



ICES
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija
Program: Strojništvo
Modul: Orodjarstvo

**PREDNOSTI ZDRUŽENIH STANDARDOV
NEMŠKE IN AMERIŠKE AVTOMOBILSKE
INDUSTRIJE VDA IN AIAG PRI UPORABI
METODE FMEA**

Mentorica: mag. Slavko Božič
Lektorica: Metka Bartol, prof. slov.

Kandidat: Anže Bergant

Škofja Loka, julij 2022

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju mag. Slavku Božiču za vso podporo in pomoč pri izdelavi diplomske naloge.

Hvala ge. Tadeji Bergant, mentorici iz podjetja Domel, d.o.o., za ves trud in nasvete med pisanjem diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi lektorici Metki Bartol, ki je mojo diplomsko nalogo jezikovno in slovnično pregledala.

Na koncu velja zahvala še prijatelju Ivu Prevcu za vso podporo med samim študijem.

IZJAVA

Študent Anže Bergant izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom mag. Slavka Božiča.

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.

Dne _____

Podpis: _____

POVZETEK

Za podjetja na trgu avtomobilske industrije velja, da morajo za svoj obstanek premagovati različne izzive, ki so prisotni praktično ves čas. Ob tem pa morajo ne glede na vse zagotavljati ustrezno raven kakovosti svojih proizvodov. Vse to predstavlja tveganje za napake, ki se lahko pojavijo v matičnem podjetju ali celo pri kupcu. V izogib temu se v podjetjih uvajajo preventivne metode zagotavljanja kakovosti, s katerimi se skuša predvidevati in preprečevati pojav in obstoj napak. Eno izmed orodij za obvladovanje in ocenjevanje tveganja je metoda FMEA. Analiza FMEA je v osnovi dokaj preprosto orodje zagotavljanja in nadzora kakovosti, ki ga sodelujoči v avtomobilski industriji uporabljamo v vseh procesih, ki to zahtevajo. Slabost metode FMEA je predvsem v tem, da se lahko izvaja na več različnih načinov, a ni nujno, da vsi zadovoljujejo potrebe kupcev v avtomobilski industriji, z različnimi pristopi pa prihaja tudi do zmede in napak.

Diplomska naloga prikazuje izvedbo metode FMEA po dveh različnih konceptih z osredotočenjem na analizo PFMEA po združenih zahtevah standardov AIAG/VDA. Z opisom splošne metode FMEA ter na drugi strani s praktičnim primerom analize PFMEA po kriterijih AIAG/VDA je predstavljen osnovni postopek, ki ga zahteva avtomobilska industrija, ter razlike v njem, ki pomenijo tudi prednost pred »splošno« analizo FMEA.

KLJUČNE BESEDE

- FMEA
- VDA/AIAG
- analiza
- kakovost
- napake in njihove posledice

ABSTRACT

Companies which work within the car industry market need to surmount different challenges all the time in order to provide their existence. On the other hand they also have to ensure the adequate quality level of their products. Altogether it makes the risk of errors emerging which could appear either in the parent company or even with the buyer. In order to avoid that risk of errors the preventive methods for ensuring the quality are established in the companies. These methods can predict and prevent the possibility of error emerging. The FMEA is one of the methods which controls and evaluates the risk-taking. The FMEA analysis is basically quite simple method which provides and controls the quality of the products. It is used in all processes demanded in the car industry. The weakness of the FMEA method is that it can be performed in many different ways which do not necessarily satisfy the buyers' needs. These different approaches may also lead to confusion and consequently errors.

The diploma work presents the version of the FMEA method according to the two different concepts. They are focused on the PFMEA analysis associated with the criterions of the AIAG/VDA standards. With the description of the general FMEA, and on the other hand together with the practical example of the PFMEA to the AIAG/VDA criterions, the main procedure demanded in the car industry is presented. It exposes its differences which also show its advantage according to the 'general' FMEA analysis.

KEYWORDS

- FMEA
- VDA/AIAG
- analysis
- quality
- failures and their consequences

KAZALO

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | UVOD | 1 |
| 1.1 | Predstavitev problema..... | 1 |
| 1.2 | Cilji naloge | 2 |
| 1.3 | Predstavitev podjetja domel, d.o.o..... | 3 |
| 1.3.1 | Predstavitev oddelka kakovosti | 7 |
| 1.4 | Predpostavke in omejitve | 8 |
| 1.5 | Metode dela | 9 |
| 2 | SPLOŠNO O METODI FMEA | 10 |
| 2.1 | Metoda FMEA | 10 |
| 2.2 | Metoda DFMEA..... | 13 |
| 2.3 | Metoda FMEA – proces PFMEA | 13 |
| 3 | IZVEDBA ANALIZE PFMEA..... | 15 |
| 3.1 | Koraki vizvedbi analize PFMEA..... | 15 |
| 3.1.1 | Prepoznavna možnih okvar in njihovih posledic/strukturna analiza | 15 |
| 3.1.2 | Funkcionalna analiza | 16 |
| 3.1.3 | Analiziranje napak..... | 17 |
| 3.1.4 | Analiza tveganja in ukrepov | 18 |
| 3.1.5 | Optimizacija | 19 |
| 3.1.6 | Primer tabel FMEA..... | 22 |
| 4 | PRIKAZ IZVEDBE FMEA V PODJETJU DOMEL | 23 |
| 4.1 | Koraki pri izvedbi analize FMEA po združenih standardih vda/aiag..... | 23 |
| 4.1.1 | Korak načrtovanja in priprave..... | 24 |
| 4.1.2 | Korak – strukturna analiza..... | 28 |
| 4.1.3 | Korak – funkcijska analiza..... | 34 |
| 4.1.4 | Korak – analiza napak..... | 34 |
| 4.2 | Načini/vrste napak..... | 36 |
| 4.2.1 | Vzroki za napako..... | 38 |
| 4.2.2 | Analiziranje | 40 |
| 5 | KORAK – ANALIZA TVEGANJA | 41 |
| 6 | NAČIN NAPAKE | 44 |
| 7 | PRIORITIZACIJA | 47 |
| 7.1 | Ocena pomembnosti napake – RPN | 47 |
| 8 | KORAK – OPTIMIZACIJA | 50 |
| 9 | KORAK – DOKUMENTIRANJE REZULTATOV | 50 |
| 10 | ZAKLJUČEK | 51 |
| 11 | LITERATURA IN VIRI | 52 |

