

ALICJA SOŁOWCZUK<sup>1)</sup>

## MODELOWANIE WPŁYWU WYBRANYCH CECH DROGI NA PRĘDKOŚĆ SWOBODNĄ

**STRESZCZENIE.** W artykule przedstawiono założenia i istotę proponowanego szacowania łącznego wpływu cech drogi na prędkość, jeden z najistotniejszych parametrów drogi, charakteryzujący jej wartości użytkowe. Prędkość jest również tym elementem, na który głównie zwracają uwagę użytkownicy dróg, będący głównymi konsumentami usług drogowych. Dlatego też efektywność ekonomiczna robót drogowych związanych z utrzymaniem, remontem lub przebudową dróg powinna być szacowana również z uwzględnieniem korzyści uzyskiwanych przez użytkowników.

Obecnie decyzje o robotach drogowych związanych z utrzymaniem, remontem lub przebudową dróg ich zarządca podejmuje na podstawie wyników oceny stanu nawierzchni lub analizy płynności ruchu. W stosowanych przy tym systemach nie szacuje się wartości prędkości ani „przed” ani „po” wykonaniu robót, trudno, więc oszacować korzyści uzyskiwane z przeprowadzonego remontu lub przebudowy przez użytkowników drogi.

W prezentowanym modelowaniu autorka przedstawia istotę i sens szacowania wspólnego wpływu wybranych cech drogi na prędkość. Na podstawie oszacowanych parametrów rozkładu prędkości można prowadzić szereg analiz i wykorzystywać uzyskane wzdłuż drogi profile prędkości nie tylko do analizy efektywności ekonomicznej (tj. zmniejszenia kosztów: własnych ponoszonych przez użytkowników, transportu drogowego, eksploatacji samochodów, emisji toksycznych składników spalin itd.), ale także do analizy organizacji ruchu, wyznaczania miejsc o dużej różnicy prędkości na następujących po sobie odcinkach drogi, klasyfikacji prędkości, przepustowości itd.

---

<sup>1)</sup> dr hab. inż. – Katedra Dróg, Mostów i Materiałów Budowlanych, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

## 1. WPROWADZENIE

Jednym z najistotniejszych parametrów drogi „charakteryzujących jej wartości użytkowe jest prędkość, z jaką pojazdy mogą się po niej bezpiecznie poruszać” [1]. Prędkość zależy „od parametrów geometrycznych drogi, stanu nawierzchni, natężenia i struktury ruchu, a także od zachowania i temperamentu kierowców oraz warunków pogodowych” [1]. Powszechnie uważa się ją za najważniejszy uogólniony parametr projektowanej drogi, decydujący o jej przynależności do danej funkcjonalnej i technicznej kategorii [1 - 6].

Obecnie przy wysokich wymaganiach współczesnego parku maszynowego korzystającego głównie z ukształtowanej już sieci dwupasowych dróg dwukierunkowych podstawowym zadaniem wydziałów drogowych w dyrekcjach okręgowych i rejonach dróg jest utrzymanie istniejących dróg oraz dostosowanie ich cech transportowo-eksploatacyjnych do poziomu intensywnie rozwijającej się gospodarki drogowej. Głównymi konsumentami usług drogowych są ich użytkownicy, wobec czego efektywność ekonomiczna realizacji drogowych związanych z zarządzaniem i utrzymaniem dróg powinna być szacowana przede wszystkim z uwzględnieniem korzyści, uzyskiwanych przez użytkowników.

W pierwszej połowie XX w. opracowano techniczną klasyfikację oraz oszacowano fundamentalne zależności pomiędzy prędkością i parametrami geometrycznymi dróg. W drugiej połowie XX w. opracowano różnorodne zoptymalizowane systemy i modele związane z rozwiązywaniem poszczególnych zadań zarządzania stanem dróg lub ich utrzymania, jednakże zadań tych nie rozwiązano kompleksowo i systemowo, a tylko w odniesieniu do oddzielnych zagadnień czy problemów. Znane w świecie modele i systemy *Pavement Servilibity Index* PSI, *Riding Comfort Index* RCI, *Roseau National NonRenforce* RNNR, *Section d'Etude des Transports Routiers et Autoroutiers* SETRA, *Pavement Management System* PMS i *Highway Design and Maintenance* HDM, a także modele rosyjskie, niemieckie lub angielskie, a nawet polski „System oceny stanu nawierzchni” SOSN [7] oraz polski model ruchu swobodnego [8] nie rozwiązują pełnego zestawu koniecznych zadań i potrzebują szczegółowej adaptacji przy stosowaniu ich w zarządzaniu stanem sieci dróg.

Analiza szczegółowa metod oceny stanu dróg stosowanych obecnie w Polsce, tj. oceny stanu nawierzchni SOSN oraz oceny płynności ruchu wykazała, że różnorodne sposoby oceny nie uwzględniają jednocześnie wszystkich głównych cech drogi. Metody te stosowane są oddzielnie, co nie zawsze pozwala na podjęcie podstawowej i właściwej decyzji o konieczności wykonania konkretnych prac drogowych związanych z utrzymaniem, remontem lub przebudową drogi, pozwalających w końcowym efekcie poprawić na drodze jej wartości użytkowe. Podejmowanie decyzji o tym, kiedy, gdzie i w stosunku, do których konkretnie parametrów geometrycznych lub cech eksploatacyjnych nawierzchni należy koniecznie przeprowadzić potrzebne roboty drogowe na podstawie pojedynczych czynników lub tylko stanu nawierzchni w dobie rozwiniętego monitoringu oraz współczesnych systemów zarządzania stanem sieci drogowej nie jest wiarygodne i efektywne.

Zaproponowany w 1995 r. model ruchu swobodnego [8], wprawdzie umożliwia szacowanie parametrów rozkładu prędkości, ale nie we wszystkich etapach szacowania ma opracowane funkcje matematyczne, pozwalające szacować wartości poszczególnych miar pozycyjnych prędkości. Jednakże w porównaniu do innych systemów i modeli uwzględnia on większość cech drogi, choć głównie są to parametry geometryczne. Autorzy jednak w trakcie opracowania zadbali o zapewnienie modeli pewnych priorytetów i możliwości dalszego rozwoju, gdyż do modelu ruchu swobodnego w każdej chwili można dodać opracowane nowe segmenty oraz etapy, a to stanowi niewątpliwą jego zaletę i przewagę tego modelu w stosunku do innych.

## 2. PODSTAWOWE ZAŁOŻENIA PRZYJĘTE PRZY MODELOWANIU PRĘDKOŚCI

Przyjęcie prędkości za podstawę oceny stanu dróg wywołuje kolejne zagadnienie: Jaką prędkość przyjąć za podstawę oceny? Wiadomo przecież, że prędkość nie jest stała wzdłuż całej długości drogi, lecz jest zmienna w czasie i przestrzeni [1].

Przy ocenie stanu drogi nie są oceniane warunki ruchu i nie określa się poziomu swobody ruchu. Szacowany ma być wpływ cech drogi na prędkość i ocenie mają podlegać same cechy drogi ją charakteryzujące, czyli parametry geometryczne, cechy eksploatacyjne nawierzchni, stan poboczy, lokalne warunki tj.: lokalizacja ocenianego odcinka, położenie względem najbliższych skrzyżowań, stan drogi na odcinku poprzedzającym i następującym itd., czyli pierwsze założenie powinno dotyczyć wyboru rodzaju ruchu. Najlepiej za podstawę oceny jest przyjąć ruch swobodny, gdyż wówczas na kierowcę oddziałują tylko cechy drogi, a nie inni użytkownicy i prędkość swojego pojazdu kierowca dobiera do istniejących na drodze warunków drogowych, możliwości pojazdu i swojego sposobu jazdy.

Kolejne założenie powinno dotyczyć konkretnej miary pozycyjnej. W literaturze specjalistycznej podstawową miarą pozycyjną oceny stanu drogi jest 85 % kwantyl prędkości samochodów osobowych w ruchu swobodnym [1]. W modelu ruchu swobodnego [8] i funkcjach szacujących poszczególne zależności prędkości od parametrów geometrycznych drogi [1], szczególny nacisk położono na średnie prędkości samochodów osobowych i ciężarowych. W badaniach wpływu prędkości na brd *S. Gaca* szacował zarówno 85 % kwantyl prędkości jak i średnie prędkości obu potoków [9]. Uwzględniając powyższe w proponowanym modelowaniu przyjęto jako podstawę szacowanie następujących prędkości w ruchu swobodnym: 85 % kwantyl prędkości samochodów osobowych, średnie prędkości samochodów osobowych i ciężarowych.

Oszacowanie prędkości w ruchu swobodnym pozwala ocenić wpływ wybranych cech drogi na prędkość, jednak ruch swobodny dotyczy tylko części pojazdów. Biorąc pod uwagę, że w krajowych metodach oceny efektywności ekonomicznej uwzględnia się średnie prędkości samochodów osobowych i ciężarowych w ruchu ciągłym, to w proponowanej ocenie stanu dróg, oszacowano odpowiednie współczynniki przeliczeniowe na średnie prędkości obu grup pojazdów w ruchu ciągłym przy natężeniu ruchu do 400 [P/h na pas].

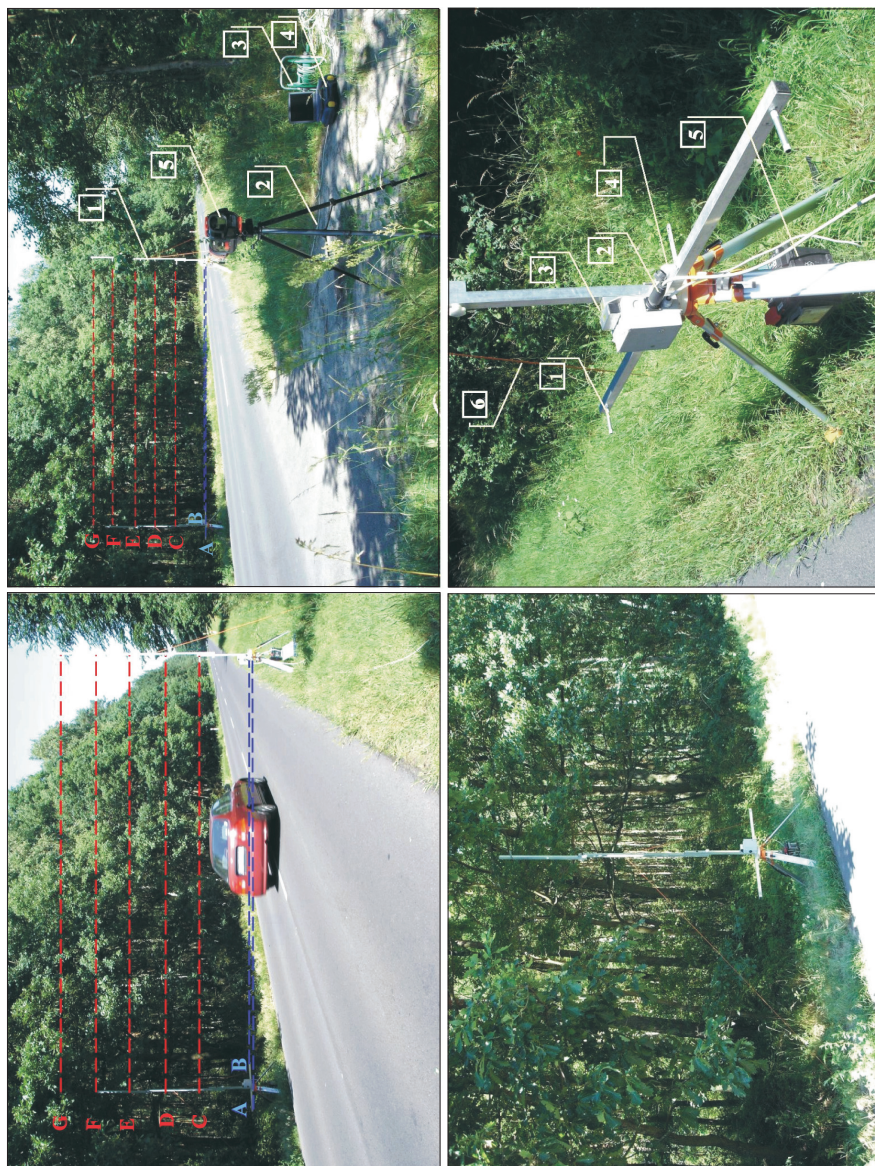
W Polsce pod koniec XX w. w zakresie statystycznych metod badawczych warunków ruchu drogowego, rzadko stosowano automatyczne lub półautomatyczne techniki pomiarowe, co wynikało głównie z braku odpowiedniej aparatury. W badaniach naukowych stosowano z reguły radary, ale badania wykonywane z użyciem radarów nie dawały dużej wiarygodności, z uwagi na fakt wzajemnego ostrzegania się kierowców i zmniejszania prędkości kierowanych pojazdów w rejonie odcinków pomiarowych. Proste techniki pomiarowe tego mankamentu nie miały, gdyż obserwatorzy nie byli widoczni dla kierowców. Ale proste techniki pomiarowe, charakteryzowały się znacznymi kosztami wykonywania badań oraz dużą pracochłonnością przetwarzania danych. W zakresie masowych i cyklicznych pomiarów ruchu drogowego od wielu lat stosuje się w Polsce stałe punkty pomiarowe (Fischer-Poter, RPP oraz Marksman), z reguły znajdujące się na poziomych i prostych w planie odcinkach dróg ze specjalnym oznakowaniem. Kierowca przejeżdżając przez taki stały punkt pomiaru jest poinformowany specjalnym oznakowaniem o przeprowadzanym pomiarze prędkości. W badaniach, opisywanych w niniejszym artykule, geneza pomiaru opierała się na wielu odcinkach dróg z różnym stanem nawierzchni oraz różnym ukształtowaniem geometrycznym i oszacowaniu wpływu cech drogi na prędkość w warunkach realnych, tj. braku poinformowania kierowców o dokonywanym pomiarze. Uwzględniając powyższe autorka w latach 1996 - 1998 r. wspólnie z pracownikami Zakładu Elektronicznego „MART” w Szczecinie skonstruowała elektroniczne urządzenie do pomiaru struktury rodzajowej ruchu oraz prędkości w ruchu swobodnym i ciągłym z zastosowaniem promieniowania podczerwonego (rys. 1). Urządzenie pomiarowe ma automatyczny komputerowy zapis danych, może stać poza poboczem drogi, przy czym nie jest tak widoczne jak radar i nie wywołuje „niepożądanych reakcji” ze strony użytkowników dróg. Program komputerowy zapisu pomierzonych prędkości chwilowych umożliwia jednocześnie oszacowanie wybranych miar pozycyjnych zarówno prędkości w ruchu swobodnym jak i w ruchu ciągłym. Czujniki umieszczone w pionie służą do pomiaru struktury rodzajowej ruchu. Program komputerowy umożliwia również segregację czasową natężenia ruchu, czyli może być wykorzystywany do szacowania wahań natężenia ruchu w czasie godziny.

