

Optimizacija upravljanja prometnim procesima tijekom masovnih evakuacija

prof.dr. Sadko Mandžuka (mandzukas@fpz.hr)
Luka Novačko, dipl.ing. (luka.novacko@fpz.hr)
Dino Šojat, mag.ing.traff. (dino.sojat@gmail.com)
Jelena Brandt, mag.ing.traff. (jbrandt.boi00@gmail.com)
Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu

Sažetak: Jedna od temeljnih značajki masovne evakuacije je intenzivna upotreba prometne infrastrukture. Prometna infrastruktura se najčešće projektira za „normalne“ režime upotrebe, uz minimalne zahtjeve za njenim značajkama u izvanrednim uvjetima. Veća učinkovitost i sigurnost u odvijanju prometa u ovim izvanrednim uvjetima osigurava se primjenom informacijsko komunikacijske nadgradnje klasičnog sustava prometa poznatim pod nazivom inteligentni transportni sustavi (ITS). Na osnovu dosadašnjih iskustava tu se nameće čitav niz rješenja (optimizacija rutiranja evakuacijskih pravaca, stvarno-vremensko upravljanje prometom, korištenje prometnica za jednosmjerni promet u slučaju masovnih evakuacija, npr. autoceste i sl.). Zbog karaktera ovih događaja, neophodno je na odgovarajući način provjeriti matematičkim modeliranjima i simulacijama ponašanje prometnog sustava u izvanrednim okolnostima. Za to služe različiti softverski alati, kao mikro, mezo i makro prometni simulatori. U radu je pokazano stanje u znanosti i tehnici (State of the Art - SOTA) u ovom području kriznog upravljanja u svijetu te neka dosadašnja iskustva. Osim toga, prikazane su mogućnosti nekih rješenja iz područja primjene ITS-a u izvanrednim uvjetima (evakuacije).

Ključne riječi: Inteligentni transportni sustavi, Masovne evakuacije, Optimizacije, Simulacije

Optimization of traffic management processes during mass evacuation

Summary: One of the fundamental features of a mass evacuation is intensive use of transport infrastructure. Transport infrastructure is often designed for "normal" usage, with the minimum requirements for its characteristics in emergency situations. Satisfactory efficacy and safety of traffic flow in these extreme conditions is provided by the using information and communication upgrade of conventional transport system. This approach is known as Intelligent Transportation Systems (ITS). Based on past experience there are a number of models and their solutions (optimization evacuation routes, real-time traffic management, the use of roads for one-way traffic in the event of mass evacuations, etc.). Due to the nature of these events, it is necessary to adequately verify the mathematical modeling and simulation of the transport system behavior in these emergency situations. Various software tools are used for this purpose (micro, meso and macro traffic simulators). State of the Art (SOTA) in the area of emergency management is given in the paper. Features of some solutions in the field of ITS in emergency conditions (evacuation) are shown, also.

Keywords: Intelligent Transportation Systems, Mass Evacuation, Optimization, Simulation

1. UVOD

Grad Zagreb je partner projekta „Priprema evakuacije u slučaju nuklearne nesreće“. Nositelj projekta je Općina Krško, Slovenija, a pored Grada Zagreba partner projekta je i Grad Černavoda, Rumunjska. Glavna zadaća projekta je unaprjeđenje pripravnosti sustava zaštite i spašavanja, priprema stanovništva za slučaj nuklearne nesreće i jačanje međunarodne suradnje u zaštiti i spašavanju na regionalnoj i lokalnoj razini. U okviru ovog projekta izrađena je studija „Optimizacija upravljanja prometnim procesima tijekom masovnih evakuacija“, a u ovom radu se daju neki od rezultata te studije.



Slika 1. Prikaz prometne mreže od interesa za evakuaciju

Jedan od temeljnih značajki masovne evakuacije je intenzivna upotreba prometne infrastrukture. Prometna infrastruktura se najčešće projektira za „normalne“ režime upotrebe, uz minimalne zahtjeve za njenim značajkama u izvanrednim uvjetima. Veća učinkovitost i sigurnost u odvijanju prometa u ovim izvanrednim uvjetima osigurava se primjenom informacijsko komunikacijske nadgradnje klasičnog sustava prometa poznatim pod nazivom inteligentni transportni sustavi (ITS). Tu se nameće čitav niz rješenja – optimizacija rutiranja evakuacijskih pravaca, stvarno-vremensko upravljanje prometom, korištenje prometnica za jednosmjerni promet u slučaju masovnih evakuacija – npr autoceste i slično.

Brzina reakcije kod ovih događaja smanjuje materijalnu štetu i ljudske žrtve. Kod toga je od posebne važnosti stvarno-vremensko i lokacijski određeno obavješćivanje i uzbuđivanje, a kako bi se smanjile posljedice nekontroliranih masovnih gibanja stanovništva. Postotak redukcije vremena odaziva je vrlo značajan čimbenik, jer smanjenje vremena odziva bitno utječe na smanjenje smrtno stradalih i ranjenih kod ovakvih i sličnih nesreća.

Zbog karaktera ovih događaja, neophodno je na odgovarajući način provjeriti matematičkim modelima i simulacijama ponašanje prometnog sustava u izvanrednim okolnostima. Za to služe razni softverski alati – kao mikro, mezo i makro prometni simulatori, ili u posljednje vrijeme upotreba staničnih automata (*Cell automata*).

U okviru navedene studiji prikazano je stanje u znanosti i tehnici u ovom području kriznog upravljanja u svijetu, dosadašnja iskustva, kao i mogućnosti nekih rješenja iz područja primjene inteligentnih transportnih sustava u izvanrednim uvjetima (evakuacije). Kao prikaz mogućnosti primjene različitih računarskih alata izrađen je prikladan model evakuacije na

kojem je se metodološki pokazala mogućnosti izbora evakuacijskih pravaca primjenom dinamičkih optimizacijskih postupaka.

