

UPORABA METOD KVALITATIVNE ANALIZE ZA OPREDELITEV NAČINOV ODPOVEDI ELEMENTOV ŽELEZNIŠKE PROGE, NJIHOVIH VZROKOV IN KRITIČNOSTI

USING METHODS OF QUALITATIVE ANALYSIS TO IDENTIFY FAILURE MODES OF RAILWAY LINE ELEMENTS, THEIR CAUSES, EFFECTS AND CRITICALITY

Miran ABRAM, univ. dipl. org., inž. grad.
Slovenske železnice – Infrastruktura, d. o. o.
miran.abram@siol.net

Znanstveni članek
UDK 625.04:625.14

Povzetek | Železniški prometni sistem (ŽPS) je kompleksen, sestavljen iz mobilnih sredstev, sistema vleke, zgornjega in spodnjega stroja železniške proge, signalnovarnostnih in telekomunikacijskih naprav ter informacijskega sistema za upravljanje prometa, ki so s stališča zanesljivosti vezani zaporedno. Njegova primarna funkcija je izvajanje varnega in urejenega železniškega prometa na določeni železniški progi znotraj železniškega omrežja na podlagi veljavnega voznega reda. Glavni vzroki za nerazpoložljivost ŽPS so odpovedi sistema kot celote ali odpovedi njegovih sestavnih delov. Železniška proga predstavlja transportno pot, na kateri ŽPS opravlja svojo osnovno funkcijo. Odpovedi železniške proge povzročijo odpovedi njenih funkcionalnih enot, sklopov in komponent, zato je treba v procesu opravljanja kvalitativnih analiz prepoznati načine odpovedi posameznih sestavnih elementov, njihove vzroke, učinke in kritičnosti v določenih stanjih in v določenih obdobjih. Pri študiju načinov odpovedi, njihovih vzrokov, učinkov in kritičnosti elementov železniške proge smo uporabili induktivni metodi Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) in Failure modes Effects and Criticality Analysis (FMECA); za potrebe ločevanja načinov odpovedi od njihovih vzrokov pa deduktivno metodo Cause Tree Method (CTM) oziroma Failure Tree Analyse (FTA). Z izvajanjem opisane metodologije se približamo metodi vzdrževanja elementov železniške proge na osnovi zanesljivosti (Reliability Centred Maintenance (RCM)). Opisano metodologijo za izvajanje kvalitativnih analiz smo uporabili za študij načinov odpovedi, njihovih vzrokov, učinkov in kritičnosti železniške tirnice v določenih stanjih. Rezultati opravljenih kvalitativnih analiz tirnice sistema 49E1, vgrajene v neprekinjeno zavarjeni tir in stikovani tir, v določenem obdobju, na določeni železniški progi znotraj železniškega omrežja na območju Republike Slovenije, kažejo, da opisana metodologija podaja realne rezultate.

Ključne besede: železniški prometni sistem, železniška proga, železniška tirnica, načini odpovedi elementov železniške proge, učinki in kritičnosti načinov odpovedi.

Summary | The railway transport system (RTS) is a complex system consisting of mobile resources, a traction system, the railway infrastructure, signalling and safety devices, the telecommunication equipment and the information system for traffic management, which are from the standpoint of the reliability connected successively. Their primary

function is the implementation of secure and regulated rail traffic on the railway line within the rail network on the basis of the valid timetable. The main reasons for the non-availability of RTS are the failures of the system as a whole and the failures of its individual parts. The railway line represents a transport route, on which the RTS performs its basic function. The failures of the railway lines are caused by the failures of their functional units, sets and components, so it is very important that in the process of the implementation of the qualitative analysis we recognize the failure modes of the individual constituent elements, their causes, effects and criticality in a particular state and time intervals. In the study of failure modes, their causes, effects and criticality of elements of the railway line, we used the inductive method, Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) and Failure modes Effects and Criticality Analysis (FMECA); for the purposes of the separation between failure modes and their causes, we used the deductive method Cause Tree Method (CTM) or the Failure Tree Analyse (FTA). The methodology described is close to the method of maintaining the railway line items based on reliability (Reliability Centered Maintenance (RCM)). The described methodology for qualitative analysis was used to study of failure modes, their causes, effects and criticality of the railway track in certain states. The results of the qualitative analyses of the railway track type 49E1, built into the continuously welded and contacted railway track, in a given time period, in a railway line within the railway network in the territory of the Republic of Slovenia, showed that the described methodology gave real results.

Keywords: railway traffic system, railway line, railway track, failure modes of elements of railway line, effects and criticality of failure modes.

1 • UVOD

Posledica odpovedi železniške proge je odpoved železniškega prometnega sistema (ŽPS) na obravnavani progi oziroma prenehanje njegove sposobnosti, da zadovoljivo opravlja svojo funkcijo, tj. varen in urejen prevoz potnikov in tovora iz enega kraja v drugega, na podlagi veljavnega voznega reda.

ŽPS opredelimo kot sestav petih delov:

- mobilnih sredstev,
- sistema vleke,
- signalnovarnostnih in telekomunikacijskih naprav,
- zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge,
- informacijskega sistema za upravljanje prometa.

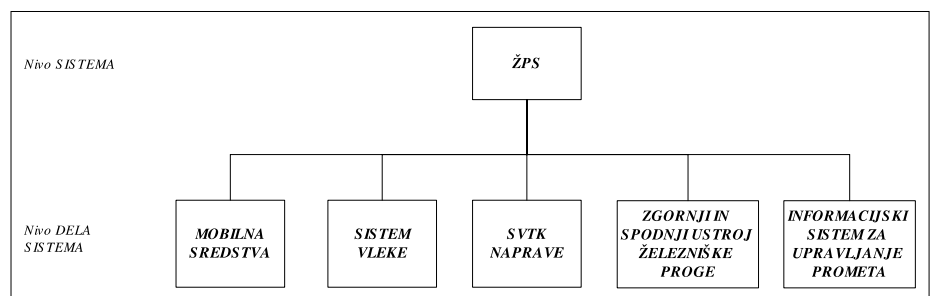
Hierarhična struktura ŽPS do nivoja dela sistema je prikazana na sliki 1.

Nerazpoložljivost ŽPS pomeni nezmožnost sistema za opravljanje njegove osnovne funkcije. Glavni vzroki za nerazpoložljivost ŽPS so odpovedi njegovih delov (mobilnih sredstev, sistema vleke, zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge, signalnovarnostnih in telekomunikacijskih naprav, informacijskega sistema za upravljanje prometa). Na podlagi navedenega opredelimo logično strukturo ŽPS do nivoja delov sistema tako, da so

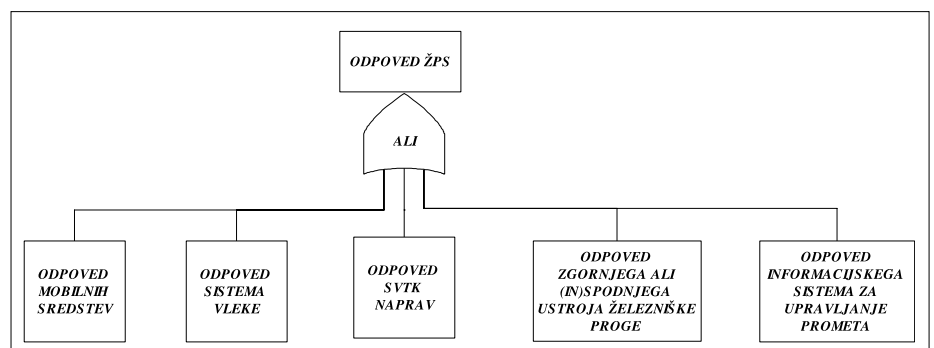
posamezni deli ŽPS, s stališča zanesljivosti, vezani zaporedno, kar pomeni, da odpoved posameznega dela ŽPS povzroči odpoved

sistema in s tem nezmožnost za opravljanje osnovne funkcije. Logična struktura ŽPS do nivoja delov sistema je prikazana na sliki 2.

Pri opredelitvi odpovedi železniške proge oziroma njenih sestavnih elementov, entitet, lahko odpovedi klasificiramo na (Villemeur, 1992): postopne in nenadne, delne



Slika 1 • Hierarhična struktura ŽPS do nivoja dela sistema



Slika 2 • Logična struktura ŽPS do nivoja delov sistema

in popolne, katastrofalne in degradacijske, odpovedi v zgodnjem obdobju življenjskega cikla sestavnega elementa dela sistema, slučajne odpovedi v obdobju normalnega delovanja sestavnega elementa dela sistema, odpovedi v obdobju staranja sestavnega elementa dela sistema, primarne, sekundarne in zahtevane.

Entiteta je vsaka komponenta, sklop, funkcionalna enota, podsistem, del podsistema, del sistema, sistem, ki je predmet obravnave.

V nadaljevanju podajamo definicije tako klasificiranih odpovedi:

Postopna odpoved entitete je odpoved, ki nastane zaradi postopnega spreminjanja danih karakteristik entitete (v nadaljevanju sistema, elementa sistema) v časovnem intervalu.

