

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство
Ниво студија: Мастер академске студије
Модул: Индустијски инжењеринг
Предмет: Организација производње и операциона истраживања
Број индекса: 313/2016

Александра Ж. Срећковић

**Анализа и унапређење квалитета
производње у аутоиндустији
применом FMEA и TOPSIS**

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. Др. Александар Алексић – ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да: а) објасни значај контроле грешака које настају у процесу производње и б) предложи побољшану методу за одређивања приоритета идентификованих грешака на којем се заснива редослед менаџмент активности које треба да се предузму у циљу њиховог отклањања. На основу података који су добијени из пословања једног предузећа ауто индустрије потребно је да тестира развијени модел. Такође, од кандидата се захтева да направи упоредну анализу конвенционалног и развијеног приступа и да на основу добијеног резултата изведе закључна разматрања.

Препоручена литература:

- [1] *The Basics of FMEA*, 2nd Edition, by Raymong J.Mikulak, Robin McDermott, Michael Beauregard, a productivity press book, 2009.
- [2] Ali Benssam, Nadia Nouali-Taboudjemat, Omar Nouali. (2016) *An e-readiness assessment model for disaster management*. International Journal of Information Technology and Management, 118-143.
- [3] Song, W., Ming, X., & Liu, H. C. (2017). Identifying critical risk factors of sustainable supply chain management: A rough strength-relation analysis method. Journal of Cleaner Production, 143, 100-115.

Крагујевац, датум

Ментор:

Проф. Др. Александар Алексић

Резиме

Анализа и квалитет производа представља једну од најважнијих проблема инжењера у свим индустријским предузећима, посебно у аутоиндустрији. У пракси, широко је коришћена FMEA метода. На основу искуства добре праксе, може да се каже да ова метода има велики број недостака. У овом мастер раду, развијен је нов приступ решавања разматраног проблема. Одређивање критеријума према којима се оцењују грешке су дефинисане према FMEA. У конвенционалном приступу, озбиљност последица које настају услед реализације грешака се оцењује са аспекта квалитета. У овом мастер раду, разматрају се још два аспекта, трошкови и безбедност за процену вредности озбиљности последица. Релативна важност аспеката према којима се оцењује важност последица, као и релативна важност критеријума је одређена применом АНР методе. Ранг грешака је одређен применом TOPSIS методе. Приоритет менаџмент иницијатива које треба да се предузму у циљу отклањања грешака је заснован на добијеном рангу. На овај начин, време и трошкови побољшања производа значајно су смањени и истовремено квалитет и поузданост производа се побољшавају. Развијени модел је тестиран на подацима који су добијени из аутокомпаније која егзистира у реалном окружењу.

Кључне речи: анализа грешака, побољшање квалитета производа, FMEA, АНР, TOPSIS.

Abstract

Analysis and product quality is one of the most important problems of engineers in all industrial companies, especially in the automotive industry. Based on the experience of good practice, it can be said that this method has a number of defects. In this master paper, it's developed a new approach for solving the problem. Defining the criteria for evaluating errors are defined by FMEA. In a conventional approach, the severity of the consequences appear from the realization of errors that is assessed from the aspect of quality. In this master paper, are considering two more aspects, costs and safety for evaluation of severity of the consequences. The relative importance of the aspects according to which the consequences to be rated, as well as the relative importance of the criteria that was determined using the AHP method. The error rate is determined using the TOPSIS method. The priority of the management initiatives that needs to be taken to eliminate errors is based on the rank. By this way, the time and costs of product improvement are significantly reduced and at the

same time the quality and reliability of the products are improved. The developed model was tested on data received from a car company that exists in a real environment.

Key words: analysis error, reliability of products, FMEA, AHP, TOPSIS.

Садржај

1. УВОД	6
2. ОСНОВНА РАЗМАТРАЊА О ПОУЗДАНОСТИ ПРОИЗВОДА	8
2.1 Веза квалитета и поузданости производа у аутоиндустрији	8
2.2 Процес производње.....	10
2.3 Методе за унапређење квалитета и поузданости.....	11
3. МЕТОДОЛОГИЈА.....	12
3.1 Ишикава дијаграм	12
3.2 Метода ефективне анализе недостатака (ФМЕА).....	15
3.3 Модификована ФМЕА метода.....	21
3.4 Метода аналитичких хијерархиских процеса АНР.....	23
3.5 TOPSIS метода	24
3.6 Предложени модел	25
4. ИЛУСТРАТИВНИ ПРИМЕР	28
5. ЗАКЉУЧАК.....	38
РЕФЕРЕНЦЕ	40

1. Увод

У данашњем променљивом и неизвесном окружењу, компаније морају бити флексибилне и поуздане како би задовољиле очекивања купаца. Изазови као што су краћи животни циклус производа и технологија, краће време испоруке, висок ниво прилагођавања производа, повећана разноврсност производа, велика очекивања о квалитету производа или варијабилност потражње, доводе до потребе да се више води рачуна о повећању квалитета и безбедности производа.

Поузданост производног система зависи и од његове конфигурације и од начина управљања. Одређивање поузданости производног система засновано је на препознавању и анализи непоузданих машина и опреме. У другој глави рада представљена су основна разматрања о поузданости производа, као и о томе шта је заправо инжињеринг поузданости и његов развој.

У трећем делу рада приказане су методе које се користе у анализи поузданости производа, као што је Ишикава дијаграм, који се користи да би се представили могући узроци специфичног проблема или карактеристика квалитета. Поступак модификације методе ефективне анализе недостатака (FMEA) је детаљно представљен. Озбиљност последица које настају услед реализације грешке се у конвенционалној FMEA методи се процењује са аспекта квалитета. Респектујући резултате најбоље праксе, у овом раду уведена је претпоставка да озбиљност последица треба да се посматра и процени са више аспеката. У овом мастер раду, озбиљност сваке последице је процењена са три аспекта, квалитета, безбедности и трошкова. Такође, сматра се да ови аспекти немају једнаке релативне важности. Процена релативне важности аспеката озбиљности последица је постављен као проблем групног одлучивања и задата је матрицом парова упоређења. Тежина сваког аспекта је добијена применом методе сопственог вектора, аналогно (Saaty, 1990). У традиционалном приступу, ранг идентификованих грешака је заснован на претпоставци да критеријуми према којима се оцењују грешке (озбиљност, вероватноћа појављивања грешке и могућност откривања грешака) имају једнаку важност. Ова претпоставка се може сматрати да је један од главних недостатака FMEA методе. Стога, у овом раду, ранг грешака је постављен као задатак вишекритеријумске анализе. Ранг грешака се на овај начин добија респектовањем свих критеријума који су дефинисани према FMEA методи као и њихових тежина. У

овом раду, рангирање идентификованих грешака је одређен применом TOPSIS методе.

У четвртој глави мастер рада предложена метода је илустрована подацима који су добијени из предузећа ауто индустрије који послују у реалним условима пословања.

У методолошком смислу, главни допринос овог рада је интеграција приступа TOPSIS методе са FMEA анализом. Правци будућих истраживања је поређење резултата добијених применом традиционалне FMEA и предложене методе.

2. Основна разматрања о поузданости производа

У данашњем конкурентском окружењу компаније све више усаглашавају своју организациону структуру и конкурентне стратегије према различитим захтевима тржишта. Компаније унапређују своју способност, дугорочну флексибилност и одзивност процеса. Систем производње и његове унутрашње структуре били су на централном месту предузетничких активности и планова, који подстичу прилагођавање стварним потребама тржишта. Процена поузданости система и предвиђања постала је све важнија, која се тиче различитих фаза оперативног процеса. Од кључног је значаја да се развију ефикасне технике процене поузданости за сложене производне системе, који обично имају различите механизме неуспеха, како би осигурали адекватне перформансе у екстремним и неизвесним захтевима (Leangsuksun, C., Song, H., Shen, L. 2003). Сигуран производни систем осигурава одрживост предузећа у динамичном пословном окружењу. Поузданост процеса је способност опреме и рада система да раде без неуспеха. Процена нам омогућава да идентификујемо узроке неуспеха праћене превенцијом и контролом. Када су описани разлози за отказивање процеса, поузданости производних процеса, може се добити од дневних података производње. Најзначајнија методологија која се бави овим питањем је анализа неуспеха и ефекта (FMEA). Предоминантан и систематичан поступак за идентификацију потенцијалних неуспеха пре него што се појаве, у намери да се смањи ризик повезан са њима. Широко се користи у различитим производним областима као решење за многе проблеме поузданости.

Поузданост производних процеса је кључно питање које обезбеђује стабилан рад система, повећава квалитет производа и смањење производних губитака. Подаци FMEA методе, могу да се користе и у другим методама анализе поузданости процеса, стога FMEA анализа мора бити урађена што је прецизније могуће. Најзначајније параметре FMEA анализе процењују стручњаци, што је посебно важно за параметар тежине грешке (Narayanagounder S., Gurusami K. 2009).

2.1 Веза квалитета и поузданости производа у аутоиндустрији

Једна од карактеристика поузданости производа јесте заправо веза квалитета и поузданости производа. Нико не оспорава потребу за поузданим производима. Просечан потрошач је сасвим свестан проблема мањег од савршене поузданости код домаћих производа као што су телевизори и аутомобили. Организације као што су

авио-компаније, војна и комунална предузећа су свесне трошкова непоузданости. Произвођачи често трпе високе трошкове неуспеха под гаранцијом. Аргумент и неспоразум почињу када покушамо да квантификујемо вредности поузданости или покушамо да доделимо финансијске или друге вредности трошкова или користи на ниво поузданости. Поузданост се може посматрати са гледишта произвођача и гледишта купца. Са стране произвођача, подразумева се да је поуздан производ онај који је произведен по захтевима купаца у одређеном временском периоду. Док је са купчеве стране, поузданост испуњавање свих жеља и карактеристика везаних за дати производ (O'Connor, P. D., O'Connor, P., & Kleyner, A. 2012).

