

# ФУНКЦИЈА ПЕРФОРМАНСИ БЕЗБЕДНОСТИ: ИЗБОР, ПРОВЕРА ВАЉАНОСТИ, ПРИМЕНА

Светозар Мајсторовић

SNC-LAVALIN Inc., Торонто, Канада, svetozar.majstorovic@snclavalin.com

Горан Шеница

Институт за путеве, а.г. Београд, Србија

**Резиме:** Функција перформанси безбедности комплексан је показатељ односа саобраћајног оптерећења иј. геоморфолошких карактеристика пута (ијг.) са једне, и безбедности саобраћаја са групе стране. У овом раду, на примеру једној двојачној-ванградској путу у провинцији Онтарио, Канада, приказана је практична употреба изабраних функција перформанси безбедности. За одабране функције извршена је корекција модела предвиђања применом Емпиријске Бајесове методе (ЕБ) да би се повећала тачност и утврдило да ли предмети пута по перформансама безбедности бољи или лошији од просечног пута сличних карактеристика. Такође, за примене функције перформанси безбедности одређен је статистички тест (χ<sup>2</sup>-тест); за модел са већим статистичким сигурношћу извршена је процедура провере саобраћајних незгода.

**Кључне речи:** Функција перформанси безбедности, модификациони фактор саобраћајних незгода, Емпиријски Бајесов метод, потенцијал за унапређење безбедности саобраћаја, статистички тест.

## SAFETY PERFORMANCE FUNCTION: SELECTION, VALIDATION, APPLICATION

**Abstract:** A safety performance function is a complex indicator of the relationship between the amount of traffic and geometric (etc.) features of a road, and the road safety. In this paper a case study of the application of safety performance functions on one two-lane rural road in Ontario, Canada is presented. To increase the accuracy of safety estimation and to check whether the selected road performs better or worse than the average provincial road of this type, the Empirical Bayes Method was introduced. Finally, a chi-squared test was run to examine goodness-of-fit and to select an appropriate function which would provide more confidence to predict future safety potential.

**Key words:** Safety performance function, accident modification factors, Empirical Bayes Method, potential for safety improvements, goodness-of-fit.

### 1. УВОД

Модерна светска пракса управљања путном безбедношћу подразумева примену функција перформанси безбедности као основне алатке за процену стања безбедности на путевима. Основна функција представља однос између безбедности и саобраћајног оптерећења на некој локацији (деоница пута, раскрсница, итд.), односно очекивану учесталост саобраћајних незгода у јединици времена. Функција перформанси безбедности је, потенцијално, једини показатељ безбедности пута за који не постоје подаци о саобраћајним незгодама односно неизграђеног пута. За постојеће путеве за

које постоје вишегодишњи подаци о незгодама, она може бити референтну тачка у односу на коју би се утврдило да ли је предметни пут по перформансама безбедности бољи или лошији од просечног пута сличних карактеристика, односно класификације.

## 2. ОДРЕЂИВАЊЕ И ОСНОВНИ ОБЛИЦИ

### 2.1 Статистичко моделирање безбедности

Задатак статистичког моделирања безбедности је проналажење релације узрок-последница, тј. процес утврђивања корелације између саобраћајно-геометријских карактеристика пута и опажаног броја незгода. Статистичко моделирање безбедности саобраћаја врши се на основу података о саобраћајним незгодама одређене популације и то за деоницу пута, раскрсницу или неки други елемент пута.

Први корак у процесу моделирања је одређивање 'састава' функције. Општи облик функције је:

$$E[N] = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_n),$$

где је:

$E[N]$  - очекивана учесталост саобраћајних незгода

$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  - карактеристике пута (независне променљиве као нпр. саобраћајно оптерећење, ширина трака, радијус кривине, број прикључака, итд.)

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_n$  - параметри функције  $f(\ )$  који треба да се одреде.

У следећем кораку врши се избор облика функције  $f(\ )$ , тј. претоставља *расподела (вероватноћа) ојажених саобраћаних незгода* на нивоу популације. Тежина задатка одређивања параметара  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_n$ , тј. подесности модела у многоме зависи од избора одговарајуће функције расподеле.

Функције расподеле које се у пракси најчешће користе могу се писати као:

$$E[N] = L \cdot \beta_0 \cdot X_1^{\beta_1} \cdot X_2^{\beta_2} \dots,$$

$$E[N] = L \cdot \beta_0 \cdot e^{X_1 \cdot \beta_1} \cdot e^{X_2 \cdot \beta_2} \dots$$

Основна особина наведених функција је да немају своје екстремне нити превојне тачке што одговара природној расподели саобраћајних незгода. За разлику од конвенционалних регресионих модела код којих је претпостављена нормална расподела грешака, за саобраћајне незгоде *нејативна биномна расподела* се показала као тачнија.

На крају, трећи корак процеса моделирања је избор *кријеријума за оптимизацију* функције. Најчешће су у примени они који смањују (отежане) 'грешке остатка' или побољшавају функцију веродостојности (Лит. [7]).

У пракси, процес моделирања безбедности саобраћаја применом савремених програмских пакета (*STATA, Statistica, RATS, GLIM, R-software*) не представља нарочит проблем. Основни предуслов за то је постојање одговарајуће базе података о саобраћајним незгодама за предметни регион као и људски потенцијали неходни за прикупљање и анализу података о саобраћајним односно путним карактеристикама.

## 2.2 Основни облици

Генерално, постоје два облика функција перформанси безбедности:

- Ниво 1 (основна ФПБ):  $E[N] = f(PGDS, a, b)$ ,
- Ниво 2 (сложена ФПБ):  $E[N] = f(PGDS, \text{ширина трака, радијус кривине, број прикључака, итд., } a, b_1, b_2, b_3, \dots)$ .

