

SIGURNOST ŽELJEZNIČKIH SIGNALNO-SIGURNOSNIH UREĐAJA

Sustavno upravljanje procesom RAMS-a i pravilno postupanje s kvarovima uvjet je za ostvarenje visoke razine sigurnosti kod signalno-sigurnosnih uređaja kao dijela željezničkog prometno-upravljačkog i signalno-sigurnosnog podsustava. Ispunjenje ovog uvjeta nalazi se u sadržaju sigurnosnog predmeta s kojim se dokazuju projektirana sigurnosna svojstva i učinkovitost primijenjenoga RAMS sustava.



Želimir Delač
dipl. ing. el.

Agencija za sigurnost
željezničkog prometa
zelimir.delac@asz.hr

UDK: 625.1+681.5

1. Uvod

Sigurnost prometno-upravljačkog i signalno-sigurnosnog podsustava (u nastavku: PU-SS podsustav) ima središnje mjesto u cjelokupnoj sigurnosti željezničkoga sustava. Prema podacima iz godišnjeg izvještaja Agencije za sigurnost željezničkog prometa za 2021. godinu, najveći broj ozbiljnih nesreća sa smrtnim posljedicama dogodio se na željezničko-cestovnim prijelazima (u nastavku: ŽCP) kao mjestima s najvećim rizikom u željezničkome sustavu.

U 2021. dogodilo se šest ozbiljnih nesreća i 29 nesreća, pri čemu je smrtno stradalo šestero osoba, a teško ozlijeđeno sedmero osoba, dok su se u 2020. dogodile četiri ozbiljne nesreće i 26 nesreća, pri čemu su smrtno stradale četiri osobe, a teško je ozlijeđeno šestero osoba. Prema podacima upravitelja infrastrukture (HŽ Infrastruktura d.o.o.), u periodu od 2017. do 2022. uzroci nesreća na ŽCP-ovima svode se na nesmotrenost korisnika ŽCP-ova (180 događaja), osobni propust radnika (jedan događaj) te na tehnički nedostatak uređaja ili dijela PU-SS podsustava (jedan događaj).

Iz svega navedenoga jasno je da se najveći broj nesreća dogodio zbog nesmo-

trenosti i nepažnje sudionika u prometu, odnosno korisnika ŽCP-ova. U tom je kontekstu potrebno istaknuti i to da se najveći broj nesreća dogodio na neautomatiziranim ŽCP-ovima koji su bili propisano osigurani samo prometnim znakom i Andrijinim križem.

Prema Izvješću o sigurnosti za 2021. godinu upravitelja infrastrukture (HŽ Infrastruktura d.o.o.), na mreži pruga u Republici Hrvatskoj ugrađena su 592 aktivna ŽCP-a i 906 pasivnih ŽCP-ova, što ukupno čini 1498 ŽCP-ova. Od toga broja tek 308 ŽCP-ova je u cijelosti automatizirano (s automatskom zaštitom korisnika).

Unapređenje sigurnosti PU-SS podsustava treba imati ključno mjesto u strategiji poboljšanja sustava upravljanja sigurnosti kod upravitelja infrastrukture. U cilju kvalitetne operacionalizacije takve strategije središnje mjesto trebaju zauzeti projekti ugradnje novih signalno-sigurnosnih uređaja (u nastavku: SS-uređaja), posebno oni koji se odnose na automatizirane ŽCP-ove visokoga stupnja sigurnosne integracije i visokoga stupnja pouzdanosti. U tome cilju projekti trebaju biti kvalitetno pripremljeni tako da u tehničke specifikacije budu uključeni svi zahtjevi potrebni za sigurnost i interoperabilnost kao i zahtjevi za upravljanje rizicima, posebno oni koji se odnose na pouzdanost, raspoloživost, mogućnost održavanja i sigurnost (u nastavku: RAMS).

2. Zakonodavni okvir – puštanje PU-SS podsustava u uporabu

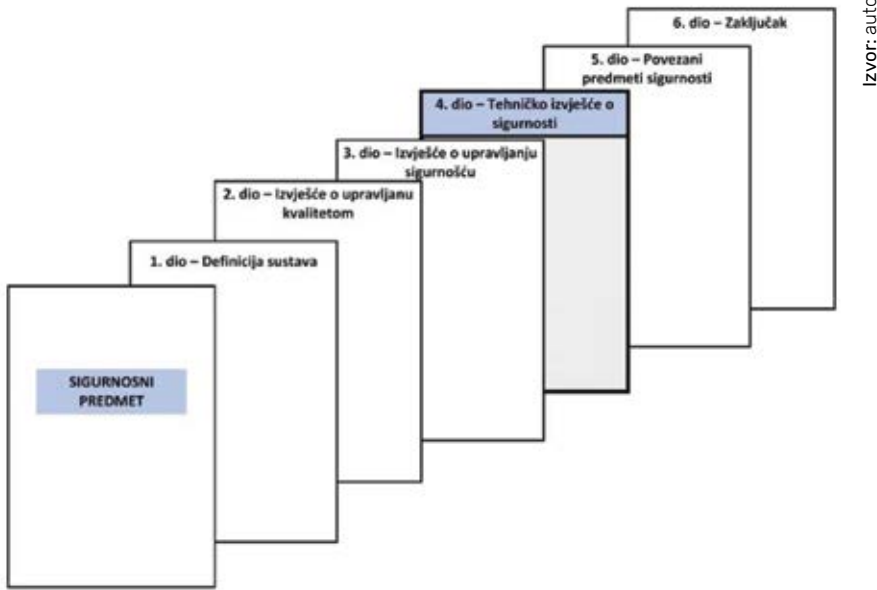
Prema članku 56. Zakona o sigurnosti i interoperabilnosti željezničkog sustava (Narodne novine br. 63/2020; u na-

stavku Zakon), upravitelj infrastrukture u sklopu sustava upravljanja sigurnošću uspostavlja pravila o puštanju u uporabu infrastrukturnih podsustava u skladu s odgovornošću i postupcima za nadzor rizika te u skladu sa zajedničkim sigurnosnim metodama za vrednovanje i procjenu rizika i za ocjenjivanje sukladnosti sa zahtjevima iz uvjerenja o sigurnosti.

Upravitelj infrastrukture mora za svaki infrastrukturni podsustav koji se nalazi ili se koristi na teritoriju Republike Hrvatske prije puštanja u uporabu imati odobrenje za puštanje u uporabu koje izdaje Agencija za sigurnost željezničkog prometa (u nastavku: Agencija), hrvatsko nacionalno tijelo (engl. *NSA-National Safety Authority*) nadležno za sigurnost u smislu zakonodavstva Europske unije o sigurnosti i interoperabilnosti željezničkog sustava Europske unije.