Obecnie rozwinięta dynamicznie w okresie ostatnich 10 lat technika pomiarowa umożliwia wykonywanie pomiarów z automatyczną rejestracją prędkości i zapisem komputerowym [10]. W omawianym przypadku wszystkie badania analizowane w niniejszym artykule były wykonane przy użyciu urządzenia sfinansowanego w ramach KBN.

Kolejnym bardzo ważnym założeniem było określenie natężenia ruchu i oszacowanie przy nim udziału ruchu swobodnego. *R. Lamm* w swoich opracowaniach [11] podał definicję ruchu swobodnego, a mianowicie „prędkość pojazdu w ruchu swobodnym jest to prędkość, którą rozwijają pojedyncze pojazdy, poruszające się bez przeszkód ze strony innych użytkowników, przy możliwości wyboru swobodnego sposobu jazdy. Wówczas w strumieniu ruchu podążającym w tym samym kierunku muszą zaistnieć odpowiednie luki czasowe, które powinny wynosić, co najmniej 7 s przed pojazdem i 4 s za pojazdem”.



Czujniki A, B – mierzą prędkość i długość samochodu, czujniki C, D, E, F i G – mierzą wysokość samochodu



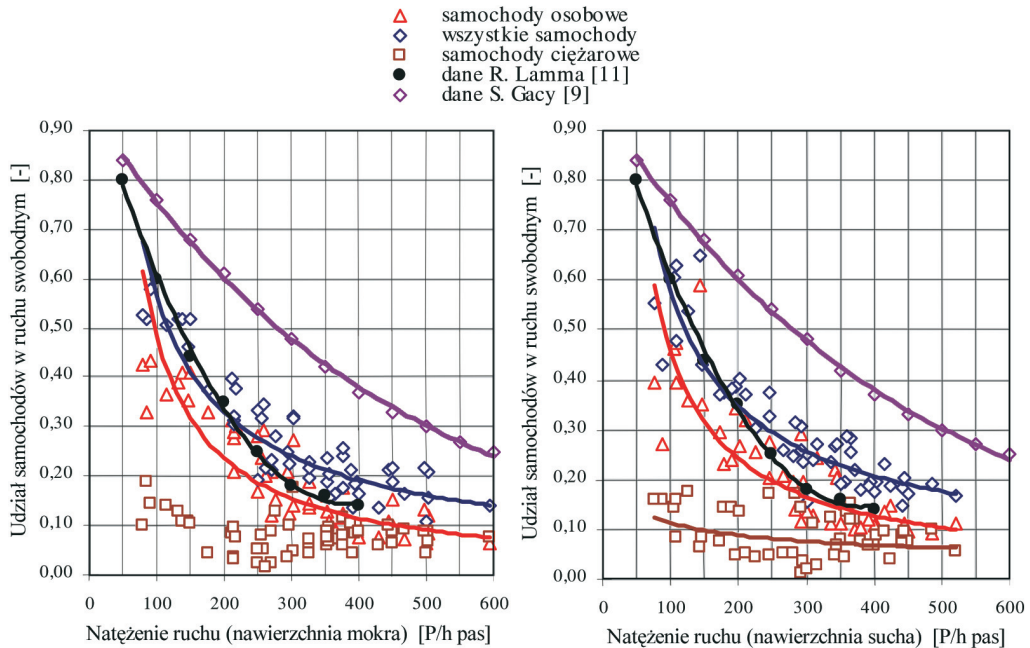
- 1 – konstrukcja główna z czujnikami
- 2 – kabel łączący czujniki z komputerem
- 3 – statyw z kablem długości 150 m
- 4 – komputer
- 5 – kamera wideo

- 1 – czujnik
- 2 – kabel łączący czujniki z komputerem
- 3 – libella
- 4 – obracająca się podstawa
- 5 – akumulator
- 6 – linka ochraniająca

Rys. 1. Stanowisko pomiarowe zastosowane w badaniach eksperymentalnych [12]

Fig. 1. The measuring position used in experimental studies [12]

Na podstawie przeprowadzonych badań w 80. latach na drogach niemieckich *R. Lamma* oszacował udział pojazdów znajdujących się w ruchu swobodnym w zależności od godzinowego natężenia ruchu na jednym pasie przy 10 % udziale samochodów ciężarowych [1]. Podobne badania na odcinkach przejść dróg przez mniejsze miejscowości wykonał w Polsce w 90. latach *S. Gaca* [9]. Weryfikacyjne badania poligonowe przeprowadzone na polskich dwupasowych drogach dwukierunkowych potwierdziły ogólne założenia obu profesorów o zmniejszającym się udziale samochodów w ruchu swobodnym przy wzroście natężenia ruchu na danym pasie (rys. 2).



Rys. 2. Udział samochodów w ruchu swobodnym w zależności od natężenia ruchu na pasie  
Fig. 2. Participation of cars in the free flow traffic depending on the traffic intensity on the lane

Kolejnym założeniem wykonywanych pomiarów powinno być określenie warunków pogodowych, gdyż warunki na drogach w trakcie deszczu i bezdeszczowej pogody różnią się dość istotnie. Większość zależności podanych w literaturze przedmiotu podaje zależność prędkości od poszczególnych cech drogi w ruchu swobodnym po suchej nawierzchni. Przyjęcie za podstawę szacowania parametrów rozkładu prędkości w ruchu swobodnym na mokrej nawierzchni jest bardziej prawidłowe, gdyż, jeśli droga zapewnia ruch z daną prędkością na mokrej nawierzchni, to tym bardziej będzie zapewniała bezpieczny ruch z tą prędkością w czasie dni bezdeszczowych, tj. na suchej nawierzchni.

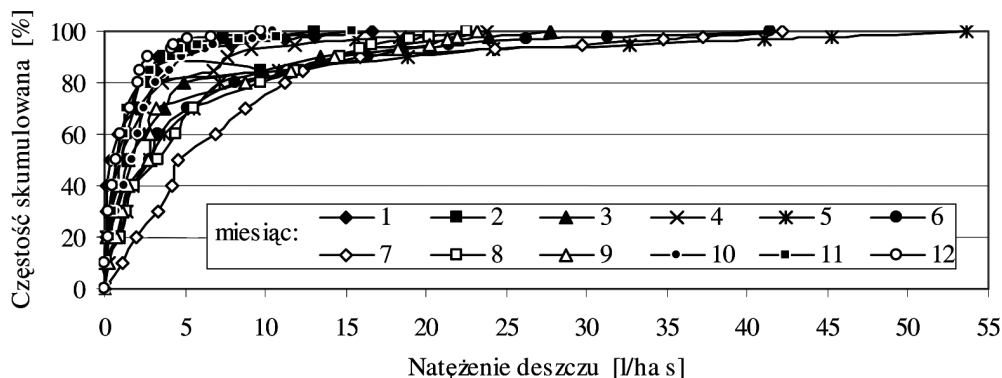
Jednak do określenia mokra nawierzchnia potrzebne są dokładniejsze definicje, odpowiednie badania i przyjęcie podstawowych założeń odnośnie parametrów deszczu. Najczęściej uwzględnianymi parametrami deszczu wykorzystywanymi w praktyce

drogowej są natężenie deszczu i czas opadu. W celu określenia najczęściej występujących wartości parametrów deszczu w poszczególnych miesiącach w okresie trzech lat przeprowadzono pomiary meteorologiczne wszystkich opadów w ciągu roku [13 - 14]. Analiza statystyczna ponad 500 deszczy wykazała (rys. 3 i 4), że maksymalny w poszczególnych miesiącach 85 % kwantyl czasu opadu wynosi:

$$t_{85} = \max\{t_{85}^I, t_{85}^{II}, \dots, t_{85}^{XII}\} = 10 \text{ [h]},$$

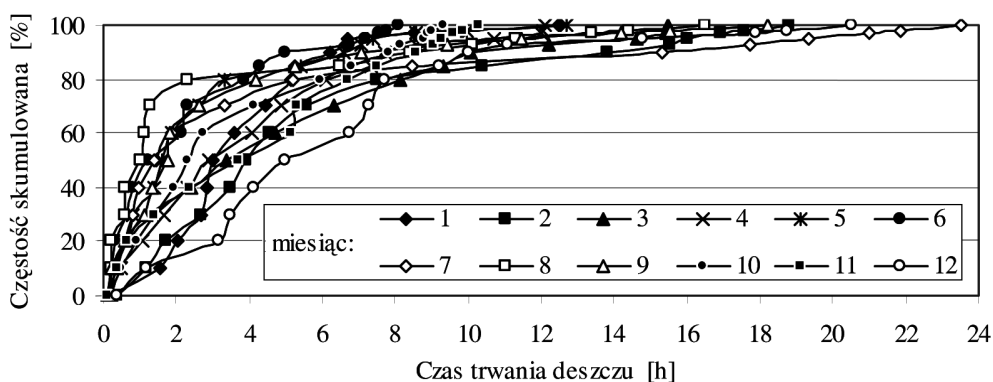
a maksymalny 85 % kwantyl natężenia wynosi:

$$q_{85} = \max\{q_{85}^I, q_{85}^{II}, \dots, q_{85}^{XII}\} = 12 \text{ [l/ha s]}.$$



Rys. 3. Dystrybuanty natężenia deszczu w poszczególnych miesiącach roku w latach 1997-1999

Fig. 3. The cumulative distribution functions of the rain intensity in particular months between 1997-1999



Rys. 4. Dystrybuanty czasu trwania deszczu w poszczególnych miesiącach roku w latach 1997-1999

Fig. 4. The cumulative distribution functions of the rain duration in particular months between 1997-1999

Uwzględniając powyżej przedstawione wyniki analizy statystycznej założono, że:

- badania prędkości chwilowych będą wykonane podczas opadu deszczy, których parametry nie będą przewyższać wartości najczęściej odnotowanych deszczy  $q_{85} = \max\{q_{85}^I, q_{85}^{II}, \dots, q_{85}^{XII}\}$  i  $t_{85} = \max\{t_{85}^I, t_{85}^{II}, \dots, t_{85}^{XII}\}$ ,
- wyniki pomiarów prędkości chwilowych wykonane podczas dni, w których natężenie deszczu było większe niż  $q_{85} = \max\{q_{85}^I, q_{85}^{II}, \dots, q_{85}^{XII}\}$  lub w których deszcz padał przez cały dzień, nie będą uwzględniane w dalszych analizach,
- jeśli w trakcie pomiarów natężenie deszczu będzie ulegało widocznej zmianie, tj. deszcz z umiarkowanego będzie się zamieniać w ulewny, to badania będą przerywane, a wyników z tych badań nie będzie się uwzględniać w dalszych analizach.

