

Rafał Burdzik

Politechnika Śląska

Tomasz Szczepański

Instytut Transportu Samochodowego

Piotr Wiśniowski

Instytut Transportu Samochodowego

ALGORYTM WYKRYWANIA INTENCJI KIEROWCY W POBLIŻU PRZEJŚCIA DLA PIESZYCH

Praca dotyczy projektu urządzenia montowanego do samochodów, służącego do sygnalizacji pieszym czekającym na przejściach, czy kierowca rozpoczął zatrzymywanie pojazdu w celu ustąpienia pierwszeństwa. Jednym z kluczowych elementów takiego projektu jest przygotowanie algorytmu śledzącego warunki ruchu samochodu i wysyłającego do sygnalizatora informacje o przewidywanych intencjach kierowcy. Niniejsza praca koncentruje się na analizie technicznych możliwości opracowania takiego algorytmu. W tym celu zostały przeprowadzone wstępne badania drogowe, wykonano ich analizę i na tej podstawie przygotowano wstępny algorytm decyzyjny. W dalszej kolejności przeprowadzono matematyczną symulację jego działania. Pokazano, że w samych przebiegach prędkości jazdy kryją się przesłanki pozwalające przewidzieć dalsze zachowanie kierowcy. Na tej podstawie oceniono, że kolejne prace tego typu są zasadne i mogą doprowadzić do opracowania niezawodnego sygnalizatora intencji kierowcy.

DETECTION OF DRIVER INTENTION ALGORITHM NEAR THE PEDESTRIAN CROSSING

The work relates to the project of equipment that will be mounted on cars to signaling for pedestrians waiting on the crossings if the driver is going to stop the vehicle to give the way. One of the key elements of this project is to develop an algorithm following the car moving conditions and sending to the indicator information about estimated driver intentions. This work focused on the analysis of the technical possibilities of the development of such algorithm. For this purpose, preliminary road tests were conducted, then analysis was done and on this basis the preliminary decision algorithm was prepared. Next, the mathematical simulation of its work was conducted. It is shown that the speed runs hide premise that allow to estimate next driver behavior. On this basis it was appraise that successive works are reasonable and they may lead to development the reliable indicator of driver intentions.

1. Wprowadzenie

Jednym z ważniejszych problemów rozważanych w kontekście bezpieczeństwa ruchu drogowego jest bezpieczeństwo na przejściach dla pieszych. [1] Istotnym czynnikiem warunkującym bezwypadkowy ruch w tych miejscach jest przepływ informacji pozwalających ocenić osobie przechodzącej przez jezdnię, czy nadjeżdżające samochody zatrzymają się, by przepuścić pieszego.

W związku z tym Politechnika Śląska we współpracy z Instytutem Transportu Samochodowego wyszła z inicjatywą opracowania urządzenia, montowanego w samochodach, mającego na celu sygnalizowanie przechodniom intencji kierowcy, by zatrzymać pojazd. Takie rozwiązanie prowadziłoby do ujednoznacznienia ruchu samochodów w obrębie przejść dla pieszych, pozwalając na podejmowanie przez pieszych pewniejszych i bardziej bezpiecznych decyzji w kwestii wejścia na jezdnię. Jak dotąd nie istnieją bowiem żadne sprecyzowane formy komunikacji pomiędzy kierowcą i pieszym, pozwalające na przepływ jednoznacznych informacji. [2] Zwyczajowo stosuje się w tych przypadkach komunikację mimiczną, polegającą na słabo widocznych gestach ręką, a niekiedy brak jest jakiegokolwiek formy komunikacji.

Wspomniana inicjatywa wiąże się z pracą wieloaspektową, wymagającą rozwiązania między innymi poniższych zagadnień:

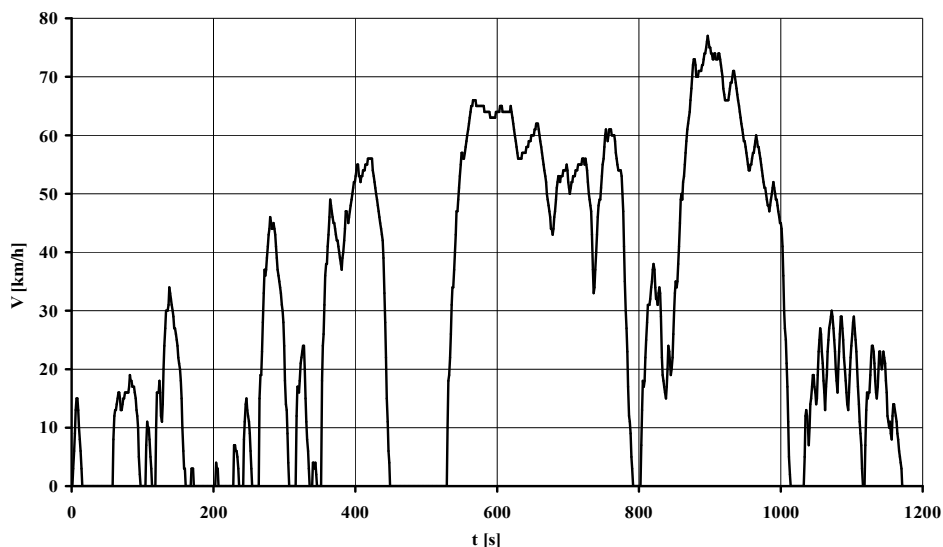
- określenie potrzeb i oczekiwań pieszych w obrębie przejść dla pieszych,
- określenie formy oznakowania informującego pieszych o intencjach kierowcy,
- opracowanie algorytmu wykrywającego intencje kierowcy,
- skonstruowanie prototypu urządzenia sygnalizacyjnego,
- weryfikacja bezpieczeństwa opracowanego rozwiązania zarówno z punktu widzenia pieszych, jak i kierowców,
- przygotowanie wytycznych do edukacji różnych grup uczestników ruchu w zakresie nowej formy komunikacji.

