

Marzenna DĘBOWSKA-MRÓZ<sup>1</sup>

### **NOWE TECHNOLOGIE W POMIARACH PRĘDKOŚCI W RUCHU DROGOWYM**

*W referacie zasygnalizowano znaczenie pomiarów i badań ruchu drogowego. Przedstawiono podstawowe metody pomiaru prędkości. Wskazano na możliwość wykorzystania systemu GPS do pomiarów prędkości w ruchu drogowym. Zaprezentowano wyniki pomiarów prędkości z zastosowaniem systemu GPS wykonane w Radomiu. Wskazano również na ewentualne możliwości analizy danych uzyskanych z pomiarów.*

### **NEW TECHNOLOGIES FOR MEASURING SPEED ON THE ROAD**

*The article signals the importance of measuring and test traffic In the lecture are discussed the meaning of Road traffic measures. Indicated the possibility of using GPS to measure the speed of traffic. Shows the results of measurements of speed with GPS built in Radom. The article also discusses possible ways of analysis of data obtained from measurements.*

#### **1. WSTĘP**

Jednym z istotniejszych czynników decydujących o bezpieczeństwie ruchu drogowego jest zbiór parametrów charakteryzujących sytuację ruchowo-drogową. Droga w sposób bezpośredni i pośredni przyczynia się do powstania blisko jednej trzeciej wypadków. Brak hierarchizacji i powiązanej z nią kontroli dostępności oraz ograniczony zakres segregacji różnych rodzajów ruchu tworzą warunki dla niebezpiecznych zachowań użytkowników drogi [4,8]. Zachowania te mają odmienne cechy stosownie do specyficznych charakterystyk otoczenia dróg w obszarze zabudowanym i poza nim. Różne są również charakterystyki ruchu poszczególnych uczestników ruchu drogowego i całych potoków ruchu w tych obszarach [4,8]. Istotnym zatem staje się ocena podstawowych parametrów charakteryzujących specyfikę zachowań zarówno poszczególnych uczestników ruchu drogowego jak i całego potoku ruchu w odniesieniu do otoczenia drogi w warunkach ruchu miejskiego i zamiejskiego.

---

<sup>1</sup>Marzenna Dębowska-Mróz - Wydział Transportu i Elektrotechniki; 26-600 Radom; ul. Malczewskiego 29. tel: + 48 48, 361-77-30, fax. 48 361-77-24, e-mail: m.mroz@pr.radom.pl

Działania zmierzające do poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego (brd) odnoszące się do środowiska drogi powinny mieć charakter systemowy i obejmować pięć następujących sfer [9]:

- wykonywanie badań i analiz zagrożenia w ruchu drogowym w celu tworzenia programów strategicznych i szczegółowych poprawy stanu brd;
- stosowanie audytu brd w procesie planowania i projektowania elementów sieci drogowej, w tym także projektowania ich przebudowy lub zmiany na nich organizacji ruchu (audyt brd - procedura systematycznego sprawdzania, kontrolowania planów i projektów w procesie inwestycyjnym z wykorzystaniem wiedzy z zakresu bezpieczeństwa ruchu drogowego);
- dokonywanie przebudowy elementów sieci drogowej lub zmiany na nich organizacji ruchu w celu wyeliminowania miejsc niebezpiecznych;
- dokonywanie oceny działań realizowanych na sieci drogowej w celu stwierdzenia ich skuteczności na poprawę brd;
- tworzenie norm, wytycznych i wzorców rozwiązań umożliwiających efektywniejsze planowanie, projektowanie i zarządzanie środowiska drogi pod względem brd.

Niezmiernie ważnym zatem zadaniem jest rozpoznanie wszystkich charakterystycznych cech i parametrów ruchowo drogowych szczególnie w miejscach o dużej koncentracji wypadków.