Nenadna odpoved entitete je odpoved, ki ni rezultat progresivne izgube karakteristik entitete in ne more biti predvidena s predhodnimi preiskavami ali monitoringom.

Delna odpoved entitete je odpoved, ki nastane zaradi odstopanja karakteristik entitete od posebej opredeljenega nivoja teh karakteristik, vendar tako, da ne povzroči popolne nesposobnosti entitete za opravljanje zahtevane funkcije.

Popolna odpoved entitete je odpoved, ki nastane zaradi odstopanja karakteristik entitete preko opredeljenega nivoja in ima za posledico popolno nesposobnost entitete za opravljanje zahtevane funkcije.

Katastrofalna odpoved entitete je odpoved, ki je nenadna in popolna.

Degradacijska odpoved entitete je odpoved, ki je postopna in delna.

Zgodnje odpovedi entitete so odpovedi v začetnem obdobju življenjskega cikla entitete, katerih pogostost hitro pada.

Slučajne odpovedi entitete so odpovedi v normalnem obdobju življenjskega cikla entitete s približno konstantno pogostostjo in so običajno katastrofalne.

Odpovedi v obdobju izrabe entitete so odpovedi v obdobju izrabe s hitro naraščajočo pogostostjo oziroma verjetnostjo nastanka.

Primarna odpoved entitete je neodvisna odpoved, ki ni povzročena posredno ali neposredno z odpovedjo ali napako druge entitete.

Sekundarna odpoved entitete je odvisna odpoved, povzročena posredno ali neposredno z odpovedjo druge entitete.

Zahtevana odpoved entitete je odpoved, katere neposredni ali posredni vzrok je odpoved druge entitete, ki je bila načrtovana oziroma projektirana za ta namen.

2 • TEORETIČNE OSNOVE

Študij načinov odpovedi sistema obsega opredelitev tistih elementov sistema, ki lahko povzročijo odpoved sistema, opredelitev možnih načinov odpovedi, vzrokov načinov odpovedi in opredelitev učinkov posameznega načina odpovedi na razpoložljivost celotnega sistema ((Hudoklin, 1993), (Hudoklin, 1994), (Hudoklin, 1995), (Hudoklin, 1996), (Pham, 1998)).

Način odpovedi opredelimo kot obliko, v kateri se pokaže odpoved.

Vzrok načina odpovedi opredelimo kot okoliščine, ki so na ta način povzročile odpoved.

Učinek načina odpovedi pa opredelimo kot skupek vseh možnih posledic posameznega načina odpovedi.

Študij načinov odpovedi omogoča odkrivanje tistih mest oziroma elementov v sistemu, ki so s stališča razpoložljivosti kritična, in planiranje korektivnih ukrepov za izboljšanje razpoložljivosti kritičnih elementov (Villemeur, 1992).

Za opredelitev odpovedi železniške proge uporabimo metodo analize načinov, vzrokov in učinkov odpovedi (FMEA) ((Braglia, 2000), (Pillay, 2003), (Stamatis, 1995)) tako, da pri analizi načinov odpovedi in njihovih vzrokov uporabimo tudi metodo drevesa odpovedi (FTA) (Villemeur, 1992).

Drevo odpovedi je poseben primer logičnega diagrama kombinacije dogodkov, ki vodijo v glavni dogodek, ki je na vrhu drevesa

odpovedi in običajno predstavlja neželeni dogodek za obravnavani sistem (odpoved sistema) ((Sinnamon, 1997), (Rosenberg, 1996), (Murchland, 1975)). Drevo odpovedi sestoji iz zaporednih nivojev dogodkov, povezanih na tak način, da vsak dogodek na določenem nivoju sledi iz določenih dogodkov na nižjem nivoju skozi različne logične operatorje oziroma logična vrata. Dogodki na posameznih nivojih predstavljajo odpovedi elementov sistema na določenem nivoju hierarhične strukture sistema. Navedeni deduktivni proces ((Hudoklin, 2004), (Villemeur, 1992)), tj. razstavljanje glavnega dogodka na dogodke, ki glavni dogodek povzročijo, se nadaljuje, dokler niso opredeljeni osnovni dogodki, ki so medsebojno neodvisni in katerih verjetnost dogodka je znana.

FMEA je induktivna metoda, ki predstavlja prvi korak v procesu priprave in izvajanja programa vzdrževanja sistema na podlagi njegove zanesljivosti (Reliability Centered Maintenance) (Moubrey, 1997) in se uporablja za sistematičen študij vzrokov in učinkov načinov odpovedi elementov sistema na sistem oziroma za:

- oceno učinkov posameznega načina odpovedi elementa sistema na različne funkcije sistema;
- ugotovitev tistih načinov odpovedi, ki pomembno vplivajo na zanesljivost, razpoložljivost, vzdrževalnost in varnost sistema.

Glavne faze pri izvajanju metode FMEA so:

- opredelitev sistema, njegovih funkcij in elementov,
- identifikacija načinov odpovedi elementov in njihovih vzrokov,
- študij učinkov različnih načinov odpovedi,
- zaključki in priporočila.

V okviru prve faze metode FMEA (Opredelitev sistema, njegovih funkcij in elementov) je treba natančno opredeliti sistem in njegove funkcije, izdelati ustrezno hierarhično strukturo sistema glede na kompleksnost sistema ter definirati funkcije sistema in njegovih delov na vseh hierarhičnih nivojih. V tej fazi izvajanja FMEA je treba izdelati ustrezne funkcionalne in logične diagrame sistema in njegovih elementov, ki kažejo medsebojne povezave in odvisnosti elementov sistema. Opredeliti je treba pogoje eksploatacije sistema in njegovih elementov, kar predstavlja osnovo za opredelitev različnih stanj sistema in njegovih elementov. Izvajanje FMEA je smiselno le za določena stanja sistema/elementov sistema. Poznavanje funkcij sistema oziroma njegovih delov omogoča opredelitev njegovih odpovedi. V FMEA so vključeni le tisti elementi, katerih odpovedi sodelujejo pri nastanku določene odpovedi sistema oziroma njegovega elementa.

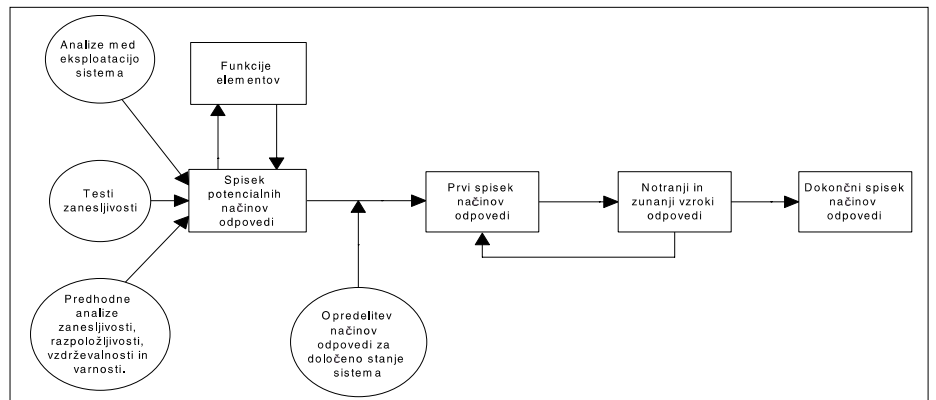
V okviru druge faze metode FMEA (Identifikacija načinov odpovedi in njihovih vzrokov) je treba za vsak element sistema, ki je bil v prvi fazi opredeljen kot pomemben v določenem stanju, ugotoviti možne načine odpovedi. Postopek identifikacije načinov odpovedi je prikazan na sliki 3.

Na podlagi podatkov iz eksploatacije sistema, testov zanesljivosti ali predhodnih analiz za napovedovanje razpoložljivosti, zanesljivosti, vzdrževnosti in varnosti sistemov in drugih virov je treba izdelati spisek potencialnih načinov odpovedi elementov sistema v določenem stanju, kar predstavlja osnovo za nadaljnjo analizo. Hkrati je treba ugotoviti tudi vzroke posameznih potencialnih načinov odpovedi, ki bodo potrebni za ocenjevanje verjetnosti nastanka odpovedi, odkrivanje sekundarnih odpovedi in planiranje korektivnih ukrepov. Pri iskanju vzrokov posameznega načina odpovedi je treba najprej ugotoviti vse možne vrste vzrokov, nato pa identificirati prave vzroke obravnavanega načina odpovedi s primerjavo spiska potencialnih načinov odpovedi in spiska vzrokov načinov odpovedi. Pri ločevanju načinov odpovedi od njihovih vzrokov si lahko pomagamo z deduktivno metodo drevesa odpovedi (Villemeur, 1992), (Sinnamon, 1997)). Drevo odpovedi za analizo načinov odpovedi in vzrokov načinov odpovedi je prikazano na sliki 4.