Najprostsza ocena stanu drogi przemawiająca najbardziej do wyobraźni polega głównie na szacowaniu wpływu na prędkość parametrów geometrycznych. Bardzo sugestywna jest wówczas ocena różnicy prędkości np. na prostym w planie i krzywoliniowym fragmencie drogi lub na poziomym odcinku i stromym pochyleniu podłużnym. W tym przypadku ocena stanu drogi ze względu na prędkość utożsamiana jest raczej z jednorodnymi geometrycznie odcinkami w planie i w profilu. Przy takim podejściu rozróżnia się fragmenty drogi w planie proste lub krzywoliniowe oraz poszczególne pochylenia w profilu podłużnym. Jednak, trzeba to podkreślić, na prostych w planie fragmentach drogi często zmienia się rzeczywista odległości widoczności nawet przy małych wartościach pochylenia podłużnego. Mogą się także na tych odcinkach istniejących dróg zmieniać szerokości poboczy i stan ich utrzymania. Z drugiej strony na prostych w planie fragmentach drogi (np. długości 500 - 1000 m), znajdujących się na odcinku drogi o krętości trasy 40 - 50 °/km, są na pewno mniejsze faktyczne prędkości niż na prostym w planie fragmencie drogi długości 4500 m, znajdującym się na odcinku drogi o krętości trasy 5 °/km.

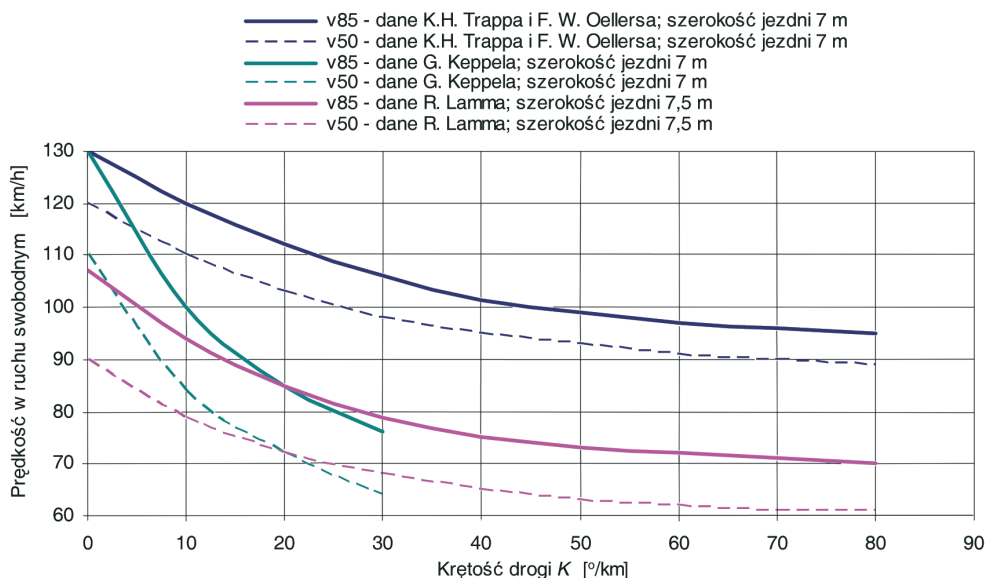
W weryfikacyjnych pomiarach, wykonanych na odcinkach z różną krętością trasy i rzeczywistą odległością widoczności równą 700 m, znajdujących się na wzniesieniach ok.  $\leq +0,3\%$ , otrzymano następujące wartości parametrów rozkładu prędkości (tabl. 1).

Tablica 1. Zestawienie wartości podstawowych danych z weryfikacyjnych pomiarów [12]  
Table 1. The data prime values statement from verifying measurements [12]

Szerokość jezdni [m]	Długość odcinka prostego w planie [m]	Krętość trasy, [°/km]	Prędkość $v_{85}$ [km/h]	Średnia prędkość samochodów osobowych [km/h]	Liczba pomiarów	Średnia prędkość samochodów ciężarowych [km/h]	Liczba pomiarów
7	4,5	5	118,3	99,8	161	81,7	119
7	2,8	66	105,7	90,2	232	74,5	140
6	3,5	5	112,5	97,0	162	78,6	66
6	2,5	66	99,5	85,4	280	69,0	53

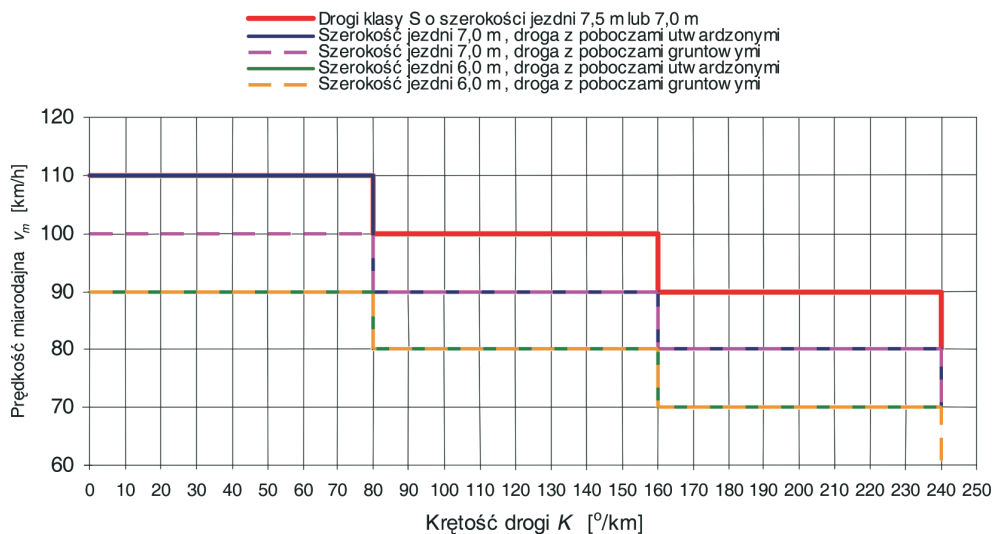


Dla porównania, otrzymanych wartości prędkości na polskich drogach, poniżej skonfrontowano wartości wybranych miar pozycyjnych prędkości na drogach niemieckich z różną krętością trasy (rys. 5), a także przedstawiono polskie wymagania wartości prędkości miarodajnych podane w WT [15] (rys. 6).



Rys. 5. Zależności  $v_{85}$  i  $v_{50}$  od krętości trasy, określone przez niemieckich badaczy w latach 80. i 90. XX w. [11, 16, 17]

Fig. 5. The influence of bendiness of the itinerary on  $v_{85}$  and  $v_{50}$ , determined by German surveyors in the 80s and 90s of the 20<sup>th</sup> century [11, 16, 17]



Rys. 6. Zależności prędkości  $v_m$  od krętości trasy, przyjęte w obecnych WT [15]

Fig. 6. The relationship between velocity  $v_m$  and the bendiness adopted in current WT [15]

Na podstawie badań uwzględniających psychofizjologiczne cechy kierowcy, sformułowano w [18] hipotezę, że „najbardziej korzystne warunki ruchu zachodzą w przypadkach, gdy kierowcy zapewnia się stały stopień koncentracji”. Uwzględniając powyższe autorka przyjęła za zasadne przeprowadzenie badań poligonowych w celu opracowania zależności parametrów rozkładu prędkości od krętości trasy.

Dalsza analiza tego zagadnienia wykazała konieczność zastosowania przy modelowaniu prędkości odpowiedniego selektywnego doboru cech drogi. Np. należało określić czy równość podłużna w granicach 6 mm/m wywołuje jednakowe oddziaływanie na prędkość na poziomym prostym w planie fragmencie drogi, jak i na odcinku krzywoliniowym o promieniu poziomego łuku kołowego  $R = 600$  m i kącie zwrotu  $\gamma = 50^\circ$  lub na spadku podłużnym 5 %. Podobna analiza dotyczyłaby małych wartości współczynnika tarcia, czy jednakowo oddziałują na wybrane miary pozycyjne prędkości małe wartości współczynnika tarcia np.  $\mu = 0,25$ , na fragmencie drogi znajdującym się w poziomie jak i na spadku podłużnym równym 5 %. Tak, więc aspekt wyboru i jednoczesnego uwzględniania wielu cech drogi oraz szacowanie ich wspólnego wpływu na prędkość jest bardzo ważny, gdyż udowadnia, że tylko łączne uwzględnianie wpływu wszystkich cech stanowi wiarygodną ocenę stanu drogi ze względu na wartości użytkowe.

W dalszych analizach i rozważaniach nie wagi poszczególnych cech drogi, tylko kolejności ich szacowania, autorka przeanalizowała założenia modelu ruchu swobodnego [8]. Podstawową różnicę pomiędzy dwoma metodykami szacowania parametrów rozkładu prędkości stanowi długość ocenianych odcinków.

W modelu ruchu swobodnego podstawową długością ocenianego fragmentu drogi jest jednorodny geometrycznie w planie i w profilu odcinek [8]. W modelu nie uwzględniono jednakże zmian poszczególnych cech eksploatacyjnych nawierzchni wzdłuż takiego jednorodnego odcinka drogi. Nie opracowano też żadnej funkcji matematycznej szacującej ilościowo te zmiany. Założono, że na długości jednorodnego geometrycznie odcinka drogi będzie się uśredniać klasy utrzymania nawierzchni ocenionej wg zasad SOSN  $v = f$  (uśredniona klasa utrzymania nawierzchni). To założenie całkowicie uniemożliwia wykorzystanie modelu do szacowania wpływu poszczególnych cech eksploatacyjnych nawierzchni na parametry rozkładu prędkości i dalszego ich wykorzystania do planowania wariantów remontu nawierzchni.

W proponowanym modelowaniu prędkości zaproponowano przyjąć za podstawę oceny odcinek hektometrowy, gdyż oceny stanu nawierzchni wg SOSN są określane na długości właśnie odcinków hektometrowych [7], (tylko wskaźniki równości podłużnej od 2002 r. są oceniane na długości 50 m). Ponadto uwzględniając, że prostoliniowe i krzywoliniowe odcinki drogi lub odcinki o zmiennym pochyleniu podłużnym nie zawsze pokrywają się z pikietą początku lub końca odcinka hektometrowego, przyjęto, że w tych przypadkach na odcinku hektometrowym będą szacowane dwie wartości prędkości odpowiednio do długości podziału tego odcinka. Takie założenie pozwoli na dokładniejszą analizę wpływu cech drogi na parametry rozkładu prędkość.



Złożona analiza danych pomiarowych i wielokrotne weryfikacje szacowanych parametrów rozkładu prędkości udowodniły [12], że najkorzystniej będzie dokonać podziału ocenianej drogi na fragmenty różniące się wartością krętości trasy. Wówczas na tych odcinkach można wyznaczyć wartości prędkości, względem których będzie się szacować zmniejszenie prędkości wywołane różnymi cechami drogi o wartościach innych niż wartości wzorcowe.

Za wartości wzorcowe poszczególnych cech drogi przyjęto: szerokość jezdni 7 i 6 m, krętość trasy 5 °/km, rzeczywistą odległość widoczności 700 m, szerokość pobocza utwardzonego 2 m, szerokość pobocza gruntowego 1,25 - 1,5 m,  $S_{BB} = 66^2)$ , a także warunek, że jezdnia nie powinna mieć żadnych deformacji, powierzchnia nawierzchni powinna być równa w przekroju poprzecznym i podłużnym ( $IRI = 2,0 - 3,0$  mm/m).

Przy ocenie stanu dróg potrzebne jest szacowanie zarówno oddzielnego wpływu każdej cechy na prędkość, jak i łącznego wpływu rozpatrywanych cech na prędkość. Przy analizach płynności ruchu uwzględnia się głównie wpływ parametrów geometrycznych na prędkość, a przy wykorzystywaniu proponowanej oceny stanu dróg do wariantowania robót remontowych i szacowania efektywności ekonomicznej potrzebne, a wręcz nieodzowne jest szacowanie zarówno oddzielnego wpływu każdej z cech eksploatacyjnych, jak i łącznego wpływu stanu nawierzchni na prędkość.

