

ALICJA BARBARA SOŁOWCZUK

AUTOREFERAT rozprawy habilitacyjnej pt.:

**NAUKOWE PODSTAWY OCENY STANU
DWUPASOWYCH DRÓG DWUKIERUNKOWYCH
ZE WZGLĘDU NA ICH WARTOŚCI UŻYTKOWE**

Szczecin 2006

Rozprawa habilitacyjna została wykonana w Katedrze Dróg, Mostów i Materiałów Budowlanych na Wydziale Budownictwa i Architektury w Politechniki Szczecińskiej w Szczecinie w Polsce.

Obrona odbyła się 17 listopada 2005 r. o godz. 10 na posiedzeniu Rady Habilitacyjnej D 212.126.02 Centralnej Komisji Kwalifikacyjnej Ministerstwa Nauki Federacji Rosyjskiej w Moskiewskim Samochodowo Drogowym Instytucie (Państwowym Technicznym Uniwersytecie) MADI (GTU) mieszczącym się w Moskwie. Autoreferat pracy habilitacyjnej został rozesłany 1.10.2005 r. do 100 naukowo – badawczych jednostek organizacyjnych.

Konsultant naukowy prof. dr hab. inż. Aleksander Pietrowicz Wasiliew
Oficjalni recenzenci prof. dr hab. inż. Michaił Wasilewicz Niemczinow
 prof. dr hab. inż. Tatiana Wasiliewna Samodurowa
 prof. dr hab. inż. Wahtang Parmienowicz Matua

SPIS TREŚCI AUTOREFERATU

| | |
|---|-----------|
| Ogólna charakterystyka pracy | 3 |
| Aktualność tematu | 3 |
| Cel badań i zadania badawcze | 5 |
| Naukowe znaczenie pracy | 5 |
| Aplikacyjne znaczenie pracy | 6 |
| Obiekt badań | 7 |
| Metody badawcze | 7 |
| Wiarygodność rozwiązań teoretycznych | 7 |
| Realizacja badań | 8 |
| Aprobata pracy | 8 |
| Informacja ogólna o publikacjach | 8 |
| Struktura i objętość pracy | 8 |
| Treść pracy | 9 |
| Wprowadzenie | 9 |
| Rozdział pierwszy | 9 |
| Rozdział drugi | 12 |
| Rozdział trzeci | 33 |
| Rozdział czwarty | 37 |
| Rozdział piąty | 41 |
| Wnioski końcowe | 42 |
| Szczegółowy wykaz ważniejszych publikacji | 44 |
| Spis ważniejszych oznaczeń zastosowanych w pracy | 46 |

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA PRACY

Aktualność tematu. Sieć dróg w Polsce była kształtowana w ciągu dziesiątków lat i jej układ podstawowy można przyjąć za zakończony. Obecnie nowych dróg buduje się mało, a podstawowe zadanie administracji drogowej polega na doprowadzeniu istniejących dróg do stanu odpowiadającego współczesnym normatywom europejskim oraz wymaganiom użytkowników i zwiększonemu obciążeniu.

Podstawowe obciążenie ruchem w Polsce (ok. 80%) przypada na drogi krajowe i wojewódzkie (ok. 48 tys. km), z których tylko 2 % stanowią drogi dwujezdniowe (tj. autostrady i drogi ekspresowe), a 98 % to dwupasowe drogi dwukierunkowe.

Uwzględniając, że na istniejące dwupasowe drogi krajowe i wojewódzkie przypada większe obciążenie ruchem, to podstawowa część nakładów finansowych kierowana jest na zabezpieczenie ich stanu technicznego. W warunkach gospodarki rynkowej zaostriął się główny **problem** podwyższenia ekonomicznej efektywności ponoszonych nakładów finansowych na remont i utrzymanie dróg i jednocześnie zachodzi potrzeba opracowania strategii zarządzania stanem istniejącej sieci drogowej. Podstawą zarządzania powinno być najbardziej efektywne wykorzystanie środków finansowych na utrzymanie i remont, bazujące na **kompleksowym systemowym podejściu** do oceny stanu dróg ze względu na wartości użytkowe, do których zalicza się m.in. prędkość, bezpieczeństwo i ciągłość ruchu, przepustowość, stopień obciążenia drogi ruchem itd.

Zarówno wskaźniki techniczno-eksploatacyjne jak i wartości użytkowe nie są wartościami stałymi. Zmieniają się one w cyklu rocznym, bądź dłuższym i jeśli nie wykona się prac utrzymaniowych lub remontu nawierzchni, to w procesie eksploatacji drogi będzie następować ich pogorszenie. Wobec czego zarządca drogi ma prawo posiadać normowe wytyczne i zalecenia, dotyczące wykonania prac związanych z utrzymaniem, remontem i przebudową dróg, w celu utrzymania koniecznego poziomu technicznego i stanu eksploatacyjnego danej drogi.

Wpływ poszczególnych cech drogi na prędkość analizowali w swoich pracach naukowych następujący badacze B.J.Albert, W.F.Babkow, K.Bickmann, A.K.Birulia, E.Buszma, D.Dames, S.Gaca, J.Goldmann, H.Höcker, N.N.Iwanow, J.M.Jakowlew, J.Josh, H.Jordan, J.Kempa, O.A.Krasikow, R.Krystek, R.Lamm, J.Lange, J.Moor, J.Nasse, M.W.Niemczinow, R.Peltier, R.Pilloli, J.Porter, A.Rudnicki, M.W.Sayers, L.Segel, W.M.Sidienko, W.W.Silianow, W.S.Szatkowski, T.Szczuraszek, M.Tracz, O.Wahlgren, A.P.Wasiliew i in.

Obecnie w Polsce opracowane są różnorodne zoptymalizowane modele związane z rozwiązywaniem poszczególnych zadań zarządzania stanem dróg, jednakże zadania te nie są rozwiązywane kompleksowo i systemowo, a tylko w odniesieniu do oddzielnych problemów. Znane w świecie modele i systemy Pavement Servilibility 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 i polski model ruchu swobodnego nie rozwiązują pełnego zestawu koniecznych zadań w ogólnym systemie monitoringu i potrzebują szczegółowej adaptacji do zarządzania stanem sieci dróg w Polsce.

Analiza poszczególnych metod oceny stanu dróg stosowanych obecnie w Polsce, tj.: oceny stanu nawierzchni SOSN oraz oceny płynności i bezpieczeństwa ruchu wykazała, że różnorodne sposoby oceny nie uwzględniają jednocześnie wszystkich głównych cech drogi. Metody te są stosowane oddzielnie, co nie zawsze pozwala na podjęcie podstawowej i właściwej decyzji o konieczności wykonania prac związanych z utrzymaniem, remontem lub przebudową drogi, pozwalających podwyższyć jej wartości użytkowe. Reasumując, metody te nie są wiarygodną podstawą do podejmowania decyzji o tym kiedy, gdzie i w stosunku, do których konkretnie parametrów geometrycznych lub cech eksploatacyjnych nawierzchni należy koniecznie przeprowadzić potrzebne prace drogowe.

Uwzględniając powyższe, bardzo ważnym zagadnieniem stało się stworzenie naukowych podstaw oceny stanu dróg ze względu na prędkość i opracowanie na tej podstawie zasadniczych procedur praktycznego wyznaczania i uzasadniania przedsięwzięć drogowych związanych z poprawieniem wartości użytkowych.

W latach 1995 – 2002 Katedra Budowy i Eksploatacji Dróg na Wydziale Budownictwa w Moskiewskim Samochodowo–Drogowym Instytucie Państwowego Uniwersytetu Technicznego MADI GTU ze strony rosyjskiej i Katedra Dróg, Mostów i Materiałów Budowlanych na Wydziale Budownictwa i Architektury w Politechnice Szczecińskiej ze strony polskiej, zgodnie z umową o naukowo-technicznej współpracy między wymienionymi uczelniami, prowadziły obszerne prace naukowo-badawcze związane z rozwiązywaniem szeregu problemów. Jedną z tych prac odnosiła się do opracowania naukowych podstaw oceny stanu dróg. Prace te wykonywano pod kierownictwem prof. dr hab. inż. A.P. Wasiliewa. Część badań, zawartych w rozprawie habilitacyjnej, prowadzono przy finansowaniu grantu KBN Decyzja Nr 1829/IA/108/96 załącznik Nr IA/926/96, grantu rektorskiego PS nr RKH 17-0123/17-99-2001 i grantu dziekańskiego WBiA PS nr DKH 17-0302/17-50-00.

Praca habilitacyjna składa się z: wprowadzenia, 5 rozdziałów, wniosków końcowych, spisu literatury i załączników.

Cel badań i zadania badawcze. Celem badań było opracowanie naukowych podstaw metody oceny stanu dróg ze względu na prędkość w ruchu swobodnym i w konsekwencji poprawienie wartości użytkowych drogi.

W celu osiągnięcia wytyczonego celu przewidziano do realizacji następujące zadania badawcze:

– Opracowanie teoretycznych podstaw metody oceny stanu dróg ze względu na ich wartości użytkowe. Opracowana metoda składa się ze zbioru modeli jednoparametrowych i wieloparametrowych, opisujących zarówno oddzielny jak i łączny wpływ cech drogi na prędkość w ruchu swobodnym na mokrej nawierzchni. Modele bazują na teoriach percepcji przez kierowcę warunków drogowych.

– Opracowanie metodyki kompleksowych badań oddzielnego i łącznego wpływu cech drogi na prędkość, a także zasad wyboru odcinków badawczych, pozwalających szacować charakter tego wpływu. Opracowanie systemu modeli szacowania oddzielnego i łącznego wpływu cech drogi na parametry rozkładu prędkości.

– Sformułowanie teoretycznych założeń i opracowanie metodyki uwzględnienia warunków aquaplaningu przy ocenie stanu dróg w nie-sprzyjających warunkach pogodowych.

Naukowe znaczenie pracy. Opracowano naukowe podstawy oceny stanu dróg ze względu na ich wartości użytkowe i nową metodę szacowania wpływu cech drogi na prędkość w ruchu swobodnym. W metodzie tej opracowano zasady przyjęcia odcinków wzorcowych i zaproponowano, podczas oceny stanu eksploatowanych dróg, wydzielenie na nich odcinków z różną krętością trasy i rzeczywistą odległością widoczności, co pozwoliło szacować wpływ cech drogi na końcowe rezultaty ich funkcjonowania.

W pracy wykazano nowe funkcjonalne prawidłowości i opracowano system modeli matematycznych szacujących wpływ cech drogi na parametry rozkładu prędkości, które pozwalają uzasadnić wybór najbardziej efektywnych prac drogowych.

Potwierdzono konieczność uwzględnienia warunków aquaplaningu. Opracowano zależność krytycznej głębokości wody zebranej w koleinie podczas deszczu od: wartości prędkości, ciśnienia powietrza w oponach, gęstości wody, głębokości tekstury i głębokości rowków bieżnika opony. Proponowana zależność to ekstrapolacja funkcji W.W.Czasownikowa, (opisującej krytyczną grubość filmu wodnego dla gładkiej opony z dużym zużyciem bieżnika) i funkcji, opisującej krytyczną grubość filmu wodnego dla opony z różną grubością rowków bieżnika, opracowanej przez firmę Pirelli.

Określając cechę drogi determinującą wpływającą na prędkość, autorka zaproponowała wykorzystanie metody TQM (Total Quality Management) oraz diagramów Pareto–Lorenza i K. Ishikawy, co pozwoliło nie tylko znaleźć cechę drogi x powodującą lokalne obniżenie prędkości (tj. określić rodzaj remontu), ale jednocześnie wyznaczyć jego zakres ($\pm \Delta x$).

Aplikacyjne znaczenie pracy. Praktyczne znaczenie stanowi opracowana metoda szacowania oraz uzasadnienia najbardziej efektywnych przedsięwzięć związanych z poprawieniem cech drogi, bazująca na systemie jednoparametrowych i wieloparametrowych modeli opisujących zarówno oddzielny jak i łączny wpływ cech drogi na parametry rozkładu prędkości.

Rezultaty szacowania łącznego wpływu cech drogi na parametry rozkładu prędkości (tj. otrzymane profile prędkości wzdłuż drogi) mogą stanowić podstawę do dalszych analiz: a) płynności i bezpieczeństwa ruchu, b) komfortu jazdy, zapewnionego na drodze przed i po remoncie, c) organizacji ruchu, d) organizacji pracy służby eksploatacyjnej, e) zdolności przepustowej drogi w istniejących warunkach.

Opracowany nomogram szacowania głębokości wody zebranej w koleinie w trakcie opadu deszczu może być wykorzystany przy przygotowaniu dokumentacji powypadkowej, w przypadkach gdy do wypadku doszło w trakcie deszczu na skoleinowanych drogach.

Opracowana metoda oceny stanu dróg pozwala optymalizować strategię prac związaną z poprawą ekonomicznej efektywności ponoszonych nakładów finansowych na remont i utrzymanie dróg, a także pozwala uzasadnić zmniejszenie kosztów eksploatacji i funkcjonowania dróg oraz kosztów przewozów pasażerów i towarów.

Rezultaty prac naukowo-badawczych wykonywanych w ramach umowy o naukowo-technicznej współpracy między MADI GTU (Rosja) i PS (Polska), były sukcesywnie przekazywane do MADI GTU i są dzisiaj włączone w szereg normatywno-technicznych dokumentów, zatwierdzonych przez Ministerstwo Transportu Federacji Rosyjskiej, do praktycznego ich wykorzystania przez administrację drogową w Rosji.

Podstawy opracowanej metody oceny stanu dróg są wykorzystywane w procesie dydaktycznym w Politechnice Szczecińskiej i w Moskiewskim Samochodowo-Drogowym Instytucie (Państwowym Technicznym Uniwersytecie).

Obiekt badań stanowi sieć dróg krajowych. **Przedmiotem badań** jest naukowe uzasadnienie stosowania systemu modeli zależności parametrów rozkładu prędkości od cech drogi, niezbędnego przy określeniu

determinująco wpływającej cechy drogi na prędkość, jak i przy określeniu łącznego wpływu cech drogi na prędkość.

Metody badawcze. Głównymi metodami badawczymi przyjętymi przez autorkę były metody kontroli jakości TQM i podstawowe zasady metody K. Ishikawy, łącznie z zaproponowanymi przez niego siedmioma elementami kontroli jakości, które wykorzystuje się przy poszukiwaniu „przyczyn” analizowanego „skutku”. W celu otrzymania systemu modeli zależnościowych szacowania oddzielnego i łącznego wpływu cech drogi na parametry rozkładu prędkości wykorzystano modelowanie matematyczne, a także tradycyjne statystyczne testy istotności i zgodności.

Wiarygodność rozwiązań teoretycznych i uzasadnienie zawartych w pracy teorii naukowych oraz podstawowych wniosków i wytycznych potwierdzają nie tylko rezultaty szeregu badań eksperymentalnych przeprowadzonych na polskich drogach, ale także wykazana zgodność teoretycznych i eksperymentalnych danych. Do modelowania matematycznego badanych zależności wykorzystano w znacznej mierze analizy wyników szeregu testów statystycznych. Zaproponowane po raz pierwszy przez autorkę pracy modelowanie matematyczne zależności prędkości od cech drogi zostało potwierdzone wielokrotnie przy opracowaniu poszczególnych zależności prędkości od cech drogi. W badaniach wykorzystano nowoczesne metody planowania eksperymentu i analizy statystycznej. Do opracowania rezultatów badań wykorzystano wiele specjalistycznych komputerowych obliczeniowych i statystycznych programów wraz z weryfikacją ich adekwatności wg ogólnie przyjętych kryteriów.

Realizacja badań. Podstawowe założenia pracy zostały wykorzystane do oceny efektywności ekonomicznej prac drogowych na krajowych drogach w województwie zachodniopomorskim w Polsce oraz do przygotowania dokumentacji powypadkowej w przypadkach, gdy do wypadku drogowego doszło w trakcie deszczu na skoleinowanych drogach.

Rezultaty badań naukowych włączone są w szereg normatywno-technicznych dokumentów, zatwierdzonych przez Ministerstwo Transportu Federacji Rosyjskiej, do praktycznego ich wykorzystania przez administrację drogową w Rosji.

Aprobata pracy. Podstawowe założenia i rezultaty pracy zostały przedstawione na 20 naukowych kongresach i konferencjach drogowych (1 światowym kongresie, 11 międzynarodowych naukowo-technicznych konferencjach, 1 międzynarodowej konferencji MADI GTU, 5 międzyna-

rodowych krajowych konferencjach, 2 krajowych konferencjach PAN), a także na krajowych spotkaniach habilitantów, tj.:

14th IRF Road World Congress, (Paris 2001), International Conference Association mondiale de la Route – World Road Association AIPCR – PIARC „ON SAFE ROADS INTO THE XXI. CENTURY” (Budapest 2000), International Scientific Conference on International Combustion Engines and Vehicles – „MOTAUTO” (Warna 1996, Russe 1997, Sofia 1998, Plovdiv 1999, Sofia 2000, Warna – Złote Piaski 2001, Russe 2002) i International Technical and Scientific Conference „ECO – VARNA” (Warna 1996, 1997, 1999, 2000 i 2002), Międzynarodowa 62 Konferencja MADI GTU (Moskwa 2004), polskie międzynarodowe konferencje: International Conference Technical and Scientific (Poznań 2001), International Conference „Durable and safe road pavements” (Kielce 99, 2000, 2001 i 2002), polskie naukowe konferencje PAN XLVII i XL Konferencja KILiW PAN i Komitetu Nauki PZITB (Krynica 2001 i 2004).

Publikacje

Prezentowana problematyka była tematem 50 prac. Rezultaty badań przedstawiono w: 13 artykułach w czasopismach (z których 6 wchodzi w skład czasopism wymaganych w odniesieniu do prac habilitacyjnych przez Centralną Komisję Kwalifikacyjną Federacji Rosyjskiej); 3 referatach na światowych kongresach drogowych; 25 referatach na międzynarodowych konferencjach naukowych; 6 referatach międzynarodowych konferencji krajowych, 3 naukowych konferencjach PAN; 4 artykułach w krajowych specjalistycznych czasopismach.

Struktura i objętość pracy

Praca habilitacyjna zawiera wprowadzenie, pięć rozdziałów zasadniczego tekstu ze szczegółowym przedstawieniem przeprowadzonych badań naukowych, wnioski końcowe, spis literatury obejmujący 320 pozycji i 9 załączników.

TREŚĆ PRACY

We wprowadzeniu przedstawiono przede wszystkim uzasadnienie aktualności tematu pracy, a także naukowe i aplikacyjne znaczenie wykonanej pracy w teorii i praktyce oraz sformułowano cel przeprowadzonych badań.

W pierwszym rozdziale przedstawiono krótką charakterystykę stanu dróg w Polsce oraz analizę modeli i metod stosowanych w badanej dziedzinie.

Prezentowano charakterystykę sieci dróg w Polsce i wybranych ich cech, a także krótko scharakteryzowano krajowy System Oceny Stanu

Nawierzchni (SOSN), przedstawiając liczbowe przykłady zarówno kryteriów klasyfikacji utrzymania, jak i miarodajnych wartości cech eksploatacyjnych. Przedstawiono obowiązującą terminologię stosowaną w Polsce przy projektowaniu dróg oraz wyjaśniono szczegółowo termin prędkości miarodajnej v_m , którą można utożsamiać z 85% kwantylem prędkości samochodów osobowych w ruchu swobodnym na mokrej nawierzchni. Prędkość miarodajną na dwupasowych drogach dwukierunkowych wyznacza się w Polsce w zależności od typu przekroju poprzecznego, szerokości jezdni i krętości trasy.