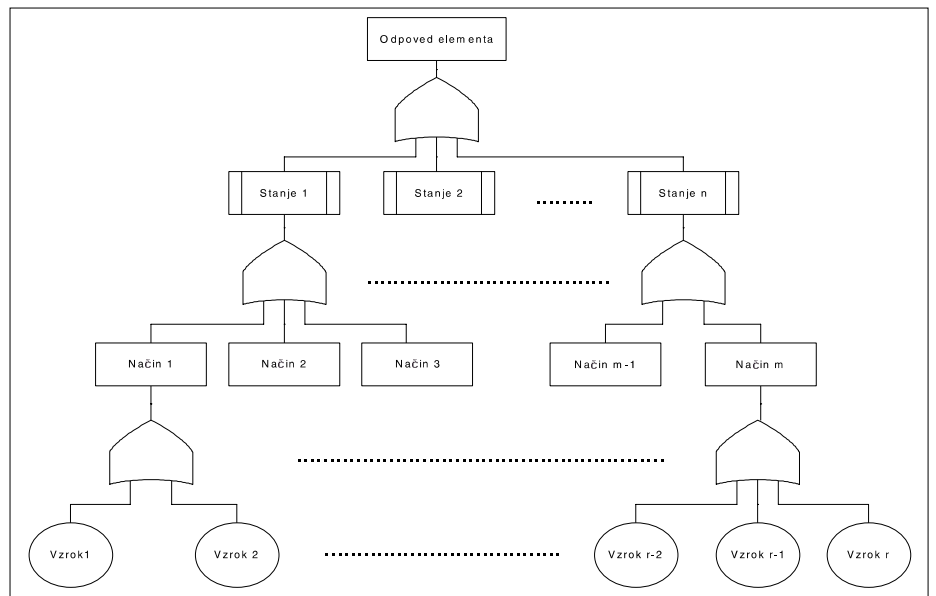
Na posameznem nivoju hierarhične strukture lahko določen način odpovedi ne povzroči nobenih učinkov na delu sistema, lahko pa povzroči omejeno delovanje dela sistema in prekinjeno delovanje dela sistema. Postopek ocenjevanja učinkov načinov odpovedi in njihovih vzrokov se začne na tistem nivoju, na katerem je opazovani element, in se nadaljuje na višjih nivojih do ocenitve učinka na nivoju celotnega sistema.

Na podlagi zgoraj navedenega lahko sklepamo, da je treba načine odpovedi in njihove vzroke opredeliti na podlagi iterativnih analiz, ki vključujejo tudi študij učinkov načinov odpovedi. Za bolj učinkovito določanje načinov odpovedi in njihovih vzrokov lahko uporabimo tudi metodo zbirnih odpovedi (Gathered Fault Combination Method (GFCM)) (Villemeur, 1992), kjer so načini odpovedi v bistvu globalne zbirne odpovedi elementov, notranji in zunanji vzroki načinov odpovedi pa predstavljajo notranje in zunanje zbirne odpovedi elementov, ki so analizirane kot deli celote. Pri izvajanju zgoraj opisanega postopka je treba upoštevati tudi učinke obravnavanega sistema na povezane sisteme in nasprotno. Navedeni proces uporabe metode GFCM je prikazan na sliki 5.

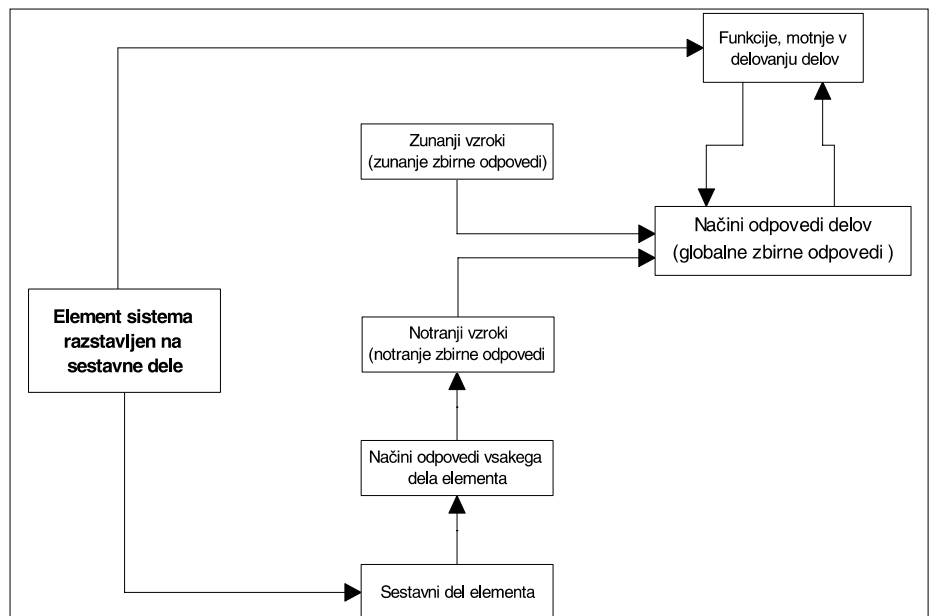
V okviru tretje faze metode FMEA (Študij učinkov načinov odpovedi) je treba ovrednotiti (določiti pomembnost, verjetnost nastanka in kritičnost) vsakega izmed načinov odpovedi elementa sistema glede na njegove učinke na vseh nivojih hierarhične strukture sistema ((Dutuit, 2001), (Caror, 2000)), in sicer:



Slika 3 • Postopek identifikacije načinov odpovedi in njihovih vzrokov



Slika 4 • Drevo odpovedi za analizo načinov odpovedi in njihovih vzrokov



Slika 5 • Proces uporabe metode GFCM za identifikacijo načinov odpovedi sestavnih delov elementov sistema

lokalno na nivoju opazovanega dela sistema in na višjih nivojih do nivoja celotnega sistema.

Četrta faza metode FMEA (Zaključki in priporočila) omogoča formuliranje naslednjih priporočil za izvedbo korektivnih aktivnosti za povečanje učinkovitosti sistema:

- zagotovitev, da so bili pri načrtovanju in razvoju sistema upoštevani vsi načini odpovedi elementov in njihovi učinki na delovanje sistema;
- identifikacijo načinov odpovedi glede na obseg njihovega učinka na funkcije sistema;
- identifikacijo sekundarnih odpovedi;
- planiranje vzporedno vezanih enot;
- načrtovanje postopkov odkrivanja odpovedi;
- planiranje vzdrževalnih posegov, ki ustrezajo posameznemu načinu odpovedi.

Med opravljanjem opisanih korektivnih aktivnosti je treba upoštevati naslednje prioritete:

- odpraviti je treba vzroke za odpovedi elementov;
- zmanjšati pogostost ali verjetnost, da pride do odpovedi;
- zmanjšati resnost vpliva odpovedi;
- povečati verjetnost, da bo potencialna odpoved elementov pravočasno odkrita.

Zmanjšanje pogostosti odpovedi predstavlja preventivni ukrep, medtem ko je povečanje

obsega kontrole za odkrivanje odpovedi potreben pogoj za omejevanje že obstoječih odpovedi in ga kot takega opredelimo kot začasno rešitev za pridobitev časa za izvedbo pravega korektivnega ukrepa, ki bo omogočil dokončno rešitev.

Pri izvajanju klasičnih tehnik FMEA se pokažejo določene omejitve te metode pri reševanju problemov, kot so:

- natančno določanje verjetnosti, da se bodo določeni dogodki zgodili, je zelo oteženo oziroma skoraj nemogoče, ker je večina vhodnih informacij izražena v jezikovni obliki, veliko elementov sistemov časovno degradira in so v različnih stanjih, zato je ocenjevanje teh stanj prav tako pogosto subjektivno in opisano le kvalitativno;
- medsebojne odvisnosti med različnimi načini odpovedi in učinki na sistem na različnih nivojih hierarhične strukture sistemov se ne upoštevajo;
- ocena Risk Priority Number (RPN) vzrokov načinov odpovedi ne izpolnjuje zahtevanih meril, ni algebrskih pravil za dodeljevanje števil posameznim indeksom (F, D, S), ki omogočajo izračun RPN ($RPN = F \times D \times S$), zato produkt navedenih indeksov ne upošteva deleža pomembnosti posameznega indeksa.

Opisane pomanjkljivosti klasične metode FMEA lahko pri študiju učinkov načinov odpovedi in vzrokov načinov odpovedi v fazi razvoja novih izdelkov odpravimo z uporabo metodologije, ki temelji na teoriji mehke logike oziroma teoriji mehkih množic. Razlogi za uporabo mehke logike pri izvajanju FMEA v fazi razvoja novih izdelkov so predvsem naslednji:

- vse informacije, povezane z izvajanjem FMEA, so pridobljene in shranjene v naravnem jeziku, zato je uporaba mehke logike za ravnanje s takimi informacijami popolnoma verodostojna, ker osnove mehke logike predstavljajo osnove za komuniciranje in ker je mehka logika lahko zgrajena na izkušnjah ekspertov;
- uporaba mehke logike omogoča uporabo nenatančnih podatkov, zato omogoča obravnavo različnih stanj elementov sistemov in sistemov ter drugih v FMEA vključenih mehkih informacij;
- omogoča izvedbo splošne predpostavke popolne neodvisnosti dokazov in idej, katerih kombinacije se uporabljajo pri izvajanju FMEA;
- uporaba mehke logike pri izvajanju FMEA prav tako omogoča naravno izražanje in kombiniranje kvalitativnih ocen ekspertov o medsebojnih povezavah načinov odpovedi in njihovih vzrokov.

