

## **ИНТЕЛИГЕНТНИ ТРАНСПОРТНИ СИСТЕМИ У ФУНКЦИЈИ БЕЗБЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА НА АУТОПУТЕВИМА У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ**

Емир Смаиловић, Далибор Пешић, Борис Антић, Крсто Липовац

Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет,  
e.smailovic@sf.bg.ac.rs, d.pesic@sf.bg.ac.rs, b.antic@sf.bg.ac.rs, k.lipovac@sf.bg.ac.rs

**Резиме:** *Управљање безбедношћу саобраћаја на аутопутевима намеће потребу коришћења нових, ефикасних и одрживих начина управљања саобраћајем. Интелигентни транспортни системи (ИТС) у безбедности саобраћаја представљају систем мера и технологија који обједињује информатичку и телекомуникациону технологију са циљем правовременог препознавања опасности и предузимања одговарајућих мера како би се смањиле последице могућих инцидента. ИТС системи у безбедности саобраћаја, поред спречавања настанка саобраћајних незгода и мера за смањење њихових последица, користе се и за препознавање потенцијалних опасности, што представља значајан искорак у управљању безбедношћу саобраћаја. Правовремене и квалитетне информације прослеђене учесницима саобраћаја, управљачу пута и осталим институцијама значајно утичу на превентивно деловање, у циљу смањења ризика настанка саобраћајних незгода, краћег времена путовања, већег нивоа услуге на путевима и др. У складу са савременим захтевима безбедности саобраћаја у тунелима на аутопутевима у Републици Србији примењени су бројни системи ИТС-а, као што су: контролни центри за праћење саобраћаја, системи за аутоматску детекцију инцидента, адаптивно осветљење, системи за хитно реаговање, аутоматизоване станице за случај опасности, различити телекомуникациони системи и др. У овом раду извршен је преглед система ИТС-а који се користе на аутопутевима у Републици Србији, са посебним освртом на значај тих система за безбедно одвијање саобраћаја на аутопутевима.*

**Кључне речи:** *безбедност саобраћаја, ИТС, аутопутеви, тунели, управљање саобраћајем, Република Србија*

### **1. Увод**

Путеви се најчешће класификују према функцији, од локалних саобраћајница, до кључних државних путева – аутопутева. Када се посматрају сви путеви заједно, на путевима нижег реда догађа се мањи број незгода, што

представља тзв. мањи колективни ризик. Ако се посматра релативни ризик према броју возила, на путевима нижег реда већи је тзв. индивидуални ризик. Међутим, без обзира на ризик настанка незгоде, путеви највишег реда представљају кључни део мреже путева на којима се реализује највећи транспортни рад, због чега ова категорија путева има највећи економски значај.

Друштвени и економски развој доводе до континуираног повећања обима саобраћаја, што условљава потребу константног развоја ефективнијих модела управљања саобраћајем. Ограничени финансијски ресурси и повећање дужине мреже аутопутева захтева од управљача унапређене системе управљања, који се спроводе на различите начине. У Републици Србији се тренутно дешава период убрзаног развоја мреже путева највишег реда, због чега се намеће потреба ефикасног и одрживог развоја модела управљања безбедношћу саобраћаја. Примена интелигентних транспортних система (ИТС) представља оптимално решење и значајан искорак у систему управљања безбедношћу саобраћаја. Интелигентни транспортни систем представља систем мера и технологија примењених у транспорту који обједињује информатичку и телекомуникациону технологију са циљем повећања нивоа безбедности саобраћаја, ефективнијег функционисања саобраћаја са мање застоја и нижим нивоом загађења животне средине.

Bunch et al. (2011) наводе да интелигентни транспортни систем обезбеђује доказан скуп стратегија за унапређење безбедности саобраћаја, побољшању мобилност и одрживу заштиту животне средине интегришући комуникацију и информације добијене из софтверских алата у систем управљања свих видова саобраћаја.

Искуства управљања саобраћајем показују да је примена интелигентних транспортних система посебно значајна на посебним деловима путне мреже, као што су тунели, посебни објекти (надвожњаци, мостови), укрштања, рампе и одморишта.

