



ICES
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija

Program: strojništvo

Modul: orodjarstvo

UPORABA P-FMEA V PROIZVODNEM PROCESU

Mentor: mag. Slavko Božič
Lektor: Metka Bartol, prof. slov. in špan.

Kandidat: Andrej Bezjak

Stainz, oktober 2021

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju, mag. Slavku Božiču, za vodenje in podane nasvete med nastajanjem diplomske naloge ter g. Michaelu Marktlu in g. Philippu Schmiedbauerju iz podjetja SVI Avstrija GmbH.

Posebna zahvala gre moji ženi Doris, hčeri Gaji in mojim staršem, ki so me med študijem in pri nastajanju diplomske naloge vztrajno spodbujali, mi dajali zagon in me motivirali.

Za slovnični in jezikovni pregled se zahvaljujem lektorici ge. Metki Bartol.

IZJAVA

Študent Andrej Bezjak izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom mag. Slavka Božiča in ing. Michaela Marktla ter Philippa Schmiedbauerja iz podjetja SVI Austria GmbH.

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorskih in sorodnih pravicah **ne** dovoljujem objave tega diplomskega dela na spletni strani šole.

Dne 27. 10. 2021

Podpis:

POVZETEK

Diplomska naloga opisuje uporabo metode oziroma analize P-FMEA za proizvodni proces.

Analiza FMEA je ocena tveganja in največje tveganje je poleg napak nezadovoljen kupec. Nezadovoljni kupec nas lahko stane izgube posla, zato se želimo temu izogniti in z dobro pripravljeno analizo pravočasno ugotoviti možne pojave napak ter njihovo pravočasno preprečitev.

Povezava med analizo FMEA in Control Planom je zelo velika, saj je treba napake, ki so bile opredeljene v FMEA, s Control Planom nadzorovati in preverjati, da se z izdelkom ne pojavijo pri kupcu oziroma ta ne pride do njega.

Dokument analize FMEA je ključen za stalno izboljševanje procesov in nadzorovanje kakovosti. Je preprosta preglednica vseh možnih ugotovljenih napak in potrebnih ukrepov za obvladovanje različnih odklonov v procesu znotraj predpisanih okvirov. Uporaben je v vseh procesih, ki jih moramo obvladovati.

Nastane na osnovi izkušenj vseh udeležencev procesa, podobnih projektov, reklamacij, Lessons learned, zahtev kupca, razne dokumentacije in predvidevanj napak.

V avtomobilski in medicinski industriji so procesi zelo kompleksni in posledice napak zelo drage, zato se ne moremo zanašati samo na izkušnje in dober spomin posameznikov.

Ozaveščenost, aktivno sodelovanje vseh vpletenih pri nastanku analize FMEA in dosledno izvajanje aktivnosti so ključni za zagotovitev zadovoljstva naših kupcev.

KLJUČNE BESEDE

- metoda FMEA,
- analiza,
- preprečevanje in odkrivanje napak,
- ocena tveganja,
- priložnosti za izboljšave,
- Control Plan

ZUSAMMENFASSUNG

Die Diplomarbeit beschreibt den Einsatz von P-FMEA im Produktionsprozess.

Die FMEA-Analyse ist eine Risikobewertung und das größte Risiko ist neben Fehlern ein unzufriedener Kunde. Ein unzufriedener Kunde kann uns den Verlust eines Geschäfts kosten, deshalb wollen wir dies vermeiden und mit einer gut vorbereiteten Analyse mögliche Fehler rechtzeitig erkennen und rechtzeitig verhindern.

Die Verbindung zwischen der FMEA und dem Kontrollplan ist sehr eng, da die in der FMEA identifizierten Fehler durch den Kontrollplan kontrolliert und verifiziert werden müssen, um sicherzustellen, dass sie nicht mit dem Produkt auftreten oder den Kunden erreichen.

Das FMEA-Analysedokument ist entscheidend für die kontinuierliche Prozessverbesserung, Qualitätskontrolle und gibt einen einfachen Überblick über alle möglichen erkannten Fehler und die notwendigen Maßnahmen, um verschiedene Prozessabweichungen innerhalb des vorgegebenen Rahmens zu bewältigen. Es ist in allen Prozessen nützlich, die wir beherrschen müssen.

Das Dokument entsteht auf Basis der Erfahrungen aller Prozessbeteiligten, ähnlichen Projekte, Reklamationen, Lessons Learned, Kundenanforderungen, diversen Dokumentationen und Fehlererkennung.

In der Automobil- und Medizinbranche sind die Prozesse sehr komplex und die Folgen von Fehlern sehr teuer, und wir können uns nicht allein auf die Erfahrung und das gute Gedächtnis einzelner verlassen.

Das Bewusstsein, die aktive Beteiligung aller an der Erstellung der FMEA beteiligten Personen und die konsequente Umsetzung der Aktivitäten sind der Schlüssel zur Sicherstellung der Kundenzufriedenheit.

SCHLÜSSELWÖRTER

- Methode FMEA,
- Analyse,
- Fehlervermeidung und -erkennung,
- Risikobewertung,
- Verbesserungsmöglichkeiten,
- Kontrollplan

KAZALO

1	UVOD	1
1.1	Opredelitev obravnavanega problema in teoretična izhodišča	1
1.2	Namen in cilji diplomske naloge	3
2	O PODJETJU SVI AUSTRIA GmbH.....	4
2.1	Vizija in poslanstvo.....	4
2.2	Politika kakovosti.....	5
2.2.1	Pojem kakovosti	6
2.2.2	Cikel PDCA	6
2.3	Ključne kompetence podjetja.....	7
3	METODA FMEA.....	8
3.1	Zgodovinski razvoj metode FMEA	8
3.2	Področje uporabe metode FMEA	9
3.2.1	Splošna uporabnost metode FMEA.....	9
3.2.2	Koristi metode FMEA	10
4	METODA FMEA V STANDARDU IATF 16949:2016	11
5	VRSTE METODE FMEA	12
5.1	Metodi D-FMEA in P-FMEA.....	12
6	ČASOVNA UPORABA METODE FMEA	14
6.1	Analiza FMEA kot del dokumentacije PPAP / PPF	16
7	ZGRADBA FMEA V SEDMIH KORAKIH	18
8	OCENA TVEGANJA.....	19
8.1	Faktorji ocenjevanja	20
8.2	Prednostno število tveganja	20
8.3	Ocenjevalna lestvica	20
9	PRAKTIČNA IZVEDBA ANALIZE P-FMEA	22
9.1	Primer analize P-FMEA za montažo enote za nadzor baterije E-Drive	22
10	ZAKLJUČEK	26
11	LITERATURA IN VIRI	27

KAZALO SLIK

Slika 1: Podjetje SVI Austria GmbH v Deutschlandsbergu.....	4
Slika 2: Uvedeni standardi ISO.....	5
Slika 3: Cikel PDCA.....	6
Slika 4: Linija SMT.....	7
Slika 5: Zgodovinski razvoj FMEA	8
Slika 6: Vrste metode FMEA	12
Slika 7: Metoda D-FMEA	13
Slika 8: Metoda P-FMEA	13
Slika 9: Časovna uporaba metode FMEA.....	14
Slika 10: Verifikacija in validacija	15
Slika 11: Obseg dokumentacije PPF	17
Slika 12: Zgradba FMEA v sedmih korakih	18
Slika 13: Pripravna enota za montažo	23
Slika 14: Prikaz zaporedja vijačenja	23
Slika 15: Končno stanje – zmontiran v ohišje PCB	24

KAZALO TABEL

Tabela 1: Metoda FMEA v standardu IATF 16949:2016.....	11
Tabela 2: Primer preproste preglednice FMEA.....	19
Tabela 3: Ocenjevalna lestvica – primer.....	21
Tabela 4: Analiza FMEA v montažnem procesu	25

KRATICE IN AKRONIMI

AIAG	– Automotive Industry Action Group
APQP	– Advanced Product Quality Planning
AOI	– Automated Optical Inspection
BMU	– Battery Management Unit
D	– Detection
D-FMEA	– Design Failure Mode and Effects Analysis
FCT	– Functional Circuit Test
FMEA	– Failure Mode and Effects Analysis
GmbH	– Gesellschaft mit beschränkter Haftung
IATF	– International Automotive Task Force
ICT	– Integrated Circuit Tester
ISO	– International Organisation for Standardisation
KPI	– Key Performance Indicators
LVHM	– Low Volume High Mix
MSA	– Measurement System Analysis
NASA	– National Aeronautics and Space Administration
NPI	– New Product Introduction
O	– Occurrence
PCB	– Printed Circuit Board
P-FMEA	– Process Failure Mode and Effects Analysis
PDCA	– Plan Do Check Act
PPAP	– Production Part Approval Process
PPF	– Produktionsprozess und Produktfreigabe
RPN	– Risk Priority Number
S	– Severity
SMT	– Surface Mounted Technology
SPC	– Statistical Process Control
SPI	– Solder Past Inspection
VDA	– Verband der Automobilindustrie
3D	– Three Dimensional

1 UVOD

1.1 Opredelitev obravnavanega problema in teoretična izhodišča

Kakovostno pripravljena analiza FMEA prinaša podjetju denar, zadovoljstvo kupca in nove posle.