W pierwszym rozdziale przedstawiono także krótką klasyfikację metod oceny stanu dróg. Znaczna część pierwszego rozdziału dotyczy przeglądu krajowej i zagranicznej literatury opisującej rezultaty badań wpływu cech drogi na prędkość w ruchu swobodnym. W odniesieniu do każdej cechy drogi przeprowadzono analizę dotychczasowych naukowych badań przeprowadzonych zarówno w Polsce jak i zagranicą.

Podstawowe zależności oszacowania wpływu parametrów geometrycznych na prędkość w ruchu swobodnym przedstawili w swoich pracach: W.F.Babkow, A.K.Birulia, E.Buszma, F.D. Hoobs, J.Kempa, G.Koppel, R.Lamm, F.W.Oellers, B.D.Richardson, T.Sandecki, W.W.Silianow, T.Szczuraszek, K.N.Trapp, O.Wahlgren, A.P.Wasiliew. Do podstawowych parametrów geometrycznych zaliczono: typ przekroju poprzecznego, szerokość jezdni, promień łuku poziomego, kąt zwrotu trasy, długość i wartość pochylenia podłużnego, szerokość i stan poboczy, krętość trasy, rzeczywistą odległość widoczności, odległość przeszkód bocznych.

Badaniami w dziedzinie oszacowania wpływu cech eksploatacyjnych nawierzchni na prędkość w ruchu swobodnym zajmowało się o wiele mniej badaczy. Do głównych cech eksploatacyjnych drogi zaliczono: właściwości przeciwpoślizgowe, równość poprzeczną i podłużną. W większości przypadków na świecie prowadzono badania oszacowania prędkości aquaplaningu. Podstawowe badania w tym zakresie prowadzili W.J.Albert, K.Bukmann, D.Dames, H.Höcker, J.Goldmann, R.J.Jordan, J.Gough, H.Knochlacher, J.Lange, M.Mitschke, J.Moor, J.Nasse, M.W.Nemczinow, P.Peltier, P.Piloli, J.Porter, C.Sayers, W.S.Szatkowski, A.P.Wasiliew. Druga część badań poświęcona jest oszacowaniu wpływu równości podłużnej na prędkość. W tej dziedzinie fundamentalne badania prowadzili O.P. Krasikow i A.P. Wasiliew. W innych krajach prowadzono badania nad oszacowaniem wpływu równości podłużnej na przyspieszenie oraz nad wpływem nierówności powierzchni drogi na psychikę człowieka. Poza granicami Polski nie prowadzono badań polegających na oszacowaniu wpływu głębokości koleiny na prędkość.

Przeprowadzona analiza stosowanych obecnie w Polsce metod oceny stanu dróg wykazała, że istniejące sposoby oceny w większości przypadków nie uwzględniają jednocześnie wszystkich głównych cech drogi. Oceny stanu nawierzchni i płynności ruchu, wykonywane niezależ-

nie od siebie, nie we wszystkich przypadkach mogą być uzasadnioną podstawą do podejmowania decyzji o konieczności wykonania prac związanych z utrzymaniem, remontem lub przebudową, uwzględniającą zwiększenie społecznej i ekonomicznej efektywności wydatkowania wydzielonych środków finansowych.

Analiza opracowanych w latach 80. w Wielkiej Brytanii, USA, Niemczech i Francji szeregu wieloparametrowych równań, szacujących wpływ parametrów geometrycznych na prędkość, wykazała, że nie uwzględnia się w nich stanu nawierzchni, za to w większości z nich uwzględnia się typ przekroju poprzecznego, szerokość jezdni, krętość trasy, rzeczywistą odległość widoczności i falistość niwelety drogi. Uwzględnienie w jednym równaniu matematycznym ww. parametrów geometrycznych nie pozwala przyjąć uzasadnionej decyzji o konieczności wykonania prac związanych z utrzymaniem, remontem lub przebudową drogi, mających na celu poprawienie ich wartości użytkowych. Brak uwzględnienia cech eksploatacyjnych nawierzchni we wspomnianych wyżej równaniach nie pozwala także podjąć decyzji kiedy, gdzie i w odniesieniu do których cech drogi należałoby przeprowadzić planowany bądź bieżący remont nawierzchni.

Kompleksowa ocena stanu dróg została opracowana w odniesieniu do rosyjskich dróg i stanowi ona podstawę podejmowania decyzji o rodzaju koniecznego remontu. Według przyjętych w kompleksowej ocenie stanu dróg założeń metoda ta powinna uwzględniać wpływ na prędkość v_{85} prawie wszystkich cech drogi, ale w metodzie tej nie uwzględniono wpływu krętości trasy na prędkość, a także głębokości koleiny przy różnych rzeczywistych odległościach widoczności i krętości trasy. Oprócz tego, kompleksową ocenę opracowano uwzględniając rosyjskie warunki ruchu, znacznie różniące się od warunków ruchu na polskich drogach. Wymagane wartości ostatecznej oszacowanej prędkości są ściśle związane z rosyjskimi normami projektowania i eksploatacji dróg, znacznie różniących się od polskich Warunków Technicznych (WT). W Polsce, projektując dwupasową drogę dwukierunkową, na której prędkość projektowa będzie większa niż 60 km/h, uwzględnia się, że prędkość miarodajna v_m zależy od typu przekroju poprzecznego, szerokości jezdni i krętości trasy. Różne są także dopuszczalne wartości cech eksploatacyjnych nawierzchni. Na przykład w Polsce nie dopuszcza się większych wartości wskaźnika równości podłużnej niż 5,7 mm/m i natychmiast przewiduje się przeprowadzenie remontu nawierzchni na tym fragmencie drogi. Ponadto prędkości v_{85} , oszacowane według wzorów proponowanych w kompleksowej ocenie stanu dróg, są znacznie mniejsze niż prędkości odnotowane na polskich drogach, co nie daje możliwości zastosowania tej oceny na polskich drogach bez korekty częściowych współczynników i weryfikacji oszacowanych prędkości z pomierzonymi obecnie prędkościami na polskich drogach.

Łączny wpływ cech drogi na parametry rozkładu prędkości uwzględnia opracowany w Polsce przez T. Szczuraszka i J. Kempę model ruchu swobodnego. Podstawową zasadę tego modelu stanowi ocena na danym odcinku drogi dowolnej miary pozycyjnej prędkości wybranej grupy samochodów i możliwość oszacowania prędkości przy dowolnym zestawie cech drogi, wpływających na warunki ruchu. Wieloetapowa kolejność szacowania i selektywny dobór uwzględnianych cech drogi stwarza możliwość rozwoju oceny wpływu cech drogi na parametry rozkładu prędkości. Jednakże, przyjęcie za podstawę oceny prostoliniowego lub krzywoliniowego fragmentu drogi z jednakowym pochyleniem podłużnym nie daje możliwości pełnej oceny wpływu stanu nawierzchni na prędkość, gdyż podstawowe dane dotyczące diagnostyki stanu technicznego nawierzchni są zawsze szacowane na odcinkach hektometrowych, niezależnie od planu i profilu drogi. Natomiast proponowane przez autorów modelu wprowadzenie na prostoliniowych lub krzywoliniowych fragmentach drogi z jednakowym pochyleniem podłużnym uśrednienia klasyfikacji stanu nawierzchni, nie może stanowić dla zarządcy drogi podstawy do podjęcia decyzji o konieczności wykonania remontu nawierzchni. Oprócz tego, proponowana przez autorów zależność prędkości od uśrednionej klasy utrzymania nawierzchni na ocenianym fragmencie drogi, ma jak na razie, tylko teoretyczny zapis funkcji matematycznej w formie ogólnej $v = f(SKUN)$, gdzie: *SKUN* – uśredniona klasa utrzymania nawierzchni wg SOSN. Zaproponowany model ruchu swobodnego jest obecnie modyfikowany przez jego autorów w celu wykorzystania go do oceny warunków ruchu i oceny przepustowości, a w przyszłości do oceny drogi zarówno w ruchu swobodnym jak i w warunkach rzeczywistego jej obciążenia. Na razie model ruchu swobodnego stosuje się w Polsce do oceny płynności ruchu w procesie projektowania i przebudowy dróg, głównie ze względu na geometrię trasy.

Przeгляд istniejących metod skłania do sformułowania wniosku o konieczności opracowania naukowych podstaw oceny stanu drogi ze względu na wartości użytkowe i szacowania zarówno oddzielnego jak i łącznego wpływu cech drogi na prędkość. Przeprowadzona analiza istniejących zagranicznych i krajowych metod zarządzania stanem dróg pozwoliła sformułować wnioski o tym, że bez względu na posiadaną wiedzę i praktyczne doświadczenia z monitorowania dróg i strategii wykonawstwa prac drogowych, w Polsce brakuje teoretycznych badań, pozwalających rozwiązywać te zadania z uwzględnieniem wpływu cech drogi na wartości użytkowe.

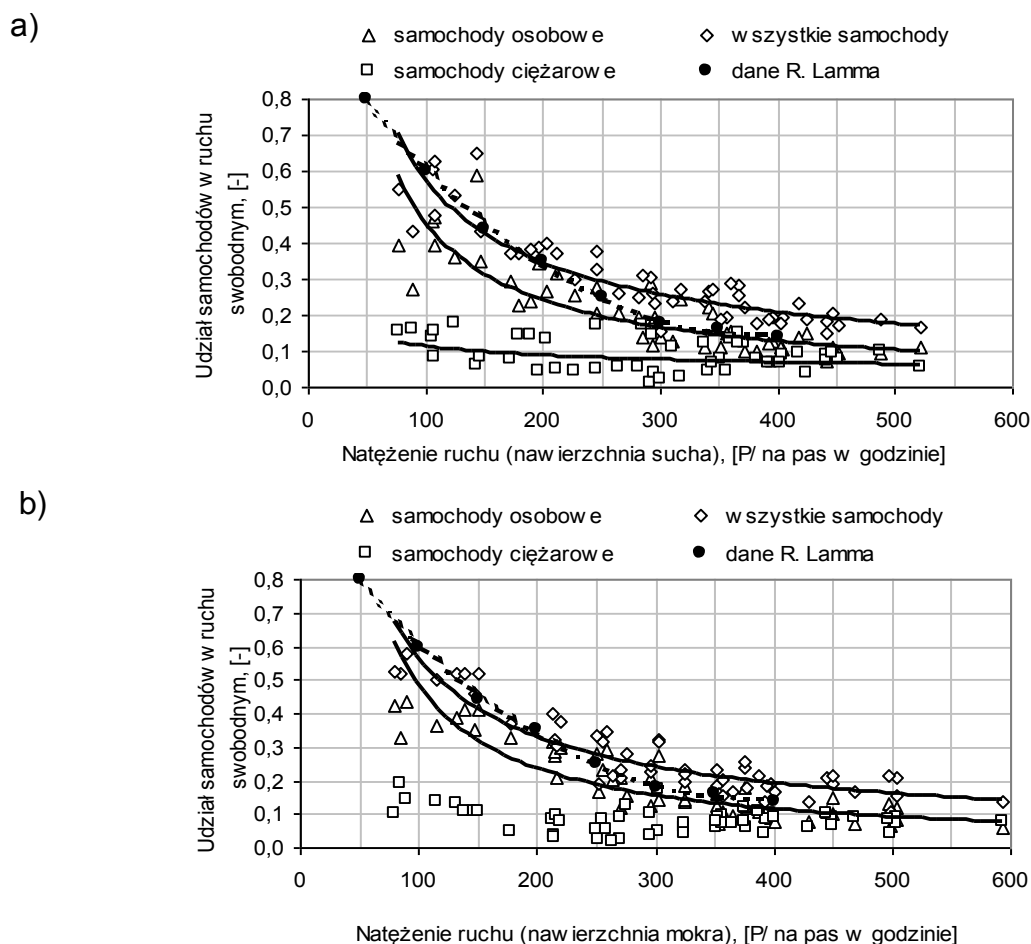
Przeprowadzony w rozdziale pierwszym przegląd literatury pozwolił sformułować cel pracy habilitacyjnej, a mianowicie opracowanie nowej metody oceny stanu dróg ze względu na prędkość oraz sformułowanie zaleceń, związanych z poprawieniem wartości użytkowych drogi, a także opracowanie systemu modeli opisujących oddzielny i łączny wpływ cech drogi na prędkość. Zgodnie ze skonkretyzowanym celem sformułowano odpowiednie zadania do realizacji w ramach pracy.

W drugim rozdziale opracowano teoretyczne podstawy nowej proponowanej metody oceny stanu dróg ze względu na wartości użytkowe z wykorzystaniem systemu zależności oddzielnego i łącznego wpływu parametrów geometrycznych i cech eksploatacyjnych nawierzchni (dalej zwanych cechami drogi) na prędkość. Głównym techniczno–ekonomicznym parametrem drogi, charakteryzującym jej wartości użytkowe, jest prędkość. Pomijając własności silnika, efektywność układu hamulcowego, stan amortyzatorów i stan opon, jest ona uzależniona od cech geometrycznych drogi, stanu nawierzchni, natężenia ruchu i jego struktury, a także od zachowania się innych użytkowników dróg, warunków atmosferycznych i upodobań kierowców. Prędkość nie jest stała wzdłuż całej długości drogi, lecz jest zmienna w czasie i przestrzeni. Powszechnie uważa się ją za najważniejszy uogólniony parametr projektowanej drogi, decydujący o jej przynależności do danej kategorii funkcjonalnej i technicznej.

Wartości użytkowe charakteryzują praktycznie pod względem technicznym i eksploatacyjnym dowolną drogę. Analizy bezpieczeństwa ruchu wysuwają jako jedną z głównych przyczyn zdarzeń drogowych błędne działanie kierowcy. Zjawisko to świadczy o tym, że w pewnych określonych miejscach na drodze powstają nagle, nieoczekiwane przez kierowców zmiany i utrudnienia w warunkach ruchu, a wytworzone przy tym sytuacje doprowadzają do wypadków, w których droga odgrywa istotną rolę.

W pracy jako podstawę oceny stanu dróg wykorzystano system: kierowca – samochód – droga – środowisko (KSDŚ), na który oddziałują warunki zewnętrzne, tj.: warunki atmosferyczne, pora dnia i roku oraz otoczenie drogi. Konsekwencją oraz istotą zaproponowanego podziału i systemu przy ocenie stanu drogi jest przyjęcie drogi jako całości, a nie ocenianie tylko stanu samej nawierzchni, jak to obecnie wykonuje się w ramach systemu SOSN. W związku z tym, ruch nie będzie stanowił oddzielnego czynnika, tylko będzie jednym z wielu czynników charakteryzujących drogę. Podstawą oceny stanu dróg będzie droga oceniana w ruchu swobodnym. W ruchu swobodnym kierowca dobiera prędkość kierowanego pojazdu w zależności od warunków drogowych, które są określane przez cechy drogi i warunki atmosferyczne. Uwzględniając, że warunki drogowe w czasie deszczu są bardziej niekorzystne, w pracy założono, iż ocenę stanu drogi będzie się wykonywać przy niekorzystnych warunkach pogodowych, tj. w ruchu swobodnym na mokrej nawierzchni.

W ruchu swobodnym kierowca może dobierać prędkość kierowanego pojazdu w zależności od warunków drogowych, które charakteryzują cechy drogi, a nie warunków ruchu na danej drodze czy potoku pojazdów. W celu określenia udziału samochodów w ruchu swobodnym autorka przeprowadziła szereg pomiarów natężenia ruchu na jednym pasie ruchu i liczebności samochodów w ruchu swobodnym na dwupasowych drogach dwukierunkowych (rys. 1 i tab. 1).



Rys. 1. Udział samochodów w ruchu swobodnym:
 a) nawierzchnia sucha; b) nawierzchnia mokra

Analiza otrzymanych wyników z badań terenowych wykazała (tab. 1), że największe zmiany udziału samochodów w ruchu swobodnym odnotowano przy natężeniu ruchu $N < 400$ P/h na pas ruchu. Udział godzin z takim natężeniem ruchu stanowi ok. 80% godzin w przedziale od godz. 8⁰⁰ do godz. 17⁰⁰ w ciągu dnia na dwupasowych drogach dwukierunkowych o SDR < 13 000 P/24h. Podsumowując powyższe rezultaty badań można stwierdzić, że prędkość w ruchu swobodnym jest wiarygodną podstawą oceny warunków ruchu przy różnym stanie drogi.

Tabela 1

Udział samochodów w ruchu swobodnym i udział godzin z danym natężeniem ruchu

| Natężenie ruchu, [P/h na pas ruchu] | Udział samochodów w ruchu swobodnym | Udział godzin z danym natężeniem ruchu w przedziale czasu od 8 do 17 godz., przy SDR równym: | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|--|---------------|---------------|--------|
| | | 13 000 [P/24h] | 7 000 [P/24h] | 4 500 [P/24h] | Suma |
| < 200 | 28-40 % | 15 -20 % | 10-15 % | 80-90 % | do 80% |
| 200 - 300 | 20-28 % | 35-35 % | 50-60 % | 10-20 % | |
| 300 - 400 | 18-20 % | 30-35 % | 15-20 % | - | |
| 400 - 500 | 18 % | 10-15 % | 5-10 % | - | do 20% |
| > 500 | 18 % | do 5 % | do 5 % | - | |

Kierowca w miarę jak zmieniają się warunki ruchu na danej drodze, jest zmuszony podporządkować się im i prowadzić pojazd z prędkością dostosowaną do tych warunków, uwzględniając przy tym różny stan dro-

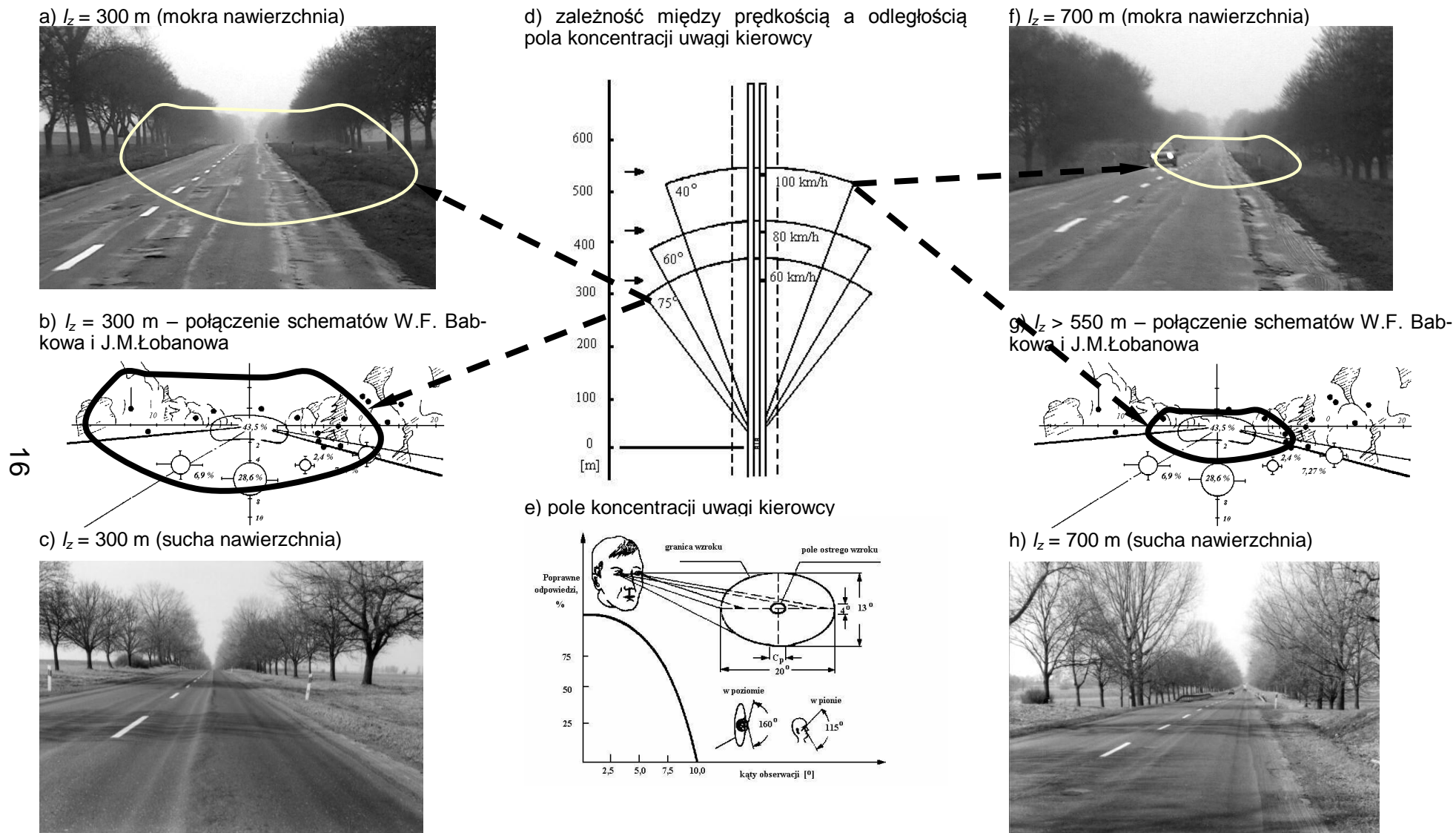
gi. Ocena warunków drogowych przez kierowcę, zgodnie z rezultatami badań W.F. Babkowa, J.M. Łobanowa i T. Sandeckiego, wiąże się z dokładnością odczytania przez niego trasy drogowej, otoczenia i warunków drogowych zależną od prędkości kierowanego pojazdu, gdyż przy wzroście prędkości następuje zawężenie kąta obserwacji i poddanie analizie coraz dalej leżących elementów drogi.