Циљеви инжењеринга поузданости (O'Connor, P. D., O'Connor, P., & Kleyner, A. 2012), по редоследу приоритета, су:

1. Применити инжењерско знање и специјалистичке технике за спречавање или смањење вероватноће или учесталости неуспеха.
2. Идентификовање и исправљање узрока неуспеха који се догађају, упркос напорима да се исти спрече.
3. Утврђивање начина за суочавање са неуспесима који се догађају, ако њихови узроци нису исправљени.
4. Применити методе за процену вероватноће поузданости нових дизајна и за анализу података поузданости.

Инжењеринг поузданости, као одвојена инжењерска дисциплина, настао је у Сједињеним Државама током педесетих година. Све већа сложеност војних електронских система генерисала је стопе неуспеха, што је доводило знатно до смањивања расположивости и повећања трошкова. Министарство одбране САД и индустрија електронике, заједнички су успоставили Саветодавну групу за поузданост електронске опреме (Advisory Group on Reliability of Electronic Equipment-AGREE) 1952. Они су закључили да, да би се смањили трошкови развоја и власништва због ниске поузданости, дисциплине морају бити утврђене као саставне активности у развојном циклусу за електронску опрему. Тестирали су нову опрему на неколико хиљада сати у тешким условима, укључујући високе и ниске температуре, вибрације и прекидање, како би октрили већину слабих области и у раној фази омогућили да се исте исправе пре почетка производње. AGREE је убрзо прихваћен од Министарства одбране и тестирање је брзо постало стандардна процедура (Saleh, J. H., & Marais, K. 2006).

Како би се елиминисале све слабости које доводе до неуспеха, Министарство одбране је издао извештај AGREE о тестирању као амерички војни стандард (US Military Standard MIL-STD) 781, под називом „Reliability Qualification and Production Approval Tests“.

Инжињеринг поузданости се у САД-у развио веома брзо, а програм AGREE и процес поузданости процеса преузела је НАСА и многи главни добављачи и купци високотехнолошке опреме. 1965 године Министарство одбране је издао MIL-STD-785, програм поузданости за системе и опрему. Чиме су успели да открију потенцијалне проблеме поузданости и да их што пре елиминишу, јер су схватили да је такав интегрисани програм једини начин да смање грешке. 1990-их се овај програм проширио и у Европу, где је касније интегрисан у стандард ISO (Coppola, A. 1984).

2.2 Процес производње

Производња је основа било које индустријске активности. Што је већи степен производних активности у земљи, то је већи животни стандард људи. Садржи око 20-30% вредности свих произведених добара и услуга. Може се дефинисати као примена механичких, физичких и хемијских процеса за претварање геометрије, прибора и изгледа датог почетног материјала за производњу готових делова или производа. У модерном смислу, производња укључује међусобне активности које укључују дизајн производа и документацију, селекцију материјала, планирање процеса, производњу, осигурање квалитета, управљање и маркетинг производа. Све ове активности треба интегрисати за производњу одрживих и конкурентних производа. Процес производње је данас постао изузетно сложен захваљујући технолошком напретку у последње три деценије. Материјали и процеси коју су се први пут користили за обликовање производа постепено су се развијали вековима, користећи нове материјале и сложеније операције, што је производњу подигло на виши ниво квалитета (Singh, R. 2006).

Производни процеси могу се сврстати у пет главних категорија на следећи начин (Rao, R. V. 2010):

1. Процеси који се користе за промену облика материјала - ови процеси примењују механичку силу или топлоту, или друге облике и комбинације енергије како би се извршила промена геометрије радног материјала. Ови поступци укључују ливање, вруће и хладно обликовање (као што су ковање,

истискивање, итд.), рад на лимовима (као што су сечење, цртање, савијање, итд.) и платично обликовање.

2. Процеси који се користе за машинске делове према одређеним димензијама - ови процеси укључују традиционалну машинску обраду (као што су обликовање, бушење, брушење, полирање, глодање, итд.).
3. Процеси који се користе за површинску обраду - ови поступци укључују поступке чишћења прљавштине, уља и других површинских загађивача. Такође спадају и површинске операције, операције премазивања и процеси таложења танких слојева.
4. Процеси који се користе за спајање делова - производи који захтевају склапање два или више делова обично се споје процесима као што су заваривање, лемљење, пресовање, закивање, итд.
5. Процеси који се користе за побољшање својстава радног материјала - постоје различити процеси у којима се физичке и механичке особине материјала мењају применом повишене температуре или брзим или поновљеним наглашавањем материјала. Процеси помоћу којих се промене својства укључују јесу операције топлотног третмана, као што су жарење, нормализација, каљење, синтеровање итд.

2.3 Методе за унапређење квалитета и поузданости

Постоје различите методе за унапређење процеса поузданости. Оно што је битно јесте да је увек важно преузимати кораке за њихово побољшање, чак и када се чини да је процес на задовољавајућем нивоу. Континуално побољшање скоро увек доводи до смањења трошкова, веће продуктивности и веће поузданости. Концепт континуалног унапређења је први пут изнео W. E. Deming, и успешно је прихваћен у Јапану, где је добио и назив Kaizen (O'connor, P. D., O'Connor, P., & Kleyner, A. 2012). Неке од метода за унапређење су:

- Једноставни дијаграми. Постоје различити дијаграми који се могу користити за идентификацију и решавање проблема процеса. Парето дијаграм се често користи као полазна тачка за идентификацију датих проблема као и њихових узорака. Ту је и Ишикава дијаграм одн. дијаграм узорка и последица.
- Контролне карте. Оне су најпре „слика“ процеса. Показује како се мерни подаци из процеса или производа, крећу у времену, и шта треба предузимати у циљу побољшавања квалитета. Основни су инструмент помоћу кога се

спроводи статистичка контрола квалитета производа и производног процеса. Њихова основна улога јесте у откривању и визуализацији грешака квалитета производа. Њихов основни задатак јесте да доведу процес производње у стање под контролом, одржавање процеса производње у стању контроле и показати постигнуто стање контроле.

- Дијаграм вишеструке зависности. Служи за идентификацију главних узорка варијације у процесу. Могу се користити за развој процеса и за решавање проблема.
- Статистичке методе. Користе се за побољшање процеса, као и за његово унапређење приликом иницијалног дизајна производа или процеса.
- „Нула грешке“. Овај приступ се развио у САД-у 1960их. Заснива се на постављању циљева квалитета и објављивању резултата. Овај приступ се ретко користи и мали број менаџера га могу имплементирати.
- Кругови квалитета. Настао је у Јапану педесетих година, и сада се користи широм света. Ова метода се користи за решавање проблема како би се идентификовали и исправили у њиховим изворима. Сматра се да оператер најбоље разуме своје радно место, као и проблеме који се јављају, и како може да их реши. Међутим, они обично немају овлашћење или мотивацију за промену. Ова метода даје оператерима могућност да анализирају проблеме и да препоруче њихово решење, организујући их у мале групе, обучене да прате квалитетне перформансе.

3. Методологија

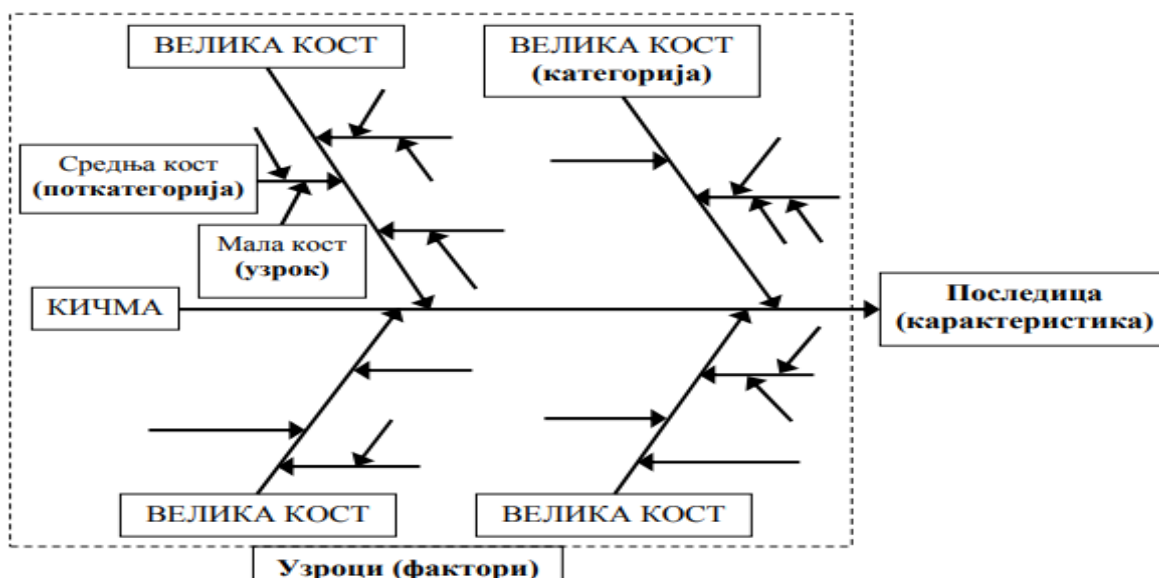
У овој глави мастер рада приказане су методе које се користе у анализи поузданости производа.