Upravitelj infrastrukture, kada je u ulozi podnositelja zahtjeva za odobrenje za puštanje u uporabu infrastrukturnih podsustava, pa tako i za PU-SS podsustav ili njegove sastavne dijelove, uz zahtjev, među ostalim, prilaže dokaze o sigurnosti i sigurnoj integraciji podsustava, utvrđenoj na temelju odgovarajućih TSI-ova, nacionalnih pravila te zajedničkih sigurnosnih metoda.

Prema nacionalnome Pravilniku o tehničkim uvjetima za prometno-upravljački i signalno-sigurnosni željeznički infrastrukturni podsustav (Narodne novine br. 97/2015), razina elektroničkih SS-uređaja (SIL) dokazuje se izvješćem o sigurnosti koje izrađuje inspekcijsko tijelo akreditirano prema normi HRN EN ISO/IEC 17020. U postupku dokazivanja razine sigurnosti primjenjuju se mjere i postup-



Slika 1. Sadržaj sigurnosnoga predmeta prema HRN EN 50129 [5]

Izvor: autor

ci te uvjeti utvrđeni u normama HRN EN 50126, HRN EN 50128 i HRN EN 50129.

Prije nego se sa sigurnošću povezan elektronički željeznički sustav, podsustav ili oprema prihvate kao sigurni u odnosu na planiranu namjenu (u skladu s HRN EN 50129:2018 [5]), potrebno je pružiti dokumentirane dokaze o ostvarenju zahtjeva koji se moraju priložiti u sigurnosnome predmetu, a to su (vidi sliku 1.):

- dokazi o upravljanju procesima kvalitete
- dokazi o upravljanju procesima sigurnosti
- dokazi o funkcionalnoj i tehničkoj sigurnosti.

Dokazi o funkcionalnoj i tehničkoj sigurnosti moraju biti dokumentirani u Tehničkom izvješću o sigurnosti (engl. *Technical Safety Report*), koje u strukturi sigurnosnoga predmeta predstavlja 4. dio (poglavlje 7.2 HRN EN 50129:2018 [5]) (vidi sliku 2.).

U upravljanje procesima sigurnosti (poglavlje 5.3; 5.3.4.2 HRN EN 50129, *Independence of roles*, [5]) mora biti uključen neovisan sigurnosni ocjenitelj (engl. *Independent Safety Assessor - ISA*), koji može biti dio bilo koje organizacije dionika (npr. dobavljača, upravitelja infrastrukture, željezničkih prijevoznika) uz

uvjet da su ispunjeni uvjeti navedeni u točki 5.3.15 [5]. Dokumentacija sigurnosnoga predmeta, koja je sadržajno prikazana na slikama 1. i 2., mora biti dostupna neovisnome ocjenitelju.

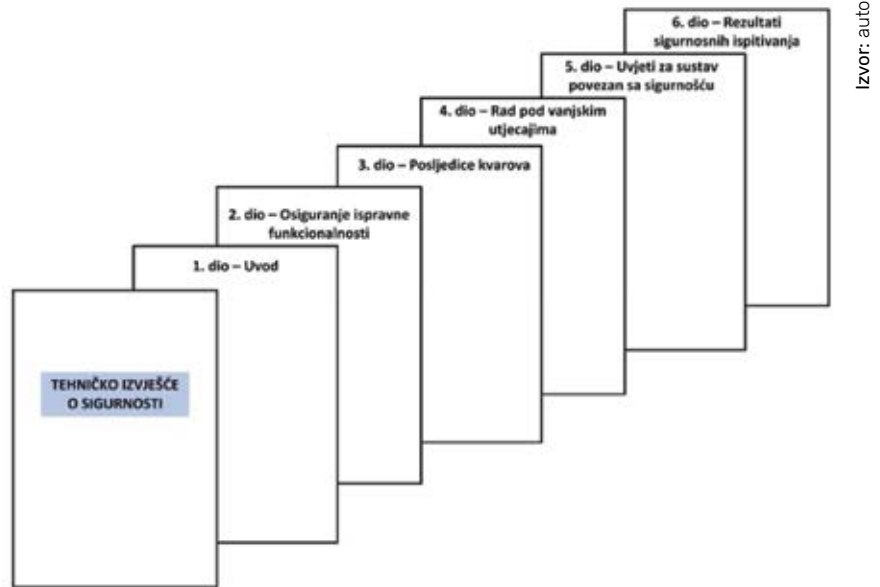
Neovisna procjena sigurnosti (engl. *safety assessment*) treba odgovoriti na pitanja jesu li ispunjeni zahtjevi za sigurnost priloženi u sigurnosnome predmetu, je li sigurnosni proces primjereno prove-

den i je li sustav koji se razmatra prikladan, sa stajališta sigurnosti, za namjeravanu svrhu.

Rezultati neovisnoga sigurnosnog ocjenitelja moraju biti prikazani u izvješću (*ISA report*). U tome izvješću potrebno je pojasniti aktivnosti koje je proveo neovisni sigurnosni ocjenitelj kako bi utvrdio je li sustav koji je ispitivan projektiran tako da ispunjava zahtjeve specificirane za sustav.

U strukturi norme HRN EN 50129:2018 (koja je obvezujuća za primjenu na temelju nacionalnoga pravilnika za PU-SS [6]), iskazani su zahtjevi za sustav povezan sa sigurnošću elektroničkih SS-uređaja. Sigurnost toga sustava mora se održavati uz pomoć učinkovitoga procesa upravljanja sigurnošću (engl. *safety management system - SMS*) i u skladu s procesom upravljanja za RAMS opisan u EN 50126-1[2] i EN 50126-2[3].

U nastavku objašnjene su osnove željezničke sigurnosti povezane s RAMS-om, a to su strategije smanjenja rizika, postupanje i upravljanje s kvarovima, stanja sigurnosti i opasnosti te osnovni izračuni vezani uz pouzdanost, sigurnost i stohastičke kvarove elektroničkih SS-uređaja, tj. ostale elemente koji se moraju razmotriti u odgovarajućim izvješćima neovisnih tijela (ISA) koja se nalaze u procesima odobravanja za puštanje u uporabu željezničkih podsustava.



Slika 2. Sadržaj Tehničkog izvješća o sigurnosti prema HRN EN 50129 [5]

Izvor: autor

3. RAMS – pouzdanost, raspoloživost, mogućnost održavanja i sigurnost

Sigurnost (engl. *safety*) jest nepostojanje neprihvatljivog rizika (engl. *freedom from unacceptable risk*) (IEC 60050-821: FDIS2016,821-12-50). Sigurnost je pojam koji je neposredno povezan s rizikom, odnosno kombinacija vjerojatnosti pojave nesreće i njezine ozbiljnosti (*combination of the probability of occurrence of accident and the severity of that accident*) (IEC 60050-351:2013, 351-57-03).