U drugom dijelu ovog rada prikazana je temeljna metodologija optimizacije evakuacijska, s opisom pojedinih faza tog cjelokupnog procesa optimizacije. U trećem dijelu je opisan simulacijski alat namijenjen za mikrosimulaciju prometnog procesa, a u četvrtom poglavlju odgovarajuća makrosimulacijska programska podrška. U oba poglavlja su prikazani i dijelovi dobivenih rezultata kod analize slučaja evakuacije u slučaju nesreće NE Krško. U petom poglavlju ukazano je na značaj primjene pristupa rješavanju ovih i sličnih prometnih zadaća korištenjem inteligentnih transportnih sustava. Posebno je ukazano na mogućnosti korištenja suprotnog smjera prometnica tijekom evakuacijskog procesa i jednog suvremenog sustava obavještanja u slučajevima velikih nesreća. Na kraju rada dana su zaključna razmatranja, a u svezi kompleksnog problema optimizacije prometnih procesa tijekom evakuacije.

2. METODOLOGIJA OPTIMIZACIJE EVAKUACIJA

U teorijskoj literaturi, kao i zakonodavnoj dokumentaciji, postoji više definicija što je to evakuacija. U Republici Hrvatskoj evakuacija se definira kao postupak pri kojemu se provodi planirano i organizirano premještanje stanovništva s ugroženog na neugroženo, odnosno manje ugroženo područje, [1]. Osim toga, proces evakuacije se može definirati kao strategija upravljanja rizicima za ublažavanje posljedica iznenadnih situacija ili katastrofa na određenom području. Bitan element svakog plana evakuacije je pažljivo pripremljen plan prijevoza evakuiranih (određivanje optimalnih ruta, određivanje mjesta okupljanja na ugroženom području, određivanje (sigurnih) mjesta za evakuaciju, optimalno alociranje potrebnih sredstava i sl.). Plan evakuacije mora dati odgovore na slijedeća pitanja, [2, 3]:

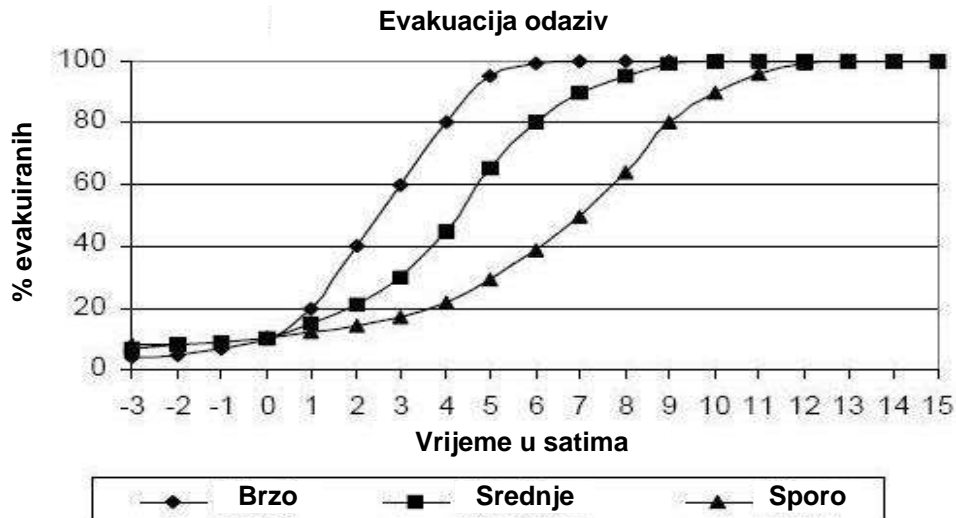
- vrijeme potrebno za sigurnu evakuaciju stanovništva (ovisno o kakvom obliku evakuacije se radi. požar, potres, i sl.),
- koje ceste treba koristiti za evakuaciju,
- što su to kritične ceste i cestovni objekti u procesu evakuacije,
- kako može biti povećana učinkovitost procesa evakuacije,
- opis posljedica koje mogu uslijediti nakon nastanka iznenadnog događaja,
- plan narastanja operativnih snaga za provođenje hitne intervencije i dr.

Evakuacijski procesi zahtijevaju dobro organizirane i pripremljene planove koji uključuju karakteristike putne mreže, veličinu prometne potražnje, vrste prijevoza koje se koriste, prognoze zagušenja određene rute i temeljne informacije o odredištu.

Jedan od temeljnih kriterija evakuacijskog procesa je brzina odvijanja evakuacije, koja se obično prikazuje kao vrijeme (u satima) potrebno za evakuaciju određenog postotka evakuiranih. To je obično vrijeme za 95% evakuiranih. Na slici 1 prikazane su tipične situacije za organizaciju tri tipične situacije evakuacije.

Cjelokupni postupak optimizacije prometnim procesima tijekom evakuacije može se podijeliti u više faza. U grubo one se mogu podijeliti u slijedeće cjeline:

1. Skupljanje podataka o temeljnim prometnim značajkama
2. Definiranje evakuacijskih strategija (scenarija)
3. Izgradnja simulacijskog modela i njegova kalibracija
4. Provedba simulacija i evaluacija dobivenih rezultata
5. Analiza osjetljivosti (robusnosti) dobivenih rješenja



Slika 2. Dinamike evakuacije za različite scenarije

Temeljna pretpostavka o vrsti incidenta je veoma važna za optimizaciju evakuacije. Razumna pretpostavka pomaže razumjeti realnu prijetnju području zahvata, a time i optimizacija evakuacije dovodi do smislenih rezultata. Osim toga, različite pretpostavke o incidentu uvjetuju različite scenarije o evakuaciji. Različite druge pretpostavke o incidentu također će utjecati na procjenu evakuacijske potražnje. Pri tome treba uzeti u obzir dva glavna faktora. Prvi je mogućnost pojave incidenta u području zahvata, a drugi je značajke veličine i gustoće naseljenosti područja. U nekim slučajevima moguća su značajna pojednostavljenja u postavljanju modela evakuacije (koridorska evakuacija, samo korištenje vozila JGP isl.). Za prvi dio optimizacije prometnih procesa tijekom evakuacije karakteristično je prikupljanje svih relevantnih informacija o značajkama prometne mreže, očekivanoj prometnoj potražnji, značajke samog incidenta i dr. Osim samog prikupljanja informacija (koje može biti za dio analize prometne potražnje i statistički obrađeno) važno je koristiti različite alate za verifikaciju prikupljenih podataka.

