

Primjena inteligentnih transportnih sustava u cestovnom prometu

Žižić- Gušo, Danijel

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Polytechnic Nikola Tesla in Gospić / Veleučilište Nikola Tesla u Gospiću**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:107:003624>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-16**



Repository / Repozitorij:

[Polytechnic Nikola Tesla in Gospić - Undergraduate thesis repository](#)



image not found or type unknown

VELEUČILIŠTE „NIKOLA TESLA“ U GOSPIĆU

Danijel Žižić-Gušo

**PRIMJENA INTELIGENTNIH TRANSPORTNIH SUSTAVA
U CESTOVNOM PROMETU**

**APPLICATION OF INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS IN
ROAD TRAFFIC**

Završni rad

Gospić, 2020.

VELEUČILIŠTE „NIKOLA TESLA“ U GOSPIĆU

Prometni odjel

Preddiplomski stručni studij cestovnog prometa

**PRIMJENA INTELIGENTNIH TRANSPORTNIH SUSTAVA
U CESTOVNOM PROMETU**

**APPLICATION OF INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS IN
ROAD TRAFFIC**

Završni rad

MENTOR:

Dr. sc. Ivo Peko

STUDENT:

Danijel Žižić-Gušo

JMBAG: 0296018480

Gospić, lipanj 2020.

Veleučilište „Nikola Tesla“ u Gospiću

Prometni odjel

U Gospiću, 02.03. 2020.

Z A D A T A K

za završni rad

Pristupniku Danijelu Žižiću-Guši JMBAG: 0296018480

Studentu preddiplomskog stručnog studija Cestovnog prometa izdaje se tema završnog rada pod nazivom:

Primjena inteligentnih transportnih sustava u cestovnom prometu

Sadržaj zadatka :

1. UVOD

2. OSNOVNA FUNKCIJA I RAZVOJ ITS-a

3. PRIMJENA ITS-a U CESTOVNOM PROMETU

4. PRIMJENA ITS-a PRI KOMPARACIJI I ODABIRU NAJPOVOLJNIJE TRASE PROMETNICE

5. ANALIZA PRIMJENE ITS-a I PROVEDENOG TESTIRANJA U CESTOVNOM PROMETU

6. ZAKLJUČAK

Završni rad izraditi sukladno odredbama Pravilnika o završnom radu Veleučilišta „Nikola Tesla“ u Gospiću.

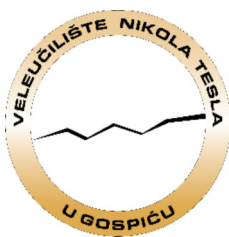
Mentor: dr. sc. Ivo Peko zadano: 02.03.2020.
(ime i prezime) (nadnevak)

Pročelnik odjela: Sladana Čuljat predati do: 30.09.2020.
(ime i prezime) (nadnevak)

Student: Danijel Žižić-Gušo primio zadatak: 02.03.2020.
(ime i prezime) (nadnevak)

Dostavlja se:

- mentoru
- studentu
- evidenciji studija – dosje studenta



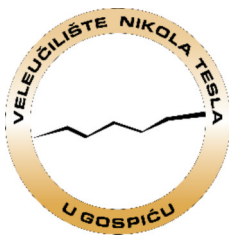
Izjava o akademskoj čestitosti

Ja, **Danijel Žižić-Gušo** izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je moj završni rad naslova: **Primjena inteligentnih transportnih sustava u cestovnom prometu** isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada, te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Gospiću, 1. lipnja 2020.

Student:
Danijel Žižić-Gušo



Izjava o pohrani diplomskog rada u Digitalni repozitorij

Odjel: Prometni odjel

Student: Danijel Žižić-Gušo

Vrsta rada: Završni rad

Ovom izjavom potvrđujem da sam autor predanog završnog rada i da sadržaj njegove elektroničke inačice u potpunosti odgovara sadržaju obranjenog rada.

Slažem se da se rad pohrani u javno dostupnom institucijskom repozitoriju Veleučilišta „Nikola Tesla” u Gospiću i javno dostupnom repozitoriju Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu (u skladu s odredbama Zakona o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju, NN br. 123/03, 198/03, 105/04, 174/04, 02/07, 46/07, 45/09, 63/11, 94/13, 139/13, 101/14, 60/15) i bude u

☒ rad u otvorenom pristupu

☐ rad dostupan nakon _____
(upisati datum)

☐ rad dostupan svim korisnicima iz sustava znanosti i visokog obrazovanja RH

☐ rad dostupan samo djelatnicima i studentima Veleučilišta „Nikola Tesla“ u Gospiću

U Gospiću, 1. lipnja 2020.

Student:
Danijel Žižić-Gušo

SAŽETAK

Inteligentni transportni sustavi su vrlo širok pojam te imaju široku primjenu u gotovo svim granama prometa. Osmišljeni su kako bi smanjili vrijeme putovanja uz istodobno povećanje sigurnosti i udobnosti vozača i putnika. Osnovni cilj ITS-a je rješavanje svakodnevnih problema uzrokovanih prometom. ITS rješenja nude mnogobrojne prednosti, a realizacija ITS-a poboljšava performanse, efikasnost i sigurnost prometnog sustava u cjelini. Provedenom analitičkom obradom podataka baziranoj na tehničko-tehnološkim, prometno-tehnološkim, ekonomskim i ekološkim parametrima te ITS rješenjima koja se koriste u primjeni prostorno-prometnog planiranja, izvršen je odabir najpovoljnije trase prometnice.

Ključne riječi: inteligentni transportni sustavi, prometni sustav, inteligentne prometnice, inteligentna vozila, komparacija trasa prometnica.

ABSTRACT

Intelligent transport systems are a very broad term and have wide application in almost all branches of transport. They are designed to reduce travel time while increasing the safety and comfort of drivers and passengers. The main goal of ITS is to solve the daily problems caused by traffic. ITS solutions offer many benefits, and the implementation of ITS improves the performance, efficiency and security of the transport system as a whole. Analytical data processing based on technical-technological, traffic-technological, economic and environmental parameters and ITS solutions used in the application of spatial and traffic planning, made the selection of the most suitable route of the road.

Key words: intelligent transport systems, traffic system, intelligent roads, intelligent vehicles, road comparison.

Sadržaj

1. UVOD	1
1.1 Predmet istraživanja	1
1.2 Svrha i cilj istraživanja	1
1.3 Istraživačke metode	1
1.4 Struktura rada	2
2. OSNOVNA FUNKCIJA I RAZVOJ ITS-a	3
2.1 Definicija ITS-a	3
2.2 Razvoj ITS-a kroz prošlost	5
2.3 Razvoj ITS-a u Europskoj uniji i Republici Hrvatskoj	5
3. PRIMJENA ITS-a U CESTOVNOM PROMETU	10
3.1 Inteligentne prometnice i vozila	10
3.2 Inteligentni sustavi informiranja putnika i vozača	17
3.3 Inteligentno upravljanje prometom i transportom	19
3.4 ITS kao čimbenik sigurnosti u prometu	24
4. PRIMJENA ITS-a PRI KOMPARACIJI I ODABIRU NAJPOVOLJNIJE TRASE PROMETNICE	27
4.1 Osnovni elementi modela prometne optimizacije	29
4.2 Izrada modela prometne optimizacije	32
4.3 Izbor i rangiranje kriterija modela prometne optimizacije	32
4.4 Analitička obrada podataka	37
5. ANALIZA PRIMJENE ITS-a I PROVEDENOG TESTIRANJA U CESTOVNOM PROMETU	46
6. ZAKLJUČAK	49
LITERATURA	50
POPIS KRATICA	52

POPIS SLIKA.....54

POPIS TABLICA55

1. UVOD

Inteligentni transportni sustavi (ITS) osmišljeni su na način da svim sudionicima u prometu, na što brži i jednostavniji način omoguće jednostavnost i olakšano prometovanje uz što veću sigurnost na cestama. Suština primjene inteligentnih transportnih sustava u cestovnom prometu ogleda se kroz integraciju pojedinih rješenja polazeći od zajedničke arhitekture inteligentnih transportnih sustava i dobro razrađenih sustavskih specifikacija.

Budući da su klasični prometni i transportni sustavi bili ograničeni glede informacijske transparentnosti, dolazi do problema jer nije postojao potpuni stvarnovremenski uvid u događanja kako na prometnicama, tako i lukama, skladištima, logističko-distribucijskim centrima i svim ostalim dijelovima prometne infrastrukture.

Nastanak ovih problema iziskivao je izum, odnosno osmišljanje sustava koji bi riješio probleme te svim sudionicima u prometu olakšao prometovanje pružajući osjećaj ugone, a nadasve sigurnosti. Osmišljanje i pojava inteligentnih transportnih sustava donijeli su cijeli niz pametnih i praktičnih rješenja pronalazeći pritom različita rješenja za poboljšavanje i bolje korištenje postojeće cestovne infrastrukture, a sve to sagledavajući cjelokupnu prometnu mrežu kao jedan veliki sustav.

1.1 Predmet istraživanja

Predmet istraživanja, odnosno tema ovog završnog rada bila je primjena inteligentnih transportnih sustava u cestovnom prometu.

1.2 Svrha i cilj istraživanja

Svrha i cilj ovog završnog rada biti će istraživanje područja primjene inteligentnih transportnih sustava u cestovnom prometu, kao i raznih usluga koje nam inteligentni transportni sustavi pružaju, misleći pritom najviše na usluge koje možemo vidjeti na prometnicama i u vozilima. Uz to, provesti će se odabir najpovoljnije trase prometnice

1.3 Istraživačke metode

U istraživanju koristit će se više kombinacija stručnih, odnosno istraživačkih metoda. Najznačajnije primijenjena istraživačka metoda je komparativna metoda, korištena u usporedbi prometnog opterećenja na pojedinim dionicama na kojima je izvršeno istraživanje. Isto tako, korištene su i matematičke metode, najviše u postupku stvaranja

analitičkog modela prometne optimizacije. Ostale istraživačke metode koje su korištene u istraživanju i formuliranju rezultata istraživanja su:

- statistička metoda,
- metoda analize,
- metoda dokazivanja,
- metoda sinteze,
- metoda promatranja,
- iskustvena metoda,
- induktivna metoda.

1.4 Struktura rada

Završni rad je koncipiran sukladno metodologiji izrade završnog rada te je prikazan u šest međusobno povezanih poglavlja.

U uvodnom poglavlju završnog rada navedeni su predmet, svrha i cilj istraživanja, istraživačke metode korištene u radu i na kraju struktura rada u kojoj je okvirno objašnjeno na koji je način završni rad strukturiran.

U drugom poglavlju definiran je pojam ITS, njegova osnovna funkcija i razvoj kroz prošlost.

Detaljnijim istraživanjem područja primjene inteligentnih transportnih sustava u cestovnom prometu, u trećem poglavlju, navode se i razmatraju razne usluge ITS-a koje susrećemo na prometnicama i u vozilima. Također, u ovom poglavlju analizirani su inteligentni transportni sustavi kao čimbenik sigurnosti u prometu.

U četvrtom poglavlju naziva „Primjena ITS-a pri komparaciji i odabiru najpovoljnije trase prometnice“, analizirani su elementi modela prometne optimizacije te su komparirane tri različite trase prometnica glede odabira najpovoljnije.

Nastavno u petom poglavlju analizirani su i obrazloženi rezultati provedenog testiranja odabira najpovoljnije trase prometnice.

Na samom kraju završnog rada, u šestom poglavlju, prikazana su zaključna razmatranja osvrćući se na cjelokupan rad.

2. OSNOVNA FUNKCIJA I RAZVOJ ITS-a

2.1 Definicija ITS-a

Da bi uopće mogli razgovarati o primjeni inteligentnih transportnih sustava, ne samo u cestovnom, nego i u ostalim granama prometa, potrebno je pojam ITS definirati i detaljno razmotriti.

Inteligentni transportni sustavi (ITS) mogu se definirati kao holistička, upravljačka i informacijsko-komunikacijska (kibernetika) nadgradnja klasičnog sustava prometa i transporta kojim se postiže znatno poboljšanje performansi odvijanja prometa, učinkovitiji transport putnika i roba, poboljšanje sigurnosti u prometu, udobnost i zaštita putnika, smanjenje onečišćenja okoliša, itd. [1]

ITS omogućuje informacijsku transparentnost, upravljivost i poboljšan odziv prometnog sustava čime on dobiva atribute inteligentnoga. Atribut „inteligentni“ općenito označuje sposobnost adaptivnog djelovanja u promjenjivim uvjetima i situacijama pri čemu je potrebno prikupiti dovoljno podataka i obraditi ih u realnom vremenu. [1]

Inteligentni transportni sustavi imaju mogućnost unapređenja prometa no zahtijevaju znatan trud za nadilaženje institucionalnih, organizacijskih i interoperativnih prepreka. [2] Prednosti ITS rješenja su mnogobrojne, inteligentni transportni sustavi nastoje postići prometnu učinkovitost minimiziranjem prometnih problema. Cilj im je smanjiti vrijeme putovanja uz istodobno povećanje sigurnosti i udobnosti. Smanjenje vremena čekanja i gubitaka, smanjenje vremena putovanja, ušteda goriva i energije, povećanje sigurnosti i zaštite putnika i tereta, bolja informiranost korisnika usluga te pomoć interventnim službama u rješavanju prometnih nezgoda, samo su neke od prednosti ITS rješenja. Zbog mogućnosti pomaganja u rješavanju prometnih nesreća, ITS se sve više primjenjuje kod žurnih, to jest interventnih službi.

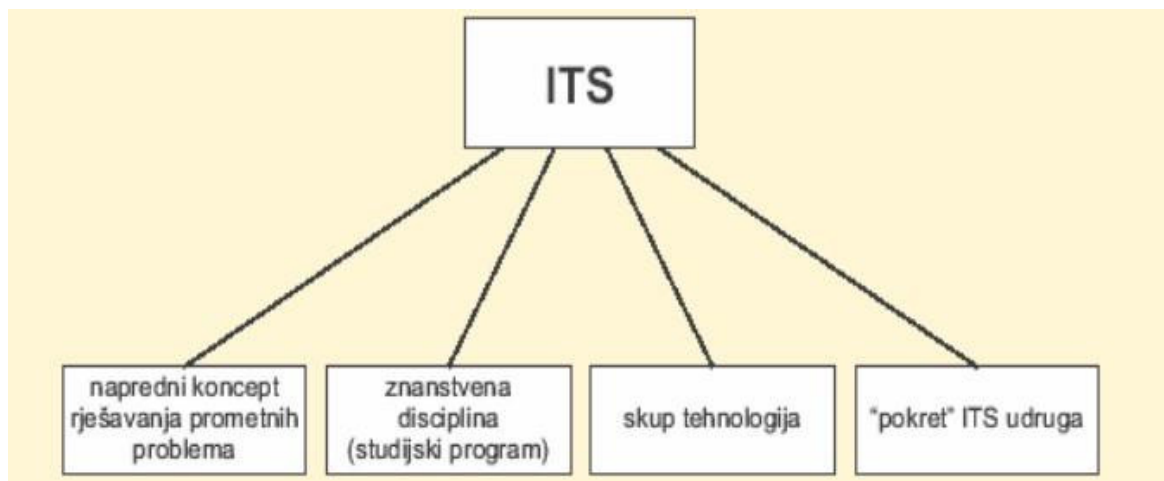
Isto tako, za ITS se može reći kako je to novi kritični pojam koji mijenja pristup i trend razvoja prometne znanosti i tehnologije transporta ljudi i robe tako da se učinkovito rješavaju rastući problemi zagušenja prometa, onečišćenja okoliša, učinkovitosti prijevoza te sigurnosti i zaštite ljudi i robe u prometu. U tom smislu inteligentna cestovna prometnica predstavlja upravljačku i informacijsko-komunikacijsku nadgradnju klasičnih cestovnih prometnica, tako da se osim osnovnih fizičkih funkcija ostvaruje bolje informiranje vozača, vođenje prometa, sigurnosne aplikacije itd. [3]

ITS se može opisati kao sustav koji isporučuje usluge i informacije korisnicima putem

distribuiranog informacijskog sustava, sve to uz uporabu sučelja koje je prilagođeno korisniku ili pokretnom objektu. Osnovni cilj ITS-a je podizanje kvalitete prometovanja i transporta kroz poboljšavanje iskustava vozača i putnika, poboljšavanje postupaka vezanih za putovanja ljudi ili razmjenu dobara i usluga uz povećanje sveukupne prometne informacijske transparentnosti. Osnovna zamisao ITS-a ogleda se kroz kombiniranje informacijskih tehnologija i komunikacija u transportnim rješenjima ili jednostavnije rečeno, integracija različitih transportnih podsustava s namjerom prikupljanja, pohranjivanja, obrade i distribucije podataka, odnosno informacija o cjelokupnom kretanju ljudi i tereta. Promatrajući sa stajališta prometne tehnologije, podatak ili informacija predstavlja određeni supstrat koji treba prenijeti od početne točke – izvorišta, do krajnje točke – odredišta.

U okviru ITS-a razvijaju se inteligentna vozila, inteligentne prometnice, bežične „pametne“ kartice za plaćanje cestarina, dinamički navigacijski sustavi, adaptivni sustavi semaforiziranih raskrižja, učinkovitiji javni prijevoz, brza distribucija pošiljaka podržana internetom, automatsko javljanje i pozicioniranje vozila u nezgodi, biometrijski sustavi zaštite putnika, itd. [1] Postoje 32 temeljne usluge i 11 funkcionalnih područja ITS-a što ih je definirao ISO¹.

