Интелигентни транспортни системи у путним тунелима

Лазар Зечевић^{a*} Драженко Главић^a

^a Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет

ПОДАЦИ О РАДУ

DOI: 10.31075/PIS.65.01.06
Стручни рад
Примљен: 15/01/2019
Прихваћен: 01/04/2019

Кључне речи:

Тунел
ИТС
Опрема у путним тунелима

РЕЗИМЕ

У последње две деценије приметан је тренд повећања броја тунела на глобалном нивоу, пре свега због смањења дужине и трошкова транспорта, смањења загађења и побољшања квалитета ваздуха, али и због очувања изгледа неких природних и урбаних целина који би биле нарушене надземном путном инфраструктуром. Заједно са бројем тунела расте и број инсталација надзора и управљања сложеном и разноврсном опремом у тунелима (видео надзор, вентилација, противпожарне инсталације, осветљење, сигнализација, мерачи загађености ваздуха, динамички системи евакуације, итд...). Србија поседује велики број кратких тунела, који су неопремљени и небезбедни за коришћење и без минимума захтеване опреме. С друге стране тунели на новим деоницама аутопутева као што је нпр. деоница „Љиг- Прељина“, садрже све савремене елементе, који су у складу са Европском директивом. Имплементирањем савремене опреме и система на друге тунеле у складу са њиховом категоријом, у Србији би се значајно повећала безбедност у тунелима, чиме би се смањио број саобраћајних незгода и њихових последица. Овај рад управо за циљ има идеју да стручној јавности презентује наведене ИТС технологије у тунелима као и њихову примену у Србији.

1 Увод

Поред квалитета коловоза, за велике брзине и већу пропусну моћ, савремени путеви морају имати веће радијусе кривина, мање успоне, што у тешким тренским условима ствара потребу за градњом путних објеката, пре свега тунела и вијадуката Milenković, (2017). Такође, упоредо са сталним повећањем потреба за превозом, растом темпа живота долази до изградње велике мреже аутопутева, мостова, надвожњака, подвожњака, тунела, све са циљем да се људи крећу што комфорније и са што мање задржавања. Све већа примена тунела указује на важност ових објеката. Услед све веће примена тунела, неопходно је обезбедити висок степен безбедности у тунелу. Високом нивоу безбедности у тунелу доприносе нове технологије, које се примењују у друмском саобраћају. Јединствен назив за нове технологије је Интелигентни Транспортни Систем (ITS). Кроз овај рад упознаћемо се са значајем ITS-а и друге опреме у путним тунелима, као и њиховим утицајем на безбедност и ефикасност који доприносе у тунелима.

2 Преглед литературе

Интелигентни транспортни систем (ITS) је данас од фундаменталног значаја за ефикасан и безбедан саобраћај, ITS је важан за управљање ванредним ситуацијама, а очекује се да ће његова улога расти са будућим развојним технологијама Habibović, (2013).

Управљање ванредним ситуацијама у путним тунелима је област у којој би употреба ITS-а могла донети велике предности. Користећи ITS, нове стратегије управљања саобраћајем за тунеле могу се развити на основу нових сензорских технологија, уређаја за контролу саобраћаја и метода пружања информација.

Европски парламент 2004. године усвојио је директиву ЕУ (2004/54 / ЕЦ) која истиче минималне сигурносне захтеве за тунеле на Трансевропској путној мрежи.

^a Corresponding author: lazar_zecovic@yahoo.com

Према Европском програму за евалуацију тунела (EuroTAP) који спроводи процену сигурности тунела у односу на директиву (EuroTest, 2013), функције везане за ITS као што су надзор саобраћаја и управљање ванредним ситуацијама чине више од 50% свих тачака Habibovic, (2013).

Управљање ванредним ситуацијама и доношење одлука у ванредним ситуацијама у путним тунелима јављају се због специфичних карактеристика тунелског амбијента. Нови кооперативни интелигентни транспортни системи (C-ITS) имају потенцијал за побољшање безбедности омогућавајући комуникацију између возила и тунелске инфраструктуре чиме побољшавају комуникацију са корисницима путева, као и са центром за управљање саобраћајем. Такви системи се уопштено називају кооперативни системи и базирани су на неком типу бежичне комуникације Habibovic, (2014), Mladenović, (2015).