У овом раду систематизовани су интелигентни транспортни системи који се користе на државним путевима IA реда у Републици Србији у зонама тунелских објеката. Представници Саобраћајног факултета су током 2022. и 2023. године спровели провере безбедности саобраћаја у тунелским објектима на аутопутевима у Републици Србији, током чега су прикупљени подаци о уређајима и опреми инсталираним у зонама тунелских објеката на путевима: А1, А2 и А3.

Тунели спадају у једне од најкомплекснијих делова путне мреже, због своје специфичне конструкције и сложености одвијања саобраћаја у таквим објектима. Из тих разлога, за тунеле као специфичне путне објекте, постављају се знатно већи захтеви по питању безбедности саобраћаја које је потребно испунити. Управљачи безбедношћу саобраћаја теже да тунел омогући непромењено, безбедно кретање возила од улаза до излаза, али уз појачано ограничење слободе бочног померања. Провера безбедности саобраћаја представља доказан алат којим се могу сагледати недостаци, односно уочити потенцијални утицајни фактори на безбедност саобраћаја. Овај алат се најчешће користи за унапређење безбедности пута, са циљем идентификације евентуалних недостатака и оних елемената пута који би могли повећати ризик настанка или ризик увећавања последица саобраћајне незгоде. Досадашња искуства у проверама безбедности саобраћаја указују да је однос користи и трошкова за постојеће путеве 2:1 до 84:1 (Elazar et al, 2018), а само

један „сачувани“ живот остварује корист која премашује укупне трошкове провера безбедности саобраћаја.

Тунели, као подземни објекти, захтевају посебну опрему за безбедно вођење саобраћаја, па провере безбедности саобраћаја, поред уобичајених фаза и корака, морају додатно узети у обзир и ове специфичне елементе. Из тих разлога, и методологија израде провере безбедности саобраћаја је различита у односу на отворене деонице. Наиме, услед просторних ограничења, опасност и теже последице у тунелима не настају само због настанка саобраћајних незгода, већ и због бројних других ванредних догађаја. На пример, заустављено возило у тунелу, без промене режима одвијања саобраћаја у тунелу, може узроковати теже последице, док на путевима ван насеља, заустављено возило не представља посебан проблем безбедности саобраћаја. Настанак пожара на путу ван насеља неће изазвати озбиљније последице на безбедност саобраћаја, али у тунелу може довести до изузетно озбиљних последица услед развијања високих температура и појаве отровних гасова.

Постизање високог нивоа безбедности саобраћаја у тунелу није једноставно, а велики број фактора доприноси да сваки тунел има своје специфичности (Смаиловић и др., 2021). Позиција, дужина, оријентација, профил и сл. су неки од елемената који битно утичу на безбедно одвијање саобраћаја. Пројектни елементи тунела, као што су дужина прегледности и попречни профил, не могу се битно мењати, и због тога је потребно да се интелигентним системима обезбеди посебан ниво управљања саобраћајем, који се заснива на континуираном надзору одвијања саобраћаја.

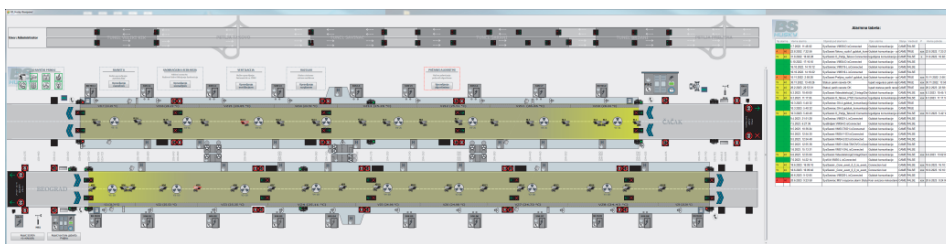
Примена додатних процедура и активности, у односу на остале делове ванградске путне мреже представља почетну идеју обезбеђивања услова за безбедно одвијање саобраћаја. Последњих година у Републици Србији постоји тренд изградње нових тунелских објеката, већих дужина, комплексних садржаја и сл., због чега управљање безбедношћу саобраћаја постаје све већи изазов.

