

J. Vrkljan, M. Mustapić, A. Štimac\*

## EKSPERTNI PRISTUP POBOLJŠANJU SIGURNOSTI U ZONAMA RADOVA NA CESTI

UDK 331.45:65.12.22  
PRIMLJENO: 28.3.2018.  
PRIHVAĆENO: 15.6.2018.

*SAŽETAK: Povećan obim prometa na hrvatskim cestama zahtijeva sve više radova na njihovom održavanju. Radovi na cestama smanjuju mobilnost prometa i sigurnost korisnika ceste, ali i samih izvođača radova. Povećanje mobilnosti i sigurnosti prometa u radnim zonama temeljni su problemi koje trebaju rješavati sve zainteresirane strane (oni koji planiraju i upravljaju radovima, ali i oni koji izvode radove na cesti). Ublažavanje navedenih negativnih posljedica moguće je uz pomoć mjera ekspertnih sustava.*

*U radu su prikazane mogućnosti uvođenja ekspertnih sustava u zone radova na cestama kao element unapređenja održavanja cesta i povećanje sigurnosti protoka prometa u radnim zonama i sigurnosti cestarskih radnika koji rade u zonama radova na cesti. Popunjavanjem baze znanja ekspertnog sustava s mjerodavnim podacima dobiva se ekspertni sustav koji nudi vozaču koji dolazi do zone radova na cesti nekoliko alternativnih pravaca kretanja. U radu je prikazan dijagram upravljanja vozilom u zonama radova na cesti s posebnim osvrtom na smanjenje prilazne brzine vožnje pri dolasku vozila u zonu radova na cesti.*

*Iz rezultata istraživanja vidljivo je da bi primjena ekspertnih sustava koji imaju popunjenu bazu znanja s mjerodavnim, vjerodostojnim podacima, značajno olakšala upravljanje prometom kroz radne zone i povećala sigurnost prometa i sigurnost radnika na održavanju cesta kao i samu učinkovitost radnika.*

**Ključne riječi:** ekspertni sustavi, zone radova na cesti, održavanje cesta, sigurnost prometa

### UVOD

Razvoj računalne tehnologije kao i njezinih potencijalnih mogućnosti dovodi do područja u kojem se putem računala pokušavaju modelirati procesi ljudskog mišljenja. Razvoj ove znanstvene discipline - koja se bavi metodama, tehnikama, alatima i arhitekturama za rješavanje logički

komplikiranih problema - ide u dva smjera. Prvi podrazumijeva postizanje inteligentnijeg ponašanja računala koji će biti što upotrebljiviji, a drugi modeliranje procesa ljudskog mišljenja na računalu, te time pridonosi razumijevanju čovjekovog inteligentnog ponašanja. Kao posljedica tih inicijativa i nastojanja pojavili su se ekspertni sustavi. To su računalni programi čiji algoritmi realizirani različitim metodama umjetne inteligencije rješavaju probleme na osnovi znanja iz nekog uskog područja. Znanje koje takav sustav posjeduje formira se uz pomoć eksperta na osnovi pravila zaključivanja i podataka neophodnih za rješavanje tih problema. U konačnici ekspert koristi taj računalni program kako bi riješio neki

---

\*Mr. sc. Joso Vrkljan, dipl. ing., (j.vrkljan@gmail.com), Lika ceste d.o.o., Smiljanska 41, 53000 Gospić, Miljenko Mustapić, dipl. ing., (miljenkom@gmail.com), H2 komunikacije d.o.o., Dr. Franje Tuđmana 14 b, 10431 Sveta Nedjelja, mr. sc. Antun Štimac, dipl. ing., (astimac@zet.hr), Zagrebački holding d.o.o., podružnica ZET, Ozaljska 105, 10000 Zagreb.

još složeniji problem iz tog područja. Rješavanje takvog problema također se memorira u bazu znanja, pa na taj način ekspertni sustav dinamički povećava svoje znanje i mogućnosti. Jednu od prvih definicija ekspertnih sustava dao je Fiegebaum (1980.), kojeg nazivaju i ocem ekspertnih sustava, i ona glasi: „**Ekspertni sustav** je inteligentan računalni program koji koristi znanja i postupke zaključivanja za rješavanje problema koji su dovoljno teški da zahtijevaju značajno ljudsko znanje za svoje rješavanje“. Najpotpuniju definiciju ekspertnih sustava dalo je Britansko društvo eksperata za računala, a ta definicija glasi: „Pod ekspertnim sustavom podrazumijeva se realizacija računalno temeljene vještine nekog eksperta čija je osnova u znanju i u takvom obliku da sustav može ponuditi inteligentan savjet ili preuzeti inteligentnu odluku o funkciji koja je u postupku.“ (Forsyth, 1984.). Uvodna razmatranja povezana s problematikom radova na cesti su: „Zone radova na cesti, neovisno o tipu, vrsti ceste na kojoj se radovi izvode predstavljaju zonu rizika ili konfliktnu situaciju u prometu posebice na samom početku i kraju.“ (Novačić et al., 2009.). „Povećani obim prometa na hrvatskim cestama, koje su većinom u drugoj polovici ili pri kraju životnog ciklusa (osim autocesta), zahtijeva sve više radova na njihovom održavanju odnosno sanaciji i rekonstrukciji. Radovi na održavanju cesta dovode do visokog stupnja ometanja prometa što se reflektira kroz povećanje gužve na koridoru pa i šire na mreži, povećanje frustracije vozača i putnika zbog kašnjenja, smanjenje sigurnosti korisnika ceste ali i samih izvođača radova.“ (Šimunović et al., 2009.). S obzirom na ranije pojašnjene karakteristike ekspertnih sustava, moguće ih je implementirati u radove na cesti čime bi se smanjile potencijalno konfliktne situacije prilikom izvođenja radova na cesti, povećala sigurnost radnika koji rade na održavanju cesta te povećala propusnost prometa u zonama radova na cestama. Cilj ovog rada je istražiti mogućnosti koje u tom pogledu pružaju ekspertni sustavi.

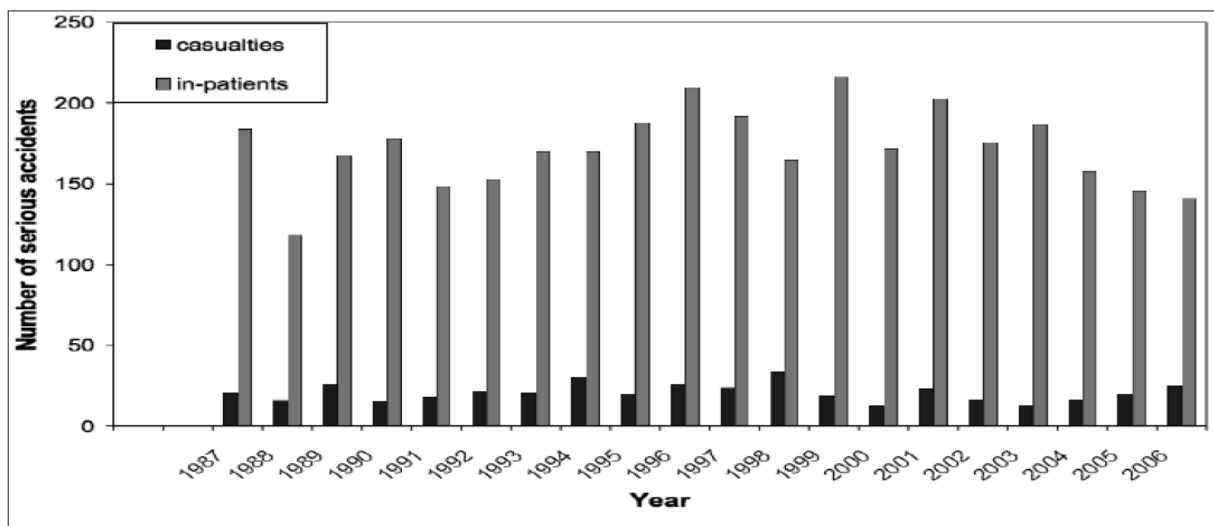
## DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA U VEZI SA ZONAMA RADOVA NA CESTI