Ze względu na złożoność podejmowanych zagadnień istnieje potrzeba przeprowadzenia wstępnych badań, pozwalających określić realną możliwość opracowania proponowanego sygnalizatora. Kwestią budzącą pewne wątpliwości jest możliwość odpowiednio wczesnego, a zarazem niezawodnego, wykrywania intencji kierowcy na podstawie parametrów ruchu i parametrów sterowania pojazdem – analizowanych na bieżąco podczas jazdy. Niniejszy artykuł przedstawia analizę tego zagadnienia na podstawie wstępnych badań drogowych. Trzeba jednak zaznaczyć, że celem prezentowanej pracy nie jest określenie ostatecznej postaci algorytmu sterującego sygnalizatorem, ale ocena możliwości przygotowania takiego algorytmu.

2. Przeprowadzone badania wstępne

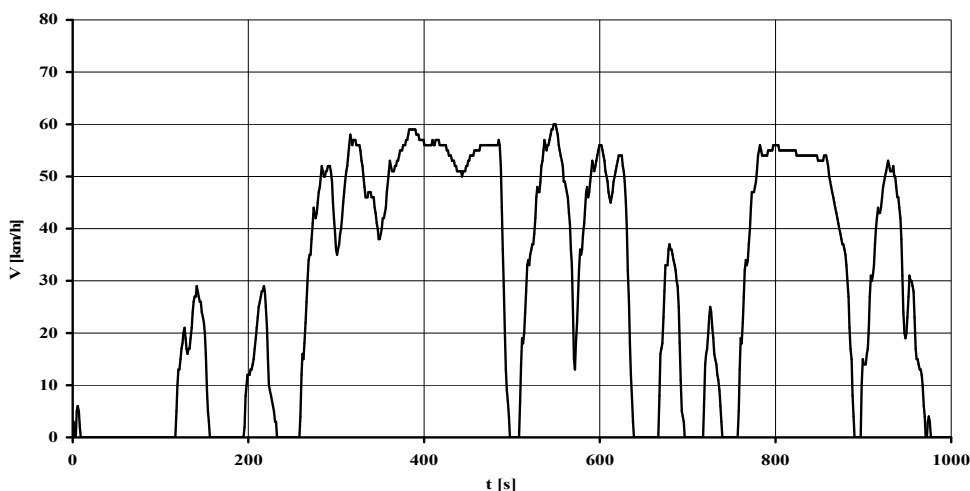
Badania przeprowadzono za pomocą czytnika OBD podłączanego do komputerów pokładowych pojazdów, który rejestrował prędkość jazdy wybranych samochodów osobowych w ruchu miejskim. Dzięki temu do pomiaru prędkości jazdy były wykorzystywane mierniki prędkości instalowane fabrycznie w pojazdach. Wykorzystano w tym celu urządzenie BOSCH KTS DCU 130 z oprogramowaniem ESI[tronic]. Zarejestrowano kilkadziesiąt przejazdów z uwzględnieniem jazdy w zatorach ulicznych, na odcinkach o płynnym ruchu oraz na drogach z licznymi

skrzyżowaniami. Czas poszczególnych przejazdów wahał się od 8 do 30 minut. [3] Przykładowe przebiegi prędkości zostały przedstawione na rys. 2.1. – 2.3.

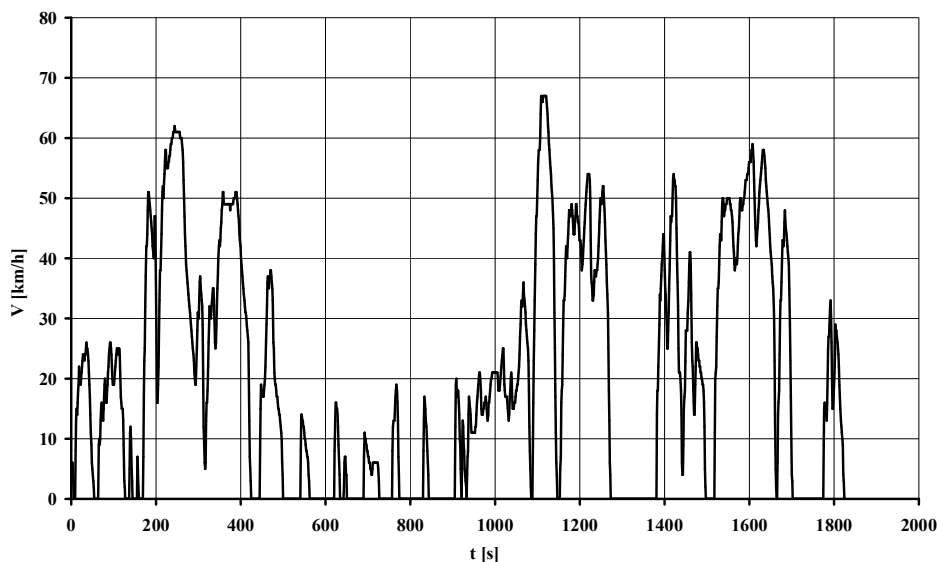


Rys. 2.1. Przebieg prędkości jazdy samochodu w 1. serii pomiarowej
Fig. 2.1. The course of the driving speed in the 1st measuring series

Cechą charakterystyczną widocznych na wykresach przebiegów prędkości, pożądaną z punktu widzenia dalszej analizy wyników, są liczne zatrzymania pojazdu oraz liczne zmniejszenia prędkości nieprowadzące do zatrzymania. W toku obliczeń główna uwaga zostanie bowiem skupiona na różnicach pomiędzy tymi fragmentami przebiegów prędkości, które kończą się zatrzymaniem oraz tymi, które prowadzą jedynie do chwilowego zmniejszenia prędkości.