## 2. POMIARY RUCHU DROGOWEGO

Źródłem informacji o zachowaniach uczestników ruchu drogowego są pomiary i badania ruchu drogowego [4,9]. Dostarczają one danych do wielu analiz, rozważań i decyzji podejmowanych przy okazji zadań związanych z planowaniem, zarządzaniem i projektowaniem poszczególnych elementów układu komunikacyjnego funkcjonującego w całym systemie transportowym [7,9]. Po wykonaniu pomiarów, oprócz uzyskanych danych na temat wielkości i jakości ruchu, otrzymujemy również zbiór informacji na temat zjawisk towarzyszących codziennym zajęciom człowieka oraz preferencjach z tym związanych. Uzyskane dane mogą być wykorzystywane przy wykonywaniu następujących opracowań [9]:

- studia transportowe (do planowania systemów transportu miejskiego i zamiejskiego wraz ze sprawdzaniem prognoz),
- analizy ekonomiczne,
- projektowanie dróg i ulic,
- organizacja ruchu,
- utrzymanie dróg,
- studia wypadkowości,
- studia wpływu rozwoju gospodarczego terenu na ruch,
- określanie hałasu drogowego,
- inne - związane z ochroną środowiska, zużyciem energii i modelowaniem ruchu.

Charakterystykę zachowań poszczególnych uczestników ruchu umożliwiają różne mikro i makroparametry ruchu drogowego. Nie ulega wątpliwości, że najistotniejszym atrybutem opisu zarówno pojedynczych uczestników ruchu drogowego jak i całych potoków pojazdów jest prędkość [3,4,6,7,8,9]. Prędkość jest ponadto wyznacznikiem jakości ruchu drogowego i jego konsekwencji w odniesieniu do jego poszczególnych

uczestników [4,6,7]. Decyduje ona o komforcie, wygodzie, ekonomice, i bezpieczeństwie ruchu drogowego.

### 3. PODSTAWOWE METODY POMIARÓW PRĘDKOŚCI

Przy wykonywaniu różnego rodzaju analiz i projektów wykonujemy pomiary następujących rodzajów prędkości [9]:

- prędkość chwilową, tzn. prędkość w określonym przekroju drogi,
- prędkość jazdy lub marszu, tzn. przeciętną prędkość poruszania się obiektu (np. pojazdu) na danym odcinku drogi z pominięciem czasu zatrzymań,
- prędkość podróży, tzn. przeciętną prędkość pokonania przez obiekt (np. pojazd) danego odcinka drogi z uwzględnieniem czasu zatrzymań.

Pomiary prędkości wykonywane są różnymi metodami, za pomocą urządzeń zewnętrznych i wewnętrznych, stacjonarnych i niestacjonarnych. Wyboru urządzenia dokonujemy zależnie od tego, jaki rodzaj prędkości mierzymy. Musimy jeszcze określić czy interesuje nas pojedynczy pojazd, czy cały potok pojazdów.

W przypadku pomiaru prędkości chwilowej należy rozróżnić dwie sytuacje [4,9]:

- prędkości pojedynczych pojazdów są mierzone w jednym ustalonym przekroju przez określony czas,
- prędkości pojedynczych pojazdów mierzone są w wielu przekrojach rozpatrywanego odcinka, co odpowiada aktualnym położeniom pojazdu w chwili obserwacji.

Do zrealizowania pomiarów w pierwszym wypadku można wykorzystać następujące metody:

- pomiar czasu potrzebnego na pokonanie krótkiego odcinka drogi (przy założeniu, że ta prędkość nie ulega zmianie) z zastosowaniem stoperów, detektorów (pneumatycznych, indukcyjnych, magnetycznych, optycznych, radarowych) lub wideo-detektorów; pomiar z zastosowaniem detektorów przejazdu wymaga ich uprzedniego zainstalowania;
- pomiar bezpośredni prędkości miernikiem radarowym lub przez jej odczyt z licznika prędkości w poruszającym się po odcinku pomiarowym pojeździe.