3 • IDENTIFIKACIJA NAČINOV ODPOVEDI, VZROKOV NAČINOV ODPOVEDI, UČINKOV NAČINOV ODPOVEDI ELEMENTOV ZGORNJEGA IN SPODNJEGA USTROJA ŽELEZNIŠKE PROGE

Na podlagi teoretičnih osnov, podanih v točki 2, je treba za identifikacijo načinov odpovedi, vzrokov načinov odpovedi in učinkov načinov odpovedi elementov dela sistema zgornji in spodnji ustroj železniške proge izvesti štiri faze metode FMEA.

V okviru prve faze – Opredelitev dela sistema, njegovih funkcij in elementov – opredelimo zgornji in spodnji ustroj železniške proge in njune funkcije, izdelamo hierarhično strukturo zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge, izdelamo šifrantne elementov zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge ter definiramo funkcije elementov zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge na vseh hierarhičnih nivojih. V tej fazi izdelamo tudi funkcionalne in logične diagrame zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge in njihovih elementov ter medsebojne odvisnosti in vezavo elementov s stališča zanesljivosti, kar upoštevamo v šifrantih elementov zgornjega in

spodnjega ustroja železniške proge. V šifrantih opredelimo tudi vrsto elementov zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge in način njihovega delovanja, kar bo osnova za opredelitev različnih stanj elementov zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge.

Na podlagi postopka identifikacije načinov odpovedi in njihovih vzrokov, prikazanega na sliki 3, v okviru druge faze, na podlagi podatkov iz eksploatacije železniških prog, izvedenih predhodnih analiz za napovedovanje razpoložljivosti, zanesljivosti, vzdrževanosti in varnosti železniških prog, izdelamo spisek potencialnih načinov odpovedi elementov zgornjega in spodnjega ustroja železniških prog, pri čemer upoštevamo predhodno opredeljene funkcije elementov zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge in stanja elementov, za katere je smiselno izvajati metodo FMEA. Hkrati s pripravo spiska potencialnih načinov odpovedi opredelimo tudi vzroke potencial-

nih načinov odpovedi. Pri iskanju vzrokov za posamezni način odpovedi najprej ugotovimo možne vrste vzrokov na podlagi spiska, nato pa določimo konkretne vzroke obravnavanega načina odpovedi.

Zaradi lažjega ločevanja med načinom in vzrokom odpovedi elementa dela sistema možne načine odpovedi razdelimo na odpovedi v zgradbi elementa, mehanske odpovedi in električne odpovedi, vzroke načinov odpovedi pa na vzroke znotraj elementa dela sistema in vzroke zunaj elementa zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge. Pri ločevanju načina odpovedi od vzroka odpovedi uporabljamo tudi deduktivno metodo drevesa odpovedi, v kateri upoštevamo tudi različna stanja elementov, v katerih so elementi med eksploatacijo obravnavane proge. Drevo odpovedi za analizo načinov odpovedi in njihovih vzrokov je prikazano na sliki 4.

Končno identifikacijo načinov odpovedi elementov zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge v določenem stanju opravimo na podlagi temeljite analize ter primerjave spiska potencialnih načinov odpovedi in spiska vzrokov načinov odpovedi posameznega elementa zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge.

Rezultat izvedene druge faze FMEA so izdelani šifranti načinov odpovedi, vzrokov načinov odpovedi elementov zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge, ki so navedeni v nadaljevanju.

ŠIFRANT POTENCIALNIH NAČINOV ODPOVEDI ELEMENTOV ZGORNJEGA IN SPODNJEGA USTROJA ŽELEZNIŠKE PROGE

Šifra načina odpovedi	POTENCIALNI NAČIN ODPOVEDI
-----------------------	----------------------------

100 ODPOVEDI V ZGRADBI ELEMENTA ZGORNJEGA IN SPODNJEGA USTROJA ŽELEZNIŠKE PROGE

- 101 Zlom
- 102 Zlom vara
- 103 Zlom sestavnega dela
- 104 Počenost
- 105 Razrahljanost ločljive zveze (klasičnega spoja)
- 106 Obrabljenost preko predpisanih toleranc
- 107 Neenakomerna obrabljenost
- 108 Trajna deformiranost
- 109 Zgorelost
- 110 Zdrobljenost
- 111 Pretrganost, raztrganost
- 112 Razrahljanost nerazstavljive zveze
- 113 Sploščenost
- 114 Staljenost
- 115 Izrabljenost
- 116 Razjednost
- 117 Pregretost
- 118 Dotrajanost
- 119 Hrapavost
- 120 Osmojenost
- 121 Zažganost
- 122 Razsušenost
- 123 Spremembe nastavitvene vrednosti
- 124 Zbitost
- 125 Zaskočenost
- 126 Netesnost
- 127 Razpokanost
- 128 Odpadlost dela elementa
- 129 Posedenost
- 130 Valovitost
- 131 Deformiranost osnovne oblike elementa
- 132 Odpoved elementa zaradi napake v strukturi materiala
- 133 Zgnetenost
- 134 Predrtje
- 135 Razbrazdanost
- 136 Zlepljenost
- 137 Korodiranje površin
- 138 Zablatenost (gramozne grede)

- 139 Razmagnetnenost (magnet za kovinske dele)
- 140 Prekoračenost predpisanih toleranc (profil železniških prog)
- 141 Zdrs (naravnih tal)
- 142 Porušitev elementa
- 143 Zasičenost (temeljnih tal z vodo)
- 144 Usad (naravna tla)
- 145 Nепrevoznost
- 146 Zasutost
- 147 Vlažnost
- 148 Nepravilna vgradnja elementa
- 149 Zagozdenost
- 150 Odvitost (matica, vijak)
- 151 Neprepustnost
- 152 Nepretočnost
- 153 Zaobljenost (zrna tolčenca)
- 154 Nepravilna granuliranost (gramozne grede)
- 155 Razrahljanost (tal)
- 156 Osušenost (drevesni ščitni nasadi)
- 199 Ostalo

200 MEHANSKE ODPOVEDI ELEMENTA ZGORNJEGA IN SPODNJEGA USTROJA ŽELEZNIŠKE PROGE

- 201 Vdor vode
- 202 Vdor olja hidravličnega sistema
- 203 Iztekanje olja iz hidravličnega sistema
- 204 Zamašenost
- 205 Erozijsko delovanje vode
- 206 Zalijte (z vodo)
- 207 Neprehodnost
- 208 Iztekanje injekcijske mase
- 209 Odpoved pri zagonu (kretniški pogonski motor)
- 210 Odpoved pri izklapljanju (kretniškega pogonskega motorja)
- 211 Poledenelost
- 212 Odkrušenost (ostrice, srca)
- 213 Zasneženost (proge)
- 214 Zasutost (proge, tirnega traku)
- 215 Onesnaženost stičnih površin
- 216 Prekoračenost dopustnega tlaka v hidravličnem sistemu
- 217 Prerezanost (kretnice, sklopke pogonskega motorja)
- 218 Zamaščenost (drsnih stikov)
- 219 Geometrijska napaka (smer, višina)
- 220 Izpodjedenost (brežine)
- 221 Preprečeni konstruktivni pomiki
- 299 Drugo

300 ELEKTRIČNE ODPOVEDI ELEMENTA ZGORNJEGA USTROJA ŽELEZNIŠKE PROGE

- 301 Prekinitev vrvi (zvezne, ozemljilne)
- 302 Prekinitev tokokroga
- 302 Kratek stik (preboj)
- 303 Prekoračitev dopustne upornosti

- 304 Sprememba električnih lastnosti materialov
- 305 Pretrganje električnega vodnika
- 306 Iskrenje (kretniški pogonski motor)
- 307 Prebitje izolatorja
- 308 Pregorelost (transformatorja)
- 309 Odpoved kondenzatorja (kret. pog. motor)
- 310 Pregorelost navitja (navitje elektr. mot. pogona)
- 311 Prebitje izolacije električnega vodnika
- 399 Drugo

ŠIFRANT VZROKOV POTENCIALNIH NAČINOV ODPOVEDI ELEMENTOV ZGORNJEGA IN SPODNJEGA USTROJA ŽELEZNIŠKE PROGE

Šifra vzroka načina odpovedi	VZROK NAČINA ODPOVEDI
------------------------------	-----------------------