Z badań W.F. Babkowa wynika, że kierowca 10 % swojej uwagi poświęca na prawą krawędź jezdni i niewielką część pobocza gruntowego, prawie 29 % na powierzchnię nawierzchni przed jadącym pojazdem, a 44% swojej uwagi koncentruje na elementach drogi znajdujących się w rzeczywistej odległości widoczności. J.M. Łobanow na podstawie swoich badań stwierdził, że pole ostrego widzenia znacznie się zmniejsza przy wzroście prędkości. Porównując i łącząc te badania (rys. 2), można stwierdzić, że przy zwiększaniu się prędkości zmniejsza się pole koncentracji uwagi i kąt ostrego widzenia kierowcy, a jego wzrok szczegółowo analizuje i ocenia te elementy drogi, które przy danej rzeczywistej odległości widoczności mogą znajdować się w polu ostrego widzenia, pomijając z konieczności te, które są poza nim.

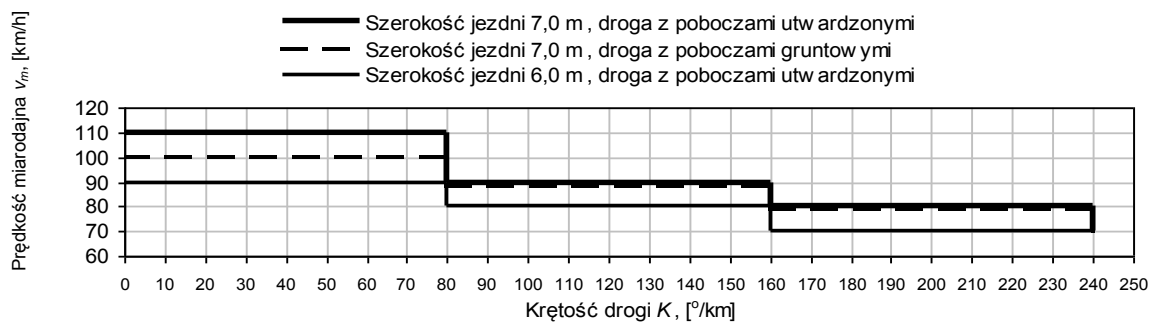
Studium reżimu procesu ruchowego, w zestawieniu ze zmianami cech psychicznych kierowcy podczas prowadzenia pojazdu oraz częstotliwością występowania wypadków drogowych na określonym odcinku drogi, pozwala na wysunięcie tezy, że najkorzystniejsze warunki prowadzenia pojazdu stwarza się kierowcy w tych przypadkach, gdy zapewnia mu się stały jednostajny stopień napięcia uwagi. Wyniki prac, prowadzonych w ciągu ostatniego 20-lecia w wielu krajach nad specyfiką odczuwania przez kierowcę zmiennych warunków ruchu na drodze i nad przebiegiem psychofizjologicznego procesu zachodzącego w jego organizmie podczas kierowania samochodem w trudnych warunkach drogowych, pozwoliły na stwierdzenie, że olbrzymia część kierowców impulsywnie reaguje na każdą zmianę warunków geometrycznych trasy drogowej, zmianę stanu nawierzchni, lokalną zmianę natężenia ruchu, dostosowując do nich w sposób nagły prędkość kierowanego pojazdu.

Na podstawie badań W.F. Babkowa, R. Lamma i S. Datki można stwierdzić, że duże zmiany prędkości v_{85} świadczą o braku płynności ruchu. Uwzględniając powyższe w Polsce w WT przyjęto dopuszczalną różnicę prędkości na następujących po sobie odcinkach drogi wynoszącą $|v_{85i} - v_{85i+1}| \leq 10$ km/h i tylko przy przebudowie drogi dopuszczono $|v_{85i} - v_{85i+1}| \leq 15$ km/h.

Prędkość miarodajną w Polsce na dwupasowych drogach dwukierunkowych określa się w zależności od typu przekroju poprzecznego, szerokości jezdni i krętości trasy (rys. 3), przyjętej na podstawie badań R. Lamma, przeprowadzonych w 80. latach ubiegłego wieku.



Rys. 2. Analiza pola koncentracji uwagi kierowcy na odcinkach z różną rzeczywistą odległością widoczności



Rys. 3. Zależności prędkości v_m od krętości trasy, przyjęte w Polsce w obecnych WT

Uwzględniając, że powyższa zależność była określona przy parku maszynowym lat 80. ubiegłego stulecia, konieczne było sprawdzenie rzeczywistych prędkości v_{85} przy obecnym parku maszynowym na prostych w planie odcinkach drogi, znajdujących się na fragmentach dróg z różną krętością trasy. Otrzymane wartości prędkości wskazują (tab. 2), że wartości prędkości miarodajnej w przedziale $K = 0 - 80$ °/km, przedstawione w WT, nie odpowiadają obecnym, rzeczywistym prędkościom na dwupasowych drogach dwukierunkowych. Porównanie rezultatów pomiarów i wartości podanych w WT wskazuje na **konieczność** przeprowadzenia **badania zależności prędkości od krętości trasy** przy różnych typach przekroju poprzecznego drogi.

Tabela 2
Wartości podstawowych danych z badań weryfikacyjnych ($N > 3600$ [P/24h])

| | | | | |
|---|-------|-------|-------|------|
| Szerokość jezdni B , [m] | 7 | 7 | 6 | 6 |
| Krętość trasy K , [°/km] | 5 | 66 | 5 | 66 |
| Prędkość v_{85} , [km/h] | 118,3 | 105,7 | 112,5 | 99,5 |
| Średnia prędkość samochodów osobowych v_{sr}^o , [km/h] | 99,8 | 90,2 | 97,0 | 85,4 |
| Średnia prędkość samochodów ciężarowych v_{sr}^c , [km/h] | 81,7 | 74,5 | 78,6 | 69,0 |

Wzrastające natężenie ruchu, ograniczenia budżetowe, żywiłowa podaż technik i technologii – to w dzisiejszej dobie warunki pracy administracji drogowej. Przyjęcie właściwej strategii obsługi użytkowników dróg oraz optymalizacja procesu wyboru obiektów i technologii wymagają profesjonalnych usług z zapewnieniem sprawnego obiegu informacji. Światowe tendencje i zdobycze w tej dziedzinie pokazują coraz szersze zastosowania elementów „sztucznej inteligencji”, jako ważnych składników w systemach eksperckich oraz w systemach zarządzania. W celu sprawnego połączenia danych technicznych, ekonomicznych i finansowych przy podejmowaniu optymalnych decyzji o strategii i wyborze fragmentów dróg przeznaczonych do remontu, należy uwzględnić główne cechy dróg i rozpatrywać je w jednym spójnym układzie. Układ ten jednak powinien oceniać stan drogi z punktu widzenia jej użytkownika – kierowcy, czyli stan drogi powinien umożliwiać uzyskanie przez 85% pojazdów konkretnej wartości prędkości. W proponowanej ocenie stanu dróg

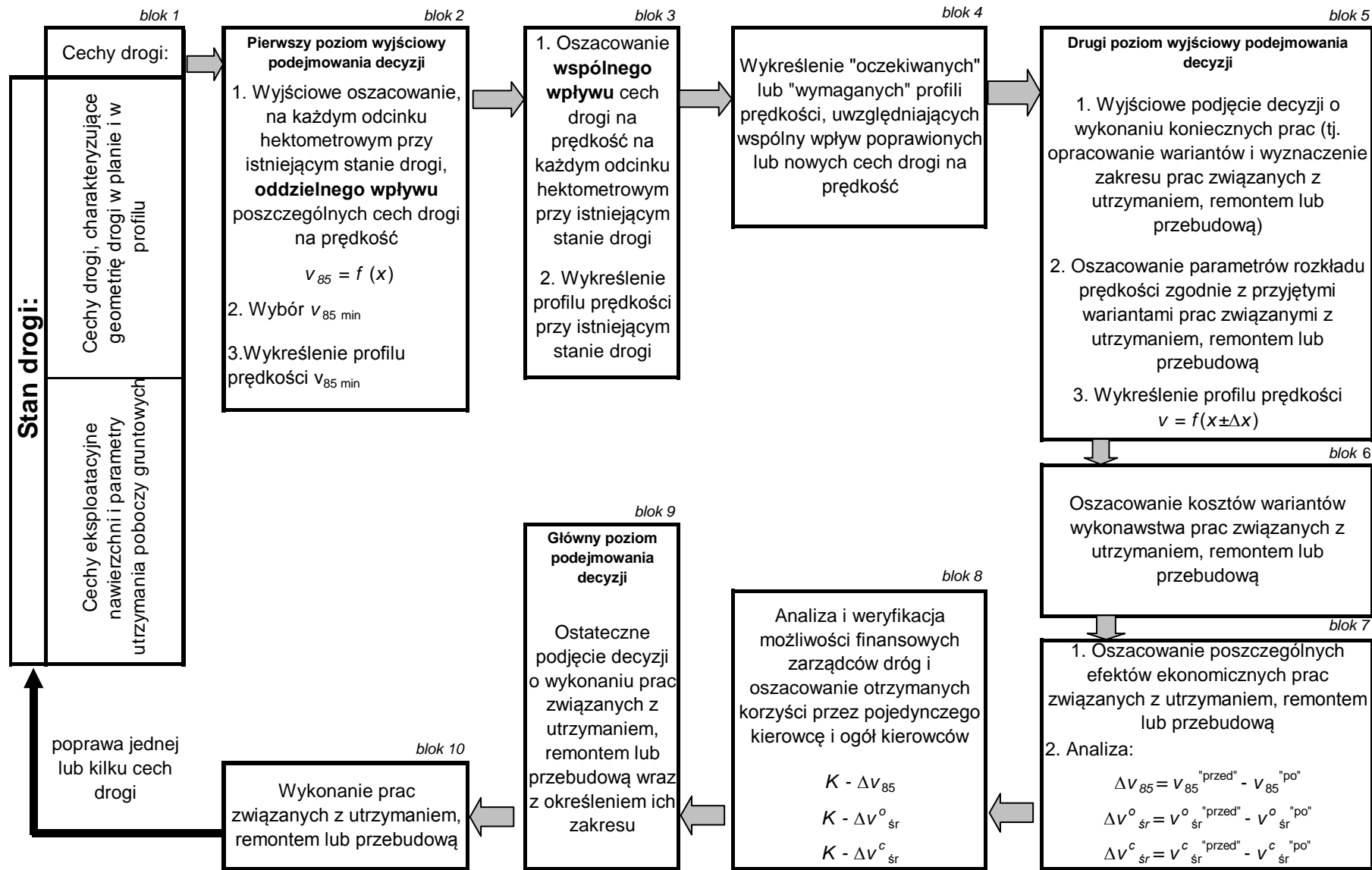
przyjęto, że elementami składowymi będą cechy drogi charakterystyczne dla każdego odcinka hektometrowego. W takim ujęciu założono, że każda cecha drogi x jest elementem zbioru $X = \{x: f(x)\}$ cech charakteryzujących dany odcinek hektometrowy, przy czym cechy mogą być wzajemnie ze sobą skorelowane lub nie, ale wszystkie wywierają wpływ na ogólną ocenę stanu drogi.

Przy opracowaniu nowej metody oceny stanu dróg zaproponowano wykorzystanie głównych zasad kompleksowej oceny stanu dróg ze względu na prędkość z jednoczesnym oszacowaniem efektywności prac drogowych na podstawie zmodyfikowanego i rozszerzonego modelu ruchu swobodnego. W tym celu zaproponowano schemat blokowy zarządzania stanem drogi na podstawie rezultatów oceny stanu dróg ze względu na wartości użytkowe (rys. 4).

Na podstawie analizy rezultatów szacowania zależności prędkości od poszczególnych cech drogi według jednoparametrowych funkcji, opisujących oddzielny wpływ cech drogi na prędkość (rys. 4 blok 2), można określić determinującą cechę lub cechy, które ograniczają prędkość v_{85} na danym odcinku drogi. Ten poziom oceny jest dla zarządcy drogi **pierwszym wyjściowym poziomem** niezbędnym do podjęcia decyzji o wykonaniu prac utrzymaniowych, remontu lub przebudowy. Mając oszacowane wzdłuż drogi prędkości $v_{85i} = f(x_i)$ dla każdej cechy drogi, można wykreślić profil prędkości, uwzględniającej determinujący wpływ jednej cechy (rys. 4 blok 2) lub uwzględniającej łączny wpływ wybranych cech drogi na prędkość $v_{85i} = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ (rys. 4 blok 3).

Z drugiej strony konieczne jest wykreślenie profilu „wymaganej” prędkości, która jest niezbędna do zapewnienia bezpiecznego ruchu lub profilu „oczekiwanej” prędkości, przewidywanej ze względu na standaryzację prędkości wg klasyfikacji: płynności ruchu, przepustowości, podwyższenia klasy drogi itd. (rys. 4 blok 4). Porównując te profile ze sobą, można przyjąć wyjściowe warianty wykonania prac związanych z utrzymaniem, remontem lub przebudową (rys. 4 blok 5). Poziom ten jest dla zarządcy drogi **drugim wyjściowym poziomem** służącym do podjęcia decyzji.

Po przyjęciu wariantów konieczne jest wykreślenie odpowiadających im profili prędkości $v_{85} = f(x \pm \Delta x)$, które uwzględniałyby zmiany wartości poprawianych odpowiednich cech drogi ($x \pm \Delta x$). Na podstawie określonych potrzebnych zmian konkretnych cech drogi ($x \pm \Delta x$) podejmuje się decyzje, związane z koniecznością wykonania prac utrzymaniowych, bądź remontu lub przebudowy z jednoczesnym określeniem ich kosztu (rys. 4 blok 6).



Rys. 4. Proponowany schemat zarządzania stanem drogi

W celu podjęcia przez zarządcę drogi końcowych decyzji o wykonaniu prac utrzymaniowych, remoncie lub przebudowie konieczne jest określenie odpowiadającego im efektu ekonomicznego, uzyskanego dzięki różnicy prędkości, oszacowanej jako korzyść pojedynczego kierowcy $\Delta v_{85} = v_{85}^{(po)} - v_{85}^{(przed)}$ lub jako korzyść większości kierowców samochodów osobowych $\Delta v_{sr}^o = v_{sr}^o{}^{(po)} - v_{sr}^o{}^{(przed)}$ lub samochodów ciężarowych $\Delta v_{sr}^c = v_{sr}^c{}^{(po)} - v_{sr}^c{}^{(przed)}$ (rys. 4 blok 7). Wprowadzenie w proponowanej ocenie otrzymywanej różnicy prędkości Δv pozwala ustalić większość elementów, określających ekonomiczną efektywność prac utrzymaniowych, remontu lub przebudowy. Mając z jednej strony oszacowane koszty wariantów prac utrzymaniowych, remontu lub przebudowy i z drugiej strony oszacowane przewidywane, odpowiadające im korzyści, zarządca drogi powinien je porównać z wydzielonymi mu środkami finansowymi (rys. 4 blok 8), w celu podjęcia końcowych decyzji o wykonaniu wymienionych robót na ocenianej drodze. Poziom ten jest dla zarządcy drogi **głównym poziomem podjęcia decyzji**.

Podstawowe zasady proponowanej metody oceny stanu dróg ze względu na prędkość opierają się na: z jednej strony wykorzystaniu łącznego wpływu cech drogi na prędkość na podstawie zmodyfikowanego przez autorkę modelu ruchu swobodnego, a z drugiej strony wykorzystaniu zmodyfikowanego podstawowego wzoru kompleksowej oceny stanu dróg, bardzo istotnego przy wyjściowym wyznaczeniu rodzaju prac i ich zakresu. Przy znalezieniu determinująco wpływającej na prędkość cechy drogi autorka jako pierwsza zaproponowała zastosowanie metod TQM, a zwłaszcza oceny jakości, opracowanej w Japonii przez K.Ishikawę, przy czym szczególną uwagę zwrócono na diagram K.Ishikawy, wykorzystując jego zalety przy poszukiwaniu „przyczyn” następującego „skutku”. Do wyboru cech drogi, uwzględnianych przy ocenie stanu dróg, autorka jako pierwsza zaproponowała wykorzystanie analizy Pareto i diagramu Pareto–Lorenza.

Analiza Pareto – jest to „uniwersalna” zasada, którą wykorzystuje się do wielu sytuacji i bez zastrzeżeń w rozwiązaniach problemów jakości. J.Jordan udowodnił „uniwersalność” zastosowania analizy Pareto do każdej grupy przyczyn, wywołujących ten lub inny skutek, przy czym duża część skutków wywołana była z reguły przez małą liczbę przyczyn. Analiza Pareto szereguje poszczególne dziedziny wg znaczenia lub ważności i pozwala wyjaśnić, a także w końcowym efekcie zlikwidować lub uniknąć tych przyczyn, które powodowały największą liczbę problemów (tj. niezgodności).

Uwzględniając powyższe, w pierwszej kolejności powinny być podjęte przede wszystkim czynności zapobiegawcze w odniesieniu do tych przyczyn, czyli cech drogi, które powodują zmniejszenie prędkości. Diagram Pareto – Lorenza pozwala udoskonalić możliwości otrzymania po-

lepszenia jakości przy ograniczonych nakładach finansowych i przede wszystkim wskazać grupę najważniejszych cech drogi – tzw. „przyczyn”. W rozpatrywanej w pracy ocenie stanu dróg „skutek” – oznacza lokalne zmniejszenie prędkości.

Ze wszystkich cech drogi tylko część jest odbierana poprzez bodźce kierowcy – głównego bezpośredniego użytkownika drogi. Większość cech drogi jest powiązana ze sobą. Na przykład, cały system odwodnienia lub zdolność przepływu wody w rowach nie ma bezpośredniego wpływu na kierowcę, który w trakcie jazdy nie zwraca uwagi na stan odwodnienia drogi, ale jeśli stan rowów jest zły, to stojąca w nich woda nawadnia podłoże gruntowe i przyczynia się do utraty jego nośności. Stan podłoża gruntowego wpływa na nośność konstrukcji jezdni drogowej. Na powierzchni nawierzchni przy złym stanie podłoża powstają fale i pęknięcia, wpływające na równość podłużną. Pęknięcia i deformacje po jakimś czasie będą powodować kolejne następstwo, tj. zmniejszanie się nośności konstrukcji jezdni drogowej, która coraz bardziej będzie się degradować. Uformowane na powierzchni fale będą wywoływać pionowe wahania pojazdu. Nierówna nawierzchnia i pionowe wahania karoserii pojazdu oddziałują na kierowcę, który zmuszony jest zmniejszyć prędkość kierowanego pojazdu. Prowadząc analogiczne analizy w stosunku do każdej cechy drogi, określono ich wzajemne związki, co pozwoliło wybrać te cechy drogi, które mają największy wpływ na prędkość.