Pomiar prędkości jazdy i podróży najczęściej wykonywany jest równocześnie i opiera się na określeniu czasów przejazdów i zatrzymań. Do tych pomiarów wykorzystuje się pojazd testowy. Pomiar polega na wielokrotnym przejeździe badanego odcinka przez pojazd testowy z prędkością zbliżoną do prędkości innych uczestników ruchu drogowego. Pojazdem testowym może być każdy rodzaj pojazdu, który pojawia się w potoku pojazdów poruszających się po analizowanym odcinku. Obserwator znajdujący się w pojeździe zaopatrzony jest w urządzenie pomiarowe zapewniające identyfikację, a następnie rejestrację danych, które umożliwią przypisanie tych wielkości do odpowiednich punktów w przestrzeni. Notowane są informacje o czasie przejazdu (czasie ruszenia i czasie zatrzymania) i czasie postoju, przyczynach zatrzymań wynikających z organizacji ruchu oraz innych powodów zakłócających płynny przejazd. Dysponując wartościami czasów przejazdów i czasów postoju w poszczególnych fragmentach odcinka pomiarowego można obliczyć dla tego odcinka i jego fragmentów prędkości: jazdy i prędkości podróży. Jeżeli wykonamy odpowiednio dużą liczbę przejazdów możliwe będzie ponadto wyznaczenie wartości średnich zmierzonych prędkości. Uzyskane wartości

można zobrazować na wykresie droga-czas dzięki czemu można ocenić warunki ruchu na odcinku, dla którego wykonano pomiary. Jak można więc zauważyć istnieje wiele metod pomiaru prędkości [4,8]. Metody te są dobierane w zależności od tego, jakiej grupy uczestników mają dotyczyć. Można analizować ruch pojedynczego pojazdu, lub całej kolumny pojazdów. W przypadku analiz związanych z oceną bezpieczeństwa ruchu drogowego ważnym zagadnieniem jest określenie parametrów pojedynczych pojazdów, ze względu na fakt, iż w ponad 30% wypadków jest następstwem niedostosowania prędkości do panujących warunków ruchu.

Wykonywane są również pomiary prędkości w celu ustalenia profilu prędkości i linii prędkości. Realizacja tego typu analiz możliwa jest dzięki wykorzystaniu pojazdu testowego. W tym przypadku również wymagane jest wielokrotne przeprowadzenie pomiaru. Pojazd testowy musi być wyposażony w odpowiednie dodatkowe urządzenia umożliwiające rejestrację prędkości chwilowych poruszającego się pojazdu testowego. Uzyskane dane można przedstawić w postaci zależności prędkości od czasu w postaci tzw. linii prędkości [3,4,8]. Zależność ta, dzięki równoczesnemu graficznemu zapisowi długości przebytej drogi, daje się transponować na profil prędkości. Umożliwia to wykonanie analizy warunków ruchu potoków pojazdów.

Alternatywne metody pomiaru prędkości to wykorzystanie kamer wideo z analizatorami obrazu pozwalającymi na pomiar prędkości i klasyfikację ruchu. Zaletą detektorów wizyjnych jest możliwość obsługi wielu pasów ruchu przez jedno urządzenie pomiarowe, wadą – mniejsza skuteczność w nocy i w złych warunkach atmosferycznych. Z tego powodu detektory wizyjne są częściej stosowane w warunkach miejskich.