Rys. 2.2. Przebieg prędkości jazdy samochodu w 2. serii pomiarowej
Fig. 2.2. The course of the driving speed in the 2nd measuring series

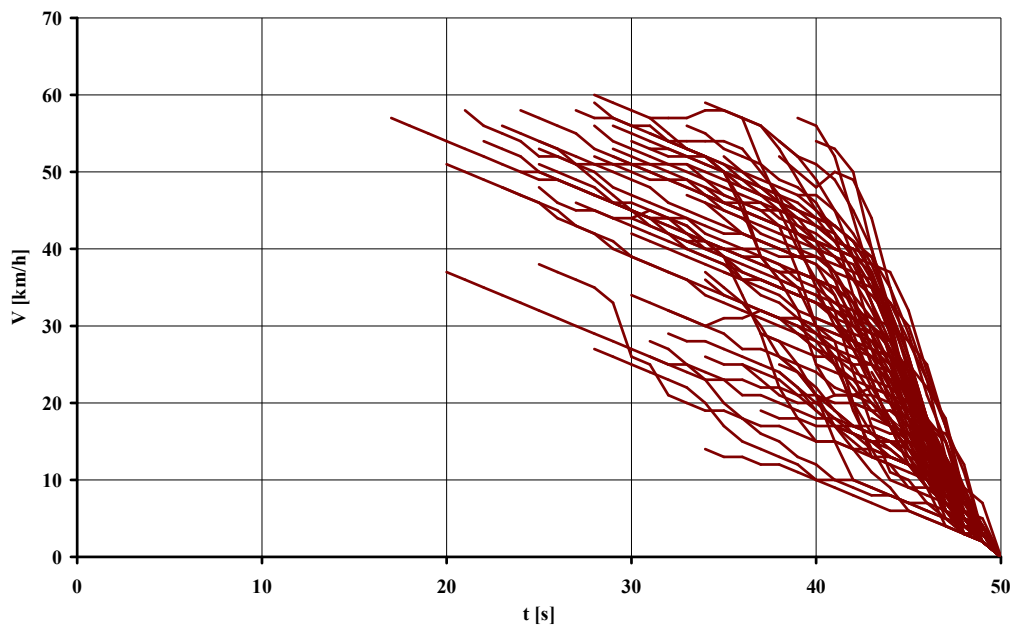


Rys. 2.3. Przebieg prędkości jazdy samochodu w 3. serii pomiarowej
Fig. 2.3. The course of the driving speed in the 3rd measuring series

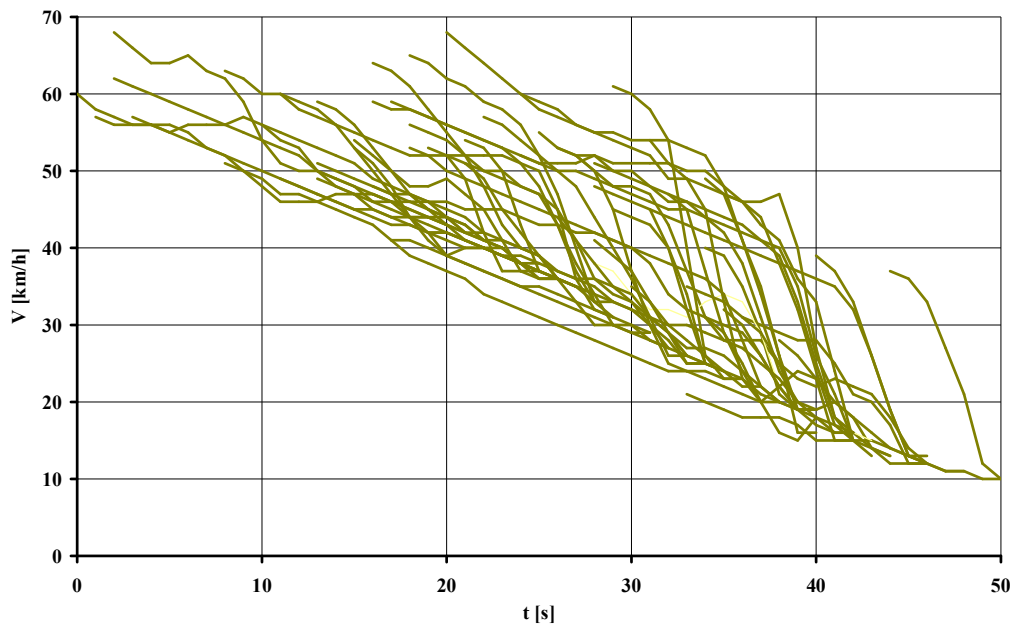
3. Analiza wyników badań

Przedmiotem zainteresowania podczas analizy wyników badań jest zachowanie się kierowcy, które może świadczyć o intencji zatrzymania pojazdu. W ramach prezentowanych badań wstępnym parametrem opisującym zachowanie się kierowcy jest prędkość pojazdu. Przesłanką świadczącą o tym, że kierowca może chcieć zatrzymać pojazd, jest zmniejszenie prędkości samochodu. Jednak nie każde zmniejszenie prędkości prowadzi do zatrzymania pojazdu. W związku z tym celem analizy jest znalezienie odpowiedzi na pytanie: czy we fragmencie przebiegu prędkości samochodu, rozpoczynającym się zmniejszeniem prędkości, istnieją informacje pozwalające na jednoznaczną ocenę, czy kierowca ma zamiar zatrzymać pojazd?