Za to temo sem se odločil, ker so analize FMEA del mojih službenih nalog.

Z diplomsko nalogo želim raziskati metodo FMEA, poglobiti znanje in ugotoviti, kako se ob zagonu proizvodnje novega izdelka lahko izognemo potencialnim napakam in njihovim posledicam v različnih fazah proizvodnje ter kako dolgoročno zagotoviti stabilen, učinkovit in dobičkonosen proizvodni proces do zadnjega naročila kupca.

Vedno obstaja priložnost za izboljšave, zato želim raziskati, kako lahko z uporabo metode FMEA zagotovimo kakovostno proizvodnjo izdelkov v podjetju SVI Austria GmbH za različne kupce in kako s timskim pristopom dvigujemo nivo ozaveščenosti o pomembnosti tehnik stalnih izboljšav, med katerimi je metoda FMEA pogosto uporabljena.

Nekatere izkušnje pri metodi FMEA sem pridobil iz prejšnjih služb, kjer pa timski pristop ni popolnoma zaživel v praksi. V večini primerov je bila priprava analize FMEA "One Man Show", kar ni pravilno. To poskušamo zdaj izboljšati.

Ob izdelavi analize FMEA obstaja tveganje, da se njeni izdelavi nameni premalo pozornosti oziroma da se zanemari prednost tima. V tem primeru se analiza naredi površno, z namenom, da kupcu zagotovimo zahtevano dokumentacijo, kar pa je lahko še vedno premalo. Posledično je končni dokument izdelan na hitro, površno in nato na varnem shranjen na strežniku podjetja ali v fizični obliki v nekem predalu, njegovo vsebino pa se v najboljšem primeru preveri ob obisku ali reklamaciji kupca. In ravno temu se želimo v našem podjetju izogniti.

Pri izdelavi analize FMEA se soočamo z izzivom, kako že na začetku zastaviti proces tako, da pozneje ne bo nepotrebnih stroškov in reklamacij. Cilj je imeti proizvodnjo z nič napak.

Sprašujemo se, kaj vse moramo upoštevati in kako v naslednjem koraku ugotovljene predvidene napake pravočasno preprečiti v praksi.

Predvidevamo, da je prvi del rešitve vsekakor v dobro pripravljeni analizi FMEA, ki mora biti rezultat sodelovanja različnih strokovnjakov.

Drugi del rešitve pa je nadaljnja izdelava Control Plana za nadzor procesa.

Iščemo tudi način, kako vključiti oziroma zajeti vse elemente v analizo FMEA (zahteve kupca, standarde, smernice, pretekle interne in eksterne reklamacije, Lessons learned ...), da bo na koncu dokument zadosten.

Vse večje zahteve kupcev glede kakovosti, potrebne optimizacije stroškov izdelkov in procesov, naraščajoča kompleksnost in zakonsko predpisano jamstvo za izdelek za podjetje namreč predstavljajo izziv.

Vsak proces je pomemben in vsaka potencialna oblika napake predstavlja motnjo, odstopanje in posledično zviševanje stroškov. Beseda napaka ima v slovenskem jeziku negativen prizvok, a z vidika metode FMEA to preprosto pomeni, da določena zahteva ali specifikacija ni izpolnjena.

Analiza FMEA mora namreč predstavljati dodano vrednost za podjetje. Za pravilno pripravo te analize je treba poiskati ustrezen način komunikacije med strokovnjaki v podjetju, omogočiti timsko delo, dobro poznati procese, voditi sestanke, postavljati prava vprašanja, poiskati odgovore in pripravljen dokument spraviti v uporabo kot izhodišče za Control Plan.

Na podlagi standardov in kupčevih zahtev lahko povzamemo, da je analiza FMEA poleg Control Plana izjemno pomemben dokument planiranja kakovosti, s katerim podjetje vzdržuje kakovostne proizvodne procese in preprečuje oziroma zmanjšuje število reklamacij.

1.2 Namen in cilji diplomske naloge

Namen diplomske naloge je raziskati, kaj je metoda FMEA. Osredotočeni bomo na P-FMEA (Process FMEA) in kako jo uporabiti, da prinese pričakovane rezultate.

Cilj kakovosti je nič napak, kar pa je v praksi tudi za najboljša podjetja izjemno težko dosegljivo oziroma skoraj nemogoče.

S timskim pristopom želimo narediti kakovostno analizo P-FMEA za proizvodne procese, ki jo v praksi uporabimo kot preglednico možnih pojavov napak in njihovih posledic za določen projekt.

Morda je za nekatere proizvodne procese smiselno razmisliti o izdelavi generične, splošne oblike dokumenta P-FMEA, ki bi zajel aktualne projekte, vendar je treba pri tem pretehtati različne vidike, saj ugotavljamo, da ima vsaka oblika dokumenta svoje prednosti in pomanjkljivosti. Upoštevati je treba priporočila standardov, pričakovanja kupcev ter mnenja in predloge presojevalcev.

V prvem delu diplomske naloge je predstavljeno podjetje SVI Austria GmbH, drugi del je teoretični in pojasnjuje metodo FMEA.

V tretjem delu je predstavljen praktični primer uporabe analize P-FMEA v našem podjetju za določen projekt iz avtomobilske industrije.

Pri raziskovanju in pisanju diplomske naloge sem se srečeval z določenimi omejitvami. Ena izmed njih je, da za primer analize P-FMEA nisem uspel uporabiti aktualnega projekta, na katerem delam, vendar je ta odločitev zaradi varstva podatkov in poslovnih interesov podjetja hkrati popolnoma logična.

Kljub temu sem vodji našega oddelka hvaležen, da sem lahko uporabil in predstavil določen zunajserijski primer.

Izdelana diplomska naloga bo služila kot pripomoček za vsakdanje delo pri analizah FMEA v našem podjetju.

2 O PODJETJU SVI AUSTRIA GmbH



Slika 1: Podjetje SVI Austria GmbH v Deutschlandsbergu

(Vir: <https://www.herold.at/gelbe-seiten/deutschlandsberg/l9LR9/svi-austria-gmbh/>)

Zaposlen sem kot planer kakovosti v podjetju SVI Austria GmbH, Deutschlandsberg, kjer proizvajamo kompleksne elektronske in mehatronske izdelke za mednarodne stranke v industriji, javnem prometu, avtomobilski industriji in medicinski tehnologiji.

Pogodbeno pokrivamo celotno proizvodnjo elektronskih in mehatronskih sklopov, kompletnih naprav, kablov in sistemov ter strankam po vsem svetu ponujamo celovit nabor storitev – od načrtovanja izdelka do njegove končne izdelave.

2.1 Vizija in poslanstvo

Vizija našega podjetja je postati globalno prepoznana organizacija, ki stremi k rasti, gospodarnosti, integriteti in družbeni odgovornosti.

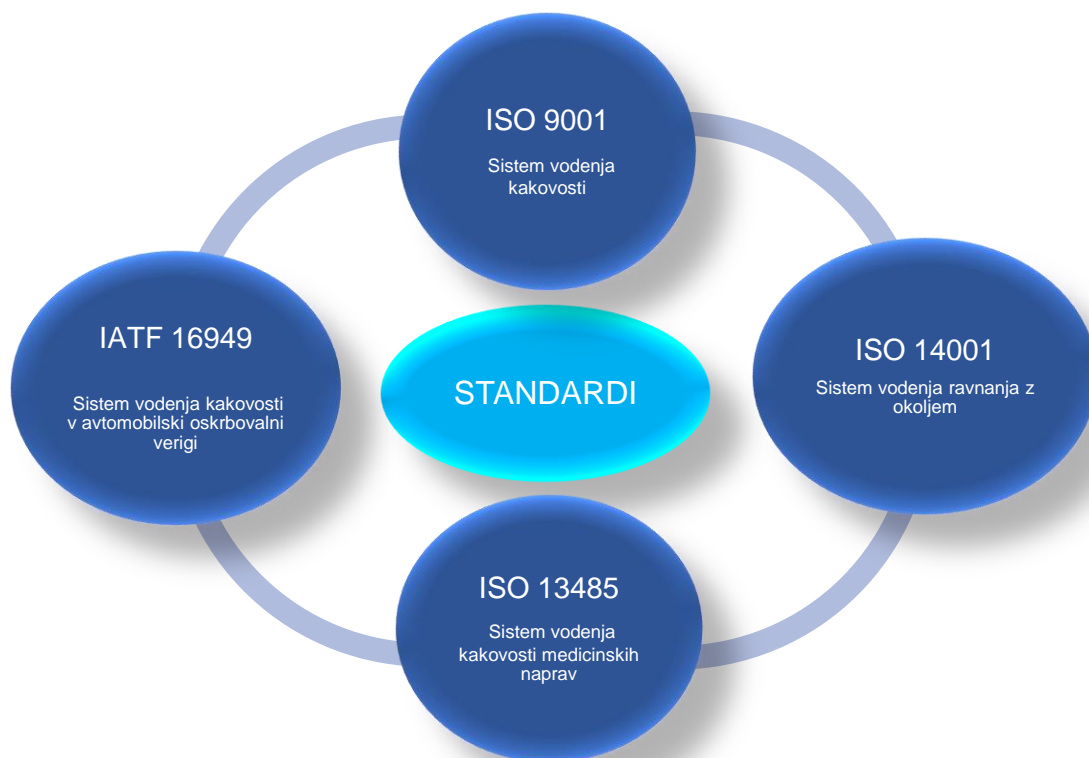
Podjetje je zavezano postati vodilni ponudnik izpolnjevanja naročil kompletnih naprav in modulov za elektroniko. Primarna osredotočenost je osvojiti ključne trge in ustvariti dolgoročna poslovna partnerstva z izbranimi strateškimi kupci in dobavitelji.