Slika 1. Temeljna značenja termina ITS



Izvor: [4]

¹ ISO – *International Organization for Standardization* (međunarodna organizacija za normizaciju)

2.2 Razvoj ITS-a kroz prošlost

Zbog konstantnog rasta prometnih problema te rastućih zahtjeva za transportiranjem koji su bilježili neprekidan rast, krajem 20. stoljeća dolazi do potrebe za razvojem novog pristupa, odnosno nove tehnologije koja bi ponudila rješenja nastalih problema. Pojam ITS pojavio se 1991. godine u Sjedinjenim Američkim Državama.

Sintagma „inteligentni transportni sustavi“ odnosno akronim ITS ulazi u znanstveni i stručni rječnik prometnih i transportnih inženjera tijekom 90-ih godina 20. stoljeća odnosno nakon prvog ITS svjetskoga kongresa održanog u Parizu 1994. godine. Prije toga su korišteni drugi nazivi, kao što su cestovna transportna telematika (*road transport telematics*), inteligentni sustavi prometnica (*intelligent highways systems*) i sl. Početni razvoj ITS-a vezan je za prve programe i projekte koji su bili na tragu temeljne zamisli ITS-a. To su prvenstveno:

- ERGS – *Eletronic Route Guidance Project* (SAD, 70-ih godina prošlog stoljeća,
- Siemensovi projekti (*Ali-Scout Route Guidance Project*, Berlin),
- IVHS – *Integrated Vehicle Highway System* (University of Michigan, 80-ih godina prošlog stoljeća),
- europski projekti DRIVE, PROMETEJ (90-ih godina prošlog stoljeća). [1]

Budući da razvoj inteligentnih transportnih sustava podrazumijeva programe i projekte, od velike je važnosti razumjeti razliku između dva navedena pojma.

Program je namijenjen razvoju kompetencija, odnosno uspostavljanju unutarnjih sposobnosti organizacije ili znanstvene zajednice i ne može imati čvrsto definiran kraj. Na čelu programa može biti samo usmjeravajuća grupa (*task force*) koja vodi program, dok je projekt jednokratni pothvat s definiranim vremenskim rokovima (početnim i završnim događajima), ograničenim proračunom i izravno mjerljivim *outputima*, te može biti idejni, odnosno glavni ili izvedbeni prema kojem se fizički realizira sustav. [1]

2.3 Razvoj ITS-a u Europskoj uniji i Republici Hrvatskoj

Europska unija zajedno sa svojim zemljama članicama na vrijeme je shvatila značenje i mogućnosti primjene ITS-a. Razvoj inteligentnih transportnih sustava od strane Europske unije i njezinih tijela javlja se sredinom devedesetih godina prošlog stoljeća. Kako bi europski prometni sustav mogao zadovoljiti potrebe za mobilnošću europske ekonomije i društva u cjelini nekoliko velikih izazova mora biti svladano.

Procjenjuje se da zagušenja u cestovnom prometu direktno utječu na 10% EU cestovne mreže, a godišnji troškovi generirani ovim zagušenjima procjenjuju se od 0,9 do 1,5% BDP-a Europske unije. Cestovni promet trenutno sudjeluje u 72% svih emisija CO₂ vezanih za prijevoz. Osim toga, ove emisije su porasle za 32% u odnosu na razdoblje 1990. – 2005. Iako je broj smrtno stradalih na cestama Europske unije u opadanju, njihov ukupni broj je još za 4000 iznad planiranog cilja od 50% smanjenja smrtnih slučajeva u razdoblju 2001. – 2010., tj. 31 000 poginulih. [3] Navedeni podaci glavni su postojeći izazovi koje Europska unija nastoji prevladati. Budući da je industrija cestovne telematičke opreme otprije bila razvijena, pojava inteligentnih transportnih sustava otvorila je nove mogućnosti, kako za razvoj prometnog i transportnog sektora, tako i za razvoj pripadne industrije opreme i usluga u području inteligentnih transportnih sustava. Početkom 21. stoljeća Europska komisija sve aktivnije i učestalije objavljuje dokumente vezane uz ITS. 2008. godine nastaje Akcijski plan za uvođenje ITS-a u Europi, a svake godine od strane Europske komisije ulaže se više od 400 milijuna eura u područje ITS-a. Postoje tri temeljna programa preko kojih se vrši investiranje u područje ITS-a, a to su: TEN-T², Strukturni i kohezijski fond te Instrument za povezivanje Europe – *Connecting Europe Facility* (CEF). Glavni cilj Transeuropskih prometnih mreža je zemljopisno i gospodarski približiti dijelove Europe razvojem cesta, željeznica, unutarnjih plovni putova, zračnih i morskih luka, luka na unutarnjim vodama i sustava upravljanja prometom. Sastavnice Strukturnog fonda su: Europski fond za regionalni razvoj i Europski socijalni fond. Instrument za povezivanje Europe (CEF) osmišljen je kao instrument za ubrzavanje investicija na području Transeuropskih prometnih mreža (TEN-T) i iskorištavanje sredstava iz javnog i privatnog sektora uz istovremeno povećanje pravne sigurnosti i poštivanje načela tehnološke neutralnosti.

CEF bi trebao omogućiti sinergiju između prometa, telekomunikacija i energetike, čime se povećava učinkovitost djelovanja Europske unije i optimiziraju troškovi provedbe. TEN-T mreža trebala bi olakšati prekograničnu suradnju, potaknuti veću ekonomsku, socijalnu i teritorijalnu koheziju te doprinijeti konkurentnijoj tržišnoj ekonomiji i borbi protiv klimatskih promjena. [3]

Akcijski plan za uvođenje ITS-a u Europi (*Action Plan for the Deployment of Intelligent Transport Systems in Europe*) naziv je dokumenta kojim započinje snažniji i usmjereni razvoj ITS-a u cestovnom prometu na području Europske unije.

² TEN-T – *Trans-European Transport Networks* (Transeuropske prometne mreže)

U Akcijskom planu navedena su tri ključna problema cestovnog prometa u Europskoj uniji:

- zagušenje i troškovi zagušenja,
- emisija CO₂ u cestovnom prometu,
- prometne nesreće sa smrtnim posljedicama.

Temeljem navedenih problema, postavljeni su opći ciljevi, a to su: učinkovit, čišći te sigurniji promet. Glavni cilj Akcijskog plana je ubrzanje i koordinacija svih aktivnosti vezanih uz uvođenje ITS-a, kako u cestovnom prometu, tako i u multimodalnim čvorovima s ostalim vidovima prometa. Prvi korak prema usklađenom razvoju predstavlja usvajanje specifikacija za propisana prioritetna područja. Uz akcijski plan, vezano uz zakonodavni okvir, važno je spomenuti Direktivu 2010/40/EU – sveobuhvatni dokument usmjeren razvoju inteligentnih transportnih sustava na području cijele Europske unije. Direktiva 2010/40/EU odredila je prioritetna područja glede optimalnog korištenja cestovnih, prometnih i putnih podataka, neprekinutosti usluga inteligentnih transportnih sustava u prometu i upravljanju teretom, ITS usluga za sigurnost i zaštitu na cestama te povezivanja vozila s prometnom infrastrukturom. Nadalje, Europska komisija osnovala je nekoliko udruga odnosno grupa vezanih za razvoj ITS-a, od kojih su neke Europska ITS savjetodavna grupa (*ITS Commission Expert Group*) te savjetodavna grupa za gradski ITS (*Expert Group on Urban ITS*).

Unutar prioritetnih područja definirano je šest prioritetnih aktivnosti i to:

- a) pružanje multimodalnih prometnih informacija na području cijele Europske unije,
- b) pružanje prometnih informacija u stvarnom vremenu na području cijele Europske unije,
- c) dostupnost osnovnih podataka i postupaka u svezi sa sigurnošću na cestama, bez naplate, gdje god je to moguće,
- d) usklađeno osiguravanje usluge e-poziv (*eCall*) na području cijele Europske unije,
- e) pružanje usluga informiranja o sigurnim i zaštićenim parkirališnim mjestima za teretna vozila i gospodarska vozila,
- f) pružanje usluga rezervacije sigurnih i zaštićenih parkirališnih mjesta za teretna vozila i gospodarska vozila. [3]

Vezano za razvoj ITS-a u Republici Hrvatskoj prvenstveno treba spomenuti znanstveni projekt sustavnog razvoja inteligentnih transportnih sustava naziva „Opći modeli ITS-a i njihova modalna preslikavanja“ koji je pokrenut 1997. godine, a na čijem je tragu uspostavljena jezgra ITS studija. Za razvoj i uvođenje inteligentnih transportnih sustava u Republici Hrvatskoj od posebnog je značenja bio program izgradnje autocesta.

Hrvatske autoceste su među najmodernijima i najsigurnijima u Europi, što je posljedica i primijenjenih ITS tehnologija, posebno u dijelu upravljanja prometom te sustavima upravljanja incidentima u tunelima. Za ove sustave dobiveno je više priznanja, kao naprimjer od EuroTAP-a. EuroTAP (*European Tunnel Assessment Programme*) je jedan od ukupno osam istraživačkih projekata o sigurnosti prometa u tunelima. [3] Što se tiče primjene ITS-a na cestama u Republici Hrvatskoj, očekivano najbolja situacija je na autocestama, dok kod državnih i ostalih cesta situacija je puno lošija.

Autoceste u Republici Hrvatskoj opremljene su suvremenim informacijsko-komunikacijskim sustavima za razmjenu informacija koje mogu biti podatkovne, govorne i slikovne. U centrima za održavanje i kontrolu prometa ugrađeni su sustavi za središnje upravljanje prometom koji se sastoje od nekoliko podsustava: prometne centrale, prometne radne stanice, informacijskog sustava vremenskih uvjeta na prometnicama, podsustava za video nadzor i sl. U slučaju da postoje i tuneli na nadziranoj dionici, dodaju se i sljedeći podsustavi: podsustav za daljinsko upravljanje i kontrolu energetskih postrojenja, podsustav upravljanja ventilacijom te nadzor i upravljanje ostalih sustava koji se ugrađuju u tunel. [3] Pristupanjem Republike Hrvatske Europskoj uniji, 1. srpnja 2013. godine, nastupile su značajne promjene za razvoj ITS-a, misleći pritom najviše na uvođenje ITS-a u Zakon o cestama, kao i osnivanjem Nacionalnog savjeta za razvoj i uvođenje ITS-a u Republici Hrvatskoj. Na taj način premijerno je uspostavljena stvarna infrastrukturna organizacijska osnova za učinkovit razvoj svih aspekata ITS-a. Kada govorimo o inteligentnim transportnim sustavima u Republici Hrvatskoj iznimno je važno naglasiti znanstveno-stručnu udrugu ITS Hrvatska. Udruga Inteligentni transportni sustavi Hrvatska osnovana je 12. listopada 2005. godine s ciljem promicanja i ostvarivanja harmoniziranog razvoja inteligentnih transportnih sustava.

Djelatnosti Udruge su:

- suradnja s obrazovnim i znanstvenim institucijama, komorama, trgovačkim društvima, tijelima državne uprave i drugim pravnim osobama i pojedincima koji mogu doprinijeti ostvarenju ciljeva Udruge,
- izdavanje ili suradnja u izdavanju stalnih i povremenih znanstvenih, stručnih i informativnih publikacija iz područja inteligentnih transportnih sustava,
- organizacija ili suradnja u organizaciji znanstvenih i stručnih skupova, savjetovanja, tečajeva, predavanja, okruglih stolova i seminara iz područja inteligentnih transportnih sustava,
- redovito i povremeno informiranje članstva o djelatnostima Udruge, dostignućima njenih članova i o zbivanjima na području inteligentnih transportnih sustava,
- informiranje javnosti o razvoju inteligentnih transportnih sustava te suradnja s elektroničkim i tiskanim medijima,
- rad na znanstvenim i stručnim projektima,
- sudjelovanje u uspostavljanju i održavanju javno-privatnih partnerstava,
- suradnja sa srodnim organizacijama i udrugama u Republici Hrvatskoj,
- suradnja s međunarodnim organizacijama i udrugama. [5]

Ciljevi znanstveno-stručne udruge ITS Hrvatska su:

- poticanje i promicanje suradnje među članovima u razvoju nacionalne arhitekture inteligentnih transportnih sustava,
- povećanje učinkovitosti i sigurnosti prometnih i transportnih sustava,
- podrška harmoniziranom razvoju inteligentnih transportnih sustava u Republici Hrvatskoj,
- stvaranje javnog znanstvenog i stručnog mišljenja o inteligentnim transportnim sustavima,
- utjecaj na razvitak i napredak očuvanja prirode i čovjekova okoliša,
- ostvarivanje suradnje s ITS udrugama u Europi i svijetu. [5]

3. PRIMJENA ITS-a U CESTOVNOM PROMETU

Za primjenu inteligentnih transportnih sustava može se reći kako je moguća u svim prometnim podsustavima, a ujedno pruža širok spektar usluga svim korisnicima. Taj spektar usluga ogleda se kroz sustave informiranja korisnika o prometnim uvjetima u menadžmentu cestovnog, željezničkog, zračnog i vodnog prometa, kroz nadzor i kontrolu prometa; menadžment vozila žurnih službi u incidentnim situacijama, navigaciju, nadgledanje i vođenje prometnog toka. Elektroničko plaćanje naknade za korištenje prometne infrastrukture (cestarina, mostarina, tunelarina) te upravljanje javnim transportom, također su usluge širokog spektra primjene inteligentnih transportnih sustava.

Cilj razvijanja i primjene inteligentnih transportnih sustava je poboljšanje transporta što uključuje sljedeće:

- smanjenje zagušenja u prometu,
- smanjenje kapitalnih i operativnih troškova,
- poboljšavanje sigurnosti,
- povećanje produktivnosti transportne infrastrukture,
- smanjenje potrošnje energenata, smanjenje zagađenja. [2]

3.1 Inteligentne prometnice i vozila

Nadogradnjom klasičnih prometnica na kojima se promet obavlja uz osnovne fizičke funkcije, sa svim potrebnim oznakama i znakovima stvaraju se inteligentne prometnice.

Inteligentna prometnica predstavlja kibernetiku i informatičku nadogradnju klasičnih prometnica tako da se osim osnovnih fizičkih funkcija ostvaruju bolje informiranje vozača, vođenje prometa, sigurnosne aplikacije itd. [1]

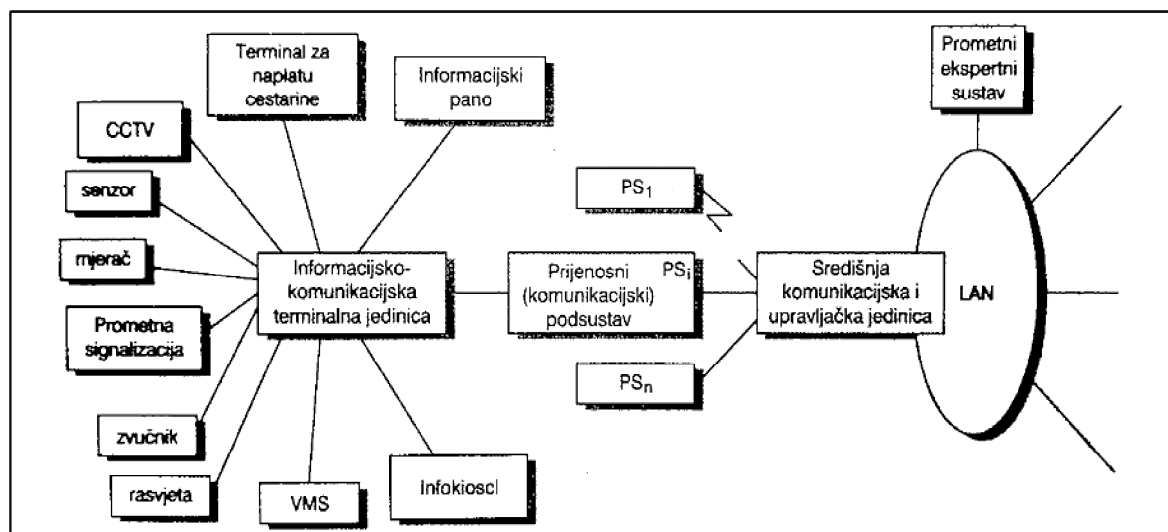
Tri su osnovna dijela (sustava) inteligentnih prometnica:

1. senzorsko-izvršni sustav,
2. telekomunikacijski sustav,
3. upravljački sustav.

Senzorsko-izvršni sustav služi za prikupljanje informacija o stanju na prometnici. Brojači prometa, meteo situacija i praćenje incidenata neki su od senzorskih elemenata, dok su semafori, prometna signalizacija i rampe izvršni elementi. Za telekomunikacijski sustav može se reći kako omogućuje razmjenu podataka glede govora ili video informacija između

korisnika, to jest izdvojenih i centralnih jedinica. Upravljački sustav donosi odluke vezane za dinamičko (adaptivno) upravljanje prometom i daje naloge izvršnom sustavu, sve to temeljem prikupljenih informacija i ugrađenog ekspertnoga prometnoga znanja.