W toku poszukiwania odpowiedzi na powyższe pytanie ze wszystkich przejazdów wyodrębniono te fragmenty przebiegów prędkości, które rozpoczynały się od istotnego zmniejszenia prędkości. Otrzymano w ten sposób kilkaset krótkich (od kilku do kilkudziesięciu sekund) przebiegów prędkości. Następnie podzielono je na te przebiegi, które prowadzą do zatrzymania samochodu oraz na te, które nie kończą się zatrzymaniem. Tak sklasyfikowane dwie grupy krótkich przebiegów przedstawiono na rys. 3.1. i 3.2.



Rys. 3.1. Przebiegi prędkości prowadzące do zatrzymania samochodu
Fig. 3.1. Speed courses leading to stop the car



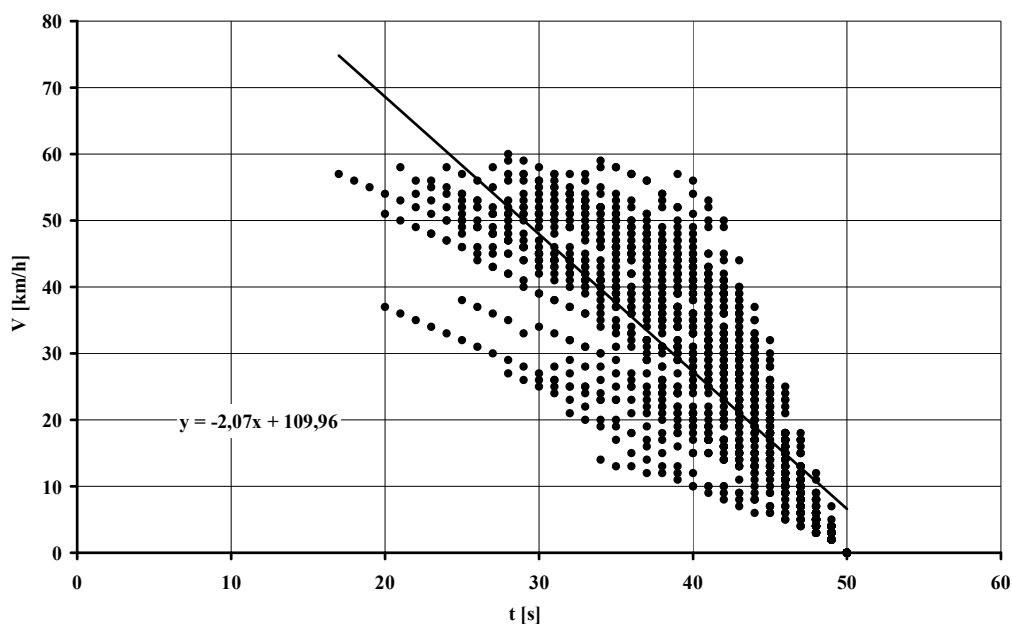
Rys. 3.2. Przebiegi prędkości nieprowadzące do zatrzymania samochodu
Fig. 3.2. Speed courses not leading to stop the car

Każdy krótki przebieg prędkości rozpoczyna się w chwili, kiedy prędkość pojazdu zaczyna maleć, a kończy się w chwili, kiedy samochód osiąga prędkość równą 0 km/h lub kiedy prędkość zaczyna rosnąć. Jak widać, wyodrębnione fragmenty przebiegów zostały ułożone w taki sposób, żeby zbiegały się w jednym punkcie na wykresie w celu zwiększenia czytelności graficznej.

Na tym etapie analizy można już wymienić kilka charakterystycznych informacji świadczących o zachowaniu się kierowcy podczas zmniejszania prędkości pojazdu.

