

dr inż. Artur Wieczyński,
mgr inż. Arkadiusz Perski,
Maria Baczyńska
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP

ZASTOSOWANIE METOD MATEMATYCZNYCH DLA POPRAWY BEZPIECZEŃSTWA TRANSPORTU DROGOWEGO NA PRZYKŁADZIE DROGI NR 719

Omawia się zastosowanie metod matematycznych DST (Decision Support Tools) i SEROES Expert System opracowanych w ramach projektu międzynarodowego RIPCORDER-ISEREST (Road Infrastructure Safety Protection – Core – Research and Development for Road Safety in Europe) do poprawy bezpieczeństwa na drogach na przykładzie drogi wojewódzkiej 719.

THE APPLICATION OF MATHEMATICAL METHODS FOR IMPROVEMENT IN ROAD TRANSPORT SECURITY ON EXAMPLE OF ROAD NO 719

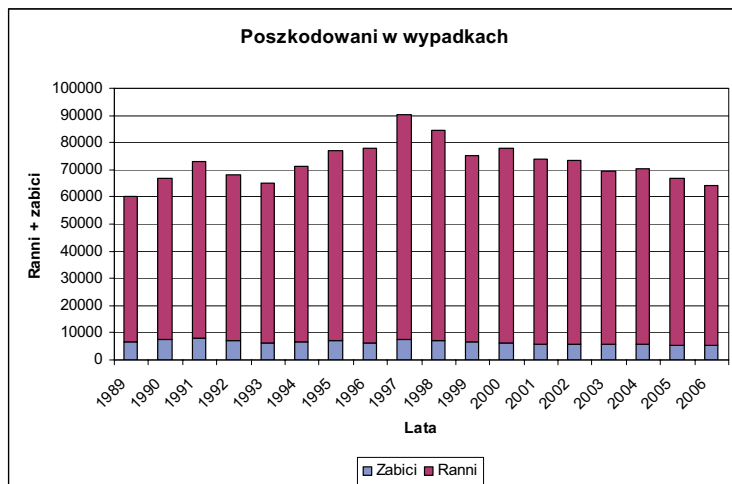
The application of mathematical methods DST (Decision Support Tools) and SEROES Expert System developed as a part of international project RIPCORDER-ISEREST (Road Infrastructure Safety Protection – Core – Research and Development for Road Safety in Europe) for improvement in road transport security on example of road no 719 is discussed.

1. WPROWADZENIE

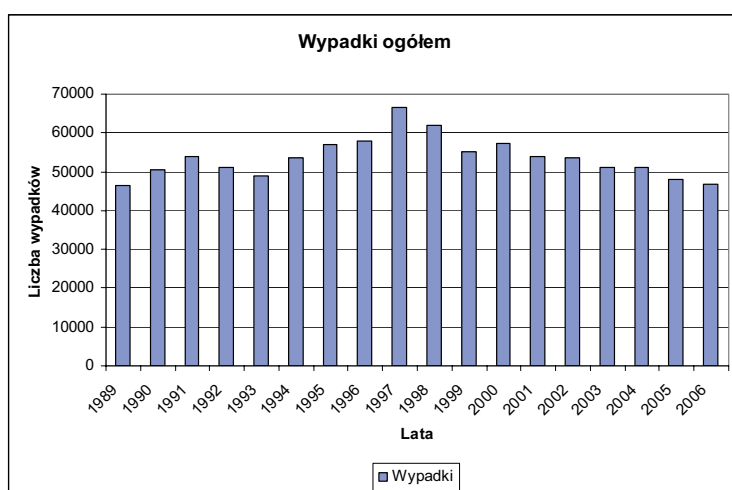
Intensyfikacja transportu drogowego na terenie nowych krajów członkowskich UE jest jednym z najbardziej widocznych wskaźników skoku cywilizacyjnego, jaki dokonuje się z każdym rokiem po rozszerzeniu. Niestety, ciągły rozwój produkcji przemysłowej, rosnąca zamożność społeczeństwa a co za tym idzie ilość samochodów poruszających się po drogach nie idzie w parze z proporcjonalnym rozwojem infrastruktury drogowej. W Polsce, będącej największym krajem „nowej” Unii, z racji jej strategicznego położenia w sercu Europy zauważa się widoczną potrzebę zwiększenia dynamizmu rozwoju nowej sieci transportowej jak i poprawy bezpieczeństwa na już istniejącej jej części. Główne europejskie korytarze transportowe wplatają się w Polską sieć drogową, czego skutkiem jest powstawanie również negatywnych implikacji gospodarczych i społecznych. Korzystanie z nowoczesnych narzędzi jak DST i SEROES Expert System przy projektowaniu nowych i modernizacji już istniejących dróg pozwala ograniczyć je do minimum, szczególnie jeśli chodzi o kategorie dróg: powiatowych i wojewódzkich.