KAZALO SLIK

| | |
|--|----|
| Slika 1: Struktura podjetja..... | 3 |
| Slika 2: Proizvodnja danes | 5 |
| Slika 3: Proizvodnja nekoč | 5 |
| Slika 4: Izdelki | 6 |
| Slika 5: Organizacijska struktura kakovosti..... | 7 |
| Slika 6: Koncept FMEA | 11 |
| Slika 7: Primer tabele možnih napak | 15 |
| Slika 8: Primer procesne funkcijske strukture | 16 |
| Slika 9: Primer tabele analize napak | 17 |
| Slika 10: Primer izseka ukrepov in ocene | 18 |
| Slika 11: Tabela FMEA po standardu VDA 4 | 22 |
| Slika 12: Tabela FMEA po standardu AIAG/QS9000..... | 23 |
| Slika 13: Tehnična dokumentacija | 24 |
| Slika 14: Terminski načrt z vključeno analizo FMEA..... | 25 |
| Slika 15: FMEA – 7 korakov pristopa..... | 27 |
| Slika 16: Struktura procesa proizvodnje statorja 738 | 28 |
| Slika 17: Procesni element – stator 738 | 29 |
| Slika 18: Procesni element – stator 738 | 30 |
| Slika 19: Procesni element – stator 738 | 31 |
| Slika 20: Procesni diagram (layout) | 32 |
| Slika 21: Strukturno drevo | 33 |
| Slika 22: Vzorčno-posledični diagram »ribja kost«..... | 35 |
| Slika 23: Vrste in načini napak | 37 |
| Slika 24: Vzroki napak..... | 39 |
| Slika 25: Veriga napak | 40 |
| Slika 26: Napake in načini preprečevanja napak | 42 |
| Slika 27: Razumevanje procesa | 43 |
| Slika 28: Ocenjevalna matrika | 48 |
| Slika 29: Tabela analize tveganja..... | 49 |

KAZALO TABEL

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Tabela za ocenjevanje teže/resnosti napake | 19 |
| Tabela 2: Tabela za ocenjevanje verjetnosti pojavitve napake | 20 |
| Tabela 3: Tabela za ocenjevanje verjetnosti odkritja napake..... | 21 |
| Tabela 4: Tabela ocene resnosti/teže napak | 44 |
| Tabela 5: Tabela ocene pojavnosti napak | 45 |
| Tabela 6: Tabela zaznavnosti napak | 46 |

KRATICE IN AKRONIMI

| | |
|---------|--|
| FMEA: | Failure Mode and Effects Analysis |
| AIAG: | Automotive Industry Action Group |
| VDA: | Verband der Automobilindustrie |
| D-FMEA: | Design Failure Mode and Effects Analysis |
| P-FMEA: | Process Failure Mode and Effects Analysis |
| IATF: | International Automotive Task Force |
| NASA: | National Aeronautics and Space Administration |
| ISO: | International Organisation for Standardisation |
| ASSQC: | Academic Strategy, Standards and Quality Committee |
| 5T: | InTent. Timing. Team. Tasks. Tools. |
| RPN: | Risk Priority Number |

1 UVOD

1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA

Podjetja se že od nekdaj spoprijemajo z različnimi izzivi, zato morajo za obstanek na trgu poskrbeti za dovolj prilagodljivosti praktično vsakdanjim spremembam ter veliko mero inovativnosti.

Ob vsem tem pa ne gre spregledati dejstva, da kljub omenjenim lastnostim podjetje preprosto ne more preživeti na trgu, če ne zagotavlja ustrezne ravni kakovosti svojih izdelkov ali storitev.

Kakovost v splošnem si vsak posameznik predstavlja po svoje, dejstvo pa je, da je na koncu kakovosten izdelek tisti, ki ustreza odjemalcem. Zagotavljanje kakovosti v podjetju, ki sodeluje na mednarodnem trgu, je odločilnega pomena. Elementi tehnologije zagotavljanja kakovosti so vse metode in tehnike, naj si bodo splošne ali specifične, s pomočjo katerih zagotavljamo uspešno delovanje sistema kakovosti. Vanje sodijo načrtovanje, nadzor, preizkušanje, analiziranje. Za njihovo uspešno izvajanje je potrebna tudi podpora tehnologije, računalništva, metrologije itn. Elementi tehnologije pa se morajo za uspešno zagotavljanje kakovosti tesno prepletati tudi z odločevalskimi elementi, kot so odločitve v zvezi s cilji organizacije, oskrbe z viri ter upravljanjem.

Kakovost je več kot le stvar proizvodnega procesa, vključena mora biti v vse funkcije podjetja. Pravzaprav je sistem kakovosti sestavljen tako iz tehnoloških kot tudi menedžerskih elementov. Eden izmed pripomočkov zagotavljanja kakovostnih izdelkov je analiza FMEA, ki jo bomo obravnavali v tej diplomski nalogi. Ta bi morala biti osnovni del načrtovanja kakovosti, saj z njo določimo nadzor kakovosti v vseh procesnih fazah. Avtomobilska industrija zahteva še poseben nadzor nad kakovostjo. Pred skupno pobudo je imela vsaka organizacija svojo metodo FMEA. Različne metode so povzročale veliko zmedo med dobavitelji, ki so hkrati oskrbovali ameriški in nemški avtomobilski trg. Zaradi lažjega zagotavljanja ravni standardov sta jih nemška in ameriška avtomobilska industrija (VDA in AIAG) medsebojno uskladili in združili.

1.2 CILJI NALOGE

Zagotavljanje kakovosti v podjetju, ki sodeluje na mednarodnem trgu, je odločilnega pomena. Elementi tehnologije zagotavljanja kakovosti so vse metode in tehnike, naj si bodo splošne ali specifične, s pomočjo katerih zagotavljamo uspešno delovanje sistema kakovosti. Vanje sodijo načrtovanje, nadzor, preizkušanje, analiziranje. Za njihovo uspešno izvajanje je potrebna tudi podpora tehnologije, informatike, metrologije itn. Elementi tehnologije se morajo za uspešno zagotavljanje kakovosti tesno prepletati tudi z odločevalskimi elementi, kot so odločitve v zvezi s cilji organizacije, oskrbe z viri ter upravljanjem.

Kakovost je več kot le stvar proizvodnega procesa, vključena mora biti v vse funkcije podjetja. Pravzaprav je sistem kakovosti sestavljen tako iz tehnoloških kot tudi menedžerskih elementov. Eden od pripomočkov za zagotavljanje kakovostnih izdelkov je analiza FMEA. Ta bi morala biti osnovni del načrtovanja kakovosti, saj z njo določimo nadzor kakovosti v vseh procesnih fazah. Avtomobilska industrija zahteva še posebno naravnost na dosleden nadzor kakovosti. Zaradi lažjega zagotavljanja ravni standardov sta jih nemška in ameriška avtomobilska industrija (VDA in AIAG) medsebojno uskladili in združili.

