

## **АДАПТИРАНЕ И ПРИЛОЖЕНИЕ НА СТАТИСТИЧЕСКИ МЕТОДИ ЗА АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРАНЕ НА ПЪТНАТА БЕЗОПАСНОСТ**

**Николай Георгиев, Борислав Дамянов, Виолина Вельова**  
[safetyniky@mail.com](mailto:safetyniky@mail.com), [bdamian@tu-sofia.bg](mailto:bdamian@tu-sofia.bg), [vili\\_tuk@abv.bg](mailto:vili_tuk@abv.bg)

*Висше Транспортно Училище „Тодор Каблешков”, София 1574, ул. “Гео Милев” 158  
Технически университет – София, София 1000, бул. “Климент Охридски” 8  
БЪЛГАРИЯ*

***Ключови думи:** пътно-транспортна безопасност, модели за прогнозиране на пътната безопасност*

***Резюме:** Бурното развитие на автомобилния транспорт и силната зависимост на модерното човешко общество от предлаганите от него услуги са неразделно свързани с редица проблеми на организацията и безопасността на движението по пътя. Ежегодно в страната възникват значителен брой пътно-транспортни произшествия, голяма част от които със загинали и ранени или значителни материални щети. За възникването на тези произшествия допринасят редица фактори, някои от които не са добре изследвани. Пример за такива фактори са: характеристиките на пътната инфраструктура, параметрите на транспортните потоци, климатичните условия, човешкото поведение и др. С цел подобряване нивото на безопасността е необходимо задълбочено изследване и анализ на така цитираните фактори върху пътно-транспортната безопасност.*

*Настоящата статия разглежда възможностите за адаптиране и прилагане на статистически подходи и методи за изследване влиянието на определени параметри върху нивото на пътната безопасност.*

### **1. ВЪВЕДЕНИЕ**

Транспортният процес представлява непрекъснато взаимодействие между трите основни фактора: поведение на участниците в пътното движение, условия на пътната инфраструктура и характеристиките на превозните средства. Ежегодно в България възникват значителен брой пътно-транспортни произшествия, голяма част от които със загинали и ранени или значителни материални щети. Сравнявайки другите европейски държави по индекса „брой загинали в пътно-транспортни произшествия на 1 милион жители”, България заема незадоволителна позиция за транспортна безопасност с около 1000 човека за година. В България повече от две трети от нараняванията и 40% от смъртните случаи при пътно-транспортни произшествия (ПТП) са регистрирани в градските зони [2]. Поради тази причина настоящата статия разглежда възможностите за адаптиране и прилагане на статистически подходи и методи за изследване влиянието на определени параметри върху нивото на пътната безопасност в град София.

## 2. ТЕХНИЧЕСКИ И ТЕХНОЛОГИЧНИ ФАКТОРИ, ВЛИЯЕЩИ ВЪРХУ ТРАНСПОРТНАТА БЕЗОПАСНОСТ И ВИДОВЕ МОДЕЛИ ЗА ПРОГНОЗИРАНЕ НА ПЪТНО-ТРАНСПОРТНИТЕ ПРОИЗШЕСТВИЯ

Причините за транспортните произшествия могат да бъдат разпределени в две основни групи: субективни, дължащи се на човешкото поведение, от гледна точка на участието му в пътното движение и обективни, свързани с несъвършенствата на пътните условия, инфраструктурата и превозните средства. Целта на статията е да се представи приложението на модели за прогнозиране на произшествията в български условия. Основните фактори, влияещи върху безопасността са предварително определени и е събрана статистическа информация за броя параметри, с най-голямо влияние върху възникването на произшествията.

За да се създаде подходящ транспортен подход и модел за прогнозиране на пътнотранспортни произшествия е необходимо да се отговори на няколко основни въпроса:

- влияещи фактори: технически и технологични експлоатационни особености на инфраструктурата, т.е. кои фактори влияят на аварийността?;

- степен на въздействие: всеки влияещ фактор ли засяга произшествията и до

1	свързани с кръстовището	дължина на участъка, обем на транспортните потоци
2	с подравняването	вертикално и хоризонтално подравняване
3	с пътя	ширина на лентата, тип на настилката, сцепление с пътя
4	с банкетата	тип на банкетата, ширина и др.
5	с характеристики на елементи около пътя	странични наклони, канавки, препятствия (огради, пътни знаци, стълбове и др.)
6	със средствата за контрол на движението	маркировки, пътни знаци и др.