Kolejnym bardzo istotnym założeniem zastosowanym w modelu ruchu swobodnego [8] było szacowanie na odcinkach z innymi wartościami cech drogi niż wzorcowe różnicy prędkości w stosunku do prędkości na odcinku z wzorcowymi wartościami danej cechy. Uwzględniając pozytywny aspekt i istotną zaletę tego założenia w proponowanej ocenie stanu dróg w stosunku do wszystkich poszukiwanych zależności przyjęto ogólne założenie modelowania matematycznego, polegające na tym, że wpływ na prędkość w ruchu swobodnym każdej cechy drogi powinien być szacowany jako różnica prędkości na odcinku, na którym dana cecha ma wartość wzorcową i zmniejszenia prędkości  $f(x)$ , wynikającego z innej niż wzorcowa wartości danej cechy drogi:

$$v^{(x)} = v^0 - f(x) , \quad (1)$$

gdzie:

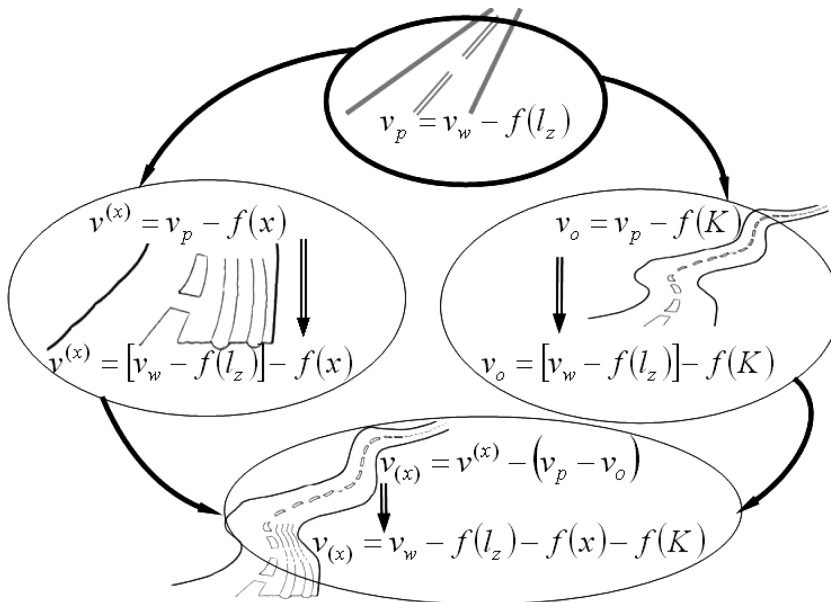
- $v^{(x)}$  – ogólne oznaczenie parametrów rozkładu prędkości na odcinku, na którym analizowana cecha drogi  $x$  ma inną wartość niż wzorcowa, [km/h],
- $v^0$  – ogólne oznaczenie parametrów rozkładu prędkości na odcinku, na którym analizowana cecha drogi  $x$  i pozostałe cechy drogi mają wartość wzorcową, [km/h],

<sup>2)</sup> Właściwości przeciwpoślizgowe zgodnie z zasadami SOSN [7] szacuje się na podstawie wyników pomiarów współczynnika tarcia  $\mu$  wykonywanych przy stosowaniu opony Barum Brawura 185/70 K 14. Pomiary wykonuje się wyprodukowaną w Polsce przyczepką SRT3. W 2002 r. w SOSN wprowadzono nowy termin „właściwości przeciwpoślizgowe”. Do 2002 r. stosowano starą oponę i potoczny termin „szorstkość nawierzchni”, liczbowo szorstkość obliczano z wzoru  $S = 100\mu$ . Obecnie również liczbowo szacuje się wg wzoru  $S_{BB} = 100\mu$ . Przeliczenie nowych wartości w miarę potrzeby na starą oponę pomiarową bieżnikowaną (OBI) wykonuje się wg wzoru:  $S = 0,675S_{BB}$ . Wówczas szorstkość zmierzona oponą Barum Brawura 185/70 K 14 równa 66, przeliczona na starą oponę pomiarową bieżnikowaną (OBI) wynosi 45 [19].

$f(x)$  – ogólne oznaczenie funkcji, opisującej zmniejszenie prędkości, wynikające z innej niż wzorcowa wartości analizowanej cechy drogi i oszacowane przy wzorcowych wartościach pozostałych cech drogi, [km/h].

Określając np. różnicę prędkości na odcinku krzywoliniowym w stosunku do prędkości na odcinku prostym w planie  $v^{(R,\gamma)} = v^0 - f(R,\gamma)$ , można oszacować wpływ parametrów krzywej w planie na prędkość lub w innym przypadku, określając różnicę prędkości na skoleinowanym odcinku drogi w stosunku do prędkości na nieskoleinowanym odcinku można oszacować wpływ głębokości koleiny na prędkość  $v^{(k)} = v^0 - f(k)$ .

Proponowane modelowanie matematyczne pozwala w przyszłości uniknąć wielokrotnego powtarzania pomiarów i określania każdorazowo nowych funkcji zależnościowych przy odnotowanej zmianie parku maszynowego, dlatego że wszystkie zaproponowane modele (rys. 7) są określone na podstawie różnicy prędkości – zgodnie ze wzorem (1). Przy zmianie w przyszłości parku maszynowego trzeba będzie jedynie zweryfikować prędkości na wzorcowych odcinkach drogi i podstawić we wszystkich modelach ewentualne nowe ich wartości.



Rys. 7. Proponowana metoda modelowania matematycznego funkcji szacującej wpływ cech drogi na prędkość na odcinkach z różną krętością trasy i rzeczywistą odległością widoczności (interpretacja graficzna przedstawiona na przykładzie wpływu głębokości koleiny na prędkość) [12]

Fig. 7. The proposed method of the mathematical modeling of the function that estimates the effect of the road features on the velocity on the sections with different bendiness and the real visibility distance (a graphical interpretation shown in the example of a wheel track effect on the velocity) [12]

Modelowanie matematyczne służy przede wszystkim do oszacowania wpływu danej cechy na parametry rozkładu prędkości. Np. podstawowa zależność prędkości od głębokości koleiny opracowana została na drodze o szerokości jezdni 7 m przy rzeczywistej odległości widoczności  $l_z = 700$  m na prostych w planie prawie poziomych odcinkach dróg, znajdujących się na fragmencie drogi o krętości trasy  $5^\circ/\text{km}$ . Głębokość koleiny  $k$  powoduje na tych odcinkach odpowiednie zmniejszenie wartości prędkości  $f(k)$  (rys. 7 – lewa środkowa część). W przypadku, gdy zachodzi potrzeba oszacowania wpływu głębokości koleiny na innym fragmencie drogi o krętości trasy np.  $K = 55^\circ/\text{km}$  i tych samych wartościach pozostałych cech drogi, to w tym przypadku nastąpi jeszcze dodatkowe zmniejszenie prędkości w wyniku oddziaływania innej wartości krętości trasy  $f(K)$  (rys. 7 – prawa środkowa część). Jeśli zachodzi potrzeba oszacowania wpływu głębokości koleiny na drodze z szerokością jezdni 6 m i krętością trasy inną niż wzorcowa, to w tym przypadku należy uwzględnić inną wartość prędkości wzorcowej  $v_w$ , charakterystyczną dla drogi o szerokości jezdni 6 m, i dodatkowe zmniejszenie prędkości spowodowane inną wartością krętości trasy  $f(K)$  (rys. 7 – prawa środkowa część).

Jednym z istotniejszych założeń metody okazało się przyjęcie odcinków wzorcowych i odpowiadających im wartości wzorcowych rozpatrywanych cech drogi. W różnych stosowanych metodach oceny stanu dróg na podstawie szacowanej prędkości, z reguły przyjmowano jeden odcinek wzorcowy przy konkretnym typie przekroju poprzecznego. W przedmiotowej metodzie zaproponowano na dwupasowych drogach dwukierunkowych przyjęcie dla każdego typu przekroju poprzecznego jednego odcinka wzorcowego.

W rezultacie szeregu analiz przyjęto za odcinki wzorcowe trzy odcinki: jeden odcinek na dwupasowej drodze dwukierunkowej z poboczami utwardzonymi i szerokością jezdni 7 m oraz dwa odcinki na dwupasowej drodze dwukierunkowej z poboczami gruntowymi i szerokością jezdni odpowiednio równej 6 i 7 m. Uwzględniając szerokie spektrum badawcze prowadzonych badań poligonowych w proponowanej metodzie pominięto drogi o szerokości jezdni 5,5 oraz 5 m, gdyż z reguły są to drogi o mniejszym znaczeniu gospodarczym i nie wykonuje się na nich corocznych cyklicznych pomiarów cech eksploatacyjnych.

Wzorcowe odcinki powinny być poziome i znajdować się na prostym w planie fragmencie drogi o długości ok. 3,5 km. Odcinki te powinny mieć wzorcowy stan nawierzchni i poboczy (tzn. w trakcie deszczu powinny one zapewniać prawidłowy odpływ wody z powierzchni jezdni). Wzorcowymi odcinkami mogą być także odcinki, bezpośrednio po wykonanym remoncie nawierzchni i poboczy. Wzorcowe wartości pozostałych cech drogi są następujące: krętość trasy  $5^\circ/\text{km}$ , rzeczywista odległość widoczności 700 m, szerokość pobocza utwardzonego 2 m, szerokość pobocza gruntowego 1,25 – 1,5 m, właściwości przeciwpoślizgowe, równość poprzeczna i podłużna powinny odpowiadać warunkom odbioru dróg określonym w WT.

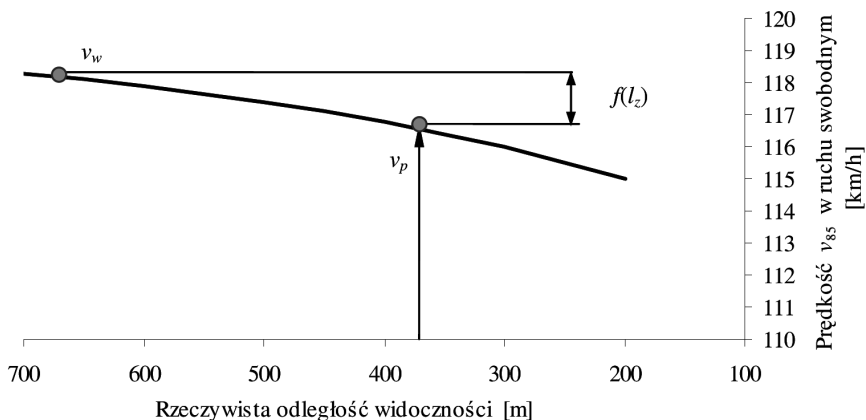
### 3. ISTOTA PROPONOWANEGO MODELOWANIA MATEMATYCZNEGO

Bardzo istotna w proponowanym modelowaniu okazała się kolejność szacowania wpływu cech drogi na prędkość. Uwzględniając, że prędkości mogą być oceniane na poziomych i prostych w planie odcinkach nowej drogi, zaproponowano w pierwszej kolejności szacowanie „prędkości wzorcowych”  $v_w$  na odcinkach wzorcowych z wzorcowymi wartościami wszystkich rozpatrywanych cech drogi. Na terenach nizinnych przeważają małe pochylenia podłużne, gdyż fragmenty dróg są prawie poziome. Na tych odcinkach, cechą drogi, która będzie najczęściej na każdym odcinku hektometrowym zmieniać swoje wartości jest rzeczywista odległość widoczności. Uwzględniając powyższe, założono określić „prędkości początkowe”  $v_p$  na odcinkach, na których wszystkie pozostałe cechy drogi oprócz rzeczywistej odległości widoczności mają wartości wzorcowe. Prędkości początkowe zaproponowano określać, jako różnicę (rys. 8) prędkości wzorcowej  $v_w$  i zmniejszenia prędkości  $f(l_z)$ , spowodowanego inną wartością rzeczywistej odległości widoczności niż wartość wzorcowa:

$$v_p = v_w - f(l_z) , \quad (2)$$

gdzie:

- $v_w$  – ogólne oznaczenie parametrów rozkładu wzorcowej prędkości na wzorcowym odcinku drogi, [km/h],
- $v_p$  – ogólne oznaczenie parametrów rozkładu początkowej prędkości na odcinku, na którym tylko rzeczywista odległość widoczności przyjmuje inne wartości niż wartość wzorcowa, [km/h],
- $f(l_z)$  – funkcyjna zależność parametrów rozkładu zmniejszenia prędkości, wynikająca z innej niż wzorcowa rzeczywistej odległości widoczności, [km/h].