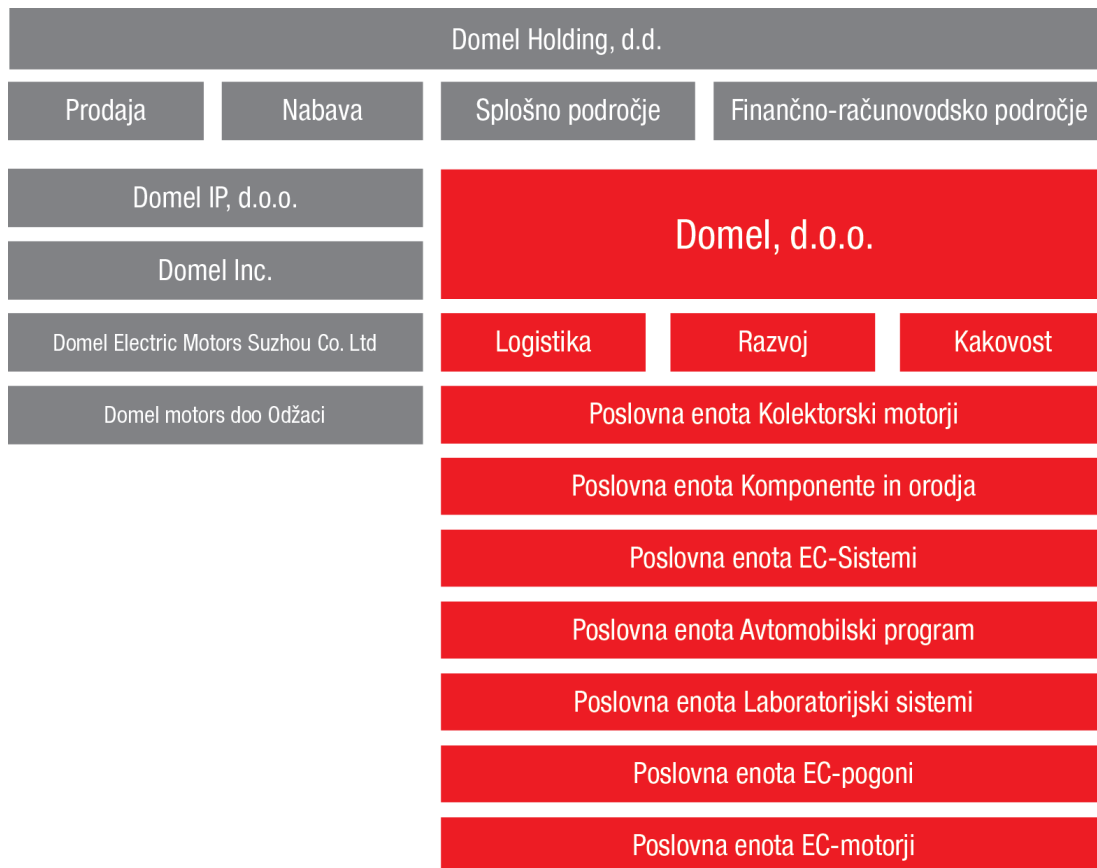
V diplomski nalogi bomo prikazali uspešno vodenje kakovosti v podjetju Domel, d.o.o., dobavitelja v avtomobilski industriji, ter nekatere zahteve, ki jih prinašajo združene zahteve standardov nemške in ameriške avtomobilske industrije (VDA, AIAG). Z izvedbo »klasičnega« modela ter modela po principu združenja analize FMEA iz prakse bomo prikazali in opisali princip ocenjevanja in prioritizacije ukrepov, kar so tudi zahteve združenega standarda. S pomočjo diplomske naloge bomo med drugim prihodnjim vstopajočim v sistem združenih zahtev VDA in AIAG olajšali prehod k zagotavljanju kakovosti s pomočjo prikazanih osnov analize FMEA po združenem standardu.

V Sloveniji je kar nekaj podjetij, dobaviteljev v avtomobilski industriji, ni pa veliko predstavljenega in splošno dostopnega gradiva o primerjavi »klasične« z »novo« avtomobilsko metodo FMEA, ki je še relativno sveža, zato smo se odločili, da z diplomsko nalogo to področje bolje raziščemo in primerjavo širše predstavimo. Predvidevamo, da bo uporabna za manjša podjetja, ki se še odločajo o statusu dobavitelja v avtomobilski industriji. Diplomaska naloga bo zame pomembna predvsem kot priročnik, saj bom v njej imel zbrana navodila in podporo za nadaljnje delo, ki ga bom opravljal kot moderator.

Ker bodo prikazani dejanski primeri analiz, ki jih opravljamo za kupce, v večini primerov tujce, bodo nekatere slike in tabele v angleškem jeziku. Tudi sami analize izvajamo neposredno v tem jeziku.

1.3 PREDSTAVITEV PODJETJA DOMEL, D.O.O.

| | |
|----------------------|--|
| Ime družbe: | DOMEL, d.o.o. |
| Sedež družbe: | Otoki 21, 4228 Železniki, Slovenija |
| Pravna oblika: | Družba z omejeno odgovornostjo |
| Matična številka: | 5045401 |
| Davčna številka: | 47263512 |
| Šifra dejavnosti: | 27.110 Proizvodnja elektromotorjev, generatorjev in transformatorjev |
| Osnovni kapital: | 5.184.051,08 EUR |
| Leto ustanovitve: | 27. 4. 1946 |
| Standardi kakovosti: | ISO 9001, ISO 14001, ISO 13485, ISO/TS 16949 |



Slika 1: Struktura podjetja
(Domel d.o.o., 2022)

Na predstavitveni strani podjetja zasledimo, da je Domel vodilni globalni razvojni partner na področju električnih pogonov in komponent. Predstavlja se kot družbeno in okoljsko odgovorno podjetje. Je svetovni razvojni dobavitelj dovršenih rešitev elektromotornih pogonov in komponent, ki temeljijo na lastni inovativnosti in tehnologijah. S tem pa se kupcem, lastnikom in zaposlenim zagotavljajo kakovostna delovna mesta ter rast in razvoj. Skozi desetletja svojega poslovanja je podjetje Domel postalo prepoznavno kot zanesljivo in fleksibilno podjetje.