100 VZROKI ZNOTRAJ ELEMENTA ZGORNJEGA IN SPODNJEGA USTROJA ŽELEZNIŠKE PROGE

- 101 Nepravilna konstrukcija elementa
- 102 Nepravilna izdelava elementa
- 103 Nepravilna montaža elementa
- 104 Nepravilna nastavitve elementa
- 105 Nepravilna vezava elementa
- 106 Nepravilna obremenitev elementa
- 107 Uporaba napačnega elementa
- 108 Nepravilno vzdrževanje elementa
- 109 Namerna poškodba elementa – železniško osebje
- 110 Namerna poškodba elementa – tretja oseba
- 111 Utrujenost (staranje) materialov elementa
- 112 Korozija
- 113 Prekoračene dopustne notranje napetosti v elementu
- 114 Napake v strukturi materiala elementa
- 115 Trajne deformacije elementa ločljive zveze
- 116 Neustrezna površinska zaščita elementa
- Odpoved drugega elementa**
- 150 Previsoka temperatura okolice
- 151 Nepravilen tlak
- 152 Slabo tesnjenje
- 153 Vibracije zaradi odpovedi ali nepravilnega delovanja drugega elementa
- 154 Mehanski udari zaradi nepravilnega delovanja drugega elementa
- 155 Porušitev temeljnih tal
- 156 Neustrezna sestava elementa
- Nepravilna uporaba elementa**
- 170 Neplanska eksploatacija elementa
- 171 Nepravilno posluževanje elementa

172	Nepravilen poseg v element	201	Visoke temperature okolice elementa	216	Namerna destruktivna dejavnost tretje osebe
173	Nepravilna geometrija tira	202	Nizka temperatura okolice elementa	217	Nenamerna dejavnost (napaka) železniškega osebja
174	Nepravilna vgradnja elementa	203	Visoka vlažnost okolice elementa	218	Nenamerna dejavnost (napaka) tretje osebe
175	Neustrezen moment privijanja elementa (vijak)	204	Intenzivne padavine	219	Nalet železniškega vozila na element
176	Sprememba nastavitvenih vrednosti elementa	205	Prekoračene koncentracije prašnih delcev	220	Nalet (padec) skale na element
177	Neustrezna požarna odpornost elementa	206	Atmosferska izpraznitev	221	Prekoračena dopustna obremenitev elementa
178	Popuščanje veznih sredstev	207	Poplava	222	Prekoračeni dopustni dinamični vplivi na element
179	Prekoračen rok trajanja elementa	208	Potres	223	Neustrezno odvodnjavanje
180	Neustrezna protikorozijska zaščita elementa	209	Zemeljski plaz	224	Biološki in kemični vplivi na element
181	Neustrezne dimenzije elementa	210	Snežni plaz	225	Prekoračena dopustna električna napetost v elementu
199	Drugo	211	Požar	226	Prekoračen dopustni električni tok v elementu
200	VZROKI ZUNAJ ELEMENTA ZGORNJEGA IN SPODNJEGA USTROJA ŽELEZNIŠKE PROGE	212	Izredni dogodek (iztirjenje železniških vozil)	299	Drugo
		213	Nihanje napajalne napetosti		
		214	Prekinjeno dovajanje električnega toka v elementa		
		215	Namerna destruktivna dejavnost železniškega osebja		

4 • ŠTUDIJ UČINKOV RAZLIČNIH NAČINOV ODPOVEDI ELEMENTOV ZGORNJEGA IN SPODNJEGA USTROJA ŽELEZNIŠKE PROGE IN NJIHOVIH VZROKOV

V okviru tretje faze izvedbe FMEA opravimo študij učinkov posameznih načinov odpovedi (določimo pomembnost posameznega načina odpovedi, verjetnost nastanka in njegovo kritičnost) in njihovih vzrokov ter tako vsakega izmed načinov odpovedi elementov zgornjega

in spodnjega ustroja železniške proge ovrednotimo glede na njegove učinke, pri čemer upoštevamo, da je učinek načina odpovedi skupek vseh možnih posledic posameznega načina odpovedi ter da učinek posameznega načina odpovedi elementa zgornjega in

spodnjega ustroja železniške proge določa pomembnost in kritičnost tega načina odpovedi oziroma elementa za nerazpoložljivost železniške proge.

Določanje učinkov načinov odpovedi začnemo na fistem nivoju hierarhične strukture, na katerem je opazovani element, in nadaljujemo do najvišjega nivoja (nivoja celotnega dela sistema – zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge).

5 • PRIMER UPORABE OPISANE METODOLOGIJE ZA IZVEDBO FMEA ZA TIRNICO SISTEMA 49E1, VGRAJENO V ŽELEZNIŠKI TIR ODPRTE PROGE

Pri študiju načinov odpovedi, vzrokov načinov odpovedi in njihovih učinkov upoštevamo naslednja stanja tirnice v tirničnem traku železniškega tira odprte proge:

1. Tirnica, zavarjena v neprekinjeno zavarjeni tir (NZZ) – železniška vozila ne vozijo preko tirnice.
2. Tirnica, zavarjena v NZZ – med vožnjo železniških vozil preko tirnice.
3. Tirnica, vgrajena v stikovani tir – železniška vozila ne vozijo preko tirnice.
4. Tirnica, vgrajena v stikovani tir – med vožnjo železniških vozil preko tirnice.

FMEA izvedemo za vsako stanje posebej v obliki posebne tabele, ki jo povzamemo po literaturi ((Hudoklin, 1994), (Hudoklin, 1995)) tako, da prepoznamo vse funkcije in potencialne načine odpovedi tirnice ter potencialne vzroke prepoznanih načinov odpovedi. Zaradi omejitev pri pripravi članka opravimo analizo

potencialnih vzrokov načina odpovedi, analizo pomembnosti prepoznane načina odpovedi in analizo kritičnosti načina odpovedi le za prepoznani način odpovedi – »zlom tirnice«, pri čemer za izračun kritičnosti zloma tirnice uporabimo tudi metodo FMEAC. Izračun kritičnosti zloma tirnice opravimo le za stanje, ko je tirnica zavarjena v NZZ – med vožnjo železniških vozil preko tirnice –, in stanje, ko je tirnica vgrajena v stikovani tir – med vožnjo železniških vozil preko tirnice, ker sta to stanji, v katerih nastane največ zlomov tirnic. V analizi upoštevamo katastrofalne in degradacijske odpovedi tirnice sistema 49E1, vgrajene v železniški tir odprte proge izbrane železniške proge na območju slovenskih železnic, v določenem stanju, v obdobju enega leta. Za obravnavani način odpovedi (zlom tirnice) poleg pomembnosti učinka načina odpovedi določimo še verjetnost njegovega nastanka.

Zaradi vodenja podatkov o odpovedih v datoteki podatkov o odpovedih v bazi podatkov o razpoložljivosti zgornjega ustroja železniških prog učinek oziroma pomembnost zloma tirnice na podlagi opredeljene hierarhične strukture zgornjega ustroja železniške proge (del sistema → podsistem dela sistema → del podsistema → funkcionalna enota → sklop → komponenta) ovrednotimo s šestmestnim zaporedjem števil 0,1 in 2, kjer:

- številka 0 pomeni, da način odpovedi ne učinkuje na komponento, sklop, funkcionalno enoto, del podsistema, podsistem dela sistema ali na del sistema kot celoto;
- številka 1 pomeni, da način odpovedi povzroči omejeno delovanje komponente, sklopa, funkcionalne enote, dela podsistema, podsistema dela sistema ali dela sistema kot celote;
- številka 2 pomeni, da način odpovedi povzroči prekinjeno delovanje komponente, sklopa, funkcionalne enote, dela podsistema, podsistema dela sistema ali dela sistema kot celote.

Pri tem upoštevamo, da je lahko učinek načina odpovedi na določenem hierarhičnem nivoju največ iste stopnje, kot je učinek načina odpovedi na nižjem nivoju.

Šifra učinka načina odpovedi v tem primeru pomeni, da učinek načina odpovedi povzroči prekinjeno delovanje komponente, omejeno delovanje sklopa, omejeno delovanje funkcionalne enote, omejeno delovanje dela podsistema, omejeno delovanje podsistema, na zgornjem ustroju železniške proge, kot celoti, pa ta način odpovedi ne povzroči učinkov.

Kritičnost načina odpovedi (zloma tirnice) je določena s kombinacijo njegove pomembnosti in verjetnosti za nastanek. Verjetnost za nastanek zloma tirnice, na podlagi podatkov iz eksploatacije tirnice, klasificiramo kot: zelo majhno, majhno, srednje in veliko. Kritičnost zloma tirnice določimo s kombinacijo njegove pomembnosti in verjetnosti za nastanek in jo tudi numerično ovrednotimo, pri čemer določimo ocene za naslednje parametre:

λ – pogostost odpovedi tirnice;

α – delež pogostosti zloma tirnice v celotni pogostosti odpovedi tirnice;

β – verjetnost učinka zloma tirnice;

t – koledarski čas ali čas vožnje železniškega vozila preko tirnice.

