

Inteligentni sustavi upravljanja prometom

Vidović, Marija

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies / Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:176945>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-20**



Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository](#)



uniri DIGITALNA
KNJIŽNICA



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

MARIJA VIDOVIĆ

INTELIGENTNI SUSTAVI UPRAVLJANJA PROMETOM

ZAVRŠNI RAD

Rijeka, 2024.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

**INTELIGENTNI SUSTAVI UPRAVLJANJA PROMETOM
INTELLIGENT TRAFFIC MANAGEMENT SYSTEMS**

**ZAVRŠNI RAD
BACHELOR THESIS**

Kolegij: Informacijske tehnologije u logistici

Mentor: prof. dr. sc. Edvard Tijan

Komentor: izv. prof. dr. sc. Saša Aksentijević

Studentica: Marija Vidović

Studijski smjer: Logistika i menadžment u pomorstvu i prometu

JMBAG: 0112074727

Rijeka, rujan 2024.

Studentica: Marija Vidović

Studijski program: Logistika i menadžment u pomorstvu i prometu

JMBAG: 0112074727

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom Inteligentni sustavi upravljanja prometom izradila samostalno pod mentorstvom prof. dr. sc. Edvarda Tijana te komentorstvom izv. prof. dr. sc. Saše Aksentijevića.

U radu sam primijenila metodologiju izrade stručnog/znanstvenog rada i koristila literaturu koja je navedena na kraju završnog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući navela u završnom radu na uobičajen, standardan način citirala sam i povezala s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Studentica

Marija Vidović

(potpis)

Marija Vidović

Studentica: Marija Vidović

Studijski program: Logistika i menadžment u pomorstvu i prometu

JMBAG: 0112074727

IZJAVA STUDENTA – AUTORA
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG ZAVRŠNOG RADA

Izjavljujem da kao student – autor završnog rada dozvoljavam Pomorskom fakultetu u Rijeci da ga trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim javnosti u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta.

U svrhu podržavanja otvorenog pristupa završnim radovima trajno objavljenim u javno dostupnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta, ovom izjavom dajem neisključivo imovinsko pravo iskorištavanja bez sadržajnog, vremenskog i prostornog ograničenja mog završnog rada kao autorskog djela pod uvjetima *Creative Commons* licencije CC BY Imenovanje, prema opisu dostupnom na <http://creativecommons.org/licenses/>

Studentica – autor

Marija Vidović
(potpis)

Marija Vidović

SAŽETAK

Inteligentni sustavi upravljanja prometom (ITS) predstavljaju ključnu komponentu modernizacije prometne infrastrukture i povećanja učinkovitosti transportnih mreža. U Republici Hrvatskoj, ITS sustavi su rano prepoznati i uvedeni u cestovni i željeznički promet. Intenzivna implementacija ITS sustava započela je s razvojem autocesta početkom 21. stoljeća, no nedostatak sustavnog pristupa na nacionalnoj razini još uvijek rezultira umanjenom interoperabilnošću, povećanim troškovima održavanja i lošom koordinacijom.

Ulazak Hrvatske u Europsku uniju omogućio je unapređenje zakonodavnog okvira i donošenje planskih smjernica za ITS projekte. Unatoč zadovoljavajućim istraživačko-razvojnim kapacitetima, najveći izazov ostaje nedovoljna povezanost s gospodarstvom. Osnivanje Koordinacijskog tijela za razvoj inteligentnih transportnih sustava u Hrvatskoj 2021. godine označava korak naprijed u postizanju sustavnog pristupa, poboljšanju interoperabilnosti i integracije s europskim standardima te jačanju veze između obrazovanja i industrije.

Ključne riječi: ITS, prometna infrastruktura, interoperabilnost, Europska unija, Nacionalno vijeće, zakonodavni okvir.

SUMMARY

Intelligent traffic management systems (ITS) represent a key component of the modernization of transport infrastructure and the increase of the efficiency of transport networks. In the Republic of Croatia, ITS systems were early recognized and introduced primarily in scientific and secondary education. Intensive implementation of ITS applications began with the development of highways at the beginning of the new millennium, but the lack of a systematic approach at the national level resulted in reduced interoperability, increased maintenance costs and poor coordination.

Croatia's entry into the European Union enabled the improvement of the legislative framework and the adoption of planning guidelines for ITS projects. Despite satisfactory research and development capacities, the biggest challenge remains the insufficient connection with the economy. The establishment of the Coordination Body for the Development of Intelligent Transport Systems in Croatia in 2021 marks a step forward in achieving a systematic approach, improving interoperability and integration with European standards, and strengthening the connection between education and industry.

Keywords: ITS, transport infrastructure, interoperability, European Union, National Council, legislative framework.

Sadržaj

SAŽETAK	I
SUMMARY	II
UVOD	1
1.1. Predmet, problem i objekti istraživanja.....	1
1.2. Radna hipoteza.....	2
1.3. Cilj i svrha istraživanja.....	2
1.4. Struktura rada.....	3
1.5. Znanstvene metode.....	3
2. FUNKCIJE I RAZVOJ INTELIGENTNIH SUSTAVA UPRAVLJANJA PROMETOM (ITS)	3
2.1. Teorijske odrednice inteligentnih sustava upravljanja prometom.....	4
2.2. Povijesni razvoj ITS - a.....	8
2.3. Primjena ITS - a.....	9
3. IMPLEMENTACIJA INTELIGENTNIH SUSTAVA UPRAVLJANJA U CESTOVNOM PROMETU	13
3.1. Prikupljanje podataka putem ITS - a.....	14
3.1.1. <i>ITS nadzorni sustavi u prometu</i>	14
3.1.2. <i>Izvori podataka o vozilima</i>	15
3.1.3. <i>Automatska identifikacija vozila (AVI) i podaci o vozilu (FVD)</i>	17
3.1.4. <i>Izvori podataka prometne mreže</i>	17
3.2. ITS za informiranje i upravljanje u cestovnom prometu.....	19
3.3. ITS za navigacijske usluge u cestovnom prometu.....	23
3.4. ITS za pametnu naplatu cestarine.....	25
3.5. ITS za sigurnost u cestovnom prometu.....	26
3.6. ITS za teretni promet i logistiku u cestovnom prometu.....	27

4. PRIMJENA ITS – A U ŽELJEZNIČKOM PROMETU	29
4.1. ITS u željezničkom prometu	29
4.2. Koncept i pojam implementacija ITS sustava u procesu stvaranja smart željeznica	31
4.3. Primjena ITS - a u konceptu modernizacije željeznica	33
4.4. ITS sustav i digitalizacija željezničkog prometovanja	35
5. PRIKAZ SLUČAJA - ITS SUSTAVI U CESTOVNOM I ŽELJEZNIČKOM PROMETU HRVATSKE	37
5.1. Primjena ITS-a u cestovnom prometu Hrvatske	37
5.2. Primjena ITS-a u željezničkom prometu Hrvatske	39
6. ZAKLJUČAK	42
LITERATURA	44
POPIS SLIKA	47

1. UVOD

Inteligentni sustavi upravljanja prometom (ITS) sve se više nastoje uvesti u većinu razvijenih zemalja kako bi se olakšalo odvijanje prometa i poboljšala sigurnost. Većina razvijenih zemalja već je uvelike usvojila korištenje ITS-a te je značajno unaprijedila svoj prometni sektor inteligentnim inovacijama. ITS predstavlja noviju tehnologiju koja se koristi u različitim granama i aspektima kako bi unaprijedila i ubrzala složene procese. ITS obuhvaća širok spektar tehnologija, uključujući senzore, komunikacijske mreže, analizu podataka i automatizaciju, koje zajedno omogućuju učinkovito upravljanje prometom. Ovi sustavi omogućuju bržu reakciju na prometne nesreće, smanjenje zagušenja, optimizaciju korištenja prometne infrastrukture i smanjenje emisija štetnih plinova. Primjena ITS-a uključuje pametne semafore, sustave za nadzor i upravljanje prometom, sustave za informiranje vozača u stvarnom vremenu te autonomna vozila.

Uvođenje ITS-a također donosi ekonomske koristi, kao što su smanjenje troškova održavanja prometne infrastrukture, povećanje učinkovitosti logistike i prijevoza te poticanje inovacija u automobilskoj industriji. Na primjer, sustavi za nadzor prometa mogu pružiti podatke o protoku vozila, što omogućuje bolje planiranje i održavanje cesta. Sustavi za informiranje vozača u stvarnom vremenu mogu smanjiti vrijeme putovanja i poboljšati iskustvo vožnje. ITS ima potencijal za značajno poboljšanje sigurnosti na cestama. Tehnologije kao što su automatski sustavi za prepoznavanje nesreća, sustavi za upozorenje na opasnosti i automatske kočnice mogu smanjiti broj prometnih nesreća i težinu njihovih posljedica. U kombinaciji s obrazovnim kampanjama i promjenama u prometnoj regulativi, ITS može pridonijeti stvaranju sigurnijeg prometnog okruženja.

Sve ove prednosti čine ITS ključnim elementom modernizacije prometne infrastrukture u razvijenim zemljama. Kako se tehnologija i dalje razvija, očekuje se da će ITS igrati sve važniju ulogu u oblikovanju budućnosti prometa, omogućujući efikasnije, sigurnije i ekološki prihvatljivije prometne sustave.

1.1. Predmet, problem i objekti istraživanja

Predmet rada su inteligentni sustavi upravljanja prometom. U Hrvatskoj su inteligentni sustavi upravljanja prometom vrlo rano ušli u razmatranje, prvenstveno u znanstvenim i srednjoškolskim krugovima. Razvoj programa hrvatskih autocesta na početku novog

tisućljeća potaknuo je intenzivnu implementaciju specifičnih aplikacija i usluga. Međutim, nedostatak sustavnog pristupa na nacionalnoj razini pri provedbi projekata uzrokovao je smanjenu interoperabilnost sustava, povećanje troškova održavanja, lošu koordinaciju na cjelokupnoj cestovnoj mreži Hrvatske te nedostatak koordinacije sa susjednim zemljama, iz čega proizlazi i problem ovoga istraživanja.

Objekt istraživanja na temu inteligentni sustavi upravljanja prometom odnosi se na analizu, razvoj i implementaciju naprednih tehnologija i sustava koji optimiziraju protok prometa, povećavaju sigurnost na cestama i smanjuju negativne utjecaje na okoliš.

1.2. Radna hipoteza

Radna hipoteza glasi:

H1. Implementacija inteligentnih sustava upravljanja prometom može značajno poboljšati učinkovitost prometnog sustava, povećati sigurnost sudionika u prometu te smanjiti negativne utjecaje na okoliš.

Ova hipoteza implicira da korištenje naprednih tehnologija poput senzora, umjetne inteligencije i komunikacijskih mreža može donijeti višestruke koristi, uključujući optimizaciju protoka vozila, bolje upravljanje semaforima i raskrižjima, brže reagiranje na prometne incidente te smanjenje emisija štetnih plinova. Evaluacija ove hipoteze bi obuhvatila analizu učinkovitosti implementiranih sustava u stvarnim uvjetima te njihov utjecaj na ukupno prometno okruženje.

1.3. Cilj i svrha istraživanja

Cilj rada je definirati pojam i ulogu inteligentnih prometnih sustava, kako u teorijskom smislu tako i kroz praktične primjere iz Republike Hrvatske. Ulaskom Hrvatske u Europsku uniju stvoreni su preduvjeti za sustavni pristup razvoju ITS-a, prvenstveno kroz unaprjeđenje zakonodavnog okvira, donošenje planskih smjernica za provedbu te implementaciju pametne infrastrukture koja može doprinijeti učinkovitijem upravljanju prometom. Svrha istraživanja je ispitati i analizirati utjecaj implementacije inteligentnih sustava upravljanja prometom na učinkovitost prometnog sustava, sigurnost sudionika u prometu i ekološke aspekte.

1.4. Struktura rada

Rad se sastoji od šest poglavlja. Prvo poglavlje je uvod. Drugo poglavlje teorijski definira pojam inteligentnih prometnih sustava, potom se objašnjava uloga i važnost tih sustava te njihova primjena u prometu. Treće poglavlje bavi se informacijskim tehnologijama i rješenjima koja se koriste u prometu. Četvrto poglavlje analizira primjenu inteligentnih sustava u željezničkom prometu. Peto poglavlje istražuje primjenu ITS-a u Republici Hrvatskoj. Posljednje poglavlje donosi zaključak.

1.5. Znanstvene metode

U izradi završnog rada, u različitim kombinacijama i kompilaciji tokom poglavlja, korištene su sljedeće znanstvene metode: metoda deskripcije, metoda analize i sinteze, metoda indukcije i dedukcije, metoda klasifikacije, komparativna metoda i metoda generalizacije.