U drugoj fazi definiraju se evakuacijske strategije (scenariji), kao skup mogućih varijanti evakuacije, [4, 5, 6,]. U ovom dijelu mogu se koristiti različiti optimizacijski postupci za izbor optimalnih ruta evakuacije, optimizacija izbora mjesta okupljanja na ugroženom području, optimizacije na mreži (protoci, vremena evakuacije i sl.), optimalno alociranje potrebnih sredstava za evakuaciju te druge vrste optimizacija, [7, 8, 9]. Slijedeća faza je izgradnja odgovarajućeg simulacijskog modela i njegove kalibracije. U ovom dijelu se, ovisno u značajkama evakuacije (masovne, koridorske, gradske, regionalne i sl.) može odabrati i prikladan alat za simulaciju. Nekoliko simulacijskih programskih paketa je razvijeno za modeliranje prometnog toka u hitnim situacijama evakuacija. Kao specijalizirani programski paketi za ove namjene najpoznatiji su Oak Ridge Evacuation Modeling System (OREMS), Dynamic Network Evacuation (DYNEV) i Evacuation Traffic Information System (ETIS). Osim njih u primjeni su i programski paketi opće namjene poput VISSIM, DYNASMART, AURORA i MITSIMLab. Programski paketi imaju nekoliko sličnosti kao što su informacije o ruti, informacije o evakuiranima te različite druge vrste informacija.

Po okončanju pojedinih simulacija provodi se evaluacija dobivenih rješenja i njihovo odgovarajuće vrednovanje. Na taj način mogu se dobiti odgovarajuće preferencije između pojedinih strategija provedbe evakuacije.

Nakon ove faze slijedi analiza osjetljivosti (robusnosti) izabranih rješenja. U ovoj fazi se analizira varijabilitet rješenja ovisno o promjeni neke polazne pretpostavke. To može biti npr. promjena prometne potražnje u nekoj od zona, osjetljivost rješenja na mogući nastanak prometnih incidenata na određenim lokacijama, gubitak nekog linka (oštećenje) itd. Obično se ova analiza provodi metodom provjere po principu što-ako (what-if), [10, 12].. Ovo je veoma značajna faza, jer iskustvo govori da je ponekad puno bolje uzeti slabije rješenje (slabije po nekom od kriterija optimizacije, npr. vrijeme evakuacije), a manje osjetljivo na neke nepredviđene promjene polaznih informacija.

3. PRIMJENA MIKROSIMULACIJA

Mikroskopski modeli simuliraju značajke i interakcije između pojedinačnih vozila. Predstavljaju najdetaljniji prikaz prometnoga toka jer prikazuju trajektorije kretanja svakog vozila u prometnoj mreži. Najčešće se koriste za prikaz jednog ili više povezanih raskrižja. Svako vozilo kreće se kroz transportnu mrežu u zadanom vremenskom periodu u ovisnosti o tehničkim značajkama vozila (dužina, maksimalno ubrzanje itd.), osnovnim zakonima gibanja i pravilima ponašanja vozača (pravila slijeđenja vozila, pravila prestrojavanja itd.) [13]. Najčešći mikrosimulacijski alati koji se danas koriste su: PTV VISSIM, Aimsun, CORSIM, Paramics, Simtraffic, Transmodeller, WATSIM, CUBE itd [13].

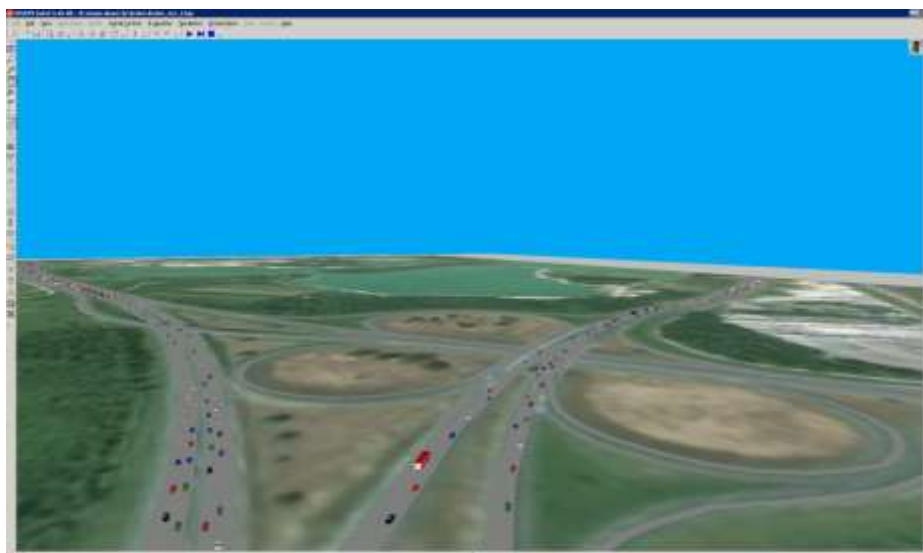
U studiji je provedena mikrosimulacija čvora Jankomir u gradu Zagrebu u slučaju evakuacije stanovništva nakon nuklearne nesreće u NE Krško. Kao mikrosimulacijski alat odabran je PTV VISSIM. To je stohastički mikroskopski simulacijski alat, koji ima mogućnost analize javnog gradskog prijevoza, prijevoza osobnim vozilima, biciklističkog i pješačkog prometa. Razvijen je u Njemačkoj od tvrtke PTV AG, a našao je svoju veliku primjenu u Europi, Aziji i Sjedinjenim Američkim Državama. Preko 1000 organizacija u svijetu danas koristi ovaj programski alat: 600 organizacija u Europi, 250 u Sjevernoj Americi te 150 u Aziji, Južnoj Americi i Africi [14].