U Republici Hrvatskoj ne vodi se posebna statistika o broju i karakteristikama prometnih

nezgoda koje se događaju u zoni radova, te će se stoga analizirati istraživanja, podaci i statistike drugih zemalja pa se analogijom može doći do približnih podataka koji bi vrijedili za Hrvatsku. Nameće se zaključak kako će povećani broj vozila na cestama, osobito na razvrstanim cestama Republike Hrvatske, slijedno povećati i broj radnih zona, što će sasvim vjerojatno pogoršati sigurnost prometa na tim istim cestama, a tako i u zonama radova. Prometne nesreće i sudari koji se javljaju u radnim zonama predstavljaju neznatan postotak svih događaja u prometu. Međutim, ta mjesta zahtijevaju posebnu pozornost i pravilnu identifikaciju nestandardnih uvjeta uzrokovanih promjenama u prethodnoj prometnoj organizaciji te prisutnost cestovnih radnika i građevinskih uređaja na cesti i njezinoj okolini. Posljedice pogrešaka koje rade vozači u područjima cestovnih radova često su ozbiljne, sa smrtnim slučajevima među zaposlenicima koji obavljaju takve poslove (Szafranko, 2011.). Dakle, ta mjesta mogu se smatrati kritičnim točkama u smislu sigurnosti, kako za sudionike u cestovnom prometu, tako i za ljude koji rade u radnim zonama. Statistički podaci pokazuju da su indeksi nesreća na određenim mjestima znatno veći tijekom radova na putu nego u standardnoj uporabi pojedinih elemenata infrastrukture (Ullman, Krammers, 1991.). Prema tome, osiguravanje sigurne vožnje kroz radne zone jedan je od najvažnijih zadataka institucija nadležnih za upravljanje cestovnom mrežom (Migletz et al., 1999.). Analiza prometnih nesreća koje se događaju u prometnim zonama rada je dodatno teška zbog nedostatka jedinstvenih procedura i standarda koji se odnose na skupljanje povezanih podataka. Prometni incident u radnoj zoni često osim incidenata zabilježenih na području cestovnih radova, podrazumijeva i one uzrokovane u radnoj zoni (iako se javljaju izvan zone npr. kroz prometne gužve uzrokovane promjenama u organizaciji prometa). Općoj bazi podataka također nedostaju kvantitativne mjere koje bi se mogle upotrijebiti za usporedbu pojedinačnih incidenata npr. u smislu tipologije cestovnih radova, stanje u prometu tijekom incidenta, vrsta organizacije prometa, prisutnost zaposlenika i građevinskih uređaja, itd. (Road Workzone Safety..., 1998.). Drugi problem je veliki broj ra-

zličitih definicija radne zone. Najčešće se zona rada na cesti određuje kao dio cestovne infrastrukture koji utječe na obavljanje radova na cesti, na području ceste i okolice. Dakle, ova zona obuhvaća ne samo površinu ceste na kojem se izvode radovi, već i dio područja ceste koja su okupirali elementi privremene organizacije prometa (*MUTCD, 2009.*). Najopsežnija statistika provedena je u SAD-u, gdje je u razdoblju od 2002. do 2005. u radnim zonama ozlijeđeno više od 40.000 ljudi svake godine, te s više od 1.000 smrtnih slučajeva uzrokovanih prometnim incidentima u radnim zonama (*Mahoney, 2007.*). Ti brojevi znatno su smanjeni u posljednjih nekoliko godina. Stopa smrtnosti u radnim zonama je smanjena na 586 ljudi u 2010., što čini 1,75 % od svih ljudi poginulih na cestama. U razdoblju od 2003. do 2010. oko 120 zaposlenih u građevinskim tvrtkama poginulo je na cestama svake godine, od kojih je njih 69 nastradalo pri vožnji vozila kroz radnu zonu. To predstavlja izravan uzrok visoke stope smrtnosti koji je povezan s obavljanjem ovog posla. Za ljude koji rade u radnoj zoni taj postotak iznosi 32 smrtna slučaja na 100.000 zaposlenih i tri puta je veći od razine ovog indeksa za ostale zaposlenike građevinskih tvrtki (*Safety on Motorway Workzones, 2007.*). U Europi su nejasni podaci koji se odnose na

prometne nesreće koje se javljaju u radnim zonama. Najviše podataka pokazuje da je postotak ovih nesreća manji od 2 % u cijeloj cestovnoj mreži (*FORMAT, 2005.*). Međutim, istraživanje provedeno od UK Agencije za autoceste u 2006. godini pokazuje kako je gotovo 20 % zaposlenih u građevinskim tvrtkama pogođeno vozilom najmanje jednom u profesionalnoj karijeri. U razdoblju od 2000. do 2005. šesnaest zaposlenika poginulo je na engleskim autocestama i glavnim cestama, a dodatnih 90 je ozlijeđeno (*Roadworkers' Safety Research., 2006.*). Za usporedbu, u prometnim radnim zonama koje se nalaze u izvangradskim glavnim prometnicama u razdoblju od 2006. do 2011. u Poljskoj se dogodila 291 nesreća, 54 ljudi je poginulo, a njih 412 je ozlijeđeno (*Jażdżik-Osmólska, 2012.*). U Nizozemskoj se svake godine bilježi oko 190 poginulih i teško ozlijeđenih u nesrećama povezanim s radovima na cesti (slika 1); (*Weijermars, 2008.*). Oko 2 % svih poginulih i teško ozlijeđenih posljedica su nesreća koje se događaju na radovima na cesti. Ovaj udio porastao je tijekom posljednjih 20 godina, iako je ukupan broj poginulih i teško ozlijeđenih smanjen, dok je taj broj u nesrećama na mjestima radova na cesti ostao prilično stabilan (*Weijermars, 2008.*).



Slika 1. Prikaz broja poginulih i ozlijeđenih u zonama rada u Nizozemskoj od 1987. do 2006.

Figure 1. Number of deaths and injuries in road work zones in the Netherlands 1987- 2006

U sklopu europskog projekta ARROWS (1998.) provedeno je proučavanje dostupne literature u vezi s radovima na cesti, te je zaključeno kako radovi na cesti negativno utječu na sigurnost prometa. Dvije američke studije (Ullman et al., 2006., Khattak, Council, 2002.) također su pokazale porast broja nesreća zbog radova na cesti. Opsežna britanska studija (Freeman et al., 2004.), s druge strane, nije pronašla značajne razlike u broju nesreća, kada su se provodili radovi na cesti. Svi pokazatelji govore kako je sama zona rada najrizičnije područje kada se izvode radovi na cesti. Istraživanje literature (Gent, 2007.) govori kako su križanja, gdje se promet sa sporedne ceste spaja na glavnu cestu relativno opasna u urbanim područjima. Analiza nizozemskih podataka (Jansen, Weijermars, 2009.) jasno je pokazala kako broj nezgoda na mjestima radova na cesti jedva prelazi broj nezgoda na raskrižjima. U ruralnim područjima, nezgode na mjestima radova na cesti često se pojavljuju u blizini pristupnih cesta i na izlazima (ARROWS, 1998.). Štoviše, broj nezgoda s fatalnim posljedicama na mjestima radova na cesti (u odnosu na ukupan broj sudara s fatalnim posljedicama) je relativno visok na državnim cestama (Jansen, Weijermars, 2009.). Radovi na cesti koji se provode u duljem razdoblju i koji obuhvaćaju dužu radnu zonu izgleda da imaju nižu stopu sudara (Gent, 2007.). Cestovni radnici doživljavaju iskustvo rada noću kao opasno (Swuste, Heijer, 1999.). Literatura doista pokazuje kako radovi na cesti u noćnim satima uglavnom imaju povećanu stopu sudara, što znači da postoji više nezgoda po jedinici, na primjer kilometara ili sati, radova na cesti (Gent, 2007.). Broj sudara na mjestima radova na cesti, međutim, veći je tijekom dana: oko dvije trećine sudara na mjestima radova na cesti dogodi se tijekom dana, a udio sudara u noćnim satima na mjestu radova na cesti nije veći od onih za vrijeme dana. Međutim, vrlo je vjerojatno da se i manji broj radova na cesti obavlja noću nego danju, tako da stopa sudara tijekom noći može biti i viša od stope sudara tijekom dana. Literatura pokazuje kako su sudari na mjestima radova na cesti relativno češći straga (Gent, 2007.). Analiza nizozemskih podataka to i potvrđuje (Jansen, Weijermars, 2009.): 31 % svih sudara na sporednim cestama na mjestima radova na cesti su nalet na stražnji kraj vozila; za usporedbu, to je 15 % svih nezgoda na sporednim cestama. Mala

