



Creative Commons Attribution –  
NonCommercial 4.0 International License

Pregledni rad

<https://doi.org/10.31784/zvr.10.1.23>

Datum primitka rada: 26. 5. 2021.

Datum prihvatanja rada: 18. 10. 2021.

# FMEA METODA U ANALIZI KVAROVA OBALNIH DIZALICA

**Karla Babeli**

Mag. ing. traff., doktorandica, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Studentska 2,  
51 000 Rijeka, Croatia; e-mail: babelikarla1@hotmail.com

**Svjetlana Hess**

Dr. sc., redovita profesorica u trajnom zvanju, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Studentska 2,  
51 000 Rijeka, Hrvatska; e-mail: svjetlana.hess@pfri.uniri.hr

**Mirano Hess**

Dr. sc., redoviti profesor, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Studentska 2, 51 000 Rijeka, Hrvatska;  
e-mail: mirano.hess@pfri.uniri.hr

## SAŽETAK

Svaki veliki sustav trebao bi prepoznati i znati upravljati svojim rizicima. Problem istraživanja u ovom radu su kvarovi na kontejnerskim dizalicama, jer je za obalne dizalice u procesu prekrcanja na kontejnerskom terminalu izuzetno važno prepoznati kritične kvarove i pridati im pozornost prilikom redovnog odnosno preventivnog održavanja. Da bi se operativni proces prekrcanja na terminalu odvijao bez zastoja uz osiguranje sigurnosti osoblja te na vrijeme prepoznali kvarovi koji predstavljaju najveći rizik može poslužiti metoda analize oblika i efekata kvarova, koja je odabrana za rješenje problema procjene rizika u ovom radu. Provedeno je anketno ispitivanje osoba koji rade na kontejnerskom terminalu riječke luke o vrsti i učestalosti pojedinih kvarova na obalnim dizalicama. Potom je za svaki kvar ocijenjena razina ozbiljnosti, učestalosti i otkrivanja, na temelju čega su izračunom veličine prioriteta rizika isti rangirani. Dobiveni rezultati ukazuju da najveći rizik ima fizičko oštećenje sajli dok je najmanji rizik predstavljaju neispravne nauglice kontejnera. Ovakav način istraživanja može doprinijeti budućem pravovremenom planiranju održavanja i preventivnog otklanjanja kvarova u svrhu neometanog odvijanja prekrcajnog procesa.

**Ključne riječi:** kvarovi, obalne dizalice, FMEA metoda, prioritet rizika

## 1. UVOD

Obalne mosne dizalice kojima se obavlja proces prekrcanja kontejnera na operativnoj obali su ključan dio sustava kontejnerskog terminala. Radi se o vrlo skupim strojevima bez kojih se ne može osigurati prekrcaj kontejnera s broda, te je potrebno posebnu pažnju posvetiti pravovremenom

učavanju rizika i analizi mogućih kvarova kako bi se osigurala operativna učinkovitost i sigurnost osoblja kao i kvaliteta, pouzdanost i sigurnost prekrcajnog procesa. Značajan doprinos ovome može imati primjena FMEA metode (*Failure Mode and Effects Analysis* - analiza oblika i efekata kvarova/otkaza) koja omogućuje identificiranje mogućih kvarova na dizalici koji predstavljaju najveći rizik za operativni proces prekrcaja te na taj način ukazuje na dijelove kojima treba posvetiti veću važnost prilikom preventivnih pregleda.

U ovom se radu provodi istraživanje mogućih kvarova pri prekrcajnom procesu na primjeru obalnih kontejnerskih dizalica u riječkoj luci uporabom FMEA metode. Terminal raspolaže sa dvije Panamax i dvije Post Panamax kontejnerske dizalice. Nakon provedene analize putem upitnika i obrade dobivenih podataka rezultati metode mogu poslužiti kao osnovna smjernica za redovitu kontrolu, održavanje i prevenciju mogućih kvarova. Također cilj je utvrditi obavljaju li se preventivni pregledi na dizalicama u adekvatnim intervalima te identificirati segment koji predstavlja najveći rizik za sigurno i kontinuirano odvijanje prekrcajnog procesa, a time i optimalno poslovanje terminala.

U znanstvenoj i stručnoj literaturi objavljeno je više radova iz područja primjene FMEA metoda za rangiranje mogućih kvarova na dizalicama.

Autori Kan *et al.* (2018) analiziraju pokretne dizalice koje se koriste u građevinskoj industriji a poznato je da su povezane s velikim udjelom smrtnih slučajeva pri gradnji. Analiza načina kvara može proaktivno otkriti i ukloniti rizike i tako spriječiti da se dogode nesreće. U radu istražuju kvarove pokretnih dizalica primjenom dva klasična analitička pristupa, analiza oblika i efekata kvarova/otkaza (FMEA) i analizu stabla kvarova (FTA) koji mogu koristiti proizvođačima, vlasnicima i operaterima dizalica u odlučivanju o dizajnu, održavanju i radu pokretnih dizalica.

Andriani i Sugiono (2017) u radu primjenjuju FMEA metoda za otkrivanje kvarova na obalnim kontejnerskim dizalicama, a identificirana su 32 moguća načina kvara. Na temelju RPN broja određeni su segmenti s najvećim rizikom te je predložen plan za smanjivanje rizika (obuka operatera dizalice, sigurnosne liste za provjeru i dr.).

Autori Andriani *et al.* (2019) identificiraju 19 rizika na kontejnerskom terminalu. Rezultati dobiveni FMEA metodom ukazali su da najveći rizik ima nesreća prilikom ukrcaja i iskrcaja kontejnera dok je najmanji rizik od razbijenog svjetla na mosnoj dizalici. Određen je plan za ublažavanje rizika i to provođenjem redovitih kratkih sastanaka na početku i kraju smjene operatera, izrada službenih izvještaja, sigurnosni znakovi namijenjeni operaterima, redovita obuka, primjena sustava nagrađivanja).