PTV VISSIM se značajno koristi u prikazu evakuacije ljudi u gradovima uslijed različitih izvanrednih i kriznih događaja: havarije nuklearnih elektrana, poplave, uragani, požari itd. Nužan uvjet za izradu evakuacijskih simulacija većih područja i gradova je posjedovanje podataka o broju stanovništva i vozila u pojedinim evakuacijskim zonama. Gradovi bi trebali imati evakuacijske zone s redovito ažuriranim podacima o broju stanovništva te izraditi evakuacijske planove pojedinih zona ovisno o vrstama opasnosti.

S obzirom da programski alat ne može simulirati ponašanje vozača u slučajevima panike povećana je agresivnost vozača korištenjem *Wiedemann*-ovog 74 modela kako bi se što realnije prikazala situacija evakuacije.

Analiza prometnih tokova u slučaju evakuacije stanovništva zbog nuklearne nesreće u Krškom prikazana je kroz tri scenarija uz pretpostavljenu veću i manju prijevoznu potražnju te zauzeće vozila od 2,5 osobe. Simulacija se promatra kroz tri moguća scenarija:

- scenarij 1 prikazuje evakuacijski proces na način da se od ČV Zaprešić evakuacija odvija samo u smjeru prema ČV Jankomir;
- scenarij 2 uključuje mogućnost dvosmjernog prometa na relaciji ČV Zaprešić – ČV Jankomir;
- scenarij 3 uzima konfiguraciju mreže iz scenarija 2, uz mogućnost evakuacije vozila iz zapadnog dijela Grada Zagreba na ČV Jankomir.



Slika 3. 3D prikaz simulacije tokova na čvoru Jankomir

Za svaki scenarij analizirano je vrijeme evakuacije kroz čvor Jankomir te broj evakuiranih vozila u polusatnim intervalima. Također su određena vremena putovanja kroz čvor te prosječna vremena kašnjenja. U prvom scenariju evakuacija se provodila u smjeru Bregana-Ivanja Reka i Macelj-Ivanja Reka kroz četiri kolnička traka, koristeći prometne trakove suprotnog smjera. U drugom scenariju omogućena je i evakuacija u smjeru Bregana-Macelj, a u trećem i evakuacija dijela stanovništva grada Zagreba u smjeru Jankomir-Ivanja Reka. Za svaki scenarij izvedeni su podscenariji s visokom i niskom pretpostavljenom potražnjom (tablica 3.1).

Tablica 3.1: Prikaz pretpostavljene prijevozne potražnje u trećem scenariju regulacije

Ukupan broj stanovnika na udaljenosti 25 km on NE Krško + broj stanovnika iz Zagreba	240 000 stanovnika + 100 000 stanovnika Grada Zagreba koji gravitiraju na čvor Jankomir			
Broj stanovnika koji se evakuiira kroz čvor Jankomir	Visoka potražnja		Niska potražnja	
	90 000 + 35 000 iz Zagreba		45 000 + 17 000 iz Zagreba	
	Osobnim vozilom	95 000	Osobnim vozilom	47 000
	Autobusom	30 000	Autobusom	15 000
Ukupan broj jedinica vozila	Broj osobnih vozila	38 000	Broj osobnih vozila	18 800
	Broj autobusa	600	Broj autobusa	300

Prema dobivenim rezultatima simulacije za visoku potražnju u slučaju primjene prvog ili drugog scenarija ukupan broj vozila evakuirao bi se kroz čvor Jankomir u vremenskom razdoblju između 2 i 2,5 sata; a u slučaju trećeg scenarija između 3 i 3,5 sata.



Slika 4. Prikaz evakuacijskih tokova u trećem scenariju kroz čvor Jankomir

4. PRIMJENA MAKROSIMULACIJA

Za makrosimulaciju evakuacije ljudi osobnim vozilima iz određenog područja preko određene prometne mreže karakteristično je sljedeće:

- javljanje velike prijevozne potražnje kroz malen vremenski interval, što rezultira javljanjem velikih gustoća prometnih tokova;
- stvaranje izrazito nestabilnih tokova na mreži koji povećavaju vjerojatnost nastanka prometnih nesreća;
- utjecaj ljudskog faktora zbog stanja svijesti čovjeka prilikom ozbiljnih incidentnih situacija, što čini prometni model znatno kompleksnijim;
- promjena ustaljenih signalnih planova raskrižja u izvanredne, sa svrhom osiguravanja odvijanja prometa na raskrižjima u korist evakuacijskih tokova;
- otežan proces validacije i kalibracije zbog nedostatka podataka za specifično područje i specifičan evakuacijski proces.

Za izgradnju makrosimulacijskog modela prometne mreže koristio se je programski paket *Aurora Road Network Modeler* (Aurora RNM). Odabrani model prijevozne potražnje je jednostavan gravitacijski model sa normalnom razdiobom protoka na mreži kroz vrijeme ukupne prijevozne potražnje od 6 sati. Distribuirana prijevozna potražnja prema scenarijima prikazana je u tablici 1.

Tablica 1 Prijevozna potražnja prema scenarijima

Tip scenarija	Ukupan volumen	Volumen - NP Bregana	Volumen - ČV Bobovica	Volumen - ČV Sveta Nedelja	Volumen - ČV Zaprešić	Volumen - ČV Jankomir
	voz	voz	voz	voz	voz	voz
1V	25200	8400	3360	5040	8400	0
1N	12600	4200	1680	2520	4200	0
2V	25200	8400	3360	5040	8400	0
2N	12600	4200	1680	2520	4200	0
3V	39200	8400	3360	5040	8400	14000
3N	19400	4200	1680	2520	4200	6800

Raspodjela prometnih tokova je dobivena procjenom kretanja prometnih tokova između gravitacijskih područja, te je prikazana u tablici 2.