ZGODOVINA

Fužinarska in železarska tradicija sta pripomogli k temu, da se je ena najstarejših železarskih industrij začela prav v Železnikih. Ustavila se je desetletja pred drugo svetovno vojno. V letih, ki so sledila, je industrijski razvoj Železnikov nazadoval. 27. 4. 1946 pa je 16 zagnanih in pogumnih domačinov ustanovilo zadrugo Niko. Čeprav je iz nje nastal Domel, tovarna Niko še vedno stoji v neposredni bližini. Zadruga je ime sicer dobila po njenem pobudniku Niku Žumru. S pomočjo strojev iz domače obrtniške delavnice je tam sprva stekla proizvodnja mehanizmov za regulatorje. Obseg dela je zahteval vedno več zaposlenih, zato lahko rečemo, da je podjetje do konca leta z 59 združniki zacvetelo. Leta pozneje so v proizvodnjo vključili še laboratorijske aparate, kot so stresalniki, centrifuge, mešalniki itn. Leta 1953 je bil izdelan prvi elektromotor za pogon laboratorijskih aparatov, leta 1958, ko je bilo v podjetju zaposlenih že 246 delavcev, je prišlo do lastninjenja. Prvi elektromotor je bil izvožen v ZDA že leta 1958. Istega leta pa je bila za potrebe proizvodnje elektromotorjev zgrajena nova proizvodno-poslovna stavba. Hkrati s tem so elektromotorji postali temeljni program podjetja. Ob uspešnem razvoju ter ohranitvi programa elektromotorjev se je leta 1962 zadruga vključila v Iskro, kjer se je začela povezovati s svetovnimi proizvajalci bele tehnike. Prelomnega pomena za programsko usmerjenost je bil razvoj vakuumskega motorja za sesalnike, s katerim se je podjetje prebilo na nemški trg, motorji pa so postali nosilna dejavnost. S tem se je podjetje vključilo tudi v mednarodno delitev dela, kar je med drugim prineslo več znanja ter boljše zaslužke. S pomočjo nemških dobaviteljev je podjetje dobilo sestavne dele za gospodinjske aparate, ki jih je takrat začelo sestavljati v celoti. Leta 1987 se je podjetje osamosvojilo in v letu 1992 začelo poslovati z novim imenom – DOMEL. Prvo proizvodno podjetje v tujini je bilo ustanovljeno leta 2006 na Kitajskem. Kitajsko podjetje je namenjeno proizvodnji sesalnih enot za nižji in srednji razred sesalnikov. Domel v istem času postane tudi vodilni proizvajalec motorjev za sesalnike na evropskem trgu.



*Slika 2: Proizvodnja danes
(Domel d.o.o., 2022)*



*Slika 3: Proizvodnja nekoč
(Domel d.o.o., 2022)*

Sesalne enote za suho in mokro sesanje trenutno predstavljajo največji delež proizvodnega programa, v stalnem naraščanju pa so tudi komponente za avtomobilsko industrijo. Med manj znanimi izdelki so katodna puhala za dovajanje zraka v gorivnih celicah, med izdelki, ki so zanimivejši za splošno javnost, pa sta pogona za električni skiro ter e-kolo.



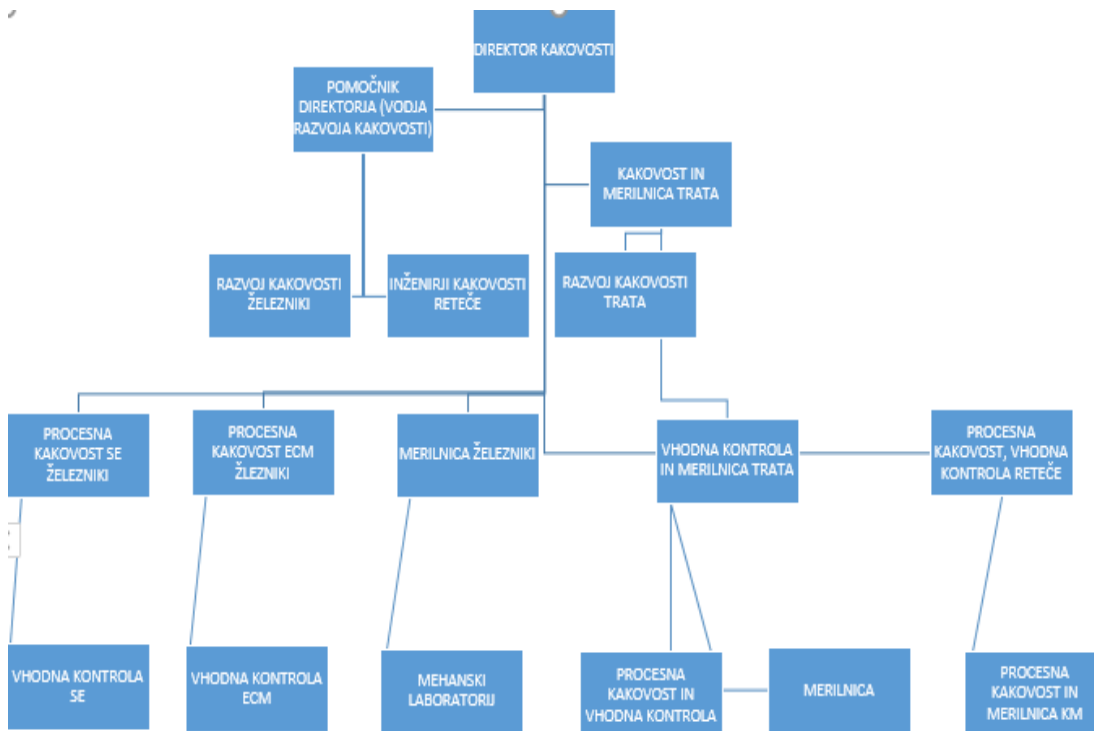
Slika 4: Izdelki
(Domel d.o.o., 2022)

1.3.1 Predstavitev oddelka kakovosti

Dobavitelji v avtomobilski industriji se vse bolj zavedajo pomena kakovosti. Za vsak izdelek se pričakuje najvišjo raven kakovosti ne glede na to, da prihajajo iz različnih držav in od različnih dobaviteljev. Oddelek kakovosti dobaviteljev je bil vzpostavljen z namenom, da se informacije o kakovosti podajo vnaprej, seveda pa tudi kot zagotovilo, da se zahteve standardov dosega zdaj in se bodo tudi v prihodnosti. To je svojevrsten izziv, po drugi strani pa dobra priložnost vzpostavitve trajnih odnosov z avtomobilsko industrijo.

Domel je leta 2021 pridobil certifikat IATF 16949, s prejšnjim imenom ISO/TS 16949. Standard je svetovno priznan in je v uporabi v verigi dobaviteljev v avtomobilski industriji. Ta standard vključno z ISO9001 določa zahteve načina vodenja kakovosti v razvoju, proizvodnji ter tudi montaži in servisiranju izdelkov v avtomobilski industriji.