Advance Warning System (AWS) је аутоматизовани систем дизајниран да побољша безбедност тунела, смањи ризик за стварање примарних и секундарних судара, као и да смањи време одзива у случају незгоде. Advanced Warning System успешно је пуштен у рад у тунелу у Онтарију 2005. године и у потпуности је превазишао првобитне циљеве, повећањем безбедности возача и управљањем инцидентата. Овај систем је први ове врсте у Северној Америци и поставио је нови стандард, што за последицу има изузетно безбедан и сигуран аутопут у Онтарију, Browne, (2008).

За разлику од надземних структура, пожаре унутар тунела је веома тешко угасити из следећих разлога: генерисање токсичних гасова, потешкоћа у вентилацији, производа сагоревања, неочекиване промене у ваздуху, збуњеност у евакуацији. За рано откривање незгода, предлажу се употреба различитих сензора који користе технологију Internet of Things (IoT) и мреже за повезивање. Ови сензори могу открити не само пожар, већ и положај возила која су се задесила у тренутку пожара Gubbi, (2013), Janković, (2018).

3. Основни појмови о тунелима

Реч тунел је енглеског порекла (tunnel) и значи цев или подземни пролаз. Тунели спадају у путне објекте. Поред тунела у путне објекте спадају и мостови, надвожњаци, подвожњаци, вијадукти, аквадукти, пропусти, галерије, потпорни и обложни зидови и сл. Тунели се могу поделити на већи број категорија.

Према намени тунели се деле на:

I. тунели за потребе саобраћаја:

- а. тунели за друмски саобраћај,
- б. тунели за железнички саобраћај,
- ц. тунели на пловним путевима и
- д. тунели за пролаз пешака.

II. хидротехнички тунели се деле на:

- а. тунели за водовод,
- б. тунели за канализацију,
- ц. тунели за мелиорацију
- д. тунели у склопу хидроцентрала.

III. подземне конструкције за специјалне сврхе:

- а. хангари за авионе и склоништа за подморнице,
- б. подземне гараже и магацини,
- ц. склоништа против бомбардовања и
- д. подземна индустријска постројења.

Тунели се према дубини грађења деле на:

- I. плитко положене и
- II. дубоко положене тунеле.

Тунели се према дужини деле у пет група и то:

- I. врло кратки тунели (до 50 м),
- II. кратки тунели (50-100 м),
- III. тунели средње дужине (500-2200 м),
- IV. дугачки тунели (2200-4000 м) и
- V. врло дугачки тунели (преко 4000 м).

Тунеле је могуће поделити у зависности од тежине грађења и то у четири групе:

- I. Тунели лаки за грађење (тунели у чврстим стенским масама) – У ову групу спадају тунели који се граде кроз стенске масе велике чврстоће.
- II. Средње тешки тунели за грађење- Изграђују се кроз меке стенске масе врло мале чврстоће. У овим стенским масама се појављују мањи вертикални али велики бочни притисци.
- III. Тунели тешки за грађење- Изграђују се кроз стенске масе у распадању. У њима се појављују јаки притисци, што условљава методско осигурање ископане контуре подземног објекта и опрезан рад.
- IV. Доста тешки тунели за грађење- Изграђују се у меким и пластичним масама

Једна од важних подела тунела је и подела тунела у зависности од транспорта опасних материја. Према тој подели тунели се деле у пет категорија, и то:

- Тунел А: Не постоје забране, ни ограничења у погледу превоза опасних материја;
- Тунел Б: Постоје забране и ограничења за опасну робу која може да доведе до веома велике експлозије;
- Тунел Ц: Постоје ограничења и забране за опасну робу која може да доведе до веома велике експлозије или до великог изливања отрова;
- Тунел Д: Постоје ограничења и забране за опасну робу која може да доведе до веома велике експлозије, великог изливања отпада или до велике ватре;
- Тунел Е: Постоје ограничења и забране за сву осталу опасну робу.