2. WYPADKI DROGOWE W POLSCE

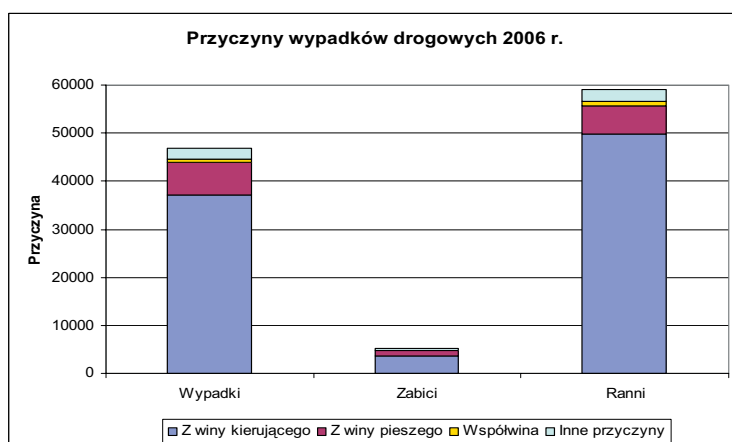
Rok 1997 okazał się najbardziej tragicznym pod względem ilości wypadków i osób w nich poszkodowanych i choć od tego momentu ich liczba sukcesywnie maleje, to badania w krajach UE przeprowadzone w latach 2000-2005 wskazują, że nasz kraj ciągle przoduje w statystykach wypadków śmiertelnych.



Wykres 1. Ogólna liczba poszkodowanych w Polsce od czasu transformacji w 1989 roku



Wykres 2. Ogólna liczba wypadków drogowych w Polsce



Wykres 3. Przyczyny wypadków drogowych

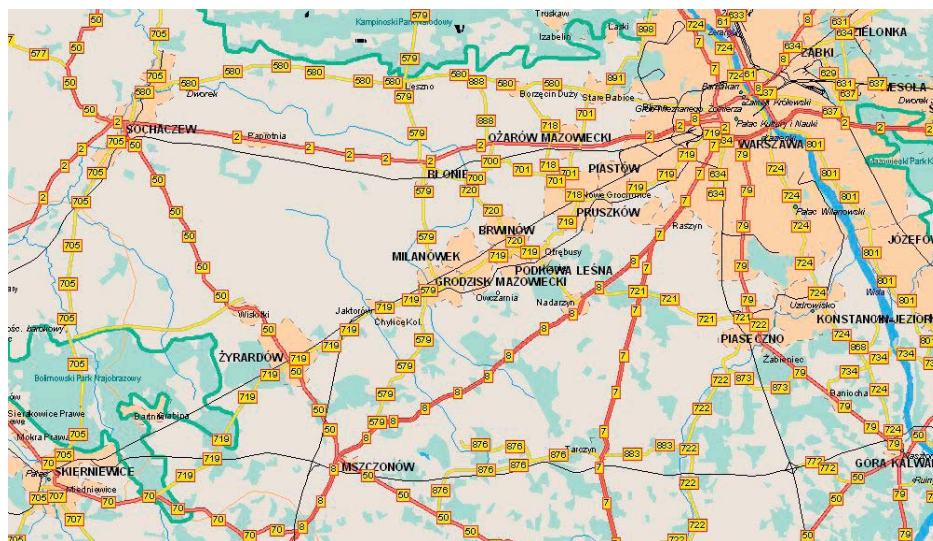
Analiza wykresu 3 pozwala założyć, że decydujący wpływ na bezpieczeństwo ruchu drogowego ma zachowanie się kierowcy na drodze. Wykluczając czynniki niezależne, takie jak np. jazda po spożyciu alkoholu lub innych środków odurzających, kluczowa dla poprawy bezpieczeństwa jest zdolność kierowcy do właściwego dostosowania się do panujących warunków.