Kakovostno izdelani proizvodi in storitve so razlog za naše delo in naša strast.

2.2 Politika kakovosti

Kakovost ni le stvar oddelka kakovosti, temveč vseh zaposlenih. Zaposleni smo zavezani k stalnim izboljšavam. Naši izdelki morajo biti ne samo visoke kakovosti, pač pa tudi skladni z zahtevami kupca in standardi, varni za uporabo, zanesljivi in pravočasno dostavljeni. Da to lahko zagotovimo, potrebujemo učinkovito planiranje v vseh službah in uveden sistem vodenja kakovosti. Kakovost, stroški in dostava izdelkov ter storitev so integrirani v naše cilje kakovosti in ključne kazalnike uspešnosti, s katerimi so zaposleni ustrezno seznanjeni.

Certificirani smo za naslednje standarde:



Slika 2: Uvedeni standardi ISO

(Vir: SVI Austria GmbH, 2021 in Interno gradivo podjetja. *Vpeljevanje novo zaposlenih*. Deutschlandsberg)

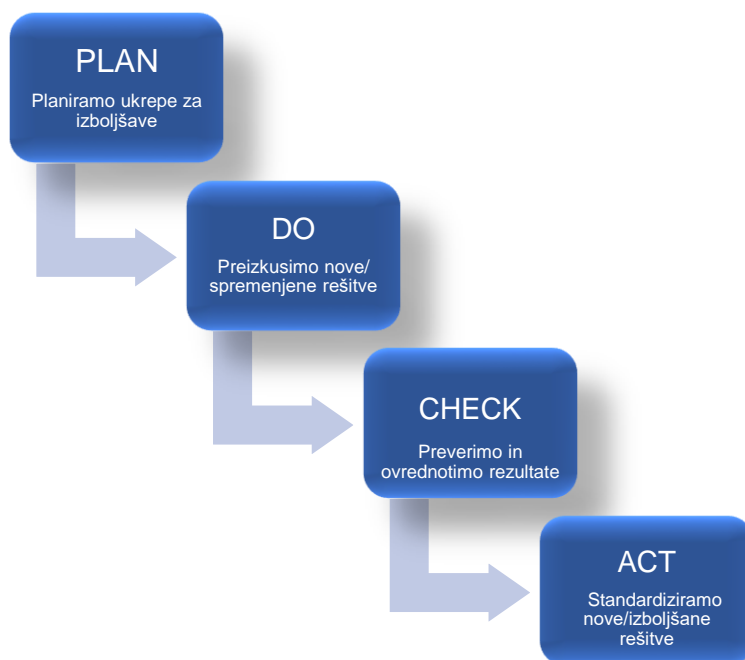
2.2.1 Pojem kakovosti

Kakovost pojmuje v našem podjetju kot celoto značilnosti izdelka, procesa ali sistema za izpolnitev kupčevih zahtev ali drugih zainteresiranih strani (dobavitelji, oblast ...).

2.2.2 Cikel PDCA

Vsi zaposleni smo deležni določenih notranjih in zunanjih izobraževanj, vsi imamo nalogo, da s predlogi ali zadalžitvami prispevamo k stalnim izboljšavam. Za stalne izboljšave v podjetju uporabljamo klasični cikel PDCA, ki ga pogosto omenjamo pri notranjih izobraževanjih. Po izobraževanjih imamo zaposleni nalogo, da uvedemo praktični primer izboljšave na določenem področju.

Obstajajo mnoge tehnike stalnih izboljšav, ki pa v osnovi vse temeljijo na principu cikla PDCA. Cikel PDCA je dokazano učinkovit sistem za uvedbo prepoznanih priložnosti za izboljšave kakor tudi za preprečevanje oziroma odkrivanje napak. Tudi metoda FMEA temelji na tem ciklu.



Slika 3: Cikel PDCA

(Vir: SVI Austria GmbH, 2021 in Interno gradivo podjetja. *Vpeljevanje novo zaposlenih*. Deutschlandsberg)

2.3 Ključne kompetence podjetja

Ključne kompetence našega podjetja so:

- napredna montaža SMT, vključno s 3D-SPI;
- robotsko selektivno spajkanje,
- robotski postopki lepljenja;
- preskusna tehnologija: AOI, ICT, Burn-in, FCT, klimatske komore;
- nadzorni sistem X-Ray,
- načrtovanje in razvoj testov;
- napredni postopki premazovanja;
- montaža (avtomatizacija, mehatronika, izdelava sistemov);
- prototipi in kvalifikacije, NPI, LVHM, neposredna odprema, popravila.

Spodnji dve sliki prikazujeta en del naše proizvodne linije SMT za en izdelek s področja medicinske industrije.



Slika 4: Linija SMT

(Vir: <https://www.businessmonat.at/november-2020/svi-austria-auf-erfolgskurs>)

3 METODA FMEA

3.1 Zgodovinski razvoj metode FMEA

Metoda FMEA je bila razvita in prvotno uporabljena za potrebe vojaške industrije v petdesetih letih prejšnjega stoletja, nato ga je uporabila NASA sredi šestdesetih let za projekt Apollo, kmalu pa so temu sledile tudi panoge jedrske, letalske, avtomobilske in računalniške industrije ter še druge.

Metoda FMEA je praktična in jo je mogoče uporabiti na različnih področjih. Danes se uporablja že skoraj v vseh panogah proizvodnje, v avtomobilski industriji pa je ta metoda čista osnova za izdelavo analize možnih napak in posledic pri razvoju izdelka ter proizvodnega procesa.



Slika 5: Zgodovinski razvoj FMEA

(Vir: https://en.wikipedia.org/wiki/McDonnell_FH_Phantom)

(Vir: <https://www.conserve-energy-future.com/nuclearenergy.php>)

(Vir: <https://www.nasa.gov/centers/glenn/about/history/timeline.html>)

(Vir: https://en.wikipedia.org/wiki/August_1981#/media/File:lbm_pc_5150.jpg)

(Vir: <https://raycee1234.blogspot.com/2015/11/car-production-in-germany-by-brand-1980.html?m=1>)

3.2 Področje uporabe metode FMEA

Metodo FMEA lahko uporabimo, kjer obstaja določeno tveganje, ki ga je mogoče oceniti. Praktično jo uporabimo v fazi razvoja izdelka (D-FMEA) in v fazi priprave proizvodnih procesov za nove projekte (P-FMEA).

Pri analizi FMEA poskuša določena skupina strokovnjakov na podlagi že zbranih izkušenj, poznavanja izdelkov in procesov prepoznati ter preprečiti napake, še preden se te pojavijo. Zato mora biti analiza FMEA usmerjena v podrobnosti. Osredotočenost analize FMEA je v pravočasnem preprečevanju napak in ne v njihovem odkrivanju, kar je poudarjeno tudi v različnih poglavjih standarda IATF.

Metoda FMEA je pomemben del naprednega planiranja kakovosti proizvoda APQP, zato je v osnovi priporočljivo, da se z izdelavo analize začne, kakor hitro to situacija dopušča. APQP opisuje celovit postopek za ciljno usmerjeno vodenje projektov, povezanih s kakovostjo, ki zagotavlja orodja, kot so FMEA, MSA, PPAP in SPC pri skladnem razvoju izdelkov in procesov.

Pri nastajanju analize FMEA je treba določiti tim motiviranih sodelavcev, ki skupaj z moderatorjem izdelajo analizo. Moderator FMEA skrbi za potek dela, razvijanje metode, odgovarja za strukturo analize, s postavljanjem vprašanj vodi tim skozi procese FMEA in tako pride do odgovorov, izvede predpripravo na pogovore, dokumentira vsebinski doprinos tima in rezultatov, upravlja znanje, je brez lastnih interesov in ostaja nevtralen.