Tablica 2 Raspodjela prometnih tokova prema scenarijima

Čvor	Smjer kretanja toka	1V, 1N	2V, 2N	3V, 3N
		%	%	%
ČV Jankomir	prema NP Zaprešić	0	40	40
ČV Jankomir	prema ČV Lučko	100	60	60
ČV Lučko	prema NP Lučko	40	10	40
ČV Lučko	prema ČV Buzin	60	90	60
ČV Ivanja Reka	prema ČV Kraljevečki Novaki	20	20	20
ČV Ivanja Reka	prema NP Ivanja Reka	80	80	80

Dobiveni rezultati su:

- vrijeme evakuacije – vrijeme potrebno da 95 % vozila napusti prometnu mrežu – pokazatelj kvalitete evakuacijskog procesa na mreži;
- prosječno kašnjenje u mreži – prosječan vremenski gubitak po vozilu uslijed javljanja nestabilnih tokova – pokazatelj kvalitete evakuacijskog procesa sa stajališta vozača;
- interval napuštanja mreže – prosječno vrijeme između uzastopnog napuštanja mreže – pokazatelj operativnosti pri kapacitetu.

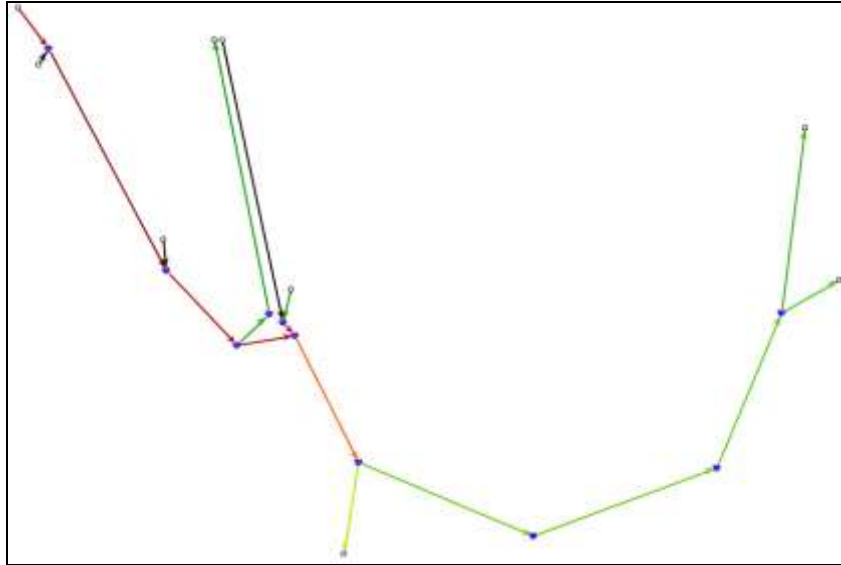
Rezultati su prikazani u tablici 3 za scenarije visoke potražnje, budući da su scenariji niske potražnje dali zadovoljavajuće rezultate. Za scenarij 1 karakterističan je mjerodavan tok na relaciji ČV Jankomir – ČV Lučko, koji uzrokuje zagušenje na ostalim ulijevajućim lukovima.

Tablica 3 Izlazni parametri simulacije prema scenarijima

Tip scenarija	Vrijeme evakuacije	Prosječno kašnjenje u mreži	Interval napuštanja mreže
	h	min voz ⁻¹	s voz ⁻¹
1V	7,5	36	1,07
2V	8,0	34	1,14
3V	12,0	106	1,11

Iz scenarija 2 proizlazi kako prometne nesreće na dionicama s 4 prometna traka ne utječu značajno na ukupnu dinamiku prometa, već su kritične dionice lukova na ČV Jankomir sa jednim ili dva prometna traka. U scenariju 3 javlja se kritičan tok vozila iz Zagreba, koji produljuje vrijeme evakuacije na dvostruku vrijednost u odnosu na vrijeme nailaska prijevozne potražnje, te je prosječno kašnjenje u mreži trostruko u odnosu na prethodna dva scenarija.

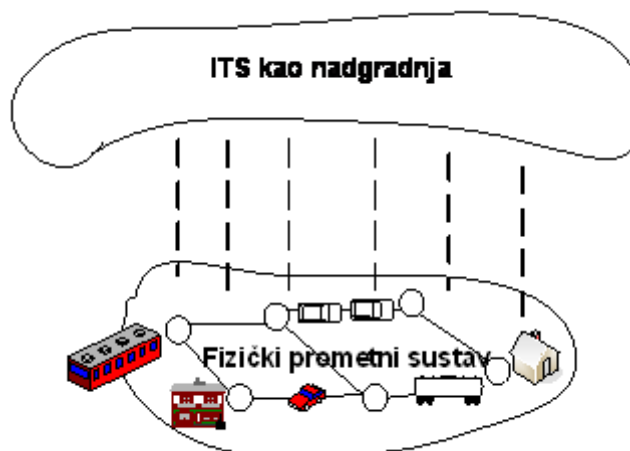
Na slici 5 je prikazan trenutak nakon 4,5 sati od početka evakuacije (scenarij 1, veća prometna potražnja), gdje tamnije nijanse ukazuju na veći stupanj zagušenja prometa, a svjetlije veću protočnost. Iz slike je vidljiva kritičnost prometa na čvoru Jankomir te na dionici Čvor Jankomir, Čvor Lučko.