## **2. Саобраћајна сигнализација и ИТС у тунелима на аутопутевима**

Задатак саобраћајне сигнализације је да води учеснике у саобраћају, да их упозорава на сталну или привремену опасност, да најављује ограничења, забране и обавезе у саобраћају, да даје потребна и корисна обавештења, да обезбеђује друге услове за безбедан, удобан и неометан саобраћај. У те сврхе користе се различити ИТС системи. У зонама тунелских објеката на аутопутевима у Републици Србији користе се следећа саобраћајна сигнализација са елементима интелигентних транспортних система:

- портални саобраћајни знакови,
- прилазни знакови са изменљивим садржајем (ЛЕД знакови),
- маркери ЛЕД технологије за обележавање саобраћајних трака/ивица коловоза,
- знакови за контролу саобраћајне траке,
- тунелски саобраћајни знакови са изменљивим садржајем,
- троделне лантерне (семафори),
- аутоматске рампе,
- сигнализациони елементи за ванредне случајеве.

Посебан део ИТС којима се управља у зонама тунелских објеката на аутопуту јесу тунелски оперативни центри, односно централни систем за надзор и управљање. Тунелски оперативни центри (ТОЦ-еви) служе за надзор и управљање тунелима, и омогућавају надзор и управљање са хијерархијски вишег нивоа. ТОЦ-еви су опремљени свим потребним телекомуникационим и логичко управљачким уређајима за локално управљање припадајућим тунелима и са могућношћу прослеђивања сигнала на виши хијерархијски ниво – Централни Систем за Надзор и Управљање (ЦСНУ). У смислу аутономије рада и предвиђања сценарија ситуација, вид функционисања у сигурном режиму, преко управљачких јединица врши управљање системима и инсталацијама тунела уколико се за то укаже потреба односно ако се неки од предефинисаних сценарија рада тунела не реализује како је предвиђено или ако оператер процени да је актуелни предефинисани сценарио неодговарајући за конкретну ситуацију.



Слика 1. Графички интерфејс централног система за надзор и управљање тунела

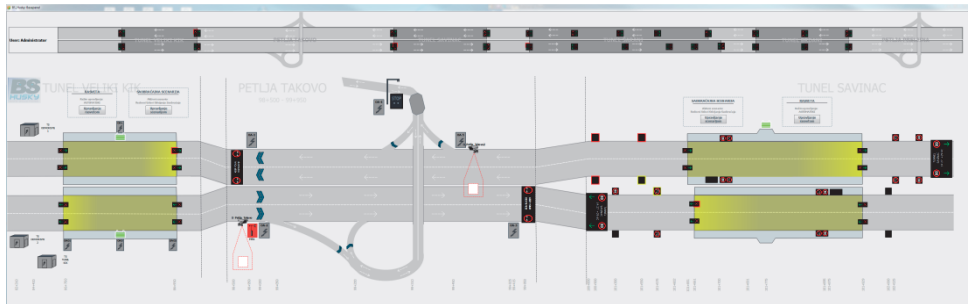
У циљу интеграције свих тунелских система обједињеног функционисања, врши се повезивање на Тунелски оперативни центар сваког од тунела, инсталирају се централни контролери који интегришу сигнале свих тунелских система на једном месту те омогућавају њихову међусобну интеракцију (ЦСНУ). Инсталирани контролери морају имати исправе о усаглашености у односу на респектабилне стандарде, и морају имати захтеване сертификате по питању функционалне сигурности и поузданости у раду.