Rys. 8. Określenie prędkości początkowej  $v_p = v_w - f(l_z)$  [12]

Fig. 8. Determination of the initial velocity  $v_p = v_w - f(l_z)$  [12]

Przy określeniu prędkości początkowych zmienną jest tylko rzeczywista odległość widoczności  $l_z$ .

Drugi stopień modelowania matematycznego polega na tym, że kolejno na każdym z ocenianych odcinków drogi szacowany jest wpływ na parametry rozkładu prędkości poszczególnych cech drogi, na podstawie różnicy  $v^{(x)} = v_p - f(x)$  prędkości początkowej (przy konkretnej rzeczywistej odległości widoczności) i zmniejszenia prędkości  $f(x)$ , wywołanego inną wartością danej cechy drogi  $x$  niż wartość wzorcowa, przy założeniu, że oceniane odcinki znajdują się na fragmencie drogi z wzorcową krętością trasy (rys. 9):

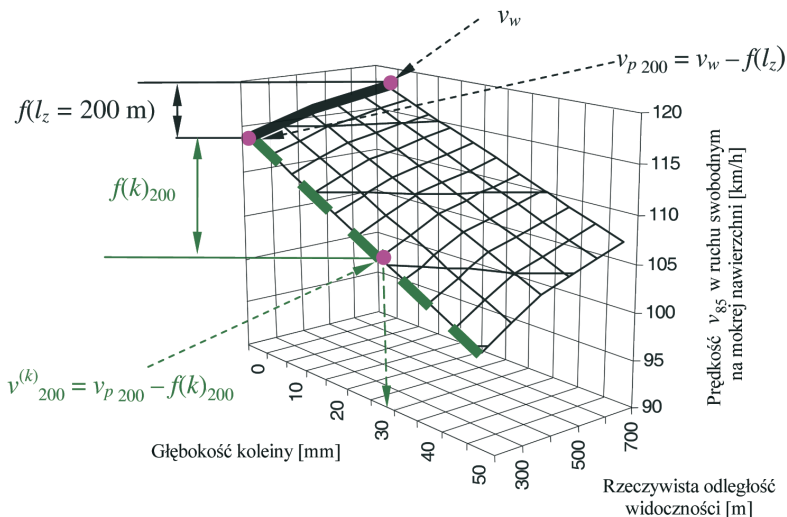
$$v^{(x)} = v_p - f(x) = [v_w - f(l_z)] - f(x), \quad (3)$$

gdzie:

$v^{(x)}$  – ogólne oznaczenie parametrów rozkładu prędkości na odcinku, na którym analizowana cecha drogi ma inną wartość niż wzorcowa; prędkości te określone są przy różnej rzeczywistej odległości widoczności i przy wzorcowej krętości trasy, [km/h],

$f(x)$  – ogólne oznaczenie funkcji opisującej, zmniejszenie się wartości parametrów rozkładu prędkości, spowodowane inną niż wzorcowa wartością analizowanej cechy  $x$  na ocenianym odcinku drogi; te zmniejszenia prędkości szacowane są przy różnej rzeczywistej odległości widoczności i przy wzorcowej krętości trasy, [km/h],

pozostałe oznaczenia jak w modelu opisanym wzorem (2).



Rys. 9. Metodyka określenia prędkości na skoleinowanym fragmencie drogi z wzorcową krętością trasy przy różnych rzeczywistych odległościach widoczności, (interpretacja przy  $l_z = 200$  m) [12]

Fig. 9. The determination methodology of the velocity on the road section covered with wheel tracks with the model road bendiness at different real visibility distances (interpretation at  $l_z = 200$  m) [12]

W modelowaniu matematycznym uwzględniono, że oceniane odcinki dróg mogą także znajdować się na fragmentach dróg z różną krętością trasy i powinno się to oszacować poprzez określenie zmniejszenia prędkości, wywołanego inną krętością trasy niż wzorcowa. W tym celu zaproponowano trzeci stopień modelowania matematycznego, którego sens polega głównie na uwzględnieniu innej niż wzorcowa krętości trasy ocenianego fragmentu drogi. Otrzymałą na tym etapie prędkość zaproponowano nazywać „odcinkową”  $v_o$ . Prędkości odcinkowe szacuje się przy danej konkretnej rzeczywistej odległości widoczności na ocenianym odcinku hektometrowym na zasadzie różnicy  $v_o = v_p - f(K)$  prędkości początkowej  $v_p$  i zmniejszenia prędkości  $f(K)$ , spowodowanego inną krętością trasy niż wzorcowa (rys. 10). Prędkości odcinkowe powinny być szacowane w odniesieniu do danej krętości trasy, przy założeniu, że oceniany odcinek hektometrowy znajduje się na prawie poziomym prostym w planie fragmencie drogi i pozostałe cechy drogi mają wartości wzorcowe:

$$v_o = v_p - f(K) = [v_w - f(l_z)] - f(K) , \quad (4)$$

gdzie:

$v_o$  – ogólne oznaczenie parametrów rozkładu prędkości przy różnej rzeczywistej odległości widoczności na odcinku, na którym z pozostałych cech drogi tylko krętość trasy ma inną wartość niż wzorcowa, [km/h],

$f(K)$  – ogólne oznaczenie funkcji szacującej, wpływ innej krętości trasy niż wzorcowa na parametry rozkładu prędkości; te zmniejszenia wartości parametrów rozkładu prędkości szacowane są przy różnej rzeczywistej odległości widoczności, [km/h],

pozostałe oznaczenia jak w modelach opisanych wzorami (2) i (3).

Powyżej przedstawione założenia pozwoliły zaproponować czwarty stopień modelowania matematycznego, którego sens polega na oszacowaniu zależności prędkości od danej cechy drogi na ocenianym odcinku hektometrowym, przy danej rzeczywistej odległości widoczności i krętości trasy, w postaci różnicy prędkości  $v^{(x)}$  oszacowanej przy wzorcowej krętości trasy i zmniejszenia prędkości  $f(K)$ , spowodowanego inną krętością trasy niż wzorcowa:

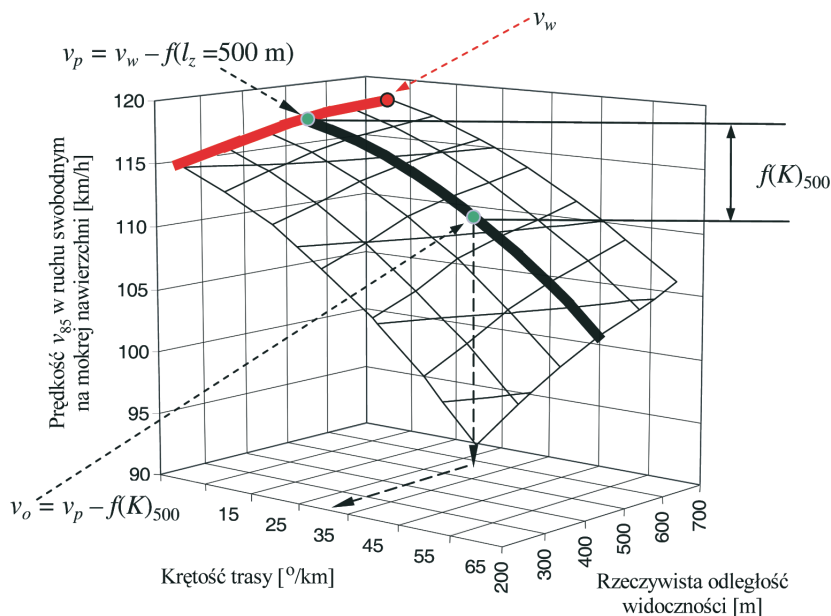
$$\begin{aligned} v_{(x)} &= v^{(x)} - (v_p - v_o) = \\ &= [v_p - f(x)] - \{[v_w - f(l_z)] - [v_p - f(K)]\} = \\ &= v_w - f(l_z) - f(x) - v_w + f(l_z) + v_w - f(l_z) - f(K) = \\ &= v_w - f(l_z) - f(x) - f(K) , \end{aligned} \quad (5)$$

gdzie:

$v_{(x)}$  – ogólne oznaczenie parametrów rozkładu prędkości na odcinku, na którym cechy drogi mogą mieć inne wartości niż wzorcowe, [km/h],

pozostałe oznaczenia jak w modelach opisanych wzorami (2 ÷ 4).





Rys. 10. Metodyka określenia prędkości odcinkowej  $v_o = v_p - f(K)$ , (interpretacja przy  $l_z = 500$  m) [12]

Fig. 10. The methodology of the sectional velocity  $v_o = v_p - f(K)$  determination (interpretation at  $l_z = 500$  m) [12]

Główną zaletę przedstawionego modelowania matematycznego stanowi możliwość szacowania wpływu poszczególnych cech drogi na parametry rozkładu prędkości zarówno na prostym w planie fragmencie drogi jak i na krętym. Modelowanie matematyczne szacowania parametrów rozkładu prędkości należy stosować do poszczególnych cech w celu oszacowania ich oddzielnego wpływu.

#### 4. OCENA ŁĄCZNEGO WPLYWU CECH DROGI NA PARAMETRY ROZKŁADU PRĘDKOŚCI

Ocena stanu dróg tylko ze względu na wpływ jednej lub kilku cech drogi na prędkość  $v_{85}$  może być stosowana tylko przy podejmowaniu wyjściowych decyzji i określeniu konieczności wykonania prac związanych z utrzymaniem, czy remontem lub przebudową. Do podjęcia głównych decyzji i oszacowania korzyści, otrzymanych z już wykonanych lub dopiero planowanych prac, nieodzowna jest ocena wspólnego wpływu cech drogi na prędkość. Pięcioetapowy model ruchu swobodnego daje taką możliwość i oszacowane wg niego parametry rozkładu prędkości  $v_{85}$ ,  $v_{sr}^o$  i  $v_{sr}^c$  mogą stanowić podstawę jeszcze dalszych analiz, tj. : przepustowości, komfortu jazdy, płynności ruchu i oceny brd [8].

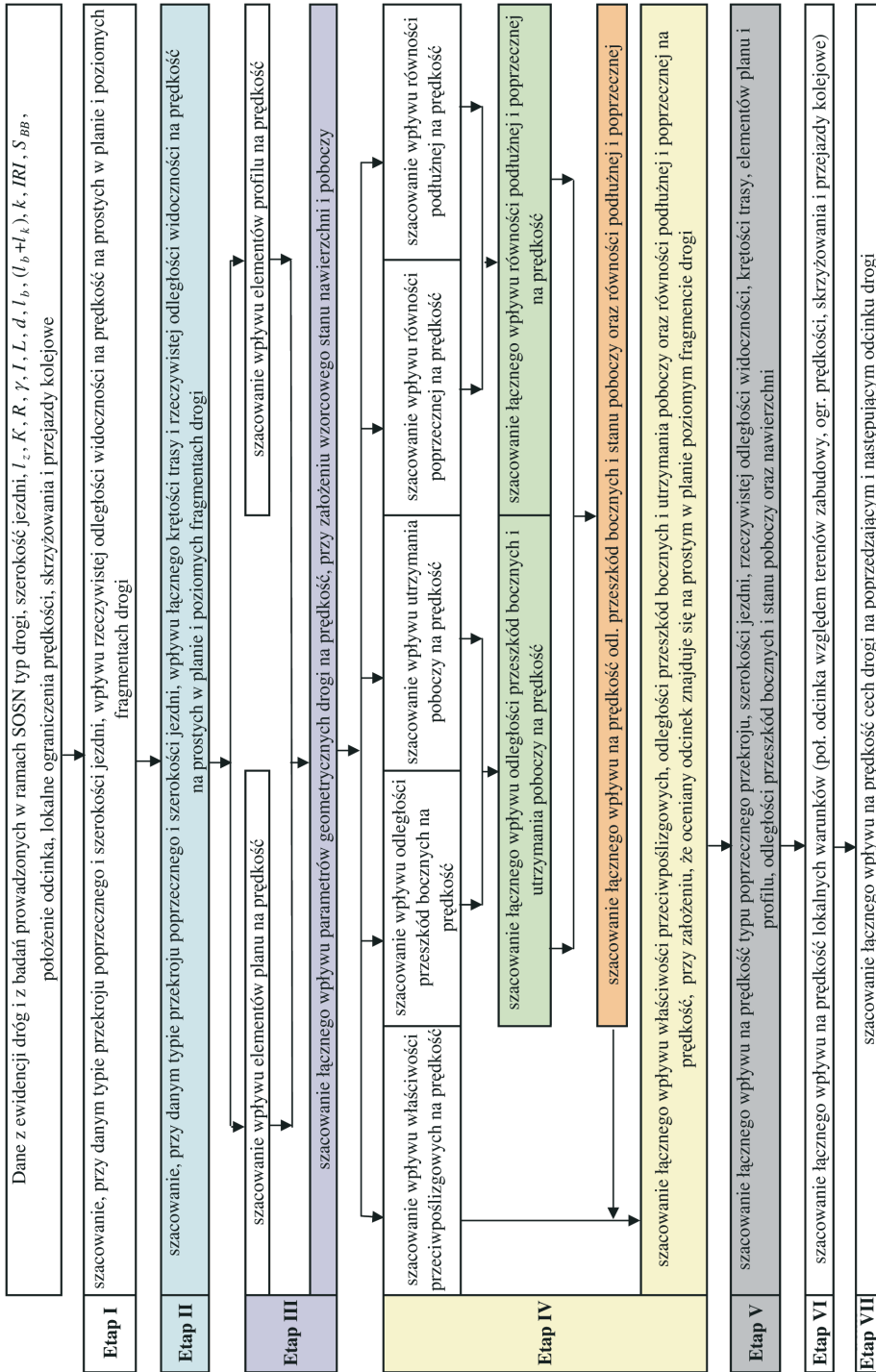
Jednak model ruchu swobodnego w obecnym stanie opracowania nie pozwala na ocenę wpływu poszczególnych cech eksploatacyjnych nawierzchni na prędkość, co powoduje, że wykorzystanie go do oceny stanu drogi przy wyborze rodzaju robót związanych z utrzymaniem lub remontem jest niemożliwe. Ponadto w modelu ruchu swobodnego nie uwzględnia się wpływu na prędkość krętości trasy, rzeczywistej odległości widoczności i stanu poboczy gruntowych, ważnych czynników, które także oddziałują na kierowcę w trakcie jazdy przy niekorzystnych warunkach pogodowych (rys. 11).