Tim FMEA sestavljajo kompetentni strokovnjaki, ki zavzamejo stališče za vsebino, po potrebi zagotovijo relevantne dokumente, prinesejo znanje in interpretirajo odgovore, aktivno sodelujejo in zastopajo lastne interese, prepoznajo potencial za optimizacijo procesov in uvedejo definirane ukrepe. Paziti je potrebno, da med seboj ne zamenjujemo Design in Process-FMEA, prav tako ni priporočljivo, da se člani skupine strokovnjakov stalno menjujejo.

3.2.1 Splošna uporabnost metode FMEA

Splošno je uporaba metode FMEA odvisna od:

- kompleksnosti raziskovanega izdelka ali procesa, stopnje podrobnosti;
- kakovosti priprave, metodičnega znanja, zavzetosti in rutine sodelujočih strokovnjakov pri analizi FMEA.

Zato je metoda FMEA univerzalno uporabna:

- ne glede na panogo, dejavnost podjetja, do podrobnosti na vseh stopnjah življenjskega cikla proizvoda ali procesa;
- pri tiskem delu, kjer že zelo zgodaj spodbuja interdisciplinarno sodelovanje;
- za preučitev stopnje razvoja oz. načrtovanja izdelka ali procesa ter možnosti pojava napak z namenom sprožitve ukrepov za njihovo pravočasno preprečitev kot učinkovitega orodja za preprečevanje tveganj in zniževanje stroškov pri razvoju in proizvodnji izdelkov.

3.2.2 Koristi metode FMEA

Metoda FMEA je koristna za zmanjševanje stroškov:

- razvoja,
- sprememb,
- napak,
- testiranj in investicij.

4 METODA FMEA V STANDARDU IATF 16949:2016

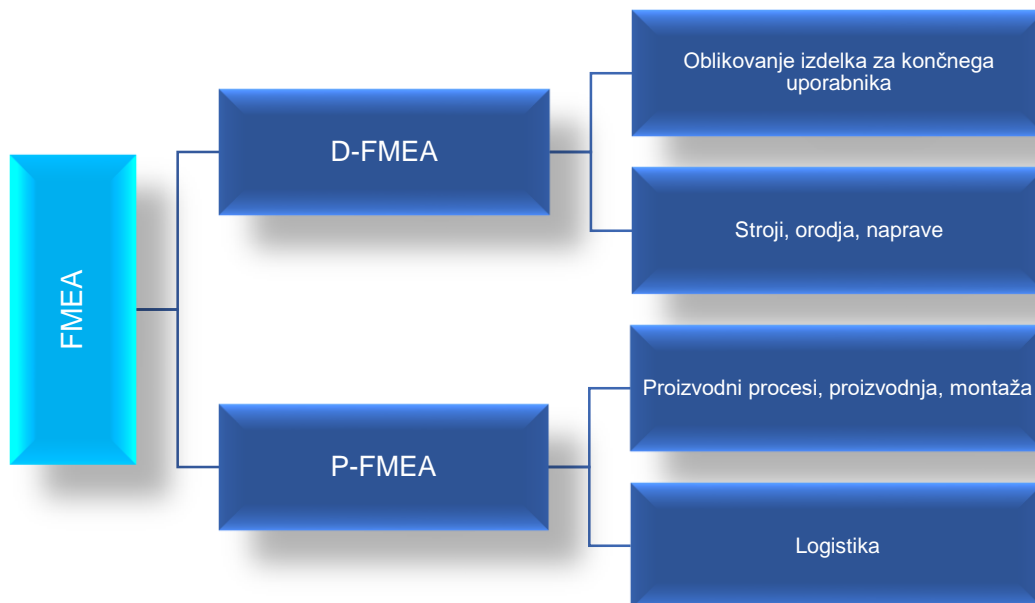
Metoda FMEA se omenja v standardu IATF 16949:2016 v različnih poglavjih:

4.4.1.2	Varnost izdelka	8.7.1.4	Vodenje izdelkov za dodelavo
7.2.3	Usposobljenost notranjih presojevalcev	8.7.1.5	Vodenje izdelkov za popravila
7.2.4	Usposobljenost presojevalcev druge stranke	9.1.1.1	Nadzor in merjenje proizvodnih procesov
7.5.3.2	Tehnične specifikacije	9.1.1.2	Vzpostavitev statističnih metod
8.3.2.1	Planiranje razvoja – dodatek	9.2.2.3	Presoje proizvodnih procesov
8.3.3.3	Posebne značilnosti	9.3.2.1	Vhodni podatki za vodstveni pregled – dodatek
8.3.5.1	Rezultati razvoja izdelka – dodatek	10.2.3	Reševanje problemov
8.3.5.2	Rezultati razvoja proizvodnega procesa	10.2.4	Preverjanje napak
8.5.1.1	Control Plan	10.3.1	Stalne izboljšave
8.5.6.1.1	Časovno omejene spremembe pri vodenju proizvodnega procesa		

Tabela 1: Metoda FMEA v standardu IATF 16949:2016
(Vir: IATF 16949:2016)

5 VRSTE METODE FMEA

Poznamo dve glavni vrsti FMEA:

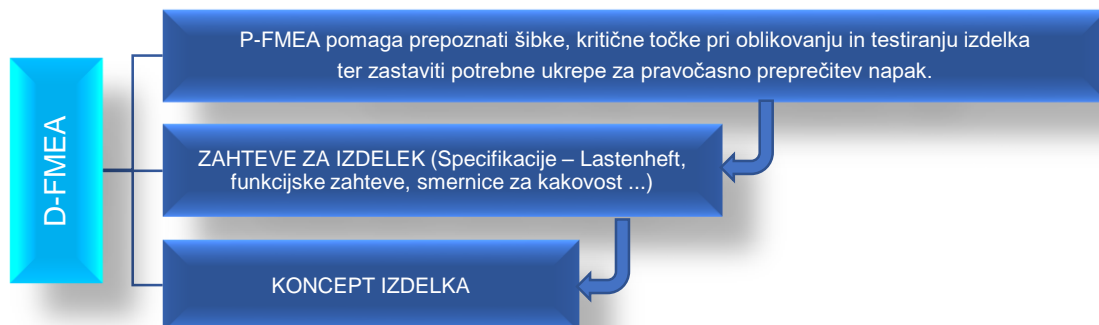


Slika 6: Vrste metode FMEA

(Vir: SVI Austria GmbH, (2020). Interno gradivo podjetja. APQP. Deutschlandsberg)

5.1 Metodi D-FMEA in P-FMEA

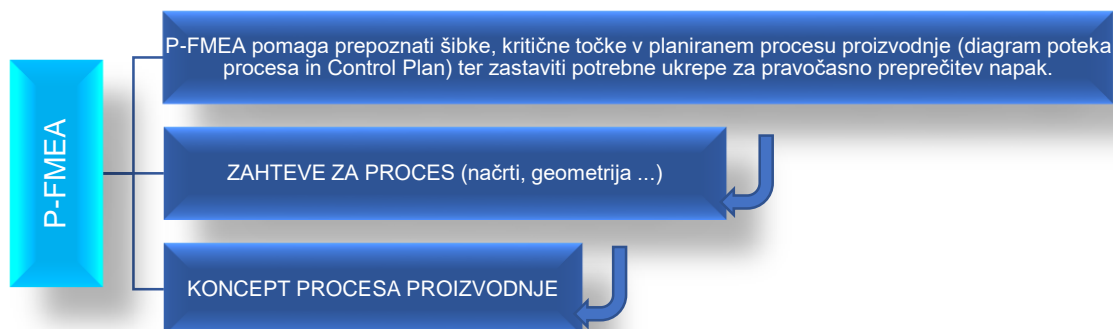
Metodo D-FMEA lahko uporabimo pri proizvodnih težavah zaradi konstrukcijske oblike izdelka, pri novih pogojih za obstoječe izdelke, pri razvoju novega izdelka ali spremembah na izdelkih, pri uporabi novih tehnologij, novih materialih, posebnih ali težavnih kupčevih zahtevah, pri varnostnih delih oz. komponentah.