Управљање тунелима путем ЦСНУ представља избор оптималног плана реаговања на основу прикупљених параметара од интереса. У циљу брже обраде података и доношења одлуке управљачки систем треба да буде аутоматизован. На овај начин, сви системи инсталирани на тунелима су повезани преко ЦСНУ и чине интегрисане системе у оквиру ТОЦ-ева, и то:

- систем дојаве провале и контроле приступа;
- систем СОС телефона и интерфона;
- систем дојаве пожара;
- систем контроле квалитета ваздуха и вентилације;
- систем вентилације (одимљавање) тунела;
- систем детекције саобраћаја;
- систем видео надзора са интелигентном видео анализом;
- систем за прикупљање метеоролошких података;
- систем саобраћајне сигнализације;
- систем озвучења;
- систем радио веза;

- систем осветљења;
- систем одвода запаљивих и опасних материја;
- погонске станице;
- дизел електрични агрегати;
- УПС - уређаји непрекидног напајања;
- разводни ормани електроенергетског напајања.

Сви наведени системи се интегришу у ЦСНУ и у зависности од типа инцидента укључују у план реаговања. ЦСНУ је тако осмишљен да врши стални сервисни надзор и управљање мерним, извршним и управљачким елементима свих тунелских система.



Слика 2. Графички интерфејс централног система за надзор и управљање тунела

ЦСНУ поседује графички кориснички интерфејс има за циљ обавештавање дежурног оператора, различитим приступима, и то:

- презентовање свих прикупљених података са мерних система и система за детекцију инцидентата,
- презентовање статуса имплементираних система,
- приказ аларма (инцидентата),
- покретање предефинисаних саобраћајних сценарија (планова реаговања),
- експортовање прикупљених података у стандардним форматима (.pdf, .xls) и предефинисаној форми за потребе даље обраде и анализе.

Оператер има могућност дефинисања посебног плана реаговања за део пута, користећи графички кориснички интерфејс, као и могућност да на сигуран начин преузме, промени и активира план реаговања у свакој ситуацији.

Аутоматски радни мод подразумева да систем централног управљања без давања команди од стране оператора извршава управљачке алгоритме. У том случају, контролно оперативни центар не управља тунелским системима, али оставља могућност праћења рада ЦСНУ и спровођење предефинисаних планова реаговања. Аутоматски радни мод се може извршавати и на локалном нивоу (локални контролер) само у случају када дође до прекида у комуникацији са централним контролером и ЦСНУ. Покретање аутоматског радног мода треба да буде омогућено једноставном командом на корисничком интерфејсу.

Полаутоматски радни мод подразумева да поједине одлуке у спровођењу предефинисаних планова реаговања доноси оператер. Овај радни мод се предвиђа,

пре свега да би се смањио утицај „лажних узбуна“. Врши се пројектовање система у зависном радном моду тако да ЦСНУ прикупља и обрађује податке са уграђених система на основу којих у случају достизања утврђених граничних вредности даје аларм кориснику у контролно оперативном центру са предлогом плана реаговања.

Сваки од тунелских система треба да има могућност аутономног радног мода. У аутономном радном моду тунелски систем, било ког тунела, ради без комуникације са Тунелским оперативним центром. Аутономни радни мод подразумева рад у случају нормалног одвијања саобраћаја, у случају инцидента, као и у случају одржавања.

Сваки од подсистема ИТС-а мора одговорити на захтев управљања са више различитих нивоа. У складу са тим, постоји више нивоа управљања:

- Ниво 1 подразумева имплементацију контролера на објекту (тунелу, мосту) или саобраћајној петљи, преко кога би се повезали уређаји за прикупљање података или извршни елементи. Контролер на овом нивоу би у нормалним условима размењивао податке са контролером из вишег нивоа, пратио и извршавао команде са вишег нивоа. У случају прекида комуникације са контролером из вишег нивоа, радио би у аутономном моду, односно пратио би параметре уређаја који врше мерења и покретао би предефинисане режиме који би били одобрени на овом нивоу.

- Ниво 2 подразумева централни надзор и управљање интегрисаним системима из локалних управљачких станица или регионалног центра преко централног контролера и графичког корисничког интерфејса (SCADA, *Supervisory Control And Data Acquisition*). Други управљачки ниво треба да омогући полуаутоматски и ручни радни мод у случају када је посада присутна на објекту.

- Ниво 3 подразумева највиши ниво управљања на нивоу републичког центра на коме би се интегрисали сви модули за управљање и преко којих би се вршио централни надзор саобраћајем на државним путевима IA реда.