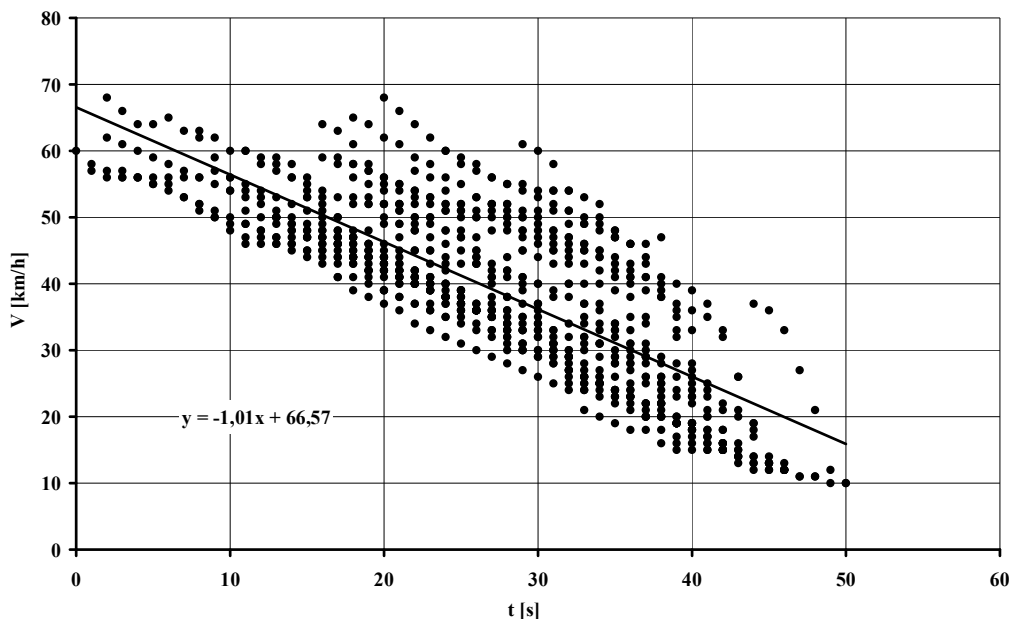
- przebiegi prędkości nieprowadzące do zatrzymania samochodu kończą się zanim samochód osiągnie prędkość 10 km/h, a w większości przypadków zanim osiągnie prędkość 15 km/h,
- przebiegi prędkości prowadzące do zatrzymania samochodu rozciągają się w krótszym czasie (do 30 s) i charakteryzują się większą stromością, co świadczy o większym opóźnieniu hamowania (szczególnie w końcowej fazie hamowania).

W celu dokładniejszego sprecyzowania różnicy w nachyleniu przebiegów prędkości dla każdej z grup przebiegów wyodrębniono poszczególne pary punktów pomiarowych w postaci: V (prędkość) i t (czas wystąpienia danej prędkości), tworząc tak zwaną „chmurę punktów”. Wykresy dla tak przygotowanych punktów pomiarowych przedstawiono na rys. 3.3. i 3.4.



Rys. 3.3. Zestawione punkty pomiarowe przebiegów prędkości prowadzących do zatrzymania samochodu

Fig. 3.3. Summarized measuring points of speed waveform leading to stop the car



Rys. 3.4. Zestawione punkty pomiarowe przebiegów prędkości nieprowadzących do zatrzymania samochodu

Fig. 3.4. Summarized measuring points of speed waveform not leading to stop the car

Na wykresach przedstawiających zestawienie punktów pomiarowych poszczególnych grup przebiegów prędkości jazdy zostały pokazane funkcje aproksymujące stanowiące wielomian pierwszego stopnia [4] oraz równania owych funkcji. Wyraźnie widoczne są stosunkowo duże rozbieżności pomiędzy rozłożeniem punktów pomiarowych, a ich aproksymacją, co utrudnia interpretację wyników. Można jednak zauważyć, że kąt nachylenia funkcji na rys. 3.3. i 3.4. jest wyraźnie różny. Potwierdzają to współczynniki kierunkowe funkcji aproksymujących, wynoszące około: 2 – dla przebiegów prowadzących do zatrzymania samochodu i 1 – dla przebiegów nieprowadzących do zatrzymania samochodu. Daje to pewne pojęcie zarówno o różnicach w przebiegach prędkości, jak również o niepewności związanej z interpretacją tych różnic.

Powyższe obserwacje są przesłankami pomagającymi zróżnicować zachowanie się kierowcy podczas zatrzymywania pojazdu oraz podczas chwilowego zmniejszania prędkości. Na ich podstawie zostanie przygotowany wstępny algorytm decyzyjny, którego zadaniem będzie wykrywanie intencji kierowcy.

4. Algorytm wykrywania intencji kierowcy

Na podstawie analizy wyników badań przedstawionej w poprzednim rozdziale zostały sprecyzowane dwa kryteria oceny intencji kierowcy podczas hamowania pojazdem. Obydwa charakteryzują się jednak pewnymi niedoskonałościami, które zostaną omówione poniżej.

Pierwszą przesłanką świadczącą o zamiarze kierowcy zatrzymania samochodu jest zmniejszenie prędkości poniżej pewnej wartości granicznej. Występuje jednak trudność w określeniu owej granicy. Jeśli zostanie ona ustalona zbyt nisko, zamiar zatrzymania samochodu będzie następował bardzo późno – tuż przed samym zatrzymaniem. Jeśli natomiast granica zostanie wyznaczona zbyt wysoko, wówczas wzrośnie niepewność oceny intencji kierowcy, ponieważ przy większych prędkościach nie każde zmniejszenie prędkości wiąże się z zatrzymaniem pojazdu. Wartością graniczną prędkości, przy której można mówić o pewności zatrzymania jest prędkość 10 km/h. Natomiast wartością graniczną, przy której można mówić o znacznym prawdopodobieństwie zatrzymania jest prędkość 15 km/h.