Główne przyczyny wypadków „z winy kierującego” to rokrocznie:

- niedostosowanie prędkości do warunków ruchu,
- nieprzestrzeganie pierwszeństwa przejazdu,
- nieprawidłowe wykonywanie manewrów, w szczególności:
 - wyprzedzania,
 - omijania,
 - wymijania

Nowocześnie zaprojektowana droga, w szczególności droga nowej generacji, tzw. „self-explaining road” (SER) pomaga zredukować w sposób znaczący ilość osób poszkodowanych jak i wypadków śmiertelnych. Droga typu SER w intuicyjny sposób pozwala kierowcy przewidzieć i odpowiednio wcześniej właściwie zareagować na bieżącą sytuację, dzięki czemu istnieje duże prawdopodobieństwo, że właściwa reakcja zapobiegnie powstaniu wypadku drogowego.

PIAP w ramach międzynarodowego projektu RIPCORDER-ISREREST przeprowadził prace badawcze na drodze wojewódzkiej nr 719 na odcinku Kamion – Grodzisk Mazowiecki, dzięki którym wykorzystując nowoczesne narzędzia i modele matematyczne zbadano możliwość poprawy bezpieczeństwa poprzez modyfikacje infrastruktury drogi jak i jej otoczenia.



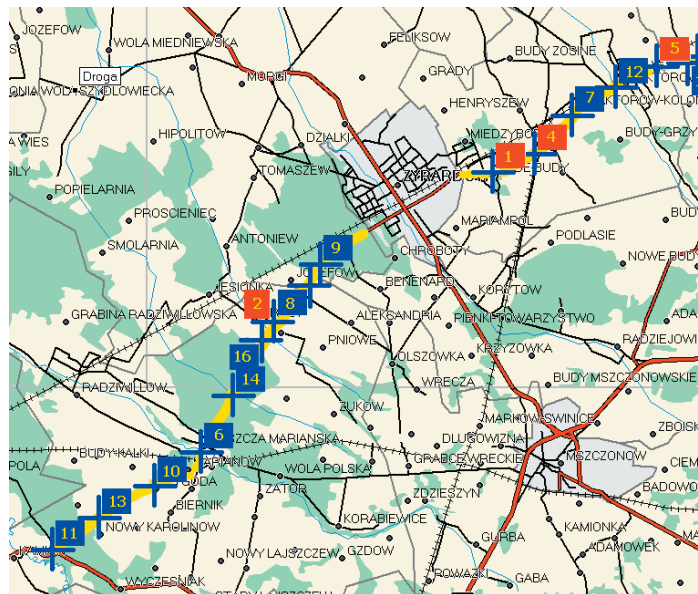
Rys. 1. Droga wojewódzka nr 719

3. PRACE PRZYGOTOWAWCZE

Przy współpracy funkcjonariuszy Ruchu Drogowego Komend Powiatowych Policji w Żyrardowie i Grodzisku Mazowieckim zebrano i przetworzono na postać cyfrową dane z tzw. Kart Zdarzenia Drogowego (papierowych blankietów wypełnianych przez funkcjonariuszy Policji na miejscu zdarzenia drogowego – rys. 2) z 1047 zdarzeń drogowych które miały miejsce w latach 2002-2005 na badanym odcinku drogi wojewódzkiej nr 719.