Општи облик основног модела за путни сегмент је:

$$E[N]_b = a \cdot PGDS^b \cdot L \cdot C_r,$$

где је:

$E[N]_b$  - очекивана учесталост саобраћајних незгода основног модела (незгода/год.)

$a, b$  - регресиони коефицијенти

$PGDS$  - просечни годишњи дневни саобраћај (воз./дан)

$L$  - дужина путног сегмента (km)

$C_r$  - локални калибрациони фактор.

Основни модел за раскрснице садржи у себи саобраћајно оптерећење укрсних правца:

$$E[N]_b = a \cdot PGDS_{gl}^{b_1} \cdot PGDS_{sp}^{b_2} \cdot C_r,$$

где је:

$E[N]_b$  - очекивана учесталост саобраћајних незгода основног модела (незгода/год.)

$a, b_1, b_2$  - регресиони коефицијенти

$PGDS_{gl}$  - просечни годишњи дневни саобраћај главног правца (воз./дан)

$PGDS_{sp}$  - просечни годишњи дневни саобраћај споредног правца (воз./дан)

$C_r$  - локални калибрациони фактор.

Локални калибрациони фактор  $C_r$  се примењује како би се модел који је оригинално одређен за једну ширу популацију тј. географско подручје прилагодио локалним условима (климатски, стање возног парка, понашање возача, итд.). Детаљан опис калибрације једне функције на нивоу региона дат је у Лит. [4].

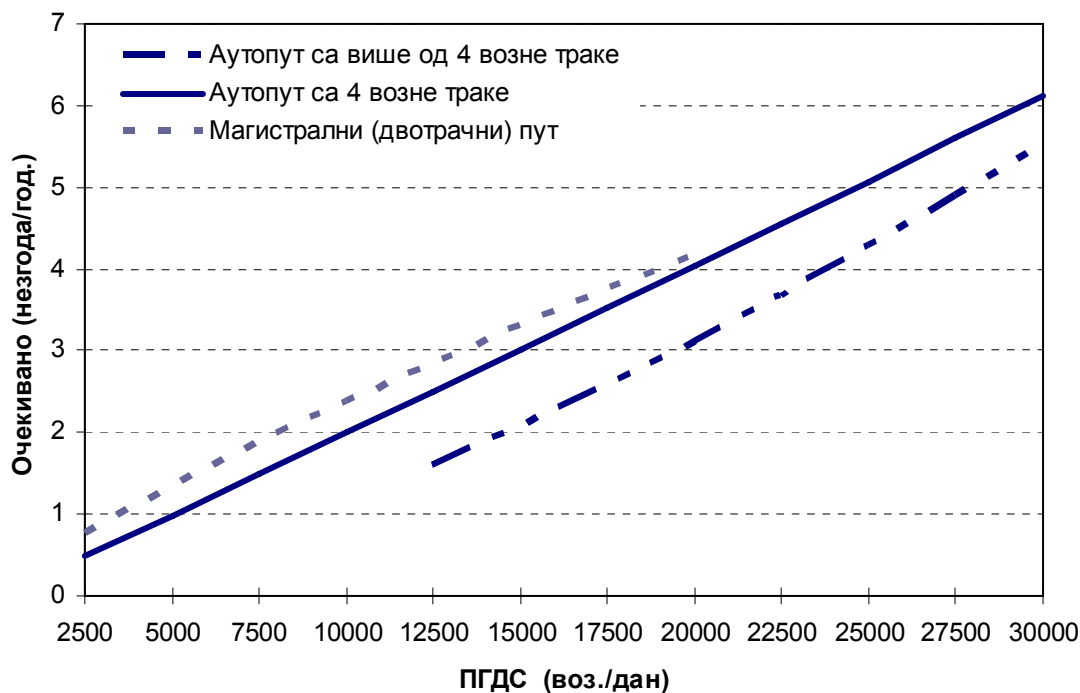
За потребе анализе безбедности саобраћаја на двотрачним путевима на располагању је више функција перформанси безбедности. У Северној Америци најчешће примењивана је *Vogt/Bared*-ова добијена на основу статистичког моделирања опажаних саобраћајних незгода на двотрачним (ванградским) путевима у државама Минесота (619 деоница,  $L_{укупно} = 1136$  km) и Вашингтон (712 деоница,  $L_{укупно} = 860$  km), за период од 5, односно 3 године респективно (Лит. [4]).

Неке од функција развијених за потребе Министарства за саобраћај Онтарија према Лит. [1] приказане су у наредној табели:

| Функционална класификација пута | Број трака/<br>Карактер пута | ПГДС           | Последице незгода | Регресиони коефицијенти |        |       |
|---------------------------------|------------------------------|----------------|-------------------|-------------------------|--------|-------|
|                                 |                              |                |                   | a                       | b      | k     |
| Аутопут                         | >4, ванградски               | 12850 - 230080 | Смртни исход      | 9.410 E-09              | 1.4209 | 5.74  |
|                                 |                              |                | Повреде           | 6.200 E-07              |        |       |
|                                 |                              |                | Материјална штета | 1.780 E-06              |        |       |
|                                 | 4, ванградски                | 4650 - 106260  | Смртни исход      | 2.200 E-06              | 1.0179 | 10.20 |
|                                 |                              |                | Повреде           | 5.370 E-05              |        |       |
|                                 |                              |                | Материјална штета | 1.135 E-04              |        |       |
| Магистрални пут                 | <4, ванградски               | 1430-19700     | Смртни исход      | 2.610 E-05              | 0.8116 | 8.50  |
|                                 |                              |                | Повреде           | 3.976 E-04              |        |       |
|                                 |                              |                | Материјална штета | 9.228 E-04              |        |       |

Табела 1. Функције перформанси безбедности - очекиване учешћалости саобраћајних незгода за 1 km пута (Онишарио, Канада)

Коефицијент  $k$  (предисперзиони параметар), представља такође резултат статистичког моделирања. Улога параметра је да 'изглади' неравномерности броја опажених незгода насталих као последица случајног догађаја. Ако се приликом моделирања претпостави да један предисперзиони параметар може да се примени на све деонице пута независно од дужине онда ће такви параметри, одређени применом функције веродостојности, бити прекомерно под утицајем дужих деоница и обрнуто. Из тог разлога се за деонице пута овај параметар рачуна према јединичној дужини и изражава као 1/km (или 1/mi).



