

## КОМПАРАТИВНА АНАЛИЗА МЕТОДА ИДЕНТИФИКАЦИЈЕ ОПАСНИХ ДИОНИЦА

### COMPARATIVE ANALYSIS OF DANGEROUS SECTION IDENTIFICATION METHODS

Спасоје Мићић<sup>1</sup>, Драган Јовановић<sup>2</sup>, Милош Пљакић<sup>3</sup>, Марија Ђорђевић<sup>4</sup>, Саша Јаснић<sup>5</sup>

**Резиме:** Преглед и анализа путне мреже је први корак у процесу побољшавања безбједности одређене дионице пута. Производ прегледа и анализе путне мреже је листа дионица које су рангиране према опасности коју производе. У раду је извршена компарација традиционалних метода за идентификовање опасних дионица (метода фреквенције саобраћајних незгода и метода стопе саобраћајних незгода) и емпиријске Бајесове методе. Резултати спроведених тестова су показали да ЕБ метода надмашује традиционалне методе идентификације опасних деоница. Резултати истраживања ће помоћи управљачу пута да изабере најадекватнији метод за идентификацију и рангирање опасних дионица, како би ресурсе за побољшање безбједности саобраћаја инвестирани што ефектније и рационалније.

**Кључне речи:** безбједност саобраћаја, путеви IB реда, идентификација опасних деоница

**Abstract:** Network screening is the first step in the road section safety improvement process. The product of network screening is a list of road section that are ranked by the dangers they produce. The paper compares the traditional methods for identifying dangerous road section (method of accidents frequency and method of accident rate) and empirical Bajes method. The results of the tests have shown that the EB method goes beyond the traditional methods of identifying dangerous road sections. The results of the survey will help the the road authorities to choose the most appropriate method for identifying and ranking dangerous road section in order to invest the resources to improve traffic safety as efficiently and rationally as possible.

**Keywords:** Road safety, IB roads, hotspot identification

#### 1. УВОД

Саобраћајне незгоде су повезане са бројним проблемима. Фактори човјек, возило, пут са окружењем играју значајну улогу прије, током и након саобраћајне незгоде (Baker & Haddon, 1974). Сам фактор пута са окружењем има барем неки утицај у свакој трећој саобраћајној незгоди (Treat et al., 1979). Преглед и анализа путне мреже је први корак у процесу унапређења безбједности пута и представља процес прегледа путне мреже ради идентификације опасних локација (деоница, одсјек, сегмент, раскрсница и сл.) и рангирања истих, од највјероватнијих до најмање вјероватних, према потенцијалу за предузимање контрамјера (AASHTO, 2010). Ефикасно управљање путном мрежом започиње идентификацијом локација које захтјевају додатно испитивање безбједности. Веома важно је имати ефикасан процес идентификације, у супротном долази до непотребног трошења ионако оскудних ресурса на погрешно одређене локације, а стварно опасне локације неће бити идентификоване у овом процесу.

У процесу анализе безбједности путне мреже користе се методе рангирања, методе клизног прозора и методе тражења врхова (AASHTO, 2010). У овом раду пажња је усмјерена на методу рангирања деоница путне мреже. Локације су рангиране на основу највеће вриједности проблема, у зависности од изабране методологије идентификације. У претходном периоду различите методе рангирања деоница путне мреже су примјењене у процесу идентификације опасних локација на путној мрежи.

<sup>1</sup> Стручни савјетник, Мићић Спасоје, маг. инж. саобраћаја, Министарство саобраћаја и веза Републике Српске, Трг Републике Српске 1, Бања Лука, Република Српска, БиХ, [s.micic@msv.vladars.net](mailto:s.micic@msv.vladars.net)

<sup>2</sup> Редовни професор, др. Јовановић Драган, дипл. инж. саобраћаја, Факултет техничких наука, Трг Доситеја Обрадовића 6, Нови Сад, Србија, [dragani@uns.ac.rs](mailto:dragani@uns.ac.rs)

<sup>3</sup> Асистент-мастер, Пљакић Милош, дипл. инж. саобраћаја – мастер, Факултет техничких наука, Књаза Милоша 7, Косовска Митровица, Србија, [milos.pljadic@pr.ac.rs](mailto:milos.pljadic@pr.ac.rs)

<sup>4</sup> Главни инжињер база података о саобраћајној сигнализацији и опреми, саобраћајним незгодама и путно-пружним прелазима, Ђорђевић Марија, дипл. инж. саобраћаја, ЈП „Путеви Србије“, Булевар Краља Александра 282, Београд, Србија, [marija.diordjevic@putevi-srbije.rs](mailto:marija.diordjevic@putevi-srbije.rs)

<sup>5</sup> Руководилац одјељења за безбједност саобраћаја, мр. Јаснић Саша, дипл. инж. саобраћаја, ЈП „Путеви Републике Српске“, Трг Републике Српске 8, Бања Лука, Република Српска, БиХ, [sjasnic@putevirs.com](mailto:sjasnic@putevirs.com)