Slika 7: Metoda D-FMEA

(Vir: SVI Austria GmbH, 2020 in Interno gradivo podjetja. APQP. Deutschlandsberg)

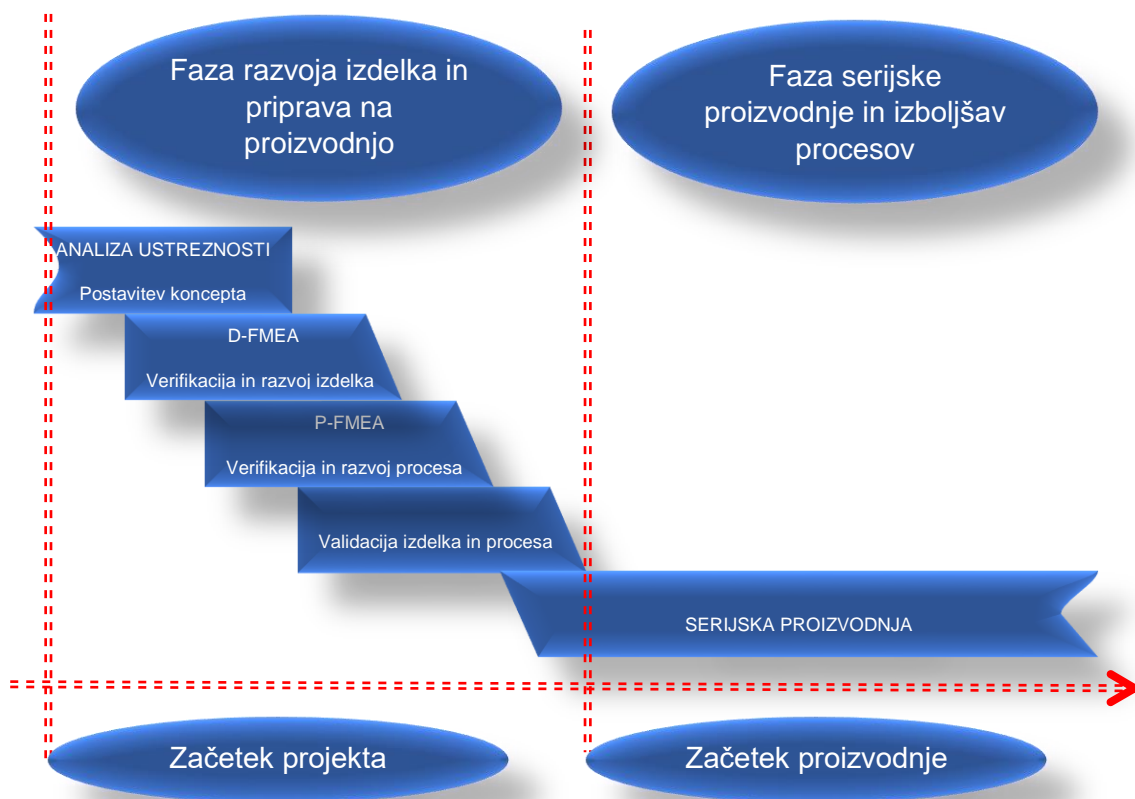
Metodo P-FMEA lahko uporabimo pri uvedbi novih tehnologij, procesov in novih materialov, pri težavnih izdelkih in procesih, posebnih ali težavnih zahtevah kupca, pri varnostnih delih oz. komponentah in kadar imamo opravka s posebnimi značilnostmi.



Slika 8: Metoda P-FMEA

(Vir: SVI Austria GmbH, 2020 in Interno gradivo podjetja. APQP. Deutschlandsberg)

6 ČASOVNA UPORABA METODE FMEA



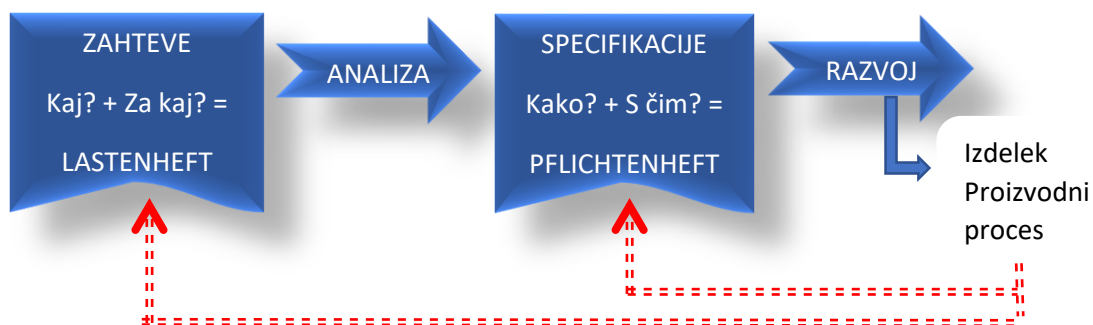
Slika 9: Časovna uporaba metode FMEA

(Vir: SVI Austria GmbH, 2020 in Interno gradivo podjetja. APQP. Deutschlandsberg)

Pri naprednem planiranju kakovosti se srečujemo s pojmom verifikacije in validacije. Po ISO 9001:2015 (8.3.4) sta pojma verifikacije in validacije opredeljena takole:

a) **verifikacija** je preverjanje, če rezultati razvoja izpolnjujejo zahteve iz razvojnih specifikacij;

b) **validacija** je preverjanje, če proizvedeni izdelki in storitve izpolnjujejo zahteve, ki izhajajo iz predvidene uporabe.



Slika 10: Verifikacija in validacija

(Vir: SVI Austria GmbH, 2020 in Interno gradivo podjetja. APQP. Deutschlandsberg)

Na področju planiranja kakovosti sta pomembna tudi pojma Lastenheft in Pflichtenheft, zato je dobro, da poznamo njun pomen.

a) **Lastenheft:**

- v njem so opisane zahteve naročnika, vključno z vsemi mejnimi pogoji. Te bi morale biti določljive in preverljive;
- v dokumentu so opisane naloge, ki jih je potrebno rešiti: kaj in za kaj?;
- izdelava ga naročnik, ali pa ga poda ob naročilu;
- je osnova za razpis, ponudbo ali pogodbo.

b) **Pflichtenheft:**

- Pflichtenheft vsebuje Lastenheft;
- v dokumentu so podrobno opisane kupčeve oz. naročnikove specifikacije in v razširjeni obliki podane zahteve po realizaciji ob upoštevanju konkretnih, uporabnih rešitev, prav tako je v njem definirano, kako in s čim realiziramo zahteve;

- praviloma specifikacije pripravi izvajalec v sodelovanju z naročnikom po oddaji naročila. Za specifikacijo je potrebna odobritev naročnika.

6.1 Analiza FMEA kot del dokumentacije PPAP / PPF

Analiza FMEA predstavlja pomemben del dokumentacije PPAP / PPF, katere namen je vzorčenje oz. potrjevanje proizvodnega procesa in izdelka skladno z zahtevami. PPAP prihaja z zahoda, medtem ko je PPF evropskega izvora, obe pa imata podoben cilj.

Obe vrsti dokumentacije zahtevata poleg drugih Q-dokumentov tudi analizo FMEA, ki mora biti kupcu vedno na vpogled.

Cilj izdelave ene ali druge dokumentacije je povečati kupčevo zaupanje v dobavitelja, da bo ta vzpostavil in vzdrževal pričakovane proizvodne procese in dostavil izdelke, ki so skladni s kupčevimi zahtevami.

Obe vrsti dokumentacije sta lahko zelo obsežni, sicer pa je obseg dokumentacije, ki jo priskrbi dobavitelj, odvisen od dogovora s kupcem.

S postopkom PPF dokažemo, da izpolnjujemo zahteve za proizvodni proces in izdelek pod serijskimi pogoji. Specifične zahteve lahko poda kupec ali oblast, lahko so zakonske, splošno veljavne in tehnične (načrti, Lastenheft, Pflichtenheft, navodila pakiranja, referenčni vzorci).

Z odobritvijo postopka PPF se zagotovi, da so predpogoji pri dobavitelju izpolnjeni za serijsko dobavo skladnih izdelkov glede na podane zahteve. Dobavitelj mora izvesti in dokumentirati celoten postopek PPF in voditi zapise v primerni obliki. Nato sledi potrditev kupca.

Z dokumentacijo PPAP se ugotavlja, ali dobavitelj razvojno dokumentacijo skupaj s specifikacijami pravilno razume. O vseh spremembah proizvodnega procesa ali izdelka mora biti kupec pravočasno obveščen.

Dokumentacija PPAP vključuje razvojne zapise, tehnične spremembe, tehnično odobritev, konstrukcijsko FMEA, diagram poteka, P-FMEA, Control Plan, MSA, merske rezultate, teste materialov in izvedbene teste, raziskavo kratkoročne sposobnosti procesa, dokumentacijo kvalificiranega laboratorija, poročilo o izgledu, vzorec za serijsko proizvodnjo, specifično testno opremo, specifične kupčeve zahteve, PSW in drugo.