Zagotavljanje kakovosti ni preprosto, sploh ko govorimo o avtomobilski industriji, ki je dokaj kompleksen trg, saj zahteva natančno in praktično brezkompromisno zagotavljanje kakovosti. Domelova tradicija pri zagotavljanju najvišje kakovosti izdelkov in procesov sicer sega že v leto 1992, ko je med prvimi podjetji v Sloveniji pridobil certifikat ISO 9001. S pomočjo učinkovitega sistema zagotavljanja kakovosti pa se dolgoročno zavezuje k izpolnjevanju zahtev kupcev kot razvojni dobavitelj ter proizvajalec izdelkov za avtomobilsko industrijo.



Slika 5: Organizacijska struktura kakovosti (Domel d.o.o., 2022)

1.4 PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE

Že leta 1960 so pri Fordu, ki veja za pionirja uvajanja višje ravni kakovosti, spoznali, da samo s kontrolo že proizvedenih kosov reševanje problematike kakovosti ni mogoče. Načelo »odkrij in izloči«, kakršno je takrat imela kontrola kakovosti, je pasivno in daje rezultate preteklega dela oz. zgolj pregled o preteklem delu, ki pa je kljub temu lahko bilo nekakovostno opravljeno. Sodobni aktivni pristop, ki je zamenjal pasivnega in je v uporabi še danes, pa pravi, da je glavno skrb pri kakovosti treba nameniti preventivi in torej izločiti izdelek, še preden napaka na njem nastane. Osredotočenost se je zgolj iz preverjanja končnega izdelka preselila med vse funkcije in oddelke podjetja ter s tem praktično med vse zaposlene. Zagotavljanje kakovosti se tako izvaja že z načrtovanjem in sistematičnimi dejavnostmi, ki preprečujejo, da bi do neustreznosti sploh prišlo. Vse to pa za sabo povleče potrebo po vzpostavitvi primerne sistema zagotavljanja kakovosti.

Eden izmed nepogrešljivih pripomočkov je zagotovo metoda FMEA, ki pa ima nekaj pomanjkljivosti. Ena in najbrž glavna je ta, da sistem do nedavnega ni bil usklajen. Pred skupno pobudo združevanja VDA in AIAG je imela vsaka organizacija svojo metodo FMEA, posledično pa različno interpretirane ravni kakovosti. Različne metode in pristopi so povzročali zmedo med dobavitelji, ki so hkrati oskrbovali ameriški in nemški avtomobilski trg. V izogib posledicam te zmede se je leta 2019 ustvaril priročnik, z njim pa se je poenotil standard obeh industrij. Postopek po združenih VD/AIAG ima šest korakov izvedbe, nov način vrednotenja tveganja, nove priročnike ter nove obrazce. Vse to z namenom, da bi izboljšali natančnost in učinkovitost metode FMEA, kar bomo poskušali pokazati v tem diplomskem delu. Sama metoda je vključena v več procesov in je lahko kot taka precej obsežna, zato se bomo v nalogi osredotočili predvsem na proces FMEA (PFMEA) ter obravnavali njegove ključne korake.

1.5 METODE DELA

Med pripravo diplomske naloge bomo zbirali, pregledovali in raziskovali literaturo s področja kakovosti, s poudarkom oz. osredotočanjem na literaturo iz analiz FMEA, pripravili »klasično« analizo FMEA s pomočjo obrazca in izvedli analizo FMEA s pomočjo programske opreme, ki se uporablja v podjetju. Prikazali bomo analizo FMEA po združenih standardih AIAG in VDA ter ob tem prikazu opisali princip ocenjevanja in prioritizacije ukrepov. Na koncu bomo še primerjali metodi ter skušali dokazati, da je združena metoda velik doprinos za podjetje, saj se z uvedbo standarda izognemo različnim interpretacijam kakovosti, pa tudi nezaželenim ter ne nazadnje dragim posledicam zmede, ki nastaja ob analizi FMEA vsakega posameznega standarda.

Literaturo bomo zbrali s pregledovanjem arhivov šolanj in zapiskov v podjetju, zbiranjem podatkov s tujih in domačih spletnih strani ter v knjižnicah. Uporabili bomo tudi praktične izkušnje ter znanje vseh sodelujočih pri analiziranju ter zaposlenih v oddelku kakovosti.

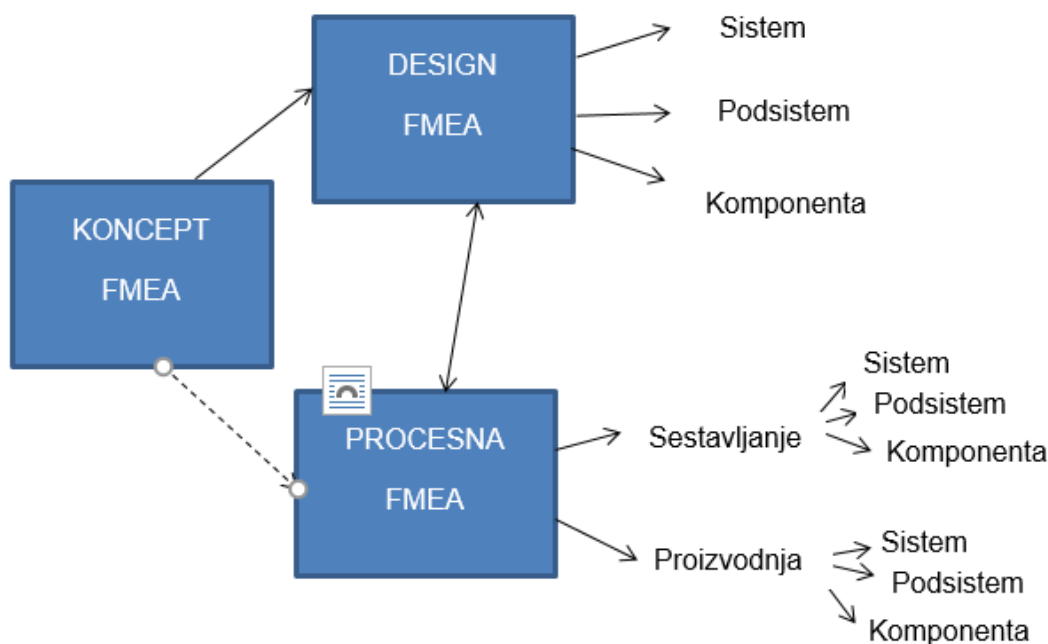
Pomembne prelomnice so se zgodile pred približno 70 leti, ko je ameriška vojska razvila metodo FMEA. V letu 1960 z njeno uporabo začne NASA. V letu 1988 pa jo v svoje podjetje v sklopu ISO 9000 uvede in začne uporabljati tudi podjetje Ford. Leta 1993 akcijska skupina avtomobilske industrije (AIAG) in ameriška družba za nadzor kakovosti avtomobilske industrije (ASCQC) določita osnovna navodila za izvedbo metode FMEA (AIAG & VDA, 2019).