Rys 2. Awers i rewers Karty Zdarzenia Drogowego

Zaprojektowano i wykonano relacyjną bazę danych, w której umieszczono dane nt. zdarzeń, w dalszej kolejności wyekstrahowano z niej (zgodnie z wymogami projektu) rekordy dotyczące zdarzeń drogowych na drodze poza obszarami miejscowości, które mają więcej niż 10 tys. mieszkańców. Przygotowane w ten sposób dane pozwoliły wyróżnić na badanym odcinku drogi 16 sekcji, wokół których grupują się zdarzenia drogowe. Droga charakteryzuje się znaczącym natężeniem ruchu drogowego dla tej kategorii. Na odcinku Kamion – Żyrardów natężenie ruchu ADT (Average Daily Traffic) wynosi ponad 5000, a na odcinku Żyrardów – Grodzisk Mazowiecki ponad 8000. Na przebadanym odcinku drogi (ok. 38 km), po wykluczeniu zdarzeń z m. Żyrardów, w 5 najbardziej niebezpiecznych sekcjach drogowych wydarzyło się ponad 55 % wszystkich zdarzeń, dlatego też w dalszej analizie skupiono się właśnie na tych odcinkach (tab. 1).



Rys. 3. Usytuowanie sekcji grupujących zdarzenia drogowe – kolor czerwony oznacza najbardziej niebezpieczne miejsca

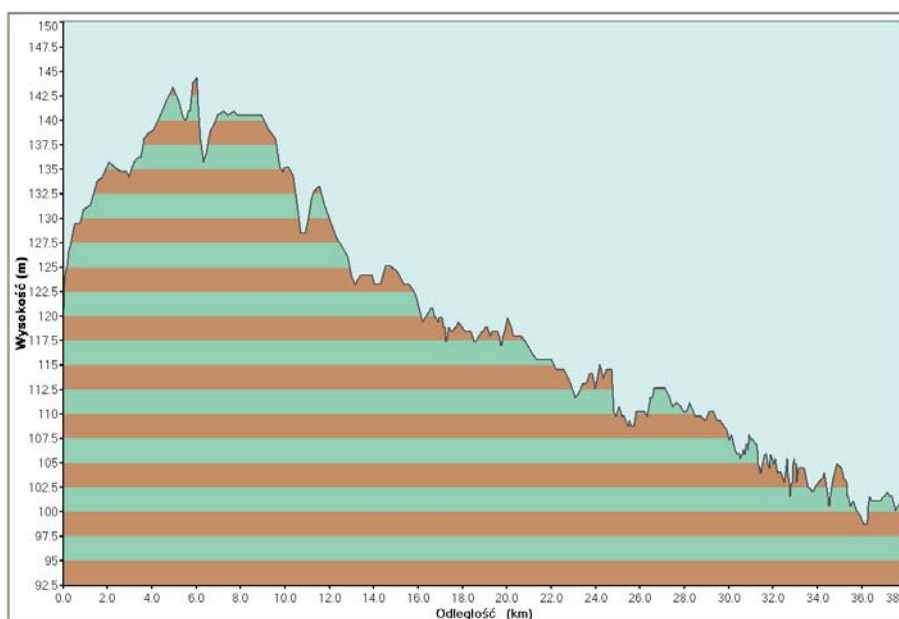
Tab. 1. Zestawienie ilości zdarzeń drogowych na wybranych odcinkach drogi 719