Slika 2. Osnovna fizička struktura informacijsko-komunikacijskog sustava prometnica



Izvor: [1]

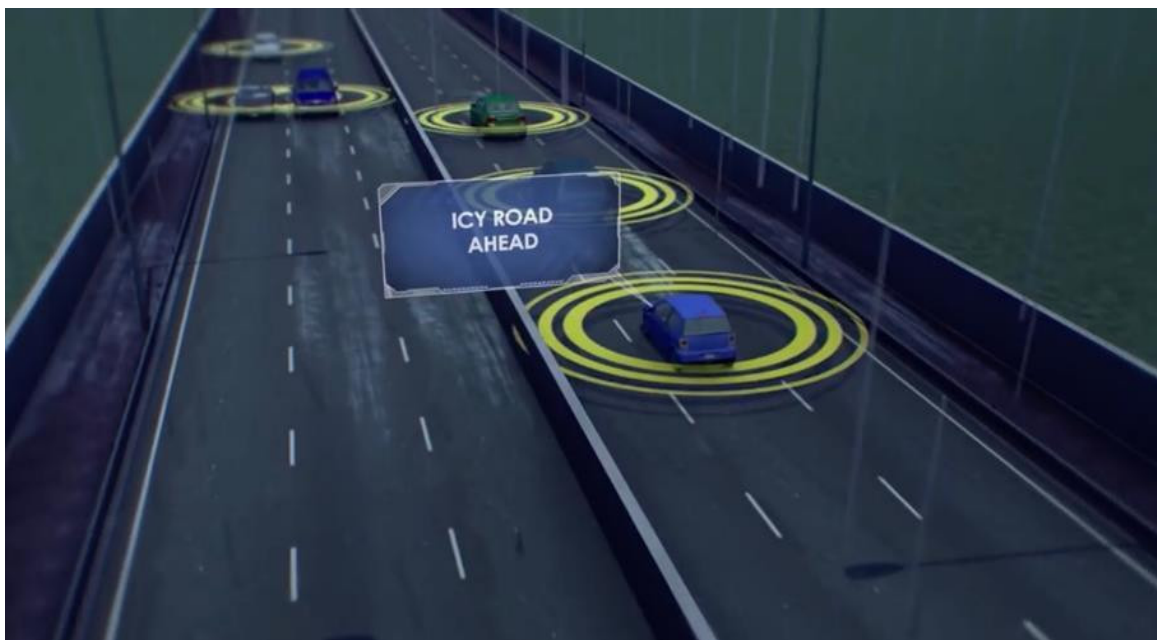
Na slici 2. prikazana je osnovna fizička struktura informacijsko-komunikacijskog sustava (ICS) prometnica. Na informacijsko-komunikacijsku terminalnu jedinicu priključeni su razni senzori, mjeraci, videokamere, prometna signalizacija kao i druga oprema, te se obavlja prilagodba prikupljenih podataka za prijenos po komunikacijskom sustavu. Središnja upravljačka jedinica zadužena je za prikupljanje i obradu informacijskih tokova od terminalnih jedinica te upravljanje ponašanjem prometnog sustava temeljem ekspertnih znanja i prometnih pravila.

Automatizirana prometnica postiže se upravljačkom i informacijsko-komunikacijskom nadgradnjom klasične prometnice. Time se, pak, postižu veća protočnost, sigurnost, učinkovitost prijevoza i smanjenje onečišćenja. Postojeći informacijsko-komunikacijski sustavi za telemetriju, telekontrolu i telekomandu moraju se nadograditi ITS funkcionalnostima. [1] Informacijsko-komunikacijski (ICS) sustav za telekontrolu namijenjen je utvrđivanju ispravnosti rada uređaja na daljinu. Također, ovaj sustav omogućuje mjerenje odgovarajućih veličina na daljinu. ICS sustavi namijenjeni su za upravljanje prometom, to jest za regulaciju rada uređaja na daljinu.

ITS funkcionalnosti automatizirane prometnice uključuju:

- mjerenje prometa i klasifikaciju vozila te analizu prometnog toka,
- videonadzor i daljinsko upravljanje protočnošću prometnica,
- naplatu cestarine putem pametnih kartica,
- telekontrolu gabarita (primjenom lasera i optičkih rešetaka),
- poboljšanje vidljivosti u tunelima,
- telekontrolu pojave dima ili vatre,
- telemetriju meteoroloških uvjeta (temperatura, vlažnost, brzina vjetra, snijeg, kiša itd.),
- upravljanje promjenjivom prometnom signalizacijom, infopanoima, semaforima i radiokomunikacijskim porukama,
- navigacijske upute o trenutačno optimalnim prometnim smjerovima,
- uključivanje i regulaciju rasvjete,
- automatsko uključivanje gašenja požara u tunelu, itd. [1]

Slika 3. Primjer inteligentne prometnice



Izvor: [7]

Poboljšanje protočnosti, sigurnosti, udobnosti i zaštićenosti vozača i putnika te ekološka poboljšanja dio su učinaka ITS rješenja.

Inteligentnim vozilima nazivaju se vozila koja imaju dodatne funkcionalnosti kojima

se postiže prikupljanje i obrada podataka iz okruženja te automatizirana prilagodba kao pomoć ili zamjena za čovjeka odnosno vozača. Inteligentna vozila sve se više proizvode i upotrebljavaju što nije ni čudno budući da vozačima, kao i svim putnicima pružaju iznimnu udobnost i sigurnost. Automatsko upravljanje vozilom, držanje sigurnog razmaka te elektroničko vođenje autobusa i teretnih vozila posebnim prometnim trakom rješenja su inteligentnog vozila. Inteligentni sustavi vozila mogu biti autonomni ili kooperativni. Kod autonomnih inteligentnih sustava vozila instrumenti i inteligencija smješteni su u vozilu, dok kod kooperativnih inteligentnih sustava vozila asistencija dolazi od prometnice i/ili drugih vozila. Razvojem tehnologije sve se više inteligentna rješenja primjenjuju u suvremenim automobilima i u ostalim prometnim sredstvima.

ITS prilagodba uključuje:

- uređaje za upravljanje vozilom,
- uređaje za zaustavljanje vozila,
- uređaje za osvjetljavanje ceste,
- uređaje za davanje svjetlosnih znakova,
- uređaje za omogućavanje normalne vidljivosti,
- uređaje za kretanje vozila unatrag,
- uređaje za kontrolu i ispuštanje ispušnih plinova,
- uređaje za spajanje vučnog i priključnog vozila,
- ostale uređaje i opremu vozila. [1]

Svi ovi navedeni uređaji moraju biti izvedeni na način da pomognu vozaču i putnicima te im istovremeno omoguće sigurnost i udobnost tijekom putovanja. Uređaji za upravljanje vozilom moraju biti pouzdani i izvedeni na način da vozaču osiguravaju brzu, laku i sigurnu promjenu smjera vozila. Nadalje, uređaji za zaustavljanje vozila moraju biti izvedeni na način da se vozilo može zaustaviti sigurno i učinkovito bez obzira na razinu opterećenja i nagib ceste kojom se kreće. Isto tako, uređaji za osvjetljenje ceste, kao i ITS rješenja poboljšanja vidljivosti mogu znatno doprinijeti sigurnosti prometa.

Istraživanja pokazuju da je više od 95% svih odluka koje vozač donosi u vožnji vezano za osjet vidljivosti. ITS rješenja omogućuju:

- poboljšano uočavanje objekata,
- prilagođavanje na svjetlo i tamu pri izlasku iz tunela i ulasku u tunel,
- bolje uočavanje prometnih znakova i poruka, itd. [1]

Neka inteligentna rješenja koja trenutno susrećemo u suvremeno opremljenim prometnim sredstvima su: sustav automatskog kočenja kod opasnosti od sudara sa i bez detekcije pješaka (PCS – *Pre-Collision System*), sustav upozorenja prilikom napuštanja prometne trake s pomoći i korekcijom upravljača (LDA – *Lane Departure Alert*), sustav automatskog prebacivanja između dugih i kratkih svjetala (AHB – *Automatic High Beam*), sustav prepoznavanja prometnih znakova (RSA – *Road Sign Assist*), tempomat s prilagodbom brzine pomoću radara (ACC – *Adaptive Cruise Control*), jednostavni inteligentni sustav parkiranja (IPA – *Intelligent Park Assist*), nadzor mrtvog kuta (BSM – *Blind Spot Monitoring*), detekcija stražnjeg poprečnog prometa (RCTA – *Rear Cross Traffic Alert*), sustav protiv blokiranja kotača (ABS – *Anti-lock Braking System*), elektronička raspodjela kočione sile (EBD – *Electronic Brake-force Distribution*), sustav upozorenja pri naglom kočenju (EBS – *Electronic Brake Signal*), kontrola proklizavanja pogonskih kotača (TCS – *Traction Control System*), sustav nadzora stabilnosti vozila uz pomoć upravljača (VSC – *Vehicle Stability Control*). [8]

Sustav automatskog kočenja kod opasnosti od sudara sa i bez detekcije pješaka (PCS) koristi radar s kamerom za detekciju objekata ispred vozila i, posljedično, predikciju mogućih sudara s ostalim sudionicima u prometu ili preprekama na putu. [8] U slučaju rizika od sudara, vozač je upozoren zvučnim i vizualnim upozorenjima koja se nalaze na kontrolnoj ploči automobila. Ako vozač ne uspije pravodobno reagirati i stisnuti papučicu kočnice, PCS sustav pokreće potpuno i samostalno kočenje te na taj način sprječava ili umanjuje posljedice, odnosno udar u vozilo ili objekt ispred.

Sustav upozorenja prilikom napuštanja prometne trake s pomoći i korekcijom upravljača (LDA) radi na minimalnoj brzini od 50 km/h i na relativno ravnoj cesti. Osmišljen je na način da pokušava odrediti položaj vozila u svojoj traci pomoću kamere namijenjene otkrivanju vidljivih bijelih i žutih uzdužnih linija horizontalne signalizacije na cesti, te ukoliko vozilo počne izlaziti iz vozne trake bez uključivanja pokazivača smjera vozač bude upozoren zvučno i vizualno.

Sustav automatskog prebacivanja između dugih i kratkih svjetala (AHB) pomaže u osiguravanju izvrsne vidljivosti ispred vozila tijekom noćne vožnje bez zasljepljivanja ostalih sudionika u prometu. Sustav koristi kameru za detekciju prednjih svjetala nadolazećih vozila i stražnjih svjetala vozila ispred, te se automatski prebacuje između dugih i kratkih svjetala kako ne bi došlo do zasljepljivanja ostalih sudionika. U uvjetima slabog osvjetljenja pri brzinama nešto iznad 30 km/h duga svjetla se automatski aktiviraju, zatim se koristi kamera u vozilu kako bi se uočila svjetlost nadolazećih vozila i stražnja svjetla vozila

ispred. Ako kamera otkrije jedan od navedenih izvora svjetlosti ili ako brzina padne ispod približno 27 km/h, sustav se automatski prebacuje na kratka svjetla. [8]

Sustav prepoznavanja prometnih znakova (RSA) osmišljen je i izveden na način da koristi kameru za prepoznavanje prometnih znakova te informira vozače. U slučaju da vozač ne poštuje prometne znakove, sustav osigurava vizualno upozoravanje vozača paljenjem lampica na upravljačkoj ploči uz zvučno upozorenje.

Tempomat s prilagodbom brzine pomoću radara (ACC) je sustav koji pomoću radara održava minimalnu namještenu udaljenost do vozila ispred u istoj voznoj traci. Kada se udaljenost između vozila smanji, sustav smanjuje brzinu i, po potrebi, aktivira sustav za kočenje, a kada se udaljenost ponovo poveća, sustav postupno ubrzava vozilo sve dok se ne vrati na prethodno odabranu brzinu.

Jednostavni inteligentni sustav parkiranja (IPA) osmišljen je kako bi pomogao vozaču prilikom parkiranja vozila na način da koristi ultrazvučne senzore u prednjem i stražnjem odbojniku vozila za prepoznavanje odgovarajućeg parkirnog mjesta. Kad se sustav aktivira, automatski upravlja vozilom, dok vozač mora kontrolirati brzinu vožnje.

Nadzor mrtvog kuta (BSM) omogućava vozaču sigurnije manevriranje tijekom promjene vozne trake. Ako stražnji radarski senzori detektiraju vozilo u bočnom ili stražnjem mrtvom kutu vozila, u odgovarajućem retrovizoru upaliti će se svjetlo upozorenja. Ako se upali pokazivač smjera, a vozilo se nalazi u mrtvom kutu, svjetlo upozorenja će treptati kako bi upozorilo da se ne krene u promjenu vozne trake. [8]

Detekcija stražnjeg poprečnog prometa (RCTA) omogućava siguran izlazak unatrag iz parkirnog mjesta na način da sustav detekcije prepoznaje druga vozila koja se približavaju mrtvom kutu te ako je potrebno upozorava vozača zvučnim i vizualnim signalima.

Sustav protiv blokiranja kotača (ABS) počinje se ugrađivati u vozila 80-ih godina prošlog stoljeća te se za njega može reći kako je najvažniji dio sigurnosne opreme vozila. ABS sustav radi na način da sprječava blokiranje kotača pri kočenju i time omogućuje lakše upravljanje automobilom prilikom snažnog kočenja. Na vlažnim i skliskim podlogama povećava stabilnost vozila te omogućava kraći zaustavni put, dok na mekanim podlogama, kao što su makadam ili snijeg, produžuje zaustavni put i ujedno poboljšava kontrolu nad vozilom.

Osnovni sastavni dijelovi ABS sustava su:

1. senzori brzine – mjere brzinu kretanja vozila i brzinu okretanja kotača,
2. ventil – služi za popuštanje pritiska kočnice,
3. pumpa – služi za vraćanje pritiska kojeg ventil smanjuje,
4. kontroler „mozak“ ABS sustava – računalo koje upravlja radom ABS sustava, prima informacije od senzora te automatski aktivira ventil koji zatvara pritisak na kočnice. [9]

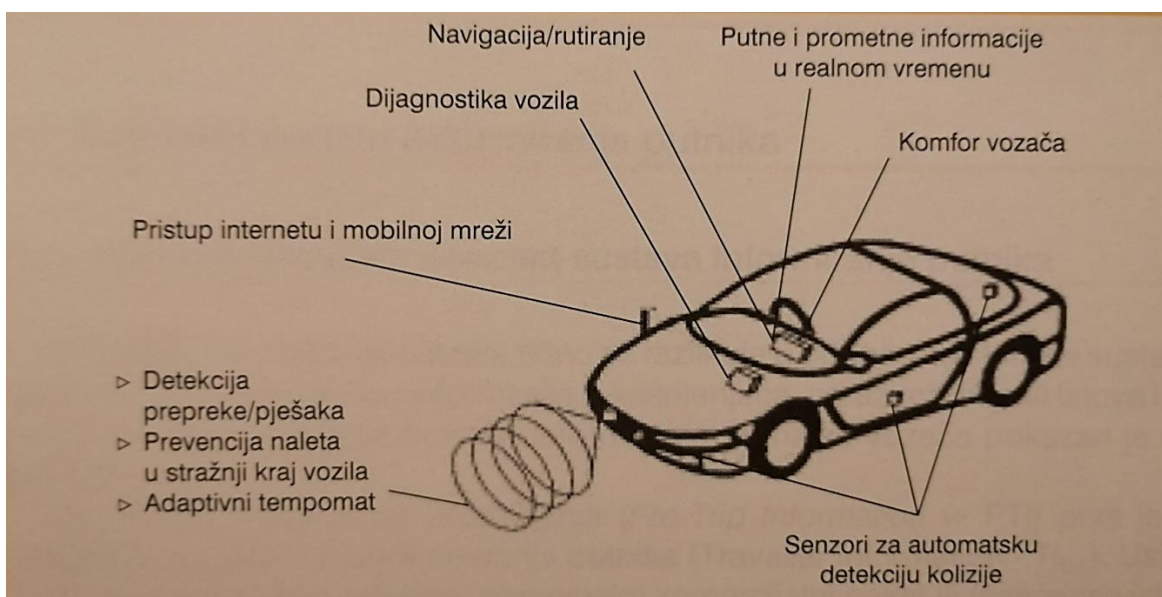
Elektronički uređaj za raspodjelu kočne sile (EBD), kao što mu i sam naziv kaže, ima za zadaću raspodijeliti kočnu silu na kotače ovisno o njihovom opterećenju, odnosno prijanjanju na podlogu. EBD sustav ugrađuje se uz svaki suvremeni ABS sustav.

Sustav upozorenja pri naglom kočenju (EBS) pomaže smanjiti rizik od udara u stražnju stranu vozila. Osmišljen je na način da se tijekom naglog kočenja automobila svjetla za upozorenje (najčešće su to stop svjetla) počnu paliti i gasiti velikom brzinom kako bi vozila iza bila upozorena na iznenadnu opasnu situaciju u prometu ispred njih. Vozač u automobilu iza mora brzo reagirati kako bi pokušao izbjeći udar u vozilo ispred sebe i pokušao održati sigurni razmak. [8]

Sustav kontrole proklizavanja pogonskih kotača (TCS) osmišljen je na način da prepoznaje okretanje pogonskih kotača „u prazno“ tijekom ubrzavanja, te automatski smanjuje snagu motora kako bi se vratilo adekvatno prijanjanje kotača uz podlogu. Zahvaljujući TCS sustavu osigurava se bolji prijenos snage na cestu, povećava životni vijek pneumatika i povećava sigurnost prometa.

Kontrola stabilnosti vozila (VSC) je sustav koji je osmišljen da ima funkciju sprječavanja klizanja vozila bočno, u zavoju ili prilikom iznenadnog okretanja upravljača, odnosno stabilizira vozilo i pokušava ga vratiti u položaj prije zanošenja. U tom trenutku se kočenje automatski primjenjuje na sva četiri kotača, dok se snaga motora smanjuje kako bi se osigurala sigurnost vozila. Također, sustav neće moći kvalitetno kontrolirati vozilo ako su gume potrošene. Najčešće se angažira tijekom pogrešno procijenjenog naglog skretanja i vodenog klina. Djeluje na svim voznim površinama i pokazao se učinkovitim kao sredstvo održavanja kontrole vozila i smanjenja nesreća. [8] Dinamičan razvoj područja inteligentnih vozila je sadašnjost, dok se u budućnosti očekuju brojna nova ITS rješenja vezana uz inteligentna vozila.