Слика 1. Криве функција перформанси безбедности - очекиване учешћалости саобраћајних незгода за 1 km пута (Онишарио, Канада)

### 3. ЕМПИРИЈСКИ БАЈЕСОВ МЕТОД

Емпиријска Бајесова метода развијена је од стране *Hauer*-а (Лит. [4]). Уколико подаци о саобраћајним незгодама на одређеној деоници пута или раскрсници постоје они **морају** бити комбиновани са функцијом перформанси безбедности како би се из опажаног броја незгода елиминисале варијације настале као последица случајног догађаја, тј. урачунао феномен *рејресције према средњој вредности*. На овај начин се тачност предвиђања стања безбедности саобраћаја повећава.

У основним цртама методологија се састоји у следећем:

- Израчунати *тежински фактор* ( $w$ ) за деоницу / раскрсницу према:

- и. ако су на располагању подаци о саобраћајним незгодама за 2-3 године (**скраћена процедура**)

$$w_i = \frac{1}{1 + \frac{E[N]_i}{k \cdot L_i}}, \quad \text{или}$$

- ii. ако су на располагању подаци о саобраћајним незгодама за вишегодишњи период (**пуна процедура**)

$$w = \frac{1}{1 + \frac{\sum^t E[N]}{k \cdot L}}$$

- Израчунати *коришћену-оčekивану учесћалост* саобраћајних незгода (незгода/год.) за *прећходни период*  $t$  према

$$\pi = w \cdot E[N] + (1 - w) \cdot \lambda,$$

- Израчунати *варијацију* према

$$\sigma(E[N])^2 = (1 - w) \cdot E[N],$$

$$\sigma(\pi)^2 = (1 - w) \cdot \pi,$$

- *Прекорачена очекивана учесћалост* саобраћајних незгода (незгода/год.) за *прећходни период*  $t$  према

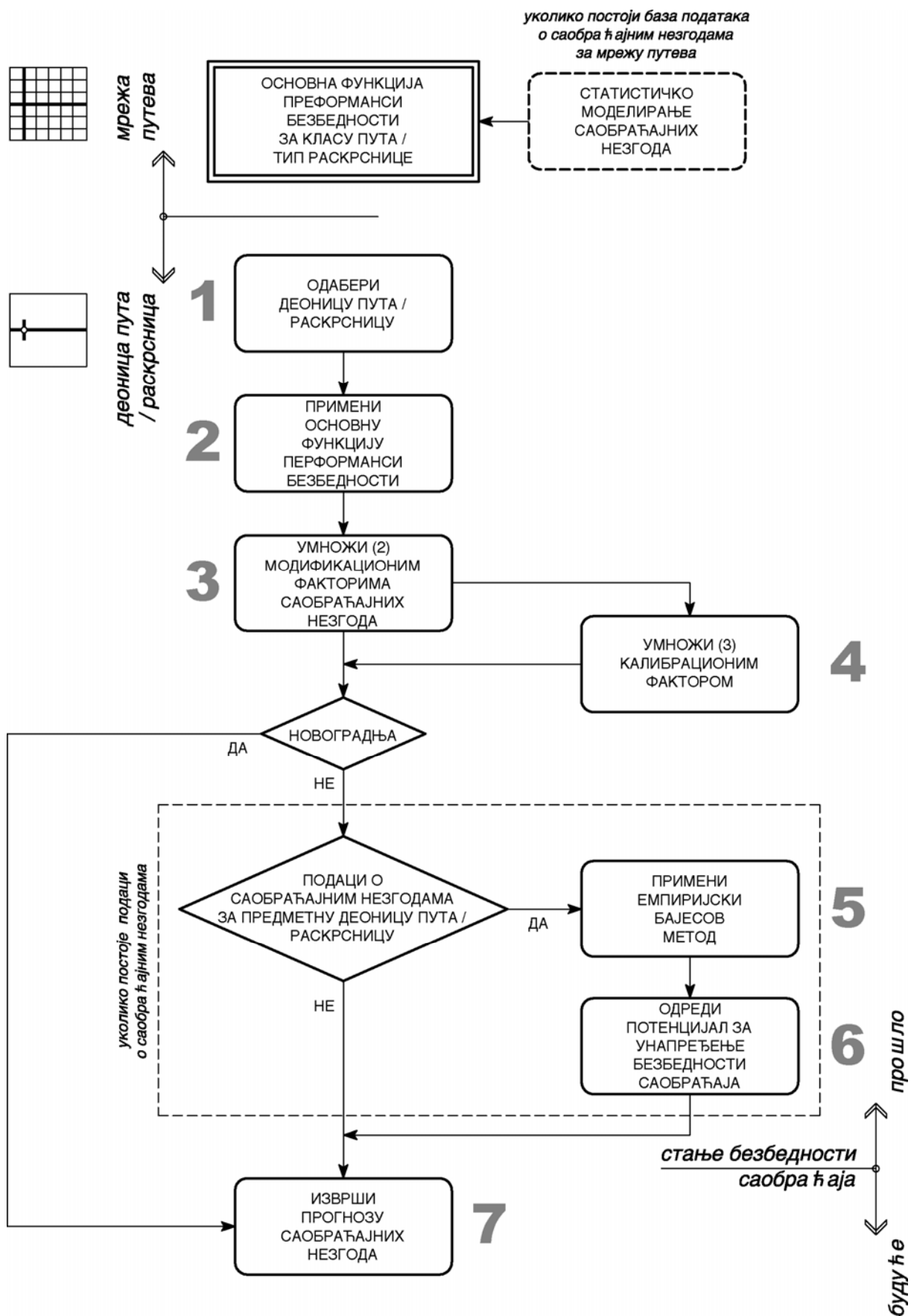
$$Exc = \pi - E[N],$$

где је:

$L$  - дужина деонице (km или mi; за раскрснице  $L=1$ )

$\lambda$  - опажен број незгода на деоници пута / раскрсници у периоду  $t$  (незгода/год.)