Wykorzystywane do tej pory metody do pomiaru prędkości wymagały często zainstalowania specjalistycznej aparatury w pojazdach testowych lub zastosowania urządzeń umożliwiających obserwację prędkości przez obserwatora zewnętrznego. Przy wykorzystaniu pojazdu testowego trzeba dysponować odpowiednim pojazdem, który wyposażamy w odpowiednią aparaturę pomiarową. Wymaga to często przeprowadzania odpowiednich modyfikacji w pojeździe. W przypadku obserwacji zewnętrznych są możliwe dwa sposoby zrealizowania pomiarów. Możemy wykonać pomiary z wykorzystaniem obserwatora lub grupy obserwatorów wyposażonych w odpowiednie urządzenia umożliwiające pomiar czasu (wtedy wymagana jest większa liczba osób biorących udział w pomiarach) lub bezpośrednio prędkości. Jednak dane jakie uzyskujemy są to wielkości charakteryzujące pojazdy w określonym przekroju lub wartość średniej prędkości dotyczące całego analizowanego odcinka pomiarowego. Można również wykonać pomiary prędkości wykorzystując różne rodzaje detektorów ruchu. Takie urządzenia ze względu na bezpieczeństwo powinny być montowane w jezdni najlepiej przy okazji wykonywania prac modernizacyjnych na poszczególnych odcinkach. Istnieje zatem problem z wykonaniem takich pomiarów w dowolnych punktach czy też w obszarach, w których wcześniej nie zostaną wykonane prace związane z zamontowaniem detektorów ruchu.

W przypadku analiz związanych z funkcjonowaniem i oceną jakościową poszczególnych ciągów komunikacyjnych istnieje potrzeba wykonania pomiarów prędkości w różnych, często niewyposażonych w detektory ruchu, przekrojach i odcinkach układu komunikacyjnego. Interesujących danych do takich analiz dostarczają informacje o prędkości w określonym przekroju oraz informacje o rozkładzie i zmianach tej prędkości na całym analizowanym odcinku układu komunikacyjnego.

Należy zatem zastanowić się jakie, współcześnie dostępne technologie pomiarowe, mogą być wykorzystane do pomiarów prędkości w dowolnym odcinku układu komunikacyjnego bez konieczności wykonania wcześniejszych przeróbek w pojeździe czy też inwestycji związanych z modernizacją wyposażenia drogi.

Wydaje się, że takie wymogi może spełnić system GPS. Dzięki wykorzystaniu dostępnych systemów nawigacji GPS powiązanych z przenośnym sprzętem komputerowym umożliwiającym rejestrację danych, istnieje możliwość wykonania pomiarów prędkości praktyczne w każdym pojeździe bez ingerencji w jego systemy pomiarowe. Dodatkową zaletą tej metody pomiarowej jest możliwość zobrazowania zmian prędkości w odniesieniu do całych analizowanych odcinków pomiarowych poprzez rejestrację materiału pomiarowego na nośniku elektronicznym. Pomiary te mogą być wykonane przy wykorzystaniu dowolnego pojazdu. Jest tylko jedno zastrzeżenie, musi to być system GPS spełniający odpowiednie wymagania związane z dokładnością pomiarów[1,2,5].

### 3. POMIARY PRĘDKOŚCI PRZY ZASTOSOWANIU GPS [1,2,5]

Satelitarny system nawigacyjny GPS (NAVSTAR – Navigation Satellite Time and Ranging) przeznaczony jest do szybkiego i dokładnego wyznaczenia współrzędnych określających pozycję odbiornika GPS w globalnym systemie odniesienia. Sygnały satelitarne odbierane przez odbiornik odbierane są w sposób ciągły niezależnie od warunków atmosferycznych, w dowolnym miejscu i czasie. Trzydzieści jeden satelitów (stan na 05.09.2009 r.) umieszczonych na orbitach kołowych o nachyleniu  $55^\circ$  (Block IIA, IIR, IIR-M) lub  $63^\circ$  (Block I) względem płaszczyzny równika na wysokości 20183 km. Obieg Ziemi przez satelitę trwa 1h 58min (pół doby gwiazdowej). Około 28 satelitów jest stale czynnych a pozostałe są testowane bądź wyłączone z przyczyn technicznych. Obiegające Ziemię satelity zapewniają nieprzerwaną dostawę sygnału radiowego który, po odebraniu przez specjalny odbiornik umożliwia wyliczenie bieżącej pozycji. Sygnał ten jest dostępny na całym globie, korzystanie z niego jest bezpłatne. Dokładność pomiaru waha się od centymetra (odbiorniki geodezyjne, pomiar różnicowy – Differential GPS) do kilkudziesięciu metrów (proste odbiorniki nawigacyjne bez korekcji różnicowej).