Slika 4. Oprema inteligentnog osobnog vozila



Izvor: [1]

3.2 Intelligentni sustavi informiranja putnika i vozača

Intelligentni sustavi informiranja putnika i vozača sustav su složen od usluga predputnih i putnih informacija, obavješćavanja u javnom prijevozu te rutiranja i navigacije osobnih vozila na putu od polazišta do odredišta. U funkcionalnom području informiranja putnika (TI – *Traveller Information*) prva je ITS usluga predputnog informiranja (PTI – *Pre-Trip Information*).

Svrha sustava PTI je pružiti korisnicima prije početka putovanja kvalitetne ažurne podatke, odnosno informacije koje će omogućiti donošenje bolje odluke o:

- načinu putovanja,
- modu,
- ruti,
- vremenu polaska, itd.

Informacije se mogu odnositi na:

- planiranje putovanja javnim prijevoznim sredstvima,
- stanje na cestovnim prometnicama,
- vremenske prilike (snijeg, kiša, led, magla i sl.),
- mjesta mogućeg parkiranja (P&R terminali),

- vozne redove u željezničkom, zračnom i vodnom prometu,
- turističke i ugostiteljske sadržaje,
- korisne obavijesti vezane uz putovanje i dr. [1]

Predputne informacije dostupne su korisniku putem različitih telekomunikacijskih medija, a dva su načina dobivanja informacija. Prvi način dobivanja informacija je kada korisnik interaktivnim upitom dobiva traženu informaciju i na taj način planira putovanje ili način putovanja ovisno o stanju na prometnicama. Drugi je pak način radijska i televizijska distribucija informacija, s tim da takve informacije nisu usmjerene na individualnog korisnika.

ITS usluga putne informacije vozaču (ODI – *On-Trip Driver Information*) realizira se kao samostalni sustav ili integrirana s drugim informacijskim uslugama. Osmišljena je kako bi vozaču i putnicima pružila kvalitetne informacije o prometnim uvjetima, kako prije, tako i nakon kretanja na put. Zahvaljujući ODI uslugama vozač ili putnici u vozilu mogu donijeti bolje odluke glede korištenja rute, promjene načina, odnosno moda putovanja (*Park and Ride* sustavi).

Putne informacije vozaču u pravilu se odnose na:

- uvjete na prometnici,
- nezgode i nesreće na cesti,
- posebne događaje (utakmice, štrajk i sl.), koji utječu na odvijanje prometa,
- nastale promjene nakon što su dane predputne informacije,
- raspoloživa parkirna mjesta (P&R) nakon kojih se može nastaviti putovanje javnim prijevozom,
- alternativne rute i modove na mjestima njihova sučeljavanja,
- atraktivna turistička ili zabavna događanja. [1]

ITS usluga putne informacije o javnom prijevozu (OPI – *On-Trip Public Transport Information*) realizira se samostalno ili integrirano s uslugama informiranja putnika ili s drugim gradskim informacijskim uslugama. Svrha ove ITS usluge je poticanje što većeg korištenja javnog gradskog prijevoza na način da se korisnici tih usluga što bolje informiraju. Informacije ove usluge raspoložive su korisnicima na različitim mjestima (dom, ulica, ured, kolodvor).

Još jedna usluga koja pripada skupini putnih informacija je ITS usluga rutni vodič i navigacija (RGN – *Route Guidance and Navigation*). Ova je usluga realizirana putem

relativno samostalnog sustava ili u okviru sustava lokacije i navigacije. Navigacijski sustavi vozila temelje se na zemaljskim i satelitskim sustavima. Razlika između zemaljskih i satelitskih navigacijskih sustava je u tome što satelitski navigacijski sustavi omogućuju pokrivenost na područjima koja zemaljski sustavi ne pokrivaju. ITS usluga RGN iznimno je popularna i općeprihvaćena što nije ni čudno budući da korisnicima izračunava optimalnu rutu te ih glasovnim i pismenim uputama vodi ka odredištu, koristeći pritom stvarnovremenske informacije te na taj način izbjegava rute na kojima su prometna zagušenja. Razlikujemo tri načina rutnog vođenja: autonomni rutni vodič (*Autonomous Route Guidance*), centralizirani dinamički rutni vodič (*Centralised Dynamic Route Guidance*) te dualni mod rutnog vodiča (*Dual Mode Route Guidance*).

Autonomni rutni vodič (*Autonomous Route Guidance*) radi na principu izračunavanja optimalne rute. Vozač ima zadatak upisati odredište na koje želi stići, a navigacijsko računalo određuje optimalnu rutu temeljem trenutne lokacije vozila i digitalne karte. U slučaju da vozač greškom napusti dobivenu rutu, sustav to prepoznaje te daje novi plan putovanja do na početku postavljenog odredišta. Sastavnice autonomnog navigacijskog sustava ugrađenog u vozilo čine: navigacijsko računalo, GPS prijamnik, senzori na kotačima vozila, magnetski kompas, CD ili DVD *player* te cestovna digitalna mapa. Kako bi se postigla što veća preciznost koriste se višesenzorski sustavi s relativnim senzorima.

U centraliziranom dinamičkom rutnom vodiču (*Centralised Dynamic Route Guidance*) obrada zahtjeva obavlja se u središnjem računalu prometnog informacijskog centra koje raspolaže dinamičkim podacima o stanju prometa. Nakon zahtjeva iz vozila u središnjem računalu izračunava se optimalna ruta i skup uputa šalje se natrag vozilu na svakom raskrižju. Vozilo je opremljeno dupleksnim komunikacijskim sustavom te koristi infracrvene usmjerivače (*infrared beacons*) raspoređene na gradskim raskrižjima. Digitalna mapa u opremi vozila nije neophodna. [1]

Dualni mod rutnog vodiča (*Dual Mode Route Guidance*) kombinacija je prethodna dva rutna vodiča, a omogućuje obradu stvarnovremenskih podataka o prometu.

3.3 Inteligentno upravljanje prometom i transportom

Vođenje prometnog toka (*traffic control*) i „integrirano upravljanje prometom“ (*integrated traffic and transport management*) u ITS okruženju razlikuju se u pristupu, sadržaju i razini integracije. [1]

Vođenje prometa (*traffic control*) odnosi se na upravljanje prometnim tokovima, kako u mreži gradskih prometnica, tako i izvan gradova (na autocestama i dr.). Primjeri tih usluga

su: adaptivno upravljanje prometnim svjetlima odnosno semaforima, promjenjive prometne poruke, kontrola pristupa na autocestu, kontrola brzine, upravljanje parkiranjem, itd. [4] Svrha upravljanja prometom (MT – *manage traffic*) je određivanje razine usluge na nekoj prometnici. Za operativni kapacitet prometne mreže može se reći kako je određen razinom investiranja ili izgrađenosti osnovne infrastrukture i kvalitetom prometa. Nadalje, svrha integriranog upravljanja prometnim tokom vozila i javnim prijevozom je omogućavanje povećanja operativnog kapaciteta pritom dajući prioritet određenim vozilima, točnije vozilima javnog prijevoza i žurnih službi.

Ključne operativne zadaće MT_{ITS} su:

- kontrola pristupa na mrežu,
- ublažavanje posljedica zagušenja na prometnicama i njihovim sučeljima prema drugim modovima,
- rješavanje uskih grla zbog incidentnih događaja,
- postizanje zadovoljavajuće razine sigurnosti u prometu,
- prometna logistika specijalnih sportskih, političkih, vjerskih, zabavnih događaja,
- kontrola nepovoljnih utjecaja na odvijanje prometnog toka (vremenske neprilike, agresivna vožnja, itd.)
- preraspodjela modova prema korištenju učinkovitijih modova javnog prijevoza. [1]

Europska arhitektura funkcionalno područje podijelila je na pet funkcija visoke razine, a to su: vođenje prometnog toka, upravljanje incidentnim situacijama, upravljanje potražnjom, pružanje meteoroloških informacija te održavanje cesta. Dva su osnovna načina vođenja protoka kod upravljanja prometom – centralizirano odnosno automatsko i individualno vođenje.

Centralizirano (automatsko) vođenje podrazumijeva:

- osiguranje ekskluzivnoga korištenja kapaciteta prometnice (gdje neće biti ometanja drugih),
- razmaci između vozila su predeterminirani za sigurno odvijanje prometa,
- prometni podaci se prikupljaju i obrađuju u realnom vremenu,
- odluke su programirane i korektivno djelovanje je incidentno.

Individualno vođenje podrazumijeva:

- zajedničko korištenje raspoloživih kapaciteta prema utvrđenim pravilima,
- razmaci između vozila ovise o individualnoj sposobnosti (vozača, pilota, kapetana itd.),
- prometni podaci se individualno prikupljaju i obrađuju u realnom vremenu,
- odluke su trenutačne i nisu programibilne. [1]

Nadzor i otklanjanje incidenata na prometnicama (*Transport Related Incident Management*) je područje detektiranja, odziva i raščišćavanja incidenata nastalih na prometnicama ili u njihovoj neposrednoj blizini. Osim djelovanja nakon što je određeni incident nastao, područje nadzora i otklanjanja incidenata na prometnicama obuhvaća predviđanje i prevenciju nezgoda.

Težište je na prometnim nezgodama i nesrećama iako sustav uključuje odziv na druge uzroke malih incidenata (puknuće gume, nestanak vozila, itd.) te velikih nesreća i katastrofa (potresi, klizanje terena, veliki požari i sl.). [1]

Nadalje, upravljanje potražnjom može se definirati kao skup usluga kojima se djeluje na razinu potražnje u različitim vremenskim intervalima dana i na promjenu moda. Usluge upravljanja potražnjom su: upravljanje tarifama javnog prijevoza, kontrola pristupa pojedinim gradskim zonama, cijene parkiranja, naplata doprinosa zagušenju, uvođenje posebnog prometnog traka za osobna vozila s više putnika.

Upravljanje održavanjem transportne infrastrukture je skupina usluga koja se temelji na aplikaciji ITS tehnologija u upravljanju održavanjem cestovnih prometnica, odnosno pripadajuće komunikacijske i informatičke infrastrukture. [1]

Nadzor kršenja prometne regulative radi na principu automatskog detektiranja tipa vozila, registracijske pločice, prekoračenja brzine uz efikasne *backoffice* procedure. Područje prijevoza tereta objedinjuje usluge administriranja komercijalnih vozila, multimodalne logistike i međusobne koordinacije prijevoznika i ostalih aktera uključenih u proces prijevoza tereta. Neke od tih usluga su: upravljanje intermodalnim informacijama o prijevozu robe, upravljanje (menadžment) intermodalnim centrima, upravljanje opasnim teretima i automatska provjera dokumenata vozila.

Područje javnog prijevoza definiralo je više usluga koje omogućuju redovite i učinkovite radnje javnog prijevoza uz pružanje pravovremenih informacija korisnicima.

Područje usluga žurnih službi objedinjuje funkcionalne procese koji omogućuju brzu i učinkovitu intervenciju kako hitne pomoći, vatrogasaca i policije, tako i ostalih žurnih službi.

U području elektronička plaćanja vezana za transport nalaze se usluge:

- elektronička naplata javnog prijevoza,
- elektronička naplata cestarine,
- elektronička naplata parkiranja,
- daljinska plaćanja, itd. [1]

Kao primjer elektroničke naplate cestarine može se navesti sustav ENC, koji je zastupljen na autocestama u Republici Hrvatskoj.

Elektronička naplata cestarine (ENC) metoda je beskontaktna naplate bez posredovanja blagajnika, a proces naplate cestarine odvija se pomoću ENC-uređaja smještenog na vjetrobranskom staklu vozila i antene na naplatnoj stazi. ENC-uređaj mogu koristiti korisnici svih skupina vozila (IA, I, II, III i IV skupine). [10]

Proces naplate cestarine vrši se na sljedeći način: naplata cestarine vozila je tipa *stop and go*. Kada se vozilo opremljeno ENC uređajem približava izlaznoj hibridnoj traci koja je opremljena ENC sustavom, antena na nadstrešnici detektira prisutni ENC uređaj, čita pohranjene podatke, te ako je komunikacija uspješna, na ekranu se prikazuje kategorija vozila, iznos cestarine, sredstvo plaćanja i preostalo stanje na računu, brklja se diže i vozilo napušta izlazni trak. [11]

Vezano uz inteligentno upravljanje prometom i transportom treba izdvojiti adaptivno upravljanje prometom na semaforiziranim raskrižjima do čije potrebe dolazi zbog toga što na raskrižjima gdje se promet regulira nekoordiniranim i neadaptivnim svjetlosnim signalima česta su i nepotrebna zaustavljanja prometnog toka.

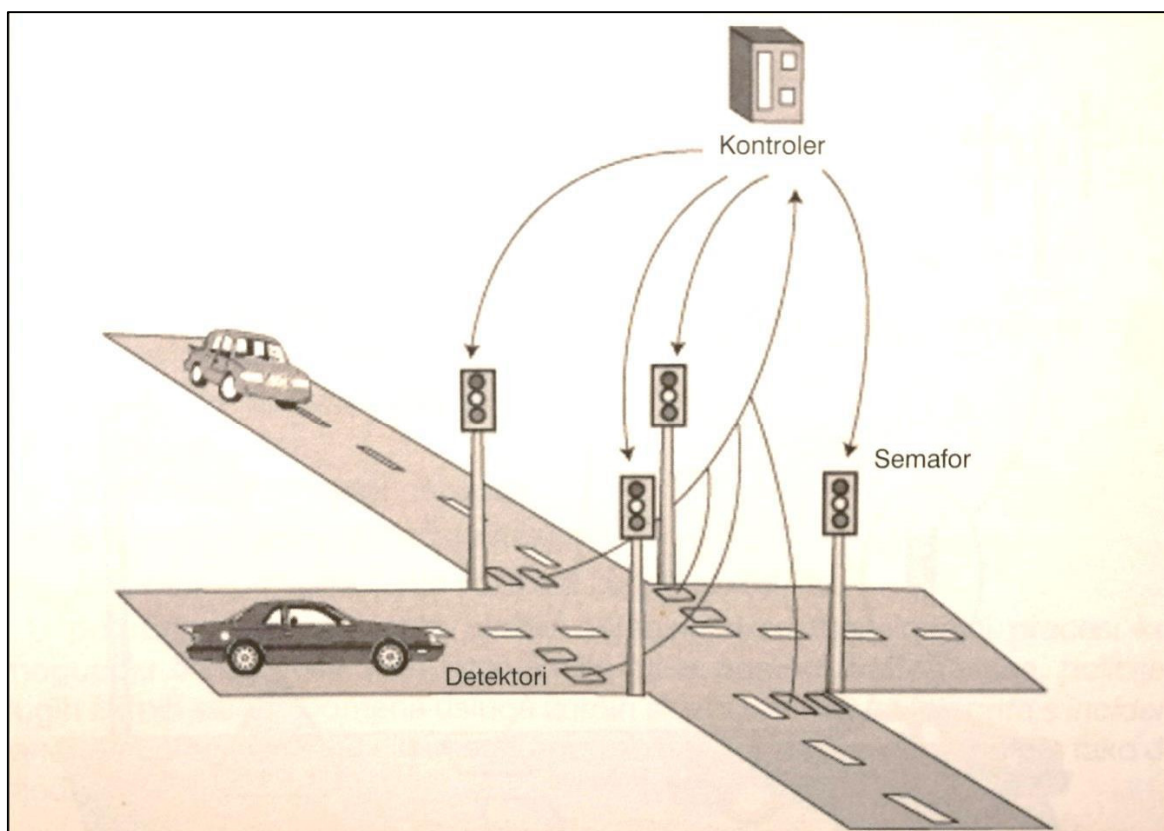
ITS rješenje adaptivnog vođenja prometnog toka povećava propusnu moć tako da se redoslijed odlučivanja i trajanje ciklusa stalno prilagođavaju promjenjivim potrebama prometnog toka i uvjetima okruženja. [1] Bez obzira što je adaptivni sustav kompleksniji od koordiniranog fiksnog režima rada semafora, postiže bolje rezultate glede smanjivanja ukupnih vremenskih gubitaka. Efikasnost funkcioniranja sustava upravljanja prometom ogleda se kroz neke od sljedećih parametara: vremenske gubitke, veličine reda čekanja, prosječno vrijeme putovanja zonom, rizik od nastajanja prometnih nesreća, maksimalno individualno čekanje te maksimalnu duljinu reda oko raskrižja. Vremenski gubici (*delays*) u praktičkim proračunima izražavaju se u sekundama po vozilu. U tablici 1. prikazani su učinci integracije ITS rješenja i to: adaptivnog odnosno dinamičkog upravljanja prometnim tokom, adaptivnog upravljanja zajedno s putnim informiranjem te adaptivnog upravljanja s putnim informiranjem i upravljanjem potražnjom.

