .

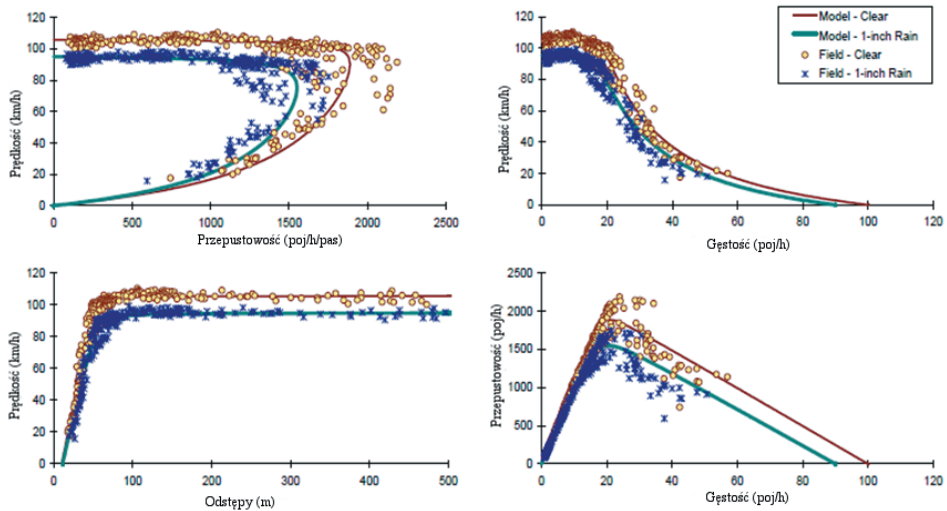


Rys. 2. Zaobserwowany rozkład prędkości w różnych warunkach pogodowych (źródło [10])

Badania wpływu warunków atmosferycznych na parametry ruchu drogowego dotyczą analizy podstawowych parametrów (prędkość, natężenie, przepustowość). Powyższe podejście można również zaobserwować w badaniach amerykańskich.

W przeprowadzonym na zlecenie Departamentu Transportu stanu Virginia projekcie badawczym, naukowcy skupili się na zbadaniu podstawowych parametrów ruchu, w kontekście fundamentalnych wykresów ruchu drogowego (zależność prędkość – gęstość – natężenie) [3]. Wynikiem tych rozważań były m.in analiza statystyczna potwierdzająca wpływ poszczególnych zjawisk atmosferycznych na parametry ruchu oraz opracowanie wskaźników korygujących modele zależności gęstość- prędkość – natężenie dla różnych warunków atmosferycznych. Przykładowe modele pokazano na rysunku 3. W tym celu

wykorzystano dane pochodzące z detektorów zlokalizowanych w trzech miastach stanu Virginia. Dane ze stacji pogodowych pochodziły z systemu ASOS (stacje pogodowe dedykowane dla lotnisk), oznacza to że dane pogodowe nie uwzględniały lokalnych uwarunkowań pogodowych względem stacji pomiarowych.



Rys. 3. Zaobserwowany rozkład prędkości w różnych warunkach pogodowych (źródło [3])

W warunkach miejskich sygnalizacja świetlna jest jednym z głównych elementów zapewniających bezpieczeństwo i płynność ruchu drogowego dla uczestników ruchu chcących włączyć się do ruchu z drogi podporządkowanej lub przejść na drugą stronę jezdni na skrzyżowaniach o dużym natężeniu ruchu drogowego. Celem minimalizacji negatywnego wpływu sygnalizacji na główny kierunek ruchu, sygnalizacja świetlna analizowana jest w ujęciu obszarowym. Wynikiem tych analiz są m.in. plany koordynacyjne, które definiują offsety dla poszczególnych grup sygnałowych analizowanych skrzyżowań z sygnalizacją odnoszące się do jednego punktu referencyjnego (czas cyklu). Ustawiona w ten sposób sygnalizacja minimalizują straty czasu oraz liczbę zatrzymań, które przekładają się na koszty uczestników ruchu drogowego. Wpływ warunków atmosferycznych na parametry ruchu drogowego powoduje, iż spada efektywność sterowania. Analiza symulacyjna dokonana w [2] za pomocą pakietów Transyt 7 i Signal 85 wykazała, że opracowanie dedykowanego sterowania sygnalizacją dla niekorzystnych warunków atmosferycznych może zmniejszyć o 12% średnią czas przejazdu oraz zmniejszyć liczbę zatrzymań o 23% w stosunku do sterowania podstawowego.