каква степен? кои фактори са незначителни, значими и от изключителна важност?;

- възможни мерки за подобряване на безопасността: какви са инженерните процедури за решаване на конкретни проблеми с безопасността?

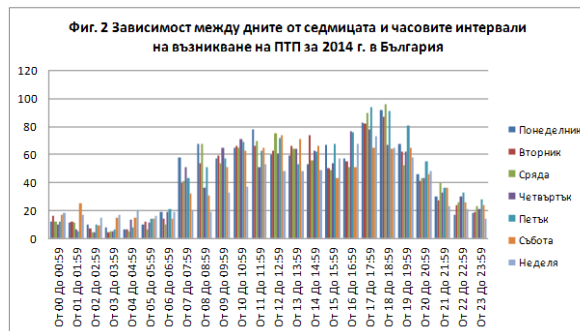
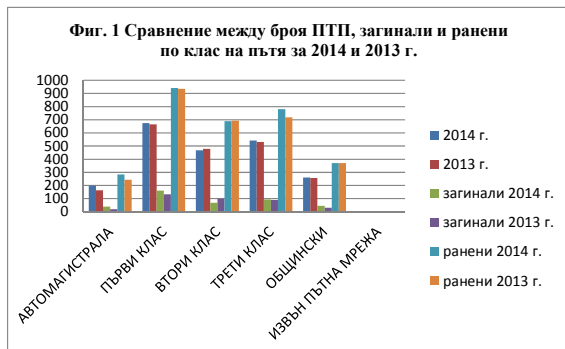
- ефикасност на противодействие: какви са факторите на транспортната безопасност за намаляване на произшествията. Например, колко живота може да се очаква да бъдат спасени за всеки 1 m увеличаване на ширината на банкетата (пътното платно)? [8]

Изследване [7] се фокусира основно върху техническите и технологични фактори на пътя, разпределени в шест основни групи (табл. 1).

Съществуват различни подходи за оценка на пътната безопасност и прогнозиране на произшествията, но те могат да бъдат обобщени в следните основни видове техники за моделиране: генерализирано линейно моделиране, Поасоново разпределение и отрицателно-биномен модел. Има и няколко иновативни начини за моделиране безопасността на движението, като нелинеен корелационен анализ, генерализирано линейно интерактивно моделиране и използването на географски информационни системи в безопасността на транспорта, които обикновено се състоят в едновременно ползване на най-известните по-горе модели. Всеки от подходите има своите силни и слаби страни. В повечето подходи, възникват трудности при събирането на обширна статистическа база данни, ако тя не съществува досега.

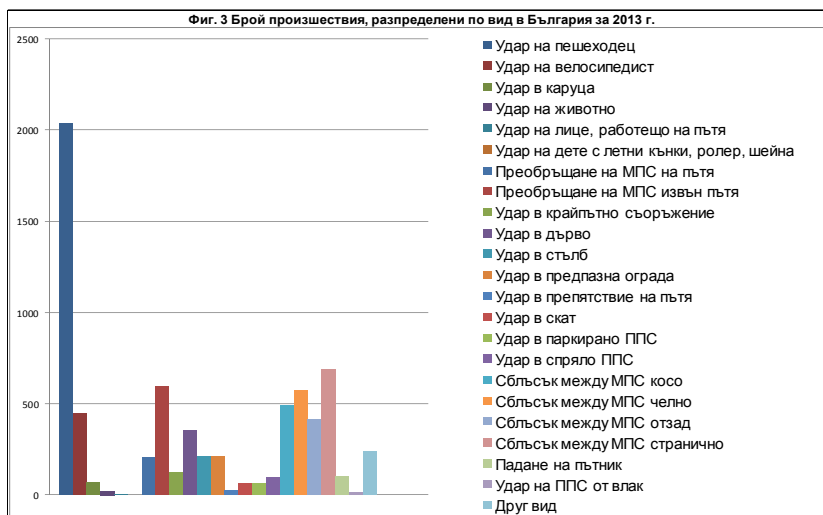
## 3. СЪСТОЯНИЕ НА БЕЗОПАСНОСТТА В СТРАНАТА И НЕОБХОДИМОСТ ОТ ПРОГНОЗИРАНЕТО ѝ

В България повече от две трети от нараняванията и 40% от смъртните случаи при ПТП са регистрирани в градските зони [2]. Статистиката е събирана главно за ПТП свързани с: несъобразена скорост, погрешно изпреварване и навлизане в насрещната лента, отнемане на предимство на превозно средство или пешеходец и прием на алкохол, което се потвърждава от [3]. Сравнение по брой произшествия, загинали и ранени участници в движението за две годишен период е представено на фиг. 1.