Tablica 1. Koristi integracije ITS rješenja

	Adaptivno vođenje prometa (ATC)	ATC+ informiranje vozača (DRI)	ATC+DRI+upravljanje potražnjom (DM)
uštede vremena za osobna vozila	do 20%	do 22% (na čitavom putu)	>22%
uštede vremena javnog prijevoza	do 15%	do 20%	>20%
smanjenje onečišćenja okoliša	5-7% lokalno	do 18% lokalno do 8% globalno	do 21% lokalno do 11% globalno

Izvor: [1]

Slika 5. Adaptivno upravljanje prometnim svjetlima

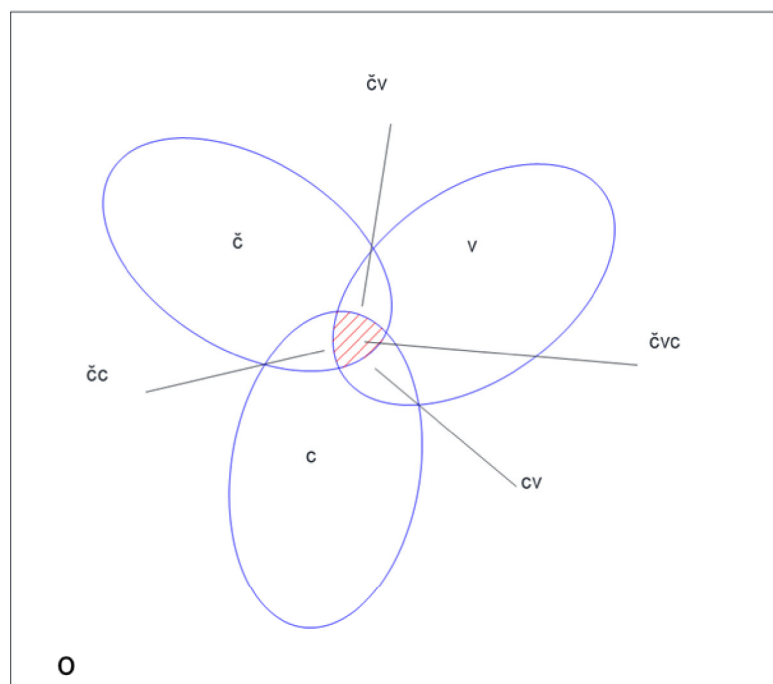


Izvor: [1]

3.4 ITS kao čimbenik sigurnosti u prometu

Da bi se sustavno istražila prometna sigurnost potrebno je odlično razumijevanje interakcije tri osnovna čimbenika sigurnosti prometa – čovjek – vozilo – cesta (okolina).

Slika 6. Interakcije čovjek - vozilo - cesta



Izvor: [12]

Interakcije tri osnovna čimbenika sigurnosti prometa vrlo su važne za sigurnost i upravljanje prometom, kao i za dizajniranje prometnica. Na ponašanje čovjeka kao čimbenika sigurnosti u prometu utječu: osobne značajke, psihofizičke karakteristike te obrazovanje i kultura. Pod osobne značajke čovjeka ubrajaju se: sposobnost obilježena brzinom reagiranja, registriranja i rješavanja, stajališta, koja mogu biti privremena i stalna, temperament odnosno psihičke osobine čovjeka povezane s emocijama, osobne crte – samopouzdanje, samokritičnost, upornost, marljivost, dominacija, agresivnost, te karakter koji se može opisati kao moral čovjeka i odnos prema ljudima. U psihofizičke karakteristike spadaju: funkcije organa osjeta, psihomotoričke sposobnosti i mentalne sposobnosti. Obrazovanje se postupno stječe kroz život, dok se kultura može definirati kao cjelokupno društveno nasljeđe neke grupe ljudi.

Vozilo je određeno svojom duljinom širinom, visinom, težinom, konstrukcijom, polumjerom kruga okretanja, snagom motora, gumama, kočnicama, itd. Svojstva komponente „cesta“ određena su: vođenjem ceste, širinom traka, kvalitetom kolničkog zastora, širinom bankine, odvodnjom vode, nečistoćama na kolniku. [1]

Uvođenje ITS-a sadrži brojne prednosti sa stajališta sigurnosti u prometu. Veća sigurnost u odvijanju prometa, smanjenje broja žrtava u prometnim nesrećama i brži odziv žurnih službi samo su neke od njih.

ITS usluge, odnosno suvremena telekomunikacijska rješenja, znatno mogu povećati učinkovitost i sigurnost odvijanja prometnog procesa unutar prometnog sustava koristeći telekomunikacijskog operatora. [13] ITS tehnologije koje smanjuju rizik od sudara, ITS tehnologije koje smanjuju posljedice sudara i ITS tehnologije koje utječu na izloženost riziku od sudara neke su od ITS tehnologija koje znatno utječu na poboljšanje sigurnosti u prometu.

Uvjerljivi razlozi „za” ITS slijede iz poraznih podataka o sigurnosti i eksternim troškovima odvijanja prometa. Prema podacima organizacije WHO³, preko 1,2 milijuna ljudi svake godine smrtno strada u prometu, a 50 milijuna biva ozlijeđeno. Ukupni izravni i eksterni troškovi prometnih nesreća iznose 3 do 4 % BDP-a pojedinih zemalja. [14] Upravo iz ovih razloga osmišljene su neke ITS sigurnosne aplikacije i ITS sigurnosna rješenja koja poboljšavaju sigurnost prometa na cestama. Primjeri tih sigurnosnih aplikacija i rješenja su: promjenjivi znakovi, inicijativa Europske unije e-sigurnost (*eSafety*), sustav e-poziv (*eCall*) i video detekcija incidenata.

Promjenjivi prometni znakovi koriste se za upravljanje prometnim tokom, smanjenje zagušenja i incidenata te za razne druge informacije korisne u prometu. Inicijativa Europske unije e-sigurnost (*e-safety*) osmišljena je kako bi znatno poboljšala sigurnost svih sudionika u prometu na cestama i autocestama u zemljama članicama. Sustav e-poziv (*eCall*) kao glavnu zadaću ima povećati sigurnost u cestovnom prometu. Radi na principu obavještanja operativno komunikacijskog centra (PSAP⁴) u trenutku prometne nesreće, dajući operateru važne informacije. GPS komponenta sustava *eCall* omogućit će hitnim službama da odu na točno mjesto incidenta bez trošenja dragocjenih minuta u potrazi za pozivateljem. Video detekcija incidenata koristi algoritme koji prepoznaju i razlikuju normalan tok prometa od okolnosti povezanih s incidentima i prometnim nesrećama. [15] Uz navedene aplikacije i sustave važno je spomenuti i policijske kamere za nadzor brzine kao jedan od ključnih faktora smanjenja brzine vožnje na određenim dionicama. Uzevši u obzir kako se brzina smatra jednim od četiri „ubojice“ u prometu, kamere za nadzor brzine izuzetno su praktično i korisno ITS pomagalo s ciljem poboljšanja sigurnosti u prometu.

Najugroženija skupina sudionika u prometu su pješaci. Pitanje sigurnosti pješaka jedno je od rijetkih područja na kojima su razvijene posebno prilagođene ITS aplikacije, a

³ WHO – *World Health Organization* (svjetska zdravstvena organizacija)

⁴ PSAP – *Public Service Answering Point* (operativno komunikacijski centar)

inicijative ITS-a u Japanu i Europi usredotočene su na razvoj sustava za otkrivanje i zaštitu pješaka. Uređaji za upozoravanje i ograničavanje brzine vjerojatno će donijeti najveće koristi u smanjenju incidencije i ozbiljnosti sudara koji uključuju pješake. [16]

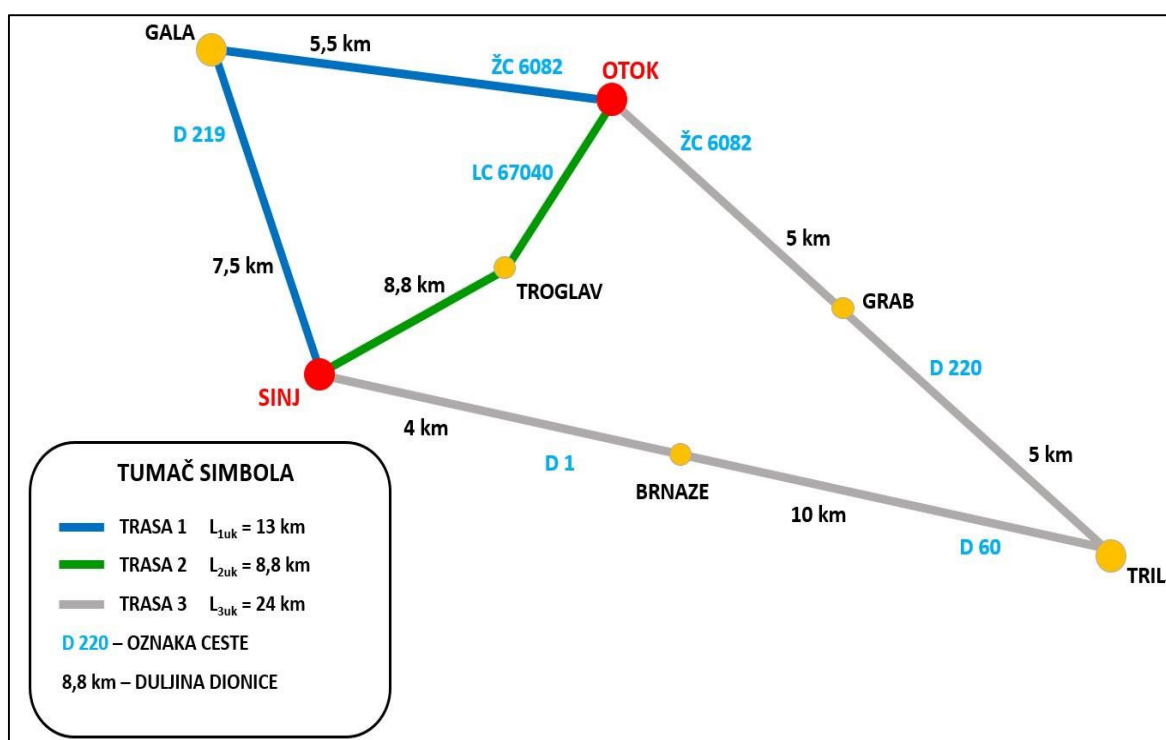
Nadalje, upravljanje incidentnim situacijama možemo opisati kao koordiniran skup aktivnosti pomaganja unesrećenima, uklanjanja vozila i normaliziranja prometnog toka nakon nastanka prometne nesreće ili uslijed druge incidentne situacije kao što su kvar vozila ili puknuće gume. Sustavi incidentnih situacija dijele se u dvije skupine: sustav za upravljanje zagušenjima i sustav za intervencije uslijed nastanka prometne nesreće ili druge incidentne situacije na prometnici. Pri nastanku incidentnih situacija na prometnicama ključni zahtjevi su brz odziv policije i ostalih žurnih službi.

Spašavanje stradalih u prometnim nezgodama RSIM (*Rescue Service Incident Management*) predstavlja jednu od traženijih implementacija ITS-a u razvijenim zemljama. Nakon nastanka nezgode iz vozila se aktivira signal (aktiviranjem zračnog jastuka ili ručno) i šalje do RSIM centra. Pozicija vozila se precizno utvrđuje preko globalnih satelitskih pozicijskih/navigacijskih sustava. Sustavi automatskog praćenja i davanja prioriteta omogućuju najbližem vozilu da najkraćom rutom dođe do mjesta nezgode. [1] Brze i precizne aktivnosti upravljanja incidentnima od ključne su važnosti budući da umanjuju negativne posljedice nastanka incidenata, a brzi dolazak medicinske pomoći može činiti razliku između života i smrti. Četiri su sekvencijalne faze upravljanja incidentnim situacijama, a to su: detekcija, odziv, raščišćavanje i obnavljanje. Detekcija podrazumijeva prostorno-vremensko određivanje nastale incidentne situacije, a verifikacija određivanje tipa i lokacije. Raščišćavanje i obnavljanje su procesi vraćanja prometnog toka u normalu.

4. PRIMJENA ITS-a PRI KOMPARACIJI I ODABIRU NAJPOVOLJNIJE TRASE PROMETNICE

Predmetno istraživanje provedeno je nad tri trase prometnica. Sve tri trase nalaze se u Splitsko-dalmatinskoj županiji, točnije u Dalmatinskoj zagori te povezuju mjesto Otok s gradom Sinjom. Prva trasa povezuje Otok sa Sinjom preko naselja Gala prolazeći dionicom županijske ceste ŽC 6082 ukupne duljine $L_{1.1} = 5,5$ km te dionicom državne ceste D 219 ukupne duljine $L_{1.2} = 7,5$ km. Druga trasa izravno povezuje Otok sa Sinjom prolazeći dionicom lokalne ceste LC 67040 ukupne duljine $L_{2uk} = 8,8$ km, dok treća trasa Otok i Sinj povezuje prolazeći dionicama četiriju cesta i to: dionicom županijske ceste ŽC 6082 ukupne duljine $L_{3.1} = 5$ km te dionicama državnih cesta D 220 ukupne duljine $L_{3.2} = 5$ km, D 60 ukupne duljine $L_{3.3} = 5$ km i D 1 ukupne duljine $L_{3.4} = 4$ km, kroz naselja Grab, Košute, Turjaci i Brnaze te Grad Trilj.

Slika 7. Prikaz kompariranih trasa



Izvor: izradio autor

Mjesto Otok nalazi se 40-ak kilometara sjeveroistočno od Splita te je sjedište istoimene općine. Prema popisu stanovništva iz 2011. godine, Općina je brojala 5474 stanovnika, od čega sam Otok 3090.

Sinj je grad u Hrvatskoj, koji administrativno pripada Splitsko-dalmatinskoj županiji. Središte je Sinjske, a samim time i Cetinske krajine. Prema posljednjem popisu stanovništva provedenom 2011. godine Sinj s užom okolicom broji 24 832 stanovnika, dok u samom gradu živi 11 448 stanovnika. Sa stajališta prometa može se izdvojiti kako kroz grad Sinj prolazi državna cesta D 1. [19]

Trilj je grad u Dalmatinskoj zagori koji prema posljednjem popisu stanovništva iz 2011. godine s užom okolicom broji 9108 stanovnika, dok u samom gradu živi 2046 stanovnika

Predmetnim istraživanjem izvršiti će se izbor i rangiranje kriterija najpovoljnije varijante trase prometnice kroz izbor četiri skupine kriterija modela prometne optimizacije jasno podijeljenih na potkriterije.

4.1 Osnovni elementi modela prometne optimizacije

Sastavnice modela prometne optimizacije su: tehničko-tehnološki, prometno-tehnološki, ekonomski i ekološki parametri, a prikazani su u tablici 2. Nabrojeni parametri čine polazne osnove izrade modela prometne optimizacije.

Tablica 2. Sastavnice modela prometne optimizacije

R. b.	KRITERIJ	POTKRITERIJ
1.	Tehničko-tehnološki	Duljina trase Računska brzina Prosječna brzina putovanja Prosječno vrijeme putovanja Prosječno vrijeme čekanja
2.	Prometno-tehnološki	Broj semaforiziranih raskrižja Broj nesemaforiziranih raskrižja Broj pješačkih prijelaza Broj autobusnih stajališta na cesti Broj mjesta usporavanja prometa Broj prometnih traka
3.	Ekonomski	Troškovi izgradnje ceste Troškovi izgradnje objekata Troškovi održavanja Troškovi izrade projektne dokumentacije
4.	Ekološki	Razina buke Vibracija Zagađenje zraka

Izvor: [17]

Kao što je prikazano u tablici 2. u tehničko-tehnološke kriterije odnosno parametre ubrajaju se: duljina trase, računska brzina, prosječna brzina putovanja, prosječno vrijeme putovanja i prosječno vrijeme čekanja.

- **Duljina trase** predstavlja udaljenost od početne do krajnje točke određene trase koja se najčešće izražava u kilometrima. Rangiranje može biti od broja 1 do N. Rang 1 podrazumijeva najpovoljnije rješenje, a rang N najnepovoljnije rješenje.
- **Računska brzina** je voznodinamička veličina na temelju koje se određuju geometrijski elementi trase (poprečni nagib u zavojima, preglednosti, polumjeri vertikalnih zavoja). [18] Rangiranje se provodi od broja 1 koji predstavlja najpovoljnije rješenje, do N, odnosno najnepovoljnije rješenje.
- **Prosječna brzina putovanja** predstavlja postignutu brzinu na putovanju uključujući čekanja i zastoje. Rangiranje je kao i kod ostalih potkriterija (1-N).
- **Prosječno vrijeme čekanja** definira se po trasama, a uključuje čekanja na raskrižjima, autobusnim stajalištima na cesti te pješačkim prijelazima. Rangiranje je kao i kod ostalih potkriterija u rasponu od 1 do N.

Prometno-tehnološke parametre modela prometne optimizacije čine: broj semaforiziranih i nesemaforiziranih raskrižja, broj pješačkih prijelaza, broj autobusnih stajališta na cesti, broj mjesta usporavanja prometa te broj prometnih trakova.

- **Broj semaforiziranih raskrižja** podrazumijeva ukupan broj semaforiziranih raskrižja koja se nalaze na trasama s ciljem što bržeg i sigurnijeg putovanja od točke A do točke B. Poželjno je imati što manje semaforiziranih raskrižja pa će sukladno time varijanta s najmanjim brojem semaforiziranih raskrižja biti najbolje rangirana.
- **Broj nesemaforiziranih raskrižja** predstavlja sličnu situaciju kao i broj semaforiziranih raskrižja, razlika je u tome što ovaj potkriterij broji broj raskrižja kojima ne upravlja semafor. S ciljem što bržeg i sigurnijeg putovanja određenom trasom poželjno je imati što manji broj nesemaforiziranih raskrižja. Varijanta s najmanjim brojem nesemaforiziranih raskrižja predstavlja najpovoljniju varijantu.
- **Broj pješačkih prijelaza** definira broj pješačkih prijelaza preko ceste koji se ne nalaze na raskrižjima. Ovaj potkriterij uzima se u obzir iz razloga što

pješački prijelazi usporavaju prometni tok, stoga je lako zaključiti kako će varijanta koja broji najmanji broj pješačkih prijelaza biti najpovoljnija.