2. FUNKCIJE I RAZVOJ INTELIGENTNIH SUSTAVA UPRAVLJANJA PROMETOM (ITS)

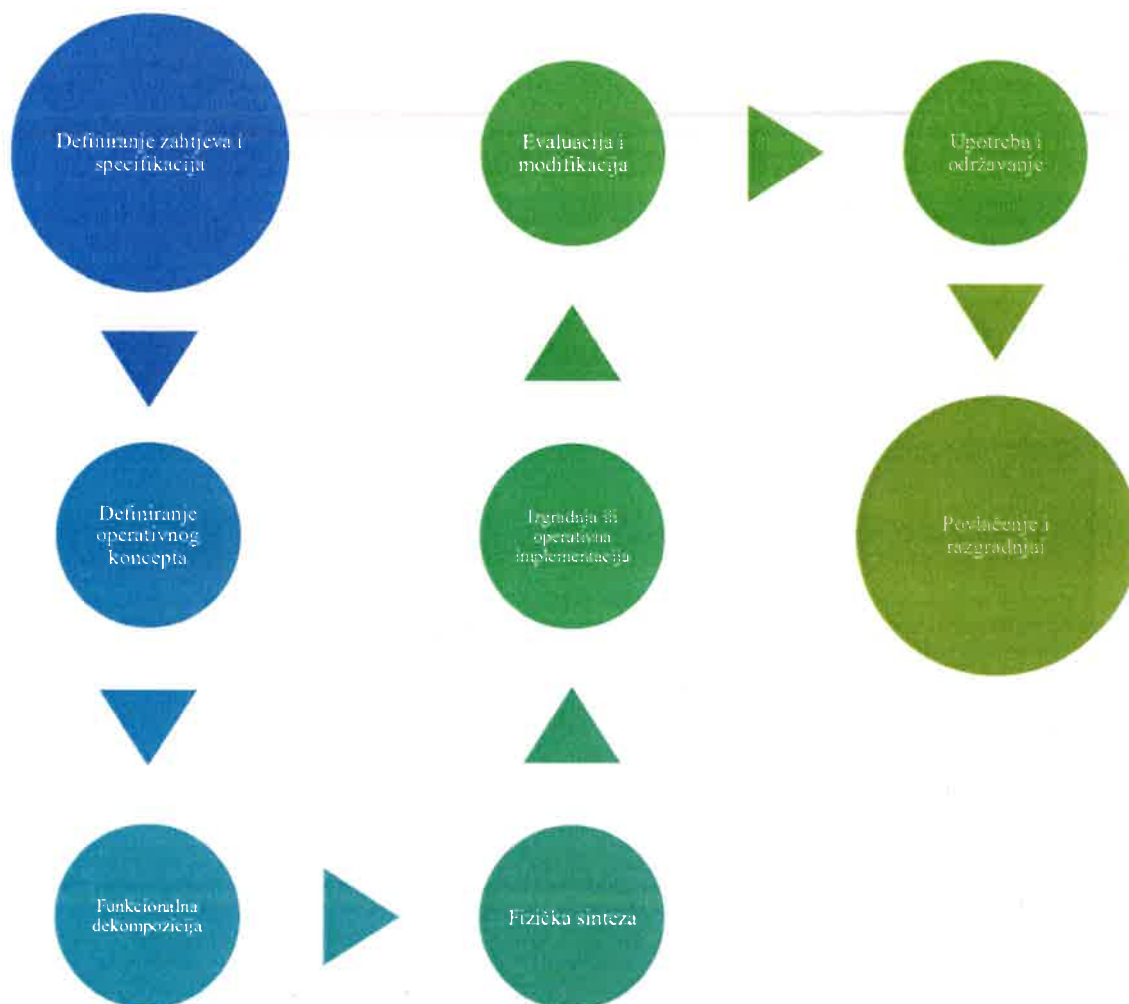
U drugom poglavlju istražuju se funkcije i razvoj inteligentnih sustava upravljanja prometom (ITS). ITS predstavlja skup tehnologija i aplikacija usmjerenih na poboljšanje učinkovitosti, sigurnosti i održivosti prometnih sustava. Integracija naprednih informacijskih i komunikacijskih tehnologija u prometnu infrastrukturu i vozila omogućuje optimizaciju upravljanja prometom, smanjenje zagušenja te povećanje sigurnosti i udobnosti korisnika. Kroz teorijsko definiranje ITS-a, proučit će se ključne komponente i funkcije ovih sustava, uključujući senzore, komunikacijske mreže, analitiku podataka i automatizaciju. Također će se razmotriti važnost ITS-a u suvremenom prometu, naglašavajući kako ove tehnologije mogu doprinijeti smanjenju broja prometnih nesreća, smanjenju emisija štetnih plinova te boljem korištenju postojeće prometne infrastrukture.

2.1. Teorijske odrednice inteligentnih sustava upravljanja prometom

Pojam "Inteligentni sustavi upravljanja prometom" ili "ITS" koristi se za definiranje uporabe informacijskih i komunikacijskih tehnologija (ICT) u području prometa. ITS omogućuje stvaranje protoka informacija i podataka u stvarnom vremenu kako bi se omogućila "inteligentnija" uporaba infrastrukture i vozila te poboljšalo upravljanje prometom i mobilnošću (Lam et al., 2022). Vizija za ITS je "inteligentna mobilnost prema potpuno informiranim ljudima, nula nesreća, nula kašnjenja, sa smanjenim utjecajem na okoliš, gdje su usluge pristupačne i besprijeorne, uz poštivanje privatnosti i osiguranu sigurnost" (Crainic et al., 2009).

ITS se identificira kao domena visokog potencijala za rješavanje brojnih izazova s kojima se prometni sektor suočava, kako unutar pojedinih načina prijevoza, tako i u stvaranju sučelja i integracije između različitih načina prijevoza. Osim infrastrukture, ITS se smatra najvažnijim pojedinačnim "čimbenikom" koji može omogućiti suradnju među različitim načinima prijevoza i stvoriti besprijekoran prometni sustav diljem Europe. Današnja zajednica dionika koja pruža ili koristi ITS aplikacije i usluge je velika i značajno doprinosi gospodarskom i društvenom razvoju. Međutim, razvoj i primjena unimodalnih ITS aplikacija još uvijek su nedovršeni i nedovoljno rašireni da bi na sveobuhvatan način pokrili sve potencijalne aplikacije i tržišno prihvaćanje. Postizanje "kritične mase" za samodostatnost i održivost integriranih ITS aplikacija trenutno je cilj koji tek treba postići u mnogim slučajevima (Lam et al., 2022).

Slika 1. Životni ciklus ITS - a



Izvor: prilagodba autorice prema Mandžuka, 2010.

ITS aplikacije omogućuju niz funkcionalnosti, uključujući nadzor prometa, upravljanje incidentima, optimizaciju signalizacije, sustave za informiranje putnika, elektroničku naplatu cestarine te upravljanje flotama i logistikom. Integracijom ovih tehnologija, prometni sustavi mogu postati efikasniji, sigurniji i ekološki prihvatljiviji. Na primjer, pametni semafori koji prilagođavaju vrijeme signalizacije prema stvarnom stanju prometa mogu smanjiti zastoje i emisije štetnih plinova. Sustavi za nadzor prometa u stvarnom vremenu mogu brže identificirati i reagirati na prometne nesreće, smanjujući vrijeme reakcije hitnih službi. ITS također igra ključnu ulogu u razvoju autonomnih vozila, pružajući potrebnu infrastrukturu za komunikaciju između vozila (V2V) i između vozila i infrastrukture (V2I). Ova komunikacija

omogućuje autonomnim vozilima da bolje percipiraju svoje okruženje i donose sigurnije i učinkovitije odluke u vožnji.

Napori da se poveća proliferacija ITS-a na nacionalnoj razini i razini EU-a intenzivirani su u posljednjih desetak godina kroz zakonodavne i tehničke razvojne mjere. Najraniji institucionalni napori za promicanje ITS-a u Europi započeli su ranih 90-ih godina. Od tada se ITS sustavi i aplikacije kontinuirano razvijaju i implementiraju u Europi i cijelom razvijenom svijetu. Inteligentni transportni sustavi (ITS) već se godinama istražuju u Europi, Sjevernoj Americi i Japanu s ciljem poboljšanja sigurnosti i učinkovitosti cestovnog prometa te očuvanja okoliša (Mandžuka, 2010.). U tu su svrhu nove tehnologije i računalna snaga primijenjeni na autoceste, prometne i tranzitne sustave. ITS se može smatrati globalnim fenomenom koji privlači svjetski interes profesionalaca u prometu, automobilske industrije i donositelja političkih odluka. ITS uključuje veliki broj istraživačkih područja raspoređenih u mnogo različitih tehnoloških sektora kao što su elektronika, kontrola, komunikacije, senzori, robotika, obrada signala i informacijski sustavi (Mandžuka, 2010.). Ova multidisciplinarna priroda povećava složenost problema jer zahtijeva prijenos znanja i suradnju između različitih područja istraživanja.

Jedan od glavnih izazova složenog i multidisciplinarnog područja ITS-a je teškoća suočavanja s razvojem i istraživanjem na ovom polju. Tradicionalne teme interesa se mijenjaju i pojavljuju se nove zbog stalnog napretka novih tehnologija te ekonomskih, društvenih i ekoloških implikacija ITS-a. ITS obuhvaća širok spektar primjena, uključujući sustave za upravljanje prometom, sustave za nadzor prometa, inteligentne semafore, sustave za informiranje putnika u stvarnom vremenu, elektroničku naplatu cestarine te sustave za upravljanje flotama i logistikom. U Europi, ove tehnologije igraju ključnu ulogu u razvoju pametnih gradova i stvaranju održivih prometnih sustava. Razvoj ITS-a također uključuje suradnju između javnog i privatnog sektora, što je ključno za uspješnu implementaciju ovih sustava. EU je prepoznala važnost ITS-a i uložila znatna sredstva u istraživanje i razvoj kroz razne programe i inicijative, poput programa Horizon 2020.

Kao rezultat ovih napora, mnoge europske zemlje su uspostavile napredne ITS infrastrukture koje omogućuju efikasnije upravljanje prometom, smanjenje zagušenja, poboljšanje sigurnosti na cestama te smanjenje emisija štetnih plinova. Unatoč napretku, još uvijek postoji potreba za daljnjim razvojem i implementacijom ITS-a kako bi se ostvarili svi potencijali ove tehnologije i suočili s izazovima budućeg razvoja prometa.

Postoje različiti načini klasificiranja i segmentiranja ITS polja. Šest glavnih kategorija pregledano je u iz tehnološke perspektive (Mandžuka, 2010.):

- Napredni sustavi upravljanja prometom (ATMS), koji se koriste za poboljšanje kvalitete prometnih usluga i smanjenje kašnjenja u prometu.
- Napredni informacijski sustavi za putnike (ATIS), koji se koriste za pružanje informacija o prometu putnicima u stvarnom vremenu.
- Rad i promet gospodarskih vozila (CVO), sustavi koji koriste različite ITS tehnologije za povećanje sigurnosti i učinkovitosti gospodarskih vozila i voznih parkova.
- Napredni sustavi javnog prijevoza (APTS), koji koriste elektroničke tehnologije za poboljšanje rada i učinkovitosti prijevoza s velikim brojem putnika, kao što su autobusi i vlakovi.
- Napredni sustavi upravljanja vozilima (AVCS), koji spajaju senzore, računala i upravljačke sustave u rješenjima za pomoć u vožnji.
- Napredni sustavi ruralnog prijevoza (ARTS), koji se koriste za rješavanje problema koji se javljaju u ruralnim zonama (strmi usponi, slijepi zavoji, zavoji, rijetki navigacijski znakovi, miješanje korisnika, nedostatak alternativnih ruta).

Iako je ova klasifikacija oblikovana tehnologijama u nastajanju i korisna je sa stajališta dizajnera sustava, neke zanimljive teme vezane uz ITS su isključene. Na primjer, prometna politika i planiranje, prometno modeliranje i predviđanje te sociološki i bihevioralni utjecaji ITS-a nisu uključeni u prethodnu klasifikaciju. Zahtjevima i preferencijama korisnika ITS-a također se može posvetiti nedovoljna pozornost. Implementacija ITS-a nije samo tehnološki izazov, već zahtijeva i promjene u zakonodavnom okviru, standardizaciji i međunarodnoj suradnji. Ulaskom Hrvatske u Europsku uniju, stvoreni su preduvjeti za sustavni pristup razvoju ITS-a, uključujući unaprjeđenje zakonodavnog okvira, donošenje planskih smjernica za provedbu te implementaciju pametne infrastrukture koja može doprinijeti učinkovitijem upravljanju prometom. Unatoč napretku, postoji potreba za kontinuiranim radom na postizanju potpune integracije i samodostatnosti ITS aplikacija kako bi se ostvario njihov puni potencijal.

2.2. Povijesni razvoj ITS - a

Prvi telematički sustavi koji su se pojavili kasnih 1960-ih godina bili su računalni sustavi za kontrolu signala, dizajnirani za optimizaciju protoka prometa u gradovima. Tijekom godina razvijen je sve veći broj sve sofisticiranijih proizvoda i sustava (Mandžuka, 2010). Inteligentni transportni sustav je napredna aplikacija koja ima za cilj pružiti inovativne usluge vezane za različite načine transporta i upravljanje prometom te omogućiti korisnicima da budu bolje informirani i da sigurnije, koordiniranije i 'pametnije' koriste prometne mreže (Bošnjak et al., 2007). Problematika ITS-a dugo je bila nepoznanica u implementaciji tradicionalnih prometnih sustava. Međutim, sa snažnim razvojem IT tehnologije, primjena ITS-a započela je u svim vrstama prometa u različitim zemljama. ITS obuhvaća širok spektar tehnologija i aplikacija koje uključuju sustave za nadzor i upravljanje prometom, inteligentne semafore, sustave za informiranje putnika u stvarnom vremenu, elektroničku naplatu cestarine te sustave za upravljanje flotama i logistikom.

Ove tehnologije omogućuju bolje upravljanje prometom, smanjenje zagušenja, povećanje sigurnosti na cestama i smanjenje emisija štetnih plinova. Primjerice, pametni semafori koji prilagođavaju vrijeme signalizacije prema stvarnom stanju prometa mogu smanjiti zastoje i povećati protočnost prometa. Sustavi za nadzor prometa u stvarnom vremenu omogućuju bržu identifikaciju i reakciju na prometne nesreće, smanjujući vrijeme reakcije hitnih službi. ITS također igra ključnu ulogu u razvoju autonomnih vozila, pružajući potrebnu infrastrukturu za komunikaciju između vozila (V2V) i između vozila i infrastrukture (V2I) (Mandžuka, 2010.). Ova komunikacija omogućuje autonomnim vozilima da bolje percipiraju svoje okruženje i donose sigurnije i učinkovitije odluke u vožnji.

Tako se pojam ITS – a uvodi u znanstvenu i stručnu praksu početkom 1990 – tih godina. Tome je doprinijelo održavanje svjetskog ITS kongresa u Parizu 1994. godine, kada se tamo prvi put predstavio ovaj pojam i mogućnosti njegova korištenja u prometnom sustavu. Ranije su se za ITS koristili nazivi poput cestovne transportne problematike (road transport telematics), inteligentni sustavi prometnica (intelligent highway systems) i slično (Bošnjak et al., 2007.).

ITS je započeo svoj razvoj koji se temeljio na razvojnim projektima koji datiraju inicijalno sa početka 1970 – tih godina te koji su se razvijali do kraja 20. stoljeća. Radi se o sljedećim projektima (Bošnjak et al., 2007.):

- ERGS – *Electronic 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-i godina prošlog stoljeća),
- europski projekti DRIVE, PROMETEJ (90-ih godina prošlog stoljeća).

Primjena ITS – a se samo usavršavala kako je IT tehnologija napredovala, a primjena istih polako u različitim razvojnim programima i projektima doprinijela je suvremenoj implementaciji istih u prometnim sustavima. Implementacija ITS-a nije samo tehnološki izazov, već zahtijeva i promjene u zakonodavnom okviru, standardizaciji i međunarodnoj suradnji. Ulaskom Hrvatske u Europsku uniju, stvoreni su preduvjeti za sustavni pristup razvoju ITS-a, uključujući unaprjeđenje zakonodavnog okvira, donošenje planskih smjernica za provedbu te implementaciju pametne infrastrukture koja može doprinijeti učinkovitijem upravljanju prometom. ITS je globalni fenomen koji privlači svjetski interes profesionalaca u prometu, automobilske industrije i donositelja političkih odluka. Razvoj ITS-a uključuje suradnju između javnog i privatnog sektora, što je ključno za uspješnu implementaciju ovih sustava. Kako se tehnologija i dalje razvija, ITS će igrati sve važniju ulogu u oblikovanju budućnosti prometa, omogućujući efikasnije, sigurnije i ekološki prihvatljivije prometne sustave.

2.3.Primjena ITS - a

Primjena ITS – a i usluga do sada je bila uglavnom "unimodalna" u opsegu, fokusirajući se na jedan način prijevoza odjednom. To je ostavilo iza sebe širu "cross-modal" primjenu postojećih sustava, koja se treba razvijati u budućnosti. ITS aplikacije mogu značajno povećati učinkovitost poslovanja, potaknuti korištenje različitih načina prijevoza i poboljšati razinu sigurnosti. Neke od ključnih ITS aplikacija uključuju (Crainic et al., 2009):

- Sustavi za raspoređivanje i povezivanje vozila, tereta i vozača te automatsko prikupljanje izvješća o vožnji: Ovi sustavi omogućuju učinkovitu koordinaciju između različitih elemenata transportnog procesa, smanjujući vrijeme čekanja i povećavajući produktivnost.