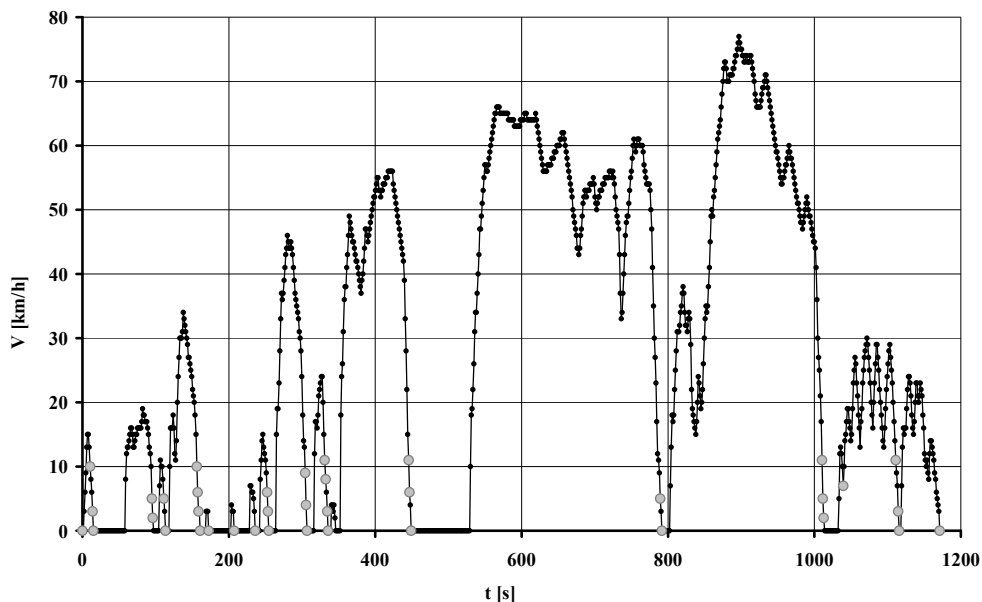
Drugą przesłanką świadczącą o zamiarze kierowcy zatrzymania samochodu jest nachylenie przebiegu prędkości – tożsame z pochodną funkcji prędkości względem czasu [4]. Jak wynika z wykresów przedstawionych w poprzednim rozdziale (rys. 3.3. i 3.4.), to kryterium jest o wiele bardziej niejednoznaczne. Istnieją bowiem wartości pochodnej prędkości wspólne dla obydwu grup hamowania pojazdem. W związku z tym nie istnieje jedna wartość graniczna, przy której można mówić o pewności oceny intencji kierowcy. Stwierdza się jedynie, że dla wartości pochodnej prędkości mniejszej od $-2 \text{ km}/(\text{h}\cdot\text{s})$ większość przebiegów prędkości kończy się zatrzymaniem pojazdu.

Dobór odpowiedniego kryterium pozwalającego na wykrywanie zamiarów kierowcy w kwestii zatrzymania samochodu sprowadza się więc do próby zadośćuczynienia dwóm sprzecznym wymaganiom. Z jednej strony pożądana jest możliwość jak najwcześniejszej oceny intencji kierowcy, a z drugiej strony jak najmniejsza niepewność tej oceny.

Sposobem na poprawienie właściwości kryterium jest połączenie dwóch przesłanek, o których była mowa w powyższych akapitach. Należałoby wówczas przyjąć graniczną wartość prędkości na poziomie pozwalającym na wcześniejsze wykrywanie zatrzymania, ale cechującym się brakiem pewności oceny. Ten czynnik byłby zestawiony z informacją o pochodnej prędkości względem czasu, jako przesłanką pomocniczą, zwiększającą prawdopodobieństwo prawidłowej oceny.

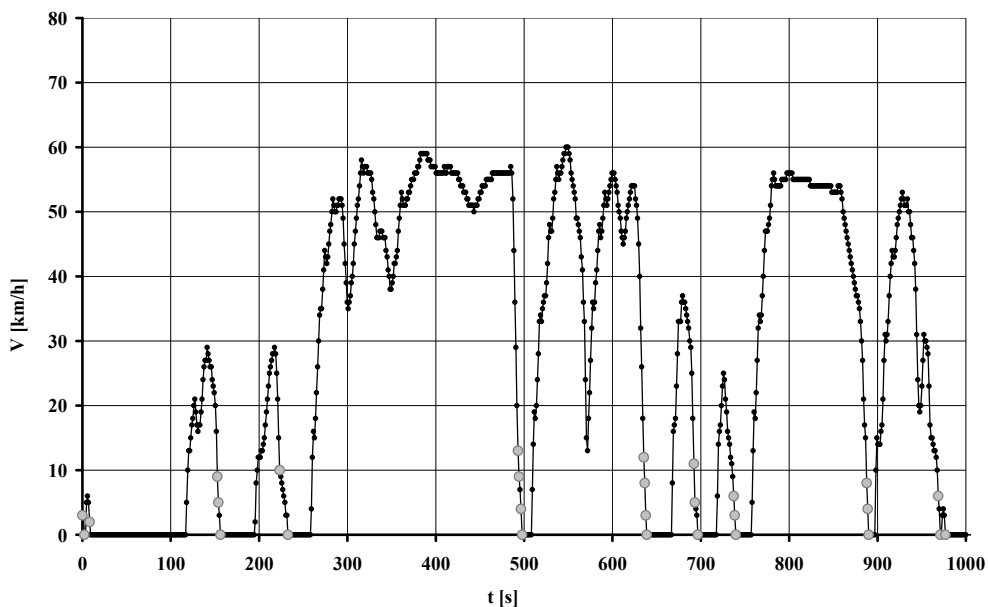
Ostatecznie, na potrzeby symulacji działania algorytmu, została przyjęta wartość progowa prędkości równa 15 km/h oraz wartość progowa pochodnej prędkości względem czasu równa $-2 \text{ km}/(\text{h}\cdot\text{s})$. Przygotowany algorytm analizował bieżącą prędkość oraz jej pochodną i sygnalizował intencję zatrzymania pojazdu wszędzie tam, gdzie obydwie wielkości były mniejsze od przyjętych wartości progowych.