- **Autobusna stajališta na cesti** prikazuju broj autobusnih stajališta koja se nalaze na cesti, bez izvedenih ugibališta. Autobusna stajališta na cesti usporavaju prometni tok te stvaraju čekanja, a zbog zaobilaženja autobusa u mirovanju smanjena je sigurnost svih sudionika u prometu. Varijanta s najmanjim brojem autobusnih stajališta biti će najpovoljnija.
- **Broj mjesta usporavanja prometa** definira broj mjesta na kojima se promet usporava. Usporivači prometa povećavaju buku i smanjuju prosječnu brzinu putovanja.
- **Broj prometnih trakova na cesti** iskazuje broj prometnih trakova za svako varijantno rješenje. Budući da veći broj prometnih trakova osigurava veću propusnu moć ceste, varijanta koja ima više prometnih trakova biti će povoljnije rangirana.

Troškovi izgradnje ceste, troškovi izgradnje objekata, troškovi održavanja i troškovi izrade prometne dokumentacije čine ekonomske parametre prometne optimizacije.

Proračun ukupnih troškova korisnika analiziranih cestovnih mreža izvršava se obično pomoću OPCOST programa. OPCOST program se koristi za proračun ukupnih troškova korisnika koji uključuju eksploatacijske troškove vozila, režijske troškove vozila, troškove vremena putnika, troškove prometnih nesreća te troškove održavanja cesta. [17] Optimalno varijantno rješenje trebalo bi imati što manje troškove svih ekonomskih potkriterija te težiti postizanju što boljih rezultata, koliko god je to moguće.

Ekološke parametre prometne optimizacije sačinjavaju: razina buke, vibracija te zagađenje okoliša. Prilikom izgradnje cestovne infrastrukture Studija utjecaja na okoliš definira sve propisane mjere ekoloških utjecaja unutar planiranog projektnog zahvata. Jedna od najvažnijih propisanih mjera zaštite okoliša je buka. Buka utječe na čovjeka tako da ga ometa u radu, smanjuje produktivnost rada, stvara nemir, onemogućava uobičajeni odmor te šteti raspoloženju i radu. Za smanjenje negativnog utjecaja buke na čovjeka postavljeni su odgovarajući kriteriji maksimalno dopuštene razine buke duž prometnica.

U Republici Hrvatskoj propisana razina buke prometa u stambenim prostorima kod zatvorenog prozora ne smije prelaziti 45 dB danju, odnosno 35 dB noću. [17]

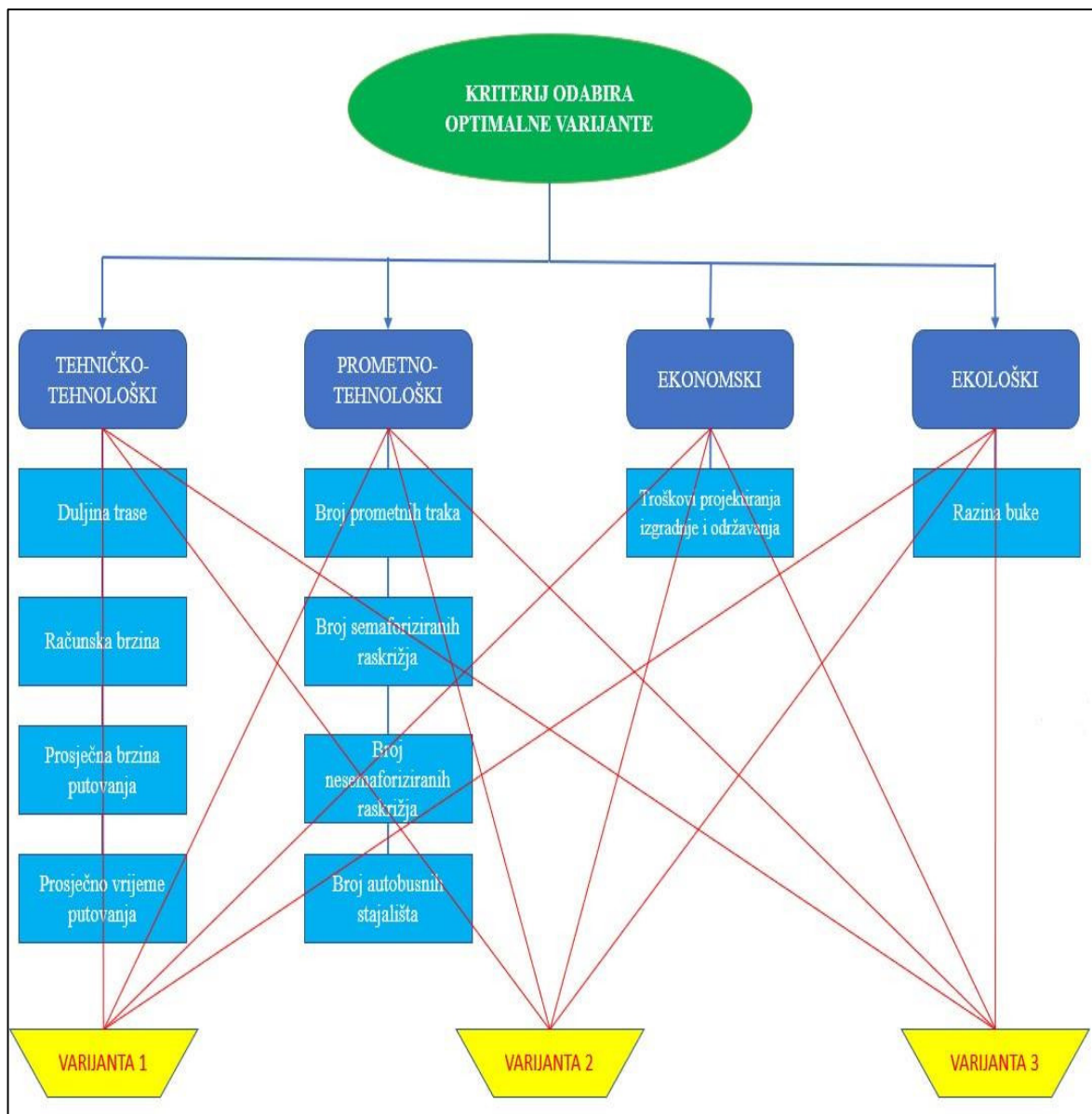
4.2 Izrada modela prometne optimizacije

Izrada modela prometne optimizacije zasniva se na definiranju kriterija modela, kao i njegovim sastavnicama što čine potkriterije modela. Za definiranje kriterija modela prometne optimizacije potrebno je izvršiti izbor kriterija najpovoljnije varijante trase podijeljene u četiri skupine s potkriterijama te izvršiti rangiranje kriterija. Model optimizacije položaja autocesta, brzih cesta i važnijih priključnih državnih cesta u odnosu na šire gradsko područje sagledava i uzima u obzir one elemente koji optimiziraju kapacitet ceste, duljinu putovanja, kako izvorišno-ciljnih, tako i tranzitnih te duljih putovanja u mreži na širim područjima gradova. [17]

4.3 Izbor i rangiranje kriterija modela prometne optimizacije

Na slici 8. prikazani su kriteriji određivanja najpovoljnije varijante trase prometnice korišteni u istraživanju. Kriteriji su podijeljeni u četiri skupine sa potkriterijima. Prva skupina kriterija su tehničko-tehnološki, a potkriteriji korišteni u rangiranju varijantnih trasa su: duljina trase, računski brzina, prosječna brzina putovanja te prosječno vrijeme putovanja. Drugu skupinu čine prometno-tehnološki kriteriji, a potkriteriji iz navedene skupine korišteni prilikom rangiranja su broj prometnih traka, broj semaforiziranih raskrižja, broj nesemaforiziranih raskrižja te broj autobusnih stajališta. Ekonomski i ekološki kriteriji čine treću, odnosno četvrtu skupinu. Potkriteriji iz treće i četvrte skupine korišteni prilikom rangiranja varijantnih trasa su: troškovi projektiranja, izgradnje i održavanja te razina buke. Pri rangiranju kriterija korištena su četiri broja za određivanje ranga. Najmanji broj, odnosno broj 1 predstavlja najpovoljnije i najprihvatljivije rješenje, broj 2, drugo po redu, broj 3, treće, dok broj 4 predstavlja najnepovoljnije i najneprihvatljivije rješenje.

Slika 8. Izrada prometnog modela



Izvor: izradio autor

Tehničko-tehnološki kriteriji i potkriteriji

Tablica 3. Duljina trase

TRASA	DULJINA TRASE (km)	RANG
1	13	2
2	8,8	1
3	24	3

Izvor: izradio autor

Tablica 4. Računska brzina

TRASA	RAČUNSKA BRZINA (km/h)	RANG
1	40	4
1	50	3
2	60	2
3	60	2
3	80	1

Izvor: izradio autor

Tablica 5. Prosječna brzina putovanja

TRASA	PROSJEČNA BRZINA PUTOVANJA (km/h)	RANG
1	30	4
1	40	3
2	50	2
3	50	2
3	70	1

Izvor: izradio autor

Tablica 6. Vrijeme putovanja

TRASA	VRIJEME PUTOVANJA (min)	RANG
1	17,25	2
2	8,80	1
3	19,25	3

Izvor: izradio autor

Prometno-tehnološki kriteriji i potkriteriji

Tablica 7. Broj prometnih traka

TRASA	BROJ PROMETNIH TRAKA	RANG
1	2	1
2	2	1
3	2	1

Izvor: izradio autor

Tablica 8. Broj semaforiziranih raskrižja

TRASA	BROJ SEMAFORIZIRANIH RASKRIŽJA	RANG
1	1	1
2	1	1
3	4	2

Izvor: izradio autor

Tablica 9. Broj nesemaforiziranih raskrižja

TRASA	BROJ NESEMAFORIZIRANIH RASKRIŽJA	RANG
1	14	2
2	7	1
3	20	3

Izvor: izradio autor

Tablica 10. Broj autobusnih stajališta na cesti

TRASA	BROJ AUTOBUSNIH STAJALIŠTA NA CESTI	RANG
1	5	2
2	0	1
3	8	3

Izvor: izradio autor

Ekonomski kriteriji i potkriteriji

Tablica 11. Troškovi projektiranja, izgradnje i održavanja

TRASA	TROŠKOVI PROJEKTIRANJA, IZGRADNJE I ODRŽAVANJA (€/km)	RANG
1	600 000	2
2	300 000	1
3	1 000 000	3

Izvor: izradio autor

Ekološki kriteriji i potkriteriji

Tablica 12. Razina buke

TRASA	RAZINA BUKE (dB)	RANG
1	40	1
2	45	2
3	50	3

Izvor: izradio autor

4.4 Analitička obrada podataka

Trasa 1:

Duljina trase (L): $L_{1.1} = 5,5 \text{ [km]}$ $L_{1.1} = 5\,500 \text{ [m]}$

Računska brzina (v): $v_{1.1} = 40 \left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right]$ $v_{1.1} = \frac{40}{3.6} = 11,11 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$

Vrijeme putovanja (t): $t_{1.1} = \frac{L_{1.1}}{v_{1.1}}$ $t_{1.1} = \frac{5\,500}{11,11} = 495,05 \text{ [s]}$ $t_{1.1} = \frac{495,05}{60} = 8,25 \text{ [min]}$
 $t_{1.1} = \frac{8,25}{60} = 0,14 \text{ [h]}$

$L_{1.2} = 7,5 \text{ [km]}$ $L_{1.2} = 7\,500 \text{ [m]}$

$v_{1.2} = 50 \left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right]$ $v_{1.2} = \frac{50}{3.6} = 13,89 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$

$t_{1.2} = \frac{L_{1.2}}{v_{1.2}}$ $t_{1.2} = \frac{7\,500}{13,89} = 539,96 \text{ [s]}$ $t_{1.2} = \frac{539,96}{60} = 9,00 \text{ [min]}$ $t_{1.2} = \frac{9,00}{60} = 0,15 \text{ [h]}$

$L_{1\text{uk}} = L_{1.1} + L_{1.2}$ $L_{1\text{uk}} = 5,5 + 7,5$ $L_{1\text{uk}} = 13 \text{ [km]}$ $L_{1\text{uk}} = 13\,000 \text{ [m]}$

$t_{1\text{uk}} = t_{1.1} + t_{1.2}$ $t_{1\text{uk}} = 495,05 + 539,96 = 1035,01 \text{ [s]} = 17,25 \text{ [min]} = 0,29 \text{ [h]}$

Trasa 2:

Duljina trase (L): $L_{2\text{uk}} = 8,8 \text{ [km]}$ $L_{2\text{uk}} = 8\,800 \text{ [m]}$

Računska brzina (v): $v_2 = 60 \left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right]$ $v_2 = \frac{60}{3.6} = 16,67 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$

Vrijeme putovanja (t): $t_{2\text{uk}} = \frac{L_{2\text{uk}}}{v_{2\text{uk}}}$ $t_{2\text{uk}} = \frac{8\,800}{16,67} = 527,89 \text{ [s]}$ $t_{2\text{uk}} = \frac{527,89}{60} = 8,80 \text{ [min]}$
 $t_{2\text{uk}} = \frac{8,80}{60} = 0,147 \text{ [h]}$

Trasa 3:

Duljina trase (L): $L_{3.1} = 5 \text{ [km]}$ $L_{3.1} = 5\,000 \text{ [m]}$

Računska brzina (v): $v_{3.1} = 60 \left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right]$ $v_{3.1} = \frac{60}{3.6} = 16,67 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$

Vrijeme putovanja (t): $t_{3.1} = \frac{L_{3.1}}{v_{3.1}}$ $t_{3.1} = \frac{5\,000}{16,67} = 299,94 \text{ [s]}$ $t_{3.1} = \frac{299,94}{60} = 5,00 \text{ [min]}$

$$t_{3.1} = \frac{5,00}{60} = 0,08 \text{ [h]}$$

$L_{3.2} = 5 \text{ [km]}$ $L_{3.2} = 5\,000 \text{ [m]}$

$v_{3.2} = 80 \left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right]$ $v_{3.2} = \frac{80}{3.6} = 22,22 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$

$t_{3.2} = \frac{L_{3.2}}{v_{3.2}}$ $t_{3.2} = \frac{5\,000}{22,22} = 225,02 \text{ [s]}$ $t_{3.2} = \frac{225,02}{60} = 3,75 \text{ [min]}$ $t_{3.2} = \frac{3,75}{60} = 0,06 \text{ [h]}$

$L_{3.3} = 10 \text{ [km]}$ $L_{3.3} = 10\,000 \text{ [m]}$

$v_{3.3} = 80 \left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right]$ $v_{3.3} = \frac{80}{3.6} = 22,22 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$

$t_{3.3} = \frac{L_{3.3}}{v_{3.3}}$ $t_{3.3} = \frac{10\,000}{22,22} = 450,05 \text{ [s]}$ $t_{3.3} = \frac{450,02}{60} = 7,50 \text{ [min]}$ $t_{3.3} = \frac{7,50}{60} = 0,13 \text{ [h]}$

$L_{3.4} = 4 \text{ [km]}$ $L_{3.4} = 4\,000 \text{ [m]}$

$v_{3.4} = 80 \left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right]$ $v_{3.4} = \frac{80}{3.6} = 22,22 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$

$t_{3.4} = \frac{L_{3.4}}{v_{3.4}}$ $t_{3.4} = \frac{4\,000}{22,22} = 180,02 \text{ [s]}$ $t_{3.4} = \frac{225,02}{60} = 3,00 \text{ [min]}$ $t_{3.4} = \frac{3,00}{60} = 0,05 \text{ [h]}$

$L_{3\text{uk}} = L_{3.1} + L_{3.2} + L_{3.3} + L_{3.4}$ $L_{3\text{uk}} = 5 + 5 + 10 + 4$ $L_{3\text{uk}} = 24 \text{ [km]}$ $L_{3\text{uk}} = 24\,000 \text{ [m]}$

$t_{3\text{uk}} = t_{3.1} + t_{3.2} + t_{3.3} + t_{3.4}$ $t_{3\text{uk}} = 299,94 + 225,02 + 450,05 + 180,02 = 1155,03 \text{ [s]}$
 $= 19,25 \text{ [min]} = 0,32 \text{ [h]}$

Koeficijent gustoće prometa:

Provedenom analitičkom obradom podataka uspoređuju se trase na način da se usporedi broj vozila na trasi u odnosu na računsku brzinu (izraženu u km/h) i vrijeme putovanja (izraženo u satima) na istoj toj trasi prometnice što je iskazano u formuli ispod. Analitička obrada podataka provedena je za svaku trasu prometnice posebno. Korišteno je identično prometno opterećenje od 3800 vozila za sve tri dionice koje je proizvoljno odabrano, analizom postojećeg stanja prometa na odabranim dionicama.

$$\Delta G_n = \frac{\text{broj vozila na dionici}}{\text{računska brzina (km/h)} * \text{vrijeme putovanja (h)}} = \left[\frac{\text{voz}}{\text{km}} \right]$$

Trasa 1:

$$\Delta G_{1.1} = \frac{3800}{\frac{40}{1 * 0,14}} = 13,3 \left[\frac{\text{voz}}{\text{km}} \right]$$

$$\Delta G_{1.2} = \frac{3800}{\frac{50}{1 * 0,15}} = 11,4 \left[\frac{\text{voz}}{\text{km}} \right]$$

$$\Delta G_{1uk} = \Delta G_{1.1} + \Delta G_{1.2} = 24,7 \left[\frac{\text{voz}}{\text{km}} \right]$$

Trasa 2:

$$\Delta G_{2uk} = \frac{3800}{\frac{60}{1 * 0,147}} = 9,31 \left[\frac{\text{voz}}{\text{km}} \right]$$

Trasa 3:

$$\Delta G_{3.1} = \frac{3800}{\frac{60}{1 * 0,08}} = 5,07 \left[\frac{\text{voz}}{\text{km}} \right]$$

$$\Delta G_{3.2} = \frac{3800}{\frac{80}{1 * 0,06}} = 2,85 \left[\frac{\text{voz}}{\text{km}} \right]$$

$$\Delta G_{3.3} = \frac{3800}{\frac{80}{1 * 0,13}} = 6,175 \left[\frac{\text{voz}}{\text{km}} \right]$$

$$\Delta G_{3.4} = \frac{3800}{\frac{80}{1 * 0,05}} = 2,375 \left[\frac{\text{voz}}{\text{km}} \right]$$

$$\Delta G_{3uk} = \Delta G_{3.1} + \Delta G_{3.2} + \Delta G_{3.3} + \Delta G_{3.4} = 16,47 \left[\frac{\text{voz}}{\text{km}} \right]$$

Koeficijent usporedbe:

Omjerom usporedbe dviju trasa prometnica dobije se koeficijent usporedbe iskazan u formuli:

$$K_u = \frac{G_1 - G_2}{G_2} * 100 = [\%].$$

K_u – koeficijent usporedbe omjera kompariranih dionica [%]

G_1 – ukupan koeficijent gustoće prometa ΔG_{uk} na prvoj (predloženoj) trasi koju se uspoređuje u odnosu na računsku brzinu i vrijeme putovanja $\left[\frac{voz}{km}\right]$

G_2 – ukupan koeficijent gustoće prometa ΔG_{uk} na drugoj (postojećoj) trasi koju se uspoređuje u odnosu na računsku brzinu i vrijeme putovanja $\left[\frac{voz}{km}\right]$

Pozitivan rezultat znači kako je G_2 povoljniji, dok negativan rezultat povoljnijim čini G_1 .