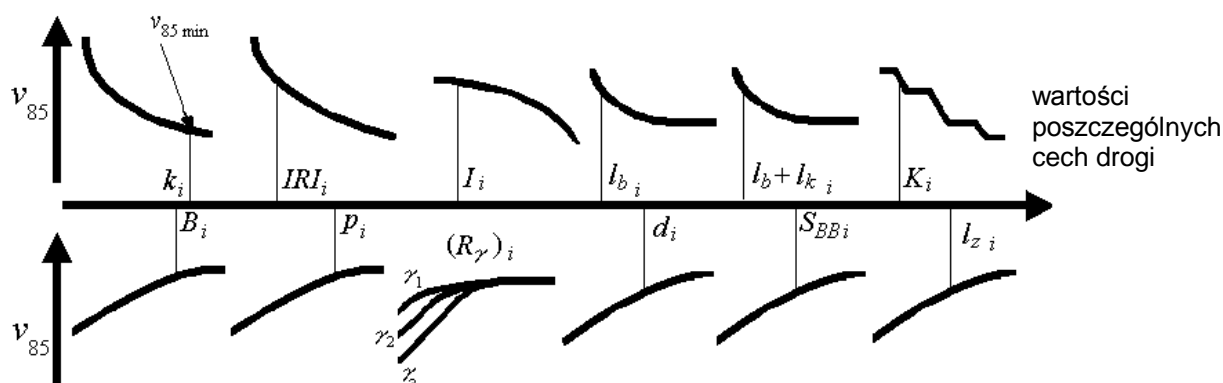
Na podstawie przeprowadzonej analizy Pareto do najważniejszych cech drogi, wpływających na wartości użytkowe drogi, zaliczono: typ przekroju poprzecznego, szerokość jezdni, rzeczywistą odległość widoczności na zatrzymanie, krętość trasy, promień łuku poziomego i kąt zwrotu trasy, zastosowaną przechytkę na łuku poziomym, długość i wartość pochylenia podłużnego, odległość przeszkód bocznych, szerokość poboczy gruntowych w dni bezdeszczowe i w trakcie opadów deszczu, szerokość poboczy utwardzonych, szorstkość nawierzchni, równość podłużną, głębokość koleiny, głębokość wody zbierającej się w koleinie w trakcie deszczu, szerokość zwierciadła wody na poboczu i jezdni.

W celu ustalenia przyczyny wywołującej lokalne zmniejszenie prędkości na ocenianym odcinku, należy opracować zależności oddzielnego wpływu poszczególnych cech drogi i łącznego ich wpływu na prędkość.

W celu znalezienia determinująco wpływającej cechy lub kilku cech drogi na prędkość zaproponowano wykorzystanie diagramu Ishikawy wraz z systemem jednoparametrowych funkcji (rys. 5).

Diagram Ishikawy, dzięki graficznej ilustracji cech drogi (przyczyn) i zależności prędkości (skutku) od tych cech na każdym odcinku drogi, pomaga wizualnie i szybko określić cechę wywołującą zmniejszenie prędkości i wielkość tego zmniejszenia. Na diagramie przedstawione są dwa poziomy: na dolnym poziomie przedstawione są te cechy, w odnie-

sieniu do których przy większych ich wartościach odnotowano większe prędkości, a na górnym poziomie przedstawiono te cechy, w odniesieniu do których przy większych ich wartościach odnotowano mniejsze prędkości.



Rys. 5. Wybór determinującej cechy drogi na analizowanym i -tym odcinku drogi:
 K – krętość trasy, [$^{\circ}$ /km]; B – szerokość jezdni, [m]; I_L^1 – długość L i wartość I pochylenia podłużnego; d – odległość przeszkód bocznych, [m]; l_b – szerokość zwierciadła wody na poboczu gruntowym, [m]; $l_b + l_k$ – szerokość zwierciadła wody na jezdni i poboczu gruntowym, [m]; l_z – rzeczywista odległość widoczności na zatrzymanie, [m], R_{γ}^2 – promień krzywej w planie i kąt zwrotu trasy, k – głębokość koleiny, [mm]; IRI^3 – wskaźnik równości podłużnej, [mm/m]; S_{BB}^4 – szorstkość⁴, [-]

W stosunku do wszystkich poszukiwanych zależności, autorka przyjęła ogólne założenie modelowania matematycznego, polegające na tym, że wpływ na prędkość w ruchu swobodnym każdej cechy drogi $v^{(x)}$ powinien być szacowany jako różnica:

$$v^{(x)} = v^0 - f(x), \text{ [km/h]} \quad (1)$$

gdzie: $v^{(x)}$ – ogólne oznaczenie parametrów rozkładu prędkości na odcinku, na którym analizowana cecha drogi ma inną wartość niż wzorcowa, [km/h]; v^0 – ogólne oznaczenie parametrów rozkładu prędkości na odcinku, na którym analizowana ce-

¹ $v_{85} = f(I \text{ i } L)$ – wartość obliczona z funkcji T.Szczuraszka i J.Kempy.

² $v_{85} = f(R \text{ i } \gamma)$ – wartość obliczona z funkcji J.Kempy.

³ Ponieważ w proponowanej ocenie stanu dróg założono określenie równości podłużnej na podstawie badań diagnostycznych wykonywanych w ramach SOSN, to należało uwzględnić, że obecnie określa się ją za pomocą wskaźnika równości podłużnej (International Rouge Index) IRI . Jednostką pomiarową IRI jest mm/m.

⁴ W Polsce w stosunku do oceny właściwości przeciwpoślizgowych stosuje się termin – szorstkość nawierzchni i oznacza się go symbolem S_{BB} . Szorstkość szacuje się na podstawie pomiarów współczynnika tarcia μ . Pomiar wykonuje się wyprodukowaną w Polsce przyczepką SRT3. Liczbowo szorstkość nawierzchni S_{BB} oblicza się z wzoru $S_{BB} = 100 \mu$. Szorstkość obecnie od 2002 r. mierzy się oponą Barum Brawura 185/70 K 14. Przeliczenia na starą oponę pomiarową wykonuje się wg wzoru $S = 0,7S_{BB}$.

cha drogi ma wartość wzorcową, [km/h], $f(x)$ – ogólne oznaczenie funkcji różnicy prędkości, szacującej wpływ na prędkość analizowanej cechy drogi x o innej wartości niż wartość wzorcową, [km/h].

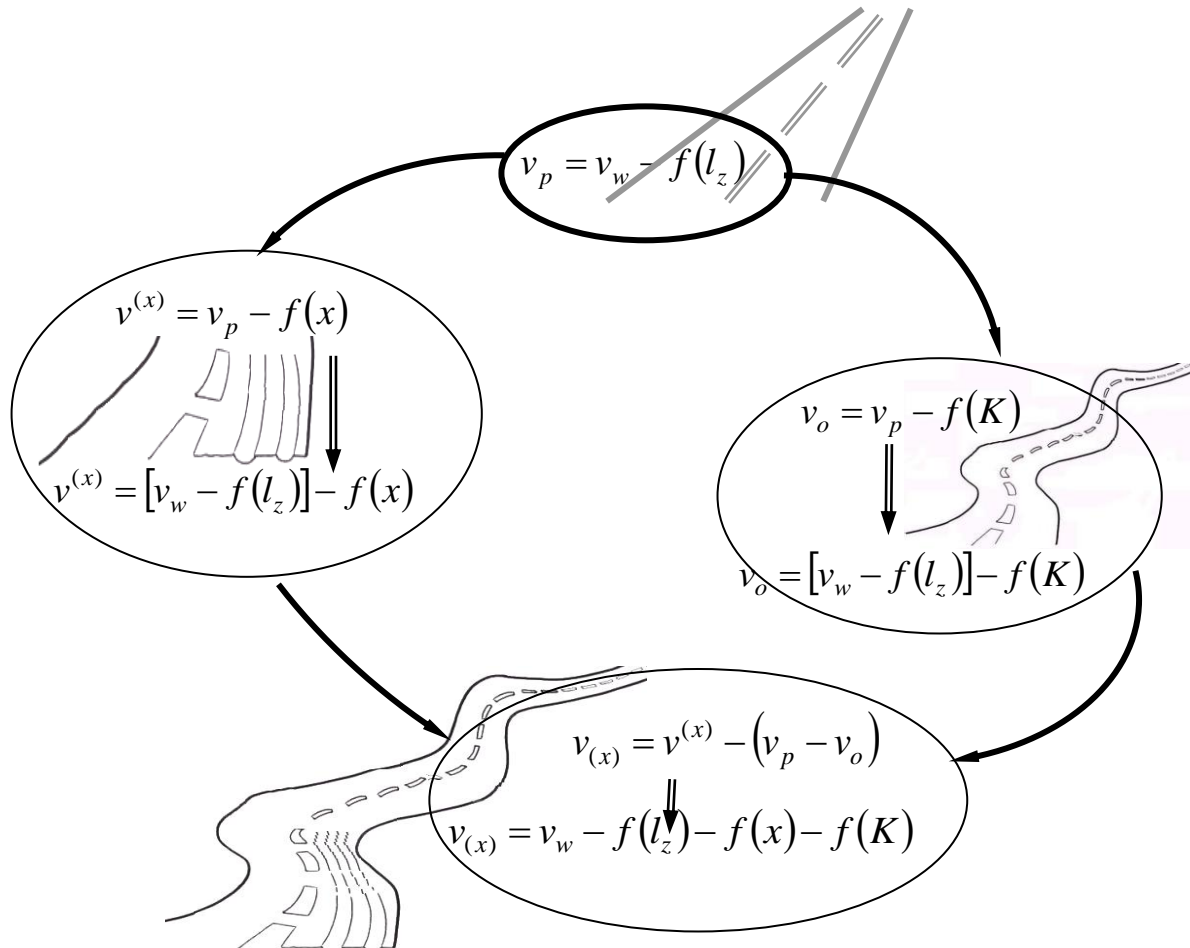
Za **odcinki wzorcowe** w pracy przyjęto trzy odcinki: jeden odcinek na dwupasowej drodze dwukierunkowej z poboczami utwardzonymi i szerokością jezdni 7 m oraz dwa odcinki na dwupasowej drodze dwukierunkowej z poboczami gruntowymi o szerokości jezdni odpowiednio równej 6 i 7 m. Wzorcowe odcinki powinny: być poziome i znajdować na prostym w planie fragmencie drogi o długości ok. 3,5 km, mieć wzorcowy stan nawierzchni i poboczy (tzn. w trakcie deszczu powinny zapewniać dobry i 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 °/km, rzeczywista odległość widoczności na zatrzymanie – 700 m, szerokość pobocza utwardzonego – 2 m, szerokość pobocza gruntowego – 1,25–1,5 m, szorstkość – $S_{BB} = 66$, jezdnia nie powinna mieć deformacji, a powierzchnia nawierzchni powinna być równa w przekroju poprzecznym i podłużnym ($IRI = 2,0 - 3,0$ mm/m).

Zaproponowane modelowanie matematyczne pozwala w przyszłości uniknąć wielokrotnego powtarzania pomiarów i określania nowych zależności przy każdorazowej zmianie parku maszynowego, ponieważ wszystkie wskazane w niniejszej pracy modele (rys. 6) są określone na podstawie wzoru (1). Przy zmianie w przyszłości parku maszynowego trzeba będzie jedynie zweryfikować prędkości **na trzech wzorcowych odcinkach drogi** i podstawić we wszystkich modelach nowe wartości prędkości wzorcowych.

Uwzględniając, że prędkości mogą być szacowane również na poziomych i prostych w planie odcinkach nowej drogi, autorka zaproponowała **w pierwszej kolejności** określenie prędkości „**wzorcowych**” v_w na odcinkach wzorcowych z wzorcowymi wartościami wszystkich rozpatrywanych cech drogi. Na terenach nizinnych przeważają małe pochylecia podłużne, gdyż fragmenty dróg są prawie poziome. Na tych odcinkach cechą drogi, która będzie zmieniać swoje wartości, jest rzeczywista odległość widoczności na zatrzymanie. Uwzględniając powyższe, autorka założyła określenie: prędkości „**początkowe**” v_p na odcinkach, na których wszystkie cechy drogi oprócz rzeczywistej odległości widoczności mają wartości wzorcowe. Prędkości początkowe proponuje się określać, jako różnicę prędkości wzorcowej v_w i zmniejszenia prędkości $f(l_z)$ spowodowanego inną wartością rzeczywistej odległości widoczności niż wartość wzorcową.

$$v_p = v_w - f(l_z), \text{ [km/h]} \quad (2)$$

gdzie: v_w – ogólne oznaczenie parametrów rozkładu prędkości wzorcowej na wzorcowym odcinku drogi, [km/h]; v_p – ogólne oznaczenie parametrów rozkładu prędkości początkowej 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, wynikającego z innej niż wzorcowa rzeczywistej odległości widoczności, [km/h].



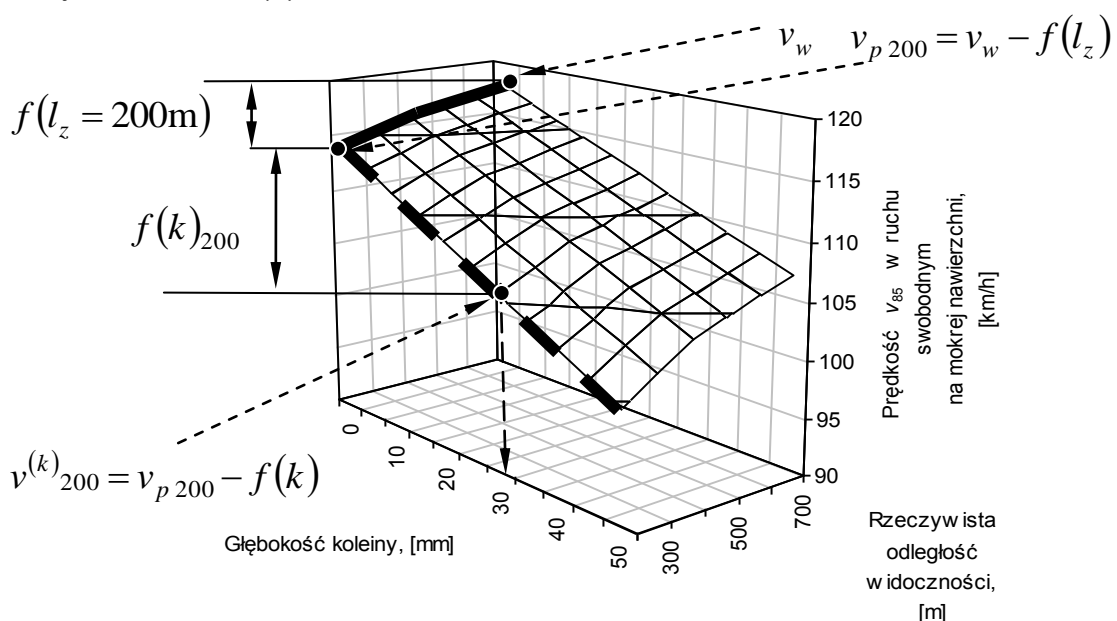
Rys. 6. Proponowane modelowanie matematyczne funkcji szacującej wpływ cech drogi na prędkość na odcinkach z różną krętością trasy i rzeczywistą odległością widoczności (interpretacja na przykładzie wpływu głębokości koleiny na prędkość)

Drugi stopień modelowania matematycznego polega na tym, że kolejno na każdym z ocenianych odcinków drogi szacowany jest wpływ na prędkość poszczególnych cech drogi. Wykazuje on różnicę $v^{(x)} = v_p - f(x)$ prędkości początkowej (oszacowanej przy konkretnej rzeczywistej odległości widoczności na ocenianym odcinku) i zmniejszenia prędkości $f(x)$, wywołanego inną wartością danej cechy drogi x niż wzorcowa (przy założeniu, że oceniany odcinek znajduje się na fragmencie drogi z wzorcową krętością (rys. 7)). Przy czym wszystkie prę-

kości szacowane są przy założeniu jednakowych wartości pozostałych cech drogi i przyjętej wzorcowej krętości.

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

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, [km/h]; $f(x)$ – ogólne oznaczenie funkcji opisującej, zmniejszenie parametrów rozkładu prędkości, spowodowane inną niż wzorcowa wartością analizowanej cechy x na ocenianym odcinku drogi; te zmniejszenia prędkości określone są przy różnej rzeczywistej odległości widoczności i przy wzorcowej krętości, [km/h]; pozostałe oznaczenia jak w modelu (2).

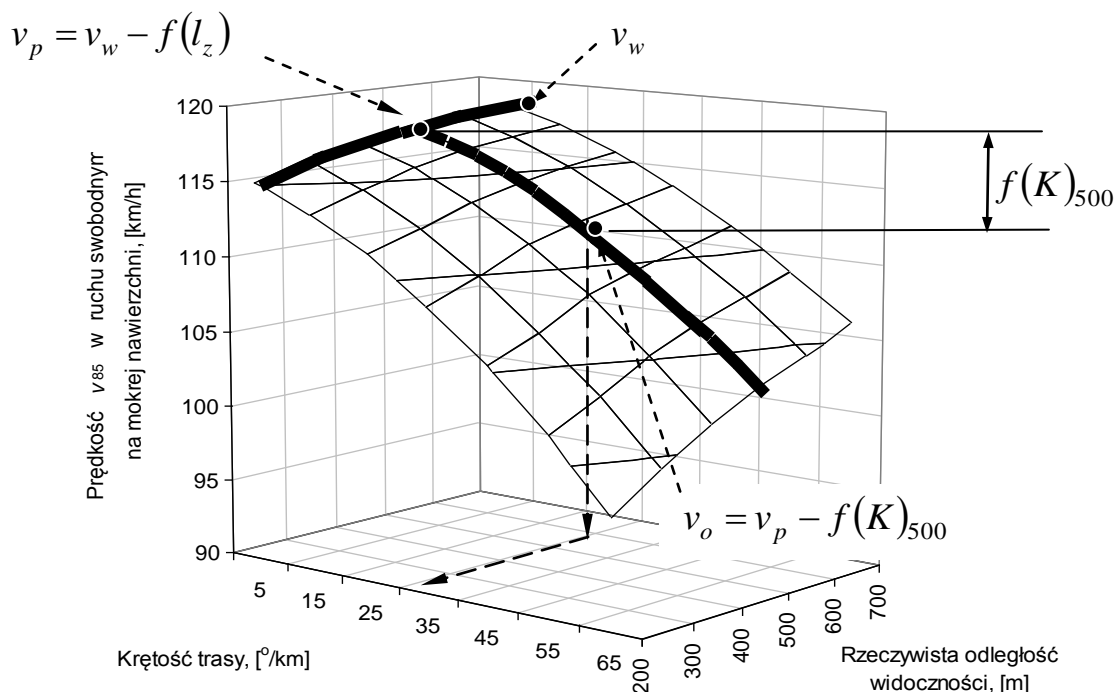


Rys. 7. Sposób określenia prędkości na skoleinowanym fragmencie drogi z wzorcową krętością przy różnych rzeczywistych odległościach widoczności

Trzeci stopień modelowania matematycznego, polega na uwzględnieniu rzeczywistej krętości ocenianej drogi innej niż wzorcowa, wywołującej zmniejszenie się prędkości w stosunku do prędkości początkowej. Otrzymaną na tym etapie prędkość autorka zaproponowała nazywać „**odcinkową**” v_o . Prędkości odcinkowe proponuje się określać 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. 8).

$$v_o = v_p - f(K) = [v_w - f(l_z)] - f(K), \text{ [km/h]} \quad (4)$$

gdzie: v_o – ogólne oznaczenie parametrów rozkładu prędkości odcinkowej na odcinku przy różnej rzeczywistej odległości widoczności, na którym tylko krętość drogi ma inną wartość niż wzorcowa, [km/h]; $f(K)$ – ogólne oznaczenie funkcji opisującej, zmniejszenie się wartości parametrów rozkładu prędkości, spowodowane inną krętością drogi niż wzorcowa; te zmniejszenia prędkości określone są przy różnej rzeczywistej odległości widoczności, [km/h]; pozostałe oznaczenia jak w modelu (2) i (3).