Slika 5. Gustoća prometnih tokova na mreži, scenarij 1V, vremenski odmak 04:30

5. INTELIGENTNI TRANSPORTNI SUSTAVI U EVAKUACIJAMA

ITS se može definirati kao holistička, upravljačka i informacijsko-komunikacijska (kibernetska) nadgradnja klasičnog sustava prometa i transporta kojim se postiže znatno poboljšanje performansi, odvijanje prometa, učinkovitiji transport putnika i roba, poboljšanje sigurnosti u prometu, udobnost i zaštita putnika, manja onečišćenja okoliša, itd., [15]. ITS ima značenje novoga kritičnog pojma koji mijenja pristup i trend razvoja prometne znanosti i tehnologije transporta ljudi i roba tako da se postiže rješavanje rastućih problema zagušenja prometa, onečišćenja okoliša, učinkovitosti prijevoza, sigurnosti i zaštite ljudi i roba u prometu. Dokaz tome su brojni programi i projekti ITS-a u svijetu, pokretanje studijskih programa ITS-a i osnivanje ITS udruženja na nacionalnoj i globalnoj razini (ITS Croatia osnovana je krajem 2005. godine). ITS mijenja dosadašnju dominantnu paradigmu rješavanja problema koja je uglavnom potrošena. Rastući problemi prometa u svim većim gradovima, centrima, aerodromima, itd. pokazuju potrebu za novim pristupom i rješenjima.

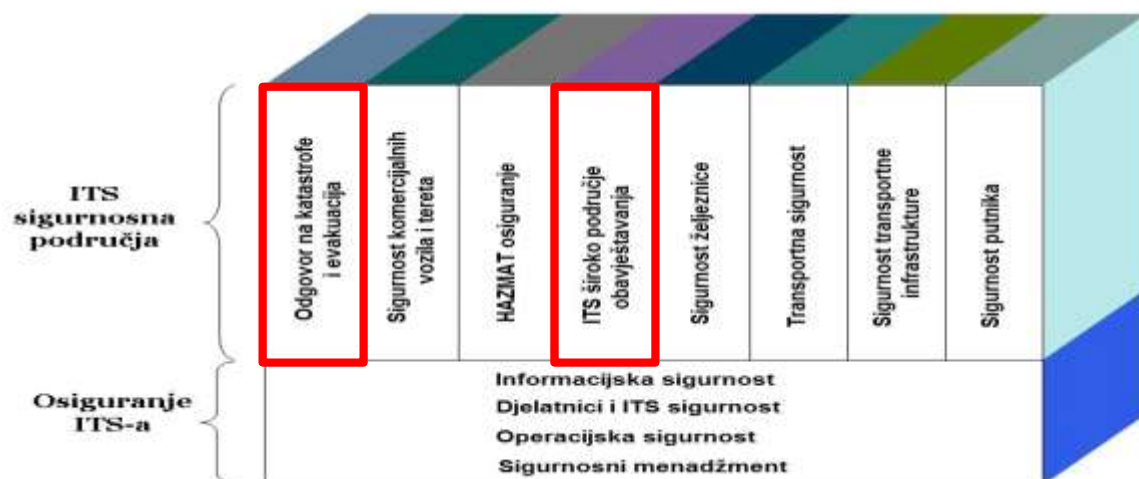


Slika 6. ITS kao nadgradnja klasičnoga prometnog sustava

ISO je razradio referentne modele arhitekture za ITS sektor, gdje nova korigirana taksonomija ITS-a teži povezivanju sličnih i komplementarnih ITS korisničkih usluga. U novoj taksonomiji definirano je 11 funkcionalnih područja:

1. informiranje putnika (Traveler Information)
2. upravljanje prometom i operacijama (Traffic Management and Operations)
3. vozila (Vehicles)
4. prijevoz tereta (Freight Transport)
5. javni prijevoz (Public Transport)
6. žurne službe (Emergency)
7. elektronička plaćanja vezana za transport (Transport Related Electronic Payment)
8. sigurnost osoba u cestovnom prijevozu (Road Transport Related Personal Safety)
9. nadzor vremenskih uvjeta i okoliša (Weather and Environmental Monitoring)
- 10. upravljanje odzivom na velike nesreće (Disaster Response Management and Coordination)**
- 11. nacionalna sigurnost i zaštita (National Security).**

Slika 7 prikazuje dva ključna aspekta ITS-a u području nacionalne sigurnosti sa svojim područjima djelovanja, [16].

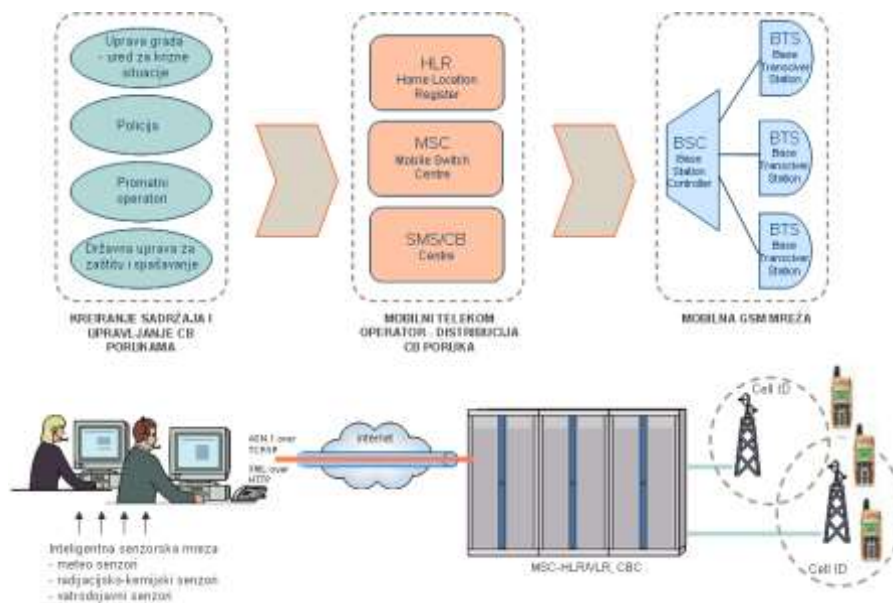


Slika 7. Sigurnost u nacionalnoj ITS Arhitekturi

U području „Odgovor na katastrofe i evakuacija“ ITS se koristi kako bi se transportnim sustavima omogućila zaštita od slučajnih i neslučajnih ugroza te što efikasnije obavilo evakuiranje stradalih sudionika iz područja katastrofa. Značajni iskoraci u ovom području su rezultat iskustava više katastrofa u SAD-u. U okviru ovog sigurnosnog područja poboljšava se pristup mjestu evakuacije, daje bolje informacije o sustavu prijevoza u blizini katastrofe, koordinira resursima podrške i razmjenjuju informacije o trenutnoj situaciji.