3.1 Ишикава дијаграм

За препознавање опасности и процену ризика постоје многи начини и методе, а сваки од њих има своје предности и недостатке. Код избора адекватне методе треба узети у обзир актуално стање у организацији, доступне податке или финансијске могућности као и знање инжењера који је оцењивач.

Једна од најшире коришћених метода која се користи за идентификовање фактора ризика је Дијаграми узрок – последица. Овај дијаграми је познат као Дијаграм

“рибља кост” или Ишикава дијаграм, по јапанском научнику Каору Ишикави, где је он ову методу први пут применио у јапанском бродоградилишту. Често се може приметити у литератури и назив рибље кости за овај дијаграм, због свог специфичног изгледа. Предност ове методе је што се истражују остварени ризици и приказује однос између последице и узрока. Помоћу дијаграма узрок – последица се може приказати међусобни однос између узрока који могу да доведу до настајања ризичног догађаја и последица које настају услед материјализације узрока (Levy, M., Weitz, B.A. 2004). Ова метода може да се представи на слици 1.



Слика 1. Ishikawa дијаграм (Levy, M., Weitz, B.A. 2004)

Добро развијен дијаграм нема мање од два нивоа, а већина има три или више нивоа. Ишикава је својим излагањем утврдио да у процесу стварања грешака постоји укупно 6 великих група узрока и назвао их је 6М и то: опрема, метода, материјал, човек, мерења и околина. У следећем кораку је проширио узроке техником 5W: где, шта, кад, ко и зашто. Овом техником би требао да се открије узрок насталог проблема (Fikret S. 2003:258).

Да би се креирао Ишикова дијаграм потребно је испунити следеће кораке:

1. Дефинисање последице (одлучивање о последици која ће бити анализирана). Последица може бити позитивна (циљ) и негативна (проблем). Циљ може бити оптимистично на цео тим, док негативно последица може такође утицати позитивно, јер се приликом посматрања ове последице могу пронаћи проблеми који су изазвали дату негативну последицу. На слици 2 је приказан општи облик Ишикава дијаграма.



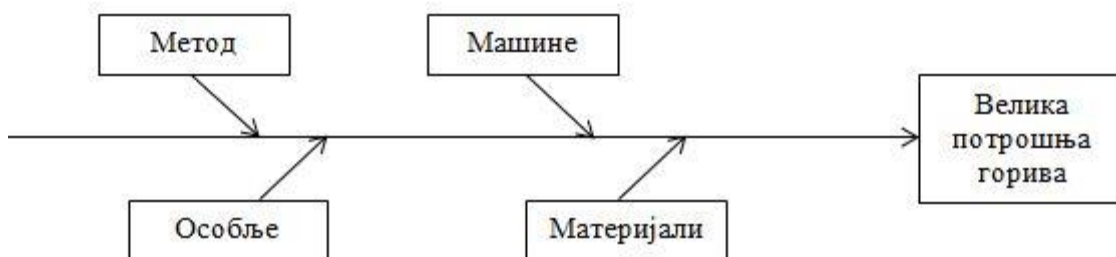
Слика 2. Општи облик Ишикава дијаграма

2. Цртање последице – креира се такозвана „кичма“ и на крају правоугаоник који представља последицу (слика 3).



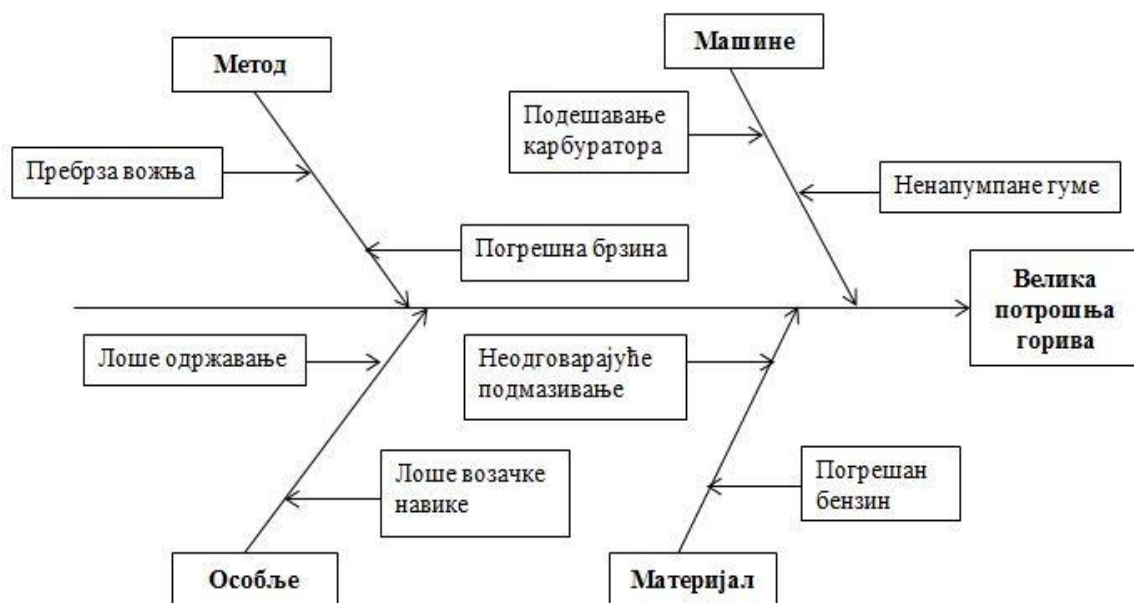
Слика 3. Цртање „последице“ на дијаграму

3. Идентификовање могућих узрока који доприносе нацртаној последици (слика 4).



Слика 4. Цртање узорака

4. Идентификација осталих фактора (слика 4)
5. Идентификовање узорака – проналажење узорака на још дубљем нивоу (као што је поменуто питањем „ЗАШТО“). Нпр. Зашто је радник користио пребрзу вожњу и слично (видети на слици 5).
6. Анализа узорака (слика 5).



Слика 5. Анализа узорака

Код анализе се може приметити да се ни један узрок не понавља и да „лоше одржавање“ може бити узрок, за које је могуће извести мерења (Fikret S. 2003).

3.2 Метода ефективне анализе недостатака (FMEA)

FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) је метода применом које се идентификују, анализирају и превентивно уклањају грешке који се јављају у неком процесу или производу. Основни појмови који се користе у FMEA су (J.Mikulak, McDermott R., Beauregard M. 2009):

- *Отказ* – одступање од планиране функције или понашања, немогућност система или подсистема да обави планирану функцију.
- *Начин отказа* – облик како одређени елемент отказује, тј описује ситуацију у којој се елемент налази после отказа.
- *Узрок отказа* – узрок одговоран за покретање отказа, као што су нпр. дефект у производу/производњи, физички отказ машине, утицај околине итд.
- *Ефекат отказа* – последица отказа на рад или функцију елемената и система.

Ова метода је развијена за потребе америчке војске средином 60тих година прошлог века. Током другог светског рата установљено је у америчкој војсци да је ниво поузданости опреме јако низак. Чак 60% опреме које су испоручивали на бојишта Далеког истока, било је неисправно као и 50% опреме које су чували у магацинама.

Након ових сазнања, инжењери и научници су убрзо почели да развијају методе које ће помоћи да се овакве ситуације у будућности не понове.

После успешне примене ове методе у америчкој војсци као и у НАСИ, ова метода је средином 70-тих година XX века почела да се примењује у различитим пословним процесима различитих привредних домена. На основу података из релевантне литературе FMEA се успешно користи у различитим доменима (J.Mikulak, McDermott R., Beauregard M. 2009).

Пре свега FMEA се примењује у процесима ауто индустрије. Један од првих који је применио ову методу био је Форд који ју је прихватио у дизајнирању својих возила након што је 1978. године морао да повуче са тржишта возило Форд Пинто (Raymond J.Mikulak, Robin McDermott, Michael Beauregard 2009). Током 90-тих година XX века FMEA се најчешће повезује са концептом Шест Сигмом и разматра се као један од њених алата. Ова метода може да се примени у било ком процесу, како у процесу пројектовања производа тако и у процесу испоруке финалних производа. Може да се каже да ако се FMEA метода примењује у процесу пројектовања производа, тада се значајно повећава ефективност и ефикасност свих пословних процеса који се реализују према технолошком поступку иза овог пословног процеса. На основу литературе Два главна типа FMEA методе су (J.Mikulak, McDermott R., Beauregard M. 2009):

- (1) дизајн FMEA (DFMEA) - применом ове методе се анализира пројекат производа или система и утврђује се који отказ на ком елементу утиче на производ или систем.
- (2) процес FMEA (PFMEA) - применом ове методе се анализира пројекат производа или система испитивањем начина на који отказ елемента утиче на производ или систем.

Применом ове методе откривају се фактори ризика који утичу на квалитет производа, смањује поузданост процеса, што доводи до повећање незадовољства купаца као и смањење безбедности процеса рада и/или производа. Ови фактори ризика су: људски фактори, методе које се користе током обраде материјала, квалитет материјал, производна опрема која се користи, и фактори околине који утичу на перформансе процеса.

Пре реализације FMEA методе, потребно је донети одлуку да је неопходно да се ова метода примењује и одлуку о именовању чалнова FMEA тима.