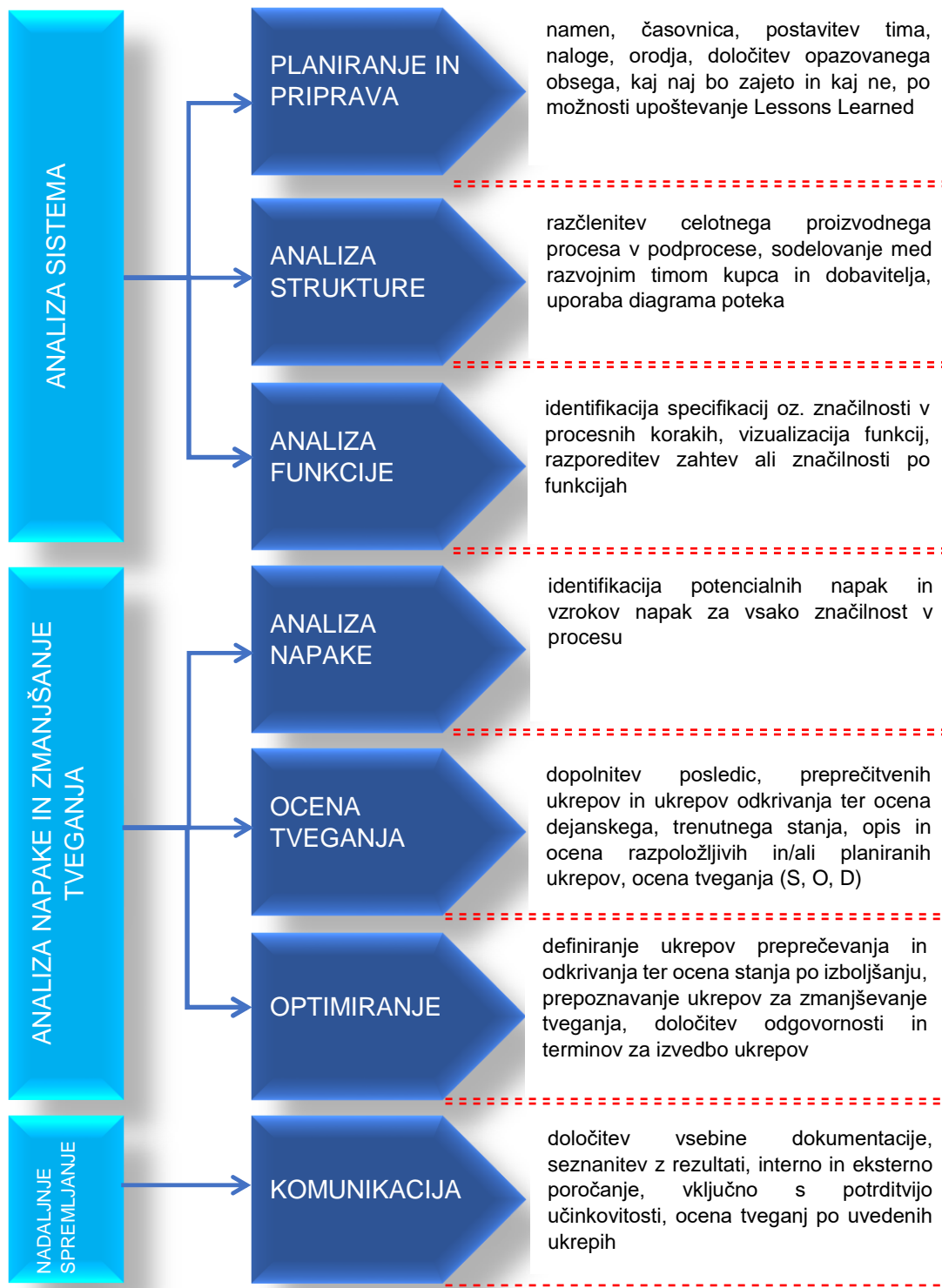
Obseg dokumentacije PPF



Slika 11: Obseg dokumentacije PPF

(Vir: SVI Austria GmbH, 2020 in Interno gradivo podjetja. APQP. Deutschlandsberg)

7 ZGRADBA FMEA V SEDMIH KORAKIH



Slika 12: Zgradba FMEA v sedmih korakih

(Vir: SVI Austria GmbH, 2020 in Interno gradivo podjetja. APQP. Deutschlandsberg)

8 OCENA TVEGANJA

Na začetku analize FMEA poskušamo z brainstormingom ali katero drugo tehniko prepoznati možne napake. To predstavlja kreativni del analize FMEA. Ob tem je zelo koristno imeti pred seboj diagram poteka procesa in iti skozi vsak procesni korak posebej. Ob pregledu diagrama prepoznamo različna tveganja, pojavljati se začno različna vprašanja, na katera skušamo poiskati odgovore.

Izhajajoč iz izkušenj s prejšnjimi izdelki (testiranja izdelkov, reklamacije kupca ...) se napake strukturirano predstavijo v diagramu vzrokov in posledic. Excel omogoča preprosto pripravo preglednice napak, obstajajo pa tudi druga programska orodja, ki so namenjena posebej izdelavi analize FMEA in Control Planov.

Failure Mode and Effects Analysis									Datum:
o Process-FMEA				Izdelek (Opis, št., stanje spremembe):				Tim:	
Produkt: x Proces: Vhodna kontrola				Odgovoren (za razvoj izdelka/planiranje/proizvodnjo):					
Možne napake	S	Možne posledice	Možni vzroki napak	Preprečitveni ukrepi	O	Ukrepi odkrivanja	D	RPN	Priporočeni ukrepi/termin
Poškodovano vhodno blago	6	Reklamacija blaga, zastoj montažne linije	Transport	Izobraževanje zaposlenih	4	Vizualna vhodna kontrola prejetega blaga	3	72	-
Umazano prejet blago	6	Reklamacija blaga, zastoj montažne linije	Nepprimerno ravnanje z blagom, vdor vode, prahu, ostala umazanija	Izobraževanje zaposlenih na začetku dela in obnovitev izobraževanja enkrat letno	4	Vizualna vhodna kontrola prejetega blaga	3	72	-
Dobavnica s prejetim blagom ni na voljo	3	Reklamacija blaga, blago se ne prevzame	Napaka na strani dobavitelja	Izobraževanje zaposlenih na začetku dela in obnovitev izobraževanja enkrat letno	4	Vizualna vhodna kontrola prejetih dobavnic	1	12	-

Tabela 2: Primer preproste preglednice FMEA

(Vir: SVI Austria GmbH, 2020 in Interno gradivo podjetja. APQP. Deutschlandsberg)

Glavno vprašanje analize FMEA:

- Kolikšno tveganje prevzame kupec, če bo prejel izdelek, ki ne ustreza zahtevam, specifikacijam in pričakovanjem, ter kaj ta problem posledično zanj pomeni?

8.1 Faktorji ocenjevanja

Tveganje je posledica treh dejavnikov:

- **Severity – S** (stopnja resnosti/pomen/teža napake): kakšne so posledice napake za kupca?
 - Pri ocenjevanju resnosti napake izhajamo iz možne napake. Z upoštevanjem posledice napake se oceni pomen napake za kupca.
- **Occurrence – O** (pojavnost napake): kolikšna je verjetnost, da se napaka pojavi?
 - Možna napaka je izhodiščna točka za oceno pojavnosti napake.
- **Detection – D** (odkrivanje napake): kolikšna je verjetnost, da napaka ne bo odkrita, preden se posledice napake pokažejo pri kupcu?
 - Izhodiščna točka za ocenjevanje odkrivanja je možna vnovična napaka. Z upoštevanjem ukrepov za odkrivanje se oceni verjetnost, da napaka ne bo odkrita.

8.2 Prednostno število tveganja

Po ocenjevanju v obrazcu sledi izračun prednostnega števila tveganja **RPN**:

- Prednostno število tveganja se izračuna kot zmnožek stopnje resnosti, pojavnosti in odkrivanja napake.
- **RPN = S x O x D**
- Glavni namen tega postopka je, da prepoznamo največje šibkosti pri razvoju izdelka ali procesa. Gre za tiste napake, ki lahko nastopijo z večjo verjetnostjo, a verjetno ne bodo odkrite, lahko pa povzročijo veliko škodo za kupca in proizvajalca.

8.3 Ocenjevalna lestvica

Da bi bilo ocenjevanje čim bolj ponovljivo in razumljivo za uporabnike, potrebujemo ocenjevalno lestvico, ki mora biti jasno opredeljena. Priporoča se, da se lestvica uskladi s kupcem in dobaviteljem.

Vsak faktor tveganja se oceni od 1 do 10.