Badania wykonane w Salt Lake City odnośnie parametrów ruchu związanych z sygnalizacją świetlną (natężenie nasycenia, strefa dylematu, straty czasu na starcie) wykazały istotny wpływ warunków atmosferycznych na te parametry [9]. Wartość natężenie nasycenia, czyli parametru definiowanego jako teoretyczną liczbę pojazdów

będących w stanie przejechać w ciągu godziny przez skrzyżowanie w sytuacji wyświetlenia nieustannie zielonego światła zmalała nawet o 20%. Straty czasu wzrosły o 23% w stosunku do strat obserwowanych w dobrych warunkach atmosferycznych. Zmniejszeniu uległa również prędkość pojazdów. Autorzy opracowania zwrócili uwagę na problematykę związaną z występowaniem strefy dylematu i parametry bezpieczeństwa. Zmiana stanu nawierzchni wiąże się z wydłużoną drogą hamowania pojazdu. z tego tytułu strefa dylematu ulega wydłużeniu (Autorzy zalecają wydłużenie czasu trwania sygnału żółtego w przypadku pogorszenia przyczepności). Z kolei spadek prędkości pojazdów powoduje, że czasy międzyzielone mogą być zbyt krótkie. Badania wykazały, że zwiększenie o jedną sekundę wartości w macierzy czasów międzyzielonych jest wystarczającym do zapewnienia bezpieczeństwa na skrzyżowaniu. Ciekawą obserwacją jest fakt zwiększenia prędkości pieszych przechodzących na sygnalizowanych przejściach około 9% w stosunku do prędkości w dobrych warunkach pogodowych.

Większość badań dotyczących wpływu warunków atmosferycznych na ruch drogowy skupia się na drogach o charakterze zamiejskim (autostrady, drogi ekspresowe). Zdecydowanie mniej badań podejmuje próby analizy dróg w obszarach miejskich. Fakt ten związany jest z dużym zróżnicowaniem infrastruktury transportowej w miastach. Różnorodność typu przekrojów dróg, różne typy skrzyżowań, występowanie parkowania wzdłuż dróg oraz wpływ innych uczestników ruchu drogowego (piesi, rowerzyści, transport zbiorowy), powoduje iż analizy w obszarach miejskich są zdecydowanie trudniejsze.

Badania zagraniczne wskazują, że przygotowanie strategii sterowania ruchem z wykorzystaniem sygnalizacji świetlnej w przypadku wystąpienia złych warunków atmosferycznych, może zminimalizować ich niekorzystny wpływ na funkcjonowanie sieci transportowej. Ze względu na powyższe zasadna jest weryfikacja pracy systemów sterowania ruchem w polskich miastach w różnych warunkach pogodowych celem podniesienia jakości sterowania oraz wypracowanie zaleceń do usprawnień systemów sterowania.

### **3. WYKORZYSTANIE SYSTEMU TRISTAR DO BADANIA WPLYWU POGODY NA PARAMETRY RUCHU**

W Trójmieście pod koniec 2015 roku oddany został do użytkowania system TRISTAR. Jest to jeden z największych i najbardziej rozbudowanych systemów ITS w Polsce. System składa się z wielu podsystemów odpowiedzialnych m.in. za sterowanie ruchem drogowym, pomiar parametrów meteorologicznych oraz parametrów ruchu drogowego, co stanowi doskonały poligon doświadczalny, pozwalający na prowadzenie badań w zakresie wpływu warunków atmosferycznych na ruch drogowy w obszarze miejskim. Pierwsze próby wykorzystania danych z tego systemu zostały podjęte w [7]. Analizowane dane okazały się przydatne i pozwoliły na opracowanie modeli zależności prędkość-natężenie, niezbędnej do wykonania rozkładu ruchu na sieć w modelach ruchu makro i mezoskopowych.



Lokalizacja stacji meteorologicznych w bezpośrednim sąsiedztwie stacji pomiaru ruchu pozwala na uwzględnienie dodatkowych czynników wpływających na zachowania kierujących np. grubość profilu wodnego na nawierzchni jezdni. Możliwe jest podjęcie próby modelowania zachowań kierowców w niekorzystnych warunkach atmosferycznych, co będzie stanowiło podstawę do kalibracji modeli zaimplementowanych w programach dedykowanych do mikrosymulacji ruchu. W systemie TRISTAR modele transportowe są częścią systemu planowania ruchu opartego na koncepcji wielopoziomowego modelu transportowego[4]. Symulacje z uwzględnieniem zachowań kierowców w niekorzystnych warunkach atmosferycznych będą niezbędne do prawidłowego odwzorowania warunków ruchu drogowego i symulacji pracy systemu sterowania ruchem BALANCE/EPICS celem określenia efektywności pracy algorytmów w różnych warunkach pogodowych. Modele dzięki zasilaniu danymi z systemu ITS [8] będą stanowić podstawę do wyznaczenia metodyki i scenariuszy sterowania minimalizujących wpływ warunków atmosferycznych na ruch w sieci transportowej Trójmiasta poprawiając jej efektywność oraz poziom niezawodności.