U cilju održavanja sigurnosti potrebno je uspostaviti odgovarajuće uvjete (unutar granica životnoga ciklusa) za sigurnost sustava (podsustava i/ili njihovih sastavnih dijelova) i za njegovo održavanje unutar granica dopuštenoga rizika, tj. unutar granica koja su propisane u sigurnosnim ciljevima. U tome smislu i parametri sigurnosti, pouzdanost, raspoloživost i mogućnost održavanja, moraju biti unutar granica zadanih vrijednosti.

Norma HRN EN 50126-1:2017 opisuje specifikacije i daje prikaz pouzdanosti, raspoloživosti, mogućnosti održavanja i sigurnosti (RAMS) u željezničkome sustavu – Generički postupak RAMS-a u Europskoj uniji. Cilj te norme jest uvođenje postupka upravljanja RAMS-om u željezničkome sustavu koji će dosljedno primjenjivati subjekti odgovorni za sigurnost, odnosno željeznički prijevoznici, upravitelji infrastrukture i njihovi dobavljači – industrija. Takav sustav upravljanja potrebno je primjenjivati tijekom cijeloga životnoga ciklusa sustava (slika 3.).

Sustavni i harmonizirani pristup RAMS-a omogućuje da se izbjegn timer nacionalna ograničenja, uspostavi usklađenost tehničke razine željezničke sigurnosti i jača interoperabilnost željezničkoga sustava unutar Europske unije.

Sustav RAMS primjenjiv je za široko područje željezničkoga sustava odnosno za strukturne podsustave: prometno-upravljački i signalno-sigurnosni (uz prugu i na vozilima), elektroenergetski podsustav i podsustav vozila.

4. Sigurnost (*safety*) – zaštita (*security*)

Potrebno je razjasniti razlike između nazivlja „željeznička sigurnost“ (engl. *safety*) i „zaštita“ (engl. *security*) kako ne bi dolazilo do zabune u razumijevanju ovoga teksta. Budući da se RAMS odnosi samo na pojam sigurnosti, pitanja zaštite ne razmatraju se u nastavku teksta.

Sigurnost podrazumijeva funkcionalnu sigurnost sustava i zaštitu od opasnih posljedica uzrokovanih tehničkim kvarom i/ili nenamjernim ljudskim pogreškama (uglavnom zbog nekvalitetnih procesa i neodgovarajućih kompetencija). Zaštita, nasuprot tome, štiti od opasnih posljedica uzrokovanih namjernim i nerazumnim ljudskim postupcima.

Jednostavan primjer za primjenu sigurnosnoga sustava mogu biti vrata u vlaku i tehnički sustav za izlaz u nuždi. Kako bi se omogućilo da se u slučaju nužde vrata mogu otvoriti iznutra, postoji tehnički sigurnosni sustav za otvaranje s jednostavnim ručkom. Ali, ako bismo se željeli osigurati od nasilnoga ulaska u vlak, vrata moraju biti zaključana i zaštićena izvana. U tome slučaju to je pitanje zaštite. Većina sklopova i komponenti PU-SS podsustava kao što su detekcija slobodnoga prolaza (engl. *track clear detection*), upravljanje sustavom zaključavanja skretnica i signalizacijom (engl. *interlocking*), prebacivanje skretnica, signali i željezničko-cestovni prijelazi (engl. *level crossings*), odnosno svi današnji SS-uređaji, povezani su sa sigurnošću (engl. *safety – related systems*).

Prema normi HRN EN 50126-1:2017, pojam zaštite (engl. *security*) tumači se kao otpornost željezničkoga sustava na vandalizam, zlonamjerno i štetno ponašanje ljudi.

5. Životni ciklus kao osnova za upravljanje željezničkim RAMS-om

Pristup temeljen na životnome ciklusu RAMS-a osigurava **strukturu za planiranje, upravljanje, kontroliranje i nadzira-**

nje svih aspekata RAMS-a. Model životnoga ciklusa, referentni model RAMS-a prema HRN EN 50126-1:2017, prikazan je na slici 3.

Osnova postupaka RAMS-a jest smanjivanje pojave kvarova i/ili njihovih posljedica tijekom životnoga ciklusa, a time i smanjivanje preostalih rizika (engl. *residual risks*) na najmanju moguću mjeru.

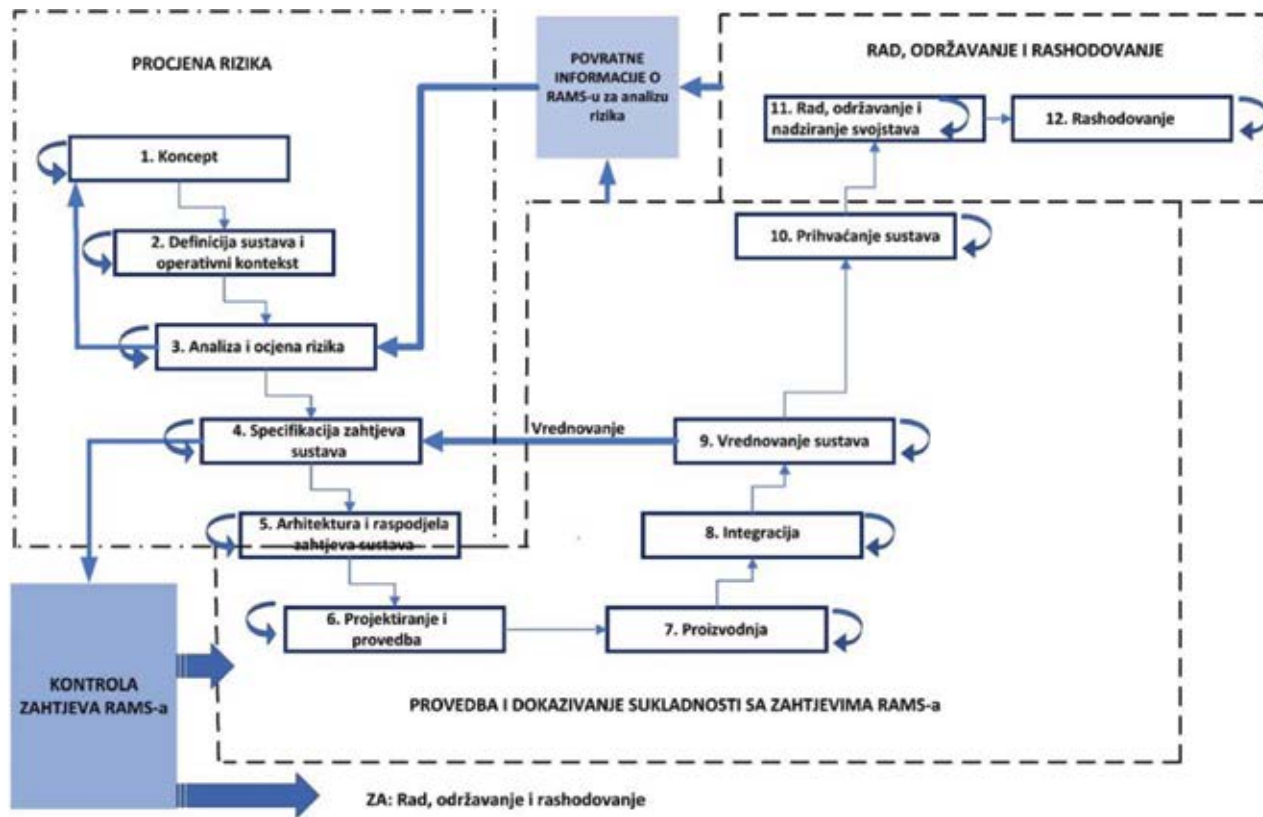
Opći postupak RAMS-a sastoji se od triju glavnih blokova:

- procjena rizika – prema definiciji sustava, uključujući specifikaciju zahtjeva RAMS-a za sustav
- provedba i dokazivanje sukladnosti sa zahtjevima RAMS-a
- rad, održavanje i rashodovanje (izgradnja predmeta RAMS iz sustava).