$k$  - предисперзиони параметар (1/km или 1/mi).



Слика 2. Алгоритам процеса утврђивања стања безбедности саобраћаја

Примена функције перформанси безбедности приказана је на примеру деонице једног двотрачног пута у провинцији Онтарио (Пут 5) укупне дужине 8.04 km на основу података о саобраћајним незгодама за период од пет година. Пут се налази у брдском терену и магистралног је карактера. Подужни профил пута је карактерисан великим бројем прелома. Такође, постоји велики број локалних, приватних, прикључака на пут. Обим саобраћаја на укрсним правцима (три површинске раскрснице) је мали тако да је целокупан пут посматран као јединствена деоница.

|   | Функција перформанси безбедности                     |   |
|---|--|---|
|   | МТО  | Vogt/Bared (IHSDM)  |
| <b>Класификација пута</b>                         | магистрални (двотрачни), ванградски                  | двотрачни, ванградски   |
| <b>Примена*</b>                                   | пут са раскрс. без сигнализације                     | пут (деоница)   |
| <b>a</b> (повређени)                              | 0.0002241  | 0.308   |
| <b>a</b> (материјална штета)                      | 0.000471   | 0.679   |
| <b>b</b>  | 0.9207   | -0.4865   |
| <b>k</b> (предисперзиони параметар)               | 7.54   | 0.31  |
| MIN број незгода=1/k                              | -  | 3   |
| <b>Основна функција перформанси безбедности</b>   |  |   |
| $E[N]_b$ [незгода/год.]                           | $a \cdot PGDS^b \cdot L$                             | $a \cdot PGDS_{seg} \cdot L_{seg} \cdot 365 \cdot 10^{-6} \cdot e^b$  |
| <b>Модификациони фактори саобраћајних незгода</b> |  |   |
| $AMF_1$ (ширина саобраћајне траке)                | -  | 1 (3.6m)  |
| $AMF_2$ (ширина / врста банке)                    | -  | 1 (1.8m)  |
| $AMF_3$ (хоризонтална кривина)                    | -  | 1 (нема)  |
| $AMF_4$ (подужни нагиб)                           | -  | променљиво  |
| $AMF_5$ (учесталост прикључака)                   | -  | 1.21 (7 прикљ./km)  |
| $AMF_6$ (претицајна трака)                        | -  | 1 (нема)  |
| $AMF_7$ (трака за лево скретање)                  | -  | 1 (нема)  |
| $AMF_8$ (путни појас)                             | -  | 1 (оцена опасности=3)   |
| <b>Калибрациони фактор за регион</b>              |  |   |
| $Cr$  | функција се калибрише периодично на нивоу провинције | не постоји (претп. 1)   |
| <b>Функција перформанси безбедности</b>           |  |   |
| Врста   | Проста   | Сложена   |
| $E[N]$ (незгода/год.)                             | $E[N]_b$   | $\sum (E[N]_b \cdot Cr \cdot \prod_{i=1}^8 AMF_i)_{seg}$  |
| * Стандардни параметри пута                       | < 4 траке  | ширина трака=3.6 m<br>ширина банке=1.8 m<br>оцена опасности путног појаса=3<br>учесталост прикљ.=3 прикљ./km<br>хоризонтална кривина=не<br>вертикална кривина=не<br>подужни нагиб=0 % |

Табела 2. Упоредни приказ две различите функције перформанси безбедности за Пут 5 - изв. 'основне' развијене за потребе Министарства за саобраћај Онтарија (Ministry of Transportation Ontario, МТО) и 'сложене' Vogt/Bared-ове (Литл. [3]), 'урађене' у Interactive Highway Safety Design Model (IHSDM)

Израчунавање очекиваних учесталости саобраћајних незгода обављено је табеларно, односно програмским пакетом *IHSDM*.