### **3. Додатни ИТС уређаји и опрема у тунелима на аутопутевима**

#### **3.1. Кабловска инсталација и оптика**

За потребе полагања кабловских веза у тунелима изводи се кабловска канализација, унутар које су смештене електроенергетске и телекомуникационе инсталације. У тунелским цевима са обе стране испод пешачких стаза изводе се кабловски канали. Комуникациона мрежа се састоји од две паралелне мрежне инфраструктуре, које формирају мрежни елементи (Ethernet switch-еви), распоређени у топологију прстена, а сама комуникација између свих елемената је базирана на TCP/IP преносу.

Прва мрежа интегрише све системе који омогућавају аутономни радни мод тунела („Управљање“). Друга мрежа интегрише само систем видео надзора („Видео надзор“). Видео саобраћај заузима знатно више ресурса (пропусног опсега) у поређењу са другим телекомуникационим сервисима те се због тога одваја у посебну мрежу, како видео сервис не би загушили остале, виталније системе битне за аутономни радни мод тунела.

### 3.6. Систем видео надзора

Дигитални систем видео надзора служи за аквизицију, пренос, обраду, архивирање и приказ слике са локација које су визуелно недоступне. Улога овог система је праћење редовне саобраћајне ситуације у тунелу и непосредно испред тунела, приступ СОС нишама, ситуације испред тунела у широј зони, визуализација локације под алармом, рано откривање пожара или ситуације која може изазвати пожар, надгледање врата евакуационих пролаза, надгледање самих евакуационих пролаза, праћење евакуације у мери колико је то могуће, коришћење снимљеног видео-материјала за реконструкцију догађаја.



Слика 3. Систем видео надзора тунелских објеката

Систем за аутоматску детекцију инцидената представља аутоматско откривање инцидентних ситуација и брзу дојаву информације о насталим инцидентним ситуацијама оператеру с циљем да се омогући брзо и адекватно реаговање. Видео надзор у објекту погонске станице, такође је повезан на мрежу видео надзора, чиме је омогућено управљање из тунелског оперативног центра. Ethernet switch-еви видео мреже у тунелу су смештени у орманима аутоматике у СОС нишама.

Висок ниво ефикасности управљања у тунелима се обезбеђује инсталирањем три врсте IP камера у боји, и то:

- PTZ (Pan Tilt Zoom) камере за надзор улаза у тунел,
- фиксне камере за надзор објеката испред тунела,
- фиксне камере за аутоматску детекцију инцидената.

IP камере директно генеришу дигитални облик видео сигнала који се преко активне оптике и оптичке комуникационе мреже (TCP/IP протоколом) прослеђују до видео-сервера који представља интегрални део ЦСНУ. На видео серверу је инсталиран софтвер за надзор и управљање камерама, заједно са апликацијом за архивирање. У складу са законским одредбама, видео материјал се архивира 30 дана. Видео систем је интегрисан у оквиру SCADA радне станице. У случају инцидента слика се шаље до апликације на SCADA радној станици, а слика инцидентног догађаја се приказује кориснику у листи аларма, заједно са предложеним алгоритмима за управљање извршним системима. Инциденти које систем може детектовати и дојавити су:

- детекција дима у тунелу (кроз анализу карактеристика промене слике и осветљаја пиксела),
- заустављено возило,
- прениске брзине кретања возила (колоне),
- детекција пешака,
- детекција испалог терета (објеката на коловозу),
- возило које се креће у супротном смеру,
- отворена врата (у тунелским нишама).



*Слика 4. Ормани аутоматике у СОС нишама*



#### 4. Закључна разматрања

У овом раду је извршен преглед и анализа функционисања елемената ИТС који се користе на државним путевима у Републици Србији, у зони тунелских објеката. Спроведена анализа је показала неопходност ефикасног умрежавања различитих система и интегрисање у централни систем за надзор и управљање тунелским објектима. Коришћење знања из различитих научних области, као и интегрисано деловање је неопходно да би се управљало комплексним системом, као што су централни системи за надзор и управљање тунелима.