Pored glavnoga tijeka među fazama životnoga ciklusa proces uključuje:

- povratnu vezu (engl. *feedback loop*): povratne informacije RAMS-a iz pojedinih faza u analizu rizika, koja omogućuje nova ili dodatna saznanja o riziku do kojih se došlo tijekom bilo koje faze projekta i zbog kojih je potrebna ponovna ocjena rizika
- povratne veze iz svake faze – fazne kontrole zahtjeva RAMS-a, kojima se osiguravaju ponovne procjene koje omogućuju preskakanje nekih faza redovitoga tijeka procesa ako ponovno razmotreni zahtjevi RAMS-a ne utječu na te faze ili u najgoremu slučaju, ponovna procjena koja zahtijeva ponovno definiranje područja projekta ako zahtjeve nikako nije moguće ispuniti. [2]

U normi HRN EN 50126-1:2017 (u njezinim poglavljima 6. i 7.) detaljno su opisani zahtjevi za upravljanje željezničkim RAMS-om i detalji zahtjeva povezani s fazama životnoga ciklusa. Posebni zahtjevi za sigurnosne radnje vezane uz RAMS navedeni su u normi HRN EN 50126-2:2017.



Izvor: autor

Slika 3. Međusobna povezanost postupaka upravljanja RAMS-om i životnoga ciklusa sustava [2]

6. Pouzdanost, raspoloživost i mogućnost održavanja – RAM

Međuviznost dijelova RAM-a, odnosno pouzdanosti, raspoloživosti i mogućnosti održavanja, prikazana je na slici 4.

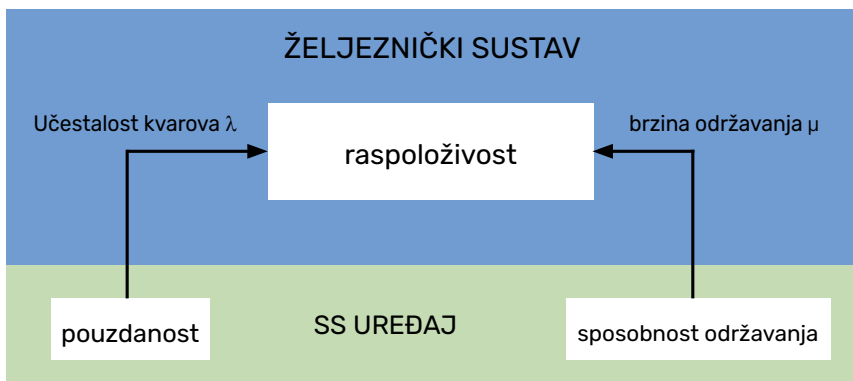
Raspoloživost jest sposobnost nekog elementa (sustava/podsustava ili njegova sastavnog dijela) da je u stanju obavljati traženu funkciju u zadanim uvjetima u danome trenutku ili tijekom zadano-

ga razdoblja pod pretpostavkom da su osigurani vanjski resursi (prema HRN EN 50126-1:2017 (3.6) [IEC 60050-821: FDIS2016, 821-05-82].

Temeljne funkcije željezničkoga sustava su usluge: siguran prijevoz roba (tereta) i putnika. Kao preduvjeti za ispunjavanje tih funkcija potrebni su vanjski resursi koji su povezani sa sigurnošću. U slučaju željezničkoga PU-SS podsustava na pruži, to su pouzdani i funkcionalni dijelovi podsustava kao što su ŽCP-ovi, uprav-

ljanje skretnicama i signalizacijom (engl. *interlocking*), detekcija slobodnoga prolaza, izbjegavanje križanja vlakova u jednome bloku i pouzdan rad željezničkoga osoblja pri obavljanju poslova koji su im propisani. Raspoloživost željezničkoga sustava izravno ovisi o pouzdanosti spomenutih dijelova.

Pouzdanost jest sposobnost davanja rezultata (ispunjavanje „potrebnih funkcija“) koji se zahtijevaju, bez kvara, tijekom zadanoga intervala, pod zadanim uvjetima (prema HRN EN 50126-1:2017 (3.52) [IEC 60050-192:2015, 192-01-24].



Izvor: autor

Slika 4. RAM: pouzdanost – raspoloživost – mogućnost održavanja

Izraz „potrebna funkcija“ znači da sustav/podsustav ili njegov sastavni dio radi u skladu sa svojim specifikacijama pod uvjetom da su iste uspostavljene prilikom puštanja u uporabu i da od tada nije bilo potrebno održavanje i da rad teče bez pogreške tijekom određenoga razdoblja.

Pored pouzdanosti faktor važan za raspoloživost sustava jest mogućnost održavanja korištenih komponenti. Možnost održavanja definira se kao spo-

sobnost zadržavanja ili vraćanja u stanje u kojemu se pod zadanim uvjetima upotrebe i održavanja dobivaju zahtijevani rezultati (prema HRN EN 50126-1:2017 (3.37) [IEC 60050-192:2015, 192-01-27].

Funkcija pouzdanosti ($R(t)$) ovisi o pojavi kvarova ($\lambda(t)$), a funkcija mogućnosti održavanja ($M(t)$) o učestalosti održavanja ($\mu(t)$) u odnosu na definirano razdoblje:

$$R(t) \rightarrow \lambda(t); M(t) \rightarrow \mu(t).$$

Važan zahtjev željezničkoga sustava jest visoka razina raspoloživosti, koja omogućuje odgovarajuće visoku razinu sigurnosti. **Kada se u sustavu pojavi kvar (smanji se razina pouzdanosti), sustav mora biti štice od pojave opasnoga kvara (engl. fail-safe), a čime se i dalje osiguravaju raspoloživost i odgovarajuća razina sigurnosti.**

Iz zahtjeva za visokom razinom raspoloživosti i s time povezanom visokom razinom sigurnosti proizlaze dva zahtjeva za pouzdanost i mogućnost održavanja:

- niska učestalost kvarova (niska učestalost opasnih kvarova - λ)
- visoka učestalost održavanja (visoka brzina održavanja - μ).