Pogostost odpovedi tirnice λ določimo na podlagi podatkov iz eksploatacije tirnice v izbranem obdobju opazovanja, pri čemer predpostavimo, da je tirnica v obdobju normalnega delovanja, zato lahko pogostost odpovedi tirnice v posameznem stanju računamo po enačbi $\lambda = \frac{r}{T_{kum}}$; kjer je:

r – število katastrofalnih in degradacijskih odpovedi tirnice v stikovanem tiru oziroma v neprekinjeno zavarjenem tiru izbrane železniške proge v opazovanem obdobju, ki so imele za posledico odpoved železniške proge;

t_{kum} – kumulativni čas delovanja vseh primerkov tirnice v opazovanem obdobju.

Pri izračunu kumulativnega časa delovanja tirnice v opazovanem obdobju upoštevamo povprečni čas vožnje vlakov na obravnavani progi v 24 urah, izračunamo pa ga na podlagi dejanskega grafikona vožnje vlakov na obravnavani progi v obdobju opazovanja.

Delež pogostosti zloma tirnice v celotni pogostosti odpovedi tirnice α pomeni verjetnost, da bo tirnica odpovedala na ta način. Ocenimo ga na podlagi podatkov iz eksploatacije tirnic in z analizo njenih funkcij v železniškem tiru odprte proge.

Verjetnost učinka zloma tirnice β je pogojna verjetnost, da se učinek realizira pri pogoju, da je tirnica odpovedala, ko se je zlomila. Verjetnost učinka zloma tirnice ocenimo z vrednostmi med 0 in 1 na podlagi podatkov iz eksploatacije tirnic sistema 49E1 in na podlagi lastne presoje.

Koledarski čas ali čas vožnje železniškega vozila preko tirnice t izhaja iz definicije železniškega tira odprte proge.

Na podlagi zgoraj opisanih elementov λ , α , β , t izračunamo kritičnost zloma tirnice v posameznem stanju po enačbi:

$$C_n = \lambda \cdot \alpha \cdot \beta \cdot t, \quad (1)$$

kjer n pomeni šifro načinov odpovedi tirnice iz šifrantu. V obravnavanem primeru je $n = 101, 102, 104, 127, 129, 199$.

Rezultati izvedenih FMEA in FMECA za tirnico sistema 49E1, vgrajeno v železniški tir odprte proge na izbrani železniški progi železniškega omrežja v Sloveniji, so prikazani v preglednicah 1 do 4.

Primer šifriranja učinka načina odpovedi:

Komponenta	Sklop	Funkcionalna enota	Del podsistema	Podsistem	Del sistema
2	1	1	1	1	0

Preglednica 1

ANALIZA NAČINOV ODPOVEDI, NJIHOVIH VZROKOV, UČINKOV IN KRITIČNOSTI

Stanje 1: Tirnica, zavarjena v NZT – železniška vozila ne vozijo preko tirnice

Naziv dela sistema: Železniška proga, št. 70, Jesenice–Sežana

Element: Tirnica sistema 49E1 železniškega tira odprte proge

Datum: 20. 8. 2010

Analiziral: Miran Abram

Stran 1/2

Identifikacijski podatki o komponenti				Funkcije in stanja komponente		Potencialni načini odpovedi komponente					
Šifra komp.	Naziv komp.	Vrsta komp.	Način delov.	Funkcije	Stanja	Odpoved v zgradbi komp.	Šif. n. odp.	Meh. odp.	Šif. n. odp.	Električna odpoved	Šif. n. odp.
0103030001	Tirnica v tirn. traku želez. tira odprte proge	Mehanska	Stalno	1. Prevzem obrem. zaradi temp. sprememb, def. tira in geom. tira. 2. Sestavni element tirne rešetke	1 - Zavarjena v NZT – želez. vozila ne vozijo preko tirnice	Zlom Zlom zvara Počenost Razpokanost Odpadlost dela Druge napake v strukturi mat. tir. po klasifikaciji UIC – kodex 712 E	101 102 104 127 129 199				

Stanje 1

Stran 2/2

Šifra načina odpov.	Uporabljena metoda			Potencialni vzroki načinov odpovedi				Pomembnost načina odpovedi na nivoju					
	An. del.	Testi zan.	Predh. an.	Znotraj sistema	Šif. vzr.	Zunaj sistema	Šif. vzr.	Komp.	Sklopa	Funkc. enote	Dela pod-sist.	Pod-sist.	Dela sist.
101 Zlom tirnice	x		x	Nepravilnosti v strukt. mat. Utrujenost mat. Prekoračene dop. nap. zaradi vgradnje v NZT Prekoračena obraba tirnice	111 108 110 118	Nepravilno sproščanje napetosti po vgradnji v NZT Prenizke temperature okolice Odpoved žel. pragov Vibracije zaradi popuščanja veznega in pritrilnega pribora Vert. in hor. deformacije tira Nepredpisano urejena gramozna greda	112 113 114 115 116 117	2	-	2	2	1(2)	1(2)

Preglednica 2

ANALIZA NAČINOV ODPOVEDI, NJIHOVIH VZROKOV, UČINKOV IN KRITIČNOSTI
Stanje 2: Tirnica, zavarjena v NZT – železniška vozila vozijo preko tirnice

Naziv dela sistema: Železniška proga, št. 70, Jesenice–Sežana

Element: Tirnica sistema 49E1 železniškega tira odprte proge

Datum: 20. 8. 2010

Analiziral: Miran Abram

Stran 1/4

Identifikacijski podatki o komponenti				Funkcije in stanja komponente		Potencialni načini odpovedi komponente					
Šifra komp.	Naziv komp.	Vrsta komp.	Način del.	Funkcije	Stanja	Odpoved v zgradbi komp.	Šif. n. odp.	Mehanska odpoved	Šif. n. odp.	El. odp.	Šif. n. odp.
0103030001	Tirnica v tirn. traku žel. tira odprte proge	Mehan.	Med vožnjo	1. Prevzem stat. in din. obrem. železniških vozil. 2. Prisilno vodenje železniških vozil v določeni smeri. 3. Prevzem obrem. zaradi temp. sprememb, def. tira in geometrije tira. 4. Sestavni element tirne rešetke.	2 - Zavarjena v NZT – med vožnjo želez. vozil preko tirnice	Zlom Zlom zvara Počenost Razpokanost Valovitost Odpadlost dela Druge napake v strukturi mat. tir. po klasifikaciji UIC – kodex 712 E	101 102 104 127 130 129 199	Čez merna obraba Neena-kom. obraba Zbitost	106 107 125		

Stanje 2

Stran 2/4

Šifra načina odpov.	Uporabljena metoda			Potencialni vzroki načinov odpovedi				Pomembnost načina odpovedi na nivoju					
	An. del.	Testi zan.	Predh. an.	Znotraj sistema	Šif. vzr.	Izven sistema	Šif. vzr.	Komp.	Sklopa	Funk. enote	Dela pod-sist.	Pod-sist.	Dela sist.
101 Zlom tirnice	x		x	Nepravilnosti v strukt. mat. Utrujenost materiala Prekoračene dop. nap. zaradi vgradnje v NZT Prekoračene dop. nap. zaradi prometne obremenitve Prekoračene dop. nap. zaradi prometne obremenitve in vgradnje v NZT Prekoračena obraba tirnice	111 108 110 119 120 118	Nepravilno sproščanje nap. po vgr. v NZT Prenizke temperatura okolice Odpoved železniških pragov Vibracije zaradi popuščanja veznega in pritrdilnega pribora Vertikalne in horizontalne deformacije tira Nepredpisano urejena gramozna greda želez. tira	112 113 114 115 116 117	2	-	2	2	1(2)	1(2)

Stanje 2

Stran 3/4

Šifra načina odpov.	Uporabljena metoda			Potencialni vzroki načinov odpovedi			Kritičnost načina odpovedi na nivoju							
	An. del.	Testi zan.	Predh. an.	Znotraj sistema	Šif. vzr.	Izven sist.	Šif. vzr.	Komp.	Sklopa	Funk. enote	Dela pod-sist.	Pod-sist.	Dela sistema	
101 Zlom tirnice	x		x	Nepravilnosti v strukt. materiala Utrujenost materiala Prekoračene dop. napet. zaradi vgradnje v NZT Prekoračene dop. napet. zaradi prometne obremenitve Prekoračene dop. napet. zaradi prometne obremenitve in vgradnje v NZT Prekoračena obraba tirnice	111 108 110 119 120 118	Nepravilno sproščanje nap. po vgradnji v NZT Prenizke temp. okolice Odpoved žel. pragov Vibracije zaradi popuščanja veznega in pritrd. pribora Vert. in hor. deformacije tira Nepredpisano urejena gramozna greda	112 113 114 115 116 117	$C_{101}^{NZT}=0.0065$						

Stanje 2

Stran 4/4

Šifra vzr. nač. odpov.	Predvideni ukrepi za odpravo vzrokov odpovedi						Izvedeni ukrepi za odpravo vzrokov odpovedi					
	Preventivni			Korektivni			Preventivni			Korektivni		
	Ukrep	Odgov. oseba	Rok	Ukrep	Odgov. oseba	Rok	Ukrep	Odgov. oseba	Dat.	Ukrep	Odgov. oseba	Dat.
108
110
111
112
113
114
115
116	Poostren nadzor nad stanjem tira, zamenjava dotr. elem. tira, sproščanje nap. v tirnici, strojna reg. tira.	VNP TRZU	1 mesec	Poostren nadzor nad stanjem tira, zmanjšanje vozno redne hitrosti vlakov.	TRZU	Takoj	.....	.....	.....	.....	.....	.....
117
118
119
120