Pratama *et al.* (2017) u radu istražuju sigurnost procesa ukrcaja i iskrcaja kontejnera sa portalnom dizalicom na gumenim kotačima. Radne aktivnosti odvijaju se tijekom 24 sata što utječe na visoki postotak nesreća u luci Pelabuhan Tanjung Priok. Od 75 nesreća u godinu dana 45 % se dogodilo na slagalištu kontejnera. Mobilnost dizalice je prilično velika što uzrokuje istrošenost gumenih kotača. Provodi se kvalitativna procjena rizika i daju se preporuke za zapošljavanje, obuku radnika, korištenje alata za ispitivanje i puštanje u rad dizalice s obzirom na sigurnosne značajke i izvješće o sigurnosti.

Osim rangiranja rizika od kvarova na dizalicama u znanstvenoj i stručnoj literaturi objavljeni su brojni radovi iz područja primjene FMEA metoda u upravljanju kvalitetom, u medicini, poduzećima, u otkrivanju nesukladnosti proizvoda, u novinskoj proizvodnji za ocjenu kvalitete, u izradi projekata, u području strojarstva, u segmentu održavanja i dr.

Od brojnih tehnika analize rizika Cristea i Constantinescu (2017) navode FMEA i FTA metode kao najčešće korištene tehnike u mehaničkoj i električnoj industriji. U induktivnoj FMEA metodi informacije o posljedicama i učincima kvarova obično se prikupljaju putem intervjua s iskusnim osobama različitih znanja. FMEA se koristi za otkrivanje potencijalnih kvarova/rizika i utjecaja te određivanje njihovih prioriteta na numeričkoj ljestvici koja se naziva prioritet rizika, *Risk Priority Number* (RPN) a kreće se od 1 do 1000. FTA je deduktivna metoda, tj. opći sustav se rastavlja na više jednostavnijih komponenti povezanih vezama i analitički se opisuje kroz strukturu pouzdanosti koja se može vizualizirati kao stablo. Obje metode su vrlo dugotrajne, a posljedica njihove netemeljite provedbe i primjene može biti neotkrivanje mogućih kvarova. Zato autori ovog rada predlažu kombiniranu primjenu metoda FTA i FMEA.

Rabbi (2018) naglašava kako se pri primjeni tradicionalne FMEA metode pojavljuju određene poteškoće poput nejasnih informacija, ocjena relativne važnosti, odluka o istim ocjenama i razlika u mišljenjima stručnjaka koje smanjuju valjanost rezultata. Stoga u radu koriste *fuzzy* FMEA metodu baziranu na *if-then* pravilima u odnosu na tradicionalnu FMEA kako bi donijeli preciznu i pravilnu odluku o održavanju. Analiza rezultata za autodizalice dobivenih tradicionalnom FMEA i *fuzzy* FMEA metodom pokazuje da se točnije i opravdanije rangiranje može postići primjenom *fuzzy* FMEA metode. Potom su dobivene rezultate i mišljenja stručnjaka ugradili u alat za procjenu rizika. Uočavaju da je najveći nedostatak primijenjene metode taj što različite kombinacije tri ocjene parametara daju identičnu vrijednost RPN-a dok su rizici potpuno različiti.

Bak i Krizmanić (2011) smatraju da se provođenjem preventivnih i korektivnih radnji smanjuje učestalost pojavljivanja greške što u konačnici čini proces isplativijim i otklanja nesukladnost iz proizvoda. FMEA analiza je alat kojim se pronalaze svi mogući načini otkazivanja komponenti sustava, analiziraju posljedice koje ta otkazivanja imaju na sustav te mogućnosti izbjegavanja otkazivanja ili smanjivanja utjecaja otkazivanja na sustav. Cilj izbjegavanja grešaka prije nego se one pojave postiže se predviđanjem svega što u sustavu može otkazati. Posljedično, znanje o tome što sve može otkazati daje mogućnost izmjena u sustavu kako bi se otkazivanje spriječilo.

Topić *et al.* (2013) u stručnom radu predlažu upotrebu alata FMEA analize rizika, pri izradi analize rizika djelatnosti vezanih uz ionizirajuće zračenje, te procjeni mogućih loših ishoda uslijed izvanrednog događaja. Konačnu ocjenu ispravnosti analize dao bi na kraju stručni tehnički servis za zaštitu od zračenja, kome bi ova aplikacija olakšala prikupljanje temeljnih informacija i sistematizaciju rizika pojedine djelatnosti.

Dobrović *et al.* (2008) navode da primjena FMEA u upravljanju kvalitetom povećava troškove za kvalitetu, povećavajući prije svega njihovu preventivnu komponentu. U radu su prezentirani parcijalni rezultati provedenog istraživanja koje je bilo usmjereno na primjenu FMEA metode u poslovanju vanjskotrgovinskih poduzeća u Republici Hrvatskoj.

Guiñón, L. *et al.* (2020) navode da laboratoriji u medicini smanjuju rizike kontrolom kvalitete, ali se analitičke pogreške i dalje događaju. Upravljanje rizikom može poboljšati kvalitetu procesa i povećati sigurnost pacijenata. Cilj rada je uporaba FMEA za procjenu analitičkih performansi i mjerenje učinkovitosti provedenih mjera za smanjenje rizika. Provode FMEA metodu za 2017. godinu, te nakon provedenih korektivnih mjera opet provode FMEA. navodeći da je to koristan alat za procjenu analitičke izvedbe, rješavanje problema i ocjenu učinkovitosti poduzetih radnji.

Borković *et al.* (2017) novim pristupom u implementaciji FMEA metode u sustavu novinske proizvodnje predstavljaju nesukladnosti koje se mogu pojaviti u odabranim procesima, temeljem primjene diferenciranog sustava upravljanja kvalitetom. Svaki potproces i radna aktivnost u okviru odabranih procesa novinske proizvodnje diferencirano se evaluira, a analizom se dolazi do potrebne informacije o intenzitetu pojavljivanja, serioznosti i mogućim korektivnim mjerama u svrhu postizanja i održanja visoke razine kvalitete novinskog proizvoda. FMEA analiza je predstavljena u modificiranim tabličnim obrascima za proces proizvodnje novinskog proizvoda, a temeljem dobivenih rezultata su preporučene preventivne i korektive aktivnosti.