Pomen posledice napake		Verjetnost pojava napake		Ocena verjetnosti odkritja napake	
S	Kriterij	O	Stopnja okvare	D	Kriterij
10	Zelo resna napaka, ki ogroža varnost in/ali krši skladnost s predpisi	10	Zelo visoka	Zelo nizko 10–9	Zelo majhna verjetnost odkritja napake, saj metoda odkrivanja ni znana ali ni opredeljena.
9	Tveganje, ki ogroža obstoj podjetja. Izdelka ni mogoče dostaviti zaradi kakovosti. Nesprejemljiva prekoračitev stroškov	9			
8	Velika zamuda pri dostavi, visok delež dodelave, zaustavitev linije, zelo visoka prekoračitev stroškov/pritožba stranke	8	Visoka	Nizko 8–7	Majhna verjetnost odkritja napake, saj je postopek odkrivanja negotov ali ni izkušenj z opredeljenim postopkom odkrivanja.
7	Visoka obraba/poškodbe orodja, visoka prekoračitev stroškov, visoka stopnja izmeta	7			
6	Zamujena dostava, zmerna količina dodelave, motnje v procesu	6	Zmerna	Zmerno 6–5–4	Zmerna verjetnost odkritja napake. Dokazana metoda odkrivanja iz primerljivih postopkov v novih delovnih/mejnih pogojih (stroji, material).
5	Srednja obraba/poškodbe orodja, zmerna prekoračitev stroškov	5			
4	Zmerna stopnja izmeta	4			
3	Majhna dodelava, malo motenj v procesu	3	Nizka	Visoko 3–2	Visoka verjetnost odkritja napake zaradi preizkušene metode zaznavanja. Potrjena je zahtevana zmogljivost merilne naprave metode odkrivanja za odkrivanje napak.
2	Nizka prekoračitev stroškov, nizek delež izmeta	2			
1	Zelo majhna, sprejemljiva prekoračitev stroškov	1	Ne nastopi	Zelo visoko 1	Zelo visoka verjetnost odkritja napake zaradi preizkušene metode odkritja pri prejšnji generaciji izdelkov. Učinkovitost je bila potrjena pri tem izdelku.

Tabela 3: Ocenjevalna lestvica – primer
(Vir: SVI Austria GmbH, 2020 in Interno gradivo podjetja. APQP. Deutschlandsberg)

9 PRAKTIČNA IZVEDBA ANALIZE P-FMEA

V našem podjetju sodelujem pri nastajanju analiz P-FMEA in Control Planov pri različnih projektih za avtomobilsko industrijo. Delujem v vlogi moderatorja. Analizo P-FMEA izdelujemo v skupinah, sestanke organiziramo z različnimi strokovnjaki glede na proizvodni proces.

Pri delu uporabljamo različne dokumente:

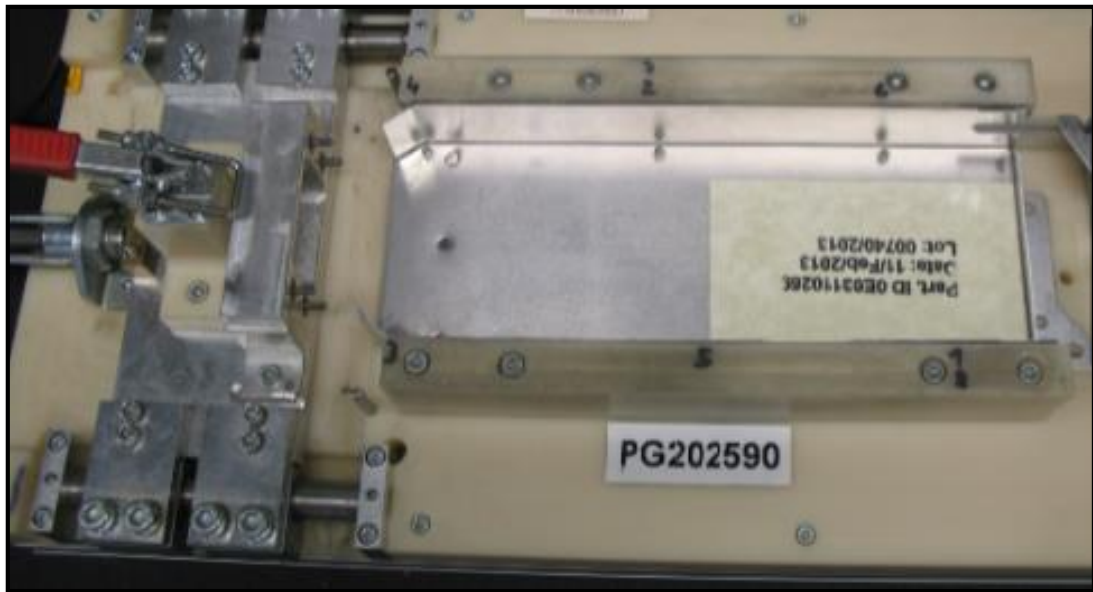
- razpoložljive analize FMEA podobnih projektov;
- seznam napak, reklamacije;
- načrt proizvodnje, diagram poteka proizvodnega procesa;
- delovna navodila, če so na voljo;
- kosovnice, načrt montaže in testiranj;
- načrte, posebne značilnosti procesov;
- kupčeve zahteve, zahteve za kakovost in varnost;
- standarde, zakonske predpise in predpise oblasti ter drugo.

Za sestanke uporabljamo govorilne sobe s projektorjem in tablo za pisanje.

9.1 Primer analize P-FMEA za montažo enote za nadzor baterije E-Drive

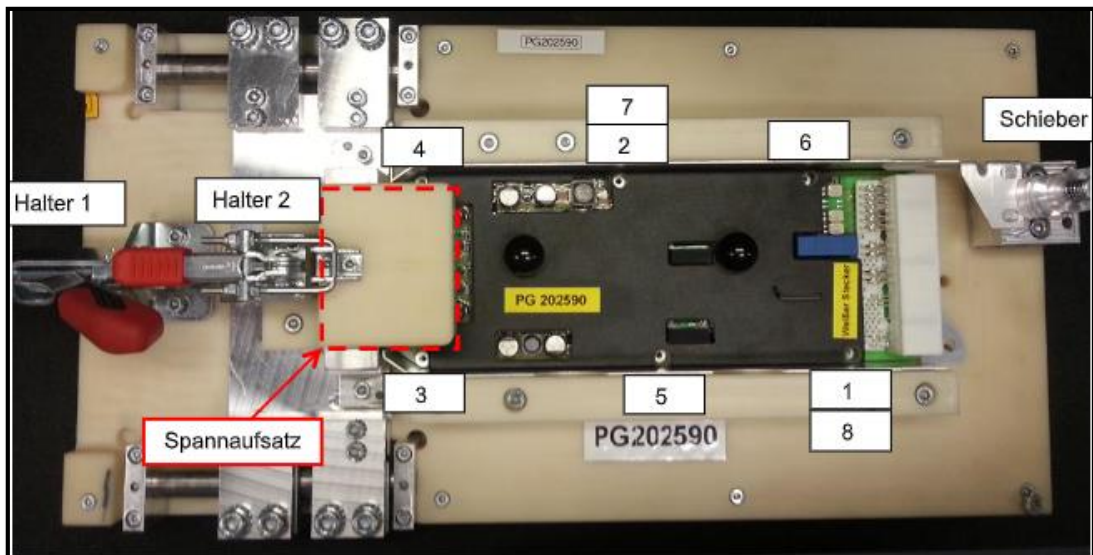
Predstavljen je praktičen del analize FMEA za montažo zunajserijske plošče PCB, ohišja in vijakov. Montaža je bila specifična za ta izdelek in se ni uporabljala pri drugih projektih.

- Izdelek: BMU (Battery Management Unit) za hibridne avtomobile.
- Funkcija izdelka: kontroler za baterijo, ki meri temperaturo, tok, napetost vsake celice in jih temu primerno polni.
- Pripomočki:
 - pripravna enota za montažo PG202590 (naslonjalo za ohišje in PCB ploščo),
 - vijačnik, ki je priklopljen in nadzorovan z zaslonom za moment in računalnikom. Vrtilni moment je bil določen s specifikacijami.
- Kratek opis poteka montaže:
 - v namenski pripomoček se je položilo ohišje – sistem Poka Yoke, ki je preprečeval napačno namestitvev ohišja,
 - v ohišje se je vstavila in s šestimi vijaki privijačila plošča PCB,
 - vrstni red vijačenja je bil pomemben in ga je določil kupec,
 - s skenerjem se je poskenirala črtna koda na sestavljenem sklopu (sledljivost proizvodnje).