*MTO*

| Последње незгода               | Дужина деонице              | Година    | Саобраћајно оптерећење | Опашено незгода             | Очекивано незгода | Емпиријски Бајесов метод |                      |                        |                                     |       |       | Варијација |    |       |     |
|--------------------------------|-----------------------------|-----------|------------------------|-----------------------------|-------------------|--------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------------------|-------|-------|------------|----|-------|-----|
|                                |                             |           |                        |                             |                   | Предисперзни параметар   | Тежински коефицијент | Коригован број незгода | Прекорачен прогнозиран број незгода | $k$   | $w$   |            |    | $\pi$ | Exc |
|                                |                             |           |                        |                             |                   | L [km]                   | PGDS                 | $\lambda$              | E[N] <sub>d</sub>                   | 7     | 8     | 9          | 10 | 11    | 12  |
| Незгоде са повређенима         | 8.04                        | 2000      | 4,000                  | 7                           | 3.733             | 7.540                    | 0.762                | 4.512                  | 0.779                               | 0.890 | 1.076 |            |    |       |     |
|                                |                             | 2001      | 4,050                  | 5                           | 3.776             | 7.540                    | 0.762                | 4.068                  | 0.292                               | 0.900 | 0.970 |            |    |       |     |
|                                |                             | 2002      | 4,060                  | 3                           | 3.785             | 7.540                    | 0.762                | 3.598                  | -0.187                              | 0.902 | 0.858 |            |    |       |     |
|                                |                             | 2003      | 4,100                  | 4                           | 3.819             | 7.540                    | 0.762                | 3.862                  | 0.043                               | 0.911 | 0.921 |            |    |       |     |
|                                |                             | 2004      | 4,150                  | 1                           | 3.862             | 7.540                    | 0.762                | 3.180                  | -0.682                              | 0.921 | 0.758 |            |    |       |     |
|                                | <b><math>\Sigma=</math></b> | <b>20</b> | <b>18.976</b>          | <b><math>\Sigma=</math></b> | <b>19.220</b>     | <b>0.244</b>             | <b>4.524</b>         | <b>4.582</b>           |                                     |       |       |            |    |       |     |
| Незгоде са материјалном штетом | 8.04                        | 2000      | 4,000                  | 8                           | 7.847             | 7.540                    | 0.603                | 7.908                  | 0.061                               | 3.114 | 3.138 |            |    |       |     |
|                                |                             | 2001      | 4,050                  | 14                          | 7.937             | 7.540                    | 0.603                | 10.343                 | 2.406                               | 3.150 | 4.104 |            |    |       |     |
|                                |                             | 2002      | 4,060                  | 10                          | 7.955             | 7.540                    | 0.603                | 8.767                  | 0.811                               | 3.157 | 3.479 |            |    |       |     |
|                                |                             | 2003      | 4,100                  | 15                          | 8.027             | 7.540                    | 0.603                | 10.794                 | 2.767                               | 3.185 | 4.283 |            |    |       |     |
|                                |                             | 2004      | 4,150                  | 15                          | 8.117             | 7.540                    | 0.603                | 10.849                 | 2.731                               | 3.221 | 4.305 |            |    |       |     |
|                                | <b><math>\Sigma=</math></b> | <b>62</b> | <b>39.884</b>          | <b><math>\Sigma=</math></b> | <b>48.660</b>     | <b>8.776</b>             | <b>15.827</b>        | <b>19.310</b>          |                                     |       |       |            |    |       |     |
|                                |                             |           |                        |                             | $C_{пов} =$       | <b>1.013</b>             |                      |                        |                                     |       |       |            |    |       |     |
|                                |                             |           |                        |                             | $C_{мс} =$        | <b>1.220</b>             |                      |                        |                                     |       |       |            |    |       |     |

*Vogt/Bared (IHSDM)*

| Последње незгода               | Дужина деонице              | Година    | Саобраћајно оптерећење | Опашено незгода             | Очекивано незгода | Емпиријски Бајесов метод |                      |                        |                                     |        |        | Варијација |    |       |     |
|--------------------------------|-----------------------------|-----------|------------------------|-----------------------------|-------------------|--------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------------------|--------|--------|------------|----|-------|-----|
|                                |                             |           |                        |                             |                   | Предисперзни параметар   | Тежински коефицијент | Коригован број незгода | Прекорачен прогнозиран број незгода | $k$    | $w$    |            |    | $\pi$ | Exc |
|                                |                             |           |                        |                             |                   | L [km]                   | PGDS                 | $\lambda$              | E[N] <sub>d</sub>                   | 7      | 8      | 9          | 10 | 11    | 12  |
| Незгоде са повређенима         | 8.04                        | 2000      | 4,000                  | 7                           | 5.300             | 0.310                    | 0.085                | 6.856                  | 1.556                               | 4.851  | 6.274  |            |    |       |     |
|                                |                             | 2001      | 4,050                  | 5                           | 5.300             | 0.310                    | 0.085                | 5.025                  | -0.275                              | 4.851  | 4.599  |            |    |       |     |
|                                |                             | 2002      | 4,060                  | 3                           | 5.400             | 0.310                    | 0.085                | 3.204                  | -2.196                              | 4.942  | 2.932  |            |    |       |     |
|                                |                             | 2003      | 4,100                  | 4                           | 5.400             | 0.310                    | 0.085                | 4.119                  | -1.281                              | 4.942  | 3.769  |            |    |       |     |
|                                |                             | 2004      | 4,150                  | 1                           | 5.500             | 0.310                    | 0.085                | 1.382                  | -4.118                              | 5.034  | 1.264  |            |    |       |     |
|                                | <b><math>\Sigma=</math></b> | <b>20</b> | <b>26.900</b>          | <b><math>\Sigma=</math></b> | <b>20.585</b>     | <b>-6.315</b>            | <b>24.619</b>        | <b>18.840</b>          |                                     |        |        |            |    |       |     |
| Незгоде са материјалном штетом | 8.04                        | 2000      | 4,000                  | 8                           | 10.100            | 0.310                    | 0.046                | 8.097                  | -2.003                              | 9.634  | 7.723  |            |    |       |     |
|                                |                             | 2001      | 4,050                  | 14                          | 10.200            | 0.310                    | 0.046                | 13.825                 | 3.625                               | 9.729  | 13.186 |            |    |       |     |
|                                |                             | 2002      | 4,060                  | 10                          | 10.300            | 0.310                    | 0.046                | 10.014                 | -0.286                              | 9.825  | 9.552  |            |    |       |     |
|                                |                             | 2003      | 4,100                  | 15                          | 10.400            | 0.310                    | 0.046                | 14.788                 | 4.388                               | 9.920  | 14.105 |            |    |       |     |
|                                |                             | 2004      | 4,150                  | 15                          | 10.500            | 0.310                    | 0.046                | 14.792                 | 4.292                               | 10.015 | 14.109 |            |    |       |     |
|                                | <b><math>\Sigma=</math></b> | <b>62</b> | <b>51.500</b>          | <b><math>\Sigma=</math></b> | <b>61.515</b>     | <b>10.015</b>            | <b>49.123</b>        | <b>58.676</b>          |                                     |        |        |            |    |       |     |
|                                |                             |           |                        |                             | $C_{пов} =$       | <b>0.765</b>             |                      |                        |                                     |        |        |            |    |       |     |
|                                |                             |           |                        |                             | $C_{мс} =$        | <b>1.194</b>             |                      |                        |                                     |        |        |            |    |       |     |