Зависимостта между часовете на възникване на ПТП и дните от седмицата за 2014 г. в България е показана на фиг. 2. Ясно се вижда, че най-много ПТП възникват в часовите интервали от 17:00 до 19:00 ч. в сряда и в петъчните дни [5].

През последните 3 години, най-голям брой ПТП са възникнали на пътища първи клас, а инцидентите на магистралите са се повишили за сметка на третокласните и



общинските пътища. През 2013 г. в България са регистрирани 7015 тежки ПТП, вследствие, на които са загинали 601 и са ранени 8775 участници в движението. Най-голям е броят на произшествията поради неправилни действия на водачите - 6758, като 37,3% от тях се дължат на превишена и несъобразена скорост. От общия брой ПТП през 2013 г. с най-голям относителен дял са: удар на пешеходец – 29,0%, и удар между МПС – 30,8%. (фиг.3). Броят на загиналите при ПТП през 2013 г. е най-голям през месеците юли и октомври.

**Табл. 2 Пътнотранспортни произшествия, убити и ранени в населените и извън населените места по вид на пътния участък в България за 2013 г.**

Вид на пътния участък	Общо			В населени места						Извън населени места					
	ПТП	убити	ранени	ПТП		убити		ранени		ПТП		убити		ранени	
				брой	%	брой	%	брой	%	брой	%	брой	%	брой	%
Общо	7015	601	8775	4918	100	227	100	5810	100	2097	100	374	100	2965	100
Пътен уличен участък	4807	505	6120	2997	60,9	169	74,5	3545	61,0	1810	86,3	336	89,8	2575	86,8
Кръстовище	1748	60	2067	1640	33,4	47	20,7	1928	33,2	108	5,2	13	3,5	139	4,7
Пътен възел	154	11	209	90	1,8	3	1,3	114	2,0	64	3,0	8	2,1	95	3,2
Мост	46	6	65	29	0,6	4	1,8	41	0,7	17	0,8	2	0,6	24	0,8
Тунел	12	-	24	6	0,1	-	-	10	0,2	6	0,3	-	-	14	0,5
ЖП прелез неохраняем	6	1	8	1	0,0	-	-	1	0,0	5	0,2	1	0,3	7	0,2
ЖП прелез охраняем	5	1	4	3	0,1	1	0,4	2	0,0	2	0,1	-	-	2	0,1
Друго място	237	17	278	152	3,1	3	1,3	169	2,9	85	4,1	14	3,7	109	3,7

ПТП, загинали и ранени през 2013 г. в населените и извън населените места на България по вид на пътния участък са представени в табл. 2. Най-голям брой ПТП със загинали и ранени възникват на пътните улични участъци, следвани от кръстовищата. За целите на настоящата статия бе избрано приложението на модели за прогнозиране на ПТП на кръстовища в град София, тъй като съотношението брой възникнали произшествия към площ на кръстовището е значително по-голямо от колкото брой произшествия към дължина на пътните улични участъци.

Във връзка с увеличаващия се с всяка година брой произшествия и загубите от тях, е необходимо създаване на работещи модели за прогнозиране на броя им. Такива модели са необходими за прогнозиране на възникващия брой произшествия на

столични кръстовища, за да могат да бъдат взети мерки за подобряване на безопасността на участниците в движението. Постигането на тази цел ще допринесе за подобряване на равнището на транспортната надеждност и безопасност.

#### 4. ИЗБОР И АДАПТИРАНЕ НА МЕТОДИКА ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА БЕЗОПАСНОСТТА НА КРЪСТОВИЩА В ГРАД СОФИЯ

Възниква необходимостта за по-детайлно проучване на безопасността на кръстовищата в град София и прогнозиране на възможния брой пътно-транспортни произшествия, което би способствало за съсредоточаване на мероприятия за намаляване на влиянието на основните фактори, влияещи върху аварийността. Поради тази причина и в тази връзка бе поставена задачата за избор на най-подходяща методика и проучване на възможностите за приложението ѝ в град София.