Dla tak działającego algorytmu zostały przeprowadzone symulacje działania na podstawie zarejestrowanych przejazdów, których wyniki przedstawiono na rys. 4.1. – 4.3. Czarne, małe kropki oznaczają kolejne punkty pomiarowe bieżącej prędkości, natomiast jasne, duże kropki oznaczają te punkty pomiarowe, dla których został wykryty zamiar zatrzymania samochodu.



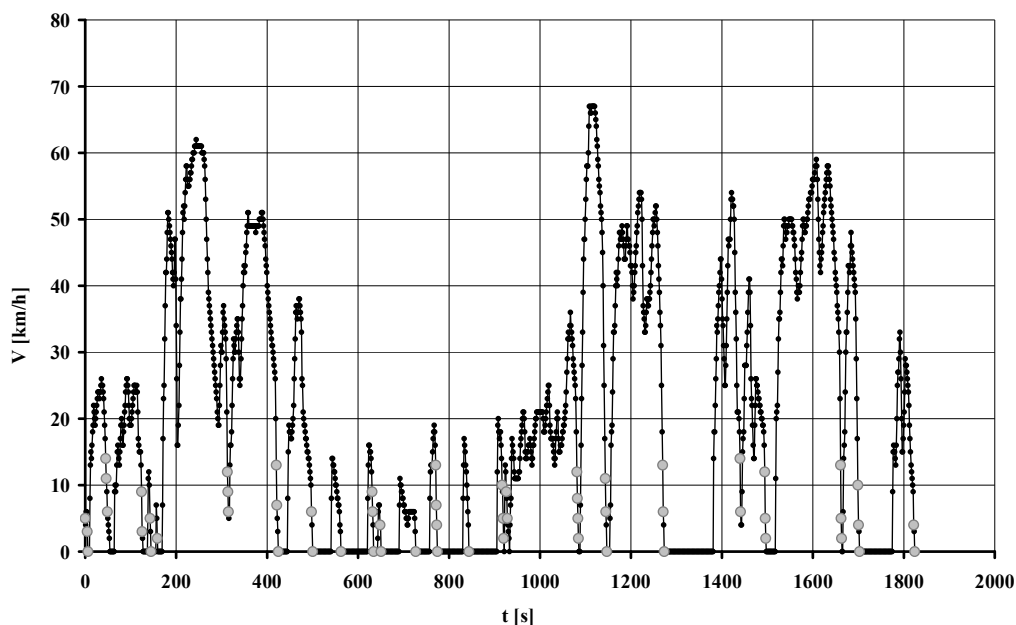
Rys. 4.1. Przebieg prędkości z zaznaczonymi punktami wykrywania intencji kierowcy w 1. serii pomiarowej

Fig. 4.1. The speed waveform with marked points of estimate the driver intentions in the 1st measuring series



Rys. 4.2. Przebieg prędkości z zaznaczonymi punktami wykrywania intencji kierowcy w 2. serii pomiarowej

Fig. 4.2. The speed waveform with marked points of estimate the driver intentions in the 2nd measuring series



Rys. 4.3. Przebieg prędkości z zaznaczonymi punktami wykrywania intencji kierowcy w 3. serii pomiarowej

Fig. 4.3. The speed waveform with marked points of estimate the driver intentions in the 3rd measuring series

Jak wynika z powyższych wykresów, spośród 43 sytuacji zatrzymania samochodu wszystkie zostały wykryte, ale dodatkowo 3 sytuacje nieprowadzące do zatrzymania zostały niepoprawnie ocenione jako zamiar zatrzymania. Oznacza to prawdopodobieństwo prawidłowej oceny intencji kierowcy na poziomie 93%. Jednocześnie wyprzedzenie w czasie, z jakim algorytm przewidywał zatrzymanie pojazdu wynosiło średnio 3,4 s.

Powyższy algorytmu trudno oceniać pod względem praktycznej użyteczności do sygnalizacji zamiarów kierowcy w pobliżu przejścia dla pieszych, ponieważ przeprowadzone badania drogowe miały jedynie wstępny charakter i sporządzone na ich podstawie obliczenia nie mogły prowadzić do ostatecznej postaci algorytmu. Docelowo prawdopodobieństwo poprawnego działania na poziomie 93% nie byłoby zadowalające. Oznaczałoby bowiem, że w około 7% przypadków pieszy zostanie błędnie poinformowany o zatrzymaniu samochodu, co może być tragiczne w skutkach. Należałoby się również spodziewać, że wyprzedzenie w czasie, z jakim pojawia się informacja o intencji zatrzymania samochodu, powinno być przynajmniej o jedną sekundę większe.

Jak wspomniano powyżej, niedoskonałości prezentowanego algorytmu wynikają z niedoskonałości przeprowadzonych badań, które miały jedynie charakter wstępny. Przede wszystkim obejmowały one wszystkie możliwe sytuacje zmniejszania prędkości pojazdu podczas jazdy w warunkach miejskich, a nie jedynie przejazdu przez przejścia dla pieszych (niewyposażone w sygnalizację świetlną). Ponadto informacja o bieżącej prędkości jazdy samochodu nie jest jedyną przesłanką, z której

można wnioskować o intencjach kierowcy. Duże znaczenie mogą mieć również takie informacje, jak: numer załączonego biegu, załączenie sprzęgła, a przede wszystkim bieżąca odległość od przejścia dla pieszych.