7. Strategije smanjenja rizika koji su povezani s RAMS-om

Željeznice se općenito smatraju „sigurnim“ vrstom prometa. Kako bi ispunio takva očekivanja i ostvarivao visoku razinu raspoloživosti svojih usluga, željeznički sustav mora postići visoku razinu sigurnosti primjenjujući odgovarajuće strategije izbjegavanja nesreća odnosno strategije smanjenja rizika i strategije izbjegavanja kvarova.

S obzirom na to da rizik nikada ne može biti na razini nula, sigurnost nikada ne može biti savršena. Sigurnost je po definiciji stanje sustava u zoni dopuštenoga rizika. To znači da željeznički sustav mora raditi u zoni sigurnosti, ali se određena razina preostalog rizika ne može izbjeći. No, sigurno je da taj preostali (rezidualni) rizik mora biti nizak i zato ciljana sigurnost mora biti dovoljno visoke razine, odnosno onolike kolike to predviđaju stručne analize i proračuni.

Prema prikazu (na slici 5.), rizik (R_i) definira se kao umnožak učestalosti hazarda (HR) i ozbiljnosti nastale štete (Da) koja je posljedica hazarda. Štete koje nastaju u željezničkim nesrećama u većini su slučajeva velike (u pravilu daleko veće od onih u cestovnome prometu), pa se na rizik uglavnom može bitno djelovati smanjivanjem učestalosti hazarda.

Kako bi se tražena razina sigurnosti održala, uređaji povezani sa sigurnošću koji se koriste u željezničkome sustavu moraju imati odgovarajuću visoku razinu raspoloživosti. Uređaji i dijelovi PU-SS pod-sustava moraju biti dizajnirani tako da njihova pouzdanost (R) („rad bez kvara“) i njihova mogućnost održavanja (M) tijekom dugoročnoga rada osiguravaju visoku razinu raspoloživosti (A), čime se djeluje na smanjenje hazarda (HR), a što je cilj RAMS-a u željezničkome sustavu.

Strategija smanjenja rizika primjenjiva je na sve rizike koji su povezani s RAMS-om. Rizike je potrebno smanjiti na prihvatljivu razinu kadgod se analizom utvrdi da rizik nije prihvatljiv i da nije u skladu s rizikom u odnosu na sigurnosni cilj organizacije koja je odgovorna za sigurnost i koja je u skladu sa Zakonom obvezna sustavno pristupiti upravljanju rizicima.

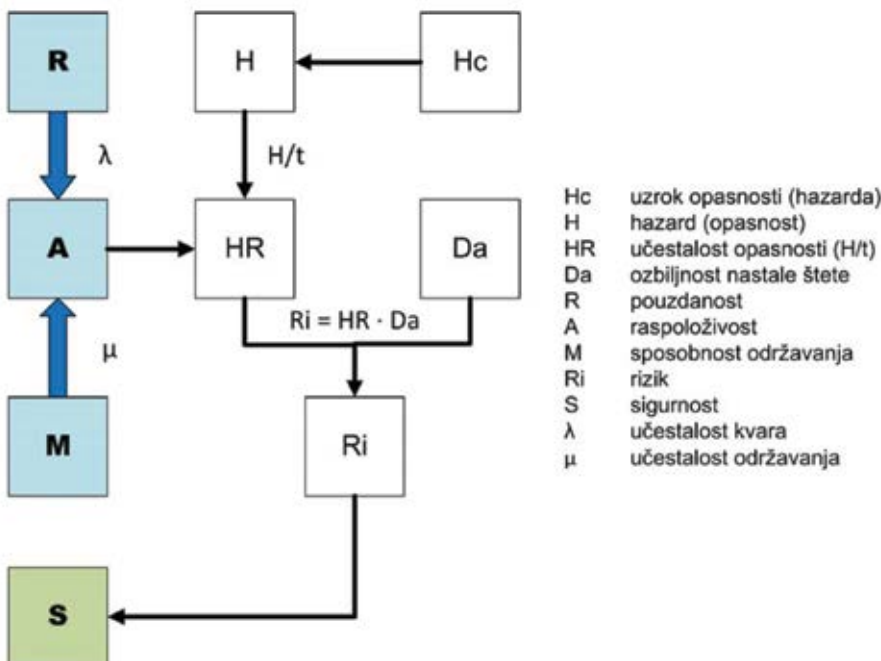
Rizik se može smanjiti poduzimanjem kombinacije sigurnosnih mjera, odnosno smanjenjem učestalosti uzroka štetnih događaja i hazarda koji mogu uzrokovati štete na sustavu (degradaciju funkcije sustava) ili ublažavanjem ozbiljnosti nastanka štete. U većini se slučajeva prevencija (otklanjanje uzroka hazarda) općenito smatra poželjnijom mjerom od ublažavanja šteta.

Kada se razmatra smanjenje rizika povezanih sa sigurnošću, tada je potrebno imati na umu sljedeće praktične korake koji se primjenjuju ovisno o mogućnostima njihove primjene.

Ponajprije treba razmotriti to je li praktički moguće izbjeći hazard, odnosno rizik. Ako to nije moguće, potrebno je pristupiti detaljnoj analizi u sljedećemu koraku koji odgovara na pitanje je li moguće sniziti hazard (ili njegov uzrok) na prihvatljivu razinu. U slučaju da ni to nije izvedivo, pokušava se posegnuti za mjerom kojom se učestalost hazarda koji može uzrokovati neki štetan (opasan) događaj (nesreću) drži na najmanjoj mogućoj mjeri.

U slučaju da se hazard ne može učinkovito smanjiti (njegovu pojavu, razinu ili učestalost), krajnji korak može biti mjera da se težina štete, koja nastaje kod opasnoga događaja (nesreće) i koja je posljedica razmatranoga hazarda, umanjati na najmanju moguću mjeru.

Izvor: autor



Slika 5. Povezanost dijelova RAMS-a i njihov utjecaj na rizike i sigurnost sustava

8. Utjecaj kvarova i učinkovitost RAMS-a

Osnovni je zahtjev za željeznički sustav upravljanja sigurnošću da u slučaju kvarova ili poremećaja u radu osoblja ili nekog drugog poremećenoga (degradiranoga) stanja sigurnosti usluge željezničkoga sustava **sustav ne smije biti izložen neprihvatljivome riziku. Sve dok je to ispunjeno, sustav funkcionira na siguran način.** Zbog toga takav sustav mora biti konzistentan s RAMS-om, a temeljito poznavanje ponašanja dijelova i komponenti sustava i njihovih kvarova osnova je za osiguranje sigurnosti.