- Optimalne rute za standardni i 'nestandardni' transport, kao što su prevelika vozila ili opasna roba: ITS može pružiti informacije o najboljim rutama za različite vrste transporta, uzimajući u obzir faktore kao što su prometne gužve, stanje cesta i specifični zahtjevi tereta.
- Praćenje rada vozila u vezi sa sigurnošću, uz pohranjivanje podataka u vozilu za odgovaranje na upite na putu: Ovi sustavi omogućuju kontinuirano praćenje stanja vozila, identificiranje potencijalnih problema u stvarnom vremenu i pohranjivanje podataka za kasniju analizu.
- Praćenje i praćenje komercijalnih vozila, kontejnera ili tereta na njihovom putu, dok se prati njihov fizički status, npr. za hranu ili opasnu robu: ITS omogućuje praćenje lokacije i stanja tereta, osiguravajući da osjetljivi ili opasni tereti budu sigurno transportirani.
- Automatizacija komercijalne i regulatorne dokumentacije koja prati gospodarska vozila i robu: Digitalizacija i automatizacija dokumentacije smanjuje administrativne troškove i ubrzava procese, omogućujući brže i učinkovitije poslovanje.
- Pružanje "ureda u taksiju" za vlasnike/vozače vozila: ITS aplikacije omogućuju vozačima pristup uredskim alatima dok su na putu, poboljšavajući njihovu produktivnost i omogućujući bolje upravljanje poslovanjem.

Slika 2. Primjer prednosti primjene ITS – a na Hrvatskim autocestama



Izvor: Pavlić, M. (2021): Inteligentni transportni sustavi (ITS) – Pamet na cesti, dostupno na <https://mreza.bug.hr/tehnologije/inteligentni-transportni-sustavi-its-pamet-na-cesti-19703>, pristupljeno 15.05.2024.

ITS – i i aplikacije značajno doprinose modernizaciji i učinkovitosti transportnog sektora. Njihova daljnja integracija i razvoj prema "cross-modal" primjeni omogućit će još veće koristi, uključujući smanjenje zagušenja na cestama, povećanje sigurnosti u prometu i smanjenje negativnog utjecaja na okoliš. S razvojem novih tehnologija i sve većom primjenom ITS-a, možemo očekivati sveobuhvatnije i učinkovitije prometne sustave u budućnosti.

Primjeri inteligentnih prometnih sustava (ITS) koji podržavaju aplikacije i usluge opisane na prethodnim stranicama obuhvaćaju širok spektar funkcionalnosti, a neki od ključnih primjera su (Antoliš et al., 2008.):

- Sustav plaćanja s 'pametnom karticom': Ova tehnologija omogućuje putnicima da jednostavno plaćaju usluge poput parkiranja, cestarine, javnog prijevoza itd., koristeći jednu karticu. Osim toga, kartica može pohranjivati osobne podatke i postavke, kao što su informacije o invaliditetu ili preferencije u hotelima. Svaki pružatelj usluga dobiva točnu uplatu za pruženu uslugu, čime se poboljšava efikasnost i praktičnost transakcija.
- Automatski sustav naplate cestarine: Ovaj sustav omogućuje vozilima da plaćaju cestarinu bez zaustavljanja na naplatnim kućicama. To smanjuje gužve i vrijeme putovanja te omogućuje precizno naplaćivanje naknade prema prijeđenoj udaljenosti ili vrsti vozila.
- Automatski pozivni sustav u vozilu u slučaju nesreće: ITS može generirati automatski poziv u slučaju nesreće. Pozivni centar dobiva točnu lokaciju vozila i pruža hitnim službama potrebne informacije za brzu intervenciju. Ovo pomaže u smanjenju vremena reakcije i može spasiti živote.
- Upravljanje iznimnim uvjetima prometa: ITS sustavi su ključni za upravljanje u iznimnim situacijama kao što su prolazak opasnih tvari ili upravljanje prometom na mostovima i u tunelima. Oni osiguravaju sigurnost i učinkovitost u takvim kritičnim situacijama.
- Automatsko otkrivanje prometnih prekršaja: ITS može automatizirano detektirati prometne prekršaje poput prekoračenja brzine ili nepoštivanja prometne signalizacije.

Sustav bilježi podatke o vozilu koje je počinilo prekršaj i olakšava proces obrade prekršaja, oslobađajući osoblje za druge zadatke.

Ovi primjeri ilustriraju raznolikost primjene ITS – a u poboljšanju efikasnosti, sigurnosti i praktičnosti u prometnom sektoru. Europska unija prepoznala je važnost primjene inteligentnih transportnih sustava (ITS) u svojim zemljama članicama radi poboljšanja mobilnosti i povezanosti unutar EU. Iako je Europska unija svoje korijene imala u ranim 1950-ima, usvajanje ITS-a započelo je tek 1990-ih godina kada su se ovi sustavi počeli primjenjivati u praksi.

Europski prometni sustav uveo je ITS zbog potrebe za brzom i učinkovitom mobilnošću te povezivanjem zemalja članica. Nacionalne ITS udruge unutar EU povezane su putem mreže poznate kao ERTICO - ITS Europe, koja je službeno osnovana 7. listopada 2004. u Londonu (Europska komisija, 2022.). Tajništvo ERTICO - ITS Europe djeluje kao javno-privatno partnerstvo koje promiče razvoj i implementaciju ITS-a. ERTICO - ITS Europe okuplja javna tijela, industrijske igrače, operatore infrastrukture, korisnike, nacionalne ITS udruge te druge organizacije s ciljem unaprjeđenja sigurnosti, učinkovitosti i održivosti prometnih mreža, uz poseban naglasak na smanjenje ekološkog utjecaja.

Danas, Europski sustav upravljanja željezničkim prometom (ERTMS) predstavlja integrirani sustav signalizacije i upravljanja koji omogućava interoperabilnost na europskoj željezničkoj mreži. ERTMS uključuje telematske aplikacije kao funkcionalne podsustave željezničkog sustava EU, uključujući (Europska komisija, 2022.):

- Aplikacije za putničke usluge (TAP): Sustavi koji putnicima pružaju informacije prije i tijekom putovanja, sustave za rezervaciju i plaćanje, upravljanje prtljagom te veze s drugim načinima prijevoza.
- Aplikacije za usluge prijevoza tereta (TAF): Sustavi koji uključuju informacijske sustave za praćenje tereta i vlakova u stvarnom vremenu, sustave za ranžiranje i dodjelu, rezervaciju i plaćanje tereta te izradu elektroničkih popratnih dokumenata.

Ovi napredni sustavi omogućuju bolje upravljanje i efikasnost u prometnom sektoru EU, pridonoseći tako cjelokupnoj integraciji i razvoju europskih prometnih mreža. ranju pametnijih i održivijih gradova te modernizaciji infrastrukture transporta diljem svijeta.

Primjena inteligentnih transportnih sustava (ITS-a) u Hrvatskoj vezana je za projekt pod nazivom "Opći modeli ITS-a i njihova modalna preslikavanja", koji je započeo 1997. Godine (Mandžuka, 2020.). Ovaj projekt postavio je temelje za primjenu ITS-a u hrvatskom prometnom sustavu, s posebnim naglaskom na cestovni promet, posebice na izgradnji autocesta. Autoceste u Hrvatskoj su opremljene ITS sustavima, čime su postale najmodernije i najsigurnije, prema istraživanju Mandžuke iz 2020. godine. Važno je istaknuti da su ovi sustavi usklađeni s tehničkim standardima za interoperabilnost (TSI), što omogućuje razmjenu usklađenih podataka između upravitelja željezničke infrastrukture, željezničkih prijevoznika i drugih dionika, kao što su prodavači karata. Ovi standardi, poput TSI-a, ključni su za integraciju različitih ITS – a na nacionalnoj razini.

Hrvatska je za svoje inovacije u području ITS – a dobila priznanja poput EuroTAP-a (European Tunnel Assessment Programme), koji je dio istraživačkih projekata usmjerenih na sigurnost prometa u tunelima diljem Europe (Mandžuka, 2020.). Ova priznanja potvrđuju napredak i kvalitetu implementiranih ITS rješenja u Hrvatskoj, pridonoseći sigurnosti i učinkovitosti prometnog sustava.

3. IMPLEMENTACIJA INTELIGENTNIH SUSTAVA UPRAVLJANJA U CESTOVNOM PROMETU

Uvođenje inteligentnih sustava upravljanja prometom u cestovni promet predstavlja ključan korak ka modernizaciji i poboljšanju učinkovitosti prometnih sustava. ITS se definira kao integracija informacijskih i komunikacijskih tehnologija (ICT) u prometne sustave radi boljeg upravljanja i korištenja infrastrukture, čime se postiže inteligentnije kretanje vozila i ljudi. Primjena ITS-a u cestovnom prometu omogućava brojne napredne funkcije koje poboljšavaju sigurnost, učinkovitost i udobnost prometovanja. Sustavi za upravljanje prometom, nadzor nad stanjem cesta, telematičke aplikacije za praćenje i upravljanje vozilima samo su neki od primjera koji doprinose integriranoj prometnoj mreži.

Implementacija ITS-a u Hrvatskoj, kao i u drugim zemljama, podrazumijeva usklađivanje s europskim standardima i smjernicama za interoperabilnost, što omogućava efikasnu razmjenu podataka između različitih dionika u prometnom sustavu. Napredak u tehnologiji i usvajanje novih inovacija ključni su za daljnji razvoj ITS-a i optimizaciju prometnih tokova.

3.1. Prikupljanje podataka putem ITS - a

Prikupljanje podataka putem inteligentnih sustava upravljanja prometom predstavlja ključnu komponentu modernih prometnih sustava. ITS omogućava kontinuirano prikupljanje, analizu i distribuciju podataka u stvarnom vremenu kako bi se poboljšalo upravljanje prometom, povećala sigurnost i optimizirala mobilnost sudionika u prometu. ITS integrira informacijske i komunikacijske tehnologije (ICT) kako bi se omogućila brza i precizna razmjena podataka između vozila, infrastrukture i upravljačkih centara. Ovaj proces omogućuje prometnim vlastima i operaterima da dobiju sveobuhvatni uvid u stanje prometa, što im omogućuje da donose informirane odluke i poduzimaju potrebne mjere u stvarnom vremenu.

Implementacija ITS-a uključuje različite tehnologije poput senzora, kamera, bežičnih komunikacija, telematičkih sustava i aplikacija za prikupljanje podataka o prometu. Ovi sustavi pružaju informacije o brzini, gustoći prometa, incidentima na cesti, vremenskim uvjetima i drugim relevantnim podacima koji su ključni za upravljanje prometom.

3.1.1. Nadzorni sustavi u prometu

Prikupljanje pravovremenih, točnih i pouzdanih informacija o prometu ključno je za mnoge usluge inteligentnih sustava upravljanja prometom. Prometni podaci se mogu podijeliti u tri klase: podaci o prometnom toku (npr. prosječna brzina), pojedinačni podaci o vozilu (npr. vrsta vozila) i podaci o prometnim vezama (npr. prosječno vrijeme putovanja) (Crainic, 2009.). Tradicijski, nadzor prometa postizao se upotrebom detektora s induktivnim petljama zakopanim ispod kolnika. Ovi detektori mogu registrirati prisutnost vozila i brojiti ih. Dvostruke petlje u istoj traci s fiksnom udaljenosti mogu mjeriti brzinu vozila. Detektori s induktivnim petljama također mogu detektirati prometne gužve kada se brzina vozila smanji ispod određenog praga.

Napredniji prometni senzori, poput ultrazvučnih, radarskih i infracrvenih senzora, instalirani su na nadzemnim portalima što minimizira ometanje prometa u odnosu na detektore s induktivnim petljama. Međutim, ovi senzori možda nisu tako pouzdani u lošim vremenskim uvjetima i često rade samo kao jednozonski detektori. Video detektori slike (VID) su nova tehnologija u detekciji prometa. Koriste se video kamere koje snimaju promet, a slike

se zatim obrađuju radi utvrđivanja prisutnosti vozila, brzine, zauzetosti trake i drugih atributa. Višestruke kamere mogu biti povezane na jednu procesorsku jedinicu za široku pokrivenost područja. Softver za obradu slike može smanjiti probleme uzrokovane sjenama, okluzijom i direktnom sunčevom svjetlošću.

Video detektori omogućuju operaterima prometnih centara da u realnom vremenu prate kompleksne prometne situacije i donose brze odluke. Za razliku od drugih prometnih senzora, video nadzori pružaju detaljan uvid koji pomaže u učinkovitom upravljanju prometom i rješavanju izazova na cestama.

Centar za upravljanje prometom koristi vizualne slike s televizije zatvorenog kruga (CCTV) kao dopunu detektorima prometa kako bi bolje razumio prometnu situaciju. Osim detektora prometa i video nadzora, dodatni inputi dolaze i od policijskih patrola, helikopterskih izvjestitelja, odjela za održavanje cesta, meteorološkog ureda, taksi vozila i sve više mobilnih poziva vozača na cesti. Ovi inputi pružaju važne informacije o prometu i omogućuju efikasno upravljanje prometom. Na primjer, senzori koji mjere točku smrzavanja površine ceste omogućuju upraviteljima mreže da precizno izračunaju količinu kemikalija za odleđivanje, čime se poboljšava sigurnost i smanjuju troškovi (Mandžuka, 2010.). Podaci o stanju vozila, kao što su brzina, razina goriva, tlak ulja, temperatura motora itd., dostupni su vozačima. Senzori u vozilu prikupljaju ove podatke, što je ključno za održavanje i upravljanje vozilom.

S aspekta održavanja cesta, nadzor težine vozila je također važan. Preopterećena osovina kamiona može znatno oštetiti cestu, a procjenjuje se da je šteta koju uzrokuje jedna preopterećena osovina ekvivalentna šteti od pola milijuna automobila. Posljednjih godina, tehnologije kao što su sustavi za vaganje u kretanju (WIM) temeljeni na mjernim ćelijama, pločama za savijanje, piezoelektričnim sensorima i slično, omogućuju nadzor težine vozila bez potrebe za zaustavljanjem kamiona (Kososz, 2013.). Ove tehnologije donose značajne uštede vremena vozačima kamiona i cestovnim vlastima u mnogim zemljama. Također je važno koristiti ITS tehnologije za mjerenje dimenzija vozila radi efikasnog upravljanja prometom.