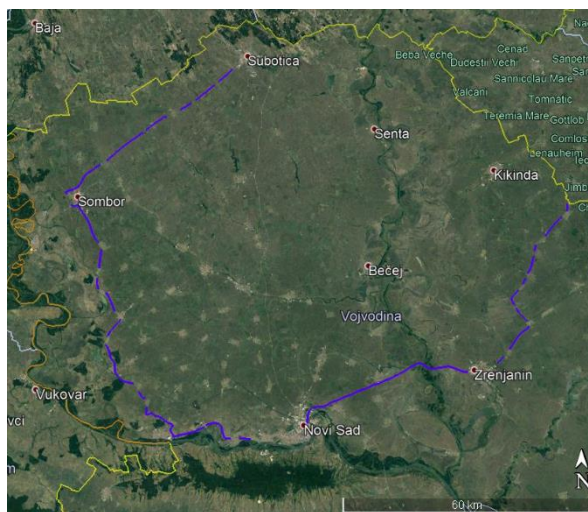
Једна од првих метода идентификације опасних локација, коју одликује једноставност у примјени је метода фреквенције саобраћајних незгода – CF метода (Zegeer, 1986). Многи субјекти користе овај метод за избор иницијалне групе опасних локација за даљу анализу. За избор опасних локација мора се прво утврдити критична вриједност (нпр. 10 или више саобраћајних незгода годишње), с тим да критична вриједност мора бити постављена разумно, тако да субјекти могу идентификоване локације детаљније истражити. Ако је број саобраћајних незгода на некој локацији једнак или већи од критичне вриједности, локација је означена као опасна локација (Zegeer, 1981). Обзиром да CF метод не узима у обзир изложеност, метода стопе саобраћајних незгода (CR метода) је примјењена у идентификацији опасних локација (Hauer, 1995), јер се употребом изложености нормализује фреквенција саобраћајних незгода. Да би се узели у обзир трошкови саобраћајних незгода развијена је EPDO метода. Применом EPDO методе упоређује се релативна важност саобраћајних незгода са материјалном штетом у односу на саобраћајне незгоде са повријеђеним и погинулим лицима (Donnell & Mason, 2004). Овом методом узимају се у обзир посљедице саобраћајних незгода, али се не узима у обзир изложеност. У претходним годинама, метода критичне стопе саобраћајних незгода (CCR метода) је често коришћена у пракси. Она упоређује стопу саобраћајних незгода на свакој локацији са критичном стопом саобраћајних незгода за сличне локације (Lu & Weng, 2010). Разматра изложеност и обезбјеђује адекватан ниво статистичке поузданости. Све наведене традиционалне методе се могу разликовати у својим приступима, али све деле исти проблем, а то је проблем регресије ка средњој вриједности. Да би се решио овај проблем примењена је емпиријска Бајесова метода – ЕБ метода (Cheng & Washington, 2008). ЕБ метода комбинује податке о саобраћајним незгодама на одређеној деоници са фреквенцијом саобраћајних незгода, која је утврђена предиктивним моделом. Обзиром да користи предиктивни модел има могућност откривања скривених безбједносних проблема, које друге методе не могу утврдити. Након извршене идентификације опасних деоница, резултат прегледа и анализе је листа деоница које су рангиране према опасностима које производе тј. представљају приоритете за детаљне инжењерске истраге, ради идентификације фактора, образаца саобраћајних незгода и потенцијалних контрамјера (Hauer et al., 2002; Hauer et al., 2004).

Примарни циљ овога рада је компаративна анализа различитих метода идентификације опасних деоница. Секундари циљ рада је идентификација предности и недостатака анализираних метода, те идентификација 5%, 10% и 20% опасних деоница на државном путу ИБ-12.

## 2. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ

### 2.1. Прикупљање података

Подаци неопходни за спровођење метода прегледа и анализа путне мреже прикупљени су за државни пут ИБ-12 (Слика 1). Укупна дужина пута је 276,70 km, подељена на 23 деонице. Државни пут ИБ-12 садржи 59 руралних хомогених сегмената, укупне дужине 199,63 km (Табела 1). За наведене сегменте прикупљени су подаци о дужини сегмената, саобраћајном оптерећењу и саобраћајним незгодама.



Слика 1. Траса државног пута ИБ-12 (рурални путни сегменти)

Подаци о саобраћајним незгодама за временски период 2011-2017. године добијени су из Јединственог информационог система МУП-а Републике Србије. Додатно, из базе података ЈП „Путеви Србије“ преузети су подаци о саобраћајном оптерећењу на државним путевима IБ реда за период 2011-2017. године.

Да би се могле поредити конкурентске методе, а на основу прикупљених информација за шестогодишњи период, формирана је посебна база података, у Microsoft Excel-у, за два трогодишња временска периода: период 2011-2013. године (период 1) и период 2015-2017. године (период 2). У бази су садржани подаци о саобраћајним незгодама, саобраћајном оптерећењу и дужинама руралних сегмената. На 59 посматраних сегмената у првом временском периоду догодиле су се 244 саобраћајне незгоде, а у другом 386 саобраћајних незгода. Максималан ПГДС на посматраним деоницама у првом периоду износио је 36.717 воз/дан, док је у другом периоду износио 42.139 воз/дан. Са друге стране, минималан ПГДС на посматраним деоницама у првом периоду износио је 3.604 воз/дан, а у другом периоду износио 2.662 воз/дан. Средња вриједност ПГДС-а на посматраним руралним хомогеним сегментима у првом периоду је 10.583 воз/дан, док је у другом периоду 11.357 воз/дан.

## 2.2. Методе идентификације опасних деоница

У претходном периоду многи алати, методе и мјере су развијене, како би помогле у процесу идентификације опасних деоница и примјени одговарајућих контрамјера. Методе за идентификацију опасних деоница, између осталог, укључују традиционалне методе као што су: CF метода, CR метода и CCR метода. Поред њих, у раду је истражена и савремена метода тј. ЕБ метода. Компарација примјењених метода извршена је помоћу 3 теста у два временска периода. Примењени су тест конзистентности локације, тест конзистентности методе и тест укупне разлике ранга (Cheng & Washington, 2008; Montella, 2010; Bandyopadhyaya & Mitra, 2011). Метод који има најбоље перформансе на наведеним тестовима је најпогоднији за идентификацију опасних деоница на државним путевима IБ реда.