udaljenost i prebrza vožnja imaju važnu ulogu u nastanku tih sudara. Nadalje, broj sudara na sporednim cestama uključuje radna vozila i prepreke. U tim situacijama brzina je također jedan od uzroka. Najdosljednije otkriće svih istraživanja je kako je prebrza vožnja česta kao uzrok nesreća u vezi s radovima na cesti. Većina vozača vozi prebrzo kada se približava radovima na cesti. Često vozači samo smanje svoju brzinu ako situacija u prometu neposredno ispred njih zahtijeva da to učine (neposredno prije nagle promjene okolnosti), a time i kočice previše tvrdo. Iako brzi vozači (s visokom početnom brzinom) smanjuju svoju brzinu više od sporih vozača, njihova krajnja brzina je još uvijek veća. Osim toga, mijenjanje trake u slučajevima kada je trak zatvoren, obavlja se dosta kasno (Schuurman, 1999.). Prema podacima MUP-a u 2014. godini u prometnim nesrećama na cestama Republike Hrvatske poginulo je 308 osoba, a 2017. godine 331 osoba. Ako se pretpostavi da je statistika s prometnim nezgodama povezanim s radovima na cesti slična kao i u ostalim dijelovima Europe, te zanemare specifičnosti u pogledu regulative, sigurnosnih standarda i ostalog, može se zaključiti kako u Republici Hrvatskoj godišnje pogine 5-6 osoba u prometnim nezgodama povezanim s radovima na cesti. Ta činjenica je dovoljan razlog povećanoj pozornosti akademske zajednice ka istraživanju i izradi studija koji bi u konačnici trebali smanjiti smrtnu slučajevima povezane s radovima na cesti. Upotreba ekspertnih sustava mogla bi poslužiti kao iskorak prema tom cilju.

## ZONE RADOVA NA CESTI

Ljudi su bića navike. Zato ljudi postaju uzrujani kad naiđu na nešto nepoznato. Samo postojanje radova na cesti predstavlja izazov za vozače. Statistike prometnih nezgoda potvrđuju ovaj fenomen i pokazuju kako se više nesreća događa na dijelovima cesta i autocesta s radovima na cesti, nego na dijelovima bez njih. Radovi na cesti predstavljaju nepoželjne smetnje: nekoga će iznenaditi, nekoga iritirati, te uznemiriti gotovo polovicu svih vozača (DEKRA, 2012.). Radovi na cesti mogu biti povezani s održavanjem, rekonstrukcijom ili novom gradnjom (na primjer, izgradnja dodatnih traka uz postojeću cestu). Oni se označavaju trokutastim prometnim znakom.

Radovi na cesti mogu poremetiti očekivanja korisnika ceste i utjecati na ponašanje u vožnji. To može rezultirati nesigurnim situacijama za korisnike ceste kao i za cestarske radnike. Također može ometati protok prometa. Dakle, mjere i sadržaji na radovima na cesti su nužne kako bi se ograničili negativni učinci na sigurnost na cesti i protok prometa. Danas se najčešće definiraju četiri različite kategorije vrsta radnih zona što je postalo općeprihvaćeno u industriji (ARROWS, 1998., PREVENT, 1998.), i to:

- Dugoročni stacionarni rad definira se kao izgradnja ili održavanje koji se javlja na jednoj lokaciji u trajanju duljem od tri dana.
- Srednjoročni stacionarni rad odnosi se na onaj koji se obavlja na jednoj lokaciji za vrijeme dulje od jednog dana (do tri dana) ili noćnog rada koji traje više od jednog sata.
- Kratkoročno stacionarni rad odnosi se na izgradnju ili održavanje koje traje više od jednog sata, ali je završen u roku jednog dana.
- Mobilni rad je djelo izgradnje ili održavanja koje se povremeno ili stalno kreće.

Osim ove podjele, postoje i sljedeće podjele, ovisno o klasifikacijskim čimbenicima:

- a) Proračunska brzina prometnice glavni je čimbenik za procjenu potencijala rizika, te se prema tome može razlikovati podjela zone rizika prema mjestu radova: zone radova na autocesti; zone radova na brznoj cesti; zone radova u naseljima; zone radova na ruralnim cestama (lokalne ceste ili ceste manje važnosti).
- b) Dodatan rizik, posebno za radnike, predstavljaju skupine teških vozila, pa se prema ovom segmentu mogu razlikovati zone radova prema udjelu teških vozila u PGDP [PA]/t; (prosječni godišnji dnevni promet, putnička automobilska jedinica/vrijeme): zone radova s malim postotkom teških vozila (npr. 0 do 10 %); zone radova s velikim postotkom teških vozila (npr. 10 do 25 %); zone radova s velikim postotkom

teških vozila i autobusa, te cisterni i vozila s opasnim teretom (npr. od 15 do xy % teških vozila, te oko 5 % cisterni i vozila s opasnim teretom).

- c) U vezi s podjelom po vrsti ceste, zone radova mogu se podijeliti i prema broju prometnih traka i smjeru prometa ili prema vrsti interakcije prometnih tokova: zone radova sa suženjem traka (bez redukcije broja prometnih traka); zone radova sa zatvaranjem traka (kod prometnica s više traka u jednom smjeru); skretanje (prijenos prometnog toka u cijelosti ili parcijalno s jedne ceste – skrenuta cesta na drugu – ruta skretanja); promet u oba smjera ili križanje prometnog toka (skretanje cijele ili dijela toka s jednog smjera u drugi); alternativni jednosmjerni promet (gdje samo jedan trak preostaje slobodan za dva smjera prometa) – promet teče u svakom smjeru u intervalima ili podjela ujutro – poslijepodne; križanje/izmjena (izraz izmjena odnosi se na ulaz ili izlaz na autocestu ili brzu cestu sa dva odvojena smjera); zona radova uz rub ili pored ceste; zona radova na nogostupu/biciklističkoj stazi; zona radova u srednjoj traci (zatvorena za promet); zona radova na prometnici s tramvajskim prometom.