Nr sekcji	Miejscowość	Zdarzenia	% całości
1	Stare Budy	51	16.78 %
2	Waleriany	34	11.18 %
3	Kozerki	31	10.20 %
4	Międzyborów	28	9.21 %
5	Jaktorów	26	8.55 %
6	Puszcza Mariańska	21	6.91 %
7	Sade Budy	21	6.91 %
8	Bednary	19	6.25 %
9	Józefów	18	5.92 %
10	Wygoda	14	4.61 %
11	Kamion	12	3.95 %
12	Chylice Kolonia	10	3.29 %
13	Karolinów	7	2.30 %
14	Studzieniec	7	2.30 %
15	Kolonia Jaktorów	3	0.99 %
16	Benenard	2	0.66 %
	Razem	304	100.00 %

Na potrzeby projektu wykonano również profil pionowy drogi (Wykres 4). Droga usytuowana jest na obszarze Równiny Błońsko-Łowickiej, tereny mają charakter nizinny, nie występują znaczące różnice w obrazie hipsometrycznym (maks. wysokość ok. 140 m, minimalna wysokość ok. 100 m n.p.m.).

„Decision Support Tool” (DST), jedno z narzędzi wykorzystywanych do badań wymagało określenia dokładnych danych nt. geometrii poziomej drogi. W tym celu zostały pozyskane dane GIS, które następnie zostały uaktualnione o dostępne podkłady kartograficzne uzyskane od Mazowieckiego Zarządu Dróg Wojewódzkich, Rejonu Dróg w Grodzisku Mazowieckim.

Dodatkowo wykonano szczegółowe badania w terenie, dzięki którym zebrano inne, nieuwzględnione w powszechnie dostępnych bazach informacje, np. aktualne usytuowanie i geometria tzw. lewoskrętów, otoczenia drogi itp.



Wykres 4. Profil poziomy drogi 719 na badanym odcinku

4. ANALIZA MOŻLIWOŚCI POPRAWY BEZPIECZEŃSTWA Z WYKORZYSTANIEM SPECJALIZOWANYCH NARZĘDZI „DECISION SUPPORT TOOL” I „SEROES EXPERT SYSTEM”

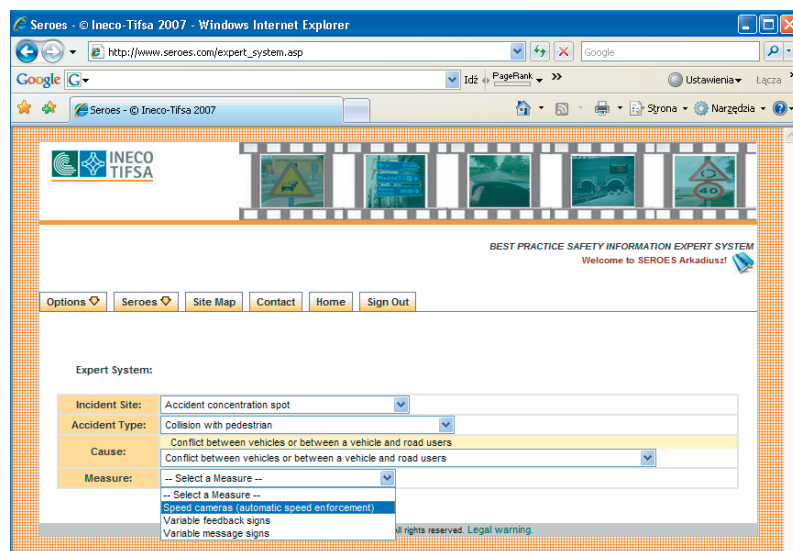
Zasadniczym celem polskiej części projektu RIPCORDER-ISEREST było badanie możliwości poprawy bezpieczeństwa drogowego na reprezentatywnej drodze II kategorii z wykorzystaniem modeli matematycznych, poprzez sprawdzenie wpływu różnych modyfikacji drogi i jej otoczenia na redukcję liczby ofiar śmiertelnych oraz osób hospitalizowanych. W tym celu, przy współdziałaniu partnerów z Holandii oraz Hiszpanii dokonano analizy w narzędziach:

- SEROES Expert System – który jest aplikacją Webową, opartą na uogólnionych modelach matematycznych, która nie wymaga precyzyjnych danych GIS a wykorzystywana jest zasadniczo do wykonania wstępnej analizy kierunków do poprawy bezpieczeństwa.
- Decision Support Tool (DST) – będącą aplikacją windowsowską, wykorzystującą MS Access i MS Excel. Wymaga ona wstępnego przygotowania precyzyjnych danych GIS oraz informacji nt. faktycznej lokalizacji miejsc zdarzeń drogowych, jednak wykorzystując precyzyjne modele matematyczne pozwala z dużym prawdopodobieństwem uzyskać precyzyjne wyniki

4.1. SEROES Expert System

Narzędzie wymaga posiadania konta w systemie opracowanym przez INECO – Hiszpania.

Rys. 4. przedstawia zrzut ekranu z kluczowej sekcji tego środowiska.



Rys. 5. SEROES Expert System

SEROES to system ekspercki – praca z nim opiera się na odpowiedzi na zestaw pytań definiujących specyfikę danego typu wypadków oraz środków, które mają być podjęte do ich ograniczenia:

- miejsce powstawania wypadków,
- rodzaju (typu) wypadków,
- przyczyny ich powstawania,
- środków „zapobiegawczych”, których skuteczność ma być sprawdzona.

Wybierając właściwe możliwości, uzyskuje się odpowiedź, czy dany środek zapobiegawczy będzie skuteczny dla podanych warunków oraz jaki będzie spodziewany średni koszt jego wdrożenia (specyfika zachodnioeuropejska, dane w Euro)

Rys. 6 przedstawia odpowiedź udzieloną przez system dla założeń:

- miejsce o szczególnie dużej koncentracji wypadków,
- zdarzenie z udziałem pieszego,
- konflikt pomiędzy pojazdami lub pomiędzy pojazdem a użytkownikami drogi,
- klasyczny fotoradar, „wymuszający” ograniczenie prędkości.

Dla w/w warunków system udziela odpowiedzi nt. ograniczenia ilości wypadków na drogach o charakterze pozamiejskim oraz ograniczenia ilości osób poszkodowanych (rysunek 6)

The screenshot shows the 'Expert System' interface of the INECO-TIFSA system. The user has selected the following parameters:

- Incident Site: Accident concentration spot
- Accident Type: Collision with pedestrian
- Cause: Conflict between vehicles or between a vehicle and road users
- Measure: Speed cameras (automatic speed enforcement)

The system provides the following objective and description:

- Objective: The measure reduces high speed, exhaust emissions and traffic noise
- Description: Systems for automatic enforcement through identification based on photographs of the vehicle and driver

Effect on accidents		Cost Range (€/Km)	Get Information
Reduction of All accidents in rural areas	-4 Statistically Significant	31.686	
Reduction of All injury accidents	-17 Statistically Significant		

Copyright © INECO-TIFSA 2007. All rights reserved. Legal Warning.

Rys. 6. Odpowiedź udzielona przez system ekspercki

W zależności od wybranej specyfiki, system podaje również precyzyjne odniesienia i wskazówki zawarte w [6].