Одлуку о примени FMEA доноси руководилац пројекта након израде прототипске документације. Одлуком се, поред именовања чланова FMEA тима, јасно утврђују: предмет анализе и рок завршетка.

За утврђивање могућих узрока који могу да доведу до настајање грешки, последица насталих грешака и могућност откривања грешака потребна је одговарајућа припрема која подразумева (J.Mikulak, McDermott R., Beauregard M. 2009):

- познавање производа чија се пројектна решења оцењују,
- прикупљање информација о понашању производа у претходном периоду,
- познавање информација о извршеним развојним испитивањима производа,
- прикупљање информација о примењеним методама контролисања,
- познавање резултата контролисања и испитивања у претходном периоду,
- познавање законских и других обавезујућих прописа везаних за производ.

Да би могла да се реализје ова метода неопходно је да се формира тим који је познат као FMEA тим. Овај FMEA тим чине експертни из различитих домена. Број чланова тима се одређује у складу са величином компаније и расположивим кадровима.

Руководилац FMEA тима је одговорни пројектант производа који је предмет анализе. Остали чланови тима су, по правилу, из пословних процеса као што су: пројектовања производа, пројектовања технологије, контроле квалитета производа, производње, набавке и продаје.

Припрема за анализу састоји се од (Lazić, M. 2006):

- прикупљања и обраде информација,
- провере веродостојности прикупљених података,
- упознавање чланова тима са расположивим подацима и
- формирања сопствених закључака.

Анализа пројекта обухвата анализу пројектних решења, израду и обликовање FMEA обрасца и одвија се у пет фаза (Lazić, M. 2006):

- прва фаза – утврђивање могућих грешака у пројекту производа,
- друга фаза – утврђивање потенцијалних грешака,

Треба напоменути да производ/процес треба да се детаљно опишу. Важно је напоменути да разумевање производа или процеса мора да буде јасно дефинисано да би се поједноставио процес анализе разматраног ентитета. На овај начин,

инжењери могу да идентификују оне производе/процесе који утичу на унапред постављени циљ.

- трећа фаза – идентификовање могућих узрока грешака,
- четврта фаза – анализа система контролисања и испитивања производа и
- пета фаза – утврђивање вероватноће настанка грешака за сваки могући узрок грешака. Учесталост се оцењује на скали мера од 1 до 10, где оцена 10 означава највећу вероватноћу да дође до отказа (види табелу 1).

Табела 1. *Вероватноћа појављивања*

Вероватноћа настанка грешке	Појављивање узорка	Ранг
Веома висока	≥ 100 на хиљаду ≥ 1 у 10	10
Висока	50 на хиљаду 1 у 20	9
	20 на хиљаду 1 у 50	8
	10 на хиљаду 1 у 100	7
Умерена	2 на хиљаду 1 у 500	6
	0.5 на хиљаду 1 у 2000	5
	0.1 на хиљаду 1 у 10 000	4
Ниска	0.01 на хиљаду 1 у 100 000	3
	≤ 0.001 на хиљаду 1 у 1 000 000	2
Веома ниска	Грешка је отклоњена превентивном контролом	1

- Осим учесталисти појаве грешке оцењује се озбиљност последице и могућност детекције грешке (табела 2 и табела 3). Вредности се оцењују респектујући скале мера које су дефинисане у теорије грубих скупова.

Табела 2. Детекција грешке

Последица	Критеријум: озбиљност последице за производ (последица за купце)	Ранг	Последица	Критеријум: озбиљност последице за процес (производња/монтажа)
Грешка која угрожава сигурност и/или регулационе захтеве	Потенцијални режим грешке који утиче на сигурност управљања возилом и/или доводи до неслагања са правним нормама без икаквог упозорења	10	Грешка која угрожава сигурност или регулационе захтеве	Може угрозити оператера (машину или монтажу) без упозорења
	Потенцијални режим грешке који утиче на сигурност управљања возилом и/или доводи до неслагања са правним нормама са упозорењем	9		Може угрозити оператера (машину или монтажу) са упозорењем
Губитак или деградација примарних функција	Губитак примарне функције (неоперативно возило, не угрожава сигурно управљање возилом)	8	Велики поремећај	100% производа може постати шкарт. Гашење или заустављање линије.
	Деградација примарне функције (оперативно возило, али на смањеној разини значајки)	7	Значајан поремећај	Део производне серије може постати шкарт. Одступање од жељеног стања процеса укључујући смањење брзине протока кроз производне линије или додавање радне снаге
Губитак или деградација секундарних функција	Губитак секундарне функције (возило оперативно, али угодност/функција удобности нефункционална)	6	Умерен поремећај	100% производње мора бити дорађено изван линије и прихваћено
	Деградација секундарне функције (возило оперативно, али угодност/функција удобности на смањеном нивоу перформанси)	5		Део производње мора бити дорађено изван линије и прихваћено
Сметње	Сметња у виду појачаног звука, возило оперативно, предмет не задовољава и примећено је од стране великог броја корисника (> 75%)	4	Умерен поремећај	100% производње мора бити дорађено у радној станици пре наставка производње
	Сметња у виду појачаног звука, возило оперативно, предмет не задовољава и примећено је од стране великог броја корисника (> 50%)	3		Део производње мора бити дорађен у радној станици пре наставка производње
	Сметња у виду појачаног звука, возило оперативно, предмет не задовољава и примећено је од стране великог броја корисника (< 25%)	2	Мањи поремећај	Лагана сметња процесу, операцији, или оператеру
Без последица	Неприметне последице	1	Без последица	Неприметне последице

Табела 3. Табела заснована на сценарију за индекс озбиљности трошкова

Индекс озбиљности трошкова S	Сценарио
10	Трошак од тужбе због телесних повреда / инвалидитета / смрти запослених, купаца или потрошача због начина отказа
9	Трошак од тужбе због неисправне доставе производа/ оштећења опреме, производа, инфраструктуре купаца
8	Трошак услед губитка профита, ако купац не жели да узме или купи произведен производ / трошак услед опадања репутације/ трошак услед опадања броја купаца
7	Трошкови гаранције (производња, транспорт, администрација, итд)
6	Трошкови линије/ заустављање производње због недостатака купаца
5	Трошкови линије/ заустављање производње због неисплативости производње
4	Трошкови замене неисправности производње са новом/ додатни трошкови добављача и додатни трошкови транспорта
3	Трошкови отпада и репродукције
2	Трошкови дораде
1	Нема трошкова / занемарљиво

Број приоритета ризика (*RPN - Risk Priority Numbers*). добија се као производ компоненти: озбиљности ефеката (*S*), вероватноће појављивања грешке (*O*) и детекције (*D*).

Препоручене акције- FMEA тим препоручује одређене мере, са циљем елиминасања основних узрока који доводе до отказа.

Ниво који у резултатима исказује RNP треба да буде нижи од 100. У табели 4 је приказана вредности RNP на основу којих је дефинисан приоритет свих идентификованих грешака (Lazić, M. 2006).

Табела 4. Рангирање коефицијента приоритета грешака

Укупни коефицијент приоритета	
Описна оцена	RNP
Низак	1-50
Средњи	50-100
Висок	100-200
Веома висок	200-1000

Све процењене и израчунате вредности треба да се налазе у FMEA обрасцу који је дат на слици 2.

Анализа појаве и утицаја отказа /FMEA/											FMEA број: _____				
Назив дела: _____											Страна: _____				
Главни тим: _____											Датум FMEA: _____				
											Ревизија стања: _____				
Процес Функција	Потенци- јални отказ	Потенција- лна последица отказа	О з б	Потенцијални узорци/ механизми отказа	в е р	Тренутне контролне мере	О т к	R P N	Препоручене мере	Одговорност и време извршења	Резултати предузетих мера				
											Предузете мере	О з б	В е р	О т к	R P N

Слика 6. FMEA образац

3.3 Модификована FMEA метода

У пракси, применом конвенционалне FMEA (дефинисане стандардом SRPS EN 60812:2011) се одређује ранг приоритета идентификованих грешака који је заснован на RNP. Засновано на резултатима најбоље праксе може да се каже да конвенционална FMEA има извесна ограничења. Стога, у литератури могу да се нађу многи радови у којима су приказани различити приступи модификације FMEA методе (Banduka, N., Tadić, D., Mačuzić, I., Crnjac, M. 2018).

Многи аутори сугеришу да је неопходно да се унапреди поступак одређивања тежине последица које настају услед реализације идентификованих грешака. Унапређење овог поступка може се извршити коришћењем предложеног сценарија – заснованог на FMEA методи, на основу очекиваних грешака током читавог животног циклуса (Kmenta and Ishii, 2004).

Carmignani (2009) је предложио нови математички модел за процену трошкова, заменом традиционалног индекса ризика за нови, са новом формулом за израчунавање. Такође, он је анализирао ова три индекса субјективним мишљењем.

За процену трошкова производње, предложен је нови приступ развоју планског концепта процеса, заснованог на квалитету и трошковима (Hassan et al. 2010).

Овај приступ укључује функцију распоређивања квалитета за одабир алтернативних процеса и метода коштања, заснованих на активностима за дефинисање трошкова производње.