3.1.2. Izvori podataka o vozilima

Informacija o lokaciji vozila je ključna u ITS-u iz različitih perspektiva: za pojedinačne vozače koji trebaju navigaciju i lokalne informacije, za operatere voznog parka koji upravljaju

svojim vozilima te za javne agencije koje se bave spašavanjem, praćenjem ukradenih vozila ili vozila s opasnim materijalima. Jedna od važnih primjena je mjerenje vremena putovanja na vezi ili "vrijeme veze". Vozila koja se koriste za ovu svrhu nazivaju se "sonde vozila" ili "plutajuća vozila" (Kososz, 2013.). Ova tehnologija omogućuje precizno mjerenje vremena putovanja između dvije točke, što je korisno za optimizaciju prometnog toka i upravljanje prometom.

Dodatno, vozila mogu detektirati prometne i vremenske uvjete poput klizanja guma na zaleđenoj cesti ili vlažnosti na vjetrobranskom staklu. Te informacije mogu se automatski prijaviti prometnom centru zajedno s lokacijom vozila, pružajući važne podatke o sigurnosti i uvjetima na cesti.

U Južnoj Koreji se koristi nacionalni sustav za automatsku identifikaciju brojeva vozila (AVI) radi provođenja zakona o prometu i sprječavanja kriminala (Lam et al., 2022.). Ovaj sustav uključuje opremu instaliranu na infrastrukturi, poput svjetionika uz cestu ili čitača registarskih pločica temeljenih na kamerama, koje omogućuju prepoznavanje vozila u prolazu. Koncept tehnologije sondiranja vozila može se primijeniti globalno, uključujući i područja bez specijalno opremljene infrastrukture. To se postiže korištenjem sustava automatske lokacije vozila (AVL) temeljenih na globalnim satelitskim navigacijskim sustavima (GNSS) (Lam et al., 2022.), što omogućuje praćenje i prikupljanje podataka o lokaciji vozila bez obzira na mjesto u svijetu.

Funkcionalno, upotreba sonde za mjerenje vremena putovanja ima tri izazova (Kolosz et al., 2013.):

1. latencija: vozilima treba vremena da dođu do točke B prije nego što se može izmjeriti vrijeme putovanja od točke A do točke
2. "curenje podataka": neka vozila nikada ne stignu do točke B; i
3. veličina uzorka: premalo vozila koja putuju vezom.

Pouzdana mjerenje vremena putovanja vozilima sonde ovisi o veličini uzorka i uspješnom podudaranju podataka. Ovi izazovi se uspješno rješavaju jer se sve više vozni parkovi oprema sustavima automatske identifikacije vozila (AVI) i sustavima automatske lokacije vozila (AVL). AVI sustavi omogućuju precizno i automatsko prepoznavanje vozila na temelju oznaka ili transpondera. To omogućuje kontinuirano praćenje i identifikaciju vozila u stvarnom vremenu dok prolaze kroz određene točke. Ova tehnologija ključna je za mjerenje vremena putovanja vozila sonde, što pomaže u planiranju i upravljanju prometom.

S druge strane, AVL sustavi koriste globalne satelitske navigacijske sustave (GNSS) poput GPS-a za precizno određivanje lokacije vozila u stvarnom vremenu. Ovi sustavi pružaju kontinuirane informacije o točnoj geografskoj poziciji vozila, čime se omogućuje efikasno praćenje vozila u pokretu bez obzira na lokaciju. Uz sve veću implementaciju AVI i AVL tehnologija, problemi s veličinom uzorka i podudaranjem podataka smanjuju se. Ovi sustavi omogućuju sustavima upravljanja prometom i operaterima voznih parkova da dobiju pouzdane informacije o vremenima putovanja vozila i njihovoj lokaciji, što je ključno za optimizaciju prometnog toka, sigurnost na cestama te učinkovito upravljanje voznim parkovima.

3.1.3. Automatska identifikacija vozila (AVI) i podaci o vozilu (FVD)

Kodirani radijski signal koji se odašilje iz vozila dok prolazi ispod AVI terminala ili svjetionika instaliranog na portalu omogućuje određivanje lokacije vozila u točno određenom trenutku. Detekcija istog vozila na drugom AVI terminalu nakon nekog vremena omogućuje izračun stvarnog vremena putovanja vozila kroz cestovnu mrežu do prometnog središta (Lam et al., 2022.). Drugi pristup uključuje korištenje čitača registarskih pločica za identifikaciju vozila. Ova tehnologija koristi prepoznavanje znakova kako bi pročitala registarsku tablicu vozila sa slike snimljene kamerama na infrastrukturi. AVI sustavi također se koriste za provođenje prometnih zakona, omogućujući nadzor pojedinačnih vozila prilikom prolaska kroz crveno svjetlo, kršenje sigurnosnih provjera ili neplaćanje cestarine.

Podaci o vozilu (FVD) postaju sve važniji jer javne agencije prepoznaju prednosti u odnosu na konvencionalne prometne senzore na cestovnoj infrastrukturi za široko rasprostranjene ITS aplikacije. Primjer je sustav podataka o FVD-u koji koristi ITS tvrtke za prikupljanje podataka o prometu u stvarnom vremenu u Ujedinjenom Kraljevstvu i na transeuropskoj mreži autocesta. Ovaj sustav koristi vozne parkove kamiona i autobusa za duge relacije opremljene AVL sustavima. ITS upravlja najvećom svjetskom FVD mrežom s više od 30.000 sondi (Sršen, 2012.).

3.1.4. Izvori podataka prometne mreže

Osim podataka o prometu i vozilima, ključno je ulaganje u podatke o samim prometnim mrežama u području inteligentnih sustava upravljanja prometom. Temelj za ITS

često je akumulacija detaljnih i pouzdanih baza podataka o mrežnim vezama, međusobnoj povezanosti i ostalim značajkama, podržanih snažnim sustavom za referenciranje lokacije. Proces snimanja podataka o prometnim mrežama vrlo je radno intenzivan i uključuje detaljno kartiranje, fotografiranje iz zraka te istraživanja na terenu. Korištenje vozila u pokretu za snimanje mreže često se primjenjuje radi efikasnosti, smanjujući potrebno vrijeme na terenu (Lam et al., 2022.). Prikupljanje podataka putem video snimaka također je učinkovit oblik, omogućujući detaljnu analizu kadra po kadra kada su potrebne specifične informacije, uz mogućnost brzog preskakanja nepotrebnih dijelova.

Važno je obratiti pažnju na način na koji će se baza podataka koristiti u budućnosti, jer će ih korisnici trebati interpretirati. Numerički kodovi, koordinate geografske širine i dužine sami po sebi ne pružaju puno značenje. Mrežne značajke trebaju biti opisane na način koji je lako razumljiv korisnicima, uključujući nazive lokalnih lokacija, znamenitosti i druge opise. Uz napredak ručnih GNSS prijavnika i vozila opremljenih sustavima AVL, precizno lociranje mrežnih značajki poput raskrižja, točaka spajanja i odvajanja autocesta, mostova, tunela, pristupnih točaka posjedima, tranzitnih stajališta itd., postalo je znatno jednostavnije. Na primjer, planiranje putovanja od točke do točke za javni prijevoz ne bi bilo moguće bez točnih podataka o lokacijama stajališta (Sršen, 2012.).

Slično informacijama o cestama, pouzdano kodiranje mreže potrebno je za odgovor na hitne slučajeve, izvješćivanje o incidentima i druge usluge temeljene na lokaciji. Posebno je važan stupanj preciznosti u referenciranju lokacije. Ništa nije gore od pogrešnog lociranja značajke u slučaju nužde, na primjer pogreške koja stavlja vozilo na krivi kolnik i itd.. Postoje mogućnosti za automatiziranje prikupljanja podataka i uklanjanje ljudskih pogrešaka. Međutim, proces ostaje dugotrajan. Baze podataka prometne mreže, kao i same prometne mreže, trebaju stalno održavanje kako bi bile ažurne. Pažljiva provjera neophodna je kako bi se izbjegle pogreške koje mogu dovesti do netočnog lociranja značajki, ponekad potpuno zagubljenih. Dugo uspostavljena maksima "RIRO" (smeće unutra, smeće van) odnosi se na ITS jednako kao i na bilo koju drugu granu informacijske tehnologije.

Slično važnosti informacija o cestama, precizno kodiranje mrežnih značajki je ključno za odgovor na hitne slučajeve, izvješćivanje o incidentima i druge usluge temeljene na lokaciji. Visoka razina točnosti u referenciranju lokacija je od iznimne važnosti. Greške u lociranju mogu imati ozbiljne posljedice, poput pogrešnog smještaja vozila u hitnoj situaciji, što može dovesti do kašnjenja u pružanju pomoći ili čak do pogrešne intervencije. Automatizacija prikupljanja podataka i eliminacija ljudskih pogrešaka nude mogućnosti za

poboljšanje, ali proces ostaje dugotrajan. Baze podataka prometne mreže, kao i sama infrastruktura, zahtijevaju redovito održavanje kako bi se osigurala ažurnost podataka. Pažljiva provjera je neophodna kako bi se izbjegle pogreške koje mogu rezultirati netočnim lociranjem značajki, često dovodeći do potpunog gubitka informacija.

Maksima "RIRO" (smeće unutra, smeće van) dugo se primjenjuje u području ITS-a jednako kao i u svim drugim granama informacijske tehnologije (Lam et al., 2022.), naglašavajući važnost ulaganja u kvalitetne podatke od samog početka kako bi se izbjegli problemi u kasnijim fazama implementacije i upotrebe.

3.2.ITS za informiranje i upravljanje u cestovnom prometu

Razvoj i implementacija ITS-a za poboljšanje upravljanja prometom u gradskim i međugradskim prometnim mrežama također je glavno područje primjene ITS-a. U području cestovnog prometa, gdje su razvijene prve aplikacije za upravljanje ITS-om.

Sljedeće su tipične aplikacije koje se danas intenzivno koriste (Xhang i Zhang, 2023.):

- inteligentna kontrola prometne signalizacije,
- otkrivanje incidenata i upravljanje,
- prioritet određenim vrstama vozila kao što su hitna vozila i vozila javnog prijevoza,
- inteligentne kontrole trake,
- provođenje ograničenja brzine,
- preusmjeravanje skretanja na veće udaljenosti,
- prikupljanje podataka (uključujući podatke o automobilu i druge metode).

Sustavi kontrole cestovnog prometa smatraju se okosnicom inteligentnih sustava upravljanja prometom, u smislu velikih implementacija sustava na cijelom području, koji se bave velikim količinama prometnih (i drugih) podataka pohranjenih i obrađenih u stvarnom vremenu iz različitih izvora, uz korištenje naprednih prometnih modela, algoritama predviđanja i strategija upravljanja sposobnih odgovoriti u stvarnom vremenu na

prevladavajuće prometne uvjete. Neki značajni pomaci za sljedeću generaciju sustava upravljanja prometom unutar velike implementacije ITS-a su (Saleemi et al., 2022.): metode prediktivne kontrole prometa i strategije inteligentne kontrole mreže temeljene na određenim prevladavajućim kriterijima kao što je minimiziranje ukupnog vremena putovanja ili minimiziranje utjecaja na okoliš itd.

Istraživanja ITS-a (Sharma et al., 2022.) za upravljanje cestovnim prometom podupiru se u EU od 1980-ih, ali rigoroznije od sredine 1990-ih s euro-regionalnim projektima, kako bi se poboljšalo upravljanje prometom i korisničke usluge, s fokusom na prekogranične koridore. U isto vrijeme, projekti u okviru inicijative CIVITAS implementirali su i dijelili urbana transportna i prometna rješenja, uključujući i upravljanje prometnom signalizacijom, prioritet javnog prijevoza, a odnedavno i sveobuhvatni pristup upravljanju mobilnošću. Paralelno s upravljanjem cestovnim prometom, razvijeni su ITS-ovi sustavi za upravljanje mrežama javnog prijevoza (prvenstveno u urbanim područjima). Ovdje aplikacije uključuju (Sharma et al., 2022.):

- informacije o javnom prijevozu u stvarnom vremenu,
- automatsku identifikaciju vozila i informacije o autobusnim ili željezničkim stanicama u stvarnom vremenu,
- prioritet za autobuse i druga vozila javnog cestovnog prijevoza na raskrižjima,
- fleksibilnu kontrolu autobusne trake (kako bi se omogućilo korištenje autobusne trake i drugim vrstama vozila), itd.

Očekuje se da će upravljanje voznim parkom javnog prijevoza korištenjem "kooperativnih" sustava (također biti potpuno razvijeno u bliskoj budućnosti, iako će to trajati dulje od primjene istih sustava u privatnim voznim parkovima. Ovo dulje korištenje vozila javnog prijevoza posljedica je duljeg vremena između obrtaja zaliha u javnom prijevozu u usporedbi s privatnim voznim parkom.

Što se tiče budućnosti, a budući da je većina gore spomenutih sustava upravljanja prometom temeljenih na ITS-u, danas unimodalna, tj. razvijena i implementirana unutar jednog načina prijevoza, očekuje se da će budući razvoj biti u razvoju međumodalnog upravljanja prometom. sustava tj. sustava koji optimiziraju upravljanje prometom kroz dva ili više načina, prema postizanju tzv. komodalnosti (kooperativni modalitet).

Takvi međumodalni sustavi bi (Novikov et al., 2017.):

- razmjenjivali informacije i podatke u stvarnom vremenu između centara za upravljanje prometom dvaju ili više načina,
- analizirali i uspoređivali prometne uvjete u dvije (ili više) mreža, i
- osiguravali optimizaciju prometa protok u svim mrežama na temelju uvjeta u integriranom sustavu (npr. urediti prometnu signalizaciju na cestovnoj mreži kako bi se zadovoljila potražnja uzrokovana dolaskom RO-RO plovila u luku ili uskladiti upravljanje prometom s upravljanjem teretnim prijevozom, posebno u urbana područja).

U budućnosti se očekuje napredak prema većoj koordinaciji između informacijskih usluga i alata za upravljanje mrežom, što će omogućiti inteligentniju podršku operativnim odlukama u upravljanju prometnim mrežama. Ovaj pomak će se postići kroz javno-privatnu suradnju između upravitelja prometne mreže i pružatelja usluga navigacijskih sustava. Tehnologije, sustavi i zakonodavni okviri za prometne i putne informacije (TTI) igraju ključnu ulogu u ovom razvoju, budući da su od samih početaka ITS-a bili važan segment koji se komercijalno promovira. TTI se značajno ističe u ITS akcijskom planu EU-a, ITS Direktivi te u CEN-ETSI odgovoru na Mandat M/453 o standardizaciji kooperativnih sustava (Sharma et al., 2022.). Glavni cilj TTI sustava je osigurati kontinuirane i pouzdane podatke o prometu i putovanjima, te relevantne informacije za sve načine prijevoza i mreže. To se postiže kroz univerzalni pristup takvim informacijama i razmjenu podataka preko regija i granica, koristeći izvedive poslovne modele. TTI se bavi prikupljanjem, obradom, prijenosom i optimalnom upotrebom podataka o prometu i putovanjima u stvarnom vremenu (Sharma et al., 2022.). Cilj je pružiti te informacije korisnicima s minimalnim troškovima, čime se potiče razvoj različitih komercijalnih usluga s dodanom vrijednošću. Ovaj pristup omogućuje podršku raznovrsnim potrebama korisnika, uključujući putnike, operatore prometnog sustava i druge dionike, te potiče inovacije i ekonomski rast u sektoru prometnih informacija.