ITS široko područje obavješćavanja bazirano na obavješćavanju javnosti u slučaju da se dogodi nekakva katastrofa te davanju uputa kako se treba dalje ponašati, [17]. Koriste se ITS tehnologije informiranja vozača i putnika kako bi izravno davali informacije i instrukcije, poboljšali javnu sigurnost te pozvali u pomoć druge sustave. Kada je hitna situacija prijavljena i provjerena te uvjet za aktivaciju sustava zadovoljen, hitne informacije se mogu slati prometnim agencijama, prijevoznim agencijama, servisima za pružanje informacija,

medijima te drugim ITS sustavima. Neki od načina obavještanja mogu biti putem televizije, radija, razglasa, SMS poruka, displeja i sl. Kao zrela tehnologija, danas se kao rješenje nameće Cell Broadcast sustav, [18, 19]. Osim u prometnim incidentima, sličan postupak i tehnologija može se primijeniti i u slučajevima ostalih izvanrednih događaja, većih nezgoda i katastrofa. Cell Broadcast sustav šalje sadržaj na mobilne telefone koji se nalaze u određenom području (zonsko obavješćivanje). Najmanje područje na koje davatelj sadržaja može slati sadržaj je jedna radio ćelija, a najveće je kompletna mobilna mreža. Cell Broadcast distribuira informacije u obliku poruke, vrlo slične poznatim SMS porukama. Arhitektura sustava Cell Broadcast (Slika 8) daje operatoru potpunu kontrolu nad topologijom mreže (u smislu CBS poručivanja), bilo da je riječ o GSM mreži ili UMTS mreži, [19]. Istodobno omogućava davatelju sadržaja rad i pod najvećim opterećenjem i složenosti mobilne mreže i njenim čestim promjenama.



Slika 8. Arhitektura Cell Broadcast sustava

U posljednjih dvadesetak godina intenzivno se istražuje mogućnost korištenja suprotnog smjera autoceste, posebno za izvanredne situacije, kao što su masovne evakuacije, [20, 21]. Naime neki primjeri iz nedavne prošlosti (posebno postkrizne analize) su pokazali veoma važne značajke uporabe prometne infrastrukture u uvjetima masovnih evakuacija. Uobičajeno se prometnice izvode dvosmjerno, očekujući približnu prometnu potražnju za oba smjera. Međutim, u uvjetima velikih prirodnih i drugih katastrofa, postoji značajna asimetrija u veličini prometne potražnje. Smjer iz područja krize je s izrazito velikom prometnom potražnjom (pravac evakuacije), a smjer prema području krize je s zanemarivom prometnom potražnjom (vozila žurnih službi i ostala prijevozna sredstva snaga za rješavanje krize), slika 9. Nameće se ideja u tom slučaju da se oba smjera koriste za potrebe evakuacije stanovništva, a da se prijevozna sredstva kriznih snaga preusmjere na ostale prometnice nižeg operativnog kapaciteta. Slična je situacija i u gradovima, gdje se u uvjetima evakuacija pojedine prometnice pretvaraju u jednosmjerne, a često se mijenja i smjer uobičajeno (za redovitu uporabu) jednosmjernih prometnica.



Slika 9. Primjer neučinkovite evakuacije

U uvjetima evakuacija ne raspolaže se s vremenima za uobičajene privremene prometne regulacije (npr. radovi na cesti) . U ovim uvjetima treba ići na minimalne zahvate s maksimalnom uporabom suvremene ITS (telematičke) tehnologije, [22]. Koriste se slijedeća oprema kako bi se promet lakše kontrolirao i pravilno usmjerio:

- Promjenjivi prometni znakovi
- Prometna oprema (inteligentni čunjevi i fizičke prepreke)
- Prenosive oglasne ploče (najčešće upotrebljavane za prikaz smjera kojim se vozi na određenoj ruti)
- Oznake na kolniku privremene signalizacije
- Pokretni semafori za privremenu regulaciju prometa
- itd.

Inovativne tehnologije olakšavaju upravljanje i vođenje prometom. Primjena inteligentnih transportnih sustava ima ključnu ulogu u procesu evakuacije masovnog stanovništva zbog izvanredne situacije. Kvalitetno informiranje te označavanje opasnih dijelova ceste od velike je važnosti za sigurnost i učinkovitost prometnog sustava tijekom evakuacije, [23].

6. ZAKLJUČAK

Jedan od temeljnih značajki masovne evakuacije je intenzivna upotreba prometne infrastrukture. Prometna infrastruktura se najčešće projektira za „normalne“ režime upotrebe, uz minimalne zahtjeve za njenim značajkama u izvanrednim uvjetima. Veća učinkovitost i sigurnost u odvijanju prometa u ovim izvanrednim uvjetima osigurava se primjenom informacijsko komunikacijske nadgradnje klasičnog sustava prometa poznatim pod nazivom inteligentni transportni sustavi (ITS). Tu se nameće čitav niz rješenja – optimizacija rutiranja evakuacijskih pravaca, stvarno-vremensko upravljanje prometom, korištenje prometnica za jednosmjerni promet u slučaju masovnih evakuacija – npr autoceste i slično.