Rys. 8. Sposób określenia prędkości odcinkowej $v_o = v_p - f(K)$

Czwarty stopień modelowania matematycznego polega na oszacowaniu zależności prędkości od danej cechy drogi na ocenianym odcinku, przy danej rzeczywistej odległości widoczności i krętości, w postaci różnicy $v_{(x)} = v^{(x)} - (v_p - v_o)$.

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

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 (2 – 4).

Przedstawione modelowanie matematyczne szacowania prędkości w zależności od istniejących wartości cech drogi na ocenianym odcinku po raz pierwszy zostało zaproponowane przez autorkę pracy. Jego

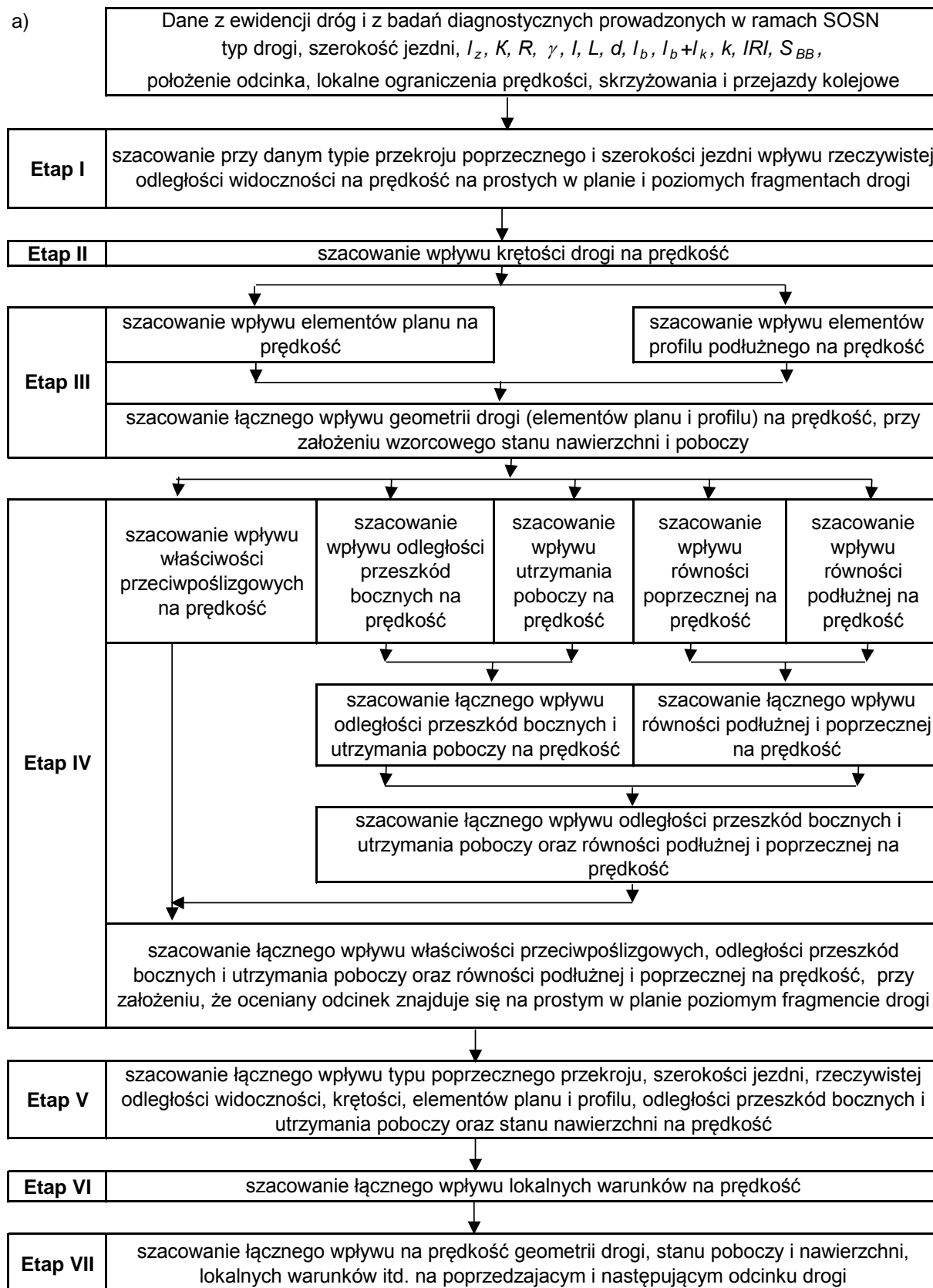
główną zaletę stanowi możliwość oszacowania wpływu cech drogi zarówno na prostym jak i na krętym odcinku drogi.

Na podstawie opisanego zbioru jednoparametrowych funkcji zależności prędkości od poszczególnych cech drogi, autorka zaproponowała wybranie cechy drogi determinująco wpływającej na obniżenie prędkości na danym odcinku drogi i wstępne podjęcie decyzji o przewidywanych wariantach remontu (rys. 4 blok 2).

Ocena stanu dróg tylko ze względu na determinujący wpływ jednej lub kilku cech drogi na prędkość $v_{85\min}$, jest prawidłowa tylko przy podejmowaniu wyjściowych decyzji o konieczności wykonawstwa konkretnych prac utrzymaniowych, remontu lub przebudowy. Do oceny korzyści, otrzymanych z wykonanych lub planowanych prac (rys. 4 blok 7), konieczna jest przede wszystkim ocena wspólnego wpływu analizowanych cech drogi na prędkość. Zaproponowany w pracy zmodyfikowany i rozszerzony wieloetapowy model ruchu swobodnego do szacowania łącznego wpływu cech drogi na jej wartości użytkowe daje taką możliwość (rys. 9 a, b). Oprócz tego, jeśli posiada się informację o analizowanych cechach drogi z projektów, ewidencji lub badań diagnostycznych, to wykonując obliczenia według zmodyfikowanego i rozszerzonego modelu ruchu swobodnego można oszacować trzy parametry rozkładu prędkości v_{85} , v_{sr}^o i v_{sr}^c na dowolnym i -tym odcinku drogi. Oszacowane parametry rozkładu prędkości mogą stanowić podstawę dalszych analiz, np.: przepustowości, komfortu jazdy, płynności ruchu i oceny brd. Sens zmodyfikowanego modelu jest następujący: uwzględniając, że na proces ruchu oddziałują różne czynniki, to w proponowanym modelowaniu selektywnie dobiera się w czasie obliczeń odpowiednie cechy drogi i stopniowo rozszerza się wyjściowy model matematyczny. W celu uproszczenia i skrócenia zapisu, wszystkie przedstawione na rys. 9 b modele bazują na wartości prędkości v_{85} . Analogicznie należy prowadzić szacowanie średnich prędkości samochodów osobowych i ciężarowych, uwzględniając odpowiednie prędkości.

Rezultat modelowania matematycznego oddzielnego i łącznego wpływu cech drogi na wartości użytkowe to zbiór profili prędkości wzdłuż ocenianej drogi (rys. 4 blok 1, 2, 3), który może być podstawą dalszych analiz, np. dotyczących organizacji i bezpieczeństwa ruchu. Do zbioru profili prędkości, charakteryzujących istniejący stan drogi, zaliczono: $v_{85\min}$ – minimalną prędkość, którą zapewnia istniejący stan drogi; $v_{85(1-2)}$ – prędkość, którą zapewnia istniejąca geometria drogi w planie i w profilu podłużnym, przy założeniu wzorcowego stanu nawierzchni i poboczy; $v_{85(3-7)}$ – prędkość, którą zapewnia istniejący stan nawierzchni i poboczy gruntowych, przy założeniu że oceniany odcinek znajduje się na prostym w planie i poziomym fragmencie drogi; $v_{85(1-7)}$ – prędkość, którą zapew-

nia istniejący stan drogi jako całość; $v_{85(1-10)}$ – prędkość, którą zapewnia istniejący stan drogi i jej otoczenie jako całość.



Rys. 9 a. Zmodyfikowany i rozszerzony wieloetapowy model ruchu swobodnego do szacowania łącznego wpływu cech drogi na prędkość

b) Dane z ewidencji dróg i z badań prowadzonych w ramach SOSN typ drogi, szerokość jezdni, l_z , K , R , γ , l , L , d , l_b , l_b+l_k , k , IRI , S_{BB} , położenie odcinka, lokalne ograniczenia prędkości, skrzyżowania i przejazdy kolejowe

| | |
|---------------|------------------------------|
| Etap I | $v_{85p} = v_{85w} - f(l_z)$ |
|---------------|------------------------------|

| | |
|----------------|--|
| Etap II | $v_{85o} = v_{85p} - f(K) = [v_{85w} - f(l_z)] - f(K)$ |
|----------------|--|

| | | |
|-----------------|--|-------------------------------------|
| Etap III | $W_1 = \frac{v_{85(R,\gamma)}}{v_{85o}}$ | $W_2 = \frac{v_{85(L,L)}}{v_{85o}}$ |
| | $W_{(1-2)} = W_M W_W^{(0,7-0,5I)}$ | $v_{85(1-2)} = W_{(1-2)} v_{85o}$ |

| | | | | | |
|----------------|--|---------------------------------------|--|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Etap IV | $W_3 = \frac{v_{85(SBB)}}{v_{85o}}$ | $W_4 = 1,023 - 0,208 \cdot 2,98^{-d}$ | $W_5 = \frac{v_{85(l)}}{v_{85o}}$ | $W_6 = \frac{v_{85(k)}}{v_{85o}}$ | $W_7 = \frac{v_{85(IRI)}}{v_{85o}}$ |
| | $W_{(4,5)} = W_M W_W^{\frac{1}{3}W_M}$ $W_M = \min\{W_4, W_5\}$ $W_W = \max\{W_4, W_5\}$ | | $W_{(6,7)} = W_M W_W^{\frac{1}{3}W_M}$ $W_M = \min\{W_6, W_7\}$ $W_W = \max\{W_6, W_7\}$ | | |
| | $W_{(4-7)} = W_M W_W^{\frac{1}{3}W_M}$ | | $W_M = \min\{W_{4,5}, W_{6,7}\}$ | | $W_W = \max\{W_{4,5}, W_{6,7}\}$ |

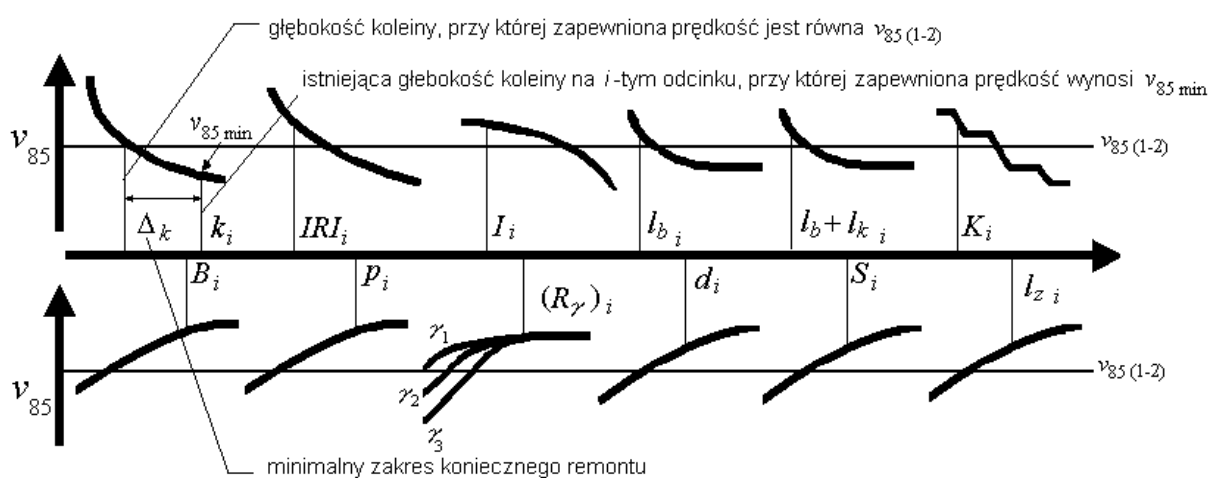
| | |
|---------------|---|
| Etap V | $W_M = \min\{W_{(1-2)}, W_{(3-7)}\}$ |
| | $W_{(1-7)} = W_M W_W^{W_M(0,33-0,01I)}$ |

| | | |
|----------------|--|---|
| Etap VI | $W_{(1-10)} = \min\{W_{(1-7)}, W_8, W_9, W_{10}\}$ | $W_8 = f(\text{położenie odcinka})$ $W_9 = f(\text{lokalne ograniczenie prędkości})$ $W_{10} = f(\text{skrzyżowania i przejazdy kolejowe})$ |
|----------------|--|---|

| | | |
|-----------------|--|---|
| Etap VII | $W(P)_j = \Omega [W_{(1-10)_j}, W_{(1-10)_{j-1}}]$ | $W(N)_j = \Lambda [W_{(1-10)_j}, W_{(1-10)_{j+1}}]$ |
|-----------------|--|---|

Rys. 9 b. Zmodyfikowany i rozszerzony wieloetapowy model ruchu swobodnego do szacowania łącznego wpływu cech drogi na prędkość (interpretacja na przykładzie 85 % kwantylu prędkości)

Na podstawie analizy wymienionych powyżej profili prędkości na ocenianej drodze określa się wielkości „oczekiwanych” i „wymaganych” prędkości, które w dalszej części pracy przyjęto oznaczać – $[v_{85}]$ (rys. 4. blok 4). Na przykład, jeśli na drodze w wyniku przeprowadzonej analizy ustalono, że na minimalną prędkość $v_{85\min}$ determinująco wpływa stan nawierzchni i poboczy gruntowych, to w tym przypadku proponuje się, żeby zarządca drogi przeanalizował, jakie prędkości zapewnia geometria drogi $v_{85(1-2)}$ i odpowiednio do nich przyjął rodzaje i zakresy prac związanych z utrzymaniem i remontem nawierzchni i poboczy gruntowych (rys. 10). W tym przypadku będą to prędkości „wymagane”.



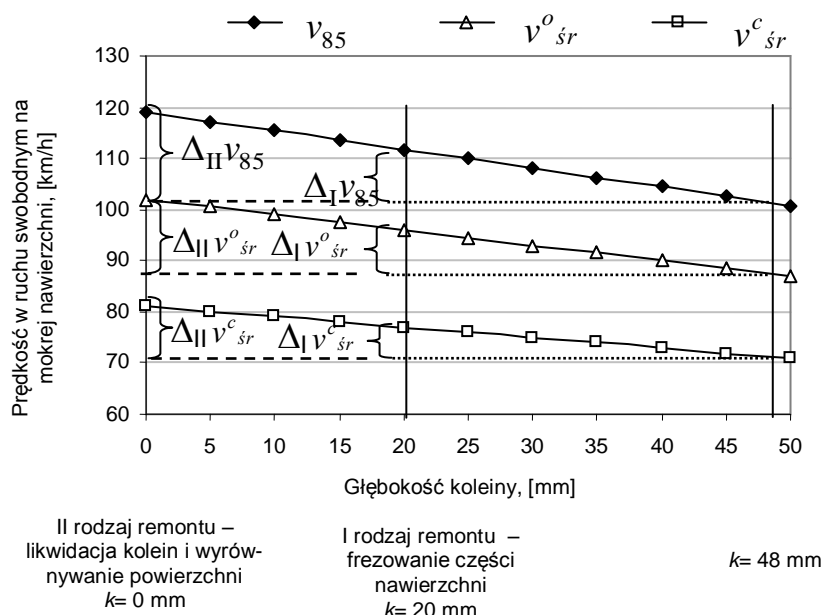
Rys. 10. Wybór rodzaju prac i określenie minimalnego ich zakresu (np. frezowania nawierzchni Δk) na i -tym odcinku drogi w celu zapewnienia „wymaganej” prędkości $[v_{85}]$; (przypadek gdy prędkość jest mniejsza od prędkości zapewnionej przez geometrię drogi $[v_{85}] < v_{85(1-2)}$)

W przypadku, jeśli na minimalną prędkość $v_{85\min}$ determinująco wpływają elementy planu i profilu drogi, zarządca drogi powinien przeanalizować możliwość przebudowy lub jej nieodzowność i określić na ocenianym fragmencie drogi prędkość „oczekiwaną”, przewidywaną po jego przebudowie. Podobny przypadek ma miejsce także przy wymaganym poszerzeniu jezdni lub zmianie przekroju poprzecznego drogi, co w ostatnich latach w Polsce dość często ma miejsce.

Mając określoną prędkość wymaganą $[v_{85}]$ (np. na podstawie projektów lub wymogów eksploatacyjnych, będących rezultatem wykonanej analizy profili prędkości), proponuje się: *po pierwsze* – znaleźć cechę drogi, która jej nie zapewnia, a *po drugie* – określić jej wartość, zapewniającą tę prędkość $[v_{85}] = f(x \pm \Delta x)$, tj. oszacować wymaganą wartość Δx (rys. 4 blok 5).

Na rys. 11 przedstawiony jest przykład, kiedy w celu zapewnienia prędkości $[v_{85}]$ konieczna jest likwidacja koleiny lub frezowanie części nawierzchni.

Ostatnią czynnością przy zarządzaniu stanem drogi powinno być ustalenie rodzaju i zakresu prac, które podejmuje się na podstawie porównania wielkości prognozowanych korzyści po wykonaniu danego wariantu remontu, jego kosztów i wielkości środków finansowych wydzielonych zarządcy drogi na utrzymanie drogi (rys. 2.11 blok 8 i 9). Korzyści szacuje się na podstawie porównania profili prędkości przy istniejącym stanie drogi – „stan do remontu” i stanu drogi po przeprowadzonym remoncie lub przebudowie – „stan po remoncie”. Porównanie kosztów prac remontowych i prognozowanych korzyści jest podstawą podjęcia przez zarządcę decyzji o rodzaju i zakresie prac związanych z utrzymaniem, remontem, bądź przebudową.