### 2.2.1. Метода фреквенције саобраћајних незгода

Најједноставнију методу идентификације опасних деоница представља CF метода. За идентификацију опасних деоница користи само број саобраћајних незгода у одређеном временском периоду. Примењујући овај метод, деонице су рангиране у опадајућем редосљеду посматране фреквенције саобраћајних незгода. Да би се могле поредити путне деонице различите дужине, укупан број саобраћајних незгода је подјељен са дужином деонице и временским периодом (Montella, 2010). Основне предности CF методе су једноставност у употреби и мали захтјеви у погледу података. Са друге стране, CF метода не узима у обзир регресију ка средњој вриједности, утицај ПГДС-а, посљедице саобраћајних незгода, те производи грешке у процјени деоница веће дужине и високог ПГДС-а. Фреквенција саобраћајних незгода се рачуна према формули (AASHTO, 2010):

$$CF = \frac{N}{L \cdot t} [nez/km/god] \quad (1)$$

гдје је: CF – фреквенција саобраћајних незгода, N – број саобраћајних незгода, L – дужина деонице, t – временски период.

### 2.2.2. Метода стопе саобраћајних незгода

Ова метода пореди број саобраћајних незгода на одређеној деоници са бројем возила или бројем пређених километара на тој деоници. Деонице су рангиране у опадајућем редосљеду према стопи саобраћајних незгода. За разлику од CF методе, применом CR методе могу се рачунати безбједносни ефекти који се могу приписати промјенама у ПГДС-у. Стопа саобраћајних незгода се изражава као број саобраћајних незгода по милион возило километара. Предности CR методе су једноставност у употреби, мали захтјеви у погледу података и разматрање утицаја изложености/саобраћаја. Недостатке представљају неразматрање регресије ка средњој вриједности, претпоставка линеарне везе између ПГДС-а и саобраћајних незгода и грешка која се јавља код процјене на краћим деоницама и деоницама са ниским ПГДС-ом. Стопа саобраћајних незгода се рачуна према формули (Lim & Kweon, 2013):

$$CR = \frac{N \cdot 10^6}{PGDS \cdot 365 \cdot L \cdot t} \quad (2)$$

гдје је: CR – стопа саобраћајних незгода, N – број саобраћајних незгода, PGDS – просјечан годишњи дневни саобраћај, L – дужина деонице, t – временски период.

### 2.2.3. Метода критичне стопе саобраћајних незгода

CCR метода или метода за контролу квалитета стопе незгода (енгл. rate quality control method) утврђује да ли је стварна стопа саобраћајних незгода на деоници пута абнормално висока у односу на просјечну стопу саобраћајних незгода на сличним деоницама (Lu & Weng, 2010). Предности CCR методе се огледају у смањивању презаступљености деоница са ниским ПГДС-ом, узимање у обзир варијансе у подацима о саобраћајним незгодама, успостављање прага за поређење са CR методом и разврставање деоница у поткатегорије. Недостаци ове методе су неразматрање регресије ка средњој вриједности и претпоставка линеарне везе између ПГДС-а и саобраћајних незгода. Критична стопа саобраћајних незгода рачуна се према формули (AASHTO, 2010):

$$CCR = CR_a + \left[ P * \sqrt{\frac{CR_a}{EXPO}} \right] + \left[ \frac{1}{2 * EXPO} \right] \quad (3)$$

гдје је: CCR – критична стопа саобраћајних незгода,  $CR_a$  – просјечна стопа саобраћајних незгода на сличним деоницама ( $CR_a = \sum_{i=1} (PGDS * CR) / \sum_{i=1} PGDS$ ), P – p-vrijednost за одговарајући интервал поверења (нпр. за интервал поверења 95% износи 1,645), EXPO – изложеност ( $EXPO = (PGDS * 365 * L * t) / 10^6$ ).

### 2.2.4. Емпиријска Бајесова метода

ЕБ метода је статистичка метода која комбинује посматрану фреквенцију саобраћајних незгода са предвиђеном фреквенцијом саобраћајних незгода, користећи предиктивне моделе (Поаснов, НБ, ЗИП, ЗИНБ и др.), за израчунавање очекиване фреквенције саобраћајних незгода за локацију односно деоницу од интереса. Овом методом очекиван број саобраћајних незгода се „вуче“ према средњој вриједности, узимајући у обзир проблем регресије ка средњој вриједности. У ЕБ процедури, прво се користи предиктивни модел фреквенције саобраћајних незгода за одређивање предвиђеног броја саобраћајних незгода на одређеној деоници у одређеном временском периоду. Као улазни параметар у ЕБ методу употребијен је предиктивни модел фреквенције саобраћајних незгода (Мићић, 2019):

$$\hat{y}_1 = \exp[-2.818805 + 0.101423 * x_1 + 0.000110 * x_2 + 0.021571 * x_6 + 0.117095 * x_{10} + 0.031953 * x_{11} + 0.150191 * x_{16}] \quad (4)$$

гдје је  $\hat{y}_1$  предвиђени број саобраћајних незгода годишње;  $x_1$  – дужина сегмента;  $x_2$  – ПГДС;  $x_6$  – постављено ограничење брзине;  $x_{11}$  – број хоризонталних кривина у сегменту;  $x_{12}$  – густина приступних путева;  $x_{16}$  – индекс равности пута. Очекивана фреквенција саобраћајних незгода се рачуна као пондерисани просјек предвиђене и посматране фреквенције саобраћајних незгода, према формули (Montella, 2010):

$$N_{očekivano} = w * N_{predviđeno} + (1 - w) * N_{posmatrano} \quad (5)$$

гдје је:  $N_{očekivano}$  – очекиван број саобраћајних незгода на путном сегменту,  $N_{posmatrano}$  – посматран број саобраћајних незгода на путном сегменту, w – тежински фактор, који се процјењује на основу формуле (Montella, 2010):

$$w = \frac{1}{1 + (\alpha * N_{predviđeno})} \quad (6)$$

гдје је  $\alpha$  – дисперзион параметар.