4. Опрема у путним тунелима

У опрему тунела, објекте, технологију, безбедносне уређаје и системе управљања спадају:

- Вентилација (Ventilation)
- Осветљење (Lights)
- Путни метеоролошки информациони систем (Road Weather Information System)
- Променљива саобраћајна сигнализација (Variable Message Sign)
- Затворен телевизијски систем (Closed-Circuit Television)
- Аутоматска детекција инцидента (Automatic Incident Detection)
- Даљински микроталасни сензор саобраћаја (Remote Traffic Microwave Sensor)
- Индуктивне петље (Inductive Loops)
- Детектор за утврђивање висине возила (Over Height Vehicle Detection)
- Телефони за хитне случајеве (SOS Telephones)
- Детектор пожара (Fire Detection)
- Контролно оперативни центар (Command Operations Center)

4.1 Вентилација

Возила на отвореном путу стварају емисије које се разблажују и распршују кроз природне токове ваздуха. Путни тунели стварају затворени простор око возила где се емисије из возила могу емитовати до неприхватљивог нивоа, без пројектованог вентилационог система који би заменио природне површинске токове ваздуха. Основни принцип тунелске вентилације је разблаживање емисија из возила обезбеђивањем свежег ваздуха, а затим уклањања издувних гасова из тунела. Издувни гас се може уклонити преко портала, преко вентилације или преко комбинације оба. Уздужна вентилација је најједноставнији облик вентилације, и укључује увођење свежег ваздуха на улазном порталу и уклањање издувног гаса из излазног портала или излаза за вентилацију. Због чистијих возила,

уздужна вентилација сада може лако да одржава квалитет ваздуха у дугим тунелима, и генерално се сматра најефикаснијим приступом вентилације тунела. За тунеле дужине до 500 м природни проток ваздуха кроз тунел је обично адекватан начин за управљање квалитетом ваздуха у тунелу, и није потребна уградња вентилације. За дуже тунеле уградња вентилације у облику вентилатора може бити потребна како би се осигурало да брзина протока ваздуха буде довољна за одржавање квалитета ваздуха до потребног нивоа. Главни критеријуми квалитета ваздуха у тунелу, су: угљен моноксид (CO), азот диоксид (NO₂), као и видљивост. Иако постоје и други загађивачи возила, ова три критеријума су главни за здравље и безбедност. Стопа емисије возила зависи од брзине, типа возила, старости возила, стања возила, услова саобраћајног тока...

4.2 Осветљење

Возач који улази у тунел у дневним условима суочава се са наглом променом нивоа сјајности, од оног који ствара дневна светлост изван тунела, до веома ниског нивоа сјајности у тунелу. Очи возача се споро прилагођавају великој промени нивоа сјајности, услед чега долази до проблема временске адаптације вида возача. Обзиром да је пређени пут директно сразмеран са временом потребним за адаптацију, при већим брзинама могу да настану потенцијално опасне ситуације. Поред временске, постоји и проблем просторне адаптације возача. Просторна адаптација је узрокована сужавањем видног поља возача који се приближава улазу у тунел. Када се возач приближи улазу неосветљеног или лоше осветљеног тунела, јавља се и феномен црне рупе, који се огледа у немогућности возача да види унутрашњост тунела. У циљу смањења могућих последица горе поменутих појава на најмању могућу меру, потребно је да се тунел осветли у довољној мери.

4.3 Путни метеоролошки информациони систем (RWIS)

RWIS прикупља, преноси, обрађује и шири информације о стању времена и стању на путевима. RWIS се може састојати од неколико метеоролошких станица и станица за праћење стања коловоза које су смештене у близини аутопута. Специјализована опрема и компјутерски програми прате временске услове и елементе стања коловоза. На пример, службе за одржавање путева могу имати користи од таквог система током зимских увјета тако што ће оптимално користити материјале и особље, изабрати одговарајуће стратегије поступања, користити технике против залеђивања и правилно извршити активности одржавања.

Руководиоци саобраћаја могу да користе опсервације о времену на путевима како би модификовали тајминг светлосних сигнала, смањили ограничења брзине и затворили опасне путеве, тунеле и мостове.