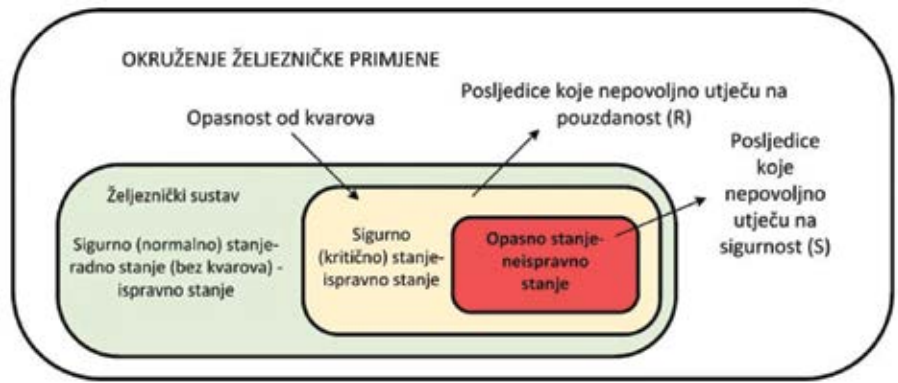
Poznavanje ponašanja kvarova utječe na izbor mjera koje je potrebno poduzeti kako bi se postigla dovoljna razina sigurnosti. Sustavna pogreška u fazi proizvodnje može se, na primjer, otkriti pozornom kontrolom (inspekcijom) prije puštanja sustava u rad, ali spontani (slučajni) kvar tijekom rada, nasuprot tomu, ne može se spriječiti. Međutim, opasne posljedice kvara mogu se spriječiti odgovarajućim dizajnom sustava.

Kvarovi sustava (podsustava ili njegovih sastavnih dijelova) kategoriziraju se kao slučajni i sustavni kvarovi [2].

Slučajni kvarovi tehničkih sustava (koji su analizirani u nastavku teksta) nastaju zbog uzroka koje je moguće opisati statističkim raspodjelama odnosno čiju je vjerojatnost pojave moguće procijeniti matematičkim metodama. Za uređaje i dijelove PU-SS podsustava uz prugu uzimaju se u obzir kod proračuna vjerojatnosti kvarova i sa sigurnošću povezanih parametara RAMS-a da se takve vjerojatnosti raspodjeljuju prema eksponencijalnim zakonima.

Za razliku od slučajnih kvarova tehničkoga sustava postoje kvarovi nastali uslijed neočekivanih pogrešaka u pojedinim fazama životnoga ciklusa RAMS-a koje obično nastaju zbog ljudske pogreške. Ta vrsta kvarova pripada determinističkim kvarovima proizvoda, sustava ili postupka.

Sustavni kvarovi uglavnom se rješavaju primjenom odgovarajućih postupaka, metoda i organizacije. Oni nastaju uslijed događaja za koje statistički podaci obično nisu raspoloživi pa vjerojatnost njihove pojave općenito nije moguće procije-



Slika 6. Posljedice kvarova sustava (prema HRN EN 50126-1)

Izvor: autor

nuti. Velik dio kvarova koji nastaju zbog uvjeta okoliša (npr. temperature, vlage itd.) i vanjskih utjecaja (elektromagnetskih utjecaja, vibracija) također se smatra sustavnim, ali ponekad i slučajnim.

Kvarovi sustava (podsustava ili dijela toga podsustava – sigurnosnog uređaja) koji se nalazi u okružju željezničke primjene djeluju na pouzdanost, raspoloživost i sigurnost sustava, pri čemu je razina toga djelovanja utvrđena funkcionalnošću i projektom sustava. Svi kvarovi sustava nemaju iste posljedice. Dio kvarova ima posljedice koje nepovoljno utječu na sigurnost, a dio nepovoljno utječe na pouzdanost (vidi sliku 6.).

Osnovni načini na koje se rizici povezani s RAMS-om mogu smanjiti jesu:

- **poboljšanje pouzdanosti (R)** – tako da se smanji broj kvarova, a time poveća i vjerojatnost pouzdanosti ($R(t)$)
- **poboljšanje raspoloživosti (A)** – tako da degradacija funkcije koja je predmet sigurnosti bude što manja i da se time poveća vjerojatnost raspoloživosti ($A(t)$).

Mjere za poboljšanje pouzdanosti tehničkih sustava obuhvaćaju [2]:

- projektiranje dopuštenih odstupanja sustava tako da manja odstupanja parametara od njihovih nazivnih vrijednosti ne izazovu neispravan rad (6. faza Projektiranje i provedba na slici 3. – životni ciklus RAMS-a)
- takvo projektiranje da se ne očekuje funkcioniranje komponenti u radnome području blizu njihovih graničnih vrijednosti, npr. nazivnoga opterećenja, temperature itd. (6.

faza Projektiranje i provedba na slici 3. – životni ciklus RAMS-a)

- primjenu dobre prakse upravljanja kvalitetom kod nabave materijala te kontrole proizvodnje i instalacije uređaja na terenu (7. faza Proizvodnja na slici 3. – životni ciklus RAMS-a)
- nadziranje uvjeta za rad i preventivno održavanje (11. faza Rad, održavanje i nadzor na slici 3. – životni ciklus RAMS-a).

Mjere za poboljšanje raspoloživosti mogu se ostvariti kroz [2]:

- osiguranje redundantnih, odnosno pričuvnih sustava (s dva, tri ili više kanala) tako da kvar ne izazove nedopuštenu degradaciju ili nedopušteni gubitak funkcije uređaja (5. faza Arhitektura i distribucija zahtjeva sustava na slici 3. – životni ciklus RAMS-a)
- osiguranje sredstava za rad u otežanim uvjetima u slučaju kvara (2. faza Definicija sustava i operativni kontekst i 5. faza Arhitektura i raspodjela zahtjeva sustava na slici 3.)
- poboljšanje mogućnosti održavanja sustava tako da se skрати vrijeme potrebno za popravak i ponovnu uspostavu redovitoga rada nakon otklanjanja kvara (6. faza Projektiranje i provedba na slici 3.)
- osiguranje resursa (kao što su osposobljeno osoblje, ispitna oprema, rezervni dijelovi) tako da se skрати vrijeme potrebno za popravak i ponovnu uspostavu redovitoga rada (funkcije uređaja) nakon otklanjanja kvara (11. faza Rad, održavanje i nadzor na slici 3).