Brzina reakcije kod ovih događaja smanjuje materijalnu štetu i ljudske žrtve. Kod toga je od posebne važnosti stvarno-vremensko i lokacijski određeno obavješćivanje i uzbunjivanje, a kako bi se smanjile posljedice nekontroliranih masovnih gibanja stanovništva. Postotak redukcije vremena odaziva je vrlo značajan čimbenik, jer smanjenje vremena odziva bitno utječe na smanjenje smrtno stradalih i ranjenih kod ovakvih i sličnih nesreća.

Zbog karaktera ovih događaja, neophodno je na odgovarajući način provjeriti matematičkim modelima i simulacijama ponašanje prometnog sustava u izvanrednim okolnostima. Za to

služe razni softverski alati – kao mikro, mezo i makro prometni simulatori, ili u posljednje vrijeme upotreba staničnih automata (Cell automata).

U ovom radu je prikazano stanje u znanosti i tehnici u ovom području kriznog upravljanja u svijetu, dosadašnja iskustva, kao i mogućnosti nekih rješenja iz područja primjene inteligentnih transportnih sustava u izvanrednim uvjetima (evakuacije). U budućem radu neophodno je dalje unaprijediti navedenu metodologiju te implementirati opisane postupke u procese donošenja novih planova evakuacije, kao i evaluacije postojećih. Na Fakulteti prometnih znanosti postoji skupina znanstvenika (*Incident Management Group*), koja na sustavan način istražuje te učestvuje u europskim projektima iz navedenog područja.

ZAHVALA

Ovu studiju je financirao Grad Zagreb, Ured za upravljanje hitnim situacijama u okviru projekta „Priprema evakuacije u slučaju nuklearne nesreće“, a koji je financiran iz programa Europske unije "Mehanizam zajednice za civilnu zaštitu"

LITERATURA

- [1] ***, Plan zaštite i spašavanja za područje Republike Hrvatske, Narodne novine“, broj 96, 2010.
- [2] Roldao, B., Intelligent Transport Systems on Emergency Evacuation Modelling, 12th WCTR, Lisbon, 2010.
- [3] Gary P. Moynihan and Daniel J. Fonseca Application of Simulation Modeling for Hurricane Contraflow Evacuation Planning, Advances in Hurricane Research - Modelling, Meteorology, Preparedness and Impacts, InTech, 2012.
- [4] Altay, N., Green, W.G., OR/MS research in disaster operations management. European Journal of Operational Research 175 (1), 2006.
- [5] Chen, C.C., Chou, C.-S., Modeling and performance assessment of a transit based evacuation plan within a contraflow simulation environment. Transportation Research Board: Journal of the Transportation Research Board 2091, 2009.
- [6] Georgiadou, P.S., Papazoglou, I.A., Kiranoudis, C.T., Markatos, N.C., Modeling emergency evacuation for major hazard industrial sites. Reliability Engineering & System Safety 92 (10), 2007.
- [7] Jotshi, A., Gong, Q., Batta, R., Dispatching and routing of emergency vehicles in disaster mitigation using data fusion. Socio-Economic Planning Sciences 43 (1), 2009.
- [8] Kongsomsaksakul, S., Yang, C., Chen, A., Shelter location–allocation model for flood evacuation planning. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies 6, 2005.
- [9] Minciardi, R., Sacile, R., Trasforini, E., Resource allocation in integrated preoperational and operational management of natural hazards. Risk Analysis 29 (1), 2009.
- [10] Paul, J.A., Batta, R., Models for hospital location and capacity allocation for an area prone to natural disasters. International Journal of Operational Research 3 (5), 2008.
- [11] Saadatseresht, M., Mansourian, A., Taleai, M., Evacuation planning using multiobjective evolutionary optimization approach. European Journal of Operational Research 198 (1), 2009.
- [12] Sbayti, H., Mahmassani, H.S., Optimal scheduling of evacuation operations. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 1964, 2006.

- [13] Dowling, R.; Holland, J.; Huang, A.: *Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software*, California Department of Transportation, Dowling Associates, Oakland, 2002
- [14] *PTV Visum Overview*, PTV America, ppt prezentacija, 2004
- [15] Bošnjak, I., *Inteligentni transportni sustavi 1*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2006.
- [16] Architecture Development Team, *National ITS Architecture Security*, Federal Highway Administration, US Department of Transportation, May 2007.
- [17] Martinez, J. F., Chai-Keong T., Juan-Carlos C., Carlos T., Calafate, P., *Emergence Services in Future Intelligent Transportation Systems Based on Vehicular Communication Network*, IEEE Intelligent transportation systems magazine, 2010
- [18] Mandžuka, S., Kljaić, Z., Kordić, Z., *Mobilne telekomunikacije u sustavima upravljanja incidentima*, Konferencija TELFOR 2009, Beograd, 2009.
- [19] Kljaić, Z., Mandžuka, S., *Napredne telekom tehnologije u području sigurnosti gradova*, Druga regionalna konferencija o sigurnosti gradova, zagreb, 2010.
- [20] Mandzuka, S., Kljaić, Z. & Škorput, P., "The use of mobile communication in traffic incident management process", *Journal of Green Engineering*, vol. 1, no. 4, 2011.
- [21] Wolshon, B., *Contraflow Freeway Operation for Hurricane Evacuation*, Nat. Hazards Rev., 2(3), 2001.
- [22] Zou, N., Yeh, S.-T., Chang, G.-L., Marquess, A., Zezeski, M., *Simulation-based emergency evacuation system for ocean city, Maryland, during hurricanes*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 1922, 2005.
- [23] Bošnjak, I., Mandžuka, S., Šimunović, Lj., *Mogućnosti inteligentnih transportnih sustava u poboljšanju stanja sigurnosti u prometu*, Zbornik radova: Nezgode i nesreće u prometu i mjere za njihovo sprječavanje, Zagreb : Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, 2007. 12-20