Preglednica 3

ANALIZA NAČINOV ODPOVEDI, NJIHOVIH VZROKOV, UČINKOV IN KRITIČNOSTI
Stanje 3: Tirnica, vgrajena v stikovani tir – železniška vozila ne vozijo preko tirnice

Stran 1/2

Naziv dela sistema: Železniška proga, št. 70, Jesenice–Sežana

Element: Tirnica sistema 49E1 železniškega tira odprte proge

Datum: 20. 8. 2010

Analiziral: Miran Abram

Identifikacijski podatki o komponenti				Funkcije in stanja komponente		Potencialni načini odpovedi komponente					
Šifra	Naziv	Vrsta	Način del.	Funkcije	Stanja	Odpoved v zgradbi komp.	Šif. n. odp.	Meh. odp.	Šif. n. odp.	El. odp.	Šif. n. odp.
0103030001	Tirnica v tirničnem traku žel. tira odprte proge	Meh.	Stalno	1. Prevzem obrem. zaradi temp. spr., def. tira in geometrije tira. 2. Sestavni element tirne rešetke.	3 – Vgrajena v stikovani tir – želez. vozila ne vozijo preko tirnice	Zlom Zlom zvara Počenost Razpokanost Odpadlost dela Druge napake v strukturi mat. tir. po klasifikaciji UIC – kodeks 712 E	101 102 104 127 129 199				

Stanje 3

Stran 2/2

Šifra načina odpov.	Uporabljena metoda			Potencialni vzroki načinov odpovedi				Pomembnost načina odpovedi na nivoju					
	An. del.	Testi zan.	Predh. an.	Znotraj sistema	Šif. vzr.	Zunaj sistema	Šif. vzr.	Komp.	Sklopa	Funkc. enote	Dela pod-sist.	Pod-sist.	Dela sist.
101 Zlom tirnice	x		x	Nepravilnosti v strukt. mat. Utrujenost mat. Prekoračene dop. napet. zaradi nepravilne dilatacije Prekoračena obraba tirnice	111 108 110 118	Nepravilna dilatacija pri vgradnji v tir Prenizka temperatura okolice Odpoved žel. pragov Vibracije zaradi popuščanja veznega in pritrilnega pribora Vert.e in hor. def. tira Nepredpisano urejena gramozna greda	112 113 114 115 116 117	2	-	2	2	1(2)	1(2)

Preglednica 4

ANALIZA NAČINOV ODPOVEDI, NJIHOVIH VZROKOV, UČINKOV IN KRITIČNOSTI
Stanje 4: Tirnica, vgrajena v stikovani tir – železniška vozila vozijo preko tirnice

Stran 1/4

Naziv dela sistema: Železniška proga, št. 70, Jesenice–Sežana

Element: Tirnica sistema 49E1 železniškega tira odprte proge

Datum: 20. 8. 2010

Analiziral: Miran Abram

Identifikacijski podatki o komponenti				Funkcije in stanja komponente		Potencialni načini odpovedi komponente					
Šifra	Naziv	Vrsta	Način del.	Funkcije	Stanja	Odpoved v zgradbi komp.	Šif. n. odp.	Meh. odp.	Šif. n. odp.	El. odp.	Šif. n. odp.
0103030001	Tirnica v tirn. traku žel. tira odprte proge	Meh.	Med vožnjo	1. Prevzem stat. in din. obrem. žel. vozil. 2. Prisilno vodenje žel. vozil v določeni smeri. 3. Prevzem obrem. zaradi temp. sprem., def. tira in geometrije tira. 4. Sestavni element tirne rešetke.	4 – Vgrajena v stikovani tir – med vožnjo žel. vozil preko tirnice	Zlom Zlom zvara Počenost Razpokanost Valovitost Odpadlost dela Druge napake v strukturi mat. tir. po klasifikaciji UIC – kodeks 712 E	101 102 104 127 130 129 199	Čezmerna obraba Neenakom. obraba Zbitost	106 107 125		

Stanje 4

Stran 2/4

Šifra načina odpov.	Uporabljena metoda			Potencialni vzroki načinov odpovedi				Pomembnost načina odpovedi na nivoju					
	An. del.	Testi zan.	Predh. an.	Znotraj sistema	Šif. vzr.	Izven sistema	Šif. vzr.	Komp.	Sklopa	Funkc. enote	Dela pod-sist.	Pod-sist.	Dela sist.
101 Zlom tirnice	x		x	Nepravilnosti v strukt. materiala Utrujenost materiala Prekoračene dop. nap. zaradi vgradnje v stikovani tir Prekoračene dop. napet. zaradi prometne obrem. Prekoračene dop. napet. zaradi prometne obrem. in vgradnje v stik. tir Prekoračena obraba tirnice	111 108 110 119 120 118	Nepravilna dilatacija pri vgradnji v stikovani tir Prenizka temperatura okolice Odpoved žel. pragov Vibracije zaradi popuščanja veznega in pritrilnega pribora Vert. in hor. deformacije tira Nepredpisano urejena gramozna greda	112 113 114 115 116 117	2	-	2	2	1(2)	1(2)

Stanje 4

Stran 3/4

Šifra načina odpov.	Uporabljena metoda			Potencialni vzroki načinov odpovedi				Kritičnost načina odpovedi na nivoju					
	An. del.	Testi zan.	Predh. an.	Znotraj sistema	Šif. vzr.	Zunaj sistema	Šif. vzr.	Komp.	Sklopa	Funkc. enote	Dela pod-sist.	Pod-sist.	Dela sist.
	x		x	Nepravilnosti v strukt. mat. Utrujenost mat. Prekoračene dop. nap. zaradi vgradnje v stikovani tir Prekoračene dop. nap. zaradi prometne obrem. Prekoračene dop. nap. zaradi prometne obrem. in vgradnje v stik. tir Prekoračena obraba tirnice	111 108 110 119 120 118	Nepravilna dilatacija pri vgradnji v stikovani tir Prenizka temperatura okolice Odpoved železniških pragov Vibracije zaradi popuščanja veznega in pritrilnega pribora Vert. in hor. def. tira Nepredpisano urejena gramozna greda	112 113 114 115 116	$C_{101}^{STIK} = 0,0032$					

Stanje 4

Stran 4/4

Šif. vz. nač. odp.	Predvideni ukrepi za odpravo vzrokov odpovedi						Izvedeni ukrepi za odpravo vzrokov odpovedi					
	Preventivni			Korektivni			Preventivni			Korektivni		
	Ukrep	Odg. os.	Rok	Ukrep	Odg. os.	Rok	Ukrep	Odg. os.	Dat.	Ukrep	Odg. os.	Dat.
108
110
111
112
113
114
115
116
117	Dopolnitev gramozne grede z novim tolčencem, izvedba strojne regulacije tira.	VNP TRZU	2 mes.	Dopolnitev gramozne grede z obstoječim tolčencem, ročna regulacija tira.	VNP TRZU	Takoj	...	...	...	...	...	...
118
119
120

6 • IZRAČUN KRITIČNOSTI ZLOMA TIRNICE 49E1 V STANJU 2 IN 4

Vhodni podatki:

Enotirna železniška proga št. 70 Jesenice-Sežana

Dolžina proge: 129,8 km

Število medpostajnih odsekov: 13

Konstrukcija železniškega tira odprte proge:

65 % dolžine proge – NZT, 35 % dolžine proge stikovan tir; "k" pritrditev tirnic na lesene pragove; železniški tir odprte proge na medpostajnem odseku sestavljata dve tirnici sistema 49E1.

Obdobje opazovanja: 1. 6. 2009–1. 6. 2010

Podatki o odpovedih tirnic: V opazovanem obdobju je bilo na odsekih odprte proge, kjer so tirnice zavarjene v NZT, evidentiranih 33 zlomov tirnic in 21 drugih odpovedi tirnic (zlom zvara, počena tirnica, razpokana tirnica, odpadli del tirnice, napake v strukturi). Na odsekih, kjer je tir stikovan, je bilo v istem obdobju evidentiranih 26 zlomov tirnic in 17 drugih odpovedi tirnic (počena tirnica, razpokana tirnica, odpadel del tirnice, napake v strukturi).

Podatki o vožnji vlakov v opazovanem obdobju:

Na podlagi analize dejanskih grafikonov vožnje vlakov v opazovanem obdobju je bilo ugotovljeno, da so vlaki opravili na vseh medpostajnih odsekih 101,08 ure vožnje (ur vv) v 24 urah, kar pomeni povprečno 7,7 ure vožnje vlakov na medpostajnem odseku na dan.