Nie mniej jednak z przeprowadzonych dotychczas wstępnych badań oraz z ich analizy można wyciągnąć istotny wniosek o zasadności prowadzenia tego typu prac badawczych. Pomimo wszelkich niedoskonałości zarejestrowanych przejazdów udało się wykazać, że istnieją pewne przesłanki, na podstawie których można wnioskować o zamiarze zatrzymania samochodu. Wydaje się więc, że po przeprowadzeniu dokładniejszych pomiarów, dysponując większą liczbą przejazdów zorientowanych na poruszanie się samochodów w pobliżu przejść dla pieszych, będzie możliwe przygotowanie lepszego algorytmu wykrywania intencji kierowcy, charakteryzującego się mniejszą niepewnością oraz wcześniejszą oceną sytuacji. Planowane prace badawcze zostaną omówione w następnym rozdziale.

5. Planowane prace badawcze

W ramach planowanych prac badawczych przewiduje się przeprowadzenie testów drogowych polegających na wielokrotnym przejeździe samochodami przez przejścia dla pieszych w różnych warunkach. Z uwagi na fakt, że zmniejszenie prędkości pojazdu przed przejściem dla pieszych może być spowodowane różnymi czynnikami, należy przewidzieć w badaniach co najmniej następujące scenariusze:

- zmniejszenie prędkości jazdy ze względów bezpieczeństwa (lub wymuszone przepisami), ale nie prowadzące do zatrzymania samochodu,
- zmniejszenie prędkości jazdy spowodowane jedynie nierównościami na drodze, bez zatrzymania samochodu,
- zmniejszenie prędkości jazdy spowodowane przejazdem przez spowalniacz umieszczony przed pasami, bez zatrzymania samochodu,
- zmniejszenie prędkości jazdy przed przejściem i zmiana decyzji polegająca na powrocie do wcześniejszej prędkości,
- zatrzymanie samochodu w celu przepuszczenia pieszego.

Testy należałoby przeprowadzić dla trzech różnych prędkości początkowych samochodu, na co najmniej pięciu przejściach dla pieszych, przy udziale co najmniej pięciu różnych kierowców i przy wykorzystaniu co najmniej pięciu różnych samochodów. W każdej konfiguracji test należałoby powtórzyć przynajmniej czterokrotnie. Wartości te wynikają z potrzeby wyszczególnienia typowych oraz szczególnych realizacji w dziedzinie poszczególnych parametrów pomiarowych. Uwzględniając wszystkie wymienione wcześniej scenariusze, należałoby przeprowadzić minimalnie 7500 testów.

Podczas badań rejestrowane byłyby takie parametry, jak prędkość pojazdu, numer załączonego biegu, fakt wciśnięcia hamulca, fakt wciśnięcia sprzęgła oraz bieżąca odległość od przejścia dla pieszych. Podczas badań przewiduje się wykorzystanie czytnika OBD pozwalającego na rejestrację parametrów jazdy samochodu oraz modułu GPS monitorującego położenie samochodu (w celu określenia odległości od przejścia dla pieszych).

Oprócz prac badawczych zorientowanych na techniczne aspekty organizacji i działania urządzenia, przewiduje się również analizę psychologiczną pieszych pod

względem reakcji na omawianą sygnalizację, problemy edukacji pieszych uczestników ruchu w kwestii prawidłowego wykorzystania urządzeń sygnalizujących zatrzymywanie pojazdów, a także optymalizację formy samego sygnalizatora, aby jego wskazania były postrzegane w sposób intuicyjny.

6. Podsumowanie

Celem niniejszej pracy była analiza technicznych możliwości opracowania algorytmu do wykrywania intencji kierowcy w kwestii zatrzymania pojazdu przed przejściem dla pieszych. Na podstawie przeprowadzonych wstępnych badań, ich analizy, przygotowanego wstępnego algorytmu oraz przeprowadzonych za jego pomocą symulacji – wydaje się, że dalsze tego typu prace są zasadne i mogą doprowadzić do opracowania niezawodnego sygnalizatora intencji kierowcy o stosunkowo szybkim wykrywaniu zamiaru zatrzymania samochodu.

Już w samych przebiegach prędkości jazdy możliwe było znalezienie dwóch przesłanek pozwalających szacować, jak zachowa się kierowca. Była to minimalna prędkość graniczna oraz pochodna prędkości względem czasu. Stwierdzono również, że w przyszłych badaniach interesujące wnioski mogą wynikać z zestawienia prędkości pojazdu z jego odległością od przejścia dla pieszych.

LITERATURA

- [1] D. Jankowska, I. Leśnikowska-Matusiak, J. Wacowska-Ślęzak, A. Wnuk: Bezpieczeństwo ruchu drogowego. Teoria i praktyka. Edukacja, Instytut Transportu Samochodowego, Warszawa 2012.
- [2] Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 r. – Prawo o ruchu drogowym (Dz. U. z 2012 poz. 1137, z późn. zm.)
- [3] P. Wiśniowski: Testowe odwzorowanie drogowej emisji zanieczyszczeń spalin silnika ZS w pojeździe samochodowym, praca statutowa realizowana w Instytucie Transportu Samochodowego, Warszawa 2016.
- [4] B. Pańczyk, E. Łukasik, J. Sikora, T. Guziak: Metody numeryczne, Politechnika Lubelska, Lublin 2012.