Popović (2003) u radu naglašava da je u praksi potrebna velika količina energije, vremena i novca da se provede FMEA analiza jednog kompleksnog sustava te se stoga ulažu veliki naponi u pronalaženje modificiranih, ubrzanih načina za implementaciju ove metode, vodeći pri tome računa da se ne izgubi smisao i koncept analize. Jedan od načina efikasnije primjene ove metode je modifikacija FMEA procesa, određivanjem utjecaja i frekvencije pojavljivanja svakog otkaza. Pokazane su određene nedosljednosti FMEA metode, a koje su vezane za RPN vrijednost. Sve je ilustrirano na primjeru analize nosećih konstrukcija autobusa, sa posebnim osvrtom na komparaciju rezultata dobivenih tradicionalnom i modificiranom metodom.

Ranđelović *et al.* (2010) u svom radu iz područja strojarstva navode da procjena rizika primjenom FMEA metode daje odgovore i uvjete za analizu koja presudno utječe na usvajanje ili odbacivanje tehnoloških i konstruktivnih rješenja. To je prije svega timski orijentirana dinamička metoda zasnovana na multidisciplinarnom pristupu u rješavanju problema FEM modeliranjem. Prvobitni zadatak autora rada je da se smanji rizik od nastajanja grešaka prilikom procesa razvoja i projektiranja novog proizvoda od aluminijskih alata, kako u procesu projektiranja alata, CAD, tako i u samom procesu plastične deformacije postupkom istosmjernog istiskivanja.

Buntak *et al.* (2014) u stručnom radu prikazuju metodologiju implementacije upravljanja rizicima FMEA metodom, odnosno kako ih analizirati i suočiti se s njima. Rad ima za cilj ukazivanje na postojanje potrebe za pravilnim upravljanjem rizicima u organizaciji, te prikazuju implementaciju za organizaciju FMEA metodom općenito i na poduzeću XY.

Vorkapić *et al.* (2017) u uvodnom dijelu rada pojašnjavaju značaj suvremenih tehnika održavanja, kao i njihovu primjenu u pomorskoj praksi. Suvremeni sustavi održavanja temeljeni na stanju i pouzdanosti usredotočeni su na potražnju tržišta za boljim omjerom uloženi sredstava i složene zadatke koje sustavi održavanja trebaju ispuniti. U radu se analiziraju mogućnosti podešavanja intervala održavanja koji su prikazani na primjeru suvremenog sustava za ukapljivanje tereta na tankeru s ukapljenim naftnim plinom.

Na temelju prethodno navedenih istraživanja uočava se opravdanost primjene FMEA metode u otkrivanju, a potom i prevenciji mogućih kvarova na obalnim kontejnerskim dizalicama. Nadalje se u radu nakon kratkog opisa FMEA metode prikazuje postupak prikupljanja podataka postupkom anketnog upitnika provedenog među dizaličarima i radnicima koji rade na održavanju, a koji su imali zadatak detektirati sve moguće kvarove te pojedinom kvaru pridodati određenu vrijednost za parametre otkrivanja, učestalosti i važnosti. Provedba FMEA metode rezultira rangiranjem kvarova izračunavanjem prioriteta rizika. Na kraju se daje komentar rezultata istraživanja, usporedba sa izvedenim i planiranim održavanjem. Zaključno se ukazuje da metoda može poslužiti kao dobar pokazatelj za pregled i kontrolu onih segmenata i dijelova dizalica za koje je izračunat najveći rang rizika.

## 2. METODA FMEA I NAČIN PRIKUPLJANJA PODATAKA

FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*, analiza načina i posljedica kvarova) je sustavna metoda sprječavanja nastanka kvarova. Može se tumačiti kao skup organiziranih i timskih akcija usmjerenih na: 1) prepoznavanje i prosuđivanje mogućih oblika pojavljivanja kvarova, njihovih uzroka i posljedica; 2) utvrđivanje mjera u svrhu umanjivanja vjerojatnosti ili sprječavanja pojave potencijalnog kvara i 3) dokumentiranje procesa radi kumuliranja stečenog znanja za novi ciklus operativnog procesa. Ukratko, FMEA je sustavna metoda kojom se identificiraju i sprečavaju problemi na proizvodu ili u procesu prije nego što nastanu (Drljača, 2010).

Zadaća FMEA metode je: prepoznati, ocijeniti i provedbom odgovarajućih mjera smanjiti potencijalne kvarove i rizik. Ciljevi primjene FMEA metode imaju ishodište u preventivnom djelovanju kod upravljanja rizicima. Nastoji se spriječiti nastanak kvara, odnosno na odgovarajući način riješiti posljedice ako se kvar nastupi. Analiza primjenom FMEA metode provodi se provedbom sljedećih aktivnosti: prepoznavanje potencijalnih kvarova, procjena parametara ozbiljnosti (S), učestalosti (O) i otkrivanja (D) kvara te na kraju računanje veličine prioriteta rizika (RPN), a formula za izračun je (Kiran, 2017):

$$RPN = S \times O \times D$$

gdje je:

RPN – prioritet rizika (*Risk Priority Number*)

S – parametar ozbiljnosti (*Severity*),

O – parametar učestalosti (*Occurrence*),

D – parametar otkrivanja (*Detection*).

Parametri ozbiljnosti (S), učestalosti (O) i otkrivanja (D) kvara unose se u rang od 0 do 10. Veća ocjena predstavlja najgori mogući slučaj, tj. ocjenom deset se označava kvar koji se javlja najčešće, ima najgore posljedice i najteže ga je otkriti.

Rangiranje u FMEA metodi se vrši pomoću RPN pokazatelja (*Risk Priority Number*). RPN vrijednost korisniku ukazuje na segment kojem se treba dati najveći prioritet i posvetiti najveća pažnja. Vrijednost izračunatog prioriteta rizika RPN kreće u rang od 0 do 1000. Veća vrijednost

RPN pokazatelja ukazuje na činjenicu da je komponenta kritična i da treba imati veći prioritet prilikom održavanja sustava. Za lakše dokumentiranje potencijalnih kvarova i njihovih uzroka sa FMEA metodom, koristi se FMEA tablica koja nije standardizirana i može varirati ovisno o ciljevima analize pa je tako i u ovom radu Tablica 1 prilagođena predmetu istraživanja.