Rys. 11. Różny stan nawierzchni i poboczy gruntowych

Fig. 11. The different condition of the road surfaces and the ground shoulders

Uwzględniając szerokie spektrum możliwych analiz oraz funkcjonalność selektywnego szacowania wpływu cech drogi na poszczególne miary pozycyjne prędkości zaproponowano rozszerzenie modelu ruchu swobodnego i wykorzystanie go przy przedmiotowej ocenie stanu dróg ze względu na wartości użytkowe drogi. Proponowaną kolejność szacowania wspólnego wpływu wybranych cech drogi na wartości użytkowe drogi przedstawiono na rysunku 12a. W celu uproszczenia i skrócenia zapisu poszczególnych zależności wszystkie, przedstawione na rysunku 12b, funkcje bazują na szacowaniu 85 % kwantylu prędkości. Analogicznie proponuje się szacować średnie prędkości samochodów osobowych i ciężarowych w ruchu swobodnym, uwzględniając odpowiednie ich wartości w poszczególnych etapach.



Rys. 12a. Algorytm szacowania łącznego wpływu wybranych cech drogi na prędkość [12]  
 Fig. 12a. The algorithm of estimation of the joint effect of selected road parameters on the velocity [12]

Modele matematyczne wymienione w etapie I, II i IV na rysunku 12b zaproponowane są przez autorkę [12], pozostałe modele pochodzą z modelu ruchu swobodnego i zostały opracowane przez zespół naukowy działający pod kierownictwem *T. Szczuraszka* [8].

Dane z ewidencji dróg i z badań prowadzonych w ramach SOSN: typ przekroju poprzecznego drogi, szerokość jezdni, $l_z$ , $K$ , $R$ , $\gamma$ , $I$ , $L$ , $d$ , $l_b$ , $l_b+l_k$ , $k$ , $IRI$ , $S_{BB}$ , położenie odcinka, lokalne ograniczenia prędkości, skrzyżowania i przejazdy kolejowe					
<b>Etap I</b>	$v_{85p} = v_{85w} - f(l_z)$				
<b>Etap II</b>	$v_{85o} = v_{85p} - f(K) = [v_{85w} - f(l_z)] - f(K)$				
<b>Etap III</b>	$W_1 = \frac{v_{85}^{(R,\gamma)}}{v_{85o}}$	$W_2 = \frac{v_{85}^{(I,L)}}{v_{85o}}$			
	$W_{(1-2)} = W_M W_W^{(0,7-0,05I)}$	$W_M = \min\{W_1, W_2\}$ $W_W = \max\{W_1, W_2\}$	$v_{85(1-2)} = W_{(1-2)} v_{85o}$		
<b>Etap IV</b>	$W_3 = \frac{v_{85}^{(SBB)}}{v_{85o}}$	$W_4 = 1,023 - 0,208 \cdot 2,98^{-d}$	$W_5 = \frac{v_{85}^{(I)}}{v_{85o}}$	$W_6 = \frac{v_{85}^{(k)}}{v_{85o}}$	$W_7 = \frac{v_{85}^{(IRI)}}{v_{85o}}$
	$W_{(4,5)} = W_M W_W^{\frac{1}{3}W_M}$		$W_{(6,7)} = W_M W_W^{\frac{1}{3}W_M}$		
	$W_M = \min\{W_4, W_5\}$ $W_W = \max\{W_4, W_5\}$		$W_M = \min\{W_6, W_7\}$ $W_W = \max\{W_6, W_7\}$		
	$W_{(4-7)} = W_M W_W^{\frac{1}{3}W_M}$		$W_M = \min\{W_{(4,5)}, W_{(6,7)}\}$ $W_W = \max\{W_{(4,5)}, W_{(6,7)}\}$		
	$W_{(3-7)} = W_M W_W^{\frac{1}{3}W_M}$	$W_M = \min\{W_{4-7}, W_3\}$ $W_W = \max\{W_{4-7}, W_3\}$	$v_{85(3-7)} = W_{(3-7)} v_{85o}$		
<b>Etap V</b>	$W_{(1-7)} = W_M W_W^{W_M(0,33-0,01I)}$	$W_M = \min\{W_{(1-2)}, W_{(3-7)}\}$ $W_W = \max\{W_{(1-2)}, W_{(3-7)}\}$	$v_{85(1-7)} = W_{(1-7)} v_{85o}$		
<b>Etap VI</b>	$W_{(1-10)} = \min\{W_{(1-7)}, W_8, W_9, W_{10}\}$	$W_8 = f(\text{położenie względem terenów zabudowanych})$ $W_9 = f(\text{lokalne ograniczenie prędkości})$ $W_{10} = f(\text{położenie względem skrzyżowania lub przejazdu kolejowego})$			
<b>Etap VII</b>	$W(P)_j = \Omega [W_{(1-10)_j}, W_{(1-10)_{j-1}}]$		$W(N)_j = \Lambda [W_{(1-10)_j}, W_{(1-10)_{j+1}}]$		

Rys. 12b. Siedmioetapowy model szacowania łącznego wpływu wybranych cech drogi na prędkość (interpretacja na przykładzie prędkości  $v_{85}$ ) [12]

Fig. 12b. The seven-stage system of models to estimate the joint effect of the selected road features on the velocity (interpretation on the  $v_{85}$  velocity example) [12]

## Oznaczenia do rysunku 12b

- $l_z$  – rzeczywista odległość widoczności, [m],  
 $K$  – krętość trasy, [ $^{\circ}$ /km],  
 $R$  – promień krzywizny poziomej, [m],  
 $\gamma$  – kąt zwrotu trasy, [ $^{\circ}$ ],  
 $I$  – pochylenie podłużne na wzniesieniu, na spadku  $I = 0,625 |I'|$ ,  
 gdzie  $I'$  oznacza faktyczne pochylenie drogi na spadku, [%],  
 $L$  – długość pochylenia podłużnego, [m],  
 $d$  – odległość przeszkód bocznych, [m],  
 $l_b$  – szerokość zwierciadła wody na poboczu podczas deszczu, [m],  
 $l_b + l_k$  – szerokość zwierciadła wody na jezdni i poboczu podczas deszczu,  
 [m],  
 $k$  – głębokość koleiny wg SOSN, [mm],  
 $IRI$  – wskaźnik równości podłużnej wg SOSN, [mm/m],  
 $S_{BB}$  – właściwości przeciwpoślizgowe wg SOSN [-].  
 $v_w$  – parametry rozkładu prędkości oszacowane na poziomym i prostym w planie fragmencie drogi, przy danym typie przekroju poprzecznego, szerokości jezdni, wzorcowym stanie pobocza i nawierzchni, [km/h],  
 $v_p$  – parametry rozkładu prędkości na prawie poziomym i prostym w planie fragmencie drogi z wzorcowym stanem pobocza i nawierzchni, ( $K = 5$   $^{\circ}$ /km), przy danym typie przekroju poprzecznego i szerokości jezdni, otrzymane z szacowania wpływu rzeczywistej odległości widoczności na prędkość, [km/h],  
 $v_o$  – parametry rozkładu prędkości na prawie poziomym i prostym w planie fragmencie drogi z wzorcowym stanem pobocza i nawierzchni, przy danym typie przekroju poprzecznego, szerokości jezdni, otrzymane z szacowania łącznego wpływu rzeczywistej odległości widoczności i krętości trasy na prędkość, [km/h],  
 $v_{(1-2)}$  – parametry rozkładu prędkości, otrzymane z szacowania łącznego wpływu na prędkość typu przekroju poprzecznego, szerokości jezdni, krętości trasy, rzeczywistej odległości widoczności, parametrów geometrycznych w planie i w profilu, przy założeniu wzorcowego stanu pobocza i nawierzchni, [km/h],  
 $v_{(3-7)}$  – parametry rozkładu prędkości na prawie poziomych odcinkach drogi prostej w planie, otrzymane z szacowania łącznego wpływu na prędkość typu przekroju poprzecznego, szerokości jezdni, krętości trasy, rzeczywistej odległości widoczności, odległości przeszkód bocznych i stanu pobocza oraz cech eksploatacyjnych, [km/h],

- $v_{(1-7)}$  – parametry rozkładu prędkości, otrzymane z szacowania łącznego wpływu na prędkość typu przekroju poprzecznego, szerokości jezdni, krętości trasy, rzeczywistej odległości widoczności, parametrów geometrycznych w planie i w profilu, odległości przeszkód bocznych, stanu pobocza, cech eksploatacyjnych, [km/h],
- $W_i$  – współczynniki oddzielnego wpływu wybranych cech drogi na prędkość,
- $W_{(k-l)}$  – współczynniki łącznego wpływu na prędkość wybranych cech drogi od  $k$  do  $l$ ,
- $W_{(1-10)_j}$  – współczynnik łącznego wpływu dziesięciu wybranych cech drogi na prędkość na ocenianym  $j$ -tym odcinku,
- $W_{(1-10)_{j-1}}$  i  $W_{(1-10)_{j+1}}$  – współczynniki łącznego wpływu dziesięciu wybranych cech drogi na prędkość, charakteryzujących fragment drogi poprzedzający oceniany odcinek i fragment drogi następujący po ocenianym odcinku,
- $W(P)_j$  i  $W(N)_j$  – współczynniki łącznego wpływu dziesięciu wybranych cech drogi na prędkość, charakteryzujących odpowiednio oceniany odcinek i fragment drogi go poprzedzający lub fragment drogi następujący po nim.

W zaproponowanym modelu szacowania łącznego wpływu cech drogi na prędkość w odróżnieniu od modelu ruchu swobodnego [8], wprowadzono dodatkowe dwa etapy szacowania prędkości na fragmentach dróg prostych w planie. Etap I proponowanego systemu modeli łącznego wpływu cech drogi na prędkość stanowi oszacowanie wpływu rzeczywistej odległości widoczności na parametry rozkładu prędkości na prawie poziomym i prostym w planie fragmencie drogi, przy założeniu wzorcowych wartości pozostałych cech drogi.

W etapie II proponowanego systemu modeli łącznego wpływu cech drogi na parametry rozkładu prędkości zaproponowano oszacowanie wpływu krętości trasy na prędkość (rys. 12a i 12b). Na tym etapie przy oszacowaniu zakłada się wzorcowy stan nawierzchni i poboczy.