4.2. Decision Support Tool

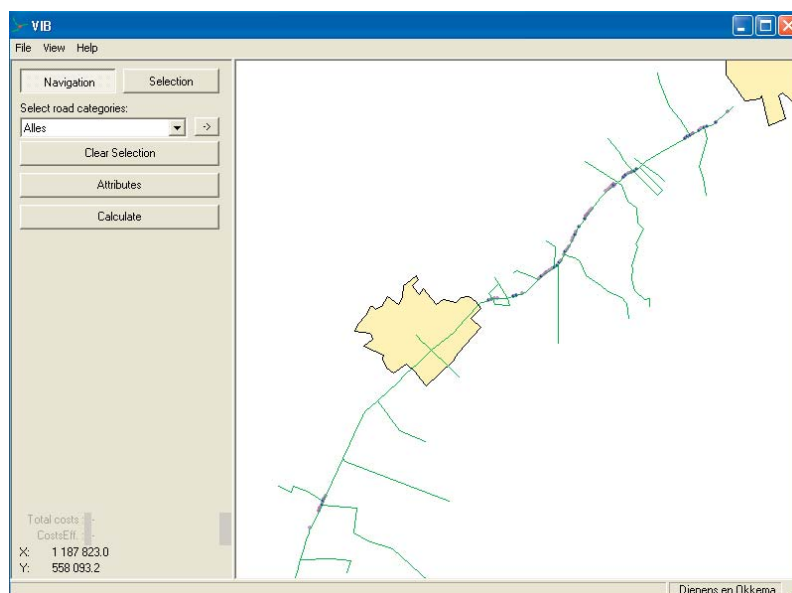
Narzędzie DST pomaga oszacować dokładny wpływ przedsięwziętego środka zaradczego na poprawę bezpieczeństwa na konkretnym odcinku wskazanej drogi. Wymaga jednak większego nakładu pracy w przygotowaniu danych w odpowiednich formatach.

Tok postępowania przy analizie z wykorzystaniem narzędzia DST:

- Konwersja danych GIS do standardu używanego w DST
- Przygotowanie bazy z lokalizacją i typem każdego zdarzenia drogowego oraz jego skutkami
- Wskazanie odcinka do analizy
- Wybór jednej z dostępnych „modyfikacji” (wybudowanie sygnalizacji, chodnika, pasu do lewoskrętu itd.)
- Określenie roku w którym modyfikacja zostanie wprowadzona w życie

- Wykonanie symulacji określającej w jakim stopniu wprowadzona modernizacja wpłynie na poprawę bezpieczeństwa za 'n' lat.

Rys. 7 przedstawia narzędzie DST przygotowane do analizy badanej drogi nr 719.



Rys. 7. Droga 719 w Decision Support Tool

Widoczne na rys. 7 różowe kropki symbolizują lokalizację miejsc zdarzeń drogowych, przy czym intensywność koloru pozwala ocenić ilość zdarzeń w określonym miejscu (im większa tym w danym miejscu koncentrowało się więcej zdarzeń).

Wykorzystując narzędzie DST dokonano szczegółowej oceny wybranych sekcji drogi 719. Przykładowe dane, dla sekcji „Waleriany” (rys. 8) pomiędzy m. Żyrardów a w. Puszcza Mariańska zawiera przedstawiono w tab. 2.



Rys. 8. Sekcja „Waleriany” na drodze 719

Odcinek badanej drogi w interesującej sekcji przebiega częściowo na odcinku zalesionym oraz w pozostałej części na terenie wsi Waleriany o luźnej zabudowie. Na terenie wsi znajdują się dwa skrzyżowania typu „T” z drogami lokalnymi, skrzyżowanie z drogą lokalną biegnącą w kierunku północnym sąsiaduje z niedawno rozbudowanym (o tzw. lewoskręt) skrajem na stację benzynową.



Rys. 9. Początek sekcji Waleriany od strony południowej

Zasadniczymi wskaźnikami uzyskiwanymi dzięki narzędziu DST są tzw.:

- Death Reduction (DR) – wskazuje wartość o którą przypuszczalnie zredukuje się liczba osób zabitych na badanym odcinku/sekcji,
- Hospital Injured Reduction (HIR) - wskazuje wartość o którą przypuszczalnie zredukuje się liczba osób hospitalizowanych na skutek uczestniczenia w zdarzeniach drogowych na badanym odcinku/sekcji,

Narzędzie DST pozwala oszacować wartości DR i HIR które uzyska się w roku X pod warunkiem, że w roku Y wprowadzi się środek zapobiegawczy Z.

W ramach projektu zbadano wpływ wprowadzenia różnego typu (ok. 90) modyfikacji na wybranych sekcjach w roku 2008 na poprawę bezpieczeństwa w roku 2010.