Miniaturyzacja urządzeń oraz coraz większa precyzja i niezawodność ich pracy, sprawiają, że GPS staje się systemem precyzyjnym, globalnym i powszechnym wykorzystywanym przez różnych odbiorców i w różnych celach. Obecnie na świecie jest ponad 4 miliony użytkowników GPS.

GPS to Global Positioning System – to system wykorzystujący metodę odległościową pomiaru parametru nawigacyjnego. Istota tej metody polega na pomiarze odległości do co najmniej trzech znanych punktów pomiarowych - satelitów, których położenie jest użytkownikowi znane w dowolnej chwili. Warunkiem realizacji metody odległościowej jest zachowanie prostoliniowości propagacji fal radiowych oraz stałej ich prędkości propagacji w środowisku elektromagnetycznym. Pomiar parametru nawigacyjnego dokonywany jest bezpośrednio poprzez pomiar czasu propagacji sygnałów radiowych o znanej strukturze, nadawanych przez satelitę nawigacyjnego, a odbieranych przez odbiornik użytkownika. Warunkiem poprawności funkcjonowania systemu nawigacyjnego wykorzystującego metodę odległościową jest:

- eliminacja powstałego w odbiorniku błędu skali czasu;

- dokładna synchronizacja skali czasu odbiornika użytkownika ze skalą czasu systemu GPS.

Pomiaru odległości między satelitą nawigacyjnym a odbiornikiem użytkownika dokonuje się poprzez emisję sygnału o znanej strukturze poprzez nadajnik satelity, a następnie porównanie w odbiorniku odebranego sygnału z jego repliką. W wyniku porównania otrzymamy czas propagacji fali elektromagnetycznej który pomnożony przez prędkość propagacji fali elektromagnetycznej, daje odległość pomiędzy obiektem a satelitą.

W odbiornikach GPS obliczana jest także prędkość obiektu na podstawie pomiaru względnych prędkości odbiornika i satelity. Zazwyczaj odbiorniki uaktualniają dane o pseudoodległości i prędkościach względnych raz na sekundę. Celem nawigacji jest obliczenie pozycji i prędkości odbiornika oraz czasu w skali GPS. Czas jaki upłynął pomiędzy momentem wysłania i odebrania sygnału jest wprost proporcjonalny do odległości pomiędzy satelitą a odbiornikiem, jest więc niezbędne aby zarówno satelita jak i odbiornik używały tego samego czasu jako odniesienia. Odbiornik używa zrekonstruowanej skali czasu GPS do pomiaru momentu odbioru danych z satelity. W odbiorniku nie musi znajdować się wysokostabilny wzorzec jak na przykład wzorzec atomowy, znajdujący się na satelitach. Zamiast tego w odbiorniku znajduje się oscylator kwarcowy. Brak zgodności skali czasu generowanej przez ten oscylator ze skalą GPS jest korygowany w oparciu o rezultat pomiaru czterech pseudoodległości, dzięki czemu można rozwiązać układ czterech równań z czterema niewiadomymi: trzema współrzędnymi odbiornika i poprawką skali czasu odbiornika. Prędkość obliczana jest podobnie, lecz z użyciem względnych prędkości zamiast pseudoodległości.

System wyznacza prędkość odbiornika:

- na podstawie zmiany jego położenia lub
- z wykorzystaniem efektu Dopplera – czyli na podstawie zmiany częstości fali elektromagnetycznej wywołanej ruchem obiektu.

W celu udokładnienia pozycjonowania przez GPS wzbogaca się go o tzw. różnicowy GPS (Differential GPS), system referencyjnych stacji naziemnych, co umożliwia określenie położenia z większą dokładnością. Ponadto używa się bardziej zaawansowanych metryk przestrzeni okołoziemskiej uwzględniających:

- efekt Sagnaca,
- rzeczywisty kształt Ziemi, która nie jest idealną kulą,
- dynamikę pola grawitacyjnego i magnetycznego Ziemi wynikającego z jej ruchu obrotowego względem osi północ-południe.