За дефинисање аспекта трошкова са становишта ефекта отказа (видети табелу 2), може се закључити за првих пет сценарија да се грешке могу отклонити, пре него што производ доспе на тржиште. Овакви трошкови сматрају се трошковима интерних недостатака, и односе се на преправке, отпад итд. Код могућих сценарија (у табели оцењених на скали од 5 до 10), откази се појављују приликом експлоатације одрђеног производа и сматрају се трошковима екстерних недостатака. Обе групе трошкова припадају трошковима квалитета (*Cost Of Quality COQ*), који према дефиници настају сваки пут када циљни квалитет није постигнут (J. M. Juran 2008), и најчешће су скривени у различитим групама трошкова. Због тога је детекција трошкова квалитета производа знатно отежана. Трошкови квалитета су од изузетног значаја нарочито у предузећима у којима се примењује *LEAN* концепт за управљање производњом. У *LEAN* предузећима како би се избегли сувишни трошкови квалитета, потребно је спровести поред *FMEA* методе још неку методу одлучивања. У литератури могу да се нађу многи радови у којима су методе више-критеријумске оптимизације комбиноване са *FMEA* методом (Liu et al., 2016). Где се сугеришу нови модел за одређивање приоритета ризика, комбинацијом *FMEA* анализе и неких метода вишекритеријумског одлучивања, кроз три главне фазе. У првој фази аутори су користили модификовану *VIKOR* методу (Opricovic, 2004) како би утврдили начине настајања грешака. Затим, методу *DEMATEL* користили су за креирање релационих мапа утицаја између начина појаве грешака и узорка настанка грешака. У трећој фази, аутори су користили *АНР* методу (Saaty, 1990) за одређивање тежина за сваку грешку појединачно. Као резултат претходне три фазе добија се ранг грешака.

Рангирање грешака је извршено применом конвенционалне *TOPSIS* методе (Hwang & Yoon, 1981) у раду (Song, and Ming, 2013). Главни допринос овог рада је интеграција приступа теорије грубих скупова и *TOPSIS* методе са *FMEA* анализом. Овај модел има изражен недостатак по питању примене у свакој врсти индустрије, јер захтева додатну експертизу када је у питању теорија грубих скупова. Уз то, овакав приступ, односно *TOPSIS* заснован на *FMEA* анализи, не разматра зависност између различитих грешака и различитих фактора ризика.

3.4 Метода аналитичких хијерархиских процеса АНР

Оцењивање вредности алтернатива или директно мерење истих за неки критеријум, у процесу одлучивања, може представљати велики проблем из разлога велике осетљивости таквих вредности на промене. Осим тога, доносилац одлуке, из разлога психолошке природе, није у стању да упоређује велики број алтернатива истовремено. У пракси се то најбоље види на примерима код којих се више алтернатива оцењује према адекватним критеријумима. Доносилац одлуке у том случају према својим проверницијама оцењује поједине критеријуме, што знача да ако би се једна вредност променила, такође би се промениле и остале вредности унутар матрице. Овде се поставља питање да ли алтернативе које имају идентичне вредности у дословно осликавају преференције доносиоца одлуке?

Због тога што човек у великом броју случајева не може да правилно оцени велики број алтернатива на једној скали, одн. не може да прецизно врши процену. Из тог разлога обично се врши поређење у паровима. Осим тога, уочено је да су најпрецизније скале од 1 до 9 (*Сатијева скала*, по аутору АНР методе Томасу Сатију). Мање скале обично нису довољне да искажу разлике између алтернатива, док веће додатно компликују процес доношења одлука, и доносиоцу одлуке представљају проблем у исказивању разлика (Benssam A., Nouali-Taboudjemat N., Nouali O. 2016).

Поређење алтернатива у паровима врши по неком критеријуму врши се у тзв. *матрици процене*. Поређење алтернатива у оваквој матрици обавља се тако што се алтернативама додељују вредности од 1 до 9. Вредност 1 представља најнижу вредност у матрици, и сходно томе, она одређује једнаке афинитете према осталим алтернативама, док навећа вредност 9, представља крајњу преференцију у односу на остале алтернативе. У овом конкретном случају, доносилац одлуке на основу субјективне валоризације појединих критеријума. Другим речима, доносилац одлуке се води релацијом „*боље од*“.

Применом оваквог начина одлучивања уводи се максимална субјективност доносиоца одлуке у процес одлучивања, без експлицитног дефинисања функције преференције.

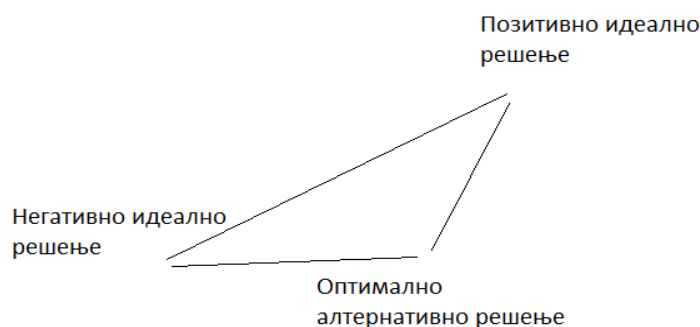
Приликом попуњавања матрице потребно је попунити само горњи или доњи део троугаоне матрице. На главној дијагонали налази се вредност 1, због тога што је поређење алтернативе саме са собом немогуће, па је доносилац одлуке у том случају

индиферентан. Остатак матрице се попуњава реципрочним вредностима, где се примењује правило реципроцитета одн. $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$ тиме се обезбеђује конзистентност оцено ($a_{ij} * a_{ji} = 1$). Вредности приказане у матрици приказане у заградама представљају реципрочне вредности тог броја. На пример, ако је вредност изражена као (5) онда је њена стварна вредност $1/5 = 0,2$. Након попуњавања матрице преосталим вредностима добија се матрица у којој су приказане стварне вредности (Benssam A., Nouali-Taboudjemat N., Nouali O. 2016).

Након тога је потребно извршити нормализацију, што је уједно и први корак у оцени алтернатива АНР методом, приликом које се користи L_1 нормализација, па ће се сума израчунати по колонама. Следећи корак у процесу нормализације обавља се дељењем сваке вредности са одговарајућом сумом. На тај начин се добијају прецизнија решења јер се поређење врши у паровима, и стабилнија јер мале промене у вредностима не изазивају велике осцилације у коначним оценама.

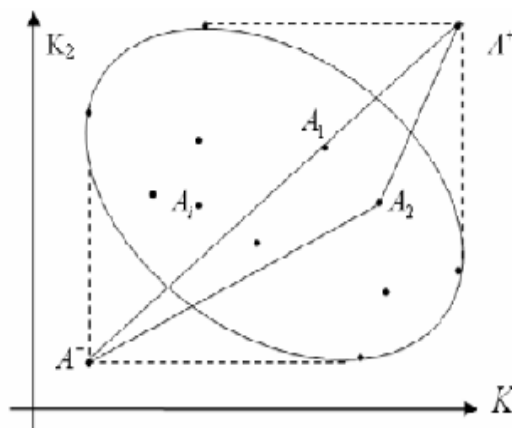
3.5 TOPSIS метода

Метода *TOPSIS* (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) (Hwang, 1981) је једна од најшире коришћених метода више-критеријумске оптимизације која се користи за рангирање алтернативе према удаљености од идеалног решења. Применом *TOPSIS* добија се ранг могућих решења и одређује се оптимално решење које је најближе идеалном решењу као што је графички приказано на слици 7.



Слика 7. Геометријски приказ удаљености оптималног решења од позитивног одн. негативног идеалног решења (Shih, H.-S., Shyur, H.-J., Lee, E. S. 2007)

На слици 8 је представљена TOPSIS метода када се разматрају два критеријума.



Слика 8. Графички преглед TOPSIS методе (Shih, H.-S., Shyur, H.-J., Lee, E. S. 2007)

Може се уочити да алтернатива $A1$, и ако је ближе позитивном идеалном решењу у односу на алтернативу $A2$, истовремено је ближе и негативном идеалном решењу у поређењу са $A2$. Усваја се оно решење које је релативно блиско идеално позитивном решењу истовремено ресектујући удаљеност од негативно идеалног решења (Shih, H.-S., Shyur, H.-J., Lee, E. S. 2007).

У пракси често се разматра проблем одређивање најбољег решења ресектујући истовремено више критеријума који могу да буду међусобно конфликтни. У овом случају неопходно је да се вредности критеријума нормализују. Применом поступка нормализације све вредности се пресликавају на скуп реалних бројева који припадају интервалу $[0-1]$. Вредност 0 означава да је вредност критеријума најмања, односно вредност 1 да је разматрана вредност највећа.

3.6 Предложени модел

Одређивање приоритета грешака које могу да настану на производима који настају у процесу производње у аутоиндустрији извршено је помоћу развијене методе која обухвата модификовану FMEA и конвенционалну TOPSIS. Модификована FMEA анализа је у овом раду представљена у процесу монтаже у једној аутоиндустрији. Оно што је веома битно, јесте да уз мање модификације ову анализу је могуће применити и у неком другом процесу у аутомобилској индустрији.

Менаџери производње на основу података из евиденције и на основу свог знања идентификују све грешке које могу да настану на производу у разматраном предузећу. Формално све идентификоване грешке могу да се представе скупом

индекса $\{1, \dots, g, \dots, G\}$. Укупан број идентификованих грешака је означен као G . Индекс којим се означава грешка је $g, g = 1, \dots, G$. Свака грешка може да доведе до настајања једне или више последица. У пракси, тако и у овом мастер раду, грешки се придружује она последица која има највећу озбиљност. Унутар ове претпоставке примена FMEA методе је значајно поједностављена а истовремено није смањена тачност при одређивању вредности ризика који настаје услед реализације сваке грешке. Према FMEA методи, озбиљност последице је означена као S , учесталост појаве грешке (O) и могућност откривања грешке (D). У овом раду озбиљност последице унутар сваке грешке рачуната је према три аспекта: 1) сигурност, 2) квалитета и 3) трошкова. Може се сматрати да ови аспекти имају једнаку тежину. Вредности озбиљности, могућности појаве грешке као и детекције је процењена на основу табела које су дефинисане у раду (Banduka, N., Veza, I., & Bilic, B. 2016). RPN за сваку грешку је израчунат по процедури која је дефинисана у конвенционалној FMEA анализи. Ранг грешака је одређен на основу TOPSIS методе.