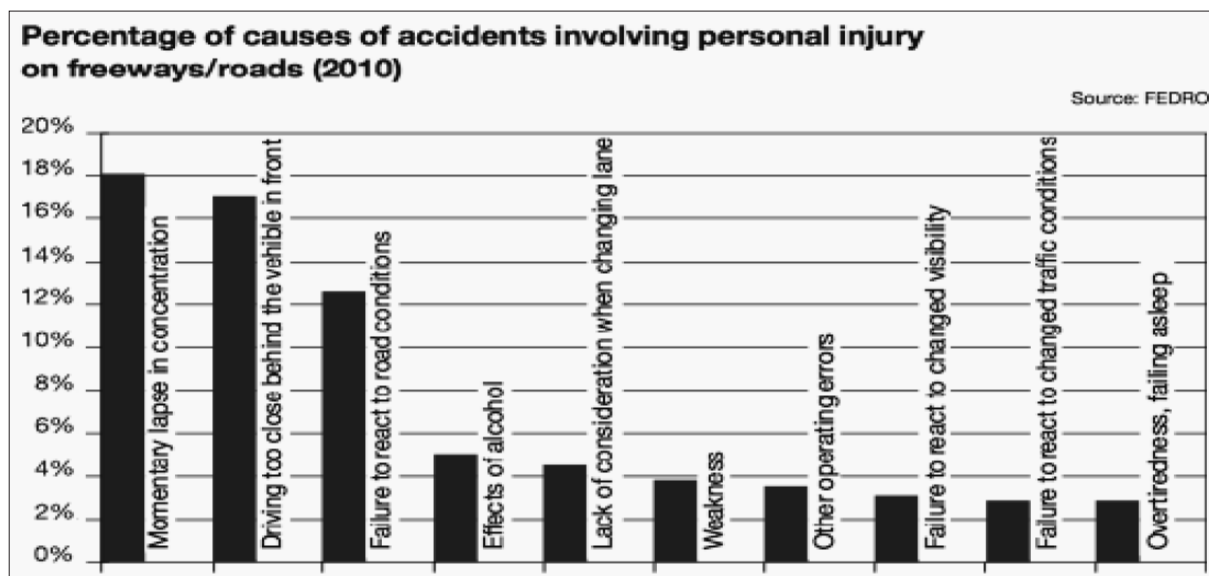
Nastavno na tipologiju podjele zone radova prema njihovim karakteristikama, pomoć na cesti kao zona radova u biti predstavlja radove održavanja, utovar i uklanjanje, kao i popravak na cesti, pa podliježu istim pravilima i elementima sigurnosti kao i svaka druga zona radova na cesti. Dodatne mjere (uz mjere koje propisuje Zakon o sigurnosti cestovnog prometa i pripadajuće pravilnike) koje izdvajaju pomoć na cesti od ostalih zona jesu:

- a) vozilo za pomoć postavlja se iza vozila u kvaru, s kotačima skrenutim u stranu, koje služi kao tampon zona prilikom nalijetanja drugih vozila
- b) izmaknuti vozila, gdje je moguće, izvan kolnika na bankinu ili bermu, odnosno obvezno na zaustavni trak na autocestama

- c) u slučaju loše vidljivosti i skliskog kolnika (smanjenog koeficijenta trenja kolnika) potrebno je prekinuti radove popravka i organizirati žurno uklanjanje vozila u kvaru, posebice s autocesta i brzih cesta.

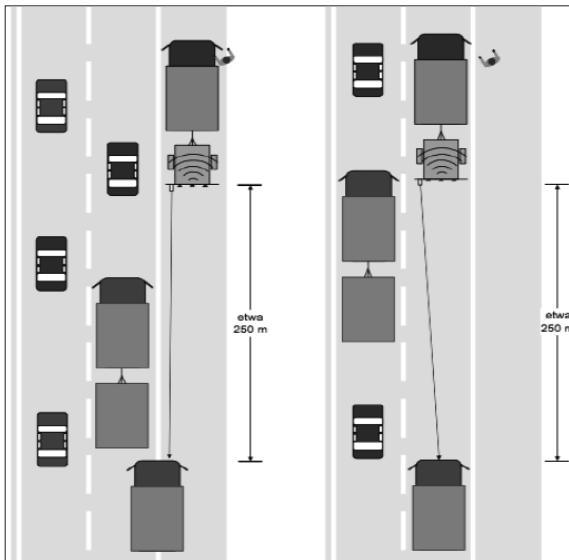
U pogledu rizika s kojima se susreću radnici na cesti, jedna studija je na osnovi podataka o fatalnim sudarima procijenila kako su cestovni radnici znatno rizičniji od rizika s kojim se suočavaju ostali građevinski radnici (*Venema i sur., 2008.*). Rezultati sličnog istraživanja u Velikoj Britaniji navode kako je prosječna stopa smrtnosti cestovnih radnika i dalje jedna od najviših kod zaposlenih (*Road Worker Safety..., 2010.*). Studija sudara provedena u sklopu europskog projekta ARROWS (*1998.*) otkrila je kako područja radnih zona imaju, u pravilu, više (cestovni promet) stope sudara u usporedbi s ekvivalentnim dijelovima na kojima nema radnih zona (*ARROWS, 1998.*). Jedno švicarsko istraživanje navodi glavne uzroke nesreća na prometnicama: gubitak koncentracije, vožnja preblizu vozila ispred, mijenjanje trake i pretjecanje, neuspješno prilagođavanje uvjetima na cesti, neobaziranje na uvjete na cesti, ignoriranje pravca puta, kada se trake spajaju (slika 2); (*FRODO, 2010.*).

Postoje dvije karakteristične vrste nesreća koje se mogu razlikovati, a povezane su s radnim zonama. U prvom slučaju (slika 3 - lijevi dio) vozilo stoji na zaustavnom traku zbog spašavanja, za zaštitu na mjestu nesreće ili zbog radova na putu. Vozilo je osigurano propisanim sadržajima upozorenja. Drugo od dva teška vozila koje se približava ulazi privremeno na zaustavni trak zbog vjetrova, nagiba ceste ili nepažnje. Kako je razmak između dva vozila vrlo kratak, drugom vozaču je ograničena pogled unaprijed. Stoga mu je zaustavljeno vozilo na zaustavnom traku prekasno vidljivo i teške nesreće se događaju u tim situacijama. U drugom slučaju (slika 3 - desni dio) jedan trak je privremeno zatvoren zbog radova na cesti. Sigurnosni uređaji za privremene radove na cesti instalirani su u skladu s lokalnim zakonima. Na primjer, njemačke smjernice (RSA) unaprijed će definirati uređaj upozorenja na desnom traku te uređaj upozorenja na zatvorenom traku. Obje prikolice upozorenja opremljene su jantarnim treperavim svjetlima i informacijskim znakom za traku. Teško vozilo s vozačem, koji ne primjećuje blokirani trak iz razloga umora ili nepažnje, približava se cestovnim radovima i zabija se u uređaj upozorenja. Dio kinetičke energije se smanjuje zbog deformacije radi udara uređaja upozorenja i kamiona.



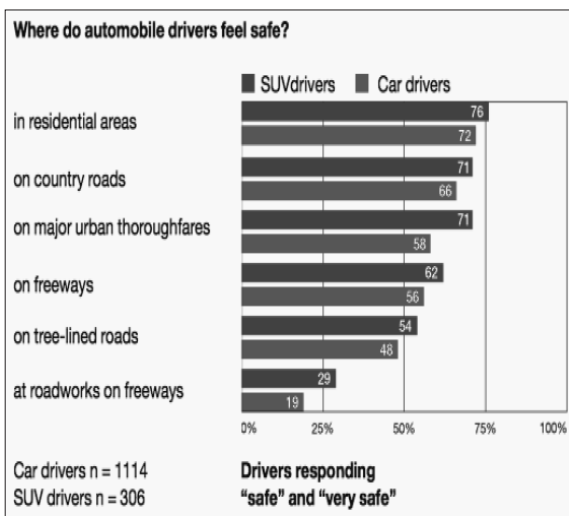
Slika 2. Glavni uzroci nezgoda koji uključuju osobne ozljede na autocestama i cestama 2010. godine  
Figure 2. Chief causes of accidents with injuries on motorways and roads in 2010

Preostala energija pokreće cijeli sustav do 20 m ovisno o masi, u smjeru cestovnih radnika.



Slika 3. Karakteristične vrste nesreća (Sachse i sur., 2002.)

Figure 3. Typical accidents

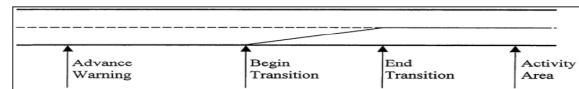


Slika 4. Prometna klima u Njemačkoj 2010.

Figure 4. Traffic in Germany in 2010.