2 SPLOŠNO O METODI FMEA

2.1 METODA FMEA

Metoda analize možnih napak in njihovih posledic, torej FMEA, je sistematiziran pristop k zagotavljanju kakovosti in odpravljanju oz. preprečevanju nastanka napak pri proizvodih. Ideja metode se je razvila z vprašanjem odpravljanja napak, še preden bi se te lahko zgodile. Znano dejstvo je, da se večina napak stori že v začetnih fazah nastajanja proizvoda. Metoda je ena izmed sestavnih delov naprednega načrtovanja kakovosti, njeno izvajanje pa je eden od predpogojev za sodelovanje z avtomobilsko industrijo. Deli se in je lahko vključena v razvoj in načrtovanje proizvoda – Design FMEA (DFMEA) ali pa se uporablja pred vključevanjem proizvoda v proces proizvodnje – Process FMEA (PFMEA). V večini primerov pa se metoda DFMEA vključuje v PFMEA. Pogoj, ki se zahteva za izvedbo, je uspešno izveden proces razvoja proizvoda, s čimer se določi tudi vrstni red obravnave. V preteklosti je bila metoda FMEA priznana tudi na sodišču, kadar so ugotavljali odgovornost za napake na izdelku, zato jo mnoga podjetja uporabljajo tudi kot zaščito pred kazensko odgovornostjo.

FMEA je zmogljiva tehnika, katere moč izhaja predvsem iz skupinskega in medsebojno funkcionalnega pristopa k reševanju težav. Da bi bila metoda FMEA zares učinkovita, jo je nujno treba izvajati korak za korakom, tako da lahko predvidimo vse možne napake pri razvoju proizvoda in njegovi proizvodnji, izvedena pa mora biti že v fazi načrtovanja in pred postavitvijo proizvodnih obratov. Namen metode je sprejeti ukrepe za odpravo ali vsaj zmanjšanje napak, pri čemer dajemo najvišjo prioriteto tistim napakam, ki imajo najvišje tveganje. To dosežemo tako, da vsaka analiza FMEA jasno dokumentira in zapisuje trenutna in nova dognanja ter ukrepe, ki smo jih uvedli, ter si tako prizadeva za nenehne izboljšave (Twi, 2022).



Slika 6: Koncept FMEA
(Elsmar, 2022)

Kot v knjigi *Management kakovosti* navajata Marolt in Gomišček, morajo biti za uspešno izvajanje metode FMEA izpolnjeni trije pogoji:

- vodstvo organizacije mora biti naklonjeno metodi in jo mora v celoti nedvoumno podpirati;
- pred izvajanjem metode FMEA morajo biti vsi člani delovne skupine o njej poučeni ter imeti vsa potrebna znanja;
- delovne skupine, sestavljene iz strokovnjakov, ki proces dela na svojem področju zelo dobro poznajo, naj bodo majhne (do 6 ljudi), stremeti pa morajo k rezultatu.

Metoda FMEA nam omogoča:

- sistematično predvidevanje vseh možnih napak, ki bi se lahko pojavile v procesu izdelave ali razvoju proizvoda, ter presojo njihovih posledic;
- ugotavljanje vzrokov, ki povzročijo napake;
- izdelavo kontrolnih postopkov, s katerimi odkrijemo in preprečimo nastanek napak;
- zmanjšanje stroškov nekakovosti;
- izdelavo zanesljivega proizvoda;
- ugotavljanje posledic napak, ki bi se pojavile pri kupcu in končnem uporabniku;

- določitev ustreznih konstrukcijskih, proizvodnih in kontrolnih ukrepov;
- shranjevanje znanja in izkušenj, ki smo jih pridobili med analizo.

Metodo FMEA je smiselno uporabljati ob:

- razvijanju novih proizvodov ter uvajanju novih procesov;
- ob uvajanju novih tehnologij in storitev;
- ob izboljševanju ter nadgradnjah proizvodov;
- preverjanju proizvodnje vseh kompleksnih proizvodov (Marolt in Gomišček, 2005)

Med izvedbo analize FMEA si vedno zastavimo ključna vprašanja:

- Kaj vse lahko gre narobe pri novem proizvodu?
- Kakšne posledice ima lahko napaka za proizvod?
- Kakšni so vzroki za pojavljanje napak?

Z metodo FMEA vsem možnim napakam postavimo prioriteto ter jih razvrščamo glede na njihov učinek na proizvod ter predvidimo:

- možnost pojavljanja napake;
- stopnjo učinka napake na proizvod (funkcija, estetika itn.);
- možnost pojavljanja napake v procesu in pri uporabniku.

Ob upoštevanju vseh zgoraj naštetih pogojev ter možnosti lahko razvrščamo napake po stopnji pomembnosti (RPN – Risk Priority Number). Po razvrščanju napak načrtujemo vse potrebne dejavnosti in ukrepe, s pomočjo katerih bomo napake, ki se lahko pojavijo, preprečili ali pa njihov vpliv na proizvod zmanjšali na minimum.

Po izvedenih ukrepih metodo FMEA ponovimo. Ponovno oceno izvajamo z namenom, da ugotovimo, ali so ukrepi učinkovali ter onemogočili nastanek in obstoj napak oz. jih zmanjšali do te mere, da je proizvod sprejemljiv (AIAG & VDA, 2019).

2.2 METODA DFMEA

Design metoda FMEA je analitična metoda, ki je uporabna predvsem ob razvoju izdelka. Izvajajo jo inženirji oz. ekipa, ki je odgovorna za razvoj in načrtovanje. Izhaja iz problematike zagotavljanja preprečevanja napak v procesu načrtovanja izdelka. Uporablja se kot sredstvo, s katerim se zagotavlja, da bi bile možne napake in z njimi povezani vzroki za okvare preučeni in preprečeni že pred izdajo izdelka v redno proizvodnjo.