4.4 Променљива саобраћајна сигнализација

Знакови са променљивим порукама (VMS) се користе као део информација возачима на аутопуту. Оне су посебно важне пре уласка у тунела како би се обезбедило упозорење о инциденту, загушењу или другим догађајима који се дешавају у тунелу. У окружењима тунела, мањи VMS, који се називају тунелска саобраћајна сигнализација (TMS) потребни су због ограниченог вертикалног клиренса тунелске средине. TMS обично дају само једну линију текста и користе се као подршка управљању саобраћајем, као и да обезбеди поруке о пожару и безбедности током инцидента / затварања тунела.

VMS на прилазима тунелу пружа унапред упозорење возачима о условима унутар тунела. VMS би требало да буду лоцирани пре него што се донесе кључна одлука, да спрече улазак у тунел током инцидента. Вођење саобраћаја по тракама се користи на подручју тунела где се структура и карактеристике саобраћајног тока на возним тракама разликују. Овде се ради о различитим брзинама саобраћајног тока или о интервенисању у случају ванредног догађаја (када је затворена једна од возних трака). Намена променљиве линијске сигнализације је:

- вођење саобраћаја по тракама у подручју одвајања и преплитања, где возача није могуће обавештавати о појави ванредних догађаја преко портала променљиве саобраћајне сигнализације,
- на локацијама где постављање портала променљиве саобраћајне сигнализације није оправдано и где је за извођење мера вођења саобраћаја довољна променљива линијска сигнализација.
- вођење и каналисање саобраћаја на подручју интензивних прикључних токова (уливне рампе).

Слика1. Линијска променљива сигнализација

4.5 Затворен телевизијски систем

Затворен телевизијски систем омогућава оператерима контролног центра да визуелно верификују било коју незгоду или инцидент који се десио, који је примљен путем телефонског обавештења или путем аларма које производе други контролни системи. Истовремено, CCTV систем омогућава да се региструју различите ситуације тако да се може направити анализа постојећег стања. Могућности које нуди систем су различите и од значаја су за:

- Праћење саобраћаја на прилазима и унутар тунела. Праћење саобраћаја служи као подршка оператерима да верификују стварне услове саобраћаја, било директним посматрањем, или сличним начином верификације могућих информација из других система (пожарни аларм, аутоматско откривање инцидента ...).
- Надгледање метеоролошких услова: праћење околног подручја тунела, служи као подршка оператерима за проверу временских услова и њиховог могућег утицаја на безбедност возача Glavić, (2016).
- Подршка у управљању инцидентима: CCTV системи представљају један од кључних елемената у контроли и праћењу различитих фаза инцидента као што су: откривање, верификација, информације, одговор, рад на терену и др.

4.6 Аутоматска детекција инцидента

Аутоматска детекција инцидента (AID) је технологија за аутоматско детектовање саобраћајних незгода у реалном времену на основу обраде слике. Слике се обрађују у анализатору помоћу алгорита који извлачи релевантне информације о инцидентима и мерењима саобраћаја. Системи AID-а обезбеђују аларм брзо након што се догађај деси, чак и пре него што оператер или систем надзора примете последице инцидента. Омогућава корисницима да буду благовремено упозорени, приликом чега се смањује ризик од незгода.

Систем за праћење возила производи појединачна мерења возила, као што су присуство, брзину или стационарно стање возила. Каснија изометријска анализа омогућава да се произведу и истинска мерења саобраћаја. Упоредивање тих мерења са претходно постављеним праговима омогућава детекцију инцидента и појаву аларма. Спајањем тих појединачних мерења омогућава утврђивање параметара саобраћајног тока.

4.7 Даљински микроталасни сензор саобраћаја

RTMS је радар уређај који врши откривање присутности возила у више зона (трака). RTMS користи Допплеров ефекат и може само да детектују покретне мете. RTMS детектор присутности обезбеђује детектовање возила у траци и пружа информације о заузетости саобраћајне траке, брзини возила и класификацији, до осам трака или детекцијских зона истовремено.

Излазне информације се достављају постојећем контролном центру, односно преко свог серијског порта за комуникацију. Један RTMS може да замени више детектора индуктивне петље.