Iako metoda omogućuje utvrđivanje segmenta koji predstavlja najveći rizik, također ima i određena ograničenja u pogledu određivanja vjerojatnosti kvara. Vjerojatnost kvara nekada je teško te gotovo nemoguće odrediti. Također, metoda ne predviđa kada bi se točno održavanje trebalo izvršavati te ne predviđa točan raspored održavanja.

Kontinuirani rad mosnih dizalica za prekrcaj kontejnera uzrokuje povećanu potrebu da se utvrde svi rizici i detektiraju mogući kvarovi koji se mogu pojaviti na mehanizaciji. Budući da se sve više tereta prekrcava, logično je zaključiti da će se i mehanizacija više trošiti te da je potrebno posvetiti veću pažnju preventivnim pregledima i kontrolama kako bi se osigurala sigurnost osoblja, nesmetani protok kontejnera te ekonomska učinkovitost. Dizalice se kao i svi sustavi nakon određenog perioda rada kvare odnosno ne izvršavaju zadanu funkciju ili ju ne izvršavaju na zadovoljavajući način. Dizalice se kao sustav mogu definirati kao neredundantni tehnički sustav budući da je za radno stanje sustava nužno radno stanje svih njegovih komponenti, a to su sustavi netolerantni na neispravnost.

Prvi korak u provedbi FMEA metode je definiranje procesa koji će biti predmetom analize i primjene metode, utvrđuju se ciljevi i period za koji će analiza biti provedena. U ovom radu se istražuju mogući kvarovi na obalnim dizalicama pri operativnom procesu prekrcaja kontejnera na terminalu riječke luke, a istraživanje je ograničeno na period od jedne godine.

Prikupljanje podataka za izradu navedenog primjera počinje formiranjem Tablice 1, koja je izrađena sukladno ciljevima istraživanja i analize u ovom radu te sadržava parametre otkrivanja, ozbiljnosti i učestalosti kvarova na dizalicama. Za svaki parametar su ukratko opisani kriteriji koje treba promatrati i bilježiti i to u razdoblju od jedne godine.

Tablica 1. Procjena otkrivanja, ozbiljnosti i učestalosti kvara i opis pojedinog kriterija

OTKRIVANJE KVARA (D)		OZBILJNOST KVARA (S)		UČESTALOST KVARA (O)		FDV
Procjena otkrivanja kvara	Opis kriterija	Procjena ozbiljnosti kvara	Opis kriterija	Procjena učestalosti kvara	Opis kriterija (u godini dana)	
Gotovo nemoguće	Kontrola neće ili ne može otkriti mogući kvar, kontrole nema	Opasna, bez upozorenja	Posljedice vrlo visokog stupnja, kvar nastaje bez upozorenja	Gotovo uvijek	Kvar se uvijek događa	10
Vrlo nesigurno	Vrlo nesigurna mogućnost da će kontrola otkriti mogući kvar	Opasna, s upozorenjem	Posljedice vrlo visokog stupnja, kvar nastaje nakon upozorenja	Vrlo često	Kvar se vrlo često događa	9
Nesigurno	Nesigurna mogućnost da će kontrola otkriti mogući kvar	Vrlo velika	Proces prekrcaja nemoguć ili u zastoju	Često	Kvar se često događa	8
Mala	Mala mogućnost da će kontrola otkriti mogući kvar	Velika	Proces prekrcaja moguć, ali sa čestim zastojima	Učestalo	Kvar se učestalo ponavlja	7
Srednja	Osrednja mogućnosti da će kontrola otkriti mogući kvar	Srednja	Proces prekrcaja moguć, ali uz velike poteškoće, i zastoje	Povremeno	Kvar se povremeno događa	6
Srednje velika	Srednje velika mogućnost da će kontrola otkriti mogući kvar	Mala	Prekrcaja moguć uz manje poteškoće i brzo nastavlja nakon kraćeg zastoja	Rijetko	Kvar se rijetko događa	5
Velika	Velika mogućnost da će kontrola otkriti mogući kvar	Vrlo mala	Neki manje važni dijelovi ne rade, prekrcaj se može obavljati uz manje zastoje	Rjeđe	Kvar se rjeđe događa	4
Vrlo velika	Vrlo velika mogućnost da će kontrola otkriti mogući kvar	Gotovo zanemariva	Neki manje važni dijelovi ne rade, prekrcaj se može obavljati	Vrlo rijetko	Kvar se vrlo rijetko događa	3
Gotovo sigurno	Kontrola će gotovo sigurno otkriti mogući kvar	Zanemariva	Neki manje važni dijelovi ne rade, prekrcaj se odvija bez zastoja	Najrjeđe se događa	Mogućnost pojave kvara je vrlo mala	2
Sigurno	Kontrola će sigurno otkriti mogući kvar	Nikakva	Nema posljedica	Gotovo nikad	Kvar se gotovo nikada ne događa	1

Izvor: prilagođeno prema Drljača, 2010.

Uzorak ispitanika sastavljen je od radnika na kontejnerskom terminalu koji rade u procesu prekrcaja (dizaličarima) te radnika koji su zaduženi za održavanje mehanizacije na terminalu pa tako i obalnih dizalica. Uz pomoć dostupne dokumentacije, dnevnih radnih lista, operativnih tablica o redovnom, preventivnom i izvanrednom održavanju te nepredviđenim pojavama kvarova i na temelju svog iskustva i dugotrajne prakse u radu sa dizalicama ispitanici su imali zadatak da ispune upitnik. Ispitanici su u prvom koraku trebali navesti sve vrste mogućih kvarove za koje znaju da su se pojavili u periodu od godinu dana. Ti su kvarovi potom upisani u anketni upitnik koji je, uz pomoćnu Tablicu 1, vraćen nazad ispitanicima uz napomenu da svakom identificiranom kvaru trebaju dodijeliti određenu vrijednost za otkrivanje, ozbiljnost i učestalost kvara, sukladno Tablici 1.