9. Sadržaj sigurnosnoga predmeta koji provjerava Agencija

U sklopu zahtjeva koji se podnosi Agenciji za izdavanje odobrenja za puštanje u uporabu elektroničkih PU-SS podsustava (ili SS-uređaja kao njegova sastavnog dijela) podnositelj zahtjeva, među ostalim, prilaže potrebne dokumente koji čine sigurnosni predmet, a to su:

- potvrda prijavljenoga tijela (NoBo – engl. *notify body*) o provjeri prijavljenoga PU-SS podsustava s tehničkim specifikacijama interoperabilnosti (TSI) – „EZ” potvrda o sukladnosti s TSI-om
- „EZ” izjava o provjeri podnositelja zahtjeva, sastavljena na temelju „EZ” potvrde o sukladnosti s TSI-om
- potvrda i izvješća imenovanoga tijela (DeBo – engl. *designated body*) o provjeri prijavljenoga PU-SS podsustava s nacionalnim pravilima – „EZ” potvrda o sukladnosti s nacionalnim pravilima
- „EZ” izjava o provjeri podnositelja zahtjeva, sastavljena na temelju „EZ” potvrde o sukladnosti s nacionalnim pravilima
- izvješća o sigurnosnoj integraciji i sigurnosnim analizama kojima se dokazuje razina sigurnosti SIL-4 (u skladu s važećim normama HRN EN 50126, HRN EN 50128 i 50129) koje je izdalo odgovarajuće inspeksijsko tijelo (akreditirano prema HRN EN ISO/IEC 17020 [11]) (*ISA-Report*)
- potvrde o osposobljenosti i registraciji pravne osobe za izvođenje radova na SS-uređajima
- potvrda upravitelja infrastrukture (pravnoga subjekta koji ima uspostavljen sustav upravljanja sigurnošću – SMS) da se ugrađena oprema može primjenjivati na željezničkoj mreži koja je obuhvaćena uvjerenjem o sigurnosti (u skladu sa Zakonom), odnosno u skladu s odgovarajućim pravilima SMS-a
- izvedbeni projekt po kojemu su radovi izvedeni i oprema ugrađena te potvrda upravitelja infrastrukture da je prihvatio takav projekt
- dokaze sukladnosti s relevantnim normama i parametrima iz obvezujućih nacionalnih pravila kao što su

temperaturno područje rada uređaja, vibracije, zaštita od prodora vode itd.

- uporabna dozvola za građevinu u sklopu koje je ugrađen SS-uređaj
- analiza parametara RAMS za ugrađenu SS-opremu (na temelju *ISA-Reporta*)
- pravila upravitelja infrastrukture o puštanju u uporabu infrastrukturnih podsustava (koji su sastavni dio postupaka SMS-a) u skladu s nadzorom rizika prema zajedničkoj sigurnoj metodi koje je propisana obvezujućom Uredbom (EU) 402/2013 [12]
- sve potvrde o sukladnosti s nacionalnim pravilima, posebno one za elektromagnetsku kompatibilnost u skladu s važećom normom HRN EN 50121-1-2 [13] [14]
- potvrda da su svi hazardi i povezani rizici prihvatljive razine u skladu s metodologijom provedenom prema obvezujućoj Uredbi (EU) 402/2013 [12]
- svi ostali dokumenti koje odredi Agencija u cilju ispunjavanja zahtjeva za sigurnost i interoperabilnost.

10. Zaključak

Osnovni zahtjev za sigurnost željeznikog sustava jest taj da u slučaju kvarova **sustav ne smije biti izložen neprihvatljivome riziku. Sve dok je taj zahtjev ispunjen, sustav funkcionira na siguran način.** Zbog toga sustav mora biti konzistentan s RAMS-om, a temeljito poznavanje ponašanja dijelova i komponenti sustava i njihovih kvarova osnova je za osiguranje sigurnosti.

Statistički podaci o radu suvremene elektroničke opreme PU-SS podsustava pokazuju to da su opasni kvarovi elektroničkih SS-uređaja rijetki događaji. Razlog jest striktno pridržavanje sigurnosnih zahtjeva u fazama razvoja, proizvodnje i rada sustava (pridržavanje zahtjeva RAMS-a).

Osnovni načini na koje se rizici povezani s RAMS-om mogu smanjiti jesu:

- poboljšanjem pouzdanosti (R(t)) tako da se broj kvarova smanji na

dopuštenu razinu u skladu sa sigurnosnim zahtjevima

- poboljšanjem raspoloživosti (A(t)) tako da pojava kvara ne utječe na sigurnost.

Sigurnost željezničkih SS-uređaja temelji se ponajprije na strategiji potpunoga otklanjanja kvarova, no tehnička i ekonomska ograničenja, mnoge složene sigurnosne mjere i tehnička rješenja u SS-uređajima zahtijevaju da se primjene i druge primjerene strategije, a u većini slučajeva to su strategije otklanjanja posljedica kvarova ili, kao minimum, strategije ograničavanja njihovih posljedica.

Kvar SS-uređaja mora biti doveden do sigurnoga stanja (engl. *safe state*). Uređaj (ili sustav) za koji je dokazano da su otklonjene mogućnosti kvarova ne može biti doveden do opasnoga stanja.

U praksi se ne može udovoljiti zahtjevima sigurnosti samo na temelju rada sustava bez kvarova, već se radi osiguranja tražene (visoke) razine sigurnosti sustavi moraju dizajnirati tako da u slučaju kvara sustav odlazi u stanje sigurnosti (*fail-safe*), a što se danas uglavnom rješava tako da se dodaju redundantni sklopovi (zalihost s više kanala) koji povećavaju raspoloživost sustava.

Prije nego se sa sigurnošću povezan elektronički željeznički sustav, podsustav ili oprema prihvate kao sigurni u odnosu na planiranu namjenu, potrebno je pružiti dokumentirane dokaze o ostvarenju zahtjeva koji se moraju priložiti u sigurnosnome predmetu, a to su dokazi o:

- ispunjenju zahtjeva za upravljanje procesima kvalitete;
- ispunjenju zahtjeva za upravljanje procesima sigurnosti;
- ispunjenju zahtjeva za funkcionalnu i tehničku sigurnost te sigurnost projekta.

Sigurnosni predmet čini dio sveukupnih dokumentiranih dokaza koje predlagatelj treba dostaviti Agenciji kako bi dobio sigurnosno odobrenje, odnosno odobrenje za puštanje u uporabu generičkoga ili specifičnoga sustava ili podsustava.