Примјена ЕБ методе је извршена кроз потенцијал за унапређење безбједности локације – PSI (Gan et al. 2012), који представља разлику између очекиване и предвиђене фреквенције саобраћајних незгода на посматраној локацији. Када PSI има вриједност већу од 0, посматрана локација се сматра небезбједном и потребно је даље истраживати. Предности у примјени ЕБ методе огледају се у рјешавању проблема регресије ка средњој вриједности, претпоставка нелинеарне везе између фреквенције саобраћајних незгода и изложености и могућности идентификације и приоритизације локација према њиховом потенцијалу за унапређење безбједности. Недостатке представљају неопходна статистичка експертиза, потреба за функцијом перформанси безбједности или предиктивним моделом фреквенције саобраћајних незгода и потреба за подацима.

**Табела 1.** Рурални хомогени сегменти државног пута ИБ-12

ИД сегмента	Назив саобраћајне деонице	Дужина сегмента (km)	ИД сегмента	Назив саобраћајне деонице	Дужина сегмента (km)
1	Суботица (Сомбор) - Бајмок	4,771	66	Бачка Паланка (обил.) - Бачка Паланка	0,379
3	Суботица (Сомбор) - Бајмок	6,299	67	Бачка Паланка - Челарево	3,681
5	Суботица (Сомбор) - Бајмок	3,480	68	Бачка Паланка - Челарево	1,419
8	Бајмок - Светозар Милетић	6,640	69	Челарево - Нови Сад (Руменка)	1,646
10	Бајмок - Светозар Милетић	11,775	70	Бачка Паланка - Челарево	1,004
15	С. Милетић - Сомбор (Бездан)	3,006	72	Челарево - Нови Сад (Руменка)	8,661
16	С. Милетић - Сомбор (Бездан)	1,384	76	Челарево - Нови Сад (Руменка)	3,015
17	С. Милетић - Сомбор (Бездан)	7,275	90	петља Нови Сад исток - Каћ	0,424
18	Сомбор (Без.) - Сомбор (Ап.)	0,654	91	Каћ - Жабал (Шајкаш)	13,314
22	Сомбор (Ап.) - Сомбор (инд.)	2,520	93	Жабал (Шајкаш) - Зрењанин (Кикинда)	12,870
25	Сомбор (инд.) - С. Милетић	0,627	94	Жабал (Шајкаш) - Зрењанин (Кикинда)	1,097
26	Сомбор (инд.) - С. Милетић	1,953	95	Жабал (Шајкаш) - Зрењанин (Кикинда)	6,050
27	Сомбор (инд.) - С. Милетић	0,632	96	Жабал (Шајкаш) - Зрењанин (Кикинда)	0,386
28	Сомбор (инд.) - С. Милетић	3,833	97	Жабал (Шајкаш) - Зрењанин (Кикинда)	4,072
29	Сомбор (инд.) - С. Милетић	4,002	98	Жабал (Шајкаш) - Зрењанин (Кикинда)	0,294
33	Сомбор (инд.) - С. Милетић	4,665	105	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	1,446
37	Сомбор (инд.) - С. Милетић	1,315	106	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	0,728
38	Сомбор (инд.) - С. Милетић	0,296	110	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	6,886
39	Сомбор (инд.) - С. Милетић	1,496	111	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	0,278
43	С. Милетић - Оџаци (Кула)	3,035	112	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	0,530
44	С. Милетић - Оџаци (Кула)	0,629	118	Житиште - Банатско Карађорђево	4,299
45	С. Милетић - Оџаци (Кула)	1,631	120	Житиште - Банатско Карађорђево	4,501
49	Оџаци (Кула) - Бач	5,083	122	Житиште - Банатско Карађорђево	1,867
50	С. Милетић - Оџаци (Кула)	0,424	124	Банатско Карађорђево - Нова Црња	0,609
54	Оџаци (Кула) - Бач	5,810	125	Банатско Карађорђево - Нова Црња	4,151
55	Оџаци (Кула) - Бач	0,228	127	Банатско Карађорђево - Нова Црња	1,726
56	Бач - Мајур	6,816	131	Војвода Степа - гр. СРБ/РУМ (Ср. Црња)	5,165
60	Бач - Мајур	3,049	132	Нова Црња - Војвода Степа	1,486
64	Б. Паланка (об.) - Б. Паланка	4,439	136	Војвода Степа - гр. СРБ/РУМ (Ср. Црња)	2,146
65	Мајур - Бачка Паланка (обил.)	7,737			

### 3. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Методе, описане у потпоглављу 2.2, примењене су у идентификацији опасних деоница на државном путу ИБ-12, тачније руралним сегментима у оквиру дефинисаних деоница. Резултати процјене конкурентских метода приказани су у Табели 2. Такође, идентификовано је 5% (3 путна сегмента), 10% (6 путних сегмената) и 20% (12 путних сегмената) најопаснијих руралних сегмената примјеном ових метода у два трогодишња временска периода. Применом CF методе најкритичније деонице у првом периоду су деонице Челарево – Нови Сад (Руменка) (сегмент ИД 76 – 1,99 нез/км/год), Српски Милетић – Оџаци (Кула) (сегмент ИД 43 – 1,43 нез/км/год) и Бачка Паланка – Челарево (сегмент ИД 67 – 1,36 нез/км/год). У првих 10% опасних деоница, поред наведених улазе сегмент деонице Челарево – Нови Сад (Руменка) (сегмент ИД 72 – 1,35 нез/км/год) и сегменти деонице Бачка Паланка – Челарево (сегмент ИД 70 – 1,33 нез/км/год и сегмент ИД 68 – 1,17 нез/км/год). У 20% опасних деоница спадају и деонице Војвода Степа – гр. СРБ/РУМ (Ср. Црња) (сегмент ИД 136 – 1,09 нез/км/год), Мајур – Бачка Паланка (обил.) (сегмент ИД 65 – 1,08 нез/км/год), Сомбор (инд. зона) – Српски Милетић (сегмент ИД 25 – 1,06 нез/км/год и сегмент ИД 37 – 1,01 нез/км/год) и Сомбор (Апатин) – Сомбор (инд. зона) (сегмент ИД 22 – 0,93 нез/км/год). У другом периоду 5% најопаснијих деоница идентификованих овом методом представљају деонице у оквиру којих се налазе путни сегменти ИД 96, 76 и 66, у 10% опасних деоница још спадају и деонице са сегментима ИД 50, 90 и 98, док у 20% опасних деоница улазе и деонице са сегментима ИД 27, 72, 18, 70 и 69. Након CF методе примњена је CR метода, која узима у обзир утицај изложености. У периоду 1, као најопасније деонице идентификоване су деонице Војвода Степа – гр. СРБ/РУМ (Ср. Црња) (сегмент ИД 136 – 0,62 нез/милион воз/км/год), Мајур – Бачка Паланка (обил.) (сегмент ИД 65 – 0,48 нез/милион воз/км/год) и Српски Милетић – Оџаци (Кула) (сегмент ИД 43 – 0,43 нез/милион воз/км/год). Поред њих у 10% деоница спадају и деонице Сомбор (инд. зона) – Српски Милетић (сегмент ИД 25 – 0,41 нез/милион воз/км/год и сегмент ИД 37 – 0,39 нез/милион воз/км/год) и Сомбор (Апатин) – Сомбор (инд. зона) (сегмент ИД 22 – 0,36 нез/милион воз/км/год).