Rys. 11. Analiza otrzymanych efektów ekonomicznych po wykonaniu remontu (I rodzaj remontu – frezowanie części nawierzchni; II rodzaj remontu – likwidacja kolein)

Uwzględniając szerokie spektrum koniecznych do wykonania badań terenowych, kolejne zagadnienie, poruszane w teoretycznej części opracowania naukowych podstaw oceny stanu dróg, stanowi metodyka określenia okresów zmiennych warunków pogodowych na podstawie danych meteorologicznych, które wykorzystano przy formułowaniu podstawowych założeń do wykonania badań eksperymentalnych. W opracowanej metodyce autorka założyła wykorzystanie podstawowej przesłanki kompleksowej oceny stanu dróg, zakładające, że jeśli droga będzie zapewniała daną prędkość na mokrej nawierzchni, to z całą pewnością będzie zapewniała także tę prędkość na suchej nawierzchni. Przy wykorzystaniu powyższej przesłanki i uwzględnieniu liczby dni z deszczem, stanowiących ok. 45 % wszystkich dni w roku, autorka zaproponowała przeprowadzenie ekspe-

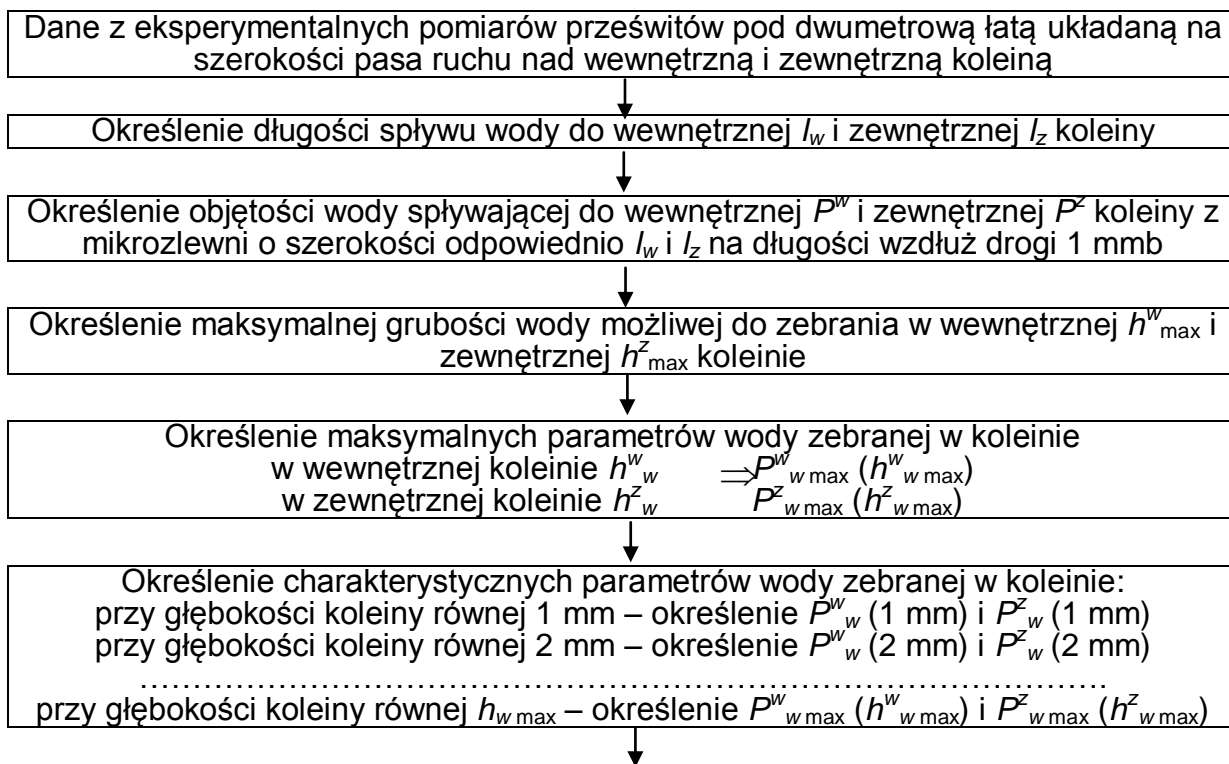
rymentalnych pomiarów prędkości tylko podczas niekorzystnych warunków pogodowych, tj. na mokrej nawierzchni.

Założenie, że podstawą proponowanej metody oceny stanu dróg jest prędkość oszacowana w niekorzystnych warunkach pogodowych, spowodowało konieczność uwzględnienia zjawiska aquaplaningu przy ocenie stanu skoleinowanych dróg.

W rozprawie opracowano funkcję pozwalającą wyznaczyć krytyczną grubość warstwy wody w zależności od wartości prędkości, ciśnienia powietrza w oponach, gęstości mieszaniny wody i zanieczyszczeń, głębokości tekstury i głębokości rowków rzeźby bieżnika. Opracowana zależność to ekstrapolacja funkcji W.W. Czasownikowa, szacującej krytyczną prędkość przy gładkiej oponie i funkcji, opisującej krytyczną prędkość przy różnej grubości rowków bieżnika, opracowanej przez firmę Pirelli.

Na podstawie szeregu analiz oszacowano rzeczywistą głębokość wody, zebranej w koleinie w trakcie deszczu oraz maksymalną możliwą do zebrania w danej koleinie głębokość wody na skoleinowanych drogach, znajdujących się na nizinnych terenach kraju, przy nieznacznych pochyleniach podłużnych do 1%. Podczas wykonywania powyższych analiz opracowano także metodykę kompleksowych pomiarów parametrów skoleinowanych dróg i metodykę wyznaczenia najczęściej występujących parametrów deszczu.

Na podstawie wyników kompleksowych badań terenowych opracowano metodykę oszacowania głębokości wody zebranej w danej koleinie podczas opadów deszczu (rys. 12) i nomogram dla jej wyznaczenia. Na podstawie teoretycznych rozważań zjawiska aquaplaningu i przy uwzględnieniu najczęściej spotykanych parametrów deszczu oszacowano także krytyczne grubości wody zebranej w koleinie, przy różnej prędkości w ruchu swobodnym.



Oszacowanie poszukiwanej głębokości wody zebranej w koleinie w trakcie deszczu

$$h_w^w \Rightarrow \{P_w^w(1 \text{ mm}), P_w^w(2 \text{ mm}), P_w^w(3 \text{ mm}), \dots, P_w^w \max(h_w^w \max)\} = P_w^w$$

$$h_w^z \Rightarrow \{P_w^z(1 \text{ mm}), P_w^z(2 \text{ mm}), P_w^z(3 \text{ mm}), \dots, P_w^z \max(h_w^z \max)\} = P_w^z$$

Rys. 12. Proponowany schemat blokowy do oszacowania głębokości wody w koleinie

W rozdziale trzecim przedstawiono przede wszystkim rezultaty eksperymentalnych badań wpływu geometrycznych parametrów drogi na parametry rozkładu prędkości w ruchu swobodnym.

Autorka jako pierwsza opracowała zależność parametrów rozkładu prędkości od **rzeczywistej odległości widoczności**. Uwzględniając konieczność oszacowania prędkości początkowej na odcinkach dróg o różnym typie przekroju poprzecznego, przeprowadzono eksperymentalne pomiary na fragmentach dróg z różną szerokością jezdni i poboczami gruntowymi. Wysokie wartości współczynników korelacji pomiędzy eksperymentalnymi danymi badanymi zmiennymi, a także pozytywne rezultaty testów Studenta i Pearsona potwierdziły istotność siły korelacji otrzymanych modeli postaci:

$$v_p = v_w - f(l_z) = v_w - (a_1 l_z^3 + a_2 l_z^2 + a_3 l_z + a_4), \text{ [km/h]} \quad (6)$$

gdzie: v_p – ogólne oznaczenie prędkości początkowej przy danej rzeczywistej odległości widoczności, [km/h]; v_w – ogólne oznaczenie prędkości wzorcowej na odcinku wzorcowym z wzorcową wartością rzeczywistej odległości widoczności, [km/h]; l_z – rzeczywista odległość widoczności na i -tym odcinku, [m]; a_1, a_2, a_3, a_4 – odpowiednie współczynniki modelu.

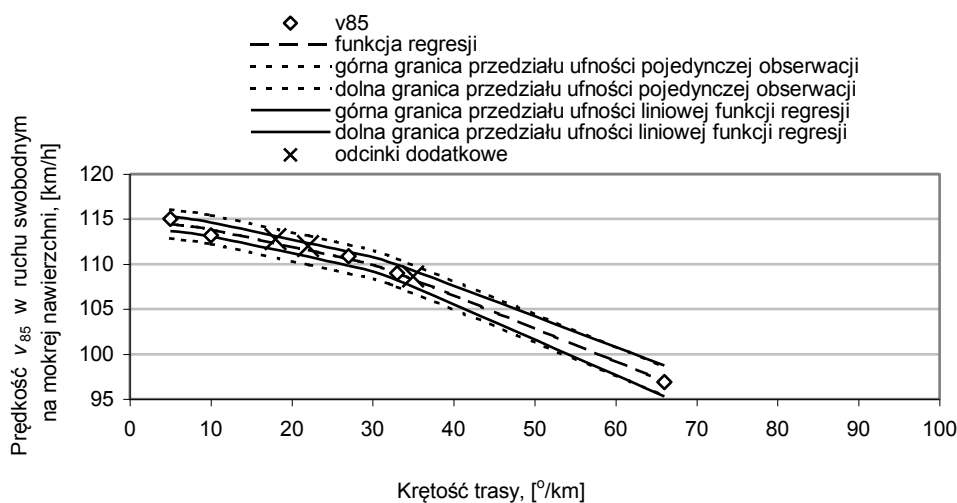
Po raz pierwszy opracowano zbiór równań, składający się z 36 zależności parametrów rozkładu prędkości od **krętości trasy**. W celu oszacowania ich przydatności przeprowadzono wielkowymiarowe badania eksperymentalne na fragmentach dróg z poboczami gruntowymi o szerokości jezdni 6 i 7 m, zaraz po kapitalnym remoncie nawierzchni i poboczy. Badania przeprowadzono na 60 odcinkach hektometrowych. Wysokie wartości współczynników korelacji pomiędzy parametrami rozkładu prędkości i daną krętością trasy oraz pozytywne rezultaty testów Studenta i Pearsona potwierdziły wiarygodność otrzymanych modeli postaci:

$$v_o = v_p - f(K)_{l_z} = v_w - (a_1 K^3 + a_2 K^2 + a_3 K + a_4)_{l_z}, \text{ [km/h]} \quad (7)$$

gdzie: v_p – ogólne oznaczenie prędkości początkowej oszacowanej wg modelu (6), [km/h]; v_o – ogólne oznaczenie prędkości odcinkowej przy danej rzeczywistej odległości widoczności i krętości trasy, [km/h]; $f(K)_{l_z}$ – funkcja, pozwalająca oszacować zmniejszenie prędkości, spowodowane inną krętością trasy niż wzorcowa, [km/h]; K – krętość trasy na ocenianym odcinku, [°/km]; a_1, a_2, a_3, a_4 – odpowiednie współczynniki modelu przy analizowanej wartości rzeczywistej odległości widoczności.

W celu potwierdzenia wiarygodności otrzymanego zbioru równań (7) przeprowadzono dodatkowe pomiary prędkości na 32 odcinkach,

znajdujących się na fragmentach dróg z innymi niż dotychczas krętościami trasy (rys. 13). Otrzymane rezultaty analizy statystycznej, a także zbliżone wartości oszacowanych prędkości według modelu (7) oraz wartości eksperymentalnych danych z badań terenowych potwierdziły wiarygodność zaproponowanych przez autorkę modeli (6) i (7).



Rys. 13. Przykładowe rezultaty analizy statystycznej z dodatkowymi odcinkami przy rzeczywistej odległości widoczności równej 200 m i szerokości jezdni 7 m

Zależność obowiązującą obecnie w Polsce, pozwalającą szacować wpływ elementów planu drogi na prędkość (8), opracował w latach 80. J. Kempa.

$$v^{(R,\gamma)} = v_0 - D C^{-R} \gamma, \text{ [km/h]} \quad (8)$$

gdzie: $v^{(R,\gamma)}$ – trzy parametry rozkładu prędkości na krzywoliniowym odcinku drogi, uwzględniające wpływ promienia łuku w planie i kąta zwrotu trasy, [km/h]; v_0 – trzy parametry rozkładu prędkości oszacowanej na odcinku poziomym i prostym w planie, o długości 550 – 1200 m i rzeczywistej odległości widoczności 400 m, [km/h]; C, D – współczynniki modelu, zależne od szerokości jezdni, określone przez J. Kempę; R – promień łuku w planie, [m]; γ – kąt zwrotu trasy, [°].

Uwzględniając inny obecnie park maszynowy i inne prędkości współczesnych samochodów, autorka zaproponowała modyfikację modelu (8) zgodnie z proponowanym modelowaniem matematycznym. Prędkość początkowa, stanowiąca **pierwszy człon modelu** (9), uwzględnia wpływ rzeczywistej odległości widoczności na prostoliniowych fragmentach dróg w planie.

W **trzecim członie zmodyfikowanego modelu** (9) uwzględniono wpływ krętości trasy na prędkość (trzeci stopień modelowania matematycznego), potwierdzony statystycznie rezultatami badań wpływu na prędkość głębokości koleiny, szorstkości i stanu poboczy gruntowych. Drugi człon modelu (9) pozostaje niezmienny, przedstawia on sobą określone

przez J. Kempę zmniejszenie prędkości na odcinku krzywoliniowym, spowodowane wpływem wielkości promienia łuku w planie i kąta zwrotu trasy.

Modyfikacja modelu polega na dodatkowym uwzględnieniu zmniejszenia prędkości spowodowanego krętością trasy (model (5)) i konsekwentnym wprowadzeniu innych wartości prędkości na poziomym i prostym w planie fragmencie drogi (model (1) i (3)):

$$v_{(R,\gamma)} = v_p - D C^{-R} \gamma - (v_p - v_o), \text{ [km/h]} \quad (9)$$

gdzie: $v_{(R,\gamma)}$ – trzy parametry rozkładu prędkości, uwzględniające wpływ promienia łuku w planie i kąta zwrotu trasy, [km/h]; v_p – trzy parametry rozkładu prędkości początkowej oszacowanej wg modelu (6), przy rzeczywistej odległości widoczności na ocenianym i -tym odcinku drogi, [km/h]; v_o – trzy parametry rozkładu prędkości odcinkowej oszacowanej wg modelu (7), przy odpowiedniej na danym i -tym odcinku drogi rzeczywistej odległości widoczności i krętości trasy, [km/h]; pozostałe oznaczenia jak w modelu (8).

W dalszej części prowadzonych badań nad określeniem wpływu cech drogi na prędkość uwzględniano szerokość i stan poboczy gruntowych. Na podstawie wieloletnich badań terenowych przy określeniu stanu poboczy gruntowych przyjęto kilka czynników charakteryzujących ich utrzymanie. Przy opracowaniu zbioru zależności parametrów rozkładu prędkości od **stanu poboczy gruntowych** autorka zastosowała stratyfikację danych według rzeczywistej odległości widoczności, stanowiącą jeden z podstawowych elementów kontroli jakości zalecanych przez K. Ishikawę. Wysokie wartości współczynników korelacji pomiędzy eksperymentalnymi danymi badanymi zmiennymi, a także pozytywne rezultaty testów Studenta i Pearsona potwierdziły istotność siły korelacji otrzymanych funkcji tylko w stosunku do szerokości zwierciadła wody na poboczu gruntowym i na krawędzi jezdni. Zaproponowany model zależności parametrów rozkładu prędkości od parametrów utrzymania poboczy gruntowych ma ogólną postać:

$$v^{(x)} = a_1 v_p - a_2 x, \text{ [km/h]} \quad (10)$$

gdzie: $v^{(x)}$ – trzy parametry rozkładu prędkości, na poziomych i prostych w planie fragmentach dróg z szerokością jezdni 7 m i wzorcową krętością trasy, uwzględniające wpływ analizowanego parametru utrzymania poboczy gruntowych, [km/h]; v_p – trzy parametry rozkładu prędkości początkowej, szacowanej wg modelu (6), przy danej rzeczywistej odległości widoczności na ocenianym i -tym odcinku drogi, [km/h]; x – analizowane parametry utrzymania poboczy gruntowych: projektowa szerokość poboczy p , [m]; szerokość poboczy w trakcie deszczu p_m , [m]; maksymalna różnica szerokości poboczy wzdłuż odcinka hektometrowego $\Delta p = p_{\max} - p_{\min}$, [m]; szerokość maksymalnie możliwego zwierciadła wody na poboczu gruntowym l_b , [m]; szerokość maksymalnie możliwego zwierciadła wody na krawędzi jezdni l_k , [m]; szerokość łączna maksymalnie możliwego zwierciadła wody na krawędzi jezdni i

na poboczu gruntowym $(l_k + l_b)$, [m]; połowa szerokości korony drogi $K_o/2 = (b + p)$, [m]; a_1, a_2 – odpowiednie współczynniki modelu przy danej wartości rzeczywistej odległości widoczności.

W celu potwierdzenia jednoparametrowych zależności prędkości od parametrów utrzymania poboczy gruntowych ($v_{85} = f(x)$, $v^o_{sr} = f(x)$, $v^c_{sr} = f(x)$) przeprowadzono w pracy habilitacyjnej analogiczne analizy statystyczne zależności prędkości od pozostałych cech drogi występujących na odcinkach badawczych. We wszystkich przypadkach otrzymano małe wartości współczynników korelacji między badanymi zmiennymi i negatywne wyniki testów Studenta i Pearsona, świadczące o braku zależności prędkości na odcinkach badawczych od pozostałych cech drogi.

Przy interpretacji poszczególnych rezultatów testów statystycznych bardzo przydatne okazały się teoretyczne rozważania W.F. Babkowa i J.M. Łobanowa, dotyczące pola koncentracji uwagi kierowcy i udziału poświęcanej przez kierowcę uwagi poszczególnym elementom przekroju poprzecznego drogi (rys. 2). W prowadzonych analizach autorka porównywała łącznie udział poświęcanej przez kierowcę uwagi poszczególnym elementom przekroju poprzecznego drogi, pole koncentracji uwagi kierowcy i rezultaty testów statystycznych, otrzymując potwierdzenie różnorodnych połączeń oddziałujących na kierowcę elementów drogi i utrzymania poboczy gruntowych.

W celu potwierdzenia wiarygodności otrzymanego modelu (10) i różnorodnego połączenia oddziałujących na kierowcę elementów drogi i utrzymania poboczy gruntowych autorka przeprowadziła dodatkowe pomiary prędkości na 7 odcinkach dróg z rzeczywistą odległością widoczności równą 1000 m. Otrzymane rezultaty analizy statystycznej danych z dodatkowych odcinków potwierdziły sformułowaną przez autorkę hipotezę, że oddzielne elementy przekroju poprzecznego drogi mogą znajdować się poza polem koncentracji uwagi kierowcy i przez to nie wpływać na niego przy większych prędkościach. Autorka na podstawie przeprowadzonych badań potwierdziła hipotezy W.F. Babkowa i J.M. Łobanowa dotyczące wzajemnego powiązania pola koncentracji uwagi kierowcy i jego percepcji twierdzące, że pole koncentracji uwagi kierowcy zmniejsza się przy wzroście prędkości, a kierowca przy większych prędkościach koncentruje wzrok na poszczególnych elementach przekroju poprzecznego drogi, znajdujących się na dalszych odległościach.

Stosując zaproponowany model (5), autorka wykorzystwała otrzymane przy wzorcowej krętości trasy zależności (10) do oszacowania wpływu na prędkość utrzymania poboczy gruntowych przy różnych wartościach rzeczywistej odległości widoczności i krętości trasy. Proponowana zależność ma następującą postać:

$$v_{(x)} = a_1 v_p - a_2 x - (v_p - v_o), \text{ [km/h]} \quad (11)$$

gdzie: $v_{(x)}$ – trzy parametry rozkładu prędkości, na poziomych i prostych w planie fragmentach dróg z szerokością jezdni 7 m, z różnym utrzymaniem poboczy gruntowych, zmienną krętością trasy i rzeczywistą odległością widoczności, [km/h]; v_o – trzy parametry rozkładu prędkości odcinkowej oszacowanej wg modelu (7), przy odpowiedniej na danym i -tym odcinku drogi rzeczywistej odległości widoczności i krętości trasy, [km/h]; pozostałe oznaczenia jak w modelu (10).