U procjeni znanstvenog i razvojnog potencijala TTI tehnologija i usluga, četiri su glavna pitanja koja treba razmotriti (Xhang i Zang, 2023.):

- pravni okvir za pružanje TTI-ja,
- korištene tehničke standarde i interoperabilnost tih standarda,
- poslovne modele koji se koriste za pružanje te podatke, i

- opseg u kojem sami putnici (tj. "potražnja") reagiraju na pružanje TTI-ja.

Pravni okvir za TTI usluge je zakonodavstvo koje se odnosi na ITS, koje se postupno uspostavlja na europskoj razini u posljednjih desetak godina. Glavni element ovog okvira je Direktiva 2010/40/EU Europskog parlamenta i Vijeća, koja postavlja scenu za daljnje zakonodavne radnje u ime država članica (Europska komisija, 2022.).

Ova baza podataka ITS sustava sastoji se od (Xhang i Zang, 2023.):

- prometnih informacija,
- trenutačnih informacija o stanju na cestama npr. intenzitet prometa, vrijeme putovanja,
- brzine na mjestima Informacije o statusu,
- informacije o operativnom stanju cesta npr. radovi na cesti, izvješća o zastoјima i incidentima Status prometnih traka i mostova , scenariji operacija,
- povijesni podaci.

U posljednjem desetljeću zabilježen je značajan napredak u mnogim područjima, ali procjenjuje se da će trebati još najmanje jedno desetljeće (ovo sadašnje) prije nego što se sva povezana pitanja riješe kako bismo imali paneuropske interoperabilne TTI usluge u svim načinima rada koji prikazuju (Saleemi et al., 2022.):

- visoka kvaliteta podataka, posebno s multimodalnim sadržajem, i kodirani korištenjem istih ili dobro usklađenih i interoperabilnih standarda.
- organizacijski sustavi koji osiguravaju pravednu i transparentnu dostupnost podataka.
- neometana privatna ili privatno-javna suradnja temeljena na zdravim poslovnim modelima.
- otpuna prekogranična razmjena podataka i korištenje u potpunosti dostupni svim korisnicima (bez obzira na jezične ili druge barijere). Potpuno usklađene tablice lokacija diljem Europe.

Navedeno se prvenstveno odnosi na Europu. U drugim svjetskim regijama, razvoj TTI/ITS usluga također napreduje brzo, iako na različitim razinama. U Japanu, na primjer, TTI usluge

se smatraju ispred onih u Europi i SAD-u. U Japanu je potpuno "kolaborativni" model za prikupljanje podataka, putem VICS platforme, implementirane prije nekoliko godina.

3.3.ITS za navigacijske usluge u cestovnom prometu

Modernu povijest Intelligent Transportation Systems (ITS) u navigacijskim uslugama možemo pratiti još od ranih 60-ih godina prošlog stoljeća kada je Savezna udruga za autoceste SAD-a razvila sustav elektroničkog navođenja rute (ERGS). Ovaj sustav imao je za cilj unaprijediti navigaciju cestovnim vozilima putem ugrađenih uređaja. U kasnim 70-ima, Japan je razvio sveobuhvatan sustav kontrole prometa (CACS) koji je koristio detekciju kretanja vozila, opremu uz cestu te središnju jezgru za obradu podataka (Saleemi et al., 2022.). U isto vrijeme, u Europi su razvijena dva slična sustava: Autoguide u Velikoj Britaniji i ALI-SCOUT u Njemačkoj, poznat i kao EUROSCOUT ili LISB. Autoguide je koristio svjetionike uz cestu za pozicioniranje vozila i rutiranje na temelju podataka o prometu u stvarnom vremenu. ALI-SCOUT je bio razvijen prema sličnom konceptu kao Autoguide.

Uvođenje satelitske navigacijske tehnologije označilo je novu eru u razvoju navigacijskih sustava, prvo u SAD-u i Kanadi. Primjeri ranijih eksperimentalnih implementacija uključuju sustave poput ADVANCE, Travtek i Travelguide (Sharma et al., 2022.). ADVANCE je koristio GPS tehnologiju za pozicioniranje i dvosmjernu komunikaciju s Centrom za prometne informacije radi razmjene podataka o prometu u stvarnom vremenu. Travtek je pružao informacije o prometu, vođenje rutom i navigaciju te je testiran u Orlandu, SAD. Travelguide je bio prijenosni uređaj koji je osim navigacije u stvarnom vremenu također pružao informacije o javnom prijevozu. Daljnji napredak GPS tehnologija tijekom 1990-ih godina prošlog stoljeća doveo je do razvoja autonomnih navigacijskih uređaja koji su omogućili korisnicima da samostalno planiraju i navigiraju svoje putovanje (Saleemi et al., 2022.).

Ovi rani razvojni koraci u ITS-u za navigaciju postavili su temelje za modernizaciju sustava i širenje funkcionalnosti koje danas omogućuju sveobuhvatnu podršku operativnim odlukama u upravljanju prometnim mrežama diljem svijeta. U današnje vrijeme takvi uređaji imaju tendenciju preuzimanja tržišnog udjela prethodnih centraliziranih sustava. Navigacijske usluge općenito uključuju tehnologije koje se odnose na identifikaciju položaja vozila ili teretne jedinice (pozicioniranje) i davanje uputa za optimalnu rutu do odredišta.

Koriste se različite vrste navigacijskih uređaja i oni se mogu kategorizirati na sljedeći način (Nivikov et al., 2017.):

- namjenske navigacijske jedinice integrirane u vozilo (od strane proizvođača vozila ili proizvođača originalne opreme – OEM);
- uređaji za zabavu u vozilu koji imaju navigacijske uređaje ugrađene kao dodatak ili zamjenu za konvencionalnu funkciju (npr. radio, CD, vrpca);
- namjenski naknadni uređaji koji su trajno ugrađeni u vozilo;
- namjenski samostojeći naknadni uređaji koji se mogu privremeno ugraditi u vozilo;
- osobni digitalni pomoćnici (PDA) s odgovarajućim softverom i vezom na satelitski navigacijski prijemnik;
- mobilni telefoni s navigacijskim funkcijama;
- mobilni podatkovni terminali.

Važna značajka ITS navigacijskih sustava je njihova sposobnost integriranja navigacijskih usluga s podacima o prometu u stvarnom vremenu. Ovo omogućuje pružanje rutiranja temeljenog na trenutnim prometnim uvjetima, što je ključno za optimizaciju putovanja. Do sada su se ITS navigacijske usluge oslanjale na napredak u komunikacijskim tehnologijama, posebno mobilnim mrežama. Razvoj 5G komunikacijskog protokola i širenje tehnologija bežičnog interneta značajno su poboljšali mogućnosti razmjene velikih količina podataka o prometu u stvarnom ili gotovo stvarnom vremenu, pri relativno niskim troškovima (Xhang i Zang, 2023.). Unatoč napretku, navigacijske usluge koje ovise o čistim podacima u stvarnom vremenu još uvijek su relativno skupe zbog troškova održavanja stalnih komunikacijskih kanala za prijenos prometnih informacija putem mobilnih operatera. Stoga, trenutno se navigacijske usluge često oslanjaju na povijesne prometne podatke i profile, s minimalnom razmjenom podataka u stvarnom vremenu, fokusirajući se uglavnom na upravljanje incidentima kao što su nesreće ili druge situacije koje mogu utjecati na promet.

Budućnost navigacije će vjerojatno doživjeti razvoj prema personaliziranim informacijama, ekološki osviještenom rutiranju i navigacijskim uslugama koje će putnicima pomoći u razumijevanju ekoloških implikacija njihovih izbora putovanja (Xhang i Zang, 2023.). Očekuje se da će se pružati optimalne strategije za kreiranje ruta koje minimiziraju

neizvjesnost vremena putovanja. Međutim, pouzdanost predviđanja bit će izazov za razvoj takvih sustava, posebno s obzirom na rastući broj korisnika i konkurenciju na tržištu informacija. Dodatno, očekuje se da će takvi sustavi integrirati optimalne strategije usmjeravanja u slučaju jednokratnih zagušenja kao što su nesreće ili loše vremenske prilike, te biti integrirani u centralizirane sustave za upravljanje hitnim slučajevima. To će omogućiti bolju reakciju na prometne incidente i poboljšati učinkovitost cestovnog prometa u stvarnom vremenu.

3.4.ITS za pametnu naplatu cestarine

ITS tehnologije u području naplate cestarina i cijena prijevoza su se razvijale tijekom posljednjih 20 godina, počevši s sustavima za naplatu cestarina, a kasnije su se proširile na određivanje cijena prijevoza prema različitim kriterijima kao što su emisije vozila. Jedan od ključnih aspekata ovog područja su "smart ticketing" sustavi (Sharma et al., 2022.), koji omogućuju integrirane načine plaćanja cestarina u javnom prijevozu ili drugim prijevoznim uslugama. Europska komisija je 2009. godine donijela Direktivu o održivoj budućnosti prometa koja detaljno opisuje internalizaciju "vanjskih" troškova, što je bilo dalje razrađeno Direktivom 2006/38 (Europska komisija, 2022.9. Osim toga, Akcijski plan o urbanoj mobilnosti iz iste godine predložio je upotrebu ITS alata za razvoj cjenovnih rješenja, uključujući pametno određivanje cijena infrastrukture.

Prva akcija usmjerena je na razmjenu informacija o urbanim shemama određivanja cijena u EU, s ciljem uključivanja inputa u procese savjetovanja, dizajna shema, pružanja informacija građanima, javnog prihvaćanja te procjene operativnih, prihodovnih, tehnoloških i ekoloških učinaka. Druga akcija fokusira se na primjenu ITS tehnologija u urbanu mobilnost radi nadopune ITS Akcijskog plana, primjerice kroz elektroničko izdavanje karata i plaćanje, poboljšanje interoperabilnosti sustava za izdavanje karata i plaćanja među različitim uslugama i načinima prijevoza. Posebno se ističe upotreba pametnih kartica u gradskom prijevozu, što je usmjereno na zračne luke i željezničke stanice. Područje ITS aplikacija za pametnu prodaju karata zahtijeva specifičan set tehnologija, pri čemu su pametne kartice ključna tehnologija. Razvoj standarda za prometne pametne kartice te uvođenje EU Direktive (2009/110/EC) imali su za cilj osigurati interoperabilnost među različitim sustavima pametnih kartica (Europska komisija, 2022.).

Unatoč naporima (npr. nedavni istraživački projekt FP6 pod nazivom Interoperable Fare Management (IFM) imao je za cilj osigurati prekograničnu interoperabilnost prometnih pametnih kartica i razvio je plan za implementaciju elektroničkih karata u Europi gdje korisnici koriste svoje pametne kartice izvan matične mreže, a prometne vlasti mogu izgraditi nove sustave koristeći standardizacije kao što je gore navedeno) interoperabilnost pametnih karata daleko je od ostvarenja (Novikov et al., 2017.). ITS omogućio pametnu naplatu cestarine i cijene u području prometa, ali se očekuje da će biti standardno pravilo u budućim gradskim i međugradskim mrežama, u nadolazećem desetljeću. Osim toga, postoji trend integracije sustava plaćanja (prometnih) usluga i naknada.

Izazov je još uvijek implementirati interoperabilna sučelja između sustava plaćanja koja bi mogla biti osigurana jednom platformom (interoperabilnost) i koja bi se mogla oslanjati na različita sredstva kao što su kreditne kartice, plaćanja mobilnim telefonom i integrirana rješenja za izdavanje karata za prijevoz.

3.5.ITS za sigurnost u cestovnom prometu

Sigurnost i zaštita uživaju puni prioritet u prometnim politikama EU-a i pojedinačnih država članica. U EU je 97% svih smrtnih slučajeva u prometu uzrokovano cestovnim prometom i stoga sigurnost na cestama ima puni prioritet u ITS aplikacijama. Tipična sigurnosno orijentirana ITS aplikacija vozačima bi dala informacije koje bi im pomogle da izbjegnu nesreću ili u nekim slučajevima pružila bi informacije koje bi ublažile posljedice nesreće. Utvrđivanje koje bi aplikacije ITS-a mogle najbolje smanjiti nesreće i njihovu težinu zahtijeva okvir u kojem bi se povezali učinci aplikacija ITS-a s uzrocima nesreća.

Takav bi se okvir temeljio na razmatranju tri glavna stupa: vozača, vozila i prometnog okruženja. Optimalni ITS za sigurnosne aplikacije su oni s kombiniranim učincima na sva tri ova sudionika, kao i oni koji se grade na prednostima i interakcijama između svakog kombiniranog okruženja. ITS tehnologije i sustavi za sigurnost prometa stoga se razlikuju u (Xhang i Zhang, 2023.):

- a) „Autonomnim” rješenjima (tj. sustavima koji se jednostrano bave samo infrastrukturom, vozačem ili vozilom) i
- b) „Kooperativnim” rješenjima (tj. sustavima koji se oslanjaju o suradnji između dva ili više stupova, npr. Vehicle to Vehicle - V2V – ili Infrastructure to Vehicle - I2V – itd.).

ITS aplikacije koje pridonose sigurnosti mogu se kategorizirati kao pasivni ili aktivni sigurnosni sustavi, ovisno o načinu na koji djeluju u prometu. Ovi sustavi zajedno čine integralni dio modernih ITS tehnologija koje nastoje poboljšati sigurnost u cestovnom prometu, bilo pasivno štiteći putnike i vozila ili aktivno pomažući vozaču u smanjenju rizika od nesreća.

3.6.ITS za teretni promet i logistiku u cestovnom prometu

ITS za teretni promet i logistiku realizira se kroz skup inteligentnih usluga, aplikacijskih programa i tehnologija koje omogućuju prikupljanje, pohranu, analizu i pristup podacima o teretu. Glavni cilj ITS-a u teretnom prometu je poboljšati učinkovitost prijevoza tereta kroz razvoj interoperabilnih informacijskih usluga na nacionalnoj i globalnoj razini. To se postiže izgradnjom inteligentnih aplikacija koje koriste standardizirane strukture podataka i usluge razmjene informacija.

Glavna područja primjene ITS-a u domeni prijevoza tereta i logistike su sljedeća (Xhang i Zhang, 2023.):

- razvoj i implementacija sljedeće generacije e-teretnog prijevoznog okruženja poznatog jednostavno kao "e-teret" (poticanje inteligencije pojedinačnih teretnih stavki i pružanje interakcije s "predmetom" u cijelom transportnom lancu);
- aplikacije za upravljanje prijevozom tereta (bave se upravljanjem transportnim operacijama od snimanja naloga do plaćanja i kontrole faktura);
- aplikacije za upravljanje voznim parkom s ciljem optimizacije korištenja i rasporeda flote teretnih vozila (ili vagona, ili plovila);
- upravljanje posebnim kategorijama tereta kao što je upravljanje terminalom za opasne robe uključujući kontrolu pristupa, upravljanje utovarnim prostorom i parkirališnom zonom, itd.