W następnym etapie na podstawie potwierdzonego statystycznie dodatkowego uwzględnienia wpływu krętości trasy przy ocenie wpływu cech eksploatacyjnych nawierzchni i stanu poboczy na prędkość autorka zaproponowała zmodyfikowane modele oszacowania wpływu elementów planu i profilu drogi na prędkość. W modelach zaproponowanych w [1] w 80-tych latach XX w. prędkość, względem której szacowano zmniejszenie prędkości wywołane elementami krzywoliniowego fragmentu drogi wyznaczona była na prostym w planie fragmencie drogi o długości 550 – 1200 m z rzeczywistą odległością widoczności równą minimum 450 m, a prędkość, względem której szacowano zmniejszenie prędkości wywołane elementami profilu drogi wyznaczona była na prostym w planie fragmencie drogi o długości równej 400 m bez



względem na odległość widoczności. W zmodyfikowanych modelach ujednociono prędkość, względem, której szacuje się zmniejszenie prędkości wywołane elementami krzywoliniowego fragmentu drogi lub elementami profilu podłużnego i dołączono dodatkowy człon uwzględniający wpływ krętości trasy, zgodnie z proponowanym modelowaniem matematycznym (rys. 7 – prawa środkowa część).

W etapie IV proponowanego modelu szacowania łącznego wpływu cech drogi na prędkość (rys. 12a i 12b), zaproponowano zupełnie inne i nowe podejście przy szacowaniu wpływu na prędkość stanu poboczy oraz cech eksploatacyjnych nawierzchni. W etapie tym zakłada się, że oceniane odcinki znajdują się na poziomych i prostych w planie fragmentach drogi. Następnie kolejno szacuje się najpierw wpływ oddzielnych elementów stanu poboczy i cech eksploatacyjnych nawierzchni na prędkość, a następnie ich łączny wpływ na prędkość. Przy czym, najpierw szacuje się wpływ elementów stanu poboczy i oddzielnie wpływ równości powierzchni drogi i wpływ właściwości przeciwpoślizgowych. Następnie szacuje się łączny wpływ stanu poboczy oraz równości nawierzchni na prędkość i w końcu łączny wpływ wszystkich cech eksploatacyjnych łącznie z właściwościami przeciwpoślizgowymi na prędkość. Wynikowy współczynnik  $W_{(3-7)}$  uwzględnia łączny wpływ stanu nawierzchni i poboczy na prędkość na zakładanym poziomym i prostym w planie fragmencie drogi.

W etapie V określa się wspólny wpływ wszystkich uwzględnianych wyżej cech drogi na prędkość (rys. 12a i 12b).

## 5. WERYFIKACJA WIARYGODNOŚCI PROPONOWANEGO MODELU, SZACUJĄCEGO ŁĄCZNY WPLYW CECH DROGI NA PRĘDKOŚĆ

W ramach dodatkowych badań w celu uzyskania potwierdzenia wiarygodności i poprawności proponowanego modelu oraz modelowania matematycznego przeprowadzono weryfikację szacowania łącznego wpływu cech drogi na prędkość na istniejących drogach z różnym stanem eksploatacyjnym przy szerokości jezdni:

- 7 m na fragmencie drogi z krętością trasy równą  $27^\circ/\text{km}$  (tabl. 2a i 2b),
- 6 m na fragmencie drogi z krętością trasy równą  $33^\circ/\text{km}$  (tabl. 3a i 3b).

Do badań wybrano odcinki dróg z różnym stanem poboczy i nawierzchni, dotychczas nieuwzględniane w badaniach. W pierwszej kolejności weryfikację wiarygodności proponowanych modeli przeprowadzono w odniesieniu do odcinków o szerokości jezdni 7 m stosując test istotności dla średniej, uwzględniając dane eksperymentalne i dane teoretyczne otrzymane z szacowania wpływu różnego stanu poboczy gruntowych, głębokości kolein i szorstkości na średnie prędkości samochodów osobowych. Oszacowane wg modelu opisanego wzorem (5) średnie prędkości grupy samochodów osobowych uwzględniały także różnicę krętości trasy, gdyż faktyczna krętość trasy była równa  $K = 27^\circ/\text{km}$ . Weryfikacja głównie dotyczyła potwierdzenia poprawności poszczególnych funkcji na odcinkach dróg z inną krętością trasy niż wzorcowa (tabl. 2a i 2b).

Tablica 2a. Wartości uwzględnianych cech drogi i odpowiadających im prędkości  $v_{85}$  na przykładowych odcinkach, wybranych do weryfikacji proponowanego modelowania (szerokość jezdni równa 7 m i krętość trasy równa  $27^\circ/\text{km}$ )  
 Table 2a. Values of considered road features and corresponding  $v_{85}$  velocities on example sections, selected to verify the proposed model (the width of the runway is equal to 7 m and the bendiness is equal to  $27^\circ/\text{km}$ )

Lp.	Wartości ocenianych cech drogi													Prędkości, oszacowane na podstawie proponowanych modeli, [km/h]						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
	Pikieta ocenianego odcinka, [km]																			
	Szerokość zwierciadła wody na poboczu, [m]																			
	Szerokość zwierciadła wody na nawierzchni, [m]																			
	Odległości przeszkód bocznych, [m]																			
	Szerokość jezdni, [m]																			
	Szerokość poboczy gruntowych, [m]																			
	Rzeczywista odległość widoczności, [m]																			
	Pochylenie podłużne, [%]																			
	Długość pochylenia, [m]																			
	Szorstkość nawierzchni, [-]																			
	Głębokość koleiny, [mm]																			
	Wskaźnik równości podłużnej, [mm/m]																			
	Promień łuku kołowego, [m]																			
	Wartość pochylenia poprzecznego, [%]																			
	Pikieta początku krzywej																			
	Pikieta końca krzywej																			
	Kąt zwrotu trasy, [°]																			
	$V_{p85}$																			
	$V_{a85}$																			
	$V_{R10}$																			
	$V_{R10}^{85}$																			
	$V_{(p)}$																			
	$V_{(p)}^{85}$																			
	$V_{(l)}$																			
	$V_{(l)}^{85}$																			
	$V_{(l)+}^{85}$																			
	$V_{(y)}$																			
	$V_{(y)}^{85}$																			
	$V_{(s)}$																			
	$V_{(s)}^{85}$																			
	$V_{85 \text{ min}}$																			

Tablica 2b. Wartości kolejnych współczynników łącznego wpływu cech drogi na prędkość i rezultaty testu istotności dla dwóch średnich  $t$  (przy poziomie istotności  $\alpha = 0,05$  krytyczna wartość testu istotności wynosi  $u_{\alpha} = 1,96$ )  
 Table 2b. Values of subsequent coefficients of the total impact of road features on velocity and the significance test results for two means  $t$  (at significance level  $\alpha = 0,05$ , the critical value of the significance test  $u_{\alpha} = 1,96$ )

Lp.	Wartości kolejnych współczynników łącznego wpływu cech drogi na prędkość													Dane do testu istotności dla dwóch średnich								
	$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$	$W_6$	$W_7$	$W^{(1-2)}$ - łączny wpływ geometrii drogi na prędkość	$W^{(3-4)}$	$W^{(5-6)}$	$W^{(6)}$	$W^{(2-7)}$ - łączny wpływ stanu nawierzchni i poboczy na prędkość	$W^{(1-7)}$ - łączny wpływ geometrii, stanu nawierzchni i poboczy na prędkość	$V^{85(1-7)}$ - prędkość, oszacowana wg proponowanego systemu modeli, [km/h]	$V^{85}$ - wartość prędkości z pomiarów, [km/h]	$V^{85 \text{ min}}$	Liczebność próby pomiarowej na ocenianym odcinku	Odczylenie standardowe, [km/h]	$V_{sp}^o$ - średnia prędkość, oszacowana wg proponowanego systemu modeli, [km/h]	$V_{sp}^p$ - wartość prędkości z pomiarów, [km/h]	Wartość testu istotności dla dwóch średnich $t$	
28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1	45.800	0,95	0,95	0,96	0,89	0,89	1,00	0,91	0,91	0,94	0,89	0,87	0,94	0,89	101,5	101,3	101,8	140	11,6	91,2	90,3	-0,94
2	45.800	1,00	0,95	0,97	0,90	0,90	1,00	0,91	0,95	0,94	0,90	0,88	0,94	0,92	104,9	101,3	103,1	140	11,6	92,2	90,3	-1,94
3	48.000	1,00	0,98	1,00	0,91	0,92	1,00	0,92	0,98	0,92	0,89	0,89	0,94	0,93	103,1	99,2	101,2	144	10,5	91,0	91,1	0,16
4	46.900	1,00	0,98	1,00	0,92	0,89	1,00	0,92	0,98	0,92	0,89	0,87	0,94	0,93	104,1	101,0	99,1	144	10,4	92,3	91,0	-1,53
5	45.000	1,00	0,99	1,00	0,91	0,86	1,00	0,91	0,99	0,91	0,86	0,84	0,93	0,93	103,1	100,3	95,9	128	11,7	90,0	89,0	-0,97
6	46.600	1,00	0,97	1,00	0,99	0,91	1,00	0,91	0,97	0,99	0,91	0,91	0,94	0,93	105,4	101,3	103,0	127	10,8	93,0	91,2	-1,90
7	43.700	1,00	1,00	1,00	0,94	0,98	1,00	0,93	1,00	0,94	0,98	0,93	0,96	0,96	108,8	105,1	104,9	198	13,9	94,0	92,2	-1,83
8	44.900	1,00	1,00	1,00	0,91	0,86	1,00	0,89	1,01	0,91	0,86	0,84	0,92	0,92	102,0	102,8	95,9	206	13,7	90,0	88,3	-1,78
9	46.800	1,00	1,00	1,00	0,94	0,86	1,00	0,92	1,01	0,94	0,86	0,85	0,93	0,93	103,1	102,8	95,3	124	14,3	91,0	88,8	-1,68
10	47.000	1,00	1,00	1,00	0,92	0,92	1,00	0,94	1,01	0,92	0,92	0,90	0,95	0,95	105,4	106,8	101,5	139	15,2	91,9	90,1	-1,41
11	45.200	1,00	1,00	1,00	0,92	0,86	1,00	0,89	1,01	0,92	0,86	0,84	0,92	0,92	102,0	103,7	95,0	130	13,8	90,0	87,7	-1,90
12	43.900	1,00	1,00	1,00	0,91	0,92	1,00	0,92	1,00	0,91	0,92	0,89	0,94	0,94	104,2	105,5	101,0	144	12,2	91,9	91,2	-0,71

Tablica 3a. Wartości uwzględnianych cech drogi i odpowiadających im prędkości  $v_{85}$  na przykładowych odcinkach, wybranych do weryfikacji proponowanego modelowania (szerokość jezdni równa 6 [m] i krętość trasy równa  $33^\circ/\text{km}$ )  
 Table 3a. Values of selected road features and corresponding  $v_{85}$  velocities on exemplary sections, selected to verify the proposed model (the width of the runway is equal to 6 [m] and the bendiness is equal to  $33^\circ/\text{km}$ )

Lp.	Wartości ocenianych cech drogi																	Prędkości, oszacowane na podstawie proponowanych modeli, [km/h]																
	Pikieta ocenianego odcinka, [km]	Szerokość zwierciadła wody na nawierzni, [m]	Szerokość zwierciadła wody na poboczu, [m]	Szerokość przeszkód bocznych, [m]	Szerokość jezdni, [m]	Szerokość poboczy gruntowych, [m]	Rzeczywista odległość widoczności, [m]	Pochylenie podłużne, [%]	Długość pochylenia, [m]	Szorstkość nawierzchni, [-]	Głębokość koleiny, [mm]	Wskaźnik równości podłużnej, [mm/m]	Promień łuku kołowego, [m]	Wartość pochylenia poprzecznego, [%]	Pikieta początku krzywej	Pikieta końca krzywej	Kąt zwrotu trasy, [°]	$v_{p85}$	$v_{o85}$	$v_{85}^{(R \neq \mu)}$	$v_{85}^{(T \neq L)}$	$v_{85}^{(p)}$	$v_{85}^{(l_1)} \text{ lub } v_{85}^{(l_2)}$	$v_{85}^{(s)}$	$v_{85}^{(88)}$	$v_{85 \text{ min}}$								
1	8,4-8,5	0,10	0,00	2,00	6,06	2,0	600	0,40	300	63	14						18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	104,4	104,4	102,1	96,9	100,4	95,5	93,9	94,8
2	8,2-8,3	0,15	0,00	2,00	6,08	2,4	400	1,30	300	54	9							111,4	106,6	106,6	108,3	106,6	102,6	103,2	102,1	102,1	102,1	102,1	97,9	100,4	98,6	94,8		
3	8,9-9,0	0,36	0,00	2,00	6,10	1,7	400	0,40	300	43	9							111,4	106,6	106,6	109,4	106,6	96,9	103,2	103,2	103,2	103,2	103,2	97,9	100,4	98,6	94,8		
4	8,2-8,3	0,15	0,00	2,00	6,10	2,0	350	-1,30	300	54	9							110,1	105,9	105,9	109,0	105,8	101,8	101,8	102,5	102,5	102,5	100,4	100,4	98,6	95,5	93,9	94,8	
5	7,6-7,7	0,19	0,00	2,00	6,14	1,1	200	-1,30	300	46	14							108,1	103,9	103,9	107,4	103,8	98,8	98,8	98,6	98,6	98,6	95,5	95,5	93,9	94,8			
6	7,8-7,9	0,18	0,00	2,00	5,92	1,4	200	1,20	300	61	30							108,1	103,9	103,9	106,9	103,8	99	99	93,9	100,9	100,9	93,9	93,9	93,9	94,8			
7	8,4-8,5	0,32	0,00	2,00	5,94	1,5	250	-0,40	300	44	11							108,1	103,9	103,9	107,8	103,8	95,2	95,2	99,5	99,5	99,5	94,8	94,8	94,8	94,8	94,8	94,8	