Тунели представљају локације повећане опасности, због чега су потребне посебне активности, како би се безбедно управљало широм зоном око таквог објекта. С обзиром на све већи број тунела на државним путевима првог реда у Републици Србији, потреба за знањем из различитих области телекомуникација и друмског саобраћаја су све израженија. Бројни су и прописи који уређују услове за безбедно одвијање саобраћаја у зонама тунелских објеката. Из тог разлога, потребно је на стручним скуповима разменити дилеме и представити начине функционисања специфичних подсистема, као што су то тунелски објекти на аутопутевима. У овом раду су приказани основни системи ИТС-а у тунелским објектима. С обзиром да се захтеви константно увећавају, повећава се и број система уз помоћ којих се врши надзор и управљање безбедношћу саобраћаја у зонама тунелских објеката.

#### Литература

- [1] Bunch, J.; Burnier, C.; Greer, E.; Hatcher, G.; Jacobi, A.; Kabir, F.; Lowrance, C.; Mercer, M.; Wochinger, K. 2011. Intelligent Transportation Systems Benefits, Costs, Deployment, and Lessons Learned Desk Reference: 2011 Update, U.S. Department of Transportation, (on-line) available at: <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/38483> (25.09.2024.).
- [2] Смаиловић, Е., Пешић, Д., Антић, Б., Липовац, К. (2021) Провера безбедности саобраћаја на путевима са посебним освртом на тунеле. XVI Међународна конференција – Безбедност саобраћаја у локалној заједници, ISBN 978-86.
- [3] Elazar, N., Toole, T., Bogumil, K. (2018), Asset Management Strategy for Road-related Assets (Safety Infrastructure), Technical Report AP-T309-18, Austroads Ltd., Sydney NSW 2000 Australia, ISBN 978-1-925451-18-4.
- [4] Методологија за спровођење провере безбедности саобраћаја у тунелима. Јавно предузеће Путеви Србије, 2022. година.
- [5] Провера безбедности саобраћаја у утицајној зони тунела Сопот на државном путу IA реда број A4. Јавно предузеће Путеви Србије, 2023. година.
- [6] Провера безбедности саобраћаја у утицајној зони тунела Сарлах на државном путу IA реда број A4. Јавно предузеће Путеви Србије, 2023. година.
- [7] Провера безбедности саобраћаја у утицајној зони тунела Брђани на државном путу IA реда број A2. Јавно предузеће Путеви Србије, 2023. година.
- [8] Провера безбедности саобраћаја у утицајној зони тунела Манајле на државном путу IA реда број A1. Јавно предузеће Путеви Србије, 2023. година.

**Abstract:** *Traffic safety management on freeways imposes the need to use new, efficient and sustainable method of traffic management. Intelligent transport systems (ITS) in traffic safety represent a system of measures and technologies that unite information and telecommunication technology with the aim of timely recognition of dangers and taking appropriate measures to reduce the consequences of possible incidents. ITS systems in traffic safety, in addition to preventing the occurrence of traffic accidents and measures to reduce their consequences, are also used to recognize potential dangers, which represents a significant step forward in traffic safety management. Timely and quality information forwarded to road users, road managers and other institutions has a significant impact on preventive action, with the aim of reducing the risk of traffic accidents, shorter travel time, higher level of service on the roads, etc. In accordance with modern traffic safety requirements, numerous ITS systems have been implemented in tunnels on freeways in the Republic of Serbia, such as: traffic monitoring control centres, automatic system for detection incident, adaptive lighting, emergency response systems, automated emergency stations, different telecommunication systems, etc. In this paper, an overview of ITS systems used on freeways in the Republic of Serbia was performed, focusing on the importance of those systems for traffic safety on freeways.*

**Keywords:** *traffic safety, ITS, freeways, tunnel, traffic management, Republic of Serbia.*

## **INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS IN THE FUNCTION OF TRAFFIC SAFETY ON FREEWAYS IN THE REPUBLIC OF SERBIA**

Emir Smailović, Dalibor Pešić, Boris Antić, Krsto Lipovac