Systemy różnicowe pracują dwoma metodami:

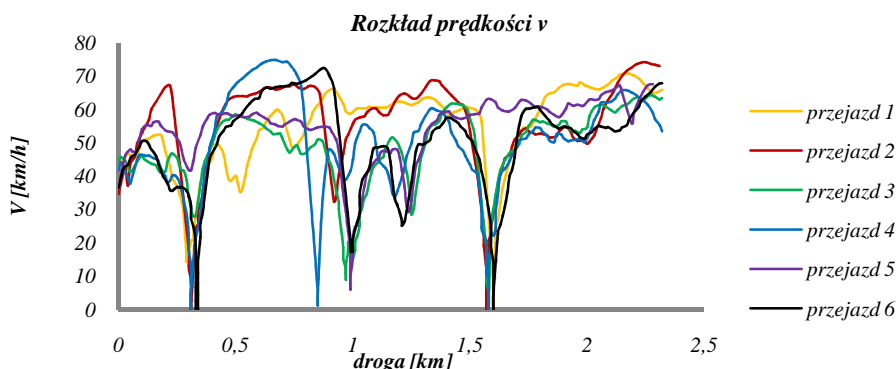
- w czasie rzeczywistym - wprowadzając do odbiornika drogą radiową poprawki, dostarczane przez równoległe pracujący odbiornik bazowy o znanych współrzędnych anteny,
- zapamiętując rezultaty pomiarów wykonanych przy użyciu odbiornika ruchomego i bazowego i późniejsze wyliczenie danych korekcyjnych dla odbiornika ruchomego.

Przy realizacji pomiaru w czasie rzeczywistym osiąga się dokładność 0,2 – 0,5 m. Jej zastosowanie wymaga: odbiorników bazowych, ruchomych, oraz kanału łączności do transmisji poprawek. Dodatkowo można zwiększyć dokładność pomiaru dzięki zastosowaniu odbiornika GPS o odpowiednich parametrach z zewnętrzną anteną, która umożliwi wyeliminowanie większej liczby zakłóceń.

Dzięki wykorzystaniu dostępnych systemów nawigacji GPS powiązanych z przenośnym sprzętem komputerowym istnieje możliwość wykonania pomiarów prędkości praktyczne w każdym pojeździe.

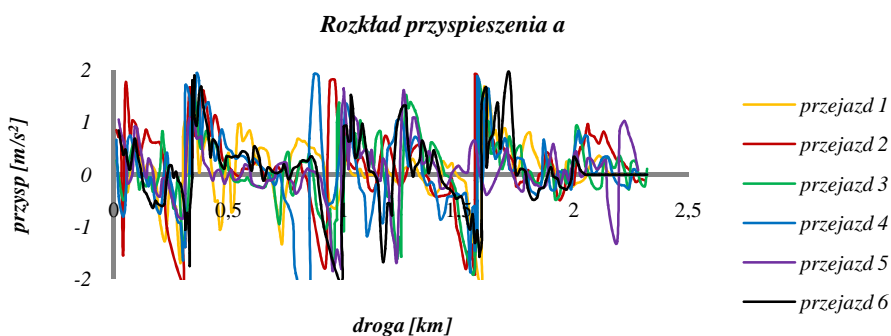
Wykorzystanie GPS umożliwia wykonanie pomiaru prędkości bez konieczności przeróbek w pojeździe za pośrednictwem, którego zbierane są informacje o wybranych parametrach ruchu drogowego. Można zatem w każdej chwili, kiedy wystąpi potrzeba przeprowadzenia oceny parametrów ruchu drogowego wykonać takie obserwacje bez konieczności zakupu specjalistycznej aparatury, czy też specjalistycznego pojazdu testowego. Potrzebny jest tylko standardowy środek transportu, odpowiedniej klasy odbiornik GPS najlepiej z anteną zewnętrzną oraz przenośny komputer, na którym będą rejestrowane wyniki pomiarów. Dzięki tak wykonanym pomiarom istnieje możliwość uzyskania różnorodnych danych z zadawalającą dokładnością. Następnie możliwym staje się odpowiednia interpretacja wyników w odniesieniu do np. czasu czy też profilu drogi.