**Табела 2.** Резултати процјене четири методе за идентификацију првих 5%, 10% и 20% деоница

ID segmenta	Period 1 (2011-2013)					Period 2 (2015-2017)			
	CF metoda	CR metoda	CCR metoda	EB metoda (PSI)		CF metoda	CR metoda	CCR metoda	EB metoda (PSI)
1	0,35	0,09	0,17	-0,10		0,35	0,08	0,34	-0,41
3	0,48	0,13	0,16	3,60		0,48	0,11	0,33	3,28
5	0,29	0,08	0,19	-1,37		0,19	0,04	0,36	-2,61
8	0,30	0,15	0,19	-3,33		0,40	0,17	0,36	-1,63
10	0,42	0,21	0,16	6,08		0,20	0,08	0,33	-2,06
15	0,67	0,24	0,21	2,18		0,55	0,17	0,40	1,07
16	0,00	0,00	0,29	-6,90		0,48	0,15	0,49	-5,21
17	0,32	0,11	0,17	-5,46		0,55	0,17	0,33	-1,01
18	0,00	0,00	0,43	-5,59		1,53	0,31	0,54	-4,32
22	0,93	0,36	0,23	4,63		0,40	0,15	0,43	0,83
25	1,06	0,41	0,42	-0,05		0,53	0,19	0,67	-1,04
26	0,34	0,13	0,26	-1,41		0,68	0,24	0,46	0,45
27	0,00	0,00	0,42	-1,13		2,11	0,75	0,67	2,49
28	0,61	0,23	0,20	-1,31		1,13	0,40	0,39	4,42
29	0,67	0,26	0,20	4,18		0,92	0,33	0,38	7,01
33	0,36	0,14	0,19	0,46		0,21	0,08	0,37	-1,59
37	1,01	0,39	0,30	0,25		0,51	0,18	0,51	-1,77
38	0,00	0,00	0,64	-1,21		1,13	0,40	0,93	-0,32
39	0,00	0,00	0,28	-2,53		0,22	0,08	0,49	-1,63
43	1,43	0,43	0,20	8,31		0,66	0,18	0,38	1,38
44	0,00	0,00	0,37	-1,61		0,00	0,00	0,61	-1,66
45	0,00	0,00	0,25	-3,24		0,82	0,22	0,45	0,53
49	0,33	0,25	0,23	-0,66		0,33	0,23	0,43	-0,71
50	0,00	0,00	0,46	-3,51		2,36	0,65	0,71	-0,70
54	0,46	0,35	0,22	1,64		0,29	0,21	0,41	-1,36
55	0,00	0,00	1,18	-0,92		0,00	0,00	1,57	-0,93
56	0,29	0,13	0,18	-0,28		0,44	0,18	0,35	2,55
60	0,22	0,10	0,23	-1,90		1,09	0,45	0,42	5,79
64	0,00	0,00	0,21	-3,38		0,15	0,15	0,49	-1,12
65	1,08	0,48	0,17	14,16		0,39	0,39	0,42	-0,41
66	0,00	0,00	0,65	-2,44		6,16	6,34	1,44	4,45
67	1,36	0,23	0,16	8,47		1,00	0,15	0,33	4,10
68	1,17	0,20	0,22	2,86		0,23	0,04	0,40	-1,04
69	1,01	0,17	0,20	1,10		1,22	0,18	0,39	1,82
70	1,33	0,23	0,24	0,25		1,33	0,20	0,44	-0,01
72	1,35	0,23	0,14	13,32		1,58	0,24	0,30	17,83
76	1,99	0,34	0,17	7,52		2,54	0,39	0,34	11,78
90	0,00	0,00	0,25	-3,60		2,36	0,15	0,44	-1,43
91	0,05	0,01	0,12	-32,12		1,05	0,12	0,28	3,50
93	0,00	0,00	0,13	-31,86		0,67	0,09	0,28	-6,25
94	0,00	0,00	0,22	-2,42		0,61	0,08	0,41	-0,53
95	0,06	0,01	0,14	-7,09		0,22	0,03	0,30	-4,21
96	0,00	0,00	0,32	-3,11		8,63	1,12	0,55	6,50
97	0,00	0,00	0,15	-6,83		0,82	0,11	0,32	2,94
98	0,00	0,00	0,36	-2,23		2,27	0,30	0,61	-0,35
105	0,00	0,00	0,22	-4,85		1,15	0,20	0,41	-0,14
106	0,00	0,00	0,28	-2,12		0,46	0,08	0,49	-1,25
110	0,05	0,01	0,15	-4,75		0,24	0,04	0,31	-1,04
111	0,00	0,00	0,44	-2,16		1,20	0,20	0,69	-1,29
112	0,00	0,00	0,32	-3,14		0,63	0,11	0,55	-2,30
118	0,00	0,00	0,21	-3,73		0,31	0,14	0,40	0,11
120	0,00	0,00	0,21	-3,32		0,81	0,37	0,40	7,28
122	0,00	0,00	0,28	-3,64		0,00	0,00	0,50	-3,67
124	0,00	0,00	0,48	-0,86		0,00	0,00	0,76	-0,86
125	0,00	0,00	0,21	-3,44		0,40	0,19	0,40	1,39
127	0,00	0,00	0,29	-2,14		0,00	0,00	0,51	-2,14
131	0,39	0,22	0,21	1,91		0,26	0,14	0,40	-0,04
132	0,00	0,00	0,33	-2,11		0,90	0,42	0,54	1,64
136	1,09	0,62	0,29	5,37		0,62	0,35	0,51	2,72
Napomena:		predstavlja 5%,			predstavlja 10%,				predstavlja 20% opasnih deonica