#### 4. WNIOSKI

Przegląd literatury potwierdził, że warunki atmosferyczne są istotnym czynnikiem wpływającym na ruch drogowych w kontekście zmienności parametrów ruchu, jak i jego bezpieczeństwa. Powyższe uzasadnia konieczność opracowania strategii sterowania dla różnych warunków pogodowych, co pozwoli na minimalizację ich niekorzystnego wpływu na sieć transportową. Wdrożenia metod i środków Inteligentnych Systemów Transportu mogą stanowić podstawę do prowadzenia dokładnych analiz i badań nad podjętymi problemami. W tym celu niezbędna jest weryfikacja systemów sterowania ruchem pod kątem możliwości usprawnienia algorytmów sterowania w okresach występowania niekorzystnych warunków atmosferycznych. Artykuł stanowi wstęp do badań, które zostaną przeprowadzone przez autorów referatu.

#### Bibliografia

1. Akina D, Sisiopikub V, Skabardonisc S, Impacts of Weather on Traffic Flow Characteristics of Urban Freeways Istanbul 6th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service Stockholm, Sweden June 28 – July 1, 2011
2. Bernardin Lochmueller and Associates, et al., "Anchorage Signal System Upgrade – Final Report", 1995.
3. Hesham Rakha H., Farzaneh M., Arafeh M., Hranac R., Sterzin E., Krechmer D., Empirical Studies on Traffic Flow in Inclement Weather, Final Report – Phase I, Blacksburg, 2007.
4. Jamroz K., Oskarbski J., Gumińska L., Kustra W., Zastosowanie wielopoziomowego modelu ruchu dla systemu TRISTAR Conference: III Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna "MODELOWANIE PODRÓŻY I PROGNOZOWANIE RUCHU" Modeling 2012, SITK Kraków.
5. Jia Y, Wu J, Du Y, Qi G, Impacts Of Rainfall Weather On Urban Traffic In Beijing: Analy-Sisand Modeling, reaserch project "The occurrence and evolution of traffic gridlock in mega-city under storm rain conditions", Benjin 2014.
6. Lynette C. Goodwin, Weather Impacts on Arterial Traffic Flow, Mitretek Systems, Inc., 2002.



7. Oskarbski J., Miszewski M., Zawisza M., Vehicle travel time models selection for the needs of traffic control system, International Scientific Conference Transport Problems, Katowice 2015.
8. Oskarbski J., Miszewski M., Zawisza M., Żarski K., Zasilanie Modeli Systemów Transportowych Danymi z Systemu Zarządzania Ruchem, Conference: IV Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna "MODELOWANIE PODRÓŻY I PROGNOZOWANIE RUCHU" Modeling 2014, SITK Kraków.
9. Perrin J., Martin P., Hansen B., Modifying Signal Timing During Inclement Weather, Transportation Research Board 80th Annual Meeting, Washington 2001.
10. Weng J, Liu L, Rong J Impacts of Snowy Weather Conditions on Expressway Traffic Flow Characteristics, Discrete Dynamics in Nature and Society, Volume 2013.

### POSSIBILITIES OF USING TRISTAR SYSTEM TO ANALYZE INFLUENCE OF WEATHER CONDITIONS ON TRAFFIC PARAMETERS

**Summary:** The efficiency of transport systems is essential for the proper functioning of urban areas. Reliable, safe and environmentally friendly transport contributes to raising the competitiveness of agglomeration by increasing their attractiveness and improving the quality of life of residents. One of the elements having a significant impact on the level of reliability and efficiency of transport systems to weather conditions. The occurrence of adverse weather conditions may affect the reduction in the level of reliability of the transport system. Weather conditions have a significant impact on the behavior of drivers in traffic. This article presents results of research on the impact of weather conditions on the parameters of traffic. The possibility of using the Integrated Traffic Management System TRISTAR as a test stand for the analysis of the impact of weather conditions on traffic in urban conditions was furthermore presented in the paper.

**Keywords:** traffic engineering, Intelligent Transportation Systems, traffic control