Przykładowe zestawienia danych z pomiarów przy zastosowaniu systemu GPS oraz interpretację wyników przedstawiono na rysunkach poniżej.



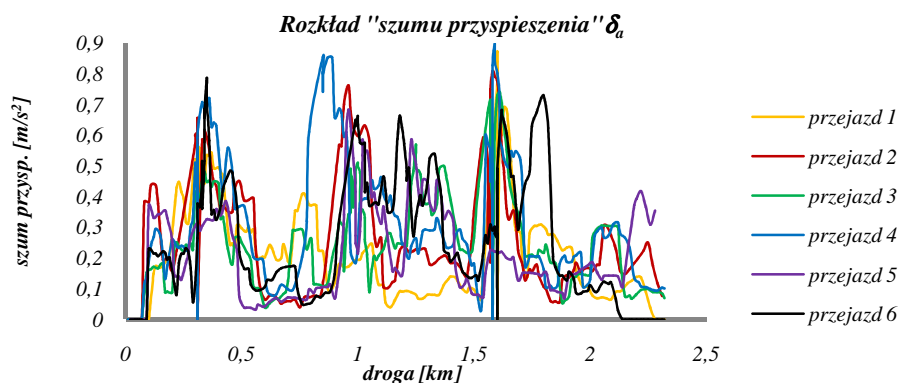
Rys.1. Rozkład prędkości na jednym z odcinków ul. Chrobrego w Radomiu

Źródło: opracowanie własne



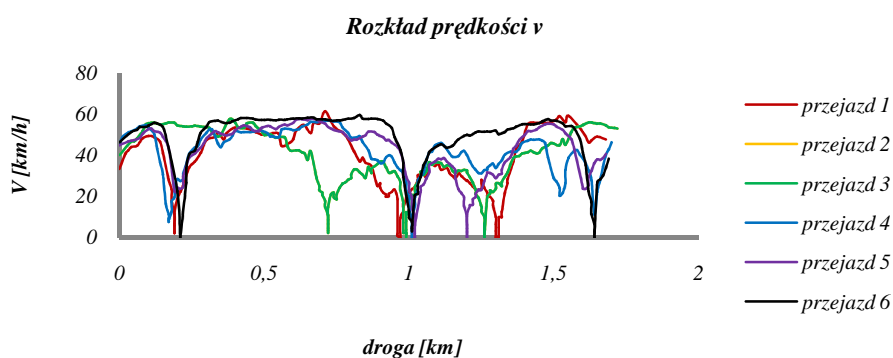
Rys.2. Rozkład przyspieszenia na jednym z odcinków ul. Chrobrego w Radomiu

Źródło: opracowanie własne



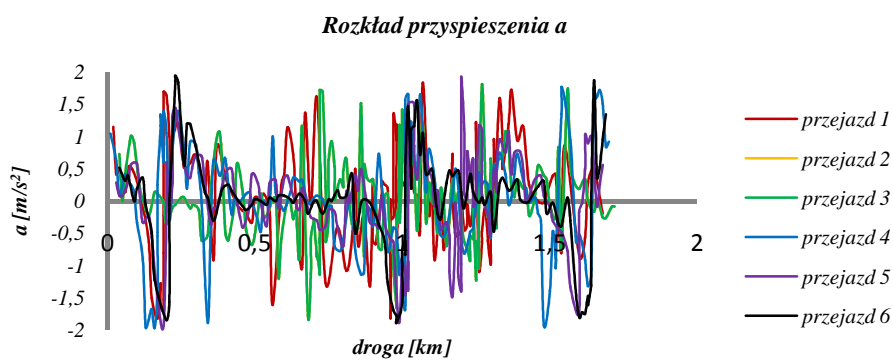
Rys.3. Rozkład „szumu przyspieszenia” na jednym z odcinków ul. Chrobrego w Radomiu