Додатно 20% опасних деоница чине и деонице Оџаци (Кула) – Бач (сегмент ИД 54 – 0,35 нез/милион воз/км/год и сегмент ИД 49 – 0,25 нез/милион воз/км/год), Челарево – Нови Сад (Руменка) (сегмент ИД 76 – 0,34 нез/милион воз/км/год) и Светозар Милетић – Сомбор (Бездан) (сегмент ИД 15 – 0,24 нез/милион воз/км/год). За период 2 идентификоване су деонице са путним сегментима ИД 66, 96 и 27 (5% најопаснијих деоница). Поред њих, деонице са путним сегментима ИД 50, 60 и 132 спадају у 10% најопаснијих деоница, а деонице са путним сегментима ИД 28, 38, 65, 76, 120 и 136 спадају у 20% најопаснијих деоница. CCR метода је у првих 5% опасних деоница идентификовала деонице са путним сегментима ИД 136 (0,29 нез/милион воз/км/год), 65 (0,17 нез/милион воз/км/год) и 43 (0,20 нез/милион воз/км/год) у првом периоду. Поред наведених, 10% опасних деоница чине и деонице са путним сегментима ИД 76 (0,17 нез/милион воз/км/год), 54 (0,22 нез/милион воз/км/год) и 22 (0,23 нез/милион воз/км/год). Деонице са путним сегментима ИД 37 (0,30 нез/милион воз/км/год), 72 (0,14 нез/милион воз/км/год), 67 (0,16 нез/милион воз/км/год), 29 (0,20 нез/милион воз/км/год), 10 (0,16 нез/милион воз/км/год) и 28 (0,20 нез/милион воз/км/год) спадају, поред раније наведених деоница, у 20% најопаснијих деоница. Према CCR методи, деоница је идентификована као опасна, ако је стварна стопа саобраћајних незгода на посматраној деоници већа или једнака критичној стопи саобраћајних незгода на тој деоници. У другом периоду деонице са путним сегментима ИД 66, 69 и 27 спадају у 5% најопаснији деоница, док поред њих у 10% најопаснији деоница спадају и деонице са путним сегментима ИД 76, 60 и 28. С обзиром да према овој методи, на преосталим путним сегментима, није испуњен услов да је стварна стопа саобраћајних незгода на посматраним сегментима већа или једнака критичној стопи саобраћајних незгода на тим сегментима, нису идентификоване додатне опасне деонице у другом периоду. На крају примењена је ЕБ метода кроз потенцијал за унапређење безбједности деонице. Применом ЕБ методе, 5% најопаснијих деоница идентификованих у првом периоду представљају деонице са путним сегментима ИД 65 (PSI=14,16 незгода), 72 (PSI=13,32 незгода) и 67 (PSI=8,47 незгода). Поред њих, у првом периоду, у 10% најопаснијих деоница спадају и деонице са путним сегментима ИД 43 (PSI=8,31 незгода), 76 (PSI=7,52 незгода) и 10 (PSI=6,08 незгода). У 20% најопаснијих деоница спадају још и деонице са путним сегментима ИД 136 (PSI=5,37 незгода), 22 (PSI=4,63 незгода), 29 (PSI=4,18 незгода), 3 (PSI=3,60 незгода), 68 (PSI=2,86 незгода) и 15 (PSI=2,18 незгода). У другом периоду, у 5% најопаснијих деоница спадају деонице са путним сегментима ИД 72 (PSI=17,83 незгода), 76 (PSI=11,78 незгода) и 120 (PSI=7,28 незгода). Додатно, у 10% најопаснијих деоница спадају и деонице са путним сегментима ИД 29 (PSI=7,01 незгода), 96 (PSI=6,50 незгода) и 60 (PSI=5,79 незгода). У 20% најопаснијих деоница спадају и деонице са путним сегментима ИД 66, 28, 67, 91, 3 и 97.

Како би се упоредили конкурентске методе идентификације опасних деоница примењена су три теста тј. тест конзистентности локације (Т1), тест конзистентности методе (Т2) и тест укупне разлике ранга (Т3). Из теста Т1 утврђено је да ЕБ метода има најбоље перформансе у погледу конзистентности локације у односу на друге методе идентификације опасних деоница (Табела 3). ЕБ методом је утврђена највећа фреквенција саобраћајних незгода у периоду 2 за идентификацију 5%, 10% и 20% опасних деоница тачније 61 незгода, 97 незгода и 130 незгода. На другом месту налази се CF метода са фреквенцијом саобраћајних незгода у периоду 2 од 40 незгода (5% опасних деоница), 86 незгода (10% опасних деоница) и 111 незгода (20% опасних деоница). Код идентификације 5% опасних деоница затим слиједе CR и CCR методе са по 19 незгода, док је код идентификације 10% опасних деоница CCR метода показала боље перформансе (50 незгода). Ипак, за идентификацију 20% опасних деоница CCR метода није могла бити примјењена због неиспуњавања елементарних услова за примјену ове методе.