Развијени Алгоритам се реализује кроз следеће кораке:

Корак 1. Вредност озбиљности последице која настаје услед релализације грешке $g, g=1,\dots,G$ респектовањем сваке димензије је процењена од стране менаџмент тима користећи дефинисане табеле у конвенционалној FMEA методи и означена је као $v_{gk}, g=1,\dots,G; k=1,\dots,K$

Корак 2. Одредимо нормализоване вредности озбиљности последице, $r_{gk}, g=1,\dots,G; k=1,\dots,K$ фреквенције јављања грешке, $o_g, g=1,\dots,G$ и могућности откривања грешке, $d_g, g=1,\dots,G$ на нивоу сваке идентификоване грешке. Нормализација је извршена применом процедуре векторске нормализације (Pomerol and Barba-Romeo, 2000) тако да:

а) За бенефитне димензије

$$r_{gk} = \frac{v_{gk}}{\sqrt{\sum_{g=1}^G v_{gk}^2}}$$

б) За трошковне димензије

$$r_{gk} = \frac{\frac{1}{v_{gk}}}{\sqrt{\sum_{g=1}^G \left(\frac{1}{v_{gk}} \right)^2}}$$

Корак 3. Поставимо отежану нормализовану матрицу одлучивања $|x_{gk}|_{G \times K}$, $g = 1, \dots, G; k = 1, \dots, K$

Елементи матрице одлучивања су RNP, тако да:

$$x_{gk} = r_{gk} \cdot o_g \cdot d_g, \quad g = 1, \dots, G; k = 1, \dots, K$$

Корак 4. Одредимо позитивно-идеално решење (ПИС), x_k^+ и негативно идеално решење (НИС), x_k^- , тако да:

$$x_k^+ = \max_{g=1, \dots, G} (x_{gk}), \quad k = 1, \dots, K$$

$$x_k^- = \min_{g=1, \dots, G} (x_{gk}), \quad k = 1, \dots, K$$

Корак 5. Одредимо дистанце сваке идентификоване грешке од ПИС, d_i^+ и НИС, d_i^- као Еуклидове дистанце:

$$b_g^+ = \sum_{k=1}^K |x_{gk} - x_k^+|, \quad g = 1, \dots, G; k = 1, \dots, K$$

$$b_g^- = \sum_{k=1}^K |x_{gk} - x_k^-|, \quad g = 1, \dots, G; k = 1, \dots, K$$

Корак 6. Одредимо коефицијент приближења за сваку разматрану грешку, $c_g, g = 1, \dots, G$ према изразу:

$$c_g = \frac{b_g^-}{b_g^- + b_g^+}, \quad g = 1, \dots, G$$

Корак 7. Поређајмо израчунате вредности коефицијента приближења у монотонно-нерастући ред. Грешка која је прва у рангу је она идентификована грешка која се мора прва елиминисати или редуковати.

Корак 8. Приоритет мера за редуковање или елиминисање грешака се одређује према добијеном рангу.

4. Илустративни пример

У практичном делу рада, приказана су топ 6 проблема, који се јављају у једној аутомобилској индустрији у процесу производње током активности монтаже. У даљем делу рада је објашњен процес производње аутомобила.

При доласку аутомобила из лакирнице на линији трима одвија се основно опремање возила. Демонтирају се врата са возила која се транспортером шаље на линију припреме врата. Уграђују се предња и задња инсталација, облога крова и унутрашње пластичне облоге. На линији инструмент табле уграђују се делови на облози инструмент табле: радио, километар сат, клима, итд. На шасији 1 уграђују се кочионе цеви и цеви климе испод возила. На линији механичке припреме (УМС, GOMA, GOMP) врши се монтажа мотора мењача и предњег и задњег вешања. На линији decking врши се аутоматско спајање шкољке и предњег и задњег вешања са моторем и мењачем. На шасији 2 уграђују се механички склопови и централине. На шасији 3 врши се уградња браника и front end-а (хладњак) на возилу. На шасији 4 уграђују се точкови као и сва стакла, волан и акумулатор. На шасији 5 врши се наливање флуида (кочионо уље, расхладна течност, клима гас, моторно уље, дизел, бензин, течност за прање стакала). На final-у врши се завршно опремање возила, уграђује се облога петих врата, полице у гепеку, air bag, седишта и монтирају се врата. На линији припреме врата врши се уградња свих делова и делова врата (подизачи стакла, стакло, браве, облоге, итд.). На линији EOL врши се завршна дијагностичка провера возила, као и визуелна контрола возила. Касније возило иде на линију конвергенције и пробних ваљака где се врши подешавање фарова и точкова. На крају возило пролази кроз тест на кишу, и затим се упућује на завршну проверу квалитета (bolino verde). После тога возила иду на плац за даљу опрему ка купцу.

Са аспекта безбедности, квалитета и трошкова, инжењери су проценили на скали од 1-9 тежину дате грешке, тј. колико та грешка утиче на производ. Помоћу методе аналитичких хијерархирских процеса постављена је матрица парова упоређивања релативне важности критеријума, из које се даље рачуна вектор тежине критеријума w_1 , w_2 , и w_3 .

$$\begin{bmatrix} 1 & 1/6 & 1/9 \\ 6 & 1 & 1/4 \\ 9 & 4 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0625 & 0.03225 & 0.08193 \\ 0.375 & 0.193548 & 0.18361 \\ 0.5625 & 0.77419 & 0.734694 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{matrix} w_1 = 0.060 \\ w_2 = 0.251 \\ w_3 = 0.691 \end{matrix}$$

Менаџер квалитета, менаџер производње и руководилац FMEA анализе су извршили процену важности критеријума применом АНР методе.

$$\begin{bmatrix} 1 & (5, 1/6, 1/2) & (3, 1/3, 1/2) \\ & 1 & (1/3, 1/2, 1) \\ & & 1,1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1.888 & 1.277 \\ 0.529 & 1 & 0.611 \\ 0.783 & 1.636 & 1 \end{bmatrix} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} 0.4325 & 0.4173 & 0.4421 \\ 0.2288 & 0.2210 & 0.2115 \\ 0.3386 & 0.3616 & 0.3462 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{matrix} w_S = 0.43 \\ w_O = 0.22 \\ w_D = 0.35 \end{matrix}$$

Дати проблеми су представљени у даљем тексту. За сваки проблем је рачунат озбиљност ефекта (*S*), вероватноћа појављивања грешке (*O*) и детекције (*D*). Затим је играчунат RNP за сваку грешку, који се не крају рангира.

Прва грешка - Увећан зазор између фара и браника.

Последица – Визуални изглед.

Проценом инжењера представљене су тежине последица за дату грешку, са аспекта безбедности, квалитета и трошкова.

$$\text{Safty} = 0; q = 3; \text{cost} = 5$$

Збир множења w_1, w_2, w_3 и safty, q, cost даје озбиљност ефекта (*S*).

$$S = 0.06 * 0 + 0.251 * 3 + 0.691 * 5 = 4.208$$

Детекција грешке (*D*) се добија на основу табеле 2.

$$D = 10$$

Вероватноћа појављивања грешке (*O*) се добија на основу табеле 1, учесталост се оценљује на скали мера од 1 до 10, одакле је и добијена вредност 9.

$$O = 9$$

RNP се добија множењем озбиљности ефекта (*S*), вероватноће појављивања грешке (*O*) и детекције (*D*).

$$RNP_1 = S * D * O = 378.4$$

На слици 9. је приказан увећан зазор између фара и браника.



Слика 9. Увећан зазор између фара и браника

Друга грешка - С стуб - облога задњег стуба није спојена.

Последица – видљивост лима, велики зазор између С стуба и задњег фиксног стакла. Проценом инжењера представљене су тежине последица за дату грешку, са аспекта безбедности, квалитета и трошкова.

Safty = 0; q = 5; cost = 9 (велики трошак се јавља због шкартирања стакла)

Збир множења w_1, w_2, w_3 и safty, q, cost даје озбиљност ефекта (S).

$$S=0.06*0+0.251*5+0.691*9=7.474$$

Детекција грешке (D) се добија на основу табеле 2.

$$D=10$$

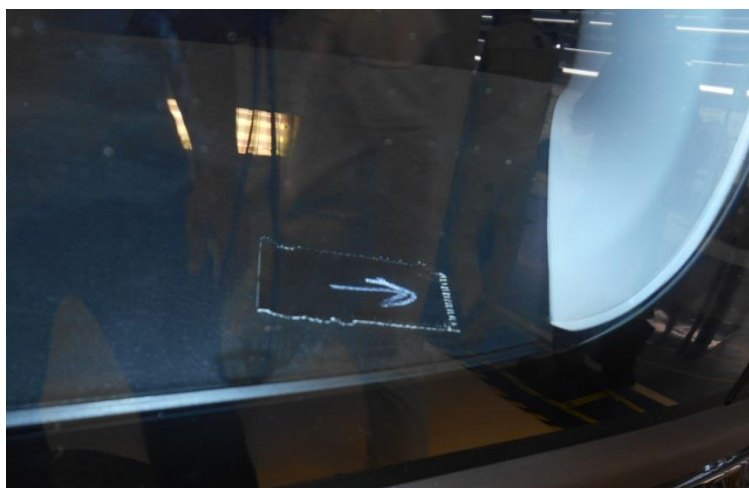
Вероватноћа појављивања грешке (O) се добија на основу табеле 1, учесталост се оценљује на скали мера од 1 до 10, одакле је и добијена вредност 9.

$$O=9$$

RNP се добија множењем озбиљности ефекта (S), вероватноће појављивања грешке (O) и детекције (D).

$$RNP_2= S * D * O = 672.66$$

На слици 10 је приказан С стуб.