Koeficijent usporedbe trase 1 s trasom 2:

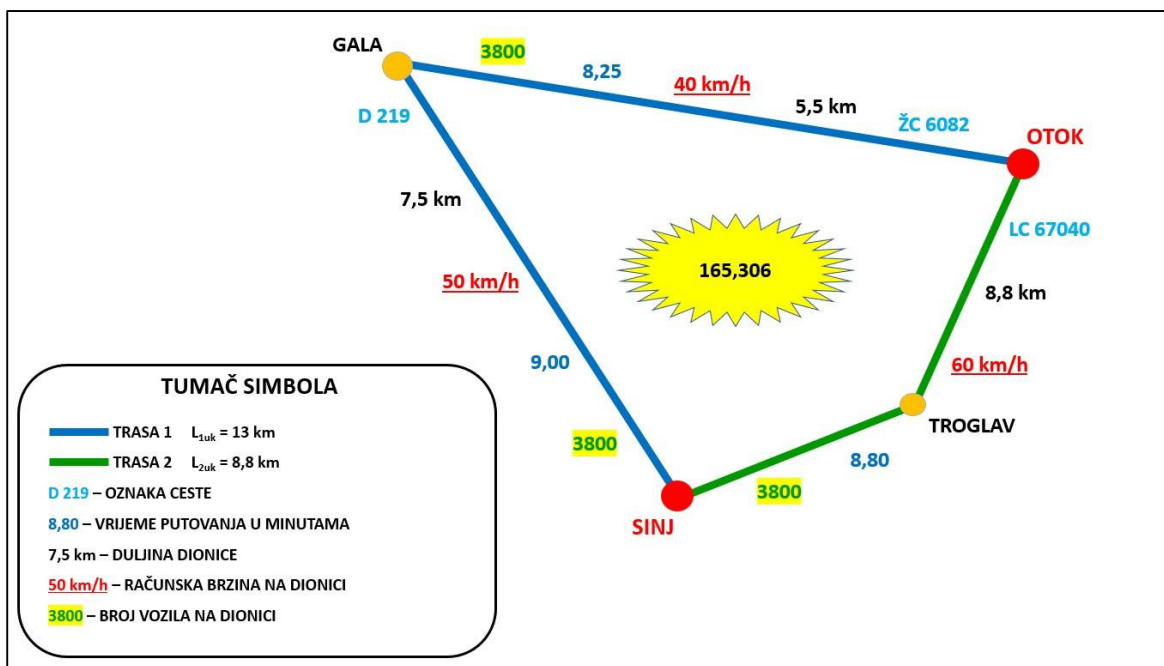
$$K_{u12} = \frac{G_1 - G_2}{G_2} * 100 = [\%]$$

G_1 – trasa 1

G_2 – trasa 2

$$K_{u12} = \frac{24,7 - 9,31}{9,31} * 100 = 165,306 [\%]$$

Slika 9. Koeficijent usporedbe trase 1 s trasom 2



Izvor: izradio autor

Koeficijent usporedbe trase 2 s trasom 3:

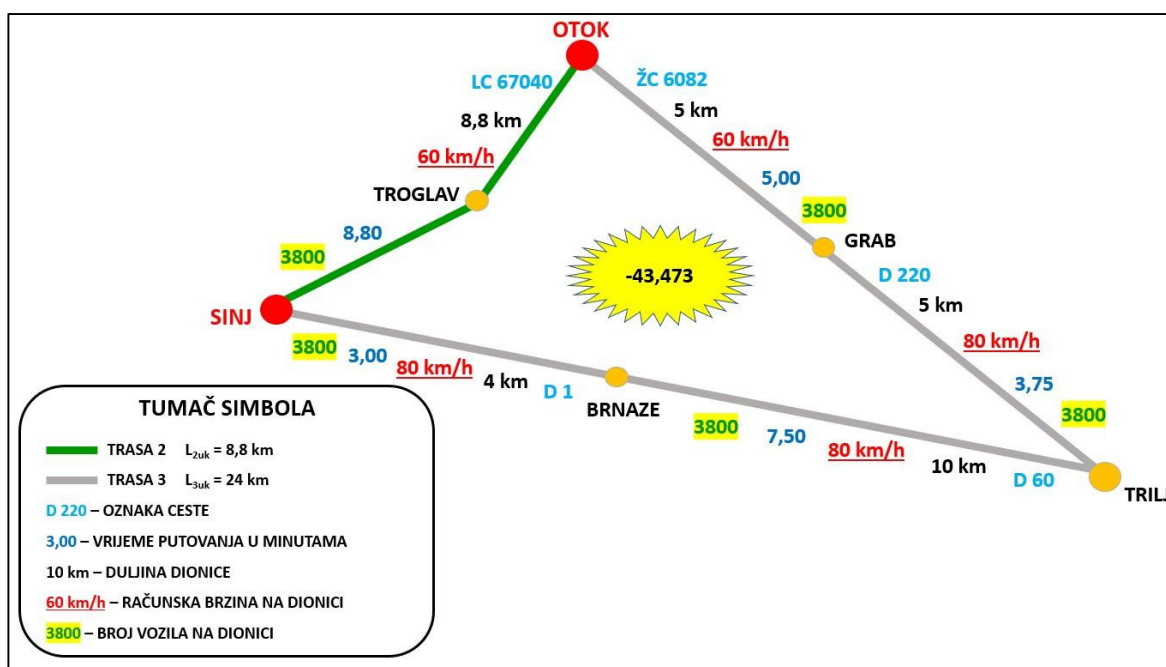
$$K_{u23} = \frac{G_1 - G_2}{G_2} * 100 = [\%]$$

G_1 – trasa 2

G_2 – trasa 3

$$K_{u23} = \frac{9,31 - 16,47}{16,47} * 100 = -43,473 [\%]$$

Slika 10. Koeficijent usporedbe trase 2 s trasom 3



Izvor: izradio autor

Koeficijent usporedbe trase 1 s trasom 3:

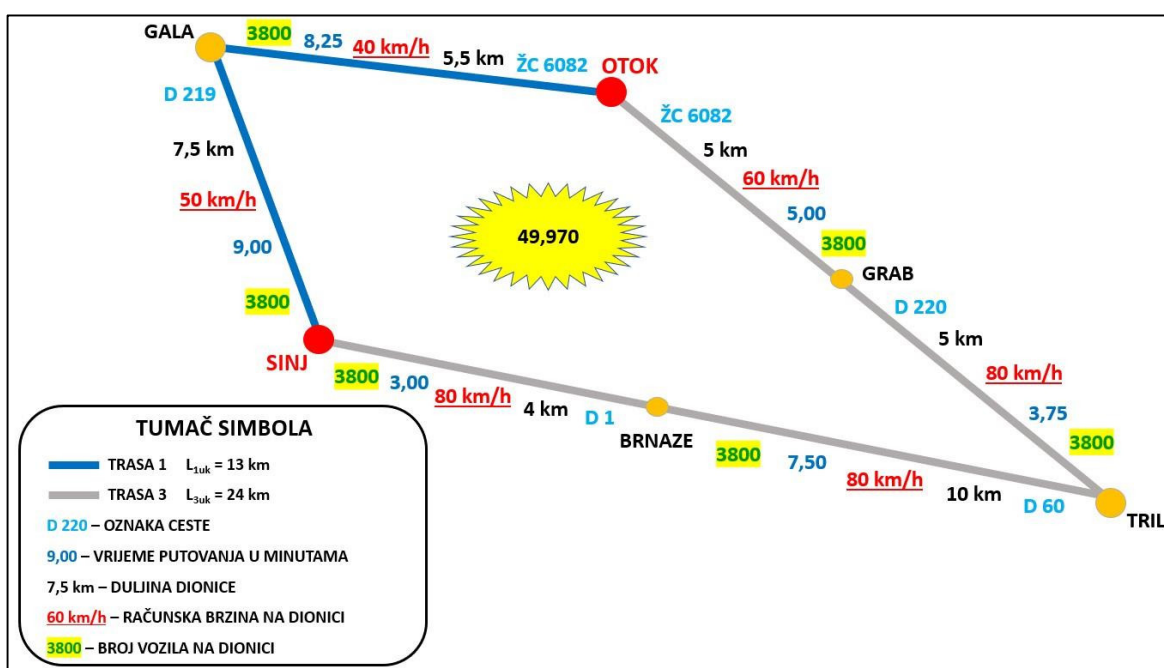
$$K_{u13} = \frac{G_1 - G_2}{G_2} * 100 = [\%]$$

G_1 – trasa 1

G_2 – trasa 3

$$K_{u13} = \frac{24,7 - 16,47}{16,47} * 100 = 49,970 [\%]$$

Slika 11. Koeficijent usporedbe trase 1 s trasom 3



Izvor: izradio autor

Analitičkom obradom podataka, u sva tri slučaja, izračuna se koeficijent usporedbe kompariranih trasa prometnice.

Uspoređujući trasu 1 – Otok – Gala – Sinj s trasom 2 – Otok – Troglav – Sinj, na bazi od 3800 vozila, s usporednim udaljenostima i računskim brzinama putovanja dobije se usporedbeni podatak gustoće prometa (voz/km) za svaku od navedenih trasa. Koeficijent usporedbe dobiven njihovom usporedbom iznosi $K_{u12} = 165,306 \%$, što znači da je varijanta, odnosno trasa 2 povoljnija.

Nadalje, uspoređujući trasu 2 – Otok – Troglav – Sinj s trasom 3 – Otok – Trilj – Sinj, na identičnoj bazi vozila kao i u prethodnom primjeru (3800), s usporednim udaljenostima i računskim brzinama, dobiju se usporedbeni podaci gustoće prometa

(voz/km) za svaku od navedenih dionica, a njihovom daljnjom usporedbom dobije se koeficijent usporedbe koji iznosi $K_{u23} = -43,473 \%$, što znači da je i u ovom slučaju trasa 2 povoljnija.

Uspoređujući preostale dvije trase, točnije trasu 1 – Otok – Gala – Sinj s trasom 3 Otok – Trilj – Sinj, također, na identičnoj bazi vozila od 3800, te usporedbenim udaljenostima i računskim brzinama, dobije se usporedbeni podatak gustoće prometa (voz/km) za svaku od navedenih trasa, a njihovom daljnjom usporedbom dobije se koeficijent usporedbe koji iznosi $K_{u13} = 49,970$, a ide u korist trase 3.

Tablica 13. Tablica koeficijenta usporedbe

Trasa	Udaljenost (km)	Računska brzina (km/h)	Minute	Sati	Broj vozila	Δ gustoće (voz/km)	Ukupan Δ gustoće (voz/km)	Koeficijent usporedbe (%)
Koeficijent usporedbe trase 1 (Otok – Gala – Sinj) s trasom 2 (Otok – Sinj)								
1.1	5,5	40	8,25	0,14	3800	13,3	24,7	165,306
1.2	7,5	50	9,00	0,15	3800	11,4		
2	8,8	60	8,80	0,147	3800	9,31	9,31	
Koeficijent usporedbe trase 2 (Otok – Troglav – Sinj) s trasom 3 (Otok – Trilj – Sinj)								
2	8,8	60	8,80	0,147	3800	9,31	9,31	-43,473
3.1	5	60	5,00	0,08	3800	5,07	16,47	
3.2	5	80	3,75	0,06	3800	2,85		
3.3	10	80	7,50	0,13	3800	6,175		
3.4	4	80	3,00	0,05	3800	2,375		
Koeficijent usporedbe trase 1 (Otok – Gala – Sinj) s trasom 3 (Otok – Trilj – Sinj)								
1.1	5,5	40	8,25	0,14	3800	13,3	24,7	49,970
1.2	7,5	50	9,00	0,15	3800	11,4		
3.1	5	60	5,00	0,08	3800	5,07	16,47	
3.2	5	80	3,75	0,06	3800	2,85		
3.3	10	80	7,50	0,13	3800	6,175		
3.4	4	80	3,00	0,05	3800	2,375		

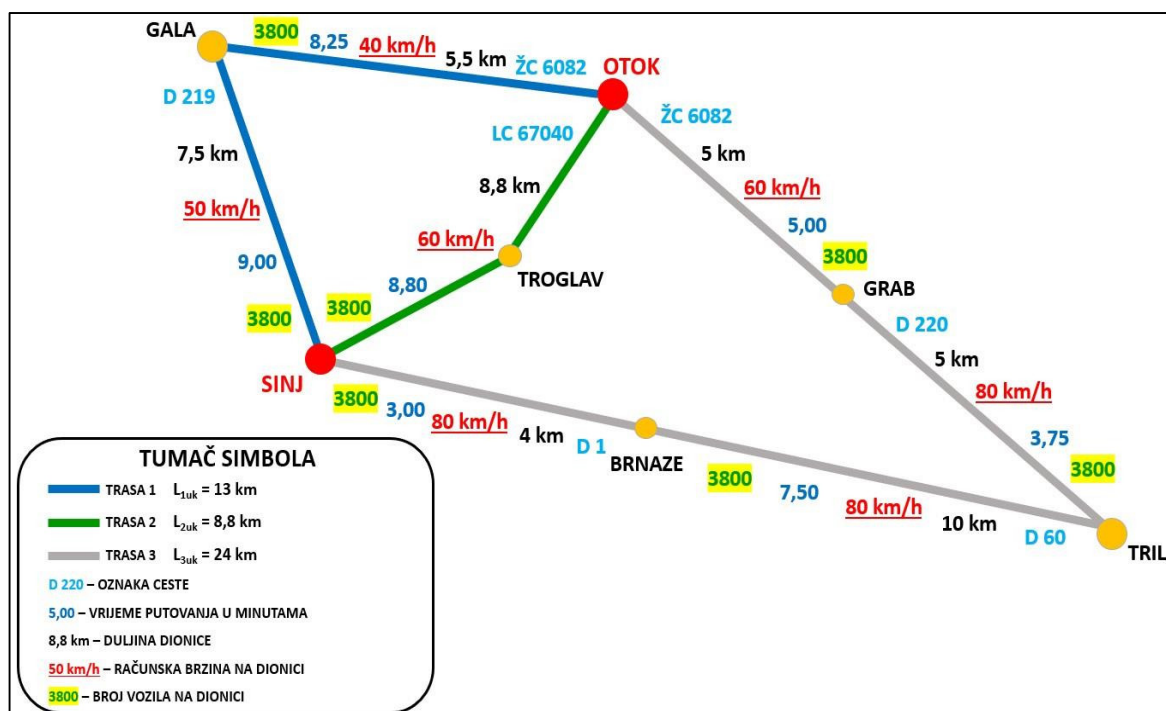
Izvor: izradio autor

U tablici 13. prikazan je koeficijent usporedbe kompariranih trasa prometnice uključujući sve analitičke podatke, kako za svaku trasu prometnice pojedinačno, tako i za svaki primjer usporedbe dviju trasa. Ovakvim analitičkim pristupom moguće je usporediti određene trase prometnica te izračunom koeficijenta usporedbe zaključiti koja je dionica povoljnija i prihvatljivija u određenom prometnom modelu.

5. ANALIZA PRIMJENE ITS-a I PROVEDENOG TESTIRANJA U CESTOVNOM PROMETU

Na slici 12. prikazan je grafički prikaz kompariranih trasa prometnica uključujući vrijeme putovanja, računsku brzinu, duljinu trase te broj vozila na dionici.

Slika 12. Komparirane trase prometnica



Izvor: izradio autor

Komparacija trasa izvršena je nad tri trase prometnica. Sve tri trase prometnica imaju jednaku polazišnu i odredišnu točku – Otok i Sinj.