W rozdziale trzecim opracowano także zależność rzeczywistych parametrów rozkładu prędkości od **szerokości poboczy utwardzonych**. Na istniejących drogach odnotowano szerokości poboczy utwardzonych w przedziale 1,2-2,8 m. Zgodnie z polskimi WT szerokość poboczy utwardzonych powinna wynosić 2,0 lub 2,5 m, zależnie od klasy technicznej drogi. Uwzględniając, że stosowana na większości dróg w Polsce przerywana linia krawędziowa P7a pozwala kierowcy swobodnie wybierać dowolną trajektorię ruchu, dodatkowo w pracy określono także zależność od zsumowanej szerokości pasa ruchu i pobocza utwardzonego. Powyższe założenia były sformułowane na podstawie analizy wyników wielu badań. Rezultaty testów Studenta i Pearsona potwierdziły wiarygodność otrzymanych modeli na drogach z różną szerokością poboczy utwardzonych.

W rozdziale czwartym przedstawiono rezultaty eksperymentalnych badań wpływu cech eksploatacyjnych nawierzchni na parametry rozkładu prędkości.

Autorka przeprowadziła badania terenowe na prawie 100 odcinkach hektometrowych i określiła zbiór zależności prędkości od **głębokości koleiny**. W celu określenia zbioru modeli zastosowała stratyfikację danych względem różnej rzeczywistej odległości widoczności. Wysokie wartości współczynników korelacji pomiędzy parametrami rozkładu prędkości i daną głębokością koleiny oraz pozytywne wyniki testów Studenta i Pearsona potwierdziły wiarygodność otrzymanych modeli postaci:

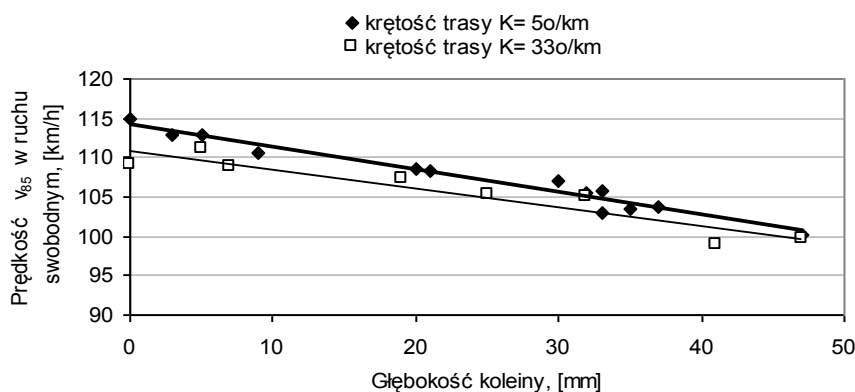
$$v^{(k)} = a_1 v_p - a_2 k, \text{ [km/h]} \quad (12)$$

gdzie: $v^{(k)}$ – trzy parametry rozkładu prędkości, na poziomych i prostych w planie fragmentach dróg z szerokością jezdni 7 m i wzorcową krętością trasy oraz zmienną głębokością koleiny, [km/h]; v_p – trzy parametry rozkładu prędkości początkowej oszacowanej wg modelu (6), przy danej rzeczywistej odległości widoczności na ocenianym i -tym odcinku drogi, [km/h]; k – głębokość koleiny, [mm]; a_1, a_2 - odpowiednie współczynniki modelu przy danej rzeczywistej odległości widoczności.

W celu potwierdzenia jednoparametrowych zależności prędkości od głębokości koleiny ($v_{85} = f(k), v_{sr}^o = f(k), v_{sr}^c = f(k)$) przeprowadzono analizy zależności prędkości od pozostałych cech drogi występujących na odcinkach badawczych. We wszystkich przypadkach otrzymano małe wartości współczynników korelacji między badanymi zmiennymi i negatywne wyniki

testów Studenta i Pearsona, świadczące o braku zależności prędkości od pozostałych cech drogi. Otrzymane rezultaty potwierdzają słuszność i istotność sformułowanego przez autorkę teoretycznego założenia o konieczności wyboru do badań terenowych jednorodnych pod względem rzeczywistej odległości widoczności i krętości trasy odcinków pomiarowych, w celu określenia jednoparametrowych zależności prędkości od danej cechy drogi.

W celu potwierdzenia wiarygodności otrzymanego modelu (13) i zaproponowanego modelowania matematycznego (5) autorka przeprowadziła dodatkowe pomiary prędkości na 20 odcinkach dróg z inną krętością trasy (rys. 14). Otrzymane rezultaty analizy statystycznej danych z dodatkowych odcinków potwierdziły zaproponowane w pracy habilitacyjnej modelowanie matematyczne i tezę z badań W.F. Babkova i J.M. Łobanova, dotyczące wzajemnego powiązania pola koncentracji uwagi kierowcy i jego percepcji. Otrzymane wyniki z dodatkowych analiz uzasadniają różny wpływ głębokości koleiny na prędkość przy różnych rzeczywistych odległościach widoczności (rys. 15).

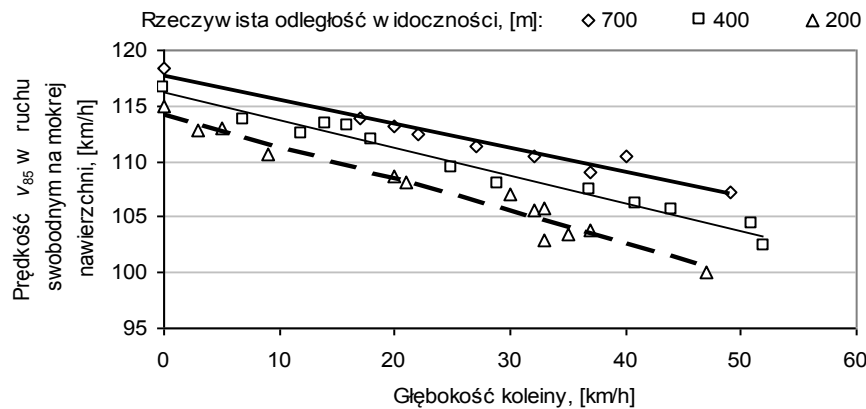


Rys. 14. Zależność prędkości v_{85} od głębokości koleiny na poziomych i prostych w planie fragmentach dróg przy rzeczywistej odległości widoczności równej $l_z = 200$ m i przy krętości trasy odpowiednio równej 5 i 33 °/km

Otrzymane zależności (12) po zastosowaniu modelowania matematycznego mają następującą postać:

$$v_{(k)} = a_1 v_p - a_2 k - (v_p - v_o), \quad [\text{km/h}] \quad (13)$$

gdzie: $v_{(k)}$ – trzy parametry rozkładu prędkości, na poziomych i prostych w planie fragmentach dróg z szerokością jezdni 7 m, z różną głębokością koleiny oraz zmienną krętością trasy i rzeczywistą odległością widoczności, [km/h]; v_o – trzy parametry rozkładu prędkości odcinkowej oszacowanej wg modelu (7), przy rzeczywistej odległości widoczności na ocenianym i -tym odcinku drogi, [km/h]; pozostałe oznaczenia jak w modelu (12).



Rys. 15. Zależność prędkości v_{85} od głębokości koleiny na poziomych i prostych w planie fragmentach dróg z wzorcową krętością trasy przy różnych rzeczywistych odległościach widoczności

W rozdziale czwartym także przedstawiono wyniki oceny efektywności prac związanych z utrzymaniem i remontem nawierzchni na odcinkach z różną głębokością koleiny z wykorzystaniem testów istotności dla dwóch średnich i zgodności λ -Kolmogorowa–Smirnowa. Wyniki testów istotności wykazały, że przy głębokości koleiny większej niż $k = 20$ mm praktycznie na wszystkich rozpatrywanych odcinkach likwidacja kolein i wyrównanie powierzchni nawierzchni istotnie wpływa na zwiększenie średnich prędkości samochodów osobowych (od 5% do 15% lub w wartościach bezwzględnych 2–13 km/h) oraz ciężarowych (od 5% do 12% lub w wartościach bezwzględnych 4–12 km/h). Następnie przeprowadzono test zgodności w celu sprawdzenia hipotezy o przynależności do tej samej populacji dwóch dystrybuant prędkości na odpowiednich odcinkach badawczych. Wyniki testu zgodności wykazały, że empiryczne dystrybuanty prędkości na odcinkach z głębokością koleiny większą niż $k = 20$ mm różnią się istotnie od empirycznych dystrybuant prędkości na tych odcinkach po likwidacji kolein. Wobec czego powyższe rezultaty są potwierdzeniem, że likwidacja kolein o głębokości większej niż $k = 20$ mm i wyrównanie powierzchni nawierzchni istotnie wpływa na zwiększenie prędkości (wzrost v_{85} wynosi od 6% do 15%, a w wartościach bezwzględnych 4–13 km/h).

Na podstawie danych z wieloletnich badań terenowych opracowano zależności prędkość od **szorstkości nawierzchni**. W tym przypadku analogicznie do poprzednich przypadków zastosowano stratyfikację danych według rzeczywistej odległości widoczności. Wysokie wartości współczynników korelacji pomiędzy rozpatrywanymi danymi badanymi zmiennymi, a także pozytywne rezultaty testów Studenta i Pearsona potwierdziły istotność siły korelacji otrzymanych modeli postaci:

$$v^{(S_{BB})} = a_1 v_p - a_2 (66 - S_{BB}), \text{ [km/h]} \quad (14)$$

gdzie: $v^{(S_{BB})}$ – trzy parametry rozkładu prędkości, na poziomych i prostych w planie fragmentach dróg, z szerokością jezdni 7 m, wzorcową krętością trasy oraz zmienną szorstkością nawierzchni, [km/h]; v_p – trzy parametry rozkładu prędkości początkowej oszacowanej wg modelu (6), przy danej rzeczywistej odległości widoczności na ocenianym i -tym odcinku drogi, [km/h]; S_{BB} – szorstkość nawierzchni, [-]; 66 – przyjęta wzorcowa wartość szorstkości nawierzchni, [-]; a_1, a_2 - odpowiednie współczynniki modelu przy danej rzeczywistej odległości widoczności.

Analogicznie jak w poprzednich przypadkach przeprowadzono analizy zależności prędkości od pozostałych cech drogi występujących na Badanych odcinkach. We wszystkich przypadkach otrzymano małe wartości współczynników korelacji między badanymi zmiennymi i negatywne wyniki testów Studenta i Pearsona, świadczące o braku zależności prędkości na odcinkach badawczych od pozostałych cech drogi.

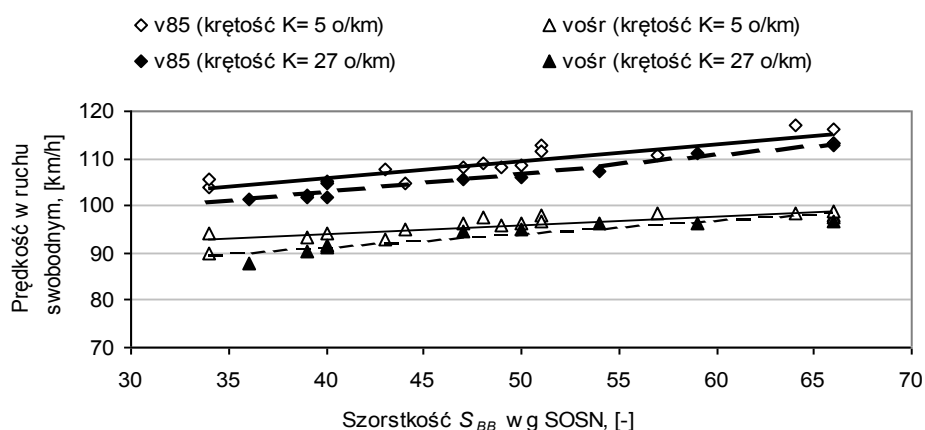
W celu potwierdzenia wiarygodności otrzymanego modelu (14) i zaproponowanego modelowania matematycznego (5) autorka przeprowadziła dodatkowe pomiary prędkości na 9 odcinkach dróg z inną krętością trasy (rys. 16). Otrzymane rezultaty analizy statystycznej danych z dodatkowych odcinków potwierdziły zaproponowane w niniejszej pracy modelowanie matematyczne (5). Zastosowane zależności (12) zostały wykorzystane dalej do szacowania wpływu szorstkości nawierzchni na prędkość, przy różnych wartościach rzeczywistej odległości widoczności i krętości trasy. Proponowana zależność ma następującą postać:

$$v_{(S_{BB})} = a_1 v_p - a_2 (66 - S_{BB}) - (v_p - v_o), \text{ [km/h]} \quad (15)$$

gdzie: $v_{(S_{BB})}$ – trzy parametry rozkładu prędkości, na poziomych i prostych w planie fragmentach dróg z szerokością jezdni 7 m, z różną szorstkością nawierzchni oraz zmienną krętością trasy, [km/h]; v_o – trzy parametry rozkładu prędkości odcinkowej oszacowanej wg modelu (7), przy danej rzeczywistej odległości widoczności na ocenianym i -tym odcinku drogi, [km/h]; pozostałe oznaczenia jak w modelu (14).

W rozdziale czwartym także przedstawiono wyniki oceny efektywności uszorstnienia nawierzchni z wykorzystaniem testów istotności *dla dwóch średnich* i testów zgodności λ -*Kołmogorowa–Smirnowa*. Wyniki testów istotności wykazały, że przy szorstkości nawierzchni mniejszej niż $S_{BB} = 44$ i przy rzeczywistej odległości widoczności $l_z = 300$ m, a także przy szorstkości nawierzchni mniejszej niż $S_{BB} = 54$ i przy rzeczywistej odległości widoczności $l_z = 700$ m remont nawierzchni istotnie wpływa na zwiększenie średnich prędkości samochodów osobowych (od 2% do 14% lub w wartościach bezwzględnych 2–12 km/h) oraz ciężarowych (od 3% do 13% lub w wartościach bezwzględnych 2–11 km/h). Następnie

analogicznie do poprzedniego przypadku przeprowadzono test zgodności, którego wyniki wykazały, że empiryczne dystrybuanty prędkości na odcinkach z szorstkością nawierzchni mniejszą niż $S_{BB} = 44$ (przy rzeczywistej odległości widoczności $l_z = 300$ m), a także przy szorstkości nawierzchni mniejszej niż $S_{BB} = 54$ (przy rzeczywistej odległości widoczności $l_z = 700$ m) różnią się istotnie od empirycznych dystrybuant prędkości na wyremontowanych odcinkach (wzrost v_{85} wynosi od 3% do 17%, a w wartościach bezwzględnych 3–17 km/h).



Rys. 16. Zależność prędkości od szorstkości nawierzchni na poziomych i prostych w planie fragmentach drogi z krętością trasy 5 lub 27 °/km przy rzeczywistej odległości widoczności $l_z = 300$ m

W piątym rozdziale przedstawiono podstawowe zasady proponowanej oceny stanu dróg ze względu na ich wartości użytkowe do wykorzystania w praktyce przy opracowywaniu wariantów prac związanych z utrzymaniem, remontem lub przebudową.

Zestawiono w nim także zbiór jednoparametrowych i wieloparametrowych modeli, pozwalających szacować **oddzielny wpływ** cech drogi na parametry rozkładu prędkości.

W piątym rozdziale przedstawiono także zmodyfikowany i rozszerzony model ruchu swobodnego, pozwalający szacować **łączy wpływ** cech drogi na parametry rozkładu prędkości, z wykorzystaniem opracowanego przez autorkę systemu modelowania matematycznego. W proponowanym zmodyfikowanym modelu ruchu swobodnego szacuje się wpływ cech drogi na prędkość selektywnie dobierając w czasie obliczeń odpowiednie cechy drogi i stopniowo rozszerzając wyjściowy model matematyczny. W końcowym efekcie obliczeń według proponowanego systemu modeli wieloetapowego szacowania prędkości zarządca drogi otrzymuje uzasadnioną podstawę do wysoko kwalifikowanego zarządzania stanem drogi, a także podjęcia decyzji o rodzaju i zakresie koniecznych oraz przewidywanych do wykonania prac.

W celu sprawdzenia prawidłowości i wiarygodności proponowanego systemu modeli wieloetapowego szacowania prędkości autorka przeprowadziła dodatkowe badania na 20 odcinkach dróg z różnym stanem nawierzchni i poboczy, z inną szerokością jezdni i krętością trasy. W stosunku do otrzymanych danych z dodatkowych badań terenowych przeprowadzono test istotności dla dwóch średnich, którego pozytywne rezultaty we wszystkich przypadkach potwierdziły wiarygodność zaproponowanego zmodyfikowanego i rozszerzonego modelu ruchu swobodnego.

Uwzględniając odnotowany wzrost natężenia ruchu w Polsce, powodujący konieczność poszerzenia jezdni lub zmiany przekroju poprzecznego bądź budowę poboczy utwardzonych, w rozdziale piątym przedstawiono także opracowane schematy blokowe pryncypialnych zasad praktycznego wykorzystania oceny stanu dróg ze względu na ich wartości użytkowe.

Rezultaty zaproponowanego szacowania łącznego wpływu uwzględnianych cech drogi na prędkość mogą stanowić także podstawę dalszych analiz, tj.: płynności i bezpieczeństwa ruchu, komfortu jazdy, a także przepustowości drogi po wykonanym remoncie.

WNIOSKI KOŃCOWE

1. Opracowano naukowe podstawy oceny stanu dróg ze względu na ich wartości użytkowe i nową metodę oceny stanu dróg opartą na klasyfikacji krętości trasy i rzeczywistej odległości widoczności. Sformułowano zasady wyboru odcinków wzorcowych oraz uzasadnienia odpowiednich prędkości na drogach różnego typu, co ostatecznie pozwoliło szacować wpływ cech drogi na końcowe rezultaty ich funkcjonowania.

2. Opracowano naukowe podstawy metody szacowania i uzasadnienia najefektywniejszych przedsięwzięć związanych z poprawieniem cech drogi, opierając się na systemie modeli opisujących zależność oddzielnego i łącznego wpływu cech drogi na parametry rozkładu prędkości.

3. Przy określeniu cechy drogi determinująco wpływającej na prędkość autorka zaproponowała wykorzystanie metody TQM (Total Quality Management) oraz diagramów Pareto–Lorenza i K.Ishikawy, co pozwoliło nie tylko znaleźć cechę drogi powodującą lokalne obniżenie prędkości, ale jednocześnie wyznaczyć zakres remontu.

4. Opracowano i potwierdzono podstawy modelowania matematycznego zależności prędkości od cech drogi z zastosowaniem selektywnego uwzględniania rzeczywistej odległości widoczności i krętości trasy na ocenianym odcinku drogi. Określono wzorcowe wartości poszczególnych cech drogi na podstawowych typach przekroju poprzecznego dwupasowych dróg dwukierunkowych.

5. Zastosowano modelowanie matematyczne polegające na selektywnym doborze cech drogi i stopniowym rozszerzaniu się wyjściowego modelu.

6. Wykazano nowe funkcjonalne prawidłowości i opracowano system nowych modeli matematycznych, opisujących oddzielny wpływ podstawowych cech drogi na 85% kwantyl i średnie prędkości w ruchu swobodnym, pozwalające oszacować ten wpływ i uzasadnić przy ograniczonych nakładach finansowych wybór najbardziej efektywnych prac związanych z utrzymaniem, remontem bądź przebudową.

7. Wykazano i potwierdzono konieczność uwzględnienia aquaplaningu przy ocenie stanu drogi. Opracowano zależność krytycznej grubości filmu wodnego od prędkości, ciśnienia powietrza w oponach, gęstości mieszaniny wody i zanieczyszczeń, głębokości tekstury oraz głębokości rowków w bieżniku opony. Opracowana zależność to ekstrapolacja funkcji W.W. Czasownikowa, opisującej krytyczną grubość filmu wodnego dla gładkich opon z bardzo dużym zużyciem bieżnika i funkcji, opisującej krytyczną grubość filmu wodnego dla opon z różnym zużyciem bieżnika, opracowanej przez firmę Pirelli.