Проведеното проучване на литературните източници и научни разработки в областта на моделите за прогнозиране броя на произшествията (Accident Predicting Models) показва, че с най-широко приложение е моделът от вида [6]:

$$(1) \quad N_i = e^{(b_0 + b_1 X_1 + \dots + b_n X_n)},$$

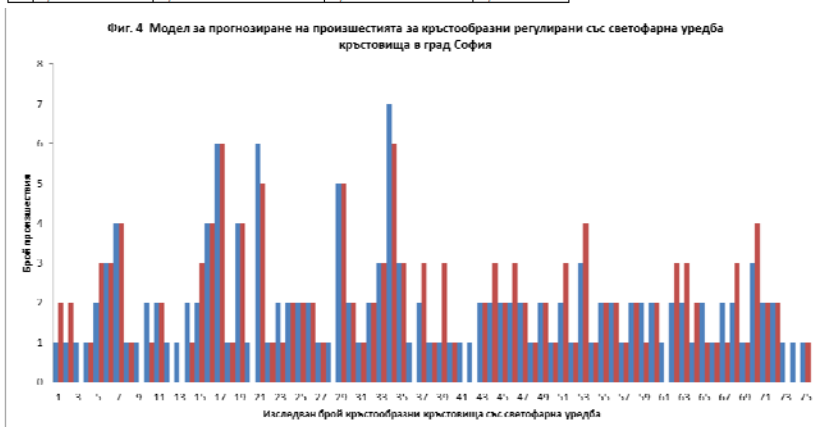
където:

$b_0 \dots b_n$ , коефициенти на уравнението, определяни въз основа на наличните статистически данни.

Процедурата по изчисляването, използвана за получаване на регресионните коефициенти е в пряка зависимост от приетия вид на разпределението на  $N_i$ : логнормални регресионни модели и логлинейни Пуасоновни модели.

За целта на изследването след провеждане на задълбочен анализ бе избран регресионен модел за прогнозиране на пътно-транспортните произшествия. Целта на статистическите модели от този тип е да допринесат до разкриване на връзката между функцията на очаквания брой ПТП,  $N_i = m_i$ , на  $i$ -то кръстовище с  $n$  на брой параметри на кръстовището:  $X_1, X_2, \dots, X_n$  (описващи геометричния дизайн, типа на контрол на трафика и обема на транспортните потоци).

	Коефициенти	Стандартна грешка	t-стойност, df=66	p-стойност
b0	0,696878	0,686766	0,085322	0,039663
b1	0,000031	0,00001	3,04884	0,003304
b2	0,000055	0,000026	2,0831	0,0411119
b3	0,029685	0,097663	0,30396	0,042117
b4	0,084986	0,087621	0,96993	0,035623
b5	-0,739689	0,248	-2,98262	0,004001
b6	0,160939	0,242133	0,66467	0,048577
b7	-0,161328	0,128051	-1,25988	0,0212151
b8	0,042577	0,108696	0,39171	0,0496536



Логнормалните регресионни модели на връзката между  $N_i$  и  $X_1, X_2, \dots, X_n$  се базират на приемането, че натуралния логаритъм на  $N_i$  следва Нормално разпределение със средна стойност  $m_i$  и дисперсия  $\sigma^2$ . Приема се, че  $N_i$  следва логнормално разпределение, което е разумен избор винаги, когато данните не са отрицателни числа и предполагайки, че е необходим модел с положителна асиметрия и математическото очакване е сравнително голямо. Този модел гарантира, че  $m_i$ , прогнозния брой ПТП ще е положително число. След анализ на съществуващи

литературни източници и натрупания експлоатационен опит на авторите се предлага анализ на влиянието на следните влияещи върху безопасността фактори: интензивност на главния път (брой превозни средства/ден), интензивност на второстепенния път (брой превозни средства/ден), брой ленти на главния и на второстепенния път, широчина на лентата на главния и второстепенния път (м), наличие на отделна лента за десен завой на главния и второстепенния път. Зависимата променлива е брой произшествия. Общият брой получени коефициенти на моделите в предложените модели са 9. Могат да бъдат въведени допълнителен брой променливи, свързани с ширината на тротоара и банкета, вида на движението (двупосочно или едностранно) на главния и второстепенния път, но тези променливи не са част от настоящата статия, тъй като биха усложнили допълнително моделите.