Prema tome, procjena učestalosti pojedinog kvara, mogućnosti otkrivanja kvara i vrsta ozbiljnosti kvara napravljene su na način da su dodijeljene odgovarajuće vrijednosti propisane Tablicom 1. Vrijednosti FDV (*Failure Demerit Value*) predstavlja ozbiljnost potencijalnog kvara i što je pokazatelj FDV veći broj to je vjerojatnost otkrivanja kvara manja, a ozbiljnosti i učestalosti kvara veća i obrnuto, što je vrijednost pokazatelja FDV manja to je vjerojatnost otkrivanja kvara veća, dok je ozbiljnost i učestalost pojave tog kvara manja.

### 3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

U prvom koraku istraživanja ispitanici su identificirali sljedeće kvarove koji predstavljaju rizik pri odvijanju prekrcajnog procesa:

- neispravne nauglice kontejnera,
- kvar motornih invertera,
- kvar kočnica sustava podizanja tereta,
- kvar električne opreme upravljanja pogona,
- mehanički kvar reduktora podizanja tereta,
- fizičko oštećenje sajli,
- kvar sustava motora vožnje, te
- kvar sustava grane.

Potom su gore navedene kvarove u dobivenom upitniku ispitanici rangirali s obzirom na tri kriterija/parametra: otkrivanje kvara, ozbiljnost kvara i učestalost kvara u razdoblju od godinu dana. Pri tome su trebali najveći broj 10 dodijeliti kvaru koji se ne može otkriti kontrolom, kvaru koji je vrlo ozbiljan i gotovo uvijek se pojavljivao u godinu dana, dok je najmanji broj 1 dodijeljen ako se kvar sigurno može otkriti kontrolom, nije ozbiljan kvar i gotovo nikada se nije pojavio u razdoblju od godinu dana.

Nakon dobivenih povratnih odgovora od ispitanika, podaci su obrađeni, grupirani i predstavljeni u Tablicama 2-4 gdje se nalaze prosječne vrijednosti svih odgovora ispitanika složeni po ocjeni pojedinog kvara. U Tablici 2 navedene su vrijednosti za procjenu mogućnosti otkrivanja kvara kontrolom navedenih dijelova/uređaja za koje je kvar identificiran. Vrednovanje je izvršeno dodjeljivanjem odgovarajuće vrijednosti od 1 do 10, pri čemu ovdje veći broj znači manju



mogućnost da se kontrolom utvrdi nastanak mogućeg kvara. Upisane su prosječne vrijednosti dobivenih odgovora ispitanika.

Tablica 2. Vrednovanje vjerojatnosti otkrivanja mogućih kvarova na dizalicama

Mogući kvarovi	Otkrivanje kvara (D)	FDV
Kvar sustava motora vožnje	Srednje velika mogućnost da se sa kontrolom otkrije mogući kvar	5
Kvar motornih invertera	Srednje velika mogućnost da kontrola otkrije mogući kvar	5
Fizičko oštećenje sajli	Velika mogućnost da će kontrola otkriti mogući kvar	4
Kvar sustava grane	Velika mogućnost da će kontrola otkriti mogući kvar	4
Kvar električne opreme upravljanja pogona	Vrlo velika mogućnost da će kontrola otkriti mogući kvar	3
Kvar kočnica sustava podizanja tereta	Vrlo velika mogućnost da će kontrola otkriti mogući kvar	3
Mehanički kvar reduktora podizanja tereta	Vrlo velika mogućnost da će kontrola otkriti mogući kvar	3
Neispravne nauglice kontejnera	Vrlo velika mogućnost da će kontrola otkriti mogući kvar	3

Izvor: autori

Za mogućnost otkrivanja kvara dobiveni rezultati istraživanja ukazuju da, od svih prepoznatih kvarova, kvar sustava motora vožnje i kvar motornih invertera imaju najmanju mogućnost pravovremenog otkrivanja kvara te zato spadaju u kategoriju dosta ozbiljnih i opasnih kvarova. Stoga je izuzetno važno te segmente redovito kontrolirati i provjeravati. Nadalje, zbog neispravnih nauglica kontejnera, tijekom manipulacije *spreaderom*, učestalo dolazi do fizičkog zaglavljivanja ključa u predviđene rupe na kontejneru, no za taj kvar je identificirano da se može sa vrlo velikom mogućnošću otkriti, a isto vrijedi i za kvar električne opreme upravljanja pogona, kvar kočnica sustava podizanja tereta i mehanički kvar reduktora podizanja tereta. Fizičko oštećenje sajli i kvar sustava grane imaju veliku mogućnost da kontrola utvrdi mogući kvar.

Tablica 3. Vrednovanje ozbiljnosti mogućih kvarova na dizalicama

Mogući kvarovi	Ozbiljnost kvara (S)	FDV
Fizičko oštećenje sajli	Posljedice vrlo visokog stupnja, kvar nastaje nakon upozorenja	9
Kvar kočnica sustava podizanja tereta	Posljedice vrlo visokog stupnja, kvar nastaje nakon upozorenja	9
Mehanički kvar reduktora podizanja tereta	Posljedice vrlo visokog stupnja, kvar nastaje nakon upozorenja	9
Kvar motornih invertera	Posljedice vrlo visokog stupnja, kvar nastaje nakon upozorenja	9
Kvar sustava grane	Proces prekrcaja nemoguć ili u zastoju	8
Kvar električne opreme upravljanja pogona	Proces prekrcaja moguć, ali sa čestim zastojsima	7
Kvar sustava motora vožnje	Proces prekrcaja moguć uz manje poteškoće te se brzo nastavlja nakon kraćeg zastoja	5
Neispravne nauglice kontejnera	Neki manje važni dijelovi ne funkcioniraju, ali se prekrcaj može obavljati uz manje zastoje	4

Izvor: autori

U Tablici 3 navedene su vrijednosti za ozbiljnost mogućih kvarova. Vrednovanje je izvršeno dodjeljivanjem odgovarajuće vrijednosti od 1 do 10, pri čemu ovdje veći broj znači i veću ozbiljnost posljedica koje nastaju uslijed kvara. Tako je fizičko oštećenje sajli, kvar kočnica sustava podizanja tereta, mehanički kvar reduktora, kvar motornih invertora imaju posljedice vrlo visokog stupnja međutim kvar nastaje nakon upozorenja. Neispravne nauglice kontejnera spada u manje ozbiljne kvarove jer se prekrcaj može obavljati uz manje zastoje.