Źródło: opracowanie własne



Rys 4. Rozkład prędkości na jednym z odcinków ul. 25 Czerwca w Radomiu

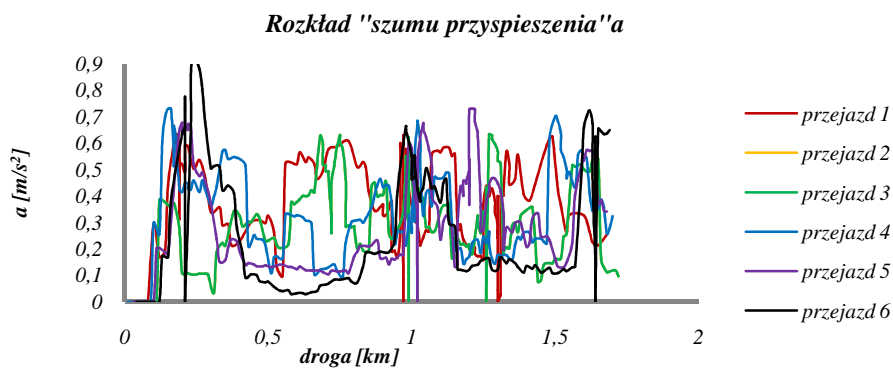
Źródło: opracowanie własne



Rys 5. Rozkład przyspieszenia na jednym z odcinków ul. 25 Czerwca w Radomiu

Źródło: opracowanie własne





Rys 6. Rozkład „szumu przyspieszenia” na jednym z odcinków ul. 25 Czerwca w Radomiu  
Źródło: opracowanie własne

Opracowanie danych uzyskanych w trakcie realizacji pomiarów zależy od celu, który decydował o konieczności wykonania tych pomiarów.

## 5. PODSUMOWANIE

Wykorzystanie systemu GPS do pomiaru prędkości daje możliwość wykonania łatwego i bezinwazyjnego pomiaru, dzięki któremu możliwe jest uzyskanie informacji o rozkładzie prędkości, zmianach tej prędkości oraz rozkładzie przyspieszenia w odniesieniu do analizowanego elementu układu komunikacyjnego. Po zestawieniu uzyskanych wyników z charakterystyką ruchowo-drogową można wykonać różnorodne analizy zależnie od aktualnych potrzeb związanych z wykonywanymi analizami jakościowymi.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Chalko T.: High accuracy speed measurement using GPS. 2007, <http://nujournal.net/HighAccuracySpeed.pdf>.
- [2] Chrzan M., Jackowski S.: Współczesne systemy telekomunikacyjne. Część I i II, Monografia, Politechnika Radomska 2008.
- [3] Dębowska-Mróz M.: Zarządzanie bezpieczeństwem ruchu drogowego. Praca niepublikowana, Politechnika Radomska, Radom 2001÷2005.
- [4] Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M.: Inżynieria ruchu drogowego. Teoria i praktyka. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2008.
- [5] Januszewski J.: Systemy satelitarne GPS Galileo i inne. PWN Warszawa 2007.
- [6] Szczuraszek T. & zespół: Badania zagrożeń w ruchu drogowym. Polska Akademia Nauk, Warszawa 2005 r.
- [7] Szczuraszek T. & zespół: Bezpieczeństwo ruchu miejskiego. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2005 r.
- [8] Szczuraszek T.: Prędkość pojazdów w warunkach drogowego ruchu swobodnego. PAN Komitat Inżynierii Lądowej i Wodnej, IPPT, Warszawa 2002 r.
- [9] Tracz M., Pomiary i badania ruchu drogowego, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1984.