**Табела 3.** Тест конзистентности локације

Metoda	$\alpha=0,95$	$\alpha=0,90$	$\alpha=0,80$
CF	40 (2)	86 (2)	111 (2)
CR	19 (3)	25 (4)	87 (3)
CCR	19 (3)	50 (3)	-
EB (PSI)	61 (1)	97 (1)	130 (1)
Napomena: $\alpha=0.95$ , $\alpha=0.90$ i $\alpha=0.80$ predstavljaju 5%, 10% i 20% identifikovanih opasnih deonica respektivno			

У табели 4. представљени су резултати Т2 теста. Најбоље перформансе на овом тесту приликом идентификације 5% опасних деоница показале су ЕБ и CF методе. Наиме, током два временска периода овим методама је идентификован 1 путни сегмент као опасан. Остале двије методе нису идентификовале ни један идентичан путни сегмент као опасан током два временска периода. Код

идентификације 10% опасних деоница ЕБ метода је идентификовала 2 иста путна сегмента у два временска периода. Преостале методе тј. CF, CR и CCR су идентификовале по 1 исти путни сегмент у два временска периода. За идентификацију 20% опасних деоница ЕБ методом је идентификовано 5 истих путних сегмената у два временска периода. Затим слиједи CF метода са 4 иста путна сегмента у два временска периода. Најлошије перформансе на овом тесту показала је CR метода, док CCR методу није било могуће примјенити због неиспуњавања елементарних услова за примјену ове методе.

**Табела 4.** Тест конзистентности методе

Metoda	$\alpha=0,95$	$\alpha=0,90$	$\alpha=0,80$
CF	1 (33,33%)	1 (16,67%)	4 (33,33%)
CR	1 (00,00%)	1 (00,00%)	3 (25,00%)
CCR	1 (00,00%)	1 (16,67%)	-
EB (PSI)	1 (33,33%)	2 (33,33%)	5 (41,67%)
Napomena: $\alpha=0.95$ , $\alpha=0.90$ i $\alpha=0.80$ predstavljaju 5%, 10% i 20% identifikovanih opasnih deonica respektivno			

Последњи тест коришћен за поређење конкурентских метода је Т3 тест (Табела 5). Поново је ЕБ метода показала најбоље перформансе у односу на друге методе. Ова метода има најмању сумирану разлику ранга деоница како код идентификације 5% и 10% опасних деоница, тако и код идентификације 20% опасних деоница. Затим следе CCR метода, па CF метода. CR метода има најгоре преформансе у погледу овог теста.

**Табела 5.** Тест укупне разлике ранга

Metoda	$\alpha=0,95$	$\alpha=0,90$	$\alpha=0,80$
CF	41 (3)	92 (3)	220 (4)
CR	42 (4)	118 (4)	169 (3)
CCR	38 (2)	90 (2)	165 (2)
EB (PSI)	37 (1)	89 (1)	162 (1)
Napomena: $\alpha=0.95$ , $\alpha=0.90$ i $\alpha=0.80$ predstavljaju 5%, 10% i 20% identifikovanih opasnih deonica respektivno			

Узимајући у обзир резултате спроведених тестова закључено је да ЕБ метода има најбоље перформансе приликом идентификације опасних деоница у односу на друге посматране методе.

#### 4. ДИСКУСИЈА И ЗАКЉУЧАК

Идентификација опасних деоница је један од кључних корака код планирања и алокације људских и материјалних ресурса. У овом раду извршена је идентификација опасних деоница на руралним путевима примјеном четири методе идентификације опасних деоница. Компаративна анализа конкурентских метода извршена је примјеном теста конзистентности локације, теста конзистентности методе и теста укупне разлике ранга. Развијени предиктивни модел за укупан број саобраћајних незгода (Mičić, 2019) је коришћен као улазни параметар у ЕБ методу.

Тестови су показали да ЕБ метода има боље перформансе него друге методе идентификације опасних деоница. Резултати тестова су показали да је ЕБ метода најконзистентнија и најпоузданија метода, што је у складу са претходним истраживањима (Elvik, 2007; Cheng & Washington, 2008; Montella, 2010). У овом истраживању CF метода је имала боље резултате на Т1 и Т2 тестовима него CCR и CR методе, што је у складу са претходним истраживањима (Persaud et al., 1999; Elvik, 2007; Cheng & Washington, 2008; Elvik, 2008). CR метода се генерално показала као најнепоузданија и најнеконзистентнија метода у идентификацији опасних деоница током времена. Овај податак је забрињавајући, обзиром да већина субјеката користи овај метод (Montella, 2010).

Примјењене су четири методе идентификације опасних деоница тј. три традиционале методе (CF, CR и CCR методе) и савремена ЕБ метода. Идентификоване су деонице руралног пута са највећим бројем предвиђених и очекиваних саобраћајних незгода. Затим је извршено поређење конкурентских метода идентификације опасних деоница и показано да се деонице могу рангирати према потенцијалу за побољшања безбједности пута кроз ЕБ методу. Показано је да ЕБ метода има боље перформансе од