ITS u teretnom prometu pruža niz koristi i funkcionalnosti. Sustavi prikupljaju podatke o teretima kako bi se dobila precizna informacija o statusu i lokaciji tereta tijekom transporta. Podaci o teretu se pohranjuju i analiziraju kako bi se izvukli korisni uvidi za optimizaciju logistike i transportnih procesa. Razvijaju se aplikacije koje koriste te podatke kako bi pružile

korisnicima (npr. prijevoznicima, logističkim tvrtkama) alate za donošenje boljih operativnih odluka. To može uključivati optimizaciju ruta, upravljanje skladištima, praćenje u stvarnom vremenu, itd. Standardizirane strukture podataka omogućuju interoperabilnost između različitih informacijskih sustava i partnera u lancu opskrbe. Ovo je ključno za glatko funkcioniranje globalnih i nacionalnih lanaca opskrbe. ITS u teretnom prometu omogućuje razmjenu informacija na globalnoj razini, što je ključno za međunarodne logističke operacije i transport robe preko granica.

Izvorni EU ITS akcijski plan uspostavio je opći okvir za razvoj ITS-a u sektoru prijevoza tereta i logistike. Ovaj opći okvir bavio se područjima: inovacija (u prijevozu tereta), pojednostavljenja postupaka, kvalitete i učinkovitosti poslovanja, kvalitete okoliša („zeleni“ prijevoz tereta) i preoblikovanja pravnog okvira za prijevoz tereta u Europi. Akcijski plan ITS-a iz 2021. identificira specifične ITS usluge koje će se implementirati kao podrška teretnom prometu.

Među uslugama navedenim u ovom Akcijskom planu su sljedeće (Saleemi et al., 2022.):

- praćenje i traženje tereta (svi načini);
- elektronička naplata pristojbi (ovo se odnosi na cestovni prijevoz općenito i obrađuje se zasebno);
- sustavi za smanjenje kašnjenja tereta na željezničkim mrežama;
- učinkovite i čiste isporuke gradskog teretnog prijevoza (ITS rješenja u ovoj domeni mogu osigurati koordinaciju i konsolidaciju pošiljatelja i prijevoznika za ekološki prihvatljivu gradsku logistiku);
- implementacija platformi jednog prozora.

ITS tehnologije koje su primijenjene u drugim sektorima također koriste u teretnom i logističkom prometu. Koriste se za praćenje lokacije tereta i vozila tijekom transporta, što je ključno za optimizaciju rute, sigurnost tereta i upravljanje isporukama. Razvijaju se aplikacije koje koriste podatke o teretu kako bi pružile bolje operativne odluke. To može uključivati optimizaciju ruta, upravljanje skladištima, analizu podataka o teretu radi boljeg planiranja i smanjenja troškova. ITS tehnologije omogućuju automatizirano upravljanje skladištima, što pomaže u smanjenju vremena pretovara, optimizaciji skladišnog prostora i smanjenju grešaka

u inventuri. U teretnom prometu, pametne kartice mogu se koristiti za jednostavno i sigurno plaćanje cestarina, pristup lagerima ili terminalima, te za administrativne svrhe.

4. PRIMJENA ITS – A U ŽELJEZNIČKOM PROMETU

Inteligentni sustavi upravljanja prometom imaju ključnu ulogu u transformaciji željezničkog prometa, pružajući napredne tehnologije i informacijske usluge koje unapređuju sigurnost, učinkovitost i udobnost putnika. Ovaj poglavlje istražuje različite primjene ITS-a u kontekstu željezničkog prometa, od sustava za upravljanje i nadzor do tehnologija za sigurnost i pametno upravljanje infrastrukturom. Analizirat će se kako ITS tehnologije doprinose optimizaciji operacija željeznica, integraciji različitih informacijskih sustava te unaprjeđenju korisničkog iskustva putnika.

4.1. ITS u željezničkom prometu

Suvremeno poslovanje neprestano se mijenja i razvija zahvaljujući napretku digitalnih tehnologija i novih poslovnih ideja. Transformacija, posebice kroz utjecaj digitalnih tehnologija na društvene i ekonomske sustave, naziva se digitalna transformacija. Ona se odnosi na procese i strategije u kojima korištenje digitalnih tehnologija radikalno mijenja način na koji poduzeća posluju i pružaju usluge svojim korisnicima. Digitalna transformacija uključuje uvođenje i učinkovitu implementaciju digitalnih tehnoloških rješenja te je usko povezana s digitalizacijom, što znači prilagodbu i širenje korištenja digitalnih tehnologija unutar organizacija i gospodarskih sektora (Sharp et al., 2023).

Ovaj trend je posebno istaknut u transportnom sektoru. Europska strategija za održivu i pametnu mobilnost 2021-2027. definira budućnost prometa u Europskoj uniji kao sustav koji je učinkovit, pametan i dostupan svim potencijalnim korisnicima. Ključne inicijative uključuju rigorozno smanjenje negativnog utjecaja na okoliš te integraciju različitih načina prijevoza u jedan koherentan sustav (Saleemi et al., 2022.). Ovo zahtijeva transformaciju infrastrukture i promicanje ekološki prihvatljivih rješenja energije. Očekuje se da će ove inicijative europski promet učiniti zajedničkim, konkurentnim, pristupačnim, sigurnim i pametnim sustavom već do kraja desetljeća.

Europska komisija navodi da će do 2030. europski promet karakterizirati digitalizarnost ITS sustava kroz (Sharp et al, 2023.):

- potpuno digitalizirane informacije u logističkim lancima,
- široka uporaba integriranih sustava karata,
- opća automatizacija prijevoznih operacija.

Željeznički promet igra ključnu ulogu u transformaciji prometnog sektora, posebno zbog svojih ekoloških prednosti. Integracija novih tehnologija poput Internet of Things, cloud computing, umjetne inteligencije i drugih ITS – a ubrzava procese poslovanja stvaranjem digitalnih sfera u stvarnom svijetu (Sharp et al., 2023.). Ove tehnologije intenziviraju umrežavanje procesa i olakšavaju personalizaciju usluga. Digitalizacija se pojavljuje kao ključni alat koji ne samo da uspostavlja potrebnu vezu između stvarnog i virtualnog svijeta, već i potiče inovacije i promjene koje imaju dubok utjecaj na sve sektore gospodarstva. U kontekstu željezničkog prometa, digitalizacija omogućava bolje upravljanje i optimizaciju infrastrukture, poboljšanje sigurnosti, učinkovitost operacija te pružanje personaliziranih usluga putnicima i teretima. Stoga, primjena ITS – a u željezničkom prometu nije samo tehnološki napredak, već ključni faktor koji doprinosi širokoj transformaciji prometnog sektora prema održivijem, pametnijem i učinkovitijem sustavu.

Pod utjecajem sve veće digitalizacije, na tržištu je sve veća konkurencija između poduzeća koja tradicionalno posluju i onih koji koriste nove poslovne modele, te tako mogu ponuditi (Rodrigue, 2020.):

- nove proizvode i usluge,
- zajedničke ponude koje spajaju sektore i dobavljače nepovezano do sada,
- dodatne usluge i proizvodi koji se nude uz transakciju te
- zajedničke ponude i modeli.

Prema izvješću Deloittea (2021), digitalna transformacija ITS-a zahtijeva transformaciju poslovnih modela i proizvoda, optimizaciju korporativnog upravljanja, stvaranje digitalnog radnog okruženja i angažman klijenata u različitim komunikacijskim kanalima. Informacijska i komunikacijska tehnologija koristi se u željeznici od 1970-ih. U 2020. godini identificirana

su sljedeća područja kao primarna za usvajanje digitalnih tehnologija ITS – a u željezničkom prometu (Kaewunruen et al., 2022.):

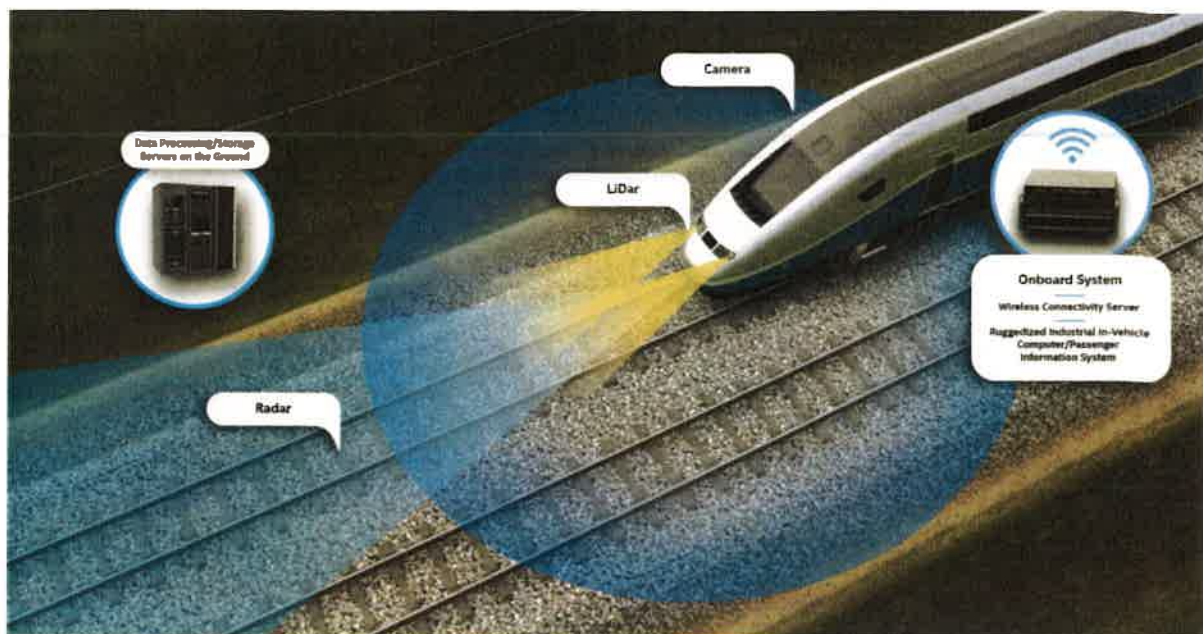
- stvaranje umrežene željeznice koja koristi pouzdanu povezanost, osiguravajući sigurnost, učinkovitost i atraktivnost željeznice,
- povećano zadovoljstvo korisnika zahvaljujući dodanoj vrijednosti za putnike,
- povećani kapacitet željeznice, pouzdanost i učinkovitost kroz automatizaciju procesa
- poboljšana konkurentnost željeznice kroz optimalno korištenje podataka.

U slučaju željezničkog prometa to nije značilo samo organizacijske transformacije već i sveobuhvatno preuređenje strukture i poslovnih procesa cijelih organizacija. Time su usluge vezane uz mobilnost, kao i cijeli logističko-prometni lanci, preoblikovani. S tim u vezi, implementacija i razvoj digitalnih tehnologija rezultira redefiniranjem odnosa s korisnicima, organizacije rada, iskorištavanja resursa i marketinga.

4.2. Koncept i pojam implementacija ITS –a u procesu stvaranja smart željeznica

U pozadini ubrzane izgradnje pametnih gradova diljem svijeta, željeznice su važan prometni kanal između gradova, a njihova informacijska izgradnja također bi se trebala oslanjati na nove tehnologije. Trebala bi prijeći s tradicionalnog koncepta željeznice na pametnu željeznicu.

Slika 3. Prikaz pametne željeznice kroz upravljanje putem Interneta



Izvor: Railway News (2024): Discover INTEL Smart Trains, dostupno na <https://railway-news.com/discover-intels-smart-train-collision-avoidance-system/> , pristupljeno 14.06.2024.

Prema trenutnom statusu istraživanja intelektualizacije željeznice, u ovom se radu predlaže definicija pametne željeznice: Pametna (smart) željeznica odnosi se na podsustav željezničkog prometa inteligentnog prometnog sustava u pametnim gradovima. Uglavnom koristi informacijsku tehnologiju nove generacije kao što je internet stvari, računalstvo u oblaku, veliki podaci, satelitsko pozicioniranje i navigacija, geoprostorne informacije i umjetna inteligencija (Lanke et al., 2016.). To je novi sustav i nova ekologija koja se u potpunosti integrira s planiranjem željezničkog prometa za podršku, promicanje i voditi inteligentan razvoj željezničkog prometa. Istodobno, to je i sveobuhvatna uslužna platforma i mobilni informacijski fizikalni prostor na željeznici za mobilno slobodno vrijeme, ured, učenje i potrošnju.

Pametna (smart) željeznica integrira nove generacije informacijske tehnologije poput računalstva u oblaku i analize velikih podataka s upravljanjem željeznicom kako bi stvorila inteligentnu informacijsku željeznicu. To omogućuje različite usluge kao što su pristup raznim inteligentnim terminalima online u bilo koje vrijeme i bilo gdje u željezničkom prometu (Stefansson et al., 2019).

Glavne značajke pametne željeznice uključuju (Stefansson et al., 2019):

- Mrežno sveprisutno međusobno povezivanje: Omogućuje povezivanje različitih dijelova željezničke infrastrukture i komponenti putem mreže kako bi se podaci mogli dijeliti i obrađivati u stvarnom vremenu.
- Inteligentna detekcija: Koristi senzore i napredne sustave za detekciju kako bi se pratili razni parametri poput sigurnosti, operativnih uvjeta i stanja opreme.
- Dijeljenje podataka: Facilitira razmjenu podataka između različitih dijelova željezničke mreže i između različitih sudionika kako bi se poboljšala koordinacija i operativna efikasnost.
- Poslovna suradnja: Potiče suradnju između različitih dionika u željezničkom sektoru kako bi se optimizirali resursi i pružile bolje usluge korisnicima.
- Inteligentne usluge: Razvija napredne informacijske usluge koje koriste podatke i analitiku za optimizaciju rute, predviđanje održavanja i pružanje personaliziranih iskustava putnicima i teretima.

Pametna željeznica tako predstavlja evoluciju tradicionalnih željezničkih sustava kroz integraciju modernih tehnologija kako bi se postigla veća sigurnost, učinkovitost i korisničko iskustvo.

4.3. Primjena ITS - a u konceptu modernizacije željeznica

Koncept pametne (smart) željeznice u potpunosti iskorištava komunikacijsku tehnologiju, informacijsku tehnologiju, tehnologiju donošenja odluka, geografske informacije i tehnologiju virtualne stvarnosti kako bi se uspostavila inteligentna platforma za hitne slučajeve, pravodobno i točno shvatila situacija, znanstveno rasporedili različiti tipovi resursa za spašavanje i stvorili multi - model zajedničkog sastanka stranaka za postizanje potpunog, jedinstvenog, učinkovitog upravljanja informacijama u hitnim slučajevima i koordinacije zapovijedanja, učinkovitu provedbu spašavanja i zbrinjavanja u hitnim slučajevima i poboljšanje sposobnosti željeznice da odgovori na hitne slučajeve.

Elementi smart željeznice su (Tokody et al., 2016.):

- Pametna (smart) infrastruktura,
- Jamstvo pametnog prijevoza,
- Pametno upravljanje,
- Pametna usluga.