Tab. 2 przedstawia przykładowe zestawienie uzyskanych wyników dla parametru DR dla sekcji Waleriany.

No.	Measure	Death - Reduction
74	Game accident measures (signals)	0.59557
71	Guardrails and crash cushions (crash cushions)	0.58706
81	Horizontal curve treatments (profile adjustment)	0.57004
150	Bus lanes and stop design	0.46795
55	Improving alignment and sight distances (increasing radius to 200-400 metres)	0.42541
69	Guardrails and crash cushions (guardrails along embankments)	0.39988
52	Roadside safety treatment (increasing the distance to fixed obstacles 5 to 9 metres)	0.37436
49	Roadside safety treatment (flattening slide slopes 1:3 to 1:4)	0.35734
159	Variable feedback signs	0.34883
43	Cross-section improvements (provision of passing lanes two sides)	0.34032

5. PODSUMOWANIE

Opracowane w ramach projektu RIPCORDER-ISEREST metody matematyczne DST i SEROES stanowią wartościowe narzędzia oceny bezpieczeństwa dla różnych rozwiązań drogowych. Wykorzystanie ich do badań w ramach projektu RIPCORDER-ISEREST umożliwiło symulację wpływu różnych czynników na poprawę bezpieczeństwa drogowego. Wykorzystują one modele matematyczne oparte na wieloletnich badaniach przeprowadzonych w krajach zachodniej Europy i USA. Istnieje możliwość analizy wariantów poprawy bezpieczeństwa już na poziomie projektu przebudowy, dzięki czemu przy proporcjonalnie niewielkim nakładzie pracy i kosztów można w efektywny sposób przyczynić się do ograniczenia ilości ofiar na drogach. Precyzyjne narzędzia wymagają wstępnego opracowania danych, jednakże w przypadku, gdy dane o wypadkach będą w odpowiedni sposób agregowane, możliwe będzie powszechne i wydajne z nich korzystanie. Polska, która wg przyjętego w 2007 programu rządowego na lata 2008-2012 chce przeznaczyć na rozbudowę infrastruktury drogowej ponad 120 mld PLN ma szansę w znaczący sposób ograniczyć liczbę wypadków i ofiar śmiertelnych.

6. LITERATURA

- [1] Wieczyński A., Mickiewicz J., Perski A., "Wspomaganie bezpieczeństwa przewozów pasażerów i ładunków przy użyciu wielokanałowej radiokomunikacji satelitarnej", Mat. konf. „AUTOMATION 2006”, Warszawa, 2006.
- [2] Wieczyński A., Mickiewicz J., Perski A., Szykarczyk P., "Możliwości zastosowania rozwiązań EGNOS/GALILEO do wspomaganie ochrony strategicznych sieci transportowych", Mat. konf. „AUTOMATION 2006”, Warszawa, 2006.
- [3] Wieczyński A., Mickiewicz J., Perski A., "Monitorowanie transportu i możliwości poprawy bezpieczeństwa na drogach II kategorii w Polsce", Mat. konf. „AUTOMATION 2006”, Warszawa, 2006.
- [4] Wieczyński A., Mickiewicz J., Perski A., "Location based Applications for Transport Safety and Anti-terrorist Activity Support", GALLILEAN, Mat. konf. (CD), Warszawa, 2004.
- [5] Wieczyński A., Bienias A. „The application of mobile solutions for monitoring of hazardous goods transport in Poland”, Kongres CASAN-01 Commercial Application of Satellite Navigation – Monachium, Niemcy 25-26 April 2001.
- [6] Elvik R., Vaa T., "The handbook of road safety measures", Amsterdam 2005
- [7] "Raport o stanie bezpieczeństwa w ruchu drogowym w Polsce" ze strony <http://www.policja.pl>
- [8] Materiały ze strony Krajowej Rady Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego, <http://www.krbrd.gov.pl/>