Zatvoreni putovi kretanja i nepoznate ceste kao posljedica radova na cestama i autocestama uznemiruju mnoge vozače, što je pokazala studija provedena od UDV-a (Unfallforschung der Versicherer) pod nazivom Prometna klima u Njemačkoj 2010. (slika 4); (DEKRA, 2012.). Postoje dvije glavne strategije za zatvaranje cesta u radnim zonama: prijelaz i djelomično zatvaranje

trake (Pal, Sinha, 1996.). U strategiji prijelaza, sve trake u jednom smjeru su zatvorene i obavlja se dvosmjerni promet. Konstruirana je na način da su oba smjera prometa na jednoj strani autoceste. Druga strana je u potpunosti zatvorena za gradnju. U djelomičnom zatvaranju trake, jedna ili više traka u jednom smjeru (strana) autoceste je zatvorena. Ostatak traka su i dalje otvorene. Izbor strategije ovisi o situaciji i prirodi posla. Radne zone su podijeljene na različita područja: rano upozorenje, prijelaz i aktivnost (slika 5); (Bham, 1999.). Područje ranog upozorenja nalazi se prije zatvaranja bilo koje trake i to je područje gdje su vozači informirani o zatvaranju cesta i radnim aktivnostima. Područje prijelaza ili tranzicije je regija u kojoj se promet usmjerava s njegovog uobičajenog puta na novi put. Karakteristika ove regije je sužavanje. Područje aktivnosti je regija u kojoj se obavlja građevinska aktivnost i promet djeluje u ograničenom obliku. Ovo područje se često identificira kao aktivni radni prostor (FHWA, 1993.).



Slika 5. Područja zone rada

Figure 5. Work zone

Kapacitet radne zone je broj vozila koji može teći kroz dio radne zone u određenom razdoblju i trenutnoj prometnoj situaciji. Kapacitet je glavna odrednica veličine učinka radne zone na određenom dijelu ceste u određenom vremenu (Krammes, Gopez, 1994.). Ako kapacitet premašuje prevladavajući potražnju, kašnjenje je minimalno. Kada je potražnja veća od kapaciteta, formiranje redova i kašnjenje može biti značajno. Protočnost radne zone iznimno je važna za povećanje sigurnosti područja u kojem se nalazi radna zona. Kvalitetnim projektiranjem radne zone moguće je osigurati takvu protočnost koja će pružiti veću sigurnost radnicima na cesti kao i ostalim sudionicima u prometu. Radne zone su specifična područja na prometnicama prema kojima se zbog svih navedenih karakteristika (postotka prometnih nezgoda koje se događaju na njima i zbog njih, te općeg utjecaja na promet) treba odnositi s punom pozornošću i upotrijebiti sve moguće znanje do kojeg se može doći kako bi se navedeni negativni elementi radnih

zona sveli na što nižu razinu. Ovo znanje treba se uključiti posebno u fazi konstrukcije radne zone gdje se u obzir trebaju uzeti sve moguće dostupne informacije, jednako kao i iskustvene informacije koje mogu pomoći izgradnji kvalitetne i sigurne zone. Ekspertni sustavi su logičan nastavak stremljenja u tom smjeru.

## PRIMJENA EKSPERTNIH SUSTAVA U ZONAMA RADOVA NA CESTI

U nastavku je opisan prototip razvoja ekspertnog sustava zasnovan na znanju za odabir kontrolne strategije prikladnog prometa i tehnika upravljanja povezanim s radnim zonama na autocestama koji je detaljnije opisan u radu (*Faghri, Demetsky, 1990.*). Baza znanja ovog ekspertnog sustava proizlazi iz literature o postojećim tehnikama i pristupima za rješavanje prometa oko radnih zona ceste i autoceste te iz razgovora s odabranim stručnjacima zaduženim za planiranje i dizajn kontrolnih strategija prometa za radne zone. Razvojni proces uključuje korake u formuliranju problema i razvijanja ekspertnog sustava: identifikaciju, konceptualizaciju, provedbu i testiranje. Baza znanja ovog sustava sastoji se od 141 pravila. Stablo odlučivanja je razvijeno za pružanje pomoći u rješavanju pogrešnih preporuka od strane sustava. Ovaj model pokazuje veliki spektar mogućnosti kontrole i povezanih stanja varijabli koje međusobno povezane proizvode zahtjeve kontrole. Karakteristike problema usmjeravanja prometa kroz radne zone koje ih čine prikladnim za primjenu modela ekspertnog sustava zasnovanog na znanju uključuju:

- nisu svi postupci i tehnike koje se koriste za kontrolu prometa oko radnih zona jednostavni i dobro dokumentirani
- mnogi poslovi zahtijevaju donošenje sudova inženjera jer priručnici samo pružaju mogućnosti (dostupni uređaji), a konačnu odluku za plan aktivnosti mora donijeti inženjer
- dostupni su stručnjaci za razvoj baze znanja sustava
- mnogi poslovi zahtijevaju kognitivne sposobnosti

- ekspert u području je lokaliziran
- ekspertnim sustavom mogu se koristiti brojne osobe na mnogim mjestima.

Ciljevi ekspertnog sustava za kontrolu prometa u održavanju radnih zona su zaštita korisnika ceste i cestovnih radnika, kontrola kretanja maksimalnog volumena prometa (minimiziranje kašnjenja) i najbolje moguće učinkovitosti i ekonomičnosti u postupcima rada.

Ovi ciljevi odnose se na kombinacije kontrole gradnje i čimbenika kolnika kada se biraju odgovarajuće kontrole. Namjeravani korisnici ovog ekspertnog sustava su osoblje u agenciji za ceste, građevinskim tvrtkama, komunalnim agencijama, i ostali koji su uključeni u planiranje i projektiranje radnih zona. Razlog za korištenje ekspertnog sustava je uspostava uniformne, racionalne prakse za obavljanje prethodno navedenih ciljeva i pružanje stručnosti na mjestima gdje bi inače bila nedostupna. Razvoj ovog ekspertnog sustava uključuje sljedeće korake:

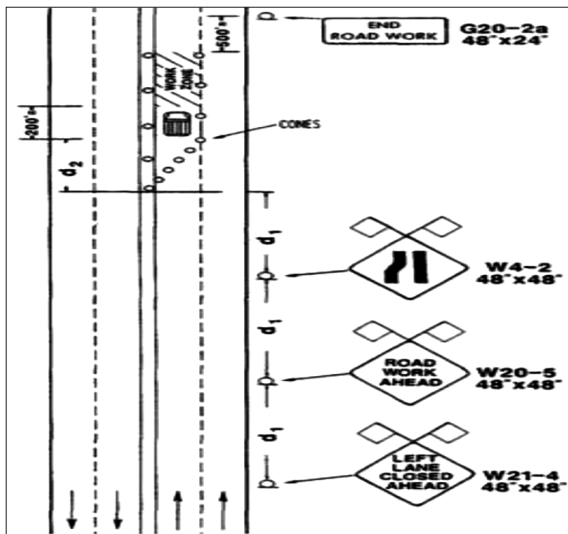
1. identifikacija problema
2. konceptualizacija
3. formalizacija
4. provedba
5. ispitivanje.

Prije stjecanja znanja za ekspertni sustav, potrebno je definirati važne dimenzije problema. To uključuje identificiranje sudionika, karakteristike problema, resurse i ciljeve (*Hayes-Roth i sur., 1983.*). Priroda projekta izgradnje, volumen prometa na cesti tijekom vršnih i ostalih sati, karakteristike ceste, očekivani iznos trajanja projekta su primjeri vrsta informacija koje sustav zahtijeva od korisnika. Sustav će također tražiti informacije od korisnika u pogledu vrste kolnika (ograničeni pristup, osnovni, neograničeni pristup, sekundarni) i položaja zatvorenog traka (unutarnje staze, centralna traka ili vanjska cesta). Nakon dobivanja dovoljno informacija od korisnika, sustav preporučuje set uređaja i druge specifične informacije, kao što su visina i razmak svakog uređaja. Ključni koncepti i odnosi utvrđeni tijekom faze identifikacije postali su eksplicitni tijekom faze konceptualizacije. Nakon što su prikupljene potrebne informacije za projekt, sustav preporučuje skup predloženih rješenja za-

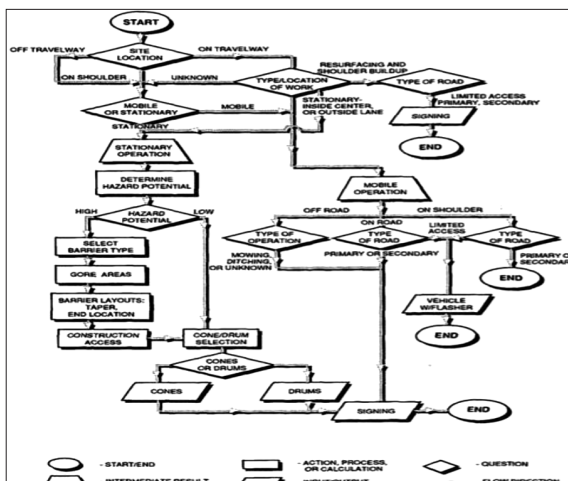


jedno s ocjenom relativnog potencijala korištenja i primjene svakog rješenja. Postupak rješenja problema sastoji se od sljedećih glavnih koraka:

1. prikupiti sve potrebne informacije za svaki projekt od korisnika
2. odgovoriti na relevantna pitanja koje korisnik traži
3. utvrditi međusobne odnose između varijabli
4. osigurati konačni popis uređaja i/ili strategije prikladne za svaki projekt radne zone.