традиционалних метода и представља поуздан алат у идентификацији и рангирању опасних деоница руралног пута. Резултати истраживања су показали да је CF метода веома једноставна за примјену и не захтјева податке за анализу. Са друге стране, ова метода не може да се носи са регресијом ка средњој вриједности, не узима у обзир утицај обима саобраћаја и не може да процијени границу за потенцијално опасно мјесто са сличним карактеристикама. CR метода је такође једноставна за употребу, те узима у обзир утицај ПГДС-а односно утицај изложености и не захтјева велики сет података за анализу. Слично, CF методи не може да се носи са регресијом ка средњој вриједности, не може локације односно деонице са значајном разликом у ПГДС-у. Поред тога, даје погрешне процјене за деонице са ниском вриједношћу ПГДС-а или малим бројем саобраћајних незгода. CCR метода узима у обзир варијансу у подацима о саобраћајним незгодама и успоставља праг односно границу за утврђивање опасних деоница. Такође, редукује утицај деоница са малим ПГДС-ом. Недостаци се огледају у неразматрању регресије ка средњој вриједности и комплекснијег израчунавања у односу на претходне двије методе. ЕБ метода рјешава проблем регресије ка средњој вриједности и даје прецизније процјене опасних локација односно деоница. Слично као CCR метода, успоставља праг односно границу за утврђивање опасних деоница. Узима у обзир утицај ПГДС-а и елемената пута. Недостаци ове методе се огледају у комплексности израчунавања, потребе за предиктивним моделом и подацима. Ипак, потребно је нагласити да ни један метод идентификације опасних деоница није генерално супериорнији у односу на друге. Све методе имају ограничења и недостатке у примјени, те управљач пута треба да одабере метод који му највише одговара.

Применом ЕБ методе, на основу њиховог PSI, идентификовано је 5%, 10% и 20% најопаснијих деоница на државном путу ИБ-12. Највећи ефекти од примјене потенцијалних контрамјера ће се осјетити на деоницама Челарево – Нови Сад (сегмент ИД 72 и 76), Бачка Паланка – Челарево (Руменка) (сегмент ИД 67), Житиште - Банатско Карађорђево (сегмент ИД 120), Сомбор (индустријска зона) – Српски Милетић (сегмент ИД 29) и Суботица (Сомбор) – Бајмок (сегмент ИД 3) и Мајур - Бачка Паланка (обилазница) (сегмент ИД 65). У зависности од расположивих средстава управљач пута би људске и материјалне ресурсе требао усмерити на ове деонице. Потребно је извршити истраживање локалних фактора који доприносе настанку саобраћајних незгода на овим деоницама.

Резултати истраживања могу помоћи управљачу пута да изабере најадекватнији метод за идентификацију опасних деоница, те да изврши рангирање истих, како би ресурсе за побољшање безбедности саобраћаја инвестирали што ефектније и рационалније. Поред тога, може се имати користи код израде просторно-планске и пројектне документације и код студија „пре и после“.

## 5. ЛИТЕРАТУРА

- AASHTO, 2010. Highway Safety Manual, 1st edition. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Baker, S. P., & Haddon Jr, W. (1974). Reducing injuries and their results: the scientific approach. The Milbank Memorial Fund Quarterly. Health and Society, 377-389.
- Bandyopadhyaya, R., & Mitra, S. (2011). Comparative Analysis of Hotspot Identification Methods in the Presence of Limited Information. In 3rd International Conference on Road Safety and Simulation Transportation Research Board, Indianapolis, USA.
- Cheng, W., & Washington, S. (2008). New criteria for evaluating methods of identifying hot spots. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (2083), 76-85.
- Donnell, E., & Mason Jr, J. (2004). Predicting the severity of median-related crashes in Pennsylvania by using logistic regression. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (1897), 55-63.
- Elvik, R. (2007). State-of-the-art approaches to road accident black spot management and safety analysis of road networks. Transportøkonomisk institutt.
- Elvik, R. (2008). Comparative analysis of techniques for identifying locations of hazardous roads. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (2083), 72-75.
- Gan, A., K. Haleem, P. Alluri, J. Lu, T. Wang, M. Ma, and C. Diaz, "Preparing Florida for Deployment of SafetyAnalyst for All Road," Final Report Submitted to FDOT Research Center, Lehman Center for Transportation Research, Florida International University, 2012.
- Hauer, E. (1995). On exposure and accident rate. Traffic engineering & control, 36(3).
- Hauer, E., Allery, B.K., Kononov, J., Griffith, M.S. (2004). How Best to Rank Sites with Promise. Transportation Research Record, 1897. TRB, National Research Council, Washington, DC, pp. 48-54.
- Hauer, E., Kononov, J., Allery, B., & Griffith, M. (2002). Screening the road network for sites with promise. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (1784), 27-32.
- Lim, I. K., & Kweon, Y. J. (2013). Identifying High-Crash-Risk Intersections: Comparison of Traditional Methods with the Empirical Bayes-Safety Performance Function Method. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (2364), 44-50.

- Lu, J., & Weng, J. (2010). Improvement of Rate Quality Control Method in Identifying Hazardous Locations. In ICCTP 2010: Integrated Transportation Systems: Green, Intelligent, Reliable (pp. 591-602).
- Mičić, S. (2019). Prediktivni model frekvencije saobraćajnih nezgoda na ruralnim putevima. Doktorska disertacija. Univerzitet u Novom Sadu. Fakultet tehničkih nauka. In press.
- Montella, A., & Imbriani, L. L. (2015). Safety performance functions incorporating design consistency variables. *Accident Analysis & Prevention*, 74, 133-144.
- Persaud, B., Lyon, C., & Nguyen, T. (1999). Empirical Bayes procedure for ranking sites for safety investigation by potential for safety improvement. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1665), 7-12.
- Treat, J. R., Tumbas, N. S., McDonald, S. T., Shinar, D., Hume, R. D., Mayer, R. E., Stansifer, R. L., & Castellan, N. J. (1979). Tri-level study of the causes of traffic accidents: final report. Executive summary.
- Zegeer, C. V. (1986). Methods for identifying hazardous highway elements (No. 128).
- Zegeer, C. V., "Highway Safety Improvement Program – User's Guide," FHWA-TS-81-218, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C. (1981).