U Tablici 4 navedene su vrijednosti za učestalost pojave kvarova. Vrednovanje je izvršeno dodjeljivanjem odgovarajuće vrijednosti od 1 do 10, pri čemu ovdje veći broj znači i veću učestalost događanja kvara.

Tablica 4. Vrednovanje učestalosti mogućih kvarova na dizalicama

Mogući kvarovi	Učestalost kvara (O)	FDV
Kvar sustava motora vožnje	Kvar se povremeno događa	6
Kvar električne opreme upravljanja pogona	Kvar se povremeno događa	6
Neispravne nauglice kontejnera	Kvar se povremeno događa	6
Fizičko oštećenje sajli	Kvar se rijetko događa	5
Kvar kočnica sustava podizanja tereta	Kvar se rjeđe događa	4
Kvar motornih invertera	Kvar se vrlo rijetko događa	3
Kvar sustava grane	Kvar se vrlo rijetko događa	3
Mehanički kvar reduktora podizanja tereta	Kvar se vrlo rijetko događa	3

Izvor: autori

Iz Tablice 4 vidljivo je da su ispitanici za kvar sustava motora vožnje, kvar električne opreme upravljanja pogona i neispravne nauglice kontejnera definirali povremeno događanje, dok se svi ostali identificirani kvarovi rijetko ili vrlo rijetko događaju.

#### 4. DISKUSIJA I USPOREDBA REZULTATA

U Tablici 5 se pored svakog opisa kriterija (iz Tablice 1) u zagradama nalazi dodijeljena vrijednost ozbiljnosti FDV iz Tablica 2-4, te su u zadnjem stupcu izračunate vrijednosti pokazatelja RPN za svaki uočeni mogući kvar, a na temelju kojih su kvarovi u Tablici 5 i rangirani.

Provedeno istraživanje ukazalo je da fizičko oštećenje sajli ima najveću vrijednost RPN u iznosu 180, potom slijedi kvar sustava motora vožnje (RPN je 150) dok je na trećem mjestu kvar motornih invertera sa RPN brojem 135. Kvar s najvećim RPN brojem odnosno fizičko oštećenje sajli predstavljaju najveći rizik i po poslovanje i po ljudske živote te mu treba pridati najveću pozornost prilikom održavanja.

Na temelju saznanja dobivenih od odjela održavanja na kontejnerskom terminalu, odjel održavanja ima preventivni plan održavanja dizalica baziran na radim satima. Za sve su predviđeni radni nalozi po kojima se vrše pregledi te ako se detektira i utvrdi problem ide se u zamjenu ili na popravak, ovisno o težini i vrsti problema. Podmazivanja dijelova koji za to imaju potrebu obavlja se na mjesečnoj bazi. Neke stvari poput ključeva (*twistlock*-ova) se preventivno mijenjaju bez obzira na

trenutno stanje (200 000 zaključavanja). Isto tako sajle se uredno kontroliraju (mjerenjima) da bi se utvrdila njihova ispravnost.

Tablica 5. Vrednovanje mogućih kvarova na dizalicama i RPN vrijednost

Identifikacija mogućih kvarova na dizalici	Otkrivanje kvara (D)	Ozbilnost kvara (S)	Učestalost kvara (O)	RPN
Fizičko oštećenje sajli	Velika mogućnost da će kontrola otkriti mogući kvar (4)	Posljedice vrlo visokog stupnja, kvar nastaje nakon upozorenja (9)	Kvar se rijetko događa (5)	<b>180</b>
Kvar sustava motora vožnje	Srednje velika mogućnost da će kontrola otkriti mogući kvar (5)	Proces prekrcaja moguć uz manje poteškoće te se brzo nastavlja nakon kraćeg zastoja (5)	Kvar se povremeno događa (6)	<b>150</b>
Kvar motornih invertera	Srednje velika mogućnost da će kontrola otkriti mogući kvar (5)	Posljedice vrlo visokog stupnja, kvar nastaje nakon upozorenja (9)	Kvar se vrlo rijetko događa (3)	<b>135</b>
Kvar električne opreme upravljanja pogona	Vrlo velika mogućnost da će kontrola otkriti mogući kvar (3)	Proces prekrcaja moguć, ali sa čestim zastojima (7)	Kvar se povremeno događa (6)	<b>126</b>
Kvar kočnica sustava podizanja tereta	Vrlo velika mogućnost da će kontrola otkriti mogući kvar (3)	Posljedice vrlo visokog stupnja, kvar nastaje nakon upozorenja (9)	Kvar se rjeđe događa (4)	<b>108</b>
Kvar sustava grane	Velika mogućnost da će kontrola otkriti mogući kvar (4)	Proces prekrcaja nemoguć ili u zastoj (8)	Kvar se vrlo rijetko događa (3)	<b>96</b>
Mehanički kvar reduktora podizanja tereta	Vrlo velika mogućnost da će kontrola otkriti mogući kvar (3)	Posljedice vrlo visokog stupnja, kvar nastaje nakon upozorenja (9)	Kvar se vrlo rijetko događa (3)	<b>81</b>
Neispravne nauglice kontejnera	Vrlo velika mogućnost da će kontrola otkriti mogući kvar (3)	Neki manje važni dijelovi ne funkcioniraju, ali se prekrcaj može obavljati uz manje zastoje (4)	Kvar se povremeno događa (6)	<b>72</b>

Izvor: rezultati istraživanja

Najčešći kvarovi, prema evidenciji odjela održavanja kontejnerskog terminala, su redom:

- 1) mehanički kvarovi u koje spadaju kvarovi sajli, koloturnika i ležajeva, koji su uglavnom otklonjeni zamjenom
- 2) kvarovi u elektrici, kada se obavljala zamjena releja, sklopnika i senzora, te potom

- 3) kvarovi tijekom manipulacije *spreaderom* gdje učestalo dolazi do fizičkog zaglavljenja ključa u predviđene rupe na kontejneru, i to uglavnom zbog fizički oštećenog kontejnera.