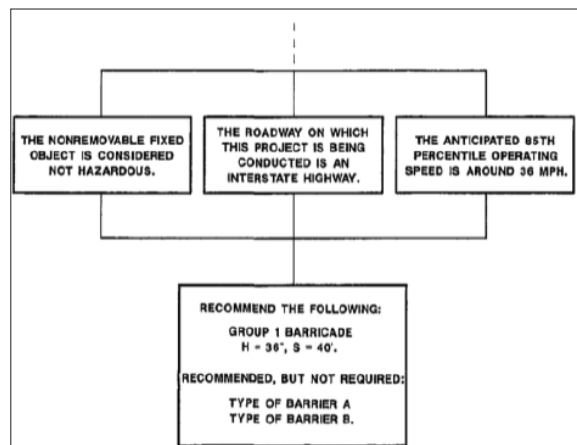


Slika 6. Tipičan proces operacije održavanja  
Figure 6. Typical maintenance operation process



Slika 7. Dijagram toka ekspertnog sustava  
Figure 7. Expert system flow chart

Formalizacija uključuje izražavanje ključnih pojmova i odnose povezanih s djelokrugom problema. Pravila koja ekspertni sustav koristi su IF-THEN-ELSE tipa. Slika 6. (Faghri, Demetsky, 1990.) ilustrira vrstu razgraničenja tipične operacije održavanja koji sustav nastoji utvrditi za određene uvjete, dok slika 7. (Faghri, Demetsky, 1990.) prikazuje dijagram toka za predloženi ekspertni sustav. Ekspertni sustav poziva moguća rješenja problema i prikazuje ih korisniku. Može postojati vrlo velik broj mogućih rješenja. Maksimalni broj je ograničen jedino dostupnom memorijom računala. Izbori u ekspertnom sustavu u radu (Faghri, Demetsky, 1990.) uključuju 61 različitu kontrolu prometa uređaja i strategije upravljanja radnim zonama na autocestama. Nakon navođenja izbora, kvalifikacija i vrijednosti, pravila mogu biti ugrađena u novoosnovane dokumente.



Slika 8. Primjer lanca zaključivanja u ekspertnom sustavu  
Figure 8. Example of decision making in an expert system

Na slici 8. prikazan je primjer lanca zaključivanja u ekspertnom sustavu temeljenom na bazi znanja kao i pravila koja predstavljaju (Faghri, Demetsky, 1990.). Faghri i Demetsky (1990.) navode kako je definirano 141 pravilo u bazi znanja ekspertnog sustava korištenjem niza složenih lanca zaključivanja koji uzimaju u obzir sve varijable i parametre koji su opisani u postupku formalizacije. Nakon ovoga pristupa se evaluaciji i testiranju sustava. Izgradnja ovog ekspertnog sustava pokazala je određene rezultate:

- Ekspertni sustavi nude veliki potencijal za pomoć inženjerima na cestama i autocestama u obavljanju niza zadataka učinkovitije nego s trenutnim alatima i inženjerskim pomagalima.
- Upravljanje prometom u radnim zonama je idealan prostor za aplikaciju ekspertnih sustava.
- Procjena sustava, provjera i vrednovanje su složena pitanja te ne postoje propisane načini za njihovo obavljanje, osim kroz opsežno testiranje na terenu.
- Tek nakon opsežnog testiranja na razne načine može se uspostaviti povjerenje u točnost sustava.
- Ekspertni sustavi će u budućnosti imati važnu ulogu kao pomoćni alat u sigurnosti radnih zona i drugih područja cestogradnje.
- Korisničko sučelje (unos podataka, pomoć, ekrani, obrazloženje, objekti, itd.) je područje koje treba više pozornosti u razvoju ekspertnih sustava.

Rezultati korištenja prototipa ekspertnog sustava iz rada Faghrija i Deemetskog (1990.) pokazali su početne nepravilnosti u radu, što je bilo i očekivano, a dovelo je i do nepreciznosti. No, daljnjim usavršavanjem i razvojem ekspertnih sustava u sklopu razvoja tehnologija umjetne inteligencije zasigurno će se ti nedostaci svesti na najmanju moguću mjeru. Gartner predviđa prvu komercijalnu upotrebu pojedinih alata umjetne inteligencije (npr. *Smart Advisors*, *Autonomous Vehicles*, *Natural Language Question Answering*) u razdoblju od 5 do 10 godina. Kako je već pojašnjeno, problematika konstrukcije radne zone je iznimno složena, što zaslužuje primjenu ekspertnog sustava, ali nije i jedini mogući problem koji je moguće riješiti primjenom ekspertnih sustava. U skladu sa svime do sada navedenim, najvažniji aspekti za koje se ekspertni sustavi mogu koristiti, a povezani su s poboljšanjem sigurnosti u radnim zonama su osobito:

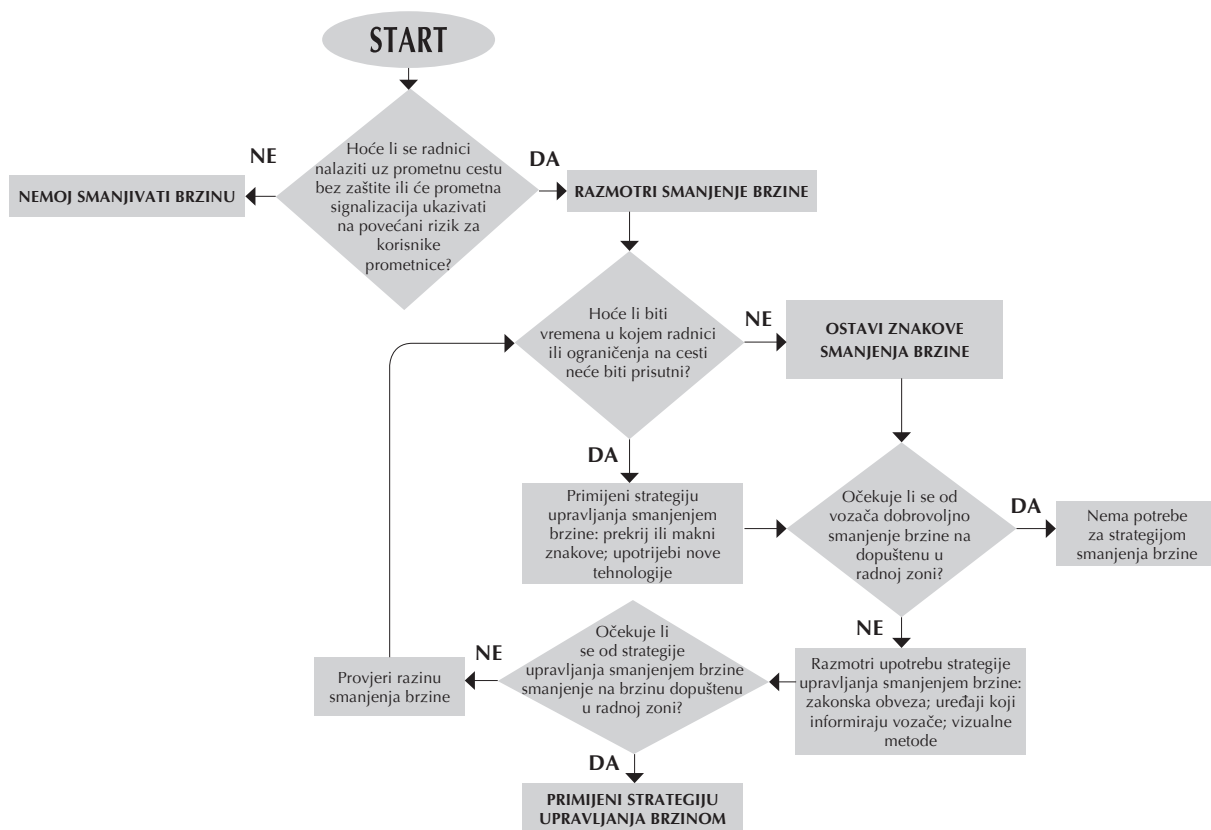
- u fazi planiranja potrebno je uzeti u obzir sve učinke radne zone, ne samo na lokaciju na kojoj se nalazi već i koridora, tran-