4.8 Индуктивне петље

Индуктивна петља користи се пре свега на путевима, али и при наплати путарине или испред семафора и рампи. Ова врста детектора је данас веома развијена и доста је поуздана. Индуктивна петља обезбеђује детектовање возила у траци и пружа информације о протоку, заузетости саобраћајне траке, брзини возила и класификацији, возила.

4.9 Детектор за утврђивање висине возила

Возила висине изнад 4,3 метра представљају опасност за мостове и тунеле. Судари возила са објектима ових висина имају значајне последице и утицаје на учеснике у саобраћају, управљаче путева и пружаоце услуга, а пре свега у односу на безбедност на путу, као и оштећењем возила и инфраструктуре.

Развијени су системи за контролу висине возила који могу детектовати присуство возила изнад максималне висине, и покренути упозорење возачима унапред (путем VMS-a). Тако возачима дају до знања да морају изаћи са аутопута или се зауставити испред објекта.

Детектори висине такође се могу користити да се оператери обавесте да се возило изнад дозвољене висине налази на приступу тунелу са ниским клиренсом како би се олакшало управљање инцидентима.

4.10 Телефони за хитне случајеве

Телефони за хитне случајеве користе се за комуникарање у случају инцидента као и за комуникацију да упуту возача који је позвао, како да поступи у датој ситуацији. Такође се користи за комуникацију са сервисним екипама током одржавања.

4.11 Детектор пожара

Системи детекције су осетљиви на појаву ватре. Ово се односи на стварање топлоте, гасове сагоревања, честица или аеросола и / или пламена. Пожар се може детектовати и звучним или визуелним техникама надгледања са надзорне камере.

Детектор топлоте је дизајниран да реагује када топлотна енергија пожара повећава температуру елемента осетљивог на топлину унутар детектора.

4.12 Контролно оперативни центар

У центрима за одржавање и контролу смештене су централе свих система постављених у тунелима. Како им и назив сугерише, у тим се центрима помоћу доступних система контролишу и онемогућују непожељне догађаји који могу бити последица директног утицаја саобраћаја, временских неприлика или неког другог непланираног догађаја. Ради тога се уз тунеле гради сложена инфраструктура која осим побољшања безбедности у тунелу има за циљ смањење загађења околине, уштеде времена и повећања мобилности.

Контролно оперативни центар обавља надзор и управљање променљивом саобраћајном сигнализацијом, бројање саобраћаја, примање и обраду свих података добијених из саобраћајног система, прослеђивање података о стању сигналне опреме, стању саобраћаја, о метеоролошким условима на саобраћајници према корисничком интерфејсу на самој саобраћајници пре и кроз тунел. Систем видео надзора и аутоматске видео детекције има за функцију надзор одвијања саобраћаја, аутоматску детекцију инцидентних ситуација и архивирање видео записа. Видео камере омогућавају приказ ситуације на мониторима у контролном центру а имају могућност аутоматске детекције саобраћајних инцидента: застоја, вожње у супротном смеру, броја возила, врсте и брзине кретања возила.

Систем даљинског управљања и надзора има за сврху надзор и управљање над следећим подсистемима: расветом, вентилацијом, енергетским снабдевањем, хидрантске мреже и надзор приступа у објекте у тунелу. Систем дојаве пожара сигнализира појаву ватре у тунелу. SOS позивни систем служи за примање SOS позива из позивних уређаја смештених унутар тунела и за преусмеравање SOS позива на спољне линије. Систем разгласа постављен је са сврхом давања потребних информација или упута корисницима тунела, који су заустављени у тунелу ради неког саобраћајног или другог инцидента. Састоји се од звучника постављених уздуж тунела, појачала и комуникацијске мреже.

Слика 2. Контролно оперативни центар

7 ЗАКЉУЧАК

ITS је одавно присутан у свету, али се у Србији и региону не користе у довољној мери. Ауто-путеви су саобраћајнице највишег ранга, при чему ITS технологије омогућавају, ефикасније, брже и безбедније кретање возила. У последње две деценије приметан је тренд повећања броја тунела на глобалном нивоу, пре свега због смањења дужине и трошкова транспорта, а затим и због боље контроле саобраћаја, растерећења одређених путних праваца, смањења загађења и побољшања квалитета ваздуха, али и због очувања изгледа неких урбаних целина који би био нарушен надземном путном инфраструктуром. Заједно са бројем тунела расте и број инсталација надзора и управљања сложенем и разноврсном опремом у тунелима (видео надзор, вентилација, противпожарне инсталације, осветљење, сигнализација, мерачи загађености ваздуха, динамички системи евакуације, итд...)