Znano je, da se glavnina napak pojavlja že v prvih korakih nastajanja izdelka, med katere sodijo načrtovanje, razvoj in postavitve ter uvajanje v proizvodni proces. Odprava takih napak pa se vse prevečkrat rešuje šele v poznejših fazah, pri preizkušanju, v proizvodnji in kot najmanj zaželeno, pri končnem uporabniku. Stroški odprave napak so tako najnižji v začetni fazi, rastejo pa z življenjskim ciklom proizvoda (AIAG & VDA, 2019).

2.3 METODA FMEA – PROCES PFMEA

V priročniku FMEA Handbook lahko preberemo, da v nasprotju z metodo DFMEA, ki ugotavlja možne napake, ki bi lahko nastale med procesom razvoja izdelka, analiza PFMEA preprečuje možne napake v procesu proizvodnje in logistike proizvoda, ki je bil analiziran z DFMEA. Napake v procesu proizvodnje in logistike proizvoda so drugačne narave kot napake v razvoju. Ne gre toliko za konstrukcijsko napako, pač pa za napako, ki bi nastala npr. ob sestavljanju izdelka. Za primer vzamemo menjalnik avtomobila; metoda DFMEA ugotavlja napako pri konstrukciji, recimo napako v dimenziji predvidenega ležajnega sedeža, medtem ko z metodo PFMEA lahko predvidimo napačno pozicijo, kot ali silo vtiskovanja ležaja v ležajni sedež (AIAG & VDA, 2019).

Z metodo PFMEA se analizirajo celoten proizvod, sistem in proizvodnja. Izvajamo jo tudi za proizvode, ki jih posreduje dobavitelj, saj z njo lahko preučimo, kako bo proizvod deloval v našem sistemu.

Metodo PFMEA, kot navajata Marolt in Gomišček (Management kakovosti), izvajamo ali ponovimo ob:

- uvajanju novih procesov ali tehnologij izdelave proizvoda,
- preverjanju procesov in operacij, ki so se pokazali za kritične,
- optimizaciji procesov,
- spremembah, ki jih zahteva kupec.

(Marolt in Gomišček, 2005).

S procesno metodo FMEA predvidevamo možne napake, ki bi nastale v procesu proizvodnje proizvoda, najsi bo to proizvodnja polizdelkov ali pa montaža le-teh v končni proizvod. Pri pripravi PFMEA moramo upoštevati predhodno konstrukcijsko

analizo DFMEA, saj z njo lahko predvidimo zahtevane karakteristike, ki so pomembne za proizvod, ter možne napake v procesu (npr. natančnost pozicije vtiskovanja ležaja, ki je pomembna za končno funkcijo izdelka).

Analiza, ki jo opravimo, mora zajemati vse možne napake znotraj posameznega procesa. Opredeliti je potrebno možne napake v vsaki posamezni fazi in za vsako posamezno napako v fazi določiti tudi korektivne ukrepe, ki se bodo izvajali ob morebitnih napakah. V kolikor za proizvodnjo obstaja več možnih načinov, je treba metodo PFMEA izvesti za vsakega posebej.

Za uspešno izvedbo metode PFMEA je treba predhodno zagotoviti vsa možna sredstva, kot so celotna dokumentacija proizvoda in procesa. Prototipni proizvodi skupaj z analizo DFMEA in morebitno poskusno serijo pa nam omogočijo boljše izvedbo metode PFMEA.

Analiza procesa nam omogoča, da jo kot tako razdelimo na podsklope oz. več analiz, pri čemer vsaka posebej preučuje in predvideva težave in napake, ki bi lahko nastale med izdelavo posameznih polizdelkov, vključno s podpornimi procesi, ki lahko vplivajo na proizvodni proces, npr. ravnanje z materialom, etiketiranje, popravila, predpriprava materiala za proizvodnjo, transport materiala/izdelkov kot bodočih sestavnih delov. Analizo razdelimo tudi na predvidevanje težav pred sestavljanjem in še posebej na analizo montaže končnega proizvoda.

Analizo PFMEA naj izvaja manjša delovna skupina, ki ga sestavljajo strokovnjaki s področja kakovosti, tehnologije, proizvodnih procesov ter po potrebi še strokovnjaki iz drugih služb. Po dogovoru v delovni skupini lahko sodelujejo tudi kupci.

Z namenom, da v življenjski dobi proizvoda in med njegovo izdelavo pride do čim manj napak, je treba analizo tudi finančno podpreti. Podpora vodstva prav zato med drugimi prispeva velik delež k uspešnosti analize. In prav zaradi manjšega pojava napak je zato tudi v večini primerov stroškovno (AIAG & VDA, 2019).

3 IZVEDBA ANALIZE PFMEA

3.1 KORAKI V IZVEDBI ANALIZE PFMEA

Metodo FMEA vedno izvajamo po vrsti in po korakih, kot jih povzemamo (VDA , 2009), ter internih zapiskih iz primera Domel, d.o.o.

3.1.1 Prepoznavna možnih okvar in njihovih posledic/strukturna analiza

V prvem koraku izvedbe FMEA analiziramo funkcionalne zahteve izdelka ter posledice, ki bi jih povzročile možne napake. Poleg tega se določita še cilj in namen FMEA.

| Product - part | Mistake | Consequence of the mistake | Cause for the mistake |
|----------------|---|---|---|
| 1.Motor | Ⓒ Spindle not in end delivery position (0,1min) | Problems at assembling process Reclamation | Prescribed wrong driver for testing |
| 1.Motor | Ⓒ Spindle not in end delivery position (0,1min) | Problems at assembling process Reclamation | Wrong combination of defined tolerances on spindle and shield A |
| 1.Motor | Ⓒ Spindle not in end delivery position (0,1min) | Problems at assembling process Reclamation | Wrong settings of driver software |
| 1.Motor | Spindel delivery position is not documented | No traceability | Wrong method for data record |
| 1.Motor | Ⓒ Spindel end upper position is not achieved (4,2 min) | Motor / sensor is not functional | Too low force of motor |
| 1.Motor | Ⓒ Spindel end upper position is not achieved (4,2 min) | Motor / sensor is not functional | Loss of steps |
| 1.Motor | Ⓒ Spindel end upper position is not achieved (4,2 min) | Motor / sensor is not functional | Spindel is too short |

Slika 7: Primer tabele možnih napak
(Domel d.o.o., 2018)

3.1.2 Funkcionalna analiza

Z njo razčlenimo namen posameznih sklopov, ki potekajo v sistemu proizvodnje, s ciljem, da določimo in povežemo funkcije posameznih elementov izdelka ali procesa.

| Operation | Defect | Consequence of defect | Cause of defect |
|------------------------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------|
| 1. Setting the parts to the pallet | not all parts present | assembly not possible | parts not available |
| 1. Setting the parts to the pallet | not all parts present | assembly not possible | worker failure |
| 1. Setting the parts to the pallet | parts at wrong positions | assembly not possible | worker failure |