sportne mreže i područja u kojem se nalazi (npr. alternativne ceste ili alternativno prijevozno sredstvo, tranzitni promet, posebni događaji i sl.),

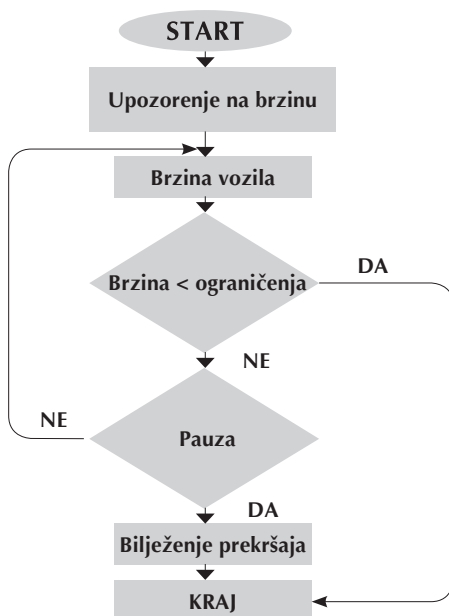
- proširenje aktivnosti povezanih s upravljanjem radnom zonom osim onih u vezi sa sigurnosti prometa i kontrolom, na druge aspekte, npr. na probleme mobilnosti i prikladne podatke,
- traženje i implementacija inovativnih rješenja u fazi planiranja i projektiranja radnih zona.

### Primjer unapređenja ekspertnog sustava

Prikupljanje i omogućavanje javnog pristupa podacima o korištenim rješenjima i njihovoj učinkovitosti u odnosu na sigurnost prometa u radnim zonama na određenim institucijama je veoma važno. Današnji tehnološki iskorak prema IoT (Internet of Things), odnosno internetu stvari, stvara pretpostavke da bi u nekom budućem vremenu bilo moguće putem ekspertnog sustava na određeni način i upravljati i vozilima koja se nalaze u blizini radne zone. U skladu s time može se na postojeći sustav definirati novi dodatni set ulaznih varijabli, odnosno pravila. Kao ulazne varijable mogli bi biti podaci sa senzorskih uređaja na postavljenoj signalizaciji u radnoj zoni koja bi onda nakon obrade u nekom sustavu mogla pružiti informacije sudionicima prometa o kakvoj se vrsti radne zone radi, pa bi se te informacije mogle putem baznih stanica mobitela, ili putem GPS sustava, ili putem uređaja u vozilima, slati sudionicima u promet. Osim tih varijabli, mogu se prikupljati meteorološki podaci, analizirati sezonski podaci o prometu koji mogu dodatno utjecati na odluke, itd. Te ulazne varijable mogu sudionicima u promet pomoći odrediti najbolji put, odnosno preporučiti rutu, prezentirati uvjete na cesti, a moguće je i koncipiranje takvih uređaja koji bi se nalazili u automobilima, a koji bi reagirali na informacije koje dobivaju od senzorskih uređaja s radne zone, na način da signaliziraju prilazak radnoj zoni, predlažu smanjenje brzine ili čak usklađuju brzinu na osnovi podataka koji im stižu iz senzorskih uređaja.



Slika 9. Stablo odlučivanja za upravljanje brzinom  
 Figure 9. Decision making in speed management



Slika 10. Dijagram upravljanja vozila u radnim zonama prekoračenjem brzine  
 Figure 10. Driving in work zones over the speed limit

Na taj način dobilo bi se relativno upravljano vozilo, jer bi vozač uvijek imao pravo odbiti ili umanjiti tu funkciju. No, smanjenje prilazne brzine vožnje na preporučenu zasigurno bi znatno utjecalo na manji broj nezgoda u vezi s radnom zonom. Na slici 9 prikazana je komponenta ekspertnog sustava, odnosno stablo odlučivanja za upravljanje brzinom u radnim zonama. Do ove komponente sustava moguće je doći npr. provjerom u kojem se statusu nalazi vozilo u odnosu na radnu zonu. Ako bi se vozilo nalazilo na mjestu (pozicija se prati uz pomoć GPS-a ili drugih uređaja za lociranje, senzora na cesti i sl.) koje je na udaljenosti od radne zone u kojoj je potrebno primijeniti strategiju upravljanja smanjenjem brzine, tada će se primijeniti stablo odlučivanja kao na slici 9. Nalazi li se vozilo na poziciji gdje je moguće primijeniti dijagram toka, za alternativnu rutu primijenit će se ta komponenta sustava. U skladu s time, kao i do sada navedenim moguće je u pojedinim dijelovima sustava upotrijebiti i nove tehnologije, npr. kod odluke o primjeni strategije upravljanja smanjenjem brzine kao što je vidljivo na slici 9. Ova strategija može se također doraditi kako je prikazano na slici 10., gdje se vidi dijagram toka upravljanja prekoračenjem brzine. Ugradnjom npr. mobilnih kamera na cestama prilaza radnim zonama moguće je osim brzine zabilježiti i fotografiju prometnog prekršaja u sustavu te u ekspertnom sustavu napraviti spis prometnog prekršaja koji će se dostaviti s jedne strane počinitelju, a s druge strane policiji ili drugim odgovornim osobama. Istovremeno se može na displeju putnog računala u vozilu počinitelja prometnog prekršaja pojaviti obavijest o počinjenom prekršaju kao i upute za daljnje postupanje. Mogućnosti koje se pojavljuju primjenom suvremenih tehnologija i povezanih senzorskih uređaja posljedično će povećavati sigurnost u prometu, a time i smanjivati prometne nezgode koje se događaju na mjestima gdje se nalaze zone radova na cesti. Ovaj dijagram se u slučaju vozila koja imaju mogućnost upravljanja može doraditi na način da senzorski uređaj koji bilježi brzinu vozila šalje signal na uređaj u vozilu počinitelja koje ga istovremeno obavještava o prevelikoj brzini, ali i predlaže odnosno automatski prilagođava brzinu uvjetima na cesti što se sve može događati u trenutku pauze kako ne bi došlo do bilježenja prometnog prekršaja.