Табеле 3 и 4. Утврђивање безбедности пута применом Емпиријској Бајесовој методе



Треба приметити да очекиван број незгода добијен применом функција перформанси безбедности (колона 6) у оба случаја одступа од опажених вредности (колона 5), али да је други, сложен модел (*Vogt/Bared-ov*) у укупном броју очекиваних незгода нешто ближи опаженој вредности. Ово може бити објашњено чињеницом да се предметна деоница по својим геометријским (и другим) карактеристикама разликује од типичног двотрачног пута у провинцији Онтарио за који је функција перформанси безбедности одређена; са друге стране, у *Vogt/Bared-овом* моделу, тачност прорачуна очекиваних учесталости саобраћајних незгода повећана је применом модификационих фактора саобраћајних незгода који су, јасно, одсликали и геометријске специфичности пута.

За тако одређене очекиване учесталости саобраћајних незгода примењен је Емпиријски Бајесов метод, тј комбиновани су подаци о саобраћајним незгодама са оним добијеним применом функције перформанси безбедности (колона 9). Сада разлика између опажених и коригованих очекиваних вредности постаје мање изражена. Једино је број коригованих-очекиваних вредности за незгоде са материјалном штетом у МТО моделу још увек нешто већи од опажаног броја.

На крају, одређена је прекорачена очекивана учесталост саобраћајних незгода као разлика броја коригованих-очекиваних и очекиваних саобраћајних незгода према тежинама последицама. У пракси, овај се параметар одређује за сегменте пута дужине од 100-200 m.

У процесу утврђивања приоритета улагања у мрежу као би се безбедност саобраћаја побољшала, од користи је тестирање путева тако што би се за сваки пут одредила отежана вредност прекорачене очекиване учесталости саобраћајних незгода узимајући у обзир и цену коштања незгода према последицама. У Онтарију тај однос је  $r_c = 145 : 32 : 1 = \text{смртни исход} : \text{повређени} : \text{материјална штета}$ , где је просечна цена коштања једне саобраћајне незгоде са материјалном штетом 7450 \$CAN. Сходно наведеном, параметар који би објединио број незгода према последицама, тзв. *индекс инциденција* за унапређење безбедности саобраћаја треба израчунати према:

$$PSI_{index} = Exc_{ms} + 32 \cdot Exc_{pov} + 145 \cdot Exc_{si},$$

где је:

$Exc_{ms}$  - прекорачена очекивана учесталост саобр. незгода са материјалном штетом

$Exc_{pov}$  - прекорачена очекивана учесталост саобр. незгода са повредама

$Exc_{si}$  - прекорачена очекивана учесталост саобр. незгода са смртним исходом.

Пут или деоница са већим  $PSI_{index}$ -ом имају већи укупни потенцијал за унапређење безбедности саобраћаја.

#### 4. ОЦЕНА ВАЉАНОСТИ МОДЕЛА

Да би се утврдио степен сагласности коришћених функција перформанси безбедности у односу на опажени број незгода, примењена је стандардна статистичка процедура тестирања хипотезе ( $\chi^2$ -тест). Тестирана је хипотеза  $\chi_0^2$  са степеном слободе 2-1 да “број очекиваних незгода у односу на број опажених незгода задовољава 95%-тни интервал поверења  $\bar{m}$ . да је вероватноћа одступања очекиваног броја незгода од опаженог броја незгода мања од  $p \leq 0.05$ ”; другим речима, да је степен сагласности изабране функције перформанси безбедности задовољавајући. Хипотеза неће бити одбачена у случају да је испуњен услов  $\chi_0^2 < \chi_{0.05,1}^2 = 3.84$ .

Статистички тест је облика:

$$\chi_{0,E[N]_d}^2 = \sum \frac{(\lambda - E[N]_d)^2}{E[N]_d}, \text{ за очекивану учесталост саобраћајних незгода, односно}$$

$$\chi_{0,\pi}^2 = \sum \frac{(\lambda - \pi)^2}{\pi}, \text{ за кориговану-очекивану за учесталост саобраћајних незгода.}$$

Резултати теста приказани су у наредној табели:

*Очекивана учесталост саобраћајних незгода*

|              | Последице незгода | Опажено   | Очекивано | Вероватноћа        |                        |                                 |               |
|--------------|-------------------|-----------|-----------|--------------------|------------------------|---------------------------------|---------------|
|              |                   | $\lambda$ | $E[N]_d$  | $\lambda - E[N]_d$ | $(\lambda - E[N]_d)^2$ | $(\lambda - E[N]_d)^2 / E[N]_d$ | $p$           |
| <b>МТО</b>   | Повређени         | 20        | 18.98     | 1.02               | 1.04                   | 0.055                           | -             |
|              | Материјална штета | 62        | 39.88     | 22.12              | 489.29                 | 12.269                          | -             |
|              |                   |           |           | $\chi_o^2 =$       | <b>12.324</b>          |                                 | <b>0.000+</b> |
| <b>ИНСДМ</b> | Повређени         | 20        | 26.90     | -6.90              | 47.61                  | 1.770                           | -             |
|              | Материјална штета | 62        | 51.50     | 10.50              | 110.25                 | 2.141                           | -             |
|              |                   |           |           | $\chi_o^2 =$       | <b>3.911</b>           |                                 | <b>0.049</b>  |