Pametna (smart) infrastruktura obuhvaća inteligentizaciju fiksne željezničke infrastrukture, uključujući cestovne mreže, signalnu opremu i opremu za napajanje vučne struje. Opremljena je automatskom opremom poput blokade stanica, kontrole blokiranja linija, kontrole signala i kontrole prijenosa vučne snage. Ova infrastruktura omogućuje precizniju i pouzdaniju realizaciju automatske identifikacije vozila, sigurnosni nadzor radi prevencije nesreća, nadzor sigurnosti prometa, upravljanje u hitnim slučajevima, upravljanje transportnim resursima i drugih sustava. Sigurnost pametnog prijevoza obuhvaća inteligentizaciju procesa jamstava u željezničkom (Ringensin et al., 2018.) prijevozu, automatizaciju obrade informacija i sigurnosne inspekcije, te praćenje operacija održavanja i popravaka željezničke opreme. Također osigurava pouzdanu opskrbu resursima za proizvodnju prijevoza i jamči kvalitetu te učinkovitost sigurnosnog proizvodnog procesa.

Slika 4. Izgradnja nove pruge i vijadukta Carevdar iz EU fondova



Izvor: Jutarnji.hr (2024): Više od šest milijardi eura za moderne pruge i vlakove: brzine na međunarodnim prugama bit će i do 160 km/h, dostupno na <https://novac.jutarnji.hr/novac/aktualno/vise-od-sest-milijardi-eura-za-moderne-pruge-i-vlakove-brzine-na-medunarodnim-prugama-bit-ce-i-do-160-km-h-15446429>, pristupljeno 25.06.2024.

Pametno upravljanje fokusira se na podatke i sveobuhvatno prikuplja informacije o proizvodnji prijevoza, promjenama potražnje na transportnom tržištu te statusu poslovnih procesa kroz različite komponente pametnih željeznica. Ovdje sukladno, različiti sustavi za podršku odlučivanju mogu predviđati potražnju za putničkim i teretnim prijevozom, analizirati kapacitet trenutnog transportnog plana u odnosu na potrebe transporta, infrastrukturne resurse i operativnu učinkovitost transportnih resursa te dovršiti poslovne planove. Cilj je prilagoditi transportnu proizvodnju u pravo vrijeme, dalje optimizirati planiranje linija i prilagoditi raspodjelu kapaciteta resursa.

Pametna usluga za putnike podržava cijeli niz usluga putovanja putnika, pružajući prikladne metode kupnje karata, digitalizirajući podatke o identitetu putnika, pružajući putnicima informacijsku navigaciju, personalizirane informacijske usluge i međumodalne putničke usluge. Inteligentna korisnička navigacijska usluga putnicima pruža informacije o voznom redu vlakova, putovanju i pošiljci te pomoć pri donošenju odluka. Pametna usluga putničkog prijevoza pravodobno objavljuje informacije o proizvodima željezničkog prijevoza i različite sadržaje usluge, distribuciju stanica i posredničkih točaka putem interneta. U isto vrijeme, inteligentna usluga putničkog prijevoza uzima potražnju putnika kao cilj optimizacije i uzima vrijeme vlaka, cijenu karte i kategoriju vlaka kao ograničenja, te pruža pomoćnu odluku o optimizaciji za planiranje putovanja putnika putem tehnologije inteligentne optimizacije.

4.4. ITS i digitalizacija željezničkog prometovanja

ITS – i imaju široku primjenu u umrežavanju svih područja rada željezničkog prometa (Sharp et al., 2023.): projektiranje i planiranje, proizvodnja voznog parka i elemenata infrastrukture, provedba projekata, upravljanje i kontrola odvijanja željezničkog prometa, održavanje imovine, organiziranje transportnog procesa, kontaktiranje poslovnih partnera i implementacija internih poslovnih procesa. Rješenja koja nude suvremene tehnologije postaju

sastavnica uključena u kreiranje novih poslovnih modela i tržišnih strategija jer imaju ključnu ulogu u obavljanju zadataka u novim gospodarskim uvjetima – u digitalnoj ekonomiji. Nadalje, ne samo da prožimaju sve sfere sadašnjeg željezničkog poslovanja, već su također uključeni u procese pripreme i implementacije daljnjih inovacija.

Rješenja koja nude suvremene tehnologije postaju sastavnica uključena u kreiranje novih poslovnih modela i tržišnih strategija jer imaju ključnu ulogu u obavljanju zadataka u novim gospodarskim uvjetima – u digitalnoj ekonomiji. Nadalje, ne samo da prožimaju sve sfere sadašnjeg željezničkog poslovanja, već su također uključeni u procese pripreme i implementacije daljnjih inovacija.

Digitalna transformacija utječe na veliku većinu sfera u kojima djeluju željeznički prometni subjekti, između ostalog u (Kaewunruen et al., 2022.): struktura i poslovni model, operativni procesi koji tvore organizaciju i radno okruženje; također, mehanizmi upravljanja i praćenja učinkovitosti, formiranje odnosa s kupcima, uključujući istraživanje potreba tržišta, formiranje komunikacijskih kanala i pružanje alata za samoposluživanje. Naizgled, potencijal digitalnih rješenja u željezničkom prometu pokazuje se vrlo velikim – od pametne infrastrukture i voznog parka, preko svakodnevnog nadzora nad poslovanjem i upravljanjem te interakcije s klijentima, do osmišljavanja vlastitih inovacija. Željezničke tvrtke razvijaju i provode programe digitalizacije za svoje poslovanje kroz projekte podrške inovacijama koje pokreću u suradnji s istraživačima i stručnjacima iz željezničkog sektora.

Iz perspektive željezničkog prometa, najveći potencijal leži u digitalnim tehnologijama i ITS – ima u pogledu sljedećeg (Sharp et al., 2022.): Internet of Things, cloud computing, Big Data snimanje i analiza, robotizacija, autonomna vozila, novi digitalni proizvodi i usluge koji se integriraju s poslovanjem prijevoznika, korištenje autonomnih i gotovo autonomnih vozila. Novi digitalni proizvodi i usluge sada postaju sastavni dio poslovanja prijevoznika, administratora infrastrukture, proizvođača i pružatelja usluga. Time dodaju vrijednost za sve sudionike transportnog procesa, od proizvodnih tvrtki, preko građevinskog sektora, upravitelja infrastrukture, prijevoznika i njihovih podizvođača, do klijenata od institucija i organizatora prijevoza do javne uprave.

U fazi projektiranja digitalni alati omogućuju optimizaciju procesa, kao što su priprema investicije, odabir i konfiguracija pojedinih elemenata i njihovih parametara, kao i planiranje razvojnih procesa. To omogućuje optimizaciju financijskih izdataka, rada i vremena, ne samo u fazi pripreme i razvoja, već i u kasnijoj fazi rada.

5. PRIKAZ SLUČAJA - ITS SUSTAVI U CESTOVNOM I ŽELJEZNIČKOM PROMETU HRVATSKE

Cilj ovog poglavlja je prikazati kako suvremene digitalne tehnologije i ITS –i unapređuju operativnu učinkovitost, sigurnost i održivost prometnih mreža. Detaljno će se stoga razmotriti konkretne primjere implementacije ovih sustava, njihove prednosti, kao i izazove s kojima se suočavaju prilikom integracije u postojeću infrastrukturu.

5.1. Primjena ITS-a u cestovnom prometu Hrvatske

U posljednjem razdoblju program izgradnje autocesta bio je posebno značajan za razvoj i implementaciju ITS-a u Republici Hrvatskoj. Hrvatske su autoceste među najmodernijima i najsigurnijima u Europi, što je rezultat primjene ITS tehnologija, posebice u sustavima upravljanja prometom i upravljanja incidentima u tunelima. Ovi sustavi su dobili nekoliko nagrada, uključujući onu od EuroTAP-a (MMPI, 2017.). Autoceste su opremljene suvremenim informacijsko-komunikacijskim sustavima za razmjenu informacija u obliku podataka, govora i slike. Centri za održavanje i kontrolu prometa imaju sustave za centralno upravljanje prometom koji se sastoje od nekoliko podsustava: centar za upravljanje prometom, radna stanica za upravljanje prometom, informacijski sustav o vremenskim prilikama na cestama, podsustav videonadzora itd.

U slučaju tunela na dionici koja se snima, dodaju se sljedeći podsustavi: podsustav za daljinsko upravljanje i upravljanje elektroenergetskim objektima, podsustav za rad ventilacije, kao i nadzor i upravljanje ostalim sustavima izgrađenim u tunelu. Međutim, treba prepoznati određeni nedostatak sustavnog pristupa na državnoj razini (nedostatak zakonodavnog okvira, nedostatak odgovarajućih smjernica, nekorištenje odgovarajućih cost/benefit analiza i drugih „alata“) što uzrokuje smanjenu interoperabilnost sustava (elektronička naplata cestarine), povećani troškovi održavanja (nadzor), loša koordinacija na cjelokupnoj cestovnoj mreži u Hrvatskoj i koordinacija prema susjednim zemljama (nepostojanje nacionalnog centra za upravljanje prometom), nedostatak intermodalnih rješenja itd. (MMPI, 2017.). Nažalost, situacija je puno gora na razini državnim i drugim cestama, kao i u gradskom prometu.

Slika 5. Ilustrativni prikaz plana Hrvatskih autocesta za uvođenje Središnjeg centra za upravljanje prometom



Izvor: HDC Via Vita (2019): Uskoro HC-ov središnji centar za upravljanje prometom, dostupno na http://hdc-via-vita.hr/news_items/show?id=uskoro-hc-ov-sredisnji-centar-za-upravljanje-prometom, pristupljeno 14.06.2024.

Ulaskom Republike Hrvatske u Europsku uniju došlo je do značajnih promjena u razvoju ITS-a, kao rezultat obveznog usklađivanja hrvatskog zakonodavstva sa zakonodavstvom EU. Uvođenjem ITS-a u Zakon o cestama, a posebice osnivanjem Nacionalnog vijeća za razvoj i implementaciju ITS-a u Republici Hrvatskoj po prvi put je uspostavljen pravi „infrastrukturni organizacijski temelj“ za učinkovit razvoj svih aspekata ITS-a. Prepoznavanje interesa Hrvatsko gospodarstvo, posebice pripadajućih industrija, svakako je od posebnog značaja. Razvoj ITS-a vrlo se dobro uklapa u nedavno popularnu sintagmu „reindustrijalizacije Hrvatske“. Domena ITS-a nudi mogućnost uključivanja hrvatske industrije u pružanje proizvoda i usluga s visokim dodacima. vrijednost.

U Republici Hrvatskoj za normizaciju u području cestovne telematike, informacija, komunikacija i upravljanja u gradskom i ruralnom cestovnom prometu nadležan je Tehnički

odbor Hrvatskog zavoda za norme - HZN/TO 524 (Cestovni promet i transportna telematika), te za postavljanje standardi u području inteligentnih transportnih sustava. Povjerenstvo je osnovano 17. svibnja 2001. godine, a djeluje pod okriljem Hrvatskog zavoda za norme. Također prati aktivnosti Međunarodnog odbora ISO TC 204 (Inteligentni transportni sustavi) i Europskog odbora CEN/TC 278 (Inteligentni transportni sustavi). Rad Odbora posebno uključuje intermodalne i multimodalne aspekte, informiranje putnika, upravljanje prometom, javni prijevoz, komercijalni prijevoz, hitne službe i komercijalne usluge u području prometnih informacijskih i kontrolnih sustava. Povjerenstvo je do sada usvojilo veliki broj dokumenata iz ovog područja normizacije koji daju temeljne podatke za cestovni sektor i gospodarstvo iz ovog područja.

5.2. Primjena ITS-a u željezničkom prometu Hrvatske

Razmatrajući strategiju razvoja željezničke prometne infrastrukture Republike Hrvatske, autori su analizirali restrukturiranje željeznica u EU i Hrvatskoj kako bi osigurali uspješno provođenje ovog kompleksnog i međuovisnog procesa. Prvo su prikazali paralelni razvoj triju mreža koje čine željeznički sustav EU-a, zajedno s njihovim karakteristikama i budućim ulogama: transeuropski sustav konvencionalnih željeznica, mreža željeznica velikih brzina (HS Net) i mreža željezničkih pruga namijenjenih pretežno teretnom prometu (RTEFF, TEFFN). Slijedi pregled temeljnih ciljeva strateškog razvoja željeznica u Hrvatskoj te analiza stanja i potrebnih aktivnosti na prugama Koridora kako bi se pripremile za integraciju u prometni sustav Europske unije.

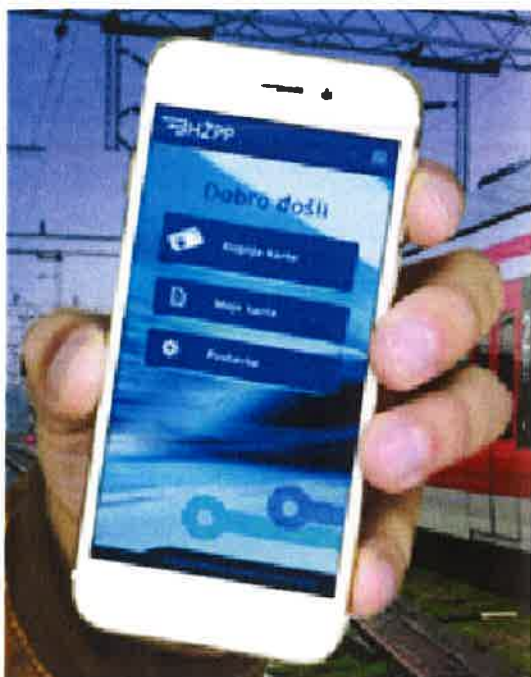
Željeznički sustav svake zemlje mješavina je međusobno povezanih fiksnih i mobilnih tehničkih podsustava te operativnih pravila za vlakove, infrastrukturu, promet i posadu, što može otežati usporedbu upravljačkih praksi. Kako bi se ubrzalo usvajanje novih pristupa voznom redu i učinkovitije planiranje ulaganja, ključno je razmotriti operativne karakteristike različitih vlakova koji koriste zajedničke željezničke linije te nastojati kontrolirati negativne aspekte prometne heterogenosti. Praćenjem cjelokupne prometne situacije na široj mreži kroz dulje vremensko razdoblje moguće je dobiti jasniju sliku o koheziji vlakova različitih vrsta i karakteristika unutar odabranog voznog reda i definiranih infrastrukturnih okvira. Budući da se vozni red na glavnim prugama s mješovitim prometom u Hrvatskoj nije značajnije mijenjao tijekom godina, negativni učinci prometne heterogenosti postali su očitiji.