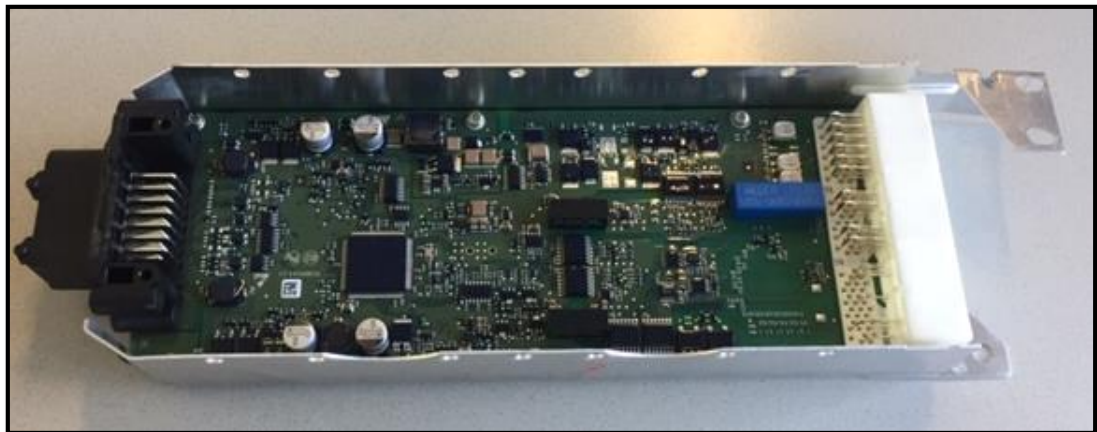
Slika 13: Pripravna enota za montažo

(Vir: SVI Austria GmbH, 2015 in Interno gradivo podjetja. Delovno navodilo BMU. Deutschlandsberg)



Slika 14: Prikaz zaporedja vijačenja

(Vir: SVI Austria GmbH, 2015 in Interno gradivo podjetja. Delovno navodilo BMU. Deutschlandsberg)



Slika 15: Končno stanje – zmontiran v ohišje PCB
(Vir: SVI Austria GmbH, 2015 in Interno gradivo podjetja. *Delovno navodilo BMU.*
Deutschlandsberg)

Failure Mode and Effects Analysis									Datum:
o Process-FMEA				Izdelek (Opis, št., stanje spremembe): BMU (Battery Monitoring Unit) za E-Drive				Tim:	
Proces: montaža PCB plošče in ohišja				Odgovoren (za razvoj izdelka/planiranje/proizvodnjo):					
Možne napake	S	Možne posledice	Možni vzroki napak	Preprečitveni ukrepi	O	Ukrepi odkrivanja	D	RPN	Priporočeni ukrepi/termin
Izbran napačen program za vijačenje	6	Zastoj montaže, nepotrebni stroški, reklamacija kupca	Neupoštevanje spremnega lista, kjer je naveden program	Delavec preveri naložen program v primerjavi s spremnim listom in delovnim navodilom	4	Vizualna kontrola po naloženem programu, preverba naloženega programa na začetku montaže, ki sta jo opravila vodja skupine in delavec	3	96	
PCB ni fiksno vstavljen v ohišje, se premika oz. ne nalega popolnoma	5	Vijačenje ni možno, zastoj montaže	Plošča PCB ne nalega točno na luknje in vijake ali pa držala – zaklepi niso zaprti do predvidenega položaja	Po navodilu za delo se plošča PCB pravilno vstavi v ohišje, zapreta se obe držali, plošča PCB nalega točno na luknjah in vijakih. Plošča PCB se ne premika. Delavec preveri pritrjenost plošče PCB, ohišja in držal	3	Vizualna kontrola vstavljene plošče in zaprtih držal	4	60	
Pripravljeni napačni vijaki na delovnem mestu za montažo	8	Montirani/uporabljeni napačni vijaki, ki niso predpisani, zastoji montaže/nepotreben izmet/reklamacija kupca	Vijaki so bili označeni in prevzeti pri komisioniranju z napačno ident. nalepko. Napaka pri prevzemu in označevanju materiala v vhodni kontroli	Primerjava vijakov s predpisano šifro in potrjenim vzorcem v vhodni kontroli	4	Vizualna kontrola v vhodni kontroli in ponovno pred začetkom montaže	3	96	-
Napačen vrstni red vijačenja vijakov	8	Reklamacija kupca	Neupoštevanje navodil za delo	Sledenje zaporedju vijačenja po delovnem navodilu	4	Vizualna kontrola zaporedja vijačenja od prvega do zadnjega vijaka	4	128	
Napačno nastavljen vrtilni moment na vijačniku	8	Moment vijačenja ne dosega zahtevane vrednosti s toleranco (reklamacija kupca) ali pa jo presega	Neupoštevanje predpisanih vrednosti za nastavitve momenta vijačenja po delovnih navodilih ali napačno izbran program	Vrtilni moment se nastavi po predpisanih vrednostih kupca	4	Vodja skupine in delavec preverita nastavitve pred začetkom dela	3	96	
Razmazana, zmečkana ali poškodovana črna koda	5	Neberljiva črna koda, sledljivost proizvodnje ni zagotovljena	Slaba kakovost tiskalnika, napačne nastavitve tiskalnika, slaba kakovost traku, neprimerno ravnanje z natisnjenimi črtnimi kodami	Redno vzdrževanje in kontrola delovanja tiskalnika, redna menjava traku ter kontrola natisnjenih črtnih kod. Pazljivost pri ravnanju z nalepkami	4	Vsaka nalepka s črtno kodo se preveri s skenerjem, s čimer se potrdi berljivost in se zagotovi sledljivost proizvodnje	4	80	

Tabela 4: Analiza FMEA v montažnem procesu

(Vir: SVI Austria GmbH, 2015 in Interno gradivo podjetja. FMEA BMU. Deutschlandsberg)

Iz tabele je razvidno, kje je prednostno število tveganja največje. Ta podatek nam lahko služi za prepoznavnost, kje je tveganje največje oziroma čemu je potrebno nameniti posebno pozornost v Control Planu. Ni pa nujno. Vsekakor je treba narediti analizo pridobljenih rezultatov, z njimi seznaniti sodelujoče, rezultate predebatirati in po potrebi predlagati oziroma vpeljati potrebne ukrepe za izboljšave.

10 ZAKLJUČEK

Predvidevali smo, da dobro pripravljena analiza FMEA pomaga k zmanjševanju reklamacij. Po pogovorih s sodelavci v podjetju je bilo ugotovljeno, da tega parametra ne spremljamo, zato končnih števil ne poznamo. Torej ni mogoče oceniti, za koliko odstotkov boljše rezultate imamo, odkar uporabljamo metodo P-FMEA.

Kljub temu pa z gotovostjo trdimo, da je rešitev za pravočasno prepoznavanje in preprečevanje napak v analizi FMEA in stalnih izboljšavah ter da se je smiselno potruditi pri izdelavi analiz FMEA.

Pozitivno pri pisanju diplomske naloge je bilo, da sem lahko dodatno poglobil svoje znanje, prišel v stik z novo literaturo FMEA za avtomobilsko industrijo, zahtevami kupca in standardi ter da zdaj vsebino diplomskega dela lahko uporabljam(o) pri vsakodnevnem delu kot strnjen pripomoček.

Prednosti sodelovanja pri analizah FMEA v timu so zagotovo učenje, spoznavanje procesov in novih tehničnih izrazov ter nadgradnja nemškega jezika.

Dnevno sodelujem z zelo dobro ekipo strokovnjakov tehnikov, vodji oddelkov, vodjo proizvodnje in drugimi. Skupaj se iz projekta v projekt učimo novih stvari in se zavedamo, da obstajajo vedno priložnosti za izboljšave.

Pri izdelavi analiz FMEA spoznavamo, da je velika umetnost in izziv zajeti vse zahtevane vidike. Upoštevati je treba kupčeve zahteve, standarde, razne smernice za kakovost, pretekle reklamacije, podobne projekte, izkušnje itn.

V prejšnjem podjetju sem imel priložnost delati s programskim orodjem, ki je omogočal zelo veliko funkcij za izdelavo analize FMEA, vendar je bilo orodje precej neprijazno uporabniku, zato sem potreboval nekaj mesecev, da sem se ga naučil uporabljati. Še vedno je uporaba preprostega programa Excel zelo praktična.

Najpomembnejša stvar, ki sem se je naučil, pa je vsekakor to, da je za pripravo analize FMEA nujno timsko delo.

11 LITERATURA IN VIRI

- Allen, B. (2019). *How to do FMEA properly – A tutorial*. Pridobljeno 15.09.2021 z naslova https://www.youtube.com/watch?v=f_fjqCpd67Q.
- Božič, S. (2018). Zapiski predavanj: *Kakovost in zanesljivost procesov*. Neobjavljeno delo.
- *FMEA Handbuch*. (2019). Southfield, Michigan, USA. Automotive Industry Action Group.
- Jung, B., Schweisser, S. in Wappis, J. (2020). *8D – Systematisch Probleme lösen*. München: Carl Hans Verlag München.
- SVI Austria GmbH, (2020). Interno gradivo podjetja. *APQP*. Deutschlandsberg.
- SVI Austria GmbH, (2015). Interno gradivo podjetja. *Delovno navodilo BMU*. Deutschlandsberg.
- SVI Austria GmbH, (2015). Interno gradivo podjetja. *FMEA BMU*. Deutschlandsberg.
- SVI Austria GmbH, (2021). Interno gradivo podjetja. *Vpeljevanje novo zaposlenih*. Deutschlandsberg.
- Zavod za tehnično izobraževanje Ljubljana (2008). Delovno gradivo s seminarja z delavnico: *Sistemi stalnih izboljšav v proizvodnji in tehnike reševanja problemov*. Ljubljana. Neobjavljeno delo.
- Wappis, J. in Jung, B. (2019). *Null-Fehler-Management, Umsetzung von Six Sigma*. München: Carl Hans Verlag München.