Iz prethodno navedenoga se može uočiti da je i provedenom FMEA metodom došlo do sličnih zaključaka, jer na prvom mjestu upravo dolazi do kvarova fizičkog oštećenja sajli, sustava motora vožnje i motornih invertera.

Nakon izvršene procjene RPN vrijednosti predlažu se preporučene akcije i radnje, a potom se cijeli postupak ponavlja kako bi se pokazala djelotvornost korektivnih akcija. Sa revidiranim skupom ocjena ozbiljnosti, otkrivanja i učestalosti izračunava se novi RPN za svaki pojedini definirani kvar. Potom se računa postotak smanjenja RPN-a tako da se može zaključiti da je RPN pokazatelj u procjeni relativnog rizika za određeni kvar vrlo korisno sredstvo.

Kvaliteta izlaznih rezultata analize primjenom FMEA metode ima značajan utjecaj na stupanj uspješnosti odvijanja prekrcajnog procesa. Analiza provedena FMEA metodom predstavlja nacrt za plan kontrole rada dizalice, a za kvarove koji predstavljaju veći rizik odnosno segmente sa značajnim vrijednostima RPN-a se trebaju poduzeti akcije kako bi se smanjila ozbiljnost kvara, smanjila vjerojatnost nastanka kvara i poboljšao segment ili privremeno poboljšala kontrola tog segmenta koji se kviri.

Positivna strana ove metode je da omogućuje široki spektar ocjena što olakšava rangiranje s obzirom na malu vjerojatnost da će veći broj komponenti sustava imati jednaku ocjenu, dok je najveća negativna strana metode subjektivnost ocjena, tj. ocjene ovise o znanju i iskustvu stručnjaka koji ispunjavaju upitnik, identificiraju moguće kvarove i dodjeljuju vrijednosti S, O i D na temelju kojih se računa pokazatelj RPN pa time RPN gubi smisao pokušaju li se rezultati jedne tvrtke usporediti s rezultatima druge. Nedostatak je da se može dobiti ista vrijednost pokazatelja RPN a radi se o sasvim različitoj "težini kvara". Potom, svaki se kvar razmatra individualno, tako da se ne određuju posljedice višestrukih kvarova. Nadalje, FMEA je "živi dokument" kojega treba održavati i ažurirati. Jednom provedenu FMEA analizu treba pregledavati i revidirati s vremenom kako bi sadržavao i eventualnu novu opremu, procese i postupke.

## 5. ZAKLJUČAK

FMEA metoda je vrlo jednostavna i primjenjiva te podrazumijeva odlično poznavanje operativnog, tehnološkog ili prekrcajnog procesa. Osobito važnu ulogu ima stručni tim koji sa svojim kompetencijama može ispravno prepoznati i rangirati potencijalne kvarove te provesti korektivne mjere i aktivnosti.

Prema izračunatim RPN pokazateljima može se zaključiti da fizička oštećenja sajli predstavljaju najveći rizik, a slijede kvar sustava motora vožnje, kvar motornih invertera, te kvar električne opreme upravljanja pogona. Iako je fizičko oštećenje sajli kvar najvećeg rizika, prema učestalosti je rangiran kao kvar koji se rijetko događa te je postoji velika mogućnost da će kontrola otkriti mogući kvar.

Rezultati istraživanja ukazuju da su kvar sustava motora vožnje, kvar električne opreme upravljanja pogona, neispravne nauglice kontejnera, te fizičko oštećenje sajli kvarovi koji se učestalo dešavaju te se u praksi nameće potreba čestog popravka/zamjene ovih uređaja. Svi identificirani kvarovi uglavnom se javljaju radi mehaničkih oštećenja, kratkog spoja, preopterećenja, kvara automatike, invertera te su posljedica ljudskog djelovanja, vremenskog trošenja materijala i dr. U slučaju pojave kvarova postoji nemogućnost zahvaćanja kontejnera tj. sjedanja *spreadera* na kontejner, nemogućnost mijenjanja brzine dizanja kontejnera, usporen rad funkcija dizalice, dizalica se ne može voziti, naginjanje *spreadera*.

Na temelju preventivnog plana održavanja i radnih naloga terminala u razdoblju od godinu dana došlo se do saznanja da su najčešći kvarovi bili mehaničke prirode, a to se u velikoj mjeri podudara sa rezultatima dobivenim provedenom FMEA metodom u ovom radu, odnosno rangiranjem kvarova prema riziku na temelju izračunatih RPN pokazatelja.

Može se zaključiti kako terminal adekvatno održava opremu, obavlja preventivne preglede u odgovarajućim intervalima i zamjenu rezervnih dijelova. Unatoč činjenici da se preventivni pregledi obavljaju pravovremeno činjenica je da su kvarovi uobičajena pojava svakog sustava te uvijek postoje okolnosti koje se ne mogu predvidjeti i na koje se ne može utjecati. Iz provedenog upitnika i izračuna RPN vrijednosti uporabom FMEA metode, u ovom je radu utvrđeno koje segmente treba češće kontrolirati i pratiti te im dati prioritet prilikom održavanja, tako da se dodatno kvarovi svedu na minimum.

Nakon dobivenih rezultata FMEA metode slijedi postupak definiranja potrebnih radnji i akcija kojima bi se trebalo djelovati da se uočeni rizici kvarova uklone ili smanje. Daljnje istraživanje će se bazirati na predloženom planu za smanjivanje rizika (obuka operatera dizalice, sigurnosne liste za provjeru, provođenje redovitih kratkih sastanaka na početku i kraju smjene operatera, izrada službenih izvještaja, sigurnosni znakovi namijenjeni operaterima, primjena sustava nagrađivanja i dr.). Potom, nakon provedenih akcija i realiziranih planova provedba revidirane FMEA metode i utvrđivanju postotka smanjenja uočenih kvarova sa najvećim rizikom.