8. Opracowano metodykę wyznaczania głębokości wody w koleinie w trakcie deszczu i nomogram do jej określenia. W odniesieniu do parametrów najczęściej spotykanych deszczy i różnych prędkości realizowanych na polskich drogach, znajdujących się w nizinnych regionach kraju z pochyleniem podłużnym do 1%, wyznaczono krytyczne głębokości wody możliwej do zebrania w koleinie.

9. Opracowane i naukowo uzasadnione techniczne i techniczno-ekonomiczne procedury tworzą naukowe przesłanki do wypracowania optymalnych strategii przy realizacji przedsięwzięć drogowych.

Wybrane publikacje autorki w materiałach konferencyjnych i periodycznych wydawnictwach

1. VASILIEV A., SOLOWCZUK A.: Classification of methods for evaluating the road condition, Third Technical and Scientific Conference With International Participation „ECO - VARNA'1997 - Transport, ecology - stable development”, Varna 8-10 May 97 vol. 1. pp. 16-24.
2. SOLOWCZUK A.: *Evaluation of road condition as opposed to road surface evaluation*, V International Scientific Conference on International Combustion Engines and Vehicles - „MOTAUTO'1998”, Sofia 14-16 October 1998, vol. 4 pp. 106-110.
3. SOLOWCZUK A.: *Diagnostics and evaluation of road condition as a basis for a road condition management system*, IV International Technical and Scientific Conference „ECO - VARNA'1998 - Transport, ecology - stable development”, Varna 14-16 May 1998, vol. 1 pp. 54-59.
4. VASILIEV A., SOLOWCZUK A., MIERZWA M: *Evaluation of the transport and economic efficiency of various rut elimination methods*, V International

- Scientific Conference on International Combustion Engines and Vehicles - „MOTAUTO'98”, Sofia 14-16 October 1998, vol. 4 pp. 236-243.
5. VASILIEV A., SOLOWCZUK A.: *Shema VADS*, IV Technical and Scientific Conference With International Participation „ECO - VARNA'1998 - Transport, ecology - stable development”, Varna 14-16 May 1998, vol. 1 pp. 60-67.
 6. VASILIEV A., SOLOWCZUK A., ZAWORSKI M.: „*Taking road safety into account into evaluating road condition*”, World Conference „Eurobitumen'1999”, Brussels May 1999.
 7. SOLOWCZUK A.: *Evaluation of road condition as opposed to road surface evaluation*, IV International Conference „Durable and safe road pavements”, Kielce 11-12 May 1999, vol. 2, pp. 335-340.
 8. SOLOWCZUK A.: *The effect of road rutting on the amount of water in the ruts during the rain*, International Conference AIPCR - PIARC (Association mondiale de la Route - World Road Association) „ON SAFE ROADS INTO THE XXI. CENTURY” PIARC, Budapest 24-26 October 2000, CD-R No. 507.
 9. SOLOWCZUK A.: *Aquaplaning effect on various road-surfaces*, International Conference AIPCR - PIARC (Association mondiale de la Route - World Road Association) „ON SAFE ROADS INTO THE XXI. CENTURY”, Budapest 24-26 October 2000, CD-R No. 507a.
 10. SOLOWCZUK A.: *Influence of hardened road shoulder width on road traffic speed*, VII International Scientific Conference on International Combustion Engines and Vehicles - „MOTOAUTO'2000”, Sofia 18-20 October 2000 r., pp. 129 - 136.
 11. SOLOWCZUK A.: *Evaluation of economic effects of hardened road shoulder widening*, VII International Scientific Conference on International Combustion Engines and Vehicles - „MOTOAUTO'2000”, Sofia 18-20 October 2000, pp. 145 - 152.
 12. SOLOWCZUK A.: *Effect of the adhesion coefficient on the speed of drive on a wet pavement*, VI Technical and Scientific Conference „ECO - VARNA'2000 - Transport, ecology - stable development”, Varna 18-20 May 2000, pp. 11 - 18.
 13. SOLOWCZUK A.: *Characteristics of the types shoulder maintenance*, V International Conference „Durable and safe road pavements”, Kielce 9-10 May 2000, vol. 2, pp. 211-218.
 14. SOLOVČUK A., VASIL'EV A.P.: Problema koleeobrazovaniâ na dorogah s asfal'tobetonnym pokrytiem, *Nauka i tehnika w dorozhnoj otrasli*, 2000/2, s. 3 - 4.
 15. SOLOVČUK A.: Avtomatičeskie metody izmereniâ glubiny kolei i ispol'zovanie ih rezul'tatov pri planirovanii remontnyh rabot, *Nauka i tehnika w dorozhnoj otrasli*, 2000/3, s. 34 - 35.
 16. SOLOWCZUK A.: *A study of present-day methods for evaluating the road condition* 14th IRF International Road Federation - Road World Congress, Paris'2001, 11-15 June 2001, CD-R nr P118.
 17. SOLOWCZUK A.: *The effect of the roadway width on the driving speed* 14th IRF International Road Federation - Road World Congress, Paris'2001, 11-15 June 2001, CD-R nr P134.

18. SOŁOWCZUK A.: *The effect of rut depth on reliable speed*, VIII International Scientific Conference on International Combustion Engines and Vehicles - „MOTAUTO'2001”, Varna - Golden Sand 17-19 October 2001, vol. 2 pp. 112-115.
19. SOŁOWCZUK A.: *The reliable speed on road sections with different bendiness*, VIII International Scientific Conference on International Combustion Engines and Vehicles - „MOTAUTO'2001”, Varna - Golden Sand 17-19 October 2001, vol. 2 pp. 108-111.
20. SOŁOWCZUK A.: *A study of methods TQM for evaluating the road condition*, VII Technical and Scientific Conference „ECO - VARNA'2001 - Transport, ecology - stable development”, Varna May 2001, vol. 1 pp. 10 - 17.
21. SOŁOWCZUK A.: *Free traffic and evaluation of the road condition*, VII Technical and Scientific Conference „ECO - VARNA'2001 - Transport, ecology - stable development”, Varna May 2001, vol. 1 pp. 3 - 9.
22. SOŁOWCZUK A.: *The reliable speed as a pivotal index for evaluating the road technical condition*, VI International Conference „Durable and safe road pavements”, Kielce 8-9 May 2001, vol. 2, pp. 317-324.
23. SOŁOWCZUK A.: *The rut depth versus the aquaplaning effect*, II - International Scientific Conference „Modern Technologies in Highway Engineering” Poznań 10-11 September 2001, pp. 228-238.
24. SOŁOWCZUK A.: *The rut-depth impact upon the driving speed on the two-way/two-lane roads with the ground shoulders*, II - International Scientific Conference „Modern Technologies in Highway Engineering”, Poznań 10-11 September 2001, pp. 239-249.
25. SOŁOWCZUK A.: *Utrzymanie dróg i ocena ich stanu technicznego na podstawie gwarantowanej prędkości miarodajnej*, XLVII Konferencji Naukowej KILiW PAN i Komitetu Nauki PZITB, Krynica'2001, Krynica 16-21 wrzesień 2001, vol. 4 str. 119-126.
26. SOŁOWCZUK A.: Relationship of aquaplaning velocity to depth of water in the ruts, *Archives of Civil Engineering* No. 2001/4, pp. 559-585.
27. SOŁOWCZUK A. Ocena właściwości użytkowych drogi, *Drogownictwo*, 2001 nr 10, s. 315-319.
28. SOŁOWCZUK A.: *Motor-vehicle participation in the free flow traffic on the two-lane roads with unpaved shoulders*, Ninth International Scientific Conference on International Combustion Engines, Automobile Technics and Transport - „MOTAUTO'2002”, Russe 30 October-1 November 2002, vol. 3, pp. 5-8.
29. SOŁOWCZUK A.: *Technical condition of roads vs. the efficiency of repair work*, Ninth International Scientific Conference on International Combustion Engines, Automobile Technics and Transport - „MOTAUTO'2002”, Russe 30 October-1 November 2002, vol. 3, pp. 1-4.
30. SOŁOWCZUK A.: *Assessing the scope and extent of road repairing works on the basis of a reliable-speed difference limit for two successive road sections*, VII International Conference „Durable and safe road pavements”, Kielce 7-8 May 2002, vol. 2, pp. 393 - 400.
31. SOŁOWCZUK A. Nowa metoda oceny jakości drogi dla potrzeb utrzymania dróg, *Drogownictwo*, 2002 nr 7-8, s. 209 217.

32. SOŁOWCZUK A.: *Wpływ szerokości jezdni na prędkość na dwupasowych drogach dwukierunkowych*, 50 Konferencja Naukowa KILiW PAN i Komitetu Nauki PZITB, Krynica'2004, Krynica 12-17 wrzesień 2004, vol. V, s. 241-248.
33. SOLOWCZUK A.: Evaluation of technical state of highways on the basis of guaranteed service properties, *Archives of Civil Engineering* No. 2004/2, pp. 321-339.
34. SOLOWCZUK A.: Influence of selected road parameters on velocity of two-lane, two-way highway, *Archives of Civil Engineering* No. 2004/2, pp. 295-319.
35. SOLOVČUK A., VASIL'EV A.P.: O vliânii širyny ukreplennyh obočin dorog z dvuhpolosnoj projezžej čast'û na skorost' dviženia avtomobil'ej. *Avtomobil'nye dorogi*, 2005, nr 2, s. 26-27.
36. SOLOVČUK A.: Metod TQM w zadačah ocenki tehničeskogo sostoâniâ dorog. *Transportnoe stroitelstvo*, 2005, nr 7, s.11-12.
37. SOLOVČUK A.: Naučnye osnovy ocenki tehničeskogo sostoâniâ dorog po potrebitel'skim svojstvam, *Trudy Rosijskogo Dorožnogo Naučnogo Issledovatel'skogo Instituta GP ROSDORNII „Dorogi i mosty”*, VERSTKA, 2005, nr 13/1, s.175-185.
38. SOLOVČUK A., VASIL'EV A.P.: Opasnaâ koleâ. O dopustimoj glubinie sloâ vody w kolejah iz uslovâ akvaplanirovania. *Avtomobil'nye dorogi*, 2005, nr 7, s. 8-9.
39. SOLOVČUK A.: Nomogramma dlâ opredeleniâ glubiny vody w kolejah vo vremâ doždej. *Avtomobil'nye dorogi*, 2005, nr 8, str. 34-35.
40. SOLOVČUK A.: Izmenienia skorosti avtomobil'ej na učastkah dorog z raznoj glubinoj kolei, *Trudy Rosijskogo Dorožnogo Naučnogo Issledovatel'skogo Instituta GP ROSDORNII „Dorogi i mosty”*, VERSTKA, 2005, nr 13/1, s.69-78.

SPIS WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ ZASTOSOWANYCH W PRACY

- $f(x)$ – ogólne oznaczenie funkcji zmniejszenia prędkości, szacującej wpływ na prędkość analizowanej cechy drogi x o innej wartości niż wartość wzorcowa, przy wzorcowych wartościach pozostałych cech drogi, [km/h]
- $f(l_z)$ – funkcja opisująca zależność parametrów rozkładu zmniejszenia prędkości, wynikającego z innej niż wzorcowa rzeczywistej odległości widoczności, oszacowana przy wzorcowych wartościach pozostałych cech drogi, [km/h]
- $f(K)$ – ogólne oznaczenie funkcji opisującej, zmniejszenie się wartości parametrów rozkładu prędkości, spowodowane inną krętością drogi niż wzorcowa; te zmniejszenia prędkości określone są przy różnej rzeczywistej odległości widoczności $f(K)_{l_z}$, [km/h]
- N – godzinowe natężenie ruchu na jeden pas, [P/h na pas ruchu]
- $SKUN$ – uśredniona klasa utrzymania nawierzchni wg SOSN
- SDR – średniodobowe natężenie ruchu, [P/24h]
- x – cecha drogi:
 K – krętość trasy, [°/km]; B – szerokość jezdni, [m]; L i I – długość i wartość pochylenia podłużnego; d – odległość przeszkód bocznych, [m]; l_b – szerokość zwierciadła wody na poboczu gruntowym, [m]; $l_b + l_k$ – szerokość zwierciadła wody na jezdni i poboczu gruntowym, [m]; l_z – rzeczywista odległość widoczności na zatrzymanie, [m]; R – promień łuku w planie, [m]; γ – kąt zwrotu trasy, [°]; k – głębokość koleiny, [mm]; IRI – wskaźnik równości podłużnej, [mm/m]; S_{BB} – szorstkość ($S = 100\mu$, gdzie μ – współczynnik przyczepności), [-]
- $\pm \Delta x$ – wartość oznaczająca zakres potrzebnego poprawienia danej cechy drogi w celu zapewnienia na analizowanym odcinku prędkości wymaganej lub oczekiwanej [v_{85}], [km/h]
- v_m – prędkość miarodajna wyznaczana zgodnie z polskimi WT, zależnie od typu przekroju poprzecznego, szerokości jezdni i krętości trasy, [km/h]
- v_{85} – 85% kwantyl prędkości samochodów osobowych w ruchu swobodnym na mokrej nawierzchni, [km/h]
- v_{85_i} – prędkość v_{85} na ocenianym i -tym odcinku drogi, [km/h]
- $v_{85_{i+1}}$ – prędkość v_{85} na następnym $i+1$ -szym odcinku drogi, [km/h]
- $v_{85_{i-1}}$ – prędkość v_{85} na poprzedzającym $i-1$ -szym odcinku drogi, [km/h]
- $v_{85}^{(po)}$ – prędkość v_{85} samochodów osobowych w ruchu swobodnym na mokrej nawierzchni „po” wykonaniu prac związanych z utrzymaniem, remontem lub przebudową, [km/h]
- $v_{85}^{(przed)}$ – prędkość v_{85} samochodów osobowych w ruchu swobodnym na mokrej nawierzchni w istniejących warunkach, tj. „przed” wykonaniem prac

- związanych z utrzymaniem, remontem lub przebudową, [km/h]
- $v_{śr}^o$ – średnia prędkość samochodów osobowych w ruchu swobodnym na mokrej nawierzchni, [km/h]
- $v_{śr}^o(po)$ – średnia prędkość samochodów osobowych w ruchu swobodnym na mokrej nawierzchni „po” wykonaniu prac związanych z utrzymaniem, remontem lub przebudową, [km/h]
- $v_{śr}^o(przed)$ – średnia prędkość samochodów osobowych w ruchu swobodnym na mokrej nawierzchni w istniejących warunkach, tj. „przed” wykonaniem prac związanych z utrzymaniem, remontem lub przebudową, [km/h]
- $v_{śr}^c$ – średnia prędkość samochodów ciężarowych w ruchu swobodnym na mokrej nawierzchni, [km/h]
- $v_{śr}^c(po)$ – średnia prędkość samochodów ciężarowych w ruchu swobodnym na mokrej nawierzchni „po” wykonaniu prac związanych z utrzymaniem, remontem lub przebudową, [km/h]
- $v_{śr}^c(przed)$ – średnia prędkość samochodów ciężarowych w ruchu swobodnym na mokrej nawierzchni w istniejących warunkach, tj. „przed” wykonaniem prac związanych z utrzymaniem, remontem lub przebudową, [km/h]
- v_w – ogólne oznaczenie parametrów rozkładu prędkości wzorcowej na wzorcowym odcinku drogi, [km/h]
- v_o – ogólne oznaczenie przy różnej rzeczywistej odległości widoczności parametrów rozkładu prędkości odcinkowej na odcinku, na którym tylko krętość drogi ma inną wartość niż wzorcowa, [km/h]
- v_p – ogólne oznaczenie parametrów rozkładu prędkości początkowej na odcinku, na którym tylko rzeczywista odległość widoczności przyjmuje inne wartości niż wartość wzorcowa, [km/h]
- $[v_{85}]$ – prędkość po wykonaniu prac drogowych związanych z utrzymaniem lub remontem (prędkość „wymagana”) lub przebudową drogi (prędkość „oczekiwana”), [km/h]
- v – ogólne oznaczenie parametrów rozkładu prędkości na odcinku, na którym cechy drogi mogą mieć inne wartości niż wzorcowe, [km/h]
- v_0 – trzy parametry rozkładu prędkości oszacowane przez J. Kempę na odcinku poziomym i prostym w planie, o długości 550 – 1200 m i rzeczywistej odległości widoczności 400 m, [km/h]
- v_{85min} – minimalna prędkość, którą zapewnia istniejący stan drogi; wyznaczana ze zbioru $v_{85min} = \min\{v_{85} = f(x_1), v_{85} = f(x_2), v_{85} = f(x_3), \dots, v_{85} = f(x_n)\}$, w którym $v_{85} = f(x_i)$ oznacza – kolejne funkcje, szacujące jednoparametrowe zależności prędkości v_{85} od danej cechy drogi x_i , [km/h]
- $v_{85(1-2)}$ – prędkość v_{85} , którą zapewnia geometria drogi w planie i w profilu podłużnym, przy założeniu wzorcowego stanu nawierzchni i poboczy, [km/h]
- $v_{85(3-7)}$ – prędkość, którą zapewnia stan nawierzchni i poboczy gruntowych przy założeniu, że oceniany odcinek znajduje się na prostym w planie i poziomym fragmencie drogi, [km/h]

- $v_{85(1-7)}$ – prędkość v_{85} , którą zapewnia stan drogi jako całość, [km/h]
- $v_{85(1-10)}$ – prędkość v_{85} , którą zapewnia stan drogi i jej otoczenie jako całość, [km/h]
- $v^{(k)}$ – trzy parametry rozkładu prędkości, na poziomych i prostych w planie fragmentach dróg z szerokością jezdni 7 m i wzorcową krętością trasy oraz zmienną głębokością koleiny, [km/h]
- $v_{(k)}$ – trzy parametry rozkładu prędkości na poziomych i prostych w planie fragmentach dróg z różną głębokością koleiny, przy zmiennej rzeczywistej odległości widoczności na zatrzymanie, krętości trasy i szerokości jezdni, [km/h]
- $v^{(x)}$ – ogólne oznaczenie parametrów rozkładu prędkości na odcinku, na którym tylko analizowana cecha drogi ma inną wartość niż wzorcowa; prędkości te określone są przy różnej rzeczywistej odległości widoczności na zatrzymanie i przy wzorcowej krętości trasy i szerokości jezdni 7 m, [km/h]
- $v_{(x)}$ – ogólne oznaczenie parametrów rozkładu prędkości na odcinku, na którym analizowana cecha drogi ma inną wartość niż wzorcowa, przy zmiennej rzeczywistej odległości widoczności na zatrzymanie, krętości trasy i szerokości jezdni, [km/h]
- $v^{(SBB)}$ – trzy parametry rozkładu prędkości, na poziomych i prostych w planie fragmentach dróg, z szerokością jezdni 7 m, wzorcową krętością trasy oraz zmienną szorstkością nawierzchni, [km/h]
- $v_{(SBB)}$ – trzy parametry rozkładu prędkości na poziomych i prostych w planie fragmentach dróg z różną szorstkością nawierzchni przy zmiennej rzeczywistej odległości widoczności na zatrzymanie, krętości trasy i szerokości jezdni, [km/h]
- Δv_{85} – różnica prędkości v_{85} , oszacowana jako korzyść pojedynczego kierowcy w ruchu swobodnym na mokrej nawierzchni „po” wykonaniu prac związanych z utrzymaniem, remontem lub przebudową, [km/h]
- Δv_{sr}^o – różnica prędkości v_{sr}^o , oszacowana jako korzyść większości kierowców samochodów osobowych uzyskana „po” wykonaniu prac związanych z utrzymaniem, remontem lub przebudową, [km/h]
- Δv_{sr}^c – różnica prędkości v_{sr}^c , oszacowana jako korzyść większości kierowców samochodów ciężarowych uzyskana „po” wykonaniu prac związanych z utrzymaniem, remontem lub przebudową, [km/h]