Слика 10. С стуб

Трећа грешка - Лоша уравњеност браника и блатобрана.

Последица 1 – браник у „плусу“ .

Проценом инжењера представљене су тежине последица за дату грешку, са аспекта безбедности, квалитета и трошкова.

$$\text{Safty} = 0; q = 2; \text{cost} = 2$$

Збир множења w_1, w_2, w_3 и safty, q, cost даје озбиљност ефекта (S).

$$S = 0.06 * 0 + 0.251 * 2 + 0.691 * 2 = 1.884$$

Детекција грешке (D) се добија на основу табеле 2.

$$D = 3$$

Вероватноћа појављивања грешке (O) се добија тако што се број анализираних аутомобила 59 подели са 2000 произведених аутомобила на недељном нивоу, и добије се вредност 0.028. На основу табеле 1, учесталост се оценљује на скали мера од 1 до 10, одакле је и добијена вредност 9.

$$O = 9$$

RNP се добија множењем озбиљности ефекта (S), вероватноће појављивања грешке (O) и детекције (D).

$$RNP_3 = S * D * O = 50.868$$

На слици 11 је приказан браник у „плусу“.



Слика 11. Браник у „плусу“

Четврта грешка - Последица 2 – браник у „минусу“.

Проценом инжењера представљене су тежине последица за дату грешку, са аспекта безбедности, квалитета и трошкова.

$$\text{Safty} = 0; q = 8; \text{cost} = 2$$

Збир множења w_1, w_2, w_3 и safty, q, cost даје озбиљност ефекта (S).

$$S = 0.06 * 0 + 0.251 * 8 + 0.691 * 2 = 3.39$$

Детекција грешке (D) се добија на основу табеле 2.

$$D = 3$$

Вероватноћа појављивања грешке (O) се добија на основу табеле 1, учесталост се оценљује на скали мера од 1 до 10, одакле је и добијена вредност 9.

$$O = 9$$

RNP се добија множењем озбиљности ефекта (S), вероватноће појављивања грешке (O) и детекције (D).

$$\text{RNP}_4 = S * D * O = 91.53$$

Пета грешка - Код стоп светла увећан зазор.

Последица – лош профил, не исупњен контрол план.

Проценом инжењера представљене су тежине последица за дату грешку, са аспекта безбедности, квалитета и трошкова.

$$\text{Safty} = 0; q = 5; \text{cost} = 5$$

Збир множења w_1, w_2, w_3 и safty, q, cost даје озбиљност ефекта (S).

$$S=0.06*0+0.251*5+0.691*5=4.71$$

Детекција грешке (D) се добија на основу табеле 2.

$$D=3$$

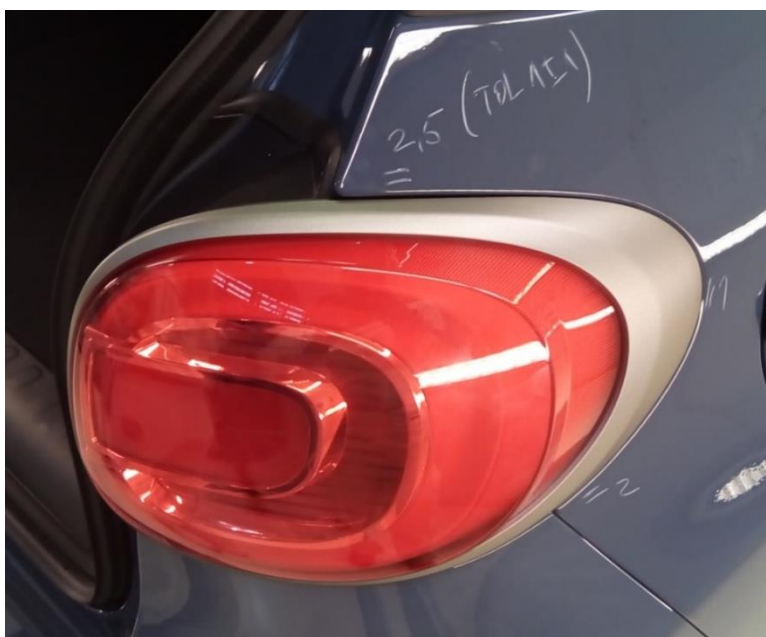
Вероватноћа појављивања грешке (O) се добија на основу табеле 1, учесталост се оценљује на скали мера од 1 до 10, одакле је и добијена вредност 9.

$$O=9$$

RNP се добија множењем озбиљности ефекта (S), вероватноће појављивања грешке (O) и детекције (D).

$$RNP_5 = S * D * O = 127.17$$

На слици 12 је приказан зазор између стоп светла и браника.



Слика 12. Увећан зазор између стоп светла и браника

Шеста грешка - Кедер на вратима.

Последица – може вода да уђе у возило због ненамештеног кедера, има утицаја и на естетику.

Проценом инжењера представљене су тежине последица за дату грешку, са аспекта безбедности, квалитета и трошкова.

$$Safty = 3; q = 6; cost = 7$$

Збир множења w_1, w_2, w_3 и safty, q , $cost$ даје озбиљност ефекта (S).

$$S=0.06*3+0.251*6+0.691*7=6.523$$

Детекција грешке (D) се добија на основу табеле 2.

$$D=3$$

Вероватноћа појављивања грешке (O) се добија на основу табеле 1, учесталост се оценљује на скали мера од 1 до 10, одакле је и добијена вредност 9.

$$O=9$$

RNP се добија множењем озбиљности ефеката (S), вероватноће појављивања грешке (O) и детекције (D).

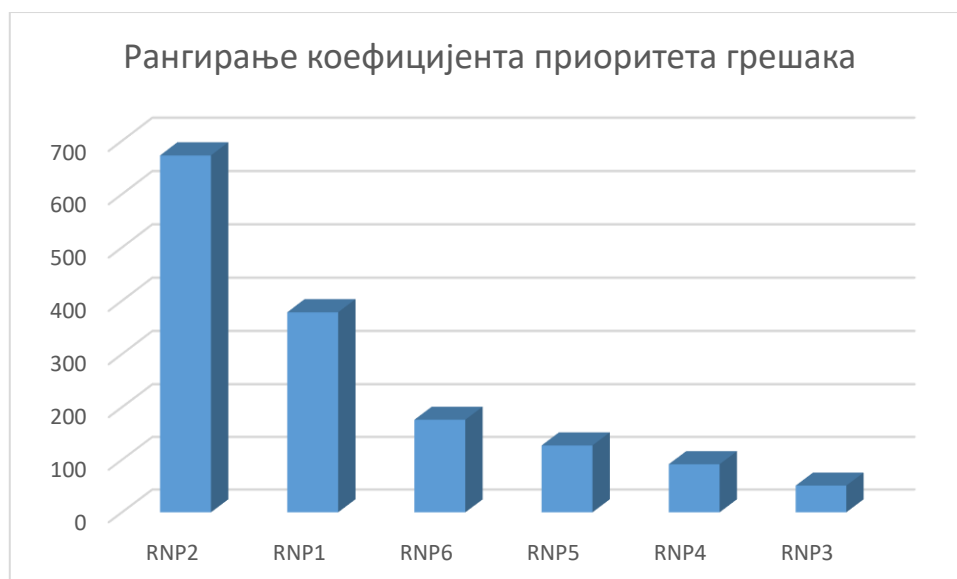
$$RNP_6 = S * D * O = 176.121$$

На слици 13 је приказана лоша уравњеност кедера на вратима у односу на лим врата.



Слика 13. Лоша уравњеност кедера на вратима у односу на лим врата.

Затим је помоћу хистограма представљен коефицијент приоритета грешака (слика 6) по опадајућем реду.



Слика 6. Графички приказ коефицијента приоритета грешака

Са слике се може закључити да RNP_2 и RNP_1 тј. да друга и прва грешка имају веома висок коефицијент приоритета, и на њих се треба одмах деловати.

Помоћу TOPSIS методе извршен је ранг датих грешака у даљем делу рада.

Корак 1. Процењене вредности озбиљности ефеката, вероватноће појављивања грешке и детекције су приказане у табели 5.

Вредности у табели 5 су прикупљене на оснву података за сваку грешку које су израчунате изнад.

Табела 5. Матрица одлучивања

Бр. Грешке	S	O	D	
1	4.208	9	10	
2	7.474	9	10	
3	1.884	9	3	
4	3.39	9	3	
5	4.71	9	3	
6	6.523	9	3	
	28.189	54	32	Σ

Применом поступка векторске нормализације *корак 2* развијеног алгоритма – добија се нормализована матрица одлучивања која је приказана у табели 6.