*Коригована-очекивана учесталост саобраћајних незгода*

|              | Последице незгода | Опажено   | Кориговано | Вероватноћа     |                     |                           |              |
|--------------|-------------------|-----------|------------|-----------------|---------------------|---------------------------|--------------|
|              |                   | $\lambda$ | $\pi$      | $\lambda - \pi$ | $(\lambda - \pi)^2$ | $(\lambda - \pi)^2 / \pi$ | $p$          |
| <b>МТО</b>   | Повређени         | 20        | 19.22      | 0.78            | 0.61                | 0.032                     | -            |
|              | Материјална штета | 62        | 48.66      | 13.34           | 177.96              | 3.657                     | -            |
|              |                   |           |            | $\chi_o^2 =$    | <b>3.689</b>        |                           | <b>0.060</b> |
| <b>ИНСДМ</b> | Повређени         | 20        | 20.59      | -0.59           | 0.35                | 0.017                     | -            |
|              | Материјална штета | 62        | 61.52      | 0.48            | 0.23                | 0.004                     | -            |
|              |                   |           |            | $\chi_o^2 =$    | <b>0.021</b>        |                           | <b>0.900</b> |

Табела 5. Штвен сагласности функција перформанси безбедности ( $\chi^2$  - шест)

На основу добијених резултата може се закључити да ни за једну од изабраних функција перформанси безбедности, очекивана учесталост саобраћајних незгода нема одговарајући степен сагласности са опаженим бројем саобраћајних незгода:

$$\chi_{0,E[N]_d}^2 = 12.324 > \chi_{0.05,1}^2 = 3.84, \text{ односно } \chi_{0,E[N]_d}^2 = 3.911 > \chi_{0.05,1}^2 = 3.84,$$

тј. да постоје (или су постојали) неки други фактори (или случајни догађаји) осим оних уграђених у функцију перформанси безбедности који су утицали на тачност предвиђања.

Супротно томе, после примењеног Емпиријског Бајесовог модела, коригована-очекивана учесталост саобраћајних незгода за обе функције перформанси безбедности има одговарајући степен сагласности. Одступање од опаженог броја незгода је у првом случају (МТО) у границама прихватљивог ( $\chi_{0,\pi}^2 = 3.689 < \chi_{0.05,1}^2 = 3.84$ ); за функцију перформанси безбедности према *Vogt/Bared*-овом моделу (ИНСДМ) добијен је изузетно висок степен сагласности ( $\chi_{0,\pi}^2 = 0.021 < \chi_{0.05,1}^2 = 3.84$ ), односно вероватноћа 0.90 да је било које одступање коригованог-очекиваног броја саобраћајних незгода од опаженог броја саобраћајних незгода последица случајног догађаја.

Додатна провера степена сагласности функција перформанси безбедности могућа је израчунавањем *коэффициента корелације*  $R^2$  према Лит. [7], односно *Freeman/Tukey*-овог параметра стабилизације  $R^2_{ft}$  (Лит. [2]).

## 5. ПРОГНОЗА САОБРАЋАЈНИХ НЕЗГОДА

На основу претходног извршена је прогноза (пројекција) саобраћајних незгода за период од 10 година применом *Vogt/Bared*-ове функције перформанси безбедности која се у конкретном примеру показала као ‘прецизнија’.

Имајући у виду за стандардне параметре пута (Табела 2) општи облик *Vogt/Bared*-ове функције перформанси безбедности:

$$E[N]_b = a \cdot PGDS_{seg} \cdot L_{seg} \cdot 365 \cdot 10^{-6} \cdot e^b, \text{ односно}$$

$$E[N] = \sum (E[N]_b \cdot Cr \cdot \prod_{i=1}^8 AMF_i)_{seg},$$

и чињеницу да је једина променљива у формули *PGDS*, *прогнозирана-очекивана учесћалост саобраћајних незгода* (бр.незгода) на анализираној деоници у години *j* рачуна се према:

$$E[N]_j = E[N]_{j-1} \cdot m_j, \text{ односно}$$

$$E[N]_j = E[N]_{j-1} \cdot m_j \cdot \prod_{int=1}^p AMF_{int},$$

где је:

$$m_j = \frac{PGDS_j}{PGDS_{j-1}} \quad \text{- корекција услед промене саобраћајног оптерећења}$$

*n* - временски период за који се ради прогноза

*AMF int* - модификациони фактори саобраћајних незгода за сваку од примењених мера.

*Коригована-прогнозирана учесћалост саобраћајних незгода* (бр.незгода) за годину *j* рачуна се према:

$$\pi_j = N[E]_j \cdot C,$$

где се параметар корекције рачуна према:

$$C = \frac{\sum \pi_{pre}}{\sum E[N]_{pre}}.$$

Уколико су уз функцију перформанси безбедности познати и тзв. годишњи множиоци (*C<sub>j</sub>*) онда те вредности треба користити уместо параметра корекције *C* (Лит. [4]).