## LITERATURA

- Aleksić, M. (2009), "Analiza oblika i efekata otkaza". <https://www.slideshare.net/guest9e7b5481/failure-modes-and-effects-analysis-1628876> (26. 1. 2021.)
- Andriani, DP. et al. (2019) "Quantitative risk modelling of occupational safety in green-port" In: IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering*, 546. [https://www.researchgate.net/publication/334046989\\_Quantitative\\_risk\\_modelling\\_of\\_occupational\\_safety\\_in\\_green-port](https://www.researchgate.net/publication/334046989_Quantitative_risk_modelling_of_occupational_safety_in_green-port) (5. 3. 2021.)
- Andriani, DP, Sugiono (2017) "Risk analysis at ship to shore (STS) cranes in container terminal operational system of a greenport using failure mode and effect analysis", *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4(11), pp. 2182-2187.
- Bak, I., Krizmanić, K. (2011) "Primjena FMEA metode kontrole kvalitete u grafičkoj industriji" U: 15. međunarodna konferencije tiskarstva, dizajna i grafičkih komunikacija Blaž Baromić, Senj, Hrvatska, 21.-24. 9. 2011. [https://bib.irb.hr/datoteka/569394.FMEA\\_Bak\\_Krizmanic.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/569394.FMEA_Bak_Krizmanic.pdf) (20. 2. 2021.)
- Bonato, J. Pouzdanost i sigurnost tehničkih sustava. <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:187:935186> (10. 1. 2021.)

- Borković, J. et al. (2017), "Implementacija diferenciranog sustava upravljanja kvalitetom i FMEA metode u novinsku proizvodnju", *Tehnički vjesnik*, 24(4), str. 1203-1211.
- Buntak, K. et al. (2014), Metodologija implementacije upravljanja rizicima FMEA metodom, *Tehnički glasnik*, 8(1), str. 25-33.
- Cristea, G., Constantinescu, DM. (2017) "A comparative critical study between FMEA and FTA risk analysis methods" In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 252.
- Dobrović, T. et al. (2008) "FMEA metoda u upravljanju kvalitetom", *Poslovna izvrsnost*, 2(2), str. 97-103.
- Drljača, M. (2010), *Modeli upravljanja potpunom kvalitetom u funkciji povećanja poslovne izvrsnosti*, doktorski rad, Sveučilište u Rijeci, Fakultet za menadžment u turizmu i ugostiteljstvu, Opatija.
- Guiñón, L. et al. (2020) "Analytical performance assessment and improvement by means of the Failure mode and effect analysis (FMEA)", *Biochemia Medica*, 30(2), pp. 250-256.
- Kan, C. et al. (2018) "Use of analytical tools to mitigate mobile crane-related failures", In: *Proceedings of the Construction Research Congress 2018: Safety and Disaster Management*, American Society of Civil Engineers (ASCE), pp. 184-195. [https://www.researchgate.net/publication/326960676\\_Use\\_of\\_Analytical\\_Tools\\_to\\_Mitigate\\_Mobile\\_Crane-Related\\_Failures](https://www.researchgate.net/publication/326960676_Use_of_Analytical_Tools_to_Mitigate_Mobile_Crane-Related_Failures) (22. 1. 2021.)
- Kiran, D. R. (2017) "Failure Modes and Effects Analysis". In: *Total Quality Management, Key Concepts and Case Studies*, pp. 373-389. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811035-5.00026-X>
- Popović, V. (2003) "Analiza rizika i FMEA metoda", *Journal of Applied Engineering Science*, 1(2), pp. 7-14.
- Pratama, G. et al. (2017), "Safety management on loading process with rubber tyred gantry crane: case study at port of Tanjung Priok", In: *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*, 6(66), pp. 150-164. DOI <https://doi.org/10.18551/rjoas.2017-06.18>
- Randelović, S. et al. (2010), "Hot Extrusion Technology Generation on the Basis of FEM and FMEA Analysis", *Strojarstvo*, 52(1), pp. 43-50.
- Topić, T. et al. (2013) "Primjena FMEA metode pri izradi analize rizika djelatnosti vezanih uz ionizirajuće zračenje, identifikacije mogućih izvanrednih događaja i evaluacije stupnja rizika", *Zbornik radova VI. međunarodne konferencije "Dani kriznog upravljanja"*, Veleučilište Velika Gorica, Velika Gorica, pp. 755-770.
- Vorkapić, A. et al. (2017) "The analysis of the maintenance systems of a LPG carrier's liquefaction system main components", *Pomorstvo*, 31(1), pp. 3-9.



Creative Commons Attribution –  
NonCommercial 4.0 International License

Review article

<https://doi.org/10.31784/zvr.10.1.23>

Received: 26. 5. 2021.

Accepted: 18. 10. 2021.

## QUAY CRANE FAILURE ANALYSIS WITH FMEA METHOD

**Karla Babeli**

Mag. ing. traff., PhD Student, Faculty of Maritime Studies, University of Rijeka, Studentska 2, 51000 Rijeka, Croatia; e-mail: babelikarla1@hotmail.com

**Svjetlana Hess**

PhD, Full Professor tenure, Faculty of Maritime Studies, University of Rijeka, Studentska 2, 51000 Rijeka, Croatia; e-mail: svjetlana.hess@pfri.uniri.hr

**Mirano Hess**

PhD, Full Professor, Faculty of Maritime Studies, University of Rijeka, Studentska 2, 51000 Rijeka, Croatia; e-mail: mirano.hess@pfri.uniri.hr

### ABSTRACT

*Every large system should recognize and know how to manage its risks. The research problem in this paper is failures on container cranes, since it is extremely important, for quay cranes in the process of transshipment at the container terminal, to recognize critical failures and pay attention to them during regular or preventive maintenance. In order that the operational transshipment process at the terminal run efficiently, while ensuring the safety of staff and to identify failures that pose the greatest risk in a timely manner, the method of analyzing the forms and effects of failures can be used. This method is recognized as appropriate for solving the problem of risk assessment in this paper and also contributes to their controlling. A survey of operators working at the container terminal of the Port of Rijeka was conducted, on the type and frequency of individual failures on shore cranes. The level of severity, frequency and detection was then assessed for each failure, on the basis of which they were ranked by calculating the size of the risk priorities. This method of research can contribute to the future timely planning of maintenance and preventive troubleshooting for the purpose of uninterrupted transshipment process.*

**Key words:** failures, quay cranes, FMEA method, risk priority