Prva trasa prometnice, odnosno trasa 1, povezuje mjesto Otok sa Sinjom prolazeći kroz naselja Gala i Glavice, s ukupnom duljinom trase od $L_{1uk} = 13$ km raspoređenom na dvije dionice, dionicu županijske ceste ŽC 6082 u duljini od $L_{1.1} = 5,5$ km te dionicu državne ceste D 219 u duljini od $L_{1.2} = 7,5$ km. Vrijeme putovanja na dionici županijske ceste ŽC 6082, od Otoka do Gale, iznosi $t_{1.1} = 8,25$ minuta, što je pretvoreno u sate, 0,14 sati. Računska brzina na ovoj dionici iznosi $v_{1.1} = 40$ km/h, odnosno 11,11 m/s, a koeficijent gustoće prometa $\Delta G_{1.1} = 13,3$ voz/km. Vrijeme putovanja na dionici državne ceste D 219, od Gale do Sinja, iznosi $t_{1.2} = 9$ minuta, što je pretvoreno u sate, 0,15 sati. Računska brzina iznosi $v_{1.2} = 50$ km/h, odnosno 13,89 m/s, dok je koeficijent gustoće prometa $\Delta G_{1.2} = 11,4$ voz/km.

Pojedinačnim zbrajanjem vremena putovanja i koeficijenta gustoće prometa na dionicama županijske ceste ŽC 6082 i državne ceste D 219, izračunaju se ukupno vrijeme putovanja i ukupan koeficijent gustoće prometa na trasi 1, a isti iznose: $t_{1uk} = 17,25$ minuta (0,29 sati) i $\Delta G_{1uk} = 24,7$ voz/km. Promet se na ovoj dionici odvija u dvije prometne trake, a ukupan broj raskrižja, što semaforiziranih, što nesemaforiziranih iznosi 15. Broj autobusnih stajališta na cesti je 5. Što se tiče ekoloških parametara, razina buke na prometnici jednaka je 40 dB.

Druga trasa prometnice, odnosno trasa 2, povezuje mjesta Otok i Sinj prolazeći dionicom lokalne ceste LC 67040 u duljini od $L_{2uk} = 8,8$ km.

Prosječni godišnji dnevni promet – PGDP, na ovoj dionici za 2018. godinu iznosio je 4484 vozila, dok je prosječni ljetni dnevni promet – PLDP iznosio 4650 vozila. [20] Vrijeme putovanja na ovoj trasi prometnice iznosi $t_{2uk} = 8,8$ minuta, što je pretvoreno u sate, 0,147 sati. Računska brzina iznosi $v_2 = 60$ km/h, odnosno 16,67 m/s, a koeficijent gustoće prometa $\Delta G_{2uk} = 9,31$ voz/km. Promet se na ovoj dionici odvija u dvije prometne trake, uz ukupno 8 raskrižja. Na ovoj trasi ne nalaze se autobusna stajališta na cesti što joj daje prednost nad ostalim dvjema trasama. Što se tiče ekoloških parametara, razina buke na prometnici jednaka je 45 dB.

Trasa 3, povezuje mjesta Otok i Sinj pružajući se dionicama četiriju cesta (jednom županijskom i trima državnim) ukupne duljine $L_{3uk} = 24$ km i to: dionicom županijske ceste ŽC 6082, od Otoka do Graba, u duljini od $L_{3.1} = 5$ km, dionicom državne ceste D 220, od Graba do Trilja, duljine $L_{3.2} = 5$ km, dionicom državne ceste D 60, od Trilja do Brnaza, duljine $L_{3.3} = 10$ km te dionicom državne ceste D 1, od Brnaza do Sinja, duljine $L_{3.4} = 4$ km. Vrijeme putovanja na dionici županijske ceste ŽC 6082, od Otoka do Graba, iznosi $t_{3.1} = 5$ minuta, što je pretvoreno u sate, 0,08 sati. Računska brzina na dionici županijske ceste ŽC 6082 iznosi $v_{3.1} = 60$ km/h, odnosno 16,67 m/s, a koeficijent gustoće prometa $\Delta G_{3.1} = 5,07$ voz/km. Vrijeme putovanja na dionici državne ceste D 220, od Graba do Trilja, iznosi $t_{3.2} = 3,75$ minuta, što je pretvoreno u sate, 0,06 sati. Računska brzina na ovoj dionici iznosi $v_{3.2} = 80$ km/h, odnosno 22,22 m/s, a koeficijent gustoće prometa $\Delta G_{3.2} = 2,85$ voz/km. Vrijeme putovanja na dionici državne ceste D 60, od Trilja do Brnaza, iznosi $t_{3.3} = 7,50$ minuta, što je pretvoreno u sate, 0,13 sati. Računska brzina na ovoj dionici iznosi $v_{3.3} = 80$ km/h, odnosno 22,22 m/s, a koeficijent gustoće prometa $\Delta G_{3.3} = 6,175$ voz/km. Vrijeme putovanja na dionici državne ceste D 1, od Brnaza do Sinja, iznosi $t_{3.4} = 3$ minute, što je pretvoreno u sate, 0,05 sati. Računska brzina na ovoj dionici iznosi $v_{3.4} = 80$ km/h, odnosno 22,22 m/s, a koeficijent gustoće prometa $\Delta G_{3.4} = 2,375$ voz/km.

U 2018. godini PGDP na brojačkom mjestu Trilj iznosio je 5816 vozila, dok je PLDP

iznosio 6703 vozila. [20] Poslije pojedinačnog zbrajanja vremena putovanja i koeficijenata gustoće prometa na dionicama županijske ceste ŽC 6082 i državnih cesta D 220, D 60 i D 1 izračunaju se ukupno vrijeme putovanja i ukupan koeficijent gustoće prometa na trasi 3, a isti iznose: $t_{3uk} = 19,25$ minuta (0,32 sata) i $\Delta G_{3uk} = 16,47$ voz/km. Kao i u prethodnim dvjema trasama i na ovoj trasi promet se odvija u dvije prometne trake, dok je ukupan broj raskrižja nešto veći te on iznosi 24. Uz broj raskrižja, ova trasa prometnice broji i najviše autobusnih stajališta na cesti kojih je ukupno 8, a ona kao što je poznato ometaju prometni tok, stvaraju zastoje te ugrožavaju sigurnost sudionika u prometu pa je po tom pitanju ova trasa najlošije rangirana od sve tri trase prometnica. Isto tako, razina buke na ovoj trasi iznosi 50 dB što ju stavlja u nepovoljan položaj nad ostalim dvjema trasama.

Prilikom izrade modela prometne optimizacije za izbor i rangiranje trasa prometnica korišteni su četiri kriterija zajedno s njihovim potkriterijima.

Primjenom modela prometne optimizacije i analizom testiranja (tablica 13.) temeljem istog prometnog opterećenja na dionicama i vremena putovanja u odnosu na računsku brzinu na svakoj pojedinoj dionici, izračuna se koeficijent usporedbe za svaku od trasa. Koeficijentom usporedbe uočava se koja je od kompariranih trasa najpovoljnija.

Komparirajući trasu 1 s trasom 2, dobije se koeficijent usporedbe od $K_{u12} = 165,306$ %, što znači da je trasa 2 povoljnija i prihvatljivija od trase 1.

Nakon komparacije trase 2 s trasom 3, koeficijent usporedbe iznosi $K_{u23} = -43,473$ %, što znači da je i u ovom slučaju trasa 2 povoljnija i prihvatljivija.

Naposljetku, komparacijom trase 1 s trasom 3 dobije se koeficijent usporedbe koji iznosi $K_{u13} = 49,970$ %, što znači da je druga najpovoljnija trasa prometnice trasa 3.

Ovakvim analitičkim pristupom, uspoređuju se pojedine dionice te se izračunom koeficijenta usporedbe donosi zaključak koja je dionica prihvatljivija i opravdana u određenom prometnom modelu.

Isto tako, važno je naglasiti kako proizvoljno odabrani broj vozila od 3800 sudjeluje u PGDP-u na trasi 3 do maksimalno 30%, dok na trasama 1 i 2 sudjeluje u puno većem postotku (više od 80 %), a izabran je kako bi na svakoj pojedinoj dionici ceste prometno opterećenje bilo jednako.

6. ZAKLJUČAK

Nagli porast prometa i njegov loš utjecaj na društvo u cjelini glavni su problemi s kojima se susrećemo svakodnevno. Budući da su prometni problemi bilježili konstantan porast bilo je potrebno osmisliti rješenje koje bi olakšalo i pojednostavnilo prometovanje te pružilo što veću dozu sigurnosti za sve sudionike u prometu. Inteligentni transportni sustavi pružaju niz pametnih i korisnih rješenja te na taj način uvelike olakšavaju kretanje roba, ljudi i informacija. Također, inteligentni transportni sustavi su se pokazali kao odlično rješenje za kontrolu, upravljanje i rješavanje najzastupljenijih prometnih problema.

Primjena inteligentnih transportnih sustava moguća je u svim prometnim podsustavima, a pruža širok spektar usluga svim korisnicima. Najveća odlika inteligentnih transportnih sustava je brzina. Inteligentni transportni sustavi i ITS rješenja u velikoj su mjeri zastupljeni i kod interventnih službi, što ne čudi, budući da nude brojna pomagala koja mogu na brz i efikasan način razriješiti incidentne situacije. Izuzev autocesta, na cestama u Republici Hrvatskoj spektar primjene inteligentnih transportnih sustava, nažalost, nije dovoljno širok te postoji mnogo prostora za boljitak.

Naposljetku, sasvim je jasno kako je uloga inteligentnih transportnih sustava općenito u prometu vrlo važna. Stoga se može zaključiti da su inteligentni transportni sustavi tehnologija budućnosti, a daljnja ulaganja i istraživanja u području inteligentnih transportnih sustava neophodna, želimo li što brže, jednostavnije i sigurnije putovati.

Kompariranje trasa može biti od velike koristi prometnim planerima kako bi brzo i efikasno, izračunom koeficijenta gustoće prometa, koeficijenta usporedbe te ostalih analitičkih podataka odredili najpovoljniju i najprihvatljiviju varijantu, odnosno trasu prometnice te na taj način donijeli ispravnu odluku prilikom planiranja i projektiranja novih prometnica. Provedeno istraživanje može biti polazna osnova daljnjim istraživanjima za odabir najpovoljnije prometnice u prostorno-prometnom planiranju.

LITERATURA

- [1] Bošnjak, I., *Inteligentni transportni sustavi 1*. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2006.
- [2] Jolić, N., *Logistika i ITS*. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2006.
- [3] Nacionalni program za razvoj i uvođenje inteligentnih transportnih sustava u cestovnom prometu za razdoblje od 2014. do 2018. godine. Preuzeto s <https://wiki.srce.hr/display/DI/XI.+Promet+i+logistika>.
- [4] http://e-student.fpz.hr/Predmeti/I/Inteligentni_transportni_sustavi_I/Materijali/Predavanje_1.pdf, (pristupljeno 9. ožujka 2020.).
- [5] http://www.its-croatia.hr/?page_id=49&lang=hr, (pristupljeno 11. ožujka 2020.).
- [6] Sršen, M., *Inteligentni transportni sustavi u upravljanju cestovnom mrežom*. Suvremeni promet, vol. 28. 2008. br: 1/2; str. 141-152.
- [7] <http://zumzumauto.blogspot.com/2018/01/pametne-ceste-odasiljati-ce-informacije.html>, (pristupljeno 22. ožujka 2020.).
- [8] Božić, D., Mileta, D., *Elektronički sustavi aktivne sigurnosti automobila Toyota Prius*. Zbornik radova Veleučilišta u Šibeniku, br. 1-2/2018 (2018): 161-168. Preuzeto s <https://hrcak.srce.hr/198593>.
- [9] <https://auto-mane.com/abeceda-automobila/sto-je-abs>, (pristupljeno 28. ožujka 2020.).
- [10] <https://www.hac.hr/hr/cestarina/enc?etc=1>, (pristupljeno 28. ožujka 2020.).
- [11] <https://www.prometna-zona.com/cestarina/>, (pristupljeno 28. ožujka 2020.).
- [12] Burazer-Pavešković, J., Autorizirana predavanja iz kolegija Sigurnost cestovnog prometa, Veleučilište Nikola Tesla u Gospiću, Gospić, 2019. Preuzeto s <https://loomen.carnet.hr/my/>.
- [13] Antoliš, K., Strmečki, S., Magušić, F. *Informacijska sigurnost i inteligentni transportni sustavi*. Suvremeni promet, vol: 28, 2008., br. 5., str. 353-355.

- [14] <http://www.infotrend.hr/clanak/2008/6/razvoj-inteligentnih-transportnih-sustava-%E2%80%93-its,14,323.html> , (pristupljeno 29. ožujka 2020.).
- [15] <https://international.fhwa.dot.gov/ipsafety/ipsafety.pdf>, (pristupljeno 30. ožujka 2020.).
- [16] <https://www.monash.edu/muarc/archive/our-publications/other/racv0101> , (pristupljeno 30. ožujka 2020.).
- [17] Peko, I., *Model uključivanja autocesta u prometne mreže velikih gradova*, Doktorski rad, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2015.
- [18] Šoštarić, M., *Autorizirana predavanja iz kolegija Infrastruktura cestovnog prometa*, Veleučilište Nikola Tesla u Gospiću, Gospić, 2019. Preuzeto s <https://loomen.carnet.hr/my/> .
- [19] <http://www.sinj.hr/grad-sinj/> , (pristupljeno 10. travnja 2020.)
- [20] https://hrvatske-ceste.hr/uploads/documents/attachment_file/dile/485/Brojenje_prometa_na_cestama_Republike_Hrvatske_godine_2018.pdf , (pristupljeno 13. travnja 2020.)

POPIS KRATICA

ABS – Anti-lock Braking System (sustav protiv blokiranja kotača)

ACC – Adaptive Cruise Control (tempomat s prilagodbom brzine)

AHB – Automatic High Beam (sustav automatskog prebacivanja između dugih i kratkih svjetala)

ATC – Adaptive Traffic Flow Control (adaptivno vođenje prometa)

BDP – bruto domaći proizvod

BSM – Blind Spot Monitoring (nadzor mrtvog kuta)

CEF – Connecting Europe Facility (instrument za povezivanje Europe)

DM – Demand Management (upravljanje potražnjom)

EBD – Electronic Brake-force Distribution (elektronička raspodjela kočione sile)

EBS – Electronic Brake Signal (sustav upozorenja pri naglom kočenju)

ENC – elektronička naplata cestarine

ERGS – Electronic Route Guidance (elektronički rutni vodič)

GPS – Global Positioning System (globalni sustav pozicioniranja)

ICS – Information and Communication System (informacijsko-komunikacijski sustav)

IPA – Intelligent Park Assist (inteligentni sustav parkiranja)

ISO – International Organization for Standardization (međunarodna organizacija za normizaciju)

ITS – inteligentni transportni sustavi

IVHS – Intergrated Vehicle Highway System

LDA – Lane Departure Alert (sustav upozorenja prilikom napuštanja prometne trake)

MT – Manage Traffic (upravljanje prometom)

ODI – On-Trip Driver Information (putne informacije vozaču)

OPI – On-Trip Public Transport Information (informiranje u javnom prijevozu)

P&R – Park and Ride sustav

PCS – Pre Collision System (sustav automatskog kočenja kod opasnosti od sudara)

PSAP – Public Service Answering Point (operativno komunikacijski centar)

PTI – Pre-Trip Information (predputne informacije)

RCTA – Rear Cross Traffic Alert (detekcija stražnjeg poprečnog prometa)

RGN – Route Guidance and Navigation (rutni vodič i navigacija)

RSA – Road Sign Assist (sustav prepoznavanja prometnih znakova)

RSIM – Rescue Service Incident Management (Spašavanje stradalih u prometnim nezgodama)

TCS – Traction Control System (kontrola proklizavanja pogonskih kotača)

TEN-T – Trans-European Transport Networks (Transeuropske prometne mreže)

TI – Traveller Information (putne informacije)

VSC – Vehicle Stability Control (kontrola stabilnosti vozila)

WHO – World Health Organization (svjetska zdravstvena organizacija)

POPIS SLIKA

Slika 1. Temeljna značenja termina ITS	4
Slika 2. Osnovna fizička struktura informacijsko-komunikacijskog sustava prometnica ...	11
Slika 3. Primjer inteligentne prometnice	12
Slika 4. Oprema inteligentnog osobnog vozila.....	17
Slika 5. Adaptivno upravljanje prometnim svjetlima	23
Slika 6. Interakcije čovjek - vozilo - cesta	24
Slika 7. Prikaz kompariranih trasa	27
Slika 8. Izrada prometnog modela	33
Slika 9. Koeficijent usporedbe trase 1 s trasom 2.....	40
Slika 10. Koeficijent usporedbe trase 2 s trasom 3	41
Slika 11. Koeficijent usporedbe trase 1 s trasom 3	42
Slika 12. Komparirane trase prometnica	46

POPIS TABLICA

Tablica 1. Koristi integracije ITS rješenja	23
Tablica 2. Sastavnice modela prometne optimizacije	29
Tablica 3. Duljina trase	34
Tablica 4. Računska brzina	34
Tablica 5. Prosječna brzina putovanja	34
Tablica 6. Vrijeme putovanja	34
Tablica 7. Broj prometnih traka.....	35
Tablica 8. Broj semaforiziranih raskrižja	35
Tablica 9. Broj nesemaforiziranih raskrižja	35
Tablica 10. Broj autobusnih stajališta na cesti	35
Tablica 11. Troškovi projektiranja, izgradnje i održavanja	36
Tablica 12. Razina buke	36
Tablica 13. Tablica koeficijenta usporedbe.....	44