ITS tehnologije omogućuju unapređenje operativne sigurnosti, optimizaciju resursa, poboljšanje putničkog iskustva i smanjenje negativnih utjecaja na okoliš. Ovaj tekst će detaljno razmotriti primjenu ITS u hrvatskom željezničkom sustavu, uključujući postojeće inicijative, prednosti i izazove. ITS u željezničkom sustavu uključuje primjenu informacijsko-komunikacijskih tehnologija kako bi se poboljšali različiti aspekti upravljanja željezničkim prometom. Ključne tehnologije obuhvaćaju (MMPI, 2017.):

- Sustavi za upravljanje prometom (TMS): Automatizirani sustavi koji prate i upravljaju kretanjem vlakova, optimiziraju vozne redove i minimiziraju kašnjenja.
- Sigurnosni sustavi (ETCS): Europski sustav za upravljanje željezničkim prometom koji omogućuje interoperabilnost između različitih nacionalnih željezničkih sustava i povećava sigurnost željezničkog prometa.
- Sustavi za informiranje putnika: Dinamički informacijski sustavi koji putnicima pružaju ažurirane informacije o voznom redu, kašnjenjima i drugim važnim obavijestima.
- Sustavi za nadzor stanja infrastrukture: Tehnologije koje prate stanje željezničke infrastrukture, uključujući pruge i signalizaciju, i omogućuju pravovremenu identifikaciju i popravak kvarova.

Hrvatska je već započela s implementacijom ITS tehnologija u svom željezničkom sustavu. Hrvatska radi na implementaciji Europskog sustava za upravljanje željezničkim prometom (ETCS) na ključnim željezničkim dionicama (MMPI, 2017.). Ovaj sustav povećava sigurnost i omogućuje interoperabilnost s ostalim europskim željezničkim mrežama. Ulaganja u modernizaciju željezničkih čvorišta, uključujući Zagreb, Split i Rijeku, obuhvaćaju implementaciju ITS tehnologija za poboljšanje upravljanja prometom i informiranja putnika. Uvođenje digitalnih platformi za prodaju karata i informiranje putnika, koje omogućuju jednostavniji pristup informacijama i poboljšavaju ukupno iskustvo putovanja.

Slika 6. Aplikacija KING ICT za rezervaciju karata u HŽ željeznicama



Izvor: KING ICT (2024): Sustav za prodaju i rezervaciju karata, dostupno na <https://king-ict.eu/projekti/sustav-za-prodaju-i-rezervaciju-karata/>, pristupljeno 14.06.2024.

Loše stanje infrastrukture i uvedena ograničenja brzine u najvećoj mjeri uništavaju stabilnost željezničkog prometa. To se najviše odnosi na jednokolosiječne pruge (M103, M201 i M202), s općenito većim udjelom teretnih vlakova različitih prijevoznika koji su na granici svojih mogućnosti. U slučaju strateški najvažnije pruge M202, koja povezuje morsku luku i nacionalnu metropolu, bolju organizaciju rada otežavaju nepovoljni tereni i gusto raspoređena uska grla duž cijele trase. Vrijednosti iskorištenosti kapaciteta na prugama M101 i M102 nisu pretjerano zabrinjavajuće s obzirom da se radi o dvokolosiječnim elektrificiranim prugama u prigradskom području s većim udjelom putničkih vlakova. No, operativna učinkovitost ovdje je ugrožena zbog nepouzdanosti uglavnom zastarjelog voznog parka jedinog putničkog prijevoznika.

Budući da bi uskoro trebala biti puštena u promet dva nova baterijska putnička vlaka za neelektrificirane željeznice, razmatranje prometne heterogenosti bit će još hitnije. Planirane aktivnosti modernizacije i brojni započeti radovi na cijeloj mreži već su rezultirali drastično smanjenim brojem redovitih trasa teretnih vlakova, ali s vidljivim povećanjem potražnje u budućnosti bit će potrebno bolje upravljanje smetnjama u radu kako bi ukupne posljedice u konačnici bile manje .

6. ZAKLJUČAK

Inteligentni sustavi upravljanja prometom vrlo su rano ušli u razmatranje u Hrvatskoj, prvenstveno u znanstvenom i srednjoškolskom području. Razvoj programa hrvatskih autocesta na početku novog tisućljeća pokrenuo je intenzivnu implementaciju specifičnih aplikacija i usluga, čime su postavljeni temelji za modernizaciju prometne infrastrukture. Međutim, nedostatak sustavnog pristupa na nacionalnoj razini u provedbi projekata doveo je do smanjene interoperabilnosti sustava, povećanih troškova održavanja, loše koordinacije na cjelokupnoj cestovnoj mreži Hrvatske te nedostatne koordinacije sa susjednim zemljama. Ulaskom Hrvatske u Europsku uniju stvoreni su određeni preduvjeti za budući sustavni pristup, prvenstveno kroz unapređenje zakonodavnog okvira i donošenje planskih smjernica za provedbu ITS projekata. Iako su istraživačko-razvojni kapaciteti i srednjoškolski programi trenutno na zadovoljavajućoj razini, najveći problem predstavlja nedovoljna povezanost tih kapaciteta s gospodarstvom. Korak naprijed učinjen je osnivanjem Nacionalnog vijeća za razvoj i uvođenje ITS-a u Hrvatskoj, koje će biti nositelj budućih aktivnosti sustavnog razvoja i implementacije ITS-a u Republici Hrvatskoj.

Ovaj korak od ključne je važnosti za osiguranje sveobuhvatne koordinacije i integracije ITS-a, kako na nacionalnoj razini tako i u skladu s europskim standardima. Vijeće će se fokusirati na unaprjeđenje interoperabilnosti, smanjenje troškova održavanja te poboljšanje ukupne učinkovitosti i sigurnosti prometne mreže. Osim toga, radit će na jačanju veze između obrazovnog sustava i industrije, potičući tako inovacije i praktičnu primjenu znanstvenih istraživanja u gospodarstvu. Sustavni pristup razvoju ITS-a ključan je za postizanje dugoročnih ciljeva održivog i efikasnog transportnog sustava u Hrvatskoj.

Kada je riječ o hrvatskom željezničkom prometu, još uvijek postoje mnogi nedostaci u preliminarnom istraživanju koncepta pametne željeznice. Dizajn najviše razine, koji predstavlja makroplan, ključan je za kasniji razvoj pametne željeznice. U budućnosti bi se taj dizajn trebao ažurirati i poboljšavati u stvarnom vremenu, u skladu s razvojem pametne željeznice, pružajući snažne smjernice za informacijski razvoj željezničkog sustava. Rastuća važnost digitalne ekonomije prvenstveno je rezultat inovativnih tehnologija i sve većih očekivanja potrošača u pogledu kvalitete usluge. Digitalna transformacija neizbježna je, s jedne strane, zbog očuvanja atraktivnosti prometne ponude, a s druge strane, vitalna je za održavanje operativnog kapaciteta i konkurentске prednosti s obzirom na sve digitaliziranje

komunikacijske kanale s okolinom. Progresivna digitalizacija dovodi do sve veće integracije tehnologija i poslovnih procesa među tržišnim operaterima, što odgovara ciljevima koji se odnose na intermodalnost europskog prometnog sustava. Osim toga, digitalna transformacija omogućava učinkovitije upravljanje resursima i optimizaciju operativnih procesa, čime se poboljšava ukupna efikasnost željezničkog sustava. Implementacija pametnih tehnologija, kao što su IoT (Internet of Things), umjetna inteligencija i big data analitika, može značajno unaprijediti sigurnost, pouzdanost i održivost željezničkog prometa. Korištenje ovih tehnologija također omogućava personaliziraniju uslugu za putnike, poboljšavajući njihovo iskustvo i zadovoljstvo.

U kontekstu hrvatskog željezničkog prometa, nužno je nastaviti s ulaganjima u istraživanje i razvoj pametnih rješenja te jačati suradnju s europskim i međunarodnim partnerima kako bi se osigurala uspješna integracija u širi prometni ekosustav. Time će se ne samo poboljšati kvaliteta usluge za korisnike, već i osigurati dugoročna održivost i konkurentnost željezničkog sektora u Hrvatskoj.

LITERATURA

1. Antoliš, K., Strmečki, S., Magušić, F. (2008). Informacijska sigurnost i inteligentni transportni sustavi, *Suvremeni promet*, 28(5), str. 353-355
2. Arief, B., Blythe, P., Fairchild, R., Selvarajah, K., Tully, A. (2007). Integrating smartdust into intelligent transportation system, *School of Computing Science Technical Report Series*, 27-31.
3. Bohli, J.M., Hessler, A., Ugus, O., Westhoff, D. (2008). A secure and resilient WSN roadside architecture for intelligent transport systems, Xu, W., Trappe, W., Zhany, Y. (Ur.) *Proceedings of the first ACM conference on Wireless network security*, ACM, 161-171.
4. Bommers, M. (2016) Video based Intelligent Transportation Systems—state of the art and future development, *Transportation Research Procedia*, Vol.14, str. 4495-4504
5. Bošnjak, I. (2006). *Inteligentni transportni sustavi 1*, Zagreb: Fakultet prometnih znanosti.
6. Bošnjak, I., Mandžuka, S., Šimunović, Lj. (2007). Mogućnosti inteligentnih transportnih sustava u poboljšanju stanja sigurnosti u prometu, Kaštela, S., Steiner, S. (ur.). *Zbornik radova: Nezgode i nesreće u prometu i mjere za njihovo*, Zagreb: Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti.
7. Crainic, T.G., Gendreau, M., Potvin, J.Y. (2009). Intelligent freight-transportation systems: Assessment and the contribution of operations research, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 17(6), 541-557.
8. Hasan, M.K.(2010). A Framework for Intelligent Decision Support System for Traffic Congestion Management System, *Engineering*, 2(04), 270.
9. Jarašūnienė, A., Batarlienė, N. (2013). Lithuanian road safety solutions based on intelligent transport systems, *Transport*, 28(1), 97-107.
10. Kadłubek, M., Thalassinos, E., Domagała, J., Grabowska, S., Saniuk, S. (2022). Intelligent transportation system applications and logistics resources for logistics customer service in road freight transport enterprises, *Energies*, 15(13), 4668.
11. Kaewunruen, S., Lian, Q. (2022). Digital twin aided sustainability-based lifecycle management for railway turnout systems. *Journal of Cleaner Production* 228, str. 1537–1551
12. Kolosz, B., Grant-Muller, S., Djemame, K. (2013). Modelling uncertainty in the sustainability of Intelligent Transport Systems for highways using probabilistic data fusion, *Environmental Modelling & Software*, 49, 78-97.

13. Lam, A. Y., Łazarz, B., Peruń, G. (2022). Smart Energy and Intelligent Transportation Systems, *Energies*, 15(8), 2900.
14. Lanke N., Koul S., Lanke N., (2016) Smart Traffic Management System[J]. *International Journal of Computer Applications*, 75(7), str. 19-22.
15. Liu, Xiao-Yang, et al. (2018) Deep Reinforcement Learning for Intelligent Transportation Systems, *arXiv preprint arXiv*, str. 12-18.
16. Mandžuka, S. (2010). *Inteligentni transportni sustavi II*, Zagreb: Fakultet prometnih znanosti,
17. MMPI (2017): Izveštaj Republike Hrvatske o nacionalnim aktivnostima i projektima u vezi s prioritetnim područjima, dostupno na https://transport.ec.europa.eu/system/files/2018-06/2018_hr_its_progress_report_2017_en.pdf, pristupljeno 14.06.2024.
18. Novikov, A., Pribyl, P., Vasileva, V., Katunin, A. (2017). ITS control of highways capacity, *Transportation research procedia*, Vol. 20, 468-473.
19. Prometna signalizacija (2024): Jednosatvni ITS, dostupno na <http://www.prometna-signalizacija.com/index.php?lang=hr&pid=320>, pristupljeno 14.06.2024.
20. Ringenson, T., Arnfalk, P., Kramers, A., Sopjani, L. (2018). Indicators for Promising Accessibility and Mobility Services. *Sustainability*, 10(8), str. 28-36
21. Rodrigue, J. P. (2020). The Digitalization of Mobility. In *The Geography of Transport Systems* (Vol. 5). *Routledge*, str. 1-12
22. Saleemi, H., Rehman, Z. U., Khan, A. H., Aziz, A. (2022). Effectiveness of Intelligent Transportation System: case study of Lahore safe city, *Transportation Letters*, 14(8), 898-908.
23. Sengupta, R., Rezaei, S., Shladover, S.E., Cody, D., Dickey, S., Krishnan, H. (2007). Cooperative collision warning systems: Concept definition and experimental implementation, *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 11(3), 143-155.
24. Sharma, S., Awasthi, S. K. (2022). Introduction to intelligent transportation system: overview, classification based on physical architecture, and challenges, *International Journal of Sensor Networks*, 38(4), 215-240.
25. Sharp, S., Kuzlu, M., Jovanovic, V., Polat, Z. (2023). Digitalization of Railway Transportation Through AI-Powered Services: Digital Twin Trains, *Journal of railway engineering*, str. 1-22

26. Sjoberg, K., Andres, P., Buburuzan, T., Brakemeier, A. (2017). Cooperative intelligent transport systems in Europe: Current deployment status and outlook, *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 12(2), 89-97.
27. Sršen, M. (2012). Inteligentni transportni sustavi u upravljanju cestovnom mrežom, *Suvremeni promet*, 24(1/2), str. 141-151.
28. Stefansson G., Lumsden K. (2019) Performance issues of Smart Transportation Management systems[J]. *International Journal of Productivity & Performance Management*, 2019, 58(1), str. 55-70.
29. Sumalee, A., Ho, H. W. (2018). Smarter and more connected: Future intelligent transportation system, *IATSS Research*, 42(2), str. 67-71.
30. Tokody, D., Schuster, G. (2016) Driving Forces Behind Smart City Implementations – The Next Smart Revolution. *International Journal of Emerging Research and Solutions in ICT* 1(2), 2016., str.1-16,
31. Vlada RH (2014): NACIONALNI PROGRAM ZA RAZVOJ I UVOĐENJE INTELIGENTNIH TRANSPORTNIH SUSTAVA U CESTOVNOM PROMETU ZA RAZDOBLJE OD 2014. DO 2018. GODINE, dostupno na https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/full/2014_07_82_1580.html, pristupljeno 14.06.2024.
32. Wang, H., Jasim, A., Chen, X. (2018). Energy harvesting technologies in roadway and bridge for different applications - A comprehensive review, *Applied energy*, Vol. 212, str. 1083-1094,
33. Xhang, Q., Zhang, W. (2023). Information Management and Applications of Intelligent Transportation System, *Mathematical Problems in Engineering*, Vol. 12., str. 20-44
34. Zou, X., Wen Long Y., Hai L. V. (2018) Visualization and analysis of mapping knowledge domain of road safety studies, *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 118, str. 131-145,

POPIS SLIKA

Slika 1. Životni ciklus ITS – a.....	5
Slika 2. Primjer prednosti primjene ITS – a na Hrvatskim autocestama	10
Slika 3. Prikaz pametne željeznice kroz upravljanje putem Interneta	32
Slika 4. Izgradnja nove pruge i vijadukta Carevdar iz EU fondova.....	34
Slika 5. Plan Hrvatskih autocesta za uvođenje Središnjeg centra za upravljanje prometom.....	38
Slika 6. Aplikacija KING ICT za rezervaciju karata u HŽ željeznicama	41