Србија поседује велики број кратких тунела, који су недовољно опремљени или чак неопремљени и небезбедни за коришћење. Ако анализирамо тунеле на деоници пута „Овчар Бања- Чачак“ и у Сићевачкој клисури, као и у Грделичкој клисури може се закључити да поседују минималну ИТС опрему или ју уопште не поседују.

С друге стране нови тунели на деоници „Љиг-Прељина“, као и тунели у изградњи на аутопуту Е75 деоница кроз Грделичку клисуру, садрже све савремене елементе, који су у складу са Европском директивом. Имплементирањем савремене опреме и система на све тунеле у складу са њиховим рангом и захтеваним нивоом опреме, у Србији би се значајно повећала безбедност у тунелима, односно смањено би се број саобраћајних незгода и њихових последица, чиме бисмо с изједначили са другим европским земљама по питању опремљености и безбедности тунела.

Intelligent transport systems in road tunnels

Lazar Zečević, B.Sc. TE

Draženko Glavić Ph.D. TE

University of Belgrade, Faculty of Traffic and Transport Engineering.

Abstract: In the last two decades, there has been an increase in the number of tunnels globally, primarily due to the reduction of the length and costs of transport, the reduction of pollution and the improvement of air quality, and also for the preservation of the natural and urban entities that would be disturbed by the above-ground road infrastructure. Together with the number of tunnels, the number of complex and diverse equipment in tunnels is growing (video surveillance, ventilation, fire protection, lighting, signaling, air pollution measures, dynamic evacuation systems, etc.). Serbia has a large number of short tunnels without the minimum required equipment. On the other hand, tunnels on new sections of highways such as, for example, sections "Ljig-Preljina", contain all modern equipment, which are in accordance with the European directive. By implementing modern equipment and systems to other tunnels in accordance with their category, safety in tunnels in Serbia will significantly increase, by reducing the number of traffic accidents and their consequences. This paper presents the ITS technologies in tunnels as well as their application in Serbia.

Key words: Tunnel, ITS, Equipment in road tunnels

Литература

- Habibovic, A., & Englund, C. (2013). ITS Solutions for Communicating Emergency Information in Road Tunnels.
- Habibovic, A. (2014). Cooperative ITS Solutions for Standstill Vehicles in Road Tunnels.
- Browne, R., Fox, M., & Smith, S. (2008). Highway 404 HOV Tunnel Advance Warning System (Innovative Solution to Significantly Reduce Capital Costs). In 2008 Annual Conference of the Transportation Association of Canada/Transportation Association of Canada.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future generation computer systems*, 29(7), 1645-1660.
- Milenković, M., & Glavić, D. (2017). Analysis of relations between freeway geometry and traffic characteristics on traffic accidents. In *International Symposium on Innovative and Interdisciplinary Applications of Advanced Technologies* (pp. 539-548). Springer, Cham.
- Mladenović, M. N., Stevanović, A., Kosonen, I., & Glavić, D. (2015). Adaptive Traffic Control Systems: Guidelines for Development of Functional Requirements. In *Proceedings of the Mobil. TUM 2015-International Scientific Conference on Mobility and Transport*.
- Glavić, D., Mladenović, M., Stevanović, A., Tubić, V., Milenković, M., & Vidas, M. (2016). Contribution to accident prediction models development for rural two-lane roads in Serbia. *Promet-Traffic&Transportation*, 28(4), 415-424.
- Glavić, D., Mladenović, M. N., & Stevanović, A. (2016). Policy Improvements for Winter Road Maintenance in South-East Europe: Case Study of Serbia. *Public Works Management & Policy*, 21(2), 173-195.
- Janković, S., Mladenović, S., Mladenović, D., Vesković, S., & Glavić, D. (2018). Schema on read modeling approach as a basis of big data analytics integration in EIS. *Enterprise Information Systems*, 12(8-9), 1180-1201.