V železniški tir odprte proge, ki je zavarjen v NZT, so vgrajene tirnice dolžine 90 m; v

stikovan tir pa tirnice dolžine 44 m. Iz zgoraj navedenega je razvidno, da je na obravnavani progi vgrajenih v neprekinjeno zavarjene železniške tire odprte proge 1863 tirnic dolžine 90 m; v stikovane železniške tire odprte proge pa 2052 tirnic dolžine 44 m.

Kumulativni čas delovanja vseh primerkov tirnic v opazovanem obdobju:

Kumulativni čas delovanja vseh tirnic dolžine 90 m:

$$T_{kum}^{NZT} = 1863 \cdot \frac{7,7}{dan} \text{ ur vv} \cdot 365 \text{ dni} \cdot 3 =$$

$$= 15707884,5 \text{ ur vv}$$

Kumulativni čas delovanja vseh tirnic dolžine 44 m:

$$T_{kum}^{STIK} = 2052 \cdot \frac{7,7}{dan} \text{ ur vv} \cdot 365 \cdot 3 = 17301438 \text{ ur vv}$$

Pogostosti odpovedi tirnice v opazovanem obdobju:

$$\lambda_{NZT} = \frac{r_{NZT}}{T_{kum}^{NZT}} = \frac{54}{15707884,5 \text{ ur vv}} = 3,4 \cdot 10^{-6} \text{ ur vv}^{-1}$$

$$\lambda_{NZT}^{zlom} = \frac{r_{NZT}^{zlom}}{T_{kum}^{NZT}} = \frac{33}{15707884,5 \text{ ur vv}} = 2,1 \cdot 10^{-6} \text{ ur vv}^{-1}$$

$$\lambda_{STIK} = \frac{r_{STIK}}{T_{kum}^{STIK}} = \frac{43}{17301438 \text{ ur vv}} = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ ur vv}^{-1}$$

$$\lambda_{STIK}^{zlom} = \frac{r_{STIK}^{zlom}}{T_{kum}^{STIK}} = \frac{26}{17301438 \text{ ur vv}} = 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ ur vv}^{-1}$$

Delež pogostosti zloma tirnice v celotni pogostosti odpovedi tirnice α :

$$\alpha_{NZT} = \frac{\lambda_{NZT}^{zlom}}{\lambda_{NZT}} = \frac{2,1 \cdot 10^{-6} \text{ ur vv}^{-1}}{3,4 \cdot 10^{-6} \text{ ur vv}^{-1}} = 0,76$$

$$\alpha_{STIK} = \frac{\lambda_{STIK}^{zlom}}{\lambda_{STIK}} = \frac{1,5 \cdot 10^{-6} \text{ ur vv}^{-1}}{2,5 \cdot 10^{-6} \text{ ur vv}^{-1}} = 0,60$$

Verjetnost učinka zloma tirnice β :

$$\beta_{NZT} = 0,30$$

$$\beta_{STIK} = 0,25$$

Čas delovanja tirnice t v urah vožnje vlakov v opazovanem obdobju: $7,7 \cdot 365 \cdot 3$ ur vv = 8432 ur vv (povprečni čas vožnje vlakov na medpostajnem odseku v opazovanem obdobju).

Kritičnost zloma tirnice:

$$C_{101}^{NZT} = \lambda_{NZT} \cdot \alpha_{NZT} \cdot \beta_{NZT} \cdot t =$$

$$3,4 \cdot 10^{-6} \text{ ur vv}^{-1} \cdot 0,76 \cdot 0,30 \cdot 8432 \text{ ur vv} = 0,00653$$

$$C_{101}^{STIK} = \lambda_{STIK} \cdot \alpha_{STIK} \cdot \beta_{STIK} \cdot t =$$

$$2,5 \cdot 10^{-6} \text{ ur vv}^{-1} \cdot 0,60 \cdot 0,25 \cdot 8432 \text{ ur vv} = \underline{\underline{0,003162}}$$

Na podlagi izračunane kritičnosti zloma tirnice v stanju, ko je tirnica zavarjena v NZT med vožnjo železniških vozil preko tirnice C_{101}^{NZT} , in izračunane kritičnosti zloma tirnice v stanju, ko je tirnica vgrajena v stikovani tir med vožnjo železniških vozil preko tirnice C_{101}^{STIK} , sklepamo, da je kritičnost zloma tirnice zavarjene v NZT večja od kritičnosti tirnice, vgrajene v stikovani tir, kar je glede na vrsto konstrukcije neprekinjeno zavarjenega tira in stikovane tira popolnoma logično. Ta ugotovitev potrjuje primernost opisane metodologije za opredelitev načinov odpovedi, vzrokov načinov odpovedi, učinkov načinov odpovedi in kritičnosti načinov odpovedi elementov zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge.

7 • SKLEP

Rezultati opravljenih analiz FMEA in FMECA za vse prepoznane načine odpovedi elementov zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge omogočajo prepoznavanje pomembnosti in kritičnosti posameznih načinov odpovedi elementov zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge, analizo vzrokov tako prepoznanih načinov odpovedi,

primerjavo pomembnosti in kritičnosti enakih elementov zgornjega in spodnjega ustroja na različnih železniških progah, opredelitev elementov zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge, ki neposredno vplivajo na razpoložljivost železniške proge, opredelitev preventivnih in korektivnih ukrepov za odpravo vzrokov za odpovedi kritičnih elemen-

tov zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge. Za take elemente je treba vzpostaviti ustrezen monitoring nad njihovim delovanjem med eksploatacijo železniške proge in ustrezen monitoring nad izvajanjem preventivnih in korektivnih ukrepov, opredeljenih na podlagi rezultatov kvalitativnih analiz. V okviru preventivnih ukrepov je treba opredeliti tudi ustrezno strategijo preventivnega vzdrževanja kritičnih elementov zgornjega in spodnjega ustroja železniške proge.

8 • LITERATURA

- Braglia, M., MAFMA, multi-attribute failure mode analysis, *International Journal of Quality & Reliability Management*, vol. 17, št. 9, str. 1017–1033, 2000.
- Caror, V., Sanz, J., Criticality and sensitivity of the components of a system, *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 68, št. 2, str. 147–152, 2000.
- Dutuit, Y., Rauzy, A., Efficient algorithms to assess component and gate importance in fault tree analysis, *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 72, št. 2, str. 213–222, 2001.
- Hudoklin, A., Frece, M., Hanžel, S., Rozman, V., Stadler, A., Šmitek, B., Zgonc, B., Razpoložljivost železniškega prometnega sistema, Poročilo o raziskovalni nalogi RP 1-93, Univerza v Mariboru, FOV Kranj, 1993.
- Hudoklin, A., Frece, M., Hanžel, S., Rozman, V., Stadler, A., Šmitek, B., Zgonc, B., Razpoložljivost železniškega prometnega sistema, Poročilo o raziskovalni nalogi RP 2-94, Univerza v Mariboru, FOV Kranj, 1994.
- Hudoklin, A., Frece, M., Hanžel, S., Rozman, V., Stadler, A., Šmitek, B., Zgonc, B., Razpoložljivost železniškega prometnega sistema, Poročilo o raziskovalni nalogi RP 3-95, Univerza v Mariboru, FOV Kranj, 1995.
- Hudoklin, A., Frece, M., Hanžel, S., Rozman, V., Stadler, A., Šmitek, B., Zgonc, B., Razpoložljivost železniškega prometnega sistema, Zaključno poročilo o rezultatih opravljenega znanstvenoraziskovalnega dela na področju aplikativnega raziskovanja, Poročilo MZT št. L2-521-0586, Univerza v Mariboru, FOV Kranj, 1996.
- Hudoklin, A., Rozman, V., Zanesljivost in razpoložljivost sistemov človek stroj, Založba Moderna organizacija, Kranj, 2004.
- Moubray, J., *Reliability-Centered Maintenance*, McGraw-Hill, New York, 1997.
- Murchland, J., Fundamental concepts and relations for reliability analysis of multistate systems, reliability and fault tree analysis, *Theoretical and applied probability aspects of system reliability*, SIAM, str. 581–618, 1975.
- Pillay, A., Wang, J., Modified failure and effects analysis using approximate reasoning. *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 79, št. 1, 2003.
- Pham, H., Reliability analysis for dynamic configurations of systems with tree failure modes. *Reliability Engineering & System Safety*, vol.63, št. 1, str. 13–23, 1998.
- Rosenberg, L., Algorithm for finding minimal cut sets in fault tree, *Reliability Engineering & System Safety*, vol.53, št. 1, str. 67–71, 1996.
- Sinnamon, R. M., Andrews, J. D., Improved efficiency in qualitative fault tree analysis, *Quality and Reliability Engineering International*, vol. 13, št. 5, str. 293–298, 1997.
- Stamatis, D. H., *Failure Mode and Effect Analysis, FMEA from theory to Execution*, ASQ Quality Press, Milwaukee, Wisconsin, 1995.
- Villemeur, A., *Reliability, availability, and safety assessment, Volume 1, Methods and Techniques*, John Wiley & Sons, Chichester, 1992.