| Година                | Промена ПГДС    |           | Учесталост саобраћајних незгода (незгода/год.) |                        |              |                   |  |                   |              |
|-----------------------|-----------------|-----------|--|------------------------|--------------|-------------------|--|-------------------|--------------|
|                       |                 |           | Опажено  |                        | Очекивано    |                   | Кориговано-очекивано (ЕБ) / Прогнозирано |                   |              |
|                       | Раст саобраћаја | Корекција | Повреде  | Материјална штета      | Повреде      | Материјална штета | Повреде                                  | Материјална штета |              |
| <b>j</b>              | -               | <b>m</b>  | $\lambda_{пов}$                                | $\lambda_{мш}$         | $E[N]_{пов}$ | $E[N]_{мш}$       | $\pi_{пов}$                              | $\pi_{мш}$        |              |
| 1                     | 2               | 3         | 4  | 5                      | 6            | 7                 | 8  | 9                 |              |
|                       |                 |           |  |                        |              |                   | $C_{пов}=0.765$                          | $C_{мш}=1.194$    |              |
| Прошло (пре)          | 2000            |           |  | 7                      | 8            | 5.30              | 10.10                                    | 4.51              | 7.91         |
|                       | 2001            |           |  | 5                      | 14           | 5.30              | 10.20                                    | 4.07              | 10.34        |
|                       | 2002            |           |  | 3                      | 10           | 5.40              | 10.30                                    | 3.60              | 8.77         |
|                       | 2003            |           |  | 4                      | 15           | 5.40              | 10.40                                    | 3.86              | 10.79        |
|                       | 2004            |           |  | 1                      | 15           | 5.50              | 10.50                                    | 3.18              | 10.85        |
| Будуће (прогнозирано) | <b>2005</b>     | 1.02      | 1.02   |                        |              | <b>5.58</b>       | <b>10.66</b>                             | <b>4.27</b>       | <b>12.73</b> |
|                       | <b>2006</b>     | 1.03      | 1.03   |                        |              | <b>5.67</b>       | <b>10.82</b>                             | <b>4.34</b>       | <b>13.20</b> |
|                       | <b>2007</b>     | 1.05      | 1.05   |                        |              | <b>5.75</b>       | <b>10.98</b>                             | <b>4.40</b>       | <b>13.40</b> |
|                       | <b>2008</b>     | 1.06      | 1.06   |                        |              | <b>5.84</b>       | <b>11.14</b>                             | <b>4.47</b>       | <b>13.60</b> |
|                       | <b>2009</b>     | 1.08      | 1.08   |                        |              | <b>5.93</b>       | <b>11.31</b>                             | <b>4.53</b>       | <b>13.80</b> |
|                       | <b>2010</b>     | 1.09      | 1.09   |                        |              | <b>6.01</b>       | <b>11.48</b>                             | <b>4.60</b>       | <b>14.01</b> |
|                       | <b>2011</b>     | 1.11      | 1.11   |                        |              | <b>6.10</b>       | <b>11.65</b>                             | <b>4.67</b>       | <b>14.22</b> |
|                       | <b>2012</b>     | 1.12      | 1.12   |                        |              | <b>6.20</b>       | <b>11.83</b>                             | <b>4.74</b>       | <b>14.43</b> |
|                       | <b>2013</b>     | 1.14      | 1.14   |                        |              | <b>6.29</b>       | <b>12.01</b>                             | <b>4.81</b>       | <b>14.65</b> |
|                       | <b>2014</b>     | 1.15      | 1.15   |                        |              | <b>6.38</b>       | <b>12.19</b>                             | <b>4.88</b>       | <b>14.87</b> |
|                       |                 |           |  | $\Sigma_{2005-2014} =$ | <b>59.75</b> | <b>114.06</b>     | <b>45.72</b>                             | <b>138.89</b>     |              |

Табела 6. Пројнозирана учесталост саобраћајних незгода за деоницу иуиша у иериоду 2005-2014 (незгода/год.)

## 6. ЗАКЉУЧАК

У раду је дат приказ функција перформанси безбедности, а на примеру једног двотрачног-ванградског пута у провинцији Онтаријо, Канада и њихова практична примена.

Искусствено, а делимично и на основу изложеног, се може доћи до закључка да је:

- за одређивање укупног потенција за унапређење безбедности саобраћаја у неком региону од важности имати на располагању функцију перформанси безбедности добијену статистичким моделирањем саобраћајних незгода у том региону или неке друге функције калибрисане тако да она одражава локалне услове;
- функција перформанси безбедности ‘употребљивија’ уколико се комбинује са подацима о саобраћајним незгодама чиме се повећава тачност одређивања потенцијала за повећање безбедности саобраћаја;
- од посебне важности употреба модификационих фактора саобраћајних незгода како би се у функцију уградили геометријске карактеристике пута и тако додатно повећала тачност предвиђања.

## РЕФЕРЕНЦЕ

- [1] Bahar, G. and Smiley, A. *The Science of Highway Safety - Network Evaluation and Safety Conscious Procedures*, Ontario Ministry of Transportation and Consulting Engineers of Ontario, Canada, 1999.
- [2] Fridstrom, L. et al. *Measuring the Contribution of Randomness, Exposure, Weather, and Daylight to the Variation in Road Accident Counts*, Accident Analysis and Prevention, Vol.27, 1995.
- [3] Harwood, D. W. et al. White Paper for SafetyAnalyst: *Software Tools for Safety Management of Specific Highway Sites* (web-only-version), DTFH61-01-F-00096, FHWA U.S. Department of Transportation, U.S.A. 2002.
- [4] Harwood, D. W. et al. *Prediction of Expected Safety Performance of Rural Two-Lane Highways*, FHWA-RD-99-207, FHWA U.S. Department of Transportation, U.S.A. 2000.
- [5] Hauer, E. et al. *Estimating Safety by the Empirical Bayes Method: A Tutorial*, Transportation Research Record 1784, Washington, D.C. U.S.A. 2006.
- [6] Hauer, E. *Knowledge and the Management of Safety*, Traffic Safety Summit, Kananaskis, Alberta, Canada, 1998
- [7] Hauer, E. *Statistical Safety Modeling*,  
(<http://ca.geocities.com/hauer@rogers.com/Pubs/ModelingSafety.pdf>)
- [8] Miaou, S.P. *Measuring the Goodnes-of-Fit of Accident Prediction Models*, Report No. FHWA-RD-96-040, FHWA U.S. Department of Transportation, U.S.A. 1996.
- [9] Persaud, B. N. *Blackspot Identification and Treatment Evaluation*, Research and Development Branch, Ontario Ministry of Transportation, Canada, 1990.
- [10] Bonneson, J., Zimmerman, K. and Fitzpatrick, K. *Roadway Safety Design Synthesis*, Texas Transportation Institute, College Station, U.S.A. 2005.