Във връзка изследването, бяха избрани регулирани със светофарна уредба кръстообразни, както и Т- и У- образни регулирани с пътни знаци кръстовища в град София. Останалите типове не са предмет на статията. Изследваните кръстообразни кръстовища са 75 на брой, Т- и У- образни регулирани- 57 на брой общо. Т и У-образните са разгледани в общ модел. Въз основа на данни за обемите на транспортните потоците, преминаващи през кръстовищата, състоящи се от леки, големи товарни (LGV), средни товарни (MGV), тежкотоварни (HGV) автомобили, автобуси, тролей и трамваи е получен еквивалентния брой превозни средства за всяко кръстовище (брой еквивалентни леки автомобили/ден). Дневните обеми на потоците от автомобили са взети от “МВР-София“ отдел „Пътна полиция“. По отношение специфичните особености на допуснатите произшествия са използвани данни от “МВР-София” и “ДАИ” (Държавна автомобилна инспекция). Поради ограничения обем статистични данни относно изследваните видове кръстовища и възникналите произшествия (пълни данни, но само за периода 2012-2014 год.) трябва да се уточни, че допълнителни такива биха увеличили точността на моделите. За моделиране на променливите на моделите е използван специализирания софтуерен продукт за обработка на статистически данни- Statistica 7. Бяха разгледани и проверена приложимостта (адекватността) на следните видове модели за прогнозиране на пътнотранспортни произшествия:

*Модел 1: Произшествия със загинали и ранени с участието на автомобил на кръстообразни кръстовища със светофарна уредба:*

След провеждане на необходимите изследвания модела за този тип произшествия на дадения вид кръстовище придобива следния вид:

$$(2) \quad N_1 = e^{(0,696878+0,000031X_1+0,000055X_2+0,029685X_3+0,084986X_4-0,739689X_5+0,160939X_6-0,161328X_7+0,042577X_8)}$$

където:

$N_1$ - прогнозен брой пътнотранспортни произшествия на дадения вид кръстовища;

$X_1, X_2, \dots, X_n$  - променливи на модела.

Данните са обработени посредством Statistica 7 и получените резултати са представени в табл. 3. Р-стойността за модела е 0,0002. На фиг. 4 е представено сравнението между броя на реално допуснатите произшествия и прогнозния брой пътнотранспортни произшествия на избрания за модела вид кръстовища.

*Модел 2: Произшествия със загинали и ранени на Т- или У-образни регулирани с пътни знаци кръстовища:*

Видът на модела за този вид произшествия е както следва:

$$(3) N_2 = e^{(1,279657+0,000121X_1+0,000606X_2+0,009543X_3-0,009635X_4-0,047171X_5-0,015051X_6-0,108556X_7+0,076067X_8)}$$

Получените резултати са представени в табл. 4. Р-стойността за модела е 0,00001.

Броят на реално допуснатите и регистрирани от “МВР-София” и “ДАИ” произшествия и прогнозния брой произшествия, получен от (3), са сравнени на фиг. 5. Проведеното проучване показва, че и двата модела за прогнозиране на описаните по-горе пътно-транспортни произшествия могат да бъдат използвани при решаване на практически проблеми на безопасността.

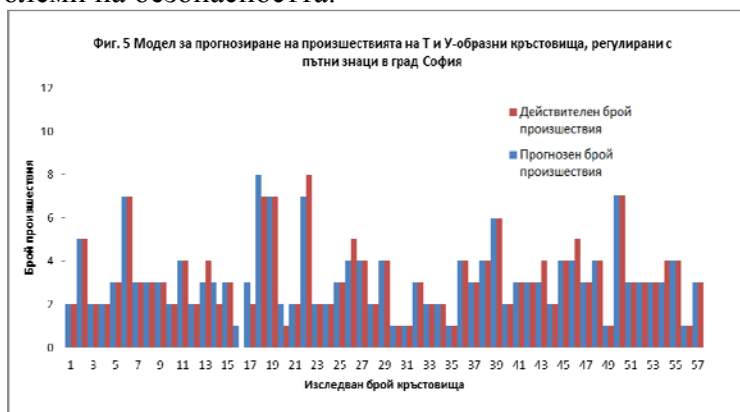


Табл.4 Резултати от моделирането на произшествията на Т и У- образни регулирани с пътни знаци кръстовища