Табела 6. Нормализација матрице

Број грешке	S	O	D
1	0.149	0.16	0.312
2	0.265	0.16	0.312
3	0.066	0.16	0.094
4	0.120	0.16	0.094
5	0.167	0.16	0.094
6	0.231	0.16	0.094

Корак 3. Отежана нормализована матрица одлучивања се добија применом поступка развијеног алгоритма .

Табела 7. Отежана нормализована матрица одлучивања

Број грешке	S	O	D	
1	0.064	0.035	0.109	
2	0.113	0.035	0.109	
3	0.028	0.035	0.033	
4	0.051	0.035	0.033	
5	0.071	0.035	0.033	
6	0.099	0.035	0.033	
	1	1	0	PIS
	0	0	1	NIS

За позитивно идеално решење вредност 1 се ставља за бенефитни критеријум а вредност 0 за трошковни критеријум, док се за негативно идеално решење 0 ставља за бенефитни критеријум а вредност 1 за трошковни критеријум.

Корак 4. Удаљење од позитивног идеалног решења и негативног идеалног решења добија се према поступку развијеног алгоритма. Овај поступак је илустрован на следећем примеру.

За позитивно идеално решење d_1^+ вредности се добијају на следећи начин:

$$d_1^+ = |1 - 0.064| + |1 - 0.035| + |0 - 0.109| = 2.01$$

За негативно идеално решење d_1^- вредности се добијају на следећи начин:

$$d_1^- = |0 - 0.064| + |0 - 0.035| + |1 - 0.109| = 0.99$$

Коефицијент приближења за сваку разматрану грешку се добија на следећи начин:

$$c_i = \frac{d_1^-}{d_1^- + d_1^+} = \frac{0.99}{0.99 + 2.01} = 0.33$$

За сваку грешку поступак добијања осталих вредности је исти. Вредности добијене помоћу TOPSIS методе се затим рангирају, при чему вредност 1 има највећи ранг а вредност 6 најмањи. Затим се рангиране вредности помоћу TOPSIS методе упоређују са ранжираним вредностима добијене помоћу FMEA анализе (видети табелу 8).

Табела 8. Вредност коефицијента приближења и ранг грешака

Број грешке g	d_i^+	d_i^-	c_i	Ранг	RNP	Ранг
1	2.01	0.99	0.33	6	378.4	2
2	1.961	1.039	0.346	4	672.66	1
3	1.97	1.03	0.343	5	50.868	6
4	1.947	1.053	0.351	3	91.53	5
5	1.927	1.073	0.357	2	127.17	3
6	1.899	1.101	0.367	1	115.282	4

Грешка која је прва у рангу је она идентификована грешка која се мора прва елиминисати или редуковати.

5. Закључак

Метода ефективне анализе недостатака (FMEA) се у индустрији широко користи за анализу потенцијалних проблема поузданости у ранијим развојним циклусима као и у каснијем, када је процес већ започет. Међутим, коришћењем ове анализе у ранијем процесу пројектовања је лакше, јер могу да се преузму акције за превазилажење проблема, чиме се повећава поузданост. Користи се да идентификује потенцијалне отказе, утврди њихов утицај на рад производа и идентификује акције за ублажавање грешака.

У конвенционалном приступу, озбиљности последица које настају услед реализације грешака се процењују са аспекта квалитета. На основу менаџера који раде у најуспешнијим предузећима аутоиндустрије може да се каже да није довољно да се последице разматрају само са аспекта квалитета. Полазећи од ових чињеница, многи истраживачи су развили различите приступе за оцену озбиљности последица респектовањем више аспеката. У овом раду, озбиљности последица су одређене на основу процене више менаџера. Другим речима, проблем одређивања укупне озбиљности сваке последице је постављен као задатак групног одлучивања. Тежона аспеката према којима се разматра озбиљности последица су одређене применом АНР методе. Израчунавње тежина аспеката на егзактан начин доводи до повећања тачности резултата.

У конвенционалној FMEA методи, ранг грешака је одређен према три критеријума, озбиљност последица, фреквенција појављивања грешке и могућност детекције грешке, тако да се сматра да ови критеријуми имају једнаку важност. Ово се може сматрати једним од главних недостатака ове методе. Стога, у овом мастер раду, разматрани проблем је постављен као задатак више-критеријумске анализе. Релативна важност критеријума је задата помоћу матрица парова упоређења релативне важности (аналогно АНР). Тежине разматраних критеријума су одређене применом методе сопственог вектора. Ранг последица је нађен применом TOPSIS методе, респектујући истовремено сва три критеријума као и њихове тежине.

Рангирање грешака се знатно разликује применом модификоване FMEA анализе и TOPSIS методе, што је и објашњено тиме да са аспекта сигурности, квалитета и трошкова имају једнаку тежину.

Правци будућих истраживања могу се означити као анализа да ли се предложени модел може употребити и у некој другој области индустрије, а не само у

аутоиндустрији. Читалац читањем може да стекне увид у приказана знања и пронађе одговарајуће рационалне начине за примену у пракси.

Референце

- [1] Leangsuksun, C., Song, H., Shen, L. (2003) Reliability Modeling Using UML. *Software Engineering Research and Practice* 2003, pp. 259-262
- [2] S. Narayanagounder, K. Gurusami, A new approach for prioritization of failure modes in design FMEA using ANOVA, in: *Proceedings of world academy of Sci. Eng. Techn.*, 2009.
- [3] O'Connor, P. D., O'Connor, P., & Kleyner, A. (2012). *Practical reliability engineering*. John Wiley & Sons.
- [4] Saleh, J. H., & Marais, K. (2006). Highlights from the early (and pre-) history of reliability engineering. *Reliability Engineering & System Safety*, 91(2), 249-256.
- [5] Coppola, A. (1984). Reliability engineering of electronic equipment a historical perspective. *IEEE Transactions on Reliability*, 33(1), 29-35.
- [6] Singh, R. (2006). *Introduction to Basic Manufacturing Process and Workshop Technology*. New Age International.
- [7] Rao, R. V. (2010). *Advanced modeling and optimization of manufacturing processes: international research and development*. Springer Science & Business Media.
- [8] Levy, M., Weitz, B.A. (2004) *Retailing Management*. Boston: McGraw-Hill/Irwin, 308.-333.
- [9] *The Basics of FMEA*, 2nd Edition, by Raymond J. Mikulak, Robin McDermott, Michael Beauregard, a productivity press book, 2009.
- [10] Lazić, M. (2006). *Alati, metode i tehnike unapređenja kvaliteta*. Kragujevac: Mašinski fakultet.
- [11] J. M. Juran "Quality and the National Culture", Juran's Quality Control Hand-book, Fourth Edition, 2008. p 23
- [12] Shih, H.-S., Shyur, H.-J., Lee, E. S. *An extension of TOPSIS for group decision making*, Mathematical and Computer Modelling 2007.
- [13] Ali Benssam, Nadia Nouali-Taboudjemat, Omar Nouali. (2016) *An e-readiness assessment model for disaster management*. International Journal of Information Technology and Management, 118-143.
- [14] Fikret S. (2003). *Dijagram uzrok-posledica*, Naučno - stručni skup sa međunarodnim učešćem "kvalitet 2003", Zenica, BiH, 258-260
- [15] Banduka, N., Tadić, D., Mačužić, I., Crnjac, M. (2018). Process Failure Mode and Effect Analysis (PFMEA) for the automotive industry: The FSQC-PFMEA, *Advances in*

- Production Engineering and Management*, ISSN 1854-6250, accepted for publishing.
- [16] Kmenta, S., Ishii, K. (2004). Scenario-based failure modes and effects analysis using expected cost. *Journal of mechanical design*, 126(6), 1027-1035.
- [17] Carmignani, G. (2009). An integrated structural framework to cost-based FMECA: The priority-cost FMECA. *Reliability Engineering & System Safety*, 94(4), 861-871.
- [18] Hassan, A., Siadat, A., Dantan, J. Y., Martin, P. (2010). Conceptual process planning—an improvement approach using QFD, FMEA, and ABC methods. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 26(4), 392-401.
- [19] Song, W., Ming, X., & Liu, H. C. (2017). Identifying critical risk factors of sustainable supply chain management: A rough strength-relation analysis method. *Journal of Cleaner Production*, 143, 100-115.
- [20] Opricovic, S., & Tzeng, G. H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European journal of operational research*, 156(2), 445-455.
- [21] Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European journal of operational research*, 48(1), 9-26, [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)
- [22] Hwang, C., L., Yoon, K., (1981). Multiple Attribute Decision making: Methods and Applications, Springer, Berlin.
- [23] Banduka, N., Veza, I., & Bilic, B. (2016). An integrated lean approach to Process Failure Mode and Effect Analysis (PFMEA): A case study from automotive industry. *Advances in Production Engineering & Management*, 11(4), 355-365, doi: <http://dx.doi.org/10.14743/apem2016.4.233>
- [24] Pomerol, J.C., Barba-Romeo, S. 2000. Multicriteria Decision Management: Principles and Practice, Kluwer Nijhoff Publishing, Boston, USA.
- [25] Liu, H. C., You, J. X., Li, P., & Su, Q. (2016). Failure mode and effect analysis under uncertainty: An integrated multiple criteria decision making approach. *IEEE Transactions on Reliability*, 65(3), 1380-1392.
- [26] Hwang, C.L., and Yoon, K., (1981). Multiple Attribute Decision Making-Methods and Applications. Heidelberg, Springer-Verlag.
- [27] J. C. Pomerol and S. Barba-Romeo, Multicriteria Decision Management: Principles and Practice, Kluwer Nijhoff Publishing, Boston, Mass, USA, 2000.