## ZAKLJUČAK

Popunjavanjem baze znanja ekspertnog sustava s eventualnim drugim podacima koji se mogu prikupiti - kao što su meteorološki podaci, podaci iz sustava satelitske navigacije, podaci iz mjeraca prometa, kao i drugi dostupni podaci - mogla bi se popunjavati baza znanja ekspertnog sustava te u slučaju potrebe za radnom zonom, ekspertni sustav bi mogao ponuditi nekoliko alternativnih pravaca, a koje je onda moguće prenijeti putem uređaja za satelitsku navigaciju, radiouređaja, mobilnih uređaja i sl., dostaviti korisnicima. Zbog generalnog povećanja intenziteta prometa, kao posljedica razvoja, bolje kupovne moći i dostupnosti vozila, problem konstrukcije, održavanja i upravljanja radnim zonama na cestama je osobito važan jer intenzitet porasta prometa uzrokuje degradaciju cesta i nužnost većeg broja i češćih radova održavanja. Stoga se može zaključiti kako su ekspertni sustavi zasigurno jedan od moćnih potencijalnih alata koji će imati važnu ulogu u smanjenju prometnih nezgoda u zonama rada, a time i u spašavanju ljudskih života, što onda opravdava investicije u razvoj ekspertnih sustava. Upravo je sigurnost radnih zona i jedan od ciljeva za Europsku uniju kroz program Road Safety Action Programme 2011/2020.

## LITERATURA

*ARROWS - Advanced Research on Road Work Zone Safety Standards in Europe Department of Transportation Planning and Engineering.* DTPE, National Technical University of Athens NTUA, Athens, 1998.

*DEKRA, AXA Winterthur, Caution, roadworks ahead! When lanes get narrow, you need to take extra care.* Day for Media and Guests, Crash site in Wildhaus, Switzerland, 2012.

Faghri, A. & Demetsky, M.J.: Expert system for traffic control in work zones, *Journal of Transportation Engineering*, vol. 116, 1990., str. 759–69.

*FHWA - Part VI, Standards and Guides for Traffic Controls for Streets and Highway Construction, Maintenance, Utility and Incident Management Operations.* Manual on Uniform Traffic Control Devices, 1988 edition, Revision 3., U.S. Department of Transportation, 1993.

Fiegenbaum, E.A.: *Expert Systems In The 1980s*, Stanford University, CA, 1980.

*FORMAT – Fully Optimised Road Maintenance*, Final technical report, 2005.

Forsyth, R.: The architecture of expert systems. In: R. Forsyth (Ed.), *Expert systems: Principles and case studies*, Chapman&Hall, London, 1984., str. 9-17.

Freeman, M., Mitchell, J. & Coe, G.A.: *Safety performance of traffic management at major motorway road works*. TRL report 595. 2004/03., 2004.

Gent, A.L. van: *Verkeersonveiligheid bij werk in uitvoering; Een literatuurstudie*. R-2007-5. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersonveiligheid SWOV, Leidschendam, 2007.

Hayes-Roth, F., Waterman, D.A. & Lenat, D.B.: *Building Expert Systems*, Addison-Wesley, 1983.

Janssen, S.T.M.C. & Weijermars, W.A.M.: *Verkeersonveiligheid bij werk in uitvoering, een ongevalstudie*. R-2008-14. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersonveiligheid SWOV, Leidschendam, 2009.

Jażdżik-Osmólska, A. z zesp.: *Metodologia i wycena kosztów wypadków drogowych na sieci dróg w Polsce na koniec roku 2011*. IBDiM, Warszawa, 2012.

Khattak, A.J. & Council, F.M.: Effects of work zone presence on injury and non-injury crashes. *Accident analysis & prevention*, 34, 2002/01., 1, str. 19-29.

Krammes, R. & Gopez O.L.: *Updated Capacity Values for Short term Freeway Work Zone Lane Closures*, Transportation Research Record 1442, Washington, D.C., 1994., str. 49 - 56.

Mahoney, K.M., Porter, R.J., Taylor, D.R., Kulakowski, B.T., Ullman, G.L.: *Design of Construction Work Zones on High Speed Highways*. NCHRP Report 581, Transportation Research Board, 2007.

Migletz, J., Graham, J.L., Anderson, I.B., Harwood, D.W., Bauer, K.M.: *Work Zone Speed Limit Procedure*. Transportation Research Record No 1657, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., 1999., str. 24-30.

*MUTCD - Manual on Uniform Traffic Control Devices for Street and Highways*. Edition (including Revision 1 dated May 2012 and Revision 2 dated May 2012). U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, 2009.

Novčić, I., Lisicin, G.D., Brozović, D.: Označavanje radova na cestama Europe -potencijal rizika s posebnim osvrtom na EuroTest istraživanja „Zone radova na cesti“, *Zbornik radova - Četvrto hrvatsko savjetovanje o održavanju cesta*, Šibenik, 2009., str. 87-94.

Pal, R. & Sinha, K.C.: *Evaluation of Crossover and Partial Lane Closure Strategies for Interstate Work Zones in Indiana*, Transportation Research Record 1529, Washington D.C., 1996., str. 10 - 18.

*PREVENT Final Handbook, Towards Improved Safety for Workers and Drivers in Roadwork Zone*, 1998.

*Roadworkers' Safety Research – Phase Two*, Highway Agency Report HA79/06., 2006.

*Road Workzone Safety Practical Handbook*, Annex I to Final Report for Publication. ARROWS – Advanced Research on Road Work Safety Standards in Europe, National Technical University of Athens, 1998.

*Road Worker Safety Strategy – Aiming for Zero*, Highways Agency Publications Group, UK, 2010.

Sachse, T. i sur.: *The Personnel Warning System - Improving The Safety of Road Workers*, Association for European Transport, 2002.

*Safety on Motorway workzones*, European Union Road Federation. Discussion Paper, September 2007.

Schuurman, H.: Knelpunten op autosnelwegen: Het verkeersproces bij werk in uitvoering. In: *Verkeerskundige Werkdagen 29-30 mei 1991*. CROW-publicatie 56-II, p. 557-568. Stichting Centrum voor Regelgeving en Onderzoek in de Grond-, Water- en Wegenbouw en de Verkeerstechniek C.R.O.W., Ede., 1991.

Szafranko, E.: Bezpieczeństwo robót drogowych – cz.II. *Magazyn Autostrady*, 2011., 12, str. 84-8.

Swuste, P. & Heijer, T.: *Project onderzoek (on) veiligheid wegwerkers; Rapportage van het onderzoek*. Stichting Arbouw, Amsterdam, 1999.

Šimunović, Lj., Bošnjak, I., Mandžuka, S.: Prijmjena inteligentnih transportnih sustava u zonama radova na cesti, *Zbornik radova - Četvrto hrvatsko savjetovanje o održavanju cesta*, Šibenik, 2009., str. 177-81.

Ullman, G.L., Krammers, R.A.: *Analysis of Accidents AT Long-Term Construction Projects In Texas*, Report No. FHWATX-90/1108-2, Texas Transportation Institute, College Station, 1991., Texas.

Ullman, G.L., Finley, M.D. & Ullman, B.R.: *Analysis of crashes at active night work zones in Texas*. Proceedings of Transportation Research Board Annual Meeting 2006 Paper #06-2384, Washington, DC, 2006.

Venema, A. i sur.: *The road traffic crash risks of road construction workers*, Zwammerdam: Van den Berg Infrastructuuren, 2008.

Weijermars, W.A.M.: *Analysis of Traffic Safety At Roadworks*, Association for European Transport and contributors, 2008.

### **EXPERT APPROACH TO SAFETY IMPROVEMENT IN ROAD WORK ZONES**

*SUMMARY: An ever-increasing volume of traffic on Croatian roads increases the volume of maintenance work. Road works negatively impact traffic mobility and road user safety, and also safety of the maintenance workers. Improving traffic mobility and safety is the key issue that all interested parties (planning and managing road works and those executing them) should address. Mitigation of negative effects is possible via certain expert system measures.*

*Presented in the paper are the options provided by expert systems implemented in the road work zones as factors for improving road maintenance and safe traffic flow, as well as road workers safety. Introducing relevant data into the data base, an expert system is created providing the driver approaching a road work zone with a number of alternative routes. Also shown is a driving diagram for road work zones with special focus on slowing down speed upon entering the road work zone.*

*The results show that the implementation of expert systems based on relevant data would significantly facilitate traffic management in road work zones and improve the safety of traffic and road workers, as well as the workers' efficacy.*

**Key words:** *expert systems, road work zones, road maintenance, traffic safety*

*Subject review*

*Received: 2018-03-28*

*Accepted: 2018-06-15*