	Коефициенти	Стандартна грешка	t-стойност, df=48	p-стойност
b0	1,279657	0,557047	2,29722	0,02601
b1	-0,000121	0,000029	-4,24385	0,0001
b2	0,000606	0,000084	7,25648	0,00001
b3	0,009543	0,05771	0,16536	0,0329356
b4	-0,009635	0,057812	-0,16666	0,32882
b5	-0,047171	0,145346	-0,32455	0,0421244
b6	-0,015051	0,244864	-0,06147	0,04614
b7	-0,108556	0,045227	-2,40024	0,0212151
b8	0,076067	0,060692	0,125333	0,0216157

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Моделирането на влияещите фактори върху безопасността по пътищата не е практика при планирането и управлението на градското движение в България, но би спомогнало подобряването на пътните условия и би дало идеи за подходящи мерки за подобряване на безопасността. Предложените модели биха могли да бъдат успешно ползвани при вземане на управленски решения за подобряване безопасността на движението в градовете, когато е необходима прогноза за евентуалния брой произшествия, който би могъл да се очаква при определено натоварване на съответното кръстовище.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Наредба № 2 от 29 юни 2004 г. за планиране и проектиране на комуникационно-транспортните системи на урбанизираните територии. Министерство на регионалното развитие и благоустройството. София. 2004 г.

- [2] Оперативна програма „Регионално развитие” 2007-2013, Министерство на регионалното развитие и благоустройството, Главна дирекция “Програмиране на регионалното развитие”, София, февруари 2007 г.
- [3] Регистрация, докладване и анализ на пътнотранспортните произшествия. МВР, София. 2014. Registration, reporting and analysis of traffic accidents. The Ministry of Interior of Bulgaria. Sofia. 2014. <http://dokkpbdp.mvr.bg/Statistics/default.htm>.
- [4] Пътнотранспортни произшествия в република България 2014. Министерство на вътрешните работи. Национален Статистически институт. ISSN 1312-8450. София. 2014.
- [5] Статистически наръчник за безопасност 2013 г. Национален статистически институт. България, 2013. Statistics Pocket Book 2013. National Statistical Institute of Bulgaria.
- [6] Canale, S., Leonardi, S., Pappalardo, G. The reliability of urban road network: Accident forecast models. Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale. Universita degli Studi di Catania. 2003.
- [7] Labi, Samuel. *Effects of Geometric Characteristics of Rural Two-Lane Roads on Safety*. Joint Transportation Research Program Technical Report Series. Purdue University. 2006.
- [8] Lord, Dominique. *Modeling Motor Vehicle Traffic accidents using Poisson-gamma Models: Examining the Effects of Low Sample Mean Values and Small Sample Size on the Estimation of the Fixed Dispersion Parameter*. Texas A&M University, College Station, TX. 2006.

## ADAPTATION AND APPLICATION OF STATISTICAL METHODS FOR TRAFFIC SAFETY ANALYSIS AND FORECASTING

Nikolay Georgiev, Borislav Damyanov, Violina Velyova  
[safetyniky@mail.com](mailto:safetyniky@mail.com), [bdamian@tu-sofia.bg](mailto:bdamian@tu-sofia.bg), [vili\\_tuk@abv.bg](mailto:vili_tuk@abv.bg)

*Todor Kableshkov University of Transport  
1574 Sofia, 158 ‘Geo Milev’ Street,  
Technical University - Sofia  
1000 Sofia, 8 ‘Kliment Ohridski’ Blvd.  
BULGARIA*

**Key words:** road safety, traffic safety prediction models, accident forecasting models

**Abstract:** The rapid development of road transport and the strong dependence of modern human society of its services are inextricably linked to a number of problems of traffic organization and road safety. Annually, a significant number of traffic accidents occur in Bulgaria, most of which cause casualties, injuries or considerable material damages. The occurrence of these accidents has been contributed by a number of factors some of which not well studied. Examples for such factors are: road infrastructure characteristics, traffic flow parameters, weather condition, etc. In order to improve the level of road safety, an in-depth study and analysis of the influence of above mentioned factors on road safety are required.

This article considers the possibilities for adaptation and application of some statistical methods for assessment the influence of certain parameters on the level of road safety.