LITERATURA

- 1] Zakon o sigurnosti i interoperabilnosti željezničkog sustava (Narodne novine br. 63/2020)
- 2] HRN EN 50126-1; Željeznički sustav – Specifikacije i prikaz pouzdanosti, raspoloživosti, mogućnosti održavanja i sigurnosti (RAMS) – 1. dio: Generički postupak RAMS-a (EN 50126-1:2017)
- 3] HRN EN 50126-2; Željeznički sustav – Specifikacije i prikaz pouzdanosti, raspoloživosti, mogućnosti održavanja i sigurnosti (RAMS) – 2. dio: Sustavni pristup sigurnosti (EN 50126-2:2017)
- 4] HRN EN 61703; Matematički izrazi za nazive koji se odnose na pouzdanost, raspoloživost, sposobnost održavanja i podršku održavanju (IEC 61703:2016; EN 61703:2016)
- 5] HRN EN 50129; Željeznički sustav – Komunikacijska i signalna tehnika i sustavi obrade podataka – Elektronički sustavi za signalnu tehniku povezani sa sigurnošću (EN 50129:2018)
- 6] Pravilnik o tehničkim uvjetima za prometno-upravljački i signalno-sigurnosni željeznički infrastrukturni podsustav (Narodne novine br. 97/2015 [od 11. rujna 2025.])
- 7] Uredba Komisije (EU) 2016/919 od 27. svibnja 2016. o tehničkoj specifikaciji za interoperabilnost u vezi s „prometno-upravljačkim i signalno-sigurnosnim“ podsustavima željezničkog sustava u Europskoj uniji (Tekst značajan za EGP) (OJ L 158, 15. lipnja 2016, p. 1-79)
- 8] Izvješće o radu Agencije za sigurnost željezničkog prometa za 2021. (KLASA: 023-01/22-05/01), listopad 2022. Agencija za sigurnost željezničkog prometa. Zagreb.
- 9] Izvješće o sigurnosti za 2021. godinu. svibanj 2022. HŽ Infrastruktura. Zagreb.
- 10] Railway Signalling & Interlocking. International Compendium. 2nd Edition 2018. Editors: Georg Theeg, Sergej Vlasenko. 2018 PMC Media House GmbH.
- 11] HRN EN ISO/IEC 17020 – Ocjenjivanje sukladnosti – Zahtjevi za rad različitih vrsta tijela koja provode inspekciju (ISO/IEC 17020:2012; EN ISO/IEC 17020:2012)
- 12] Provedbena uredba Komisije (EU) br. 402/2013 od 30. travnja 2013. o zajedničkoj sigurnosnoj metodi za vrednovanje i procjenu rizika i stavljanju izvan snage Uredbe (EZ) br. 352/2009 (Tekst značajan za EGP), (OJ L 121, 3.5.2013, p. 8-25)
- 13] Željeznički sustav – Elektromagnetska kompatibilnost – 1. dio: Općenito (EN 50121-1:2017)
- 14] Željeznički sustav – Elektromagnetska kompatibilnost – 2. dio: Emisija cjelokupnog željezničkog sustava u vanjski svijet (EN 50121-2:2017)

SAŽETAK

SIGURNOST ŽELJEZNIČKIH SIGNALNO-SIGURNOSNIH UREĐAJA

Članak se bavi primjenom sustavnoga upravljanja procesom RAMS-a i postupanjem s kvarovima kako bi se smanjili rizici i ostvarile visoke razine sigurnosti kod signalno-sigurnosnih uređaja kao dijela željezničkoga prometno-upravljačkog i signalno-sigurnosnog podsustava. Pored toga u članku se analizira sadržaj sigurnosnoga predmeta kojim se dokazuju sigurnosna svojstva signalno-sigurnosnih uređaja i učinkovitost primijenjenoga sustava RAMS.

Sigurnost i izbjegavanje kvarova u suvremenoj elektroničkoj signalno-sigurnosnoj opremi povezanaj sa sigurnošću najučinkovitiji su kada se čimbenici RAMS-a kontinuirano kontroliraju kroz projekt, od njegova početka do ugradnje, i tijekom rada (do izgradnje) umjesto primjene korektivnih procesa.

Kvarovi u sustavu utječu na pouzdanost, raspoloživost, mogućnost održavanja i sigurnost sustava, pri čemu je razina toga utjecaja određena funkcionalnošću i dizajnom primijenjenoga sustava. Rizik povezan s RAMS-om može se smanjiti poduzimanjem kombinacije mjera za smanjenje kvarova, smanjenjem učestalosti događaja koji rezultiraju kvarovima i smanjenjem njihove ozbiljnosti.

Mjere za poboljšanje pouzdanosti s obzirom na slučajne kvarove uključuju različite aspekte projektiranja sustava, primjenu sustava upravljanja kvalitetom, primjenu sustava upravljanja sigurnošću i tehničke kontrole procesa proizvodnje.

S druge strane, postoji nekoliko principa za poboljšanje dostupnosti, i to osiguranje dupliciranih ili rezervnih sustava (redundancija), osiguranje mogućnosti za rad u degradiranome režimu te poboljšanje održivosti sustava i osiguranje dovoljno resursa.

Uvjeti koji moraju biti zadovoljeni kako bi se sigurnosni elektronički željeznički sustav, podsustav ili oprema prihvatili kao primjereno sigurni za namjeravanu primjenu jesu:

- ispunjavanje zahtjeva procesa upravljanja kvalitetom
- ispunjavanje zahtjeva procesa upravljanja sigurnošću
- ispunjenje uvjeta za funkcionalnu i tehničku sigurnost te tehničke dokaze o sigurnosti projekta.

Dokumentarni dokazi da su ti uvjeti zadovoljeni moraju biti uključeni u sigurnosni predmet. Sigurnosni predmet dio je sveukupnih dokumentiranih dokaza koje predlagatelj treba dostaviti Agenciji kako bi dobio sigurnosno odobrenje, odnosno odobrenje za puštanje u uporabu njegova generičkog ili specifičnog sustava ili podsustava.

Ključne riječi: sigurnost, pouzdanost, signalno-sigurnosna oprema, sustav upravljanja kvalitetom

Kategorizacija: stručni rad

SUMMARY

SAFETY IN SIGNALLING DEVICES

The article deals with the application of the systematic RAMS management process and dealing with failures in order to reduce risks and achieve high level of safety in signalling devices as part of the railway Control Command and Signalling subsystem. In addition, the article deals with the Safety Case and the documentary evidences that have to be submitted to the Agency in order to obtain an authorisation to place in service.

Safety and avoidance of failures of the safety related up-to-date electronical CCS equipment are achieved most effectively when RAMS factors are continuously controlled through a project from its inception through to operation and installation (up to decommissioning) instead of adding corrective processes in later stages.

Failures in a system have an impact on the system's reliability, availability, maintainability and safety, with the level of impact being determined by the applied system functionality and design. The risk related to the RAMS can be reduced by taking a combination of measures to reduce the failures by decreasing the frequency of events which result in failures, and to mitigate the failures by reducing its severity.

Measures to improve reliability with regard to random failure include: different aspects of designing the system and application of good quality management system and safety management system as well as good technical control of manufacturing process.

In the other hand, there are several principals for improving availability - provision of duplicate or back-up systems (redundancy channels), provision of facilities for operation in a degraded mode, improving the maintainability of the system and provision of sufficient resources.

The conditions to be satisfied in order for safety-related electronic railway system, subsystem or equipment to be accepted as adequately safe for its intended application are:

- fulfilment of quality management process requirements,
- fulfilment of safety management process requirements,
- fulfilment of functional and technical safety requirements and technical evidence for the safety of the design.

The documentary evidence that these conditions have been satisfied shall be included in structured safety justification document – the Safety Case. The Safety Case forms part of overall documentary evidence to be submitted to the Agency by the proposer in order to obtain safety acceptance for a generic product or specific application (an authorisation to place in service).

Key words: safety, reliability, CCS equipment, quality management system

Categorization: professional paper