Tablica 3b. Wartości kolejnych współczynników łącznego wpływu cech drogi na prędkość i rezultaty testu istotności dla dwóch średnich  $t$  (przy poziomie istotności  $\alpha = 0,05$  krytyczna wartość testu istotności wynosi  $u_\alpha = 1,96$ )  
 Table 3b. Values of subsequent coefficients of total impact of road features on velocity and the significance test results for two means  $t$  (at significance level  $\alpha = 0,05$ , critical value of significance tests  $u_\alpha = 1,96$ )

Lp.	Pikietaż ocenianego odcinka, [m]	Wartości kolejnych współczynników łącznego wpływu cech drogi na prędkość														Dane do testu istotności dla dwóch średnich				Wartość testu istotności dla dwóch średnich $t$			
		W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4</sub>	W <sub>5</sub>	W <sub>6</sub>	W <sub>7</sub>	W <sup>(1-2)</sup>	W <sup>(3-4)</sup>	W <sup>(5-6)</sup>	W <sup>(3-6)</sup>	W <sup>(3-7)</sup>	W <sup>(1-7)</sup>	V <sup>85(1-7)</sup>	V <sup>85</sup>	V <sup>85 min</sup>	Liczoność próby pomiarowej na ocenianym odcinku	Odczylenie standardowe, [km/h]		V <sup>85</sup> - średnia prędkość, oszacowana wg proponowanego systemu modeli, [km/h]	V <sup>0,85</sup> - wartość prędkości z pomiarów, [km/h]	
1	8,4-8,5	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,94	0,94	0,98	106,4	104,1	102,4	46	10,7	92,2	92,5	49	50
2	8,2-8,3	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,95	0,95	0,96	102,3	102,2	102,0	143	11,5	89,1	90,7	48	0,31
3	8,9-9,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,95	0,95	0,95	101,3	99,8	97,8	140	10,0	88,6	89,8	47	1,66
4	8,2-8,3	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,95	0,95	0,96	102,3	101,4	98,6	151	12,1	89,1	90,7	46	1,42
5	7,6-7,7	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,89	0,89	0,93	96,6	100,4	95,6	142	13,8	86,4	88,6	45	1,90
6	7,8-7,9	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,85	0,85	0,94	97,7	98,7	92,7	148	12,4	89,0	88,6	44	-0,39
7	8,4-8,5	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,90	0,93	96,6	99,9	92,8	135	10,2	90,3	89,5	43	-0,91

W drugim przypadku weryfikacja głównie dotyczyła poprawności proponowanych modeli do szacowania oddzielnego wpływu cech eksploatacyjnych i stanu poboczy na prędkość na drogach z inną szerokością jezdni (tabl. 3a i 3b). Wszystkie modele szacujące wpływ zmniejszenia prędkości wywołanego inną wartością danej cechy niż wartość wzorcowa były opracowane na drogach z szerokością jezdni równą 7 m. Dlatego tak istotne było uzyskanie potwierdzenia statystycznego poprawności opracowanych modeli na dodatkowych odcinkach, znajdujących się na fragmencie drogi o szerokości jezdni 6 m i krętości trasy równej  $33^\circ/\text{km}$ . Takie założenia weryfikacji dawały podstawy potwierdzenia poprawności zaproponowanych modeli (rys. 12a i 12b) nie tylko w odniesieniu do funkcji szacujących oddzielny wpływ cech drogi na prędkość i zmniejszenia prędkości  $v = f(x)$  spowodowanego inną wartością danej cechy niż wartość wzorcowa, ale także w odniesieniu do końcowych funkcji szacujących łączny wpływ cech drogi na prędkość.

Rezultaty testu istotności dla średniej (tabl. 2a i 2b oraz 3a i 3b) potwierdziły wiarygodność zaproponowanych modeli do szacowania łącznego wpływu cech drogi na parametry rozkładu prędkości. We wszystkich przypadkach przy poziomie ufności  $\alpha = 0,95$  wyniki testu były mniejsze niż wartości krytyczne wyznaczone wg standardowych zasad zawartych w [20 - 22].

Chociaż wyniki testu istotności potwierdziły we wszystkich przypadkach poprawność obliczeń według proponowanego systemu modeli łącznego wpływu cech drogi na prędkość, to jednak wartości oszacowanych prędkości  $v_{(1-7)}$  nieznacznie różniły się od wartości empirycznych otrzymanych z pomiarów (1 - 2%). Dlatego w przyszłości wskazane by było opracowanie funkcji, szacujących ilościowo wpływ na prędkość stanu drogi na poprzedzającym i następującym odcinku drogi, zgodnie z teoretycznymi założeniami etapu VII [8].

## 6. PODSUMOWANIE

Przedstawiony wieloetapowy model szacowania łącznego wpływu cech drogi na prędkość daje szerokie możliwości aplikacyjne. Nie zastępuje on istniejących systemów stosowanych do oceny stanu nawierzchni SOSN lub płynności ruchu, tylko znacznie rozszerza poziom wiedzy i informacji o eksploatacji danej drogi.

Uzyskane na podstawie wieloetapowego szacowania profile miar pozycyjnych prędkości wzdłuż drogi stanowią podobnie jak model ruchu swobodnego bazę do kolejnych analiz tj.: płynności ruchu, komfortu jazdy, przepustowości i oceny brd [8], a także pozwalają szacować efektywność ekonomiczną uzyskaną z wykonania robót drogowych oraz zmniejszenie kosztów własnych ponoszonych przez użytkowników, tj. transportu drogowego i eksploatacji samochodów. Ponadto stwarzają możliwość dalszych analiz np. organizacji ruchu, wyselekcjonowania miejsc o dużych różnicach wybranych miar pozycyjnych prędkości na następujących po sobie odcinkach dróg, szacowania prognozowanego poziomu hałasu (nie tylko z uwzględnieniem zwiększonych prędkości, ale także z uwzględnieniem poprawionego stanu nawierzchni w wyniku przeprowadzonego remontu) oraz określenia zmniejszenia kosztów emisji toksycznych składników spalin (dzięki porównaniu kosztów eksploatacji pojazdów przy stanie nawierzchni przed remontem i po jego wykonaniu), itd.



## BIBLIOGRAFIA

- [1] *Datka St., Suchorzewski W., Tracz M.*: Inżynieria ruchu. WKŁ, 2, Warszawa 1997, 488
- [2] *Krystek R.*: Prędkość a bezpieczeństwo ruchu drogowego. III Konferencja Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego, GDDP, Serock 27 - 29 kwiecień 1998
- [3] *Watanatada T.*: The Highway Design and Maintenance Standards Model. Vol. 1 Description of the HDM-III Model, A World Bank Publication, The Johns Hopkins University Press Baltimore and London 1987, 280
- [4] *Hobbs F.D., Richardson B.D.*: Badania ruch drogowego. WKŁ, Warszawa 1971, 182
- [5] *Janoff M.S.*: Pavement Roughness and Readability. NCHRP-Report 275, Transportation Research Board, Washington D.C. 1985
- [6] *Walawski P.*: Droga - bezpieczeństwo ruchu. WKŁ, Warszawa 1980, 114
- [7] System oceny stanu nawierzchni SOSN. Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych, Warszawa 2002, 98
- [8] *Szczuraszek T., Kempa J.*: The Method of Selection of Optimum Geometrical Parameters of Rural Roads, Scientific Conference Transport Systems Engineering „Logistics and Technology of Transport”, Warszawa 1995, section 1, 143 - 148
- [9] *Gaca St.*: Badania prędkości pojazdów i jej wpływu na bezpieczeństwo ruchu drogowego. Praca habilitacyjna, Politechnika Krakowska, Kraków 2002
- [10] Ogólnokrajowe Studium Pomiaru Prędkości Pojazdów i Wykorzystania Pasów Bezpieczeństwa. Projekt prowadzony na terenie całego kraju w latach 2005 - 2008 przez Ministerstwo Infrastruktury, <http://www.spot.gov.pl/1,19,1,3,261.html> i [www.signalco.pl](http://www.signalco.pl).
- [11] *Lamm R., Choueri E.M., Psarianos B.P.*: A practical safety approach to highway geometric design. International case studies, Int. Symposium on Highway Geometric Design Practices, Boston, September 1995
- [12] *Sołowczuk A.*: Naukowe podstawy oceny stanu dwupasowych dróg dwukierunkowych ze względu na ich wartości użytkowe. Rozprawa habilitacyjna, Moskiewski Samochodowo-Drogowy Instytut (Państwowy Uniwersytet Techniczny) MADI GTU, Moskwa 2005, 399
- [13] Dane pogodowe ze Stacji Meteorologicznej w Gorzowie Wlkp. z roku 1999. Szczecin 2000
- [14] Dane pogodowe ze Stacji Meteorologicznej w Szczecinie Dąb z lat 1997-1998 zestawione dla regionu Szczecina dla Instytutu Meteorologicznego i Gospodarki Wodnej w Gdyni. Szczecin 2000
- [15] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 02.03.1999 r. w sprawie „warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie”. DziennikUstaw Rzeczypospolitej Polskiej nr 43/1999, Warszawa
- [16] *Koppel G.*: Die neue Ral-L-1. Strasse und Verkehr, nr 10/1973, 572 - 578

- [17] *Trapp K.H., Oellers F.W.*: Streckencharakteristik und Gehrverhalten auf zweispurigen Luesraben. Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, nr 178/1974, 48
- [18] *Sandecki T.*: Projektowanie dróg. Kryterium względnego odchylenia kąтового. WKŁ, Warszawa 1976, 77
- [19] *Szpinek St.*: Jak przeliczać współczynnik tarcia nawierzchni, Drogownictwo, nr 10/2002, 288 - 294
- [20] *Tracz M.*: Pomiary i badania ruchu drogowego. WKŁ 1984, 286
- [21] *Greń J.*: Statystyka matematyczna, modele i zadania. PWN, Warszawa 1982, 363
- [22] *Zieliński R.*: Tablice statystyczne. PWN, Warszawa 1972, 381

## INFORMACJE DODATKOWE

Aparatura pomiarowa, wykorzystana do wykonania badań terenowych, została sfinansowana ze środków Komitetu Badań Naukowych (Decyzja 1829/IA/108/96, wniosek nr IA/926/96).

## MODELLING OF THE IMPACT OF SELECTED ROAD FEATURES ON THE FREE SPEED

### Abstract

In the paper, the assumptions and the proposed concept of estimation of the total impact of the road features on the speed are presented. The speed is one of the most important road parameters, characterising its usable values. Also road users, the main consumers of road services, pay the biggest attention to the velocity. Therefore the economic efficiency of the road work connected with maintenance, repair and rebuilding of roads should estimate and take into consideration also benefits obtained by road users.

Currently the decisions related to the road work, including maintenance, repair or rebuilding, are taken by their administrator on the basis of the road condition assessment results or analysis of the motor traffic flow. The velocity values are estimated by the systems used neither "before" nor "after" the work execution, so it is difficult to estimate the benefits obtained by road users after the road rebuilding or repair executed.

In the presented model the author shows the essence and sense of a joint effect estimation of the selected road features on the velocity. A number of analyses can be executed on the basis of estimated parameters of the velocity distribution. The road wise velocity profiles can be used not only for analysis of the economic efficiency (it means reduction of the prime costs: borne by users, road transport, vehicles use, emission of toxic exhaust gas components etc.) but also to analyse the road traffic organization, determination of places with a big velocity difference on road sections following one after another, the velocity classification, the flow capacity etc.