Slika 8: Primer procesne funkcijske strukture
(Domel d.o.o., 2018)

3.1.3 Analiziranje napak

Analiza se izvaja za vsak element sistema posebej z namenom analiziranja vseh možnih napak ter njihove povezave s funkcijami in strukturo sistema. Opis napak mora biti točno določen. V našem primeru bomo za ugotavljanje napak uporabili metodo viharjenja možganov (angl. *brainstorming*).

| Consequence of the mistake | Cause for the mistake |
|---|---|
| Problems at assembling process Reclamation | Prescribed wrong driver for testing |
| Problems at assembling process Reclamation | Wrong combination of defined tolerances on spindel and shiled A |
| Problems at assembling process Reclamation | Wrong settings of driver software |
| No traceability | Wrong method for data record |
| Motor / sensor is not functional | Too low force of motor |
| Motor / sensor is not functional | Loss of steps |
| Motor / sensor is not functional | Spindel is too short |

Slika 9: Primer tabele analize napak
(Domel d.o.o., 2018)

3.1.4 Analiza tveganja in ukrepov

V četrtem koraku določimo ukrepe, s katerimi preprečujemo in odkrivamo napake ter ocenimo tveganje. Mednje štejemo preventivne ukrepe in ukrepe za odkrivanje. S preventivnimi ukrepi si pomagamo pri optimalnem načrtovanju procesa z namenom, da bi čim bolj zmanjšati možnost pojavitve napake. S pomočjo ukrepov za odkrivanje pa odkrijemo možne napake in potrdimo učinkovitost preventivnih ukrepov.

| Existing condition | | | | |
|--|-----------|------------|-----------|-----|
| Existing check operation | Occurance | Importance | Detection | PŠT |
| Use of customer driver, | 3 | 7 | 3 | 63 |
| Tests on prototype parts, tolerance analysis | 3 | 7 | 3 | 63 |
| Defenition of settings in setup list, Included in PFMEA | 3 | 7 | 3 | 63 |
| Spindel delivery position is verified and documented at final control | 4 | 7 | 3 | 84 |
| Tests on prototype parts Considered in PFMEA (100% automatic inspection) | 6 | 8 | 3 | 144 |
| Tests on prototype parts Considered in PFMEA (100% automatic inspection) | 6 | 8 | 3 | 144 |
| Tests on prototype parts | 3 | 8 | 3 | 72 |

Slika 10: Primer izseka ukrepov in ocene
(Domel d.o.o., 2018)

3.1.5 Optimizacija

V petem koraku proces optimiziramo s ciljem, da določimo ukrepe za zmanjšanje tveganja in ponovno ocenimo stanje. Po izvedenih ukrepih preverimo novo stanje in ponovno izdelamo oceno tveganja. V kolikor rezultat ni sprejemljiv, optimizacijo ponovimo. Po potrebi jo ponavljamo, dokler ne pridemo do ustreznega rezultata.

| Učinek | Kriterij: Resnost učinka na izdelku (Učinek pri kupcu) | Ocena | Učinek | Kriterij: Resnost učinka v procesu (Učinek v proizvodnji/montaži) |
|--|--|-------|--|---|
| Nedoseganje varnostnih in/ali zakonskih zahtev | Napaka vpliva na varno delovanje vozila in/ali vključuje nedoseganje varnostnih/zakonskih zahtev ter se pojavi brez predhodnega opozorila . | 10 | Nedoseganje varnostnih in/ali zakonskih zahtev | Lahko ogroža operaterja (na stroju ali montaži) brez predhodnega opozorila . |
| | Napaka vpliva na varno delovanje vozila in/ali vključuje nedoseganje varnostnih/zakonskih zahtev ter se pojavi s predhodnim opozorilom . | 9 | | Lahko ogroža operaterja (na stroju ali montaži) s predhodnim opozorilom . |
| Izguba ali poslabšanje primarnih funkcijskih lastnosti | Izguba primarne funkcije (vozilo neuporabno, brez vpliva na varnost). | 8 | Velika motnja v procesu | 100 % izdelkov je namenjenih za potencialen izmet. Zaustavitev proizvodnje ali preklic odpreme. |
| | Poslabšanje primarne funkcije (vozilo uporabno z zmanjšanim učinkom). | 7 | Pomembna motnja v procesu | Del proizvodnje je potencialen izmet. Odstopanja v procesu, vključno z zmanjšano hitrostjo linije oziroma dodatnimi operaterji. |
| Izguba ali poslabšanje sekundarnih funkcijskih lastnosti | Izguba sekundarne funkcije (vozilo uporabno, funkcije za priročnost/udobje ne delujejo). | 6 | Srednja motnja v procesu | 100 % proizvodnje bo potencialno treba dodelati zunaj linije in naknadno prevzeti. |
| | Poslabšanje sekundarne funkcije (vozilo uporabno, funkcije za priročnost/udobje delujejo z zmanjšanim učinkom). | 5 | | Del proizvodnje bo potencialno treba dodelati zunaj linije in naknadno prevzeti. |
| Motnja | Vizualna napaka ali hrup/ropotanje, vozilo uporabno, izdelek ni skladen in napako opazi večina kupcev (> 75 %). | 4 | Srednja motnja v procesu | 100 % proizvodnje bo potencialno treba dodelati na liniji in naknadno prevzeti. |
| | Vizualna napaka ali hrup/ropotanje, vozilo uporabno, izdelek ni skladen in napako opazi precej kupcev (50 %). | 3 | | Del proizvodnje bo potencialno treba dodelati na liniji in naknadno prevzeti. |
| | Vizualna napaka ali hrup/ropotanje, vozilo uporabno, izdelek ni skladen in napako opazijo zahtevni kupci (< 25 %). | 2 | Manjša motnja v procesu | Rahla neprijetnost v procesu, pri operaciji ali za operaterja. |
| Ni učinka | Ni opaznega učinka. | 1 | Ni učinka | Ni opaznega učinka. |

Tabela 1: Tabela za ocenjevanje teže/resnosti napake
(AIAG, 2008)

| Verjetnost pojavitve napake | Kriterij: Pojavitev vzroka (napak na kos/vozilo) | Ocena |
|-----------------------------|--|-----------|
| Zelo visoka | ≥ 100 od 1000; ≥ 1 od 10; ≥ 10 %; ≥ 100.000 ppm | 10 |
| Visoka | od 50 od 1000; od 1 od 20; 5 %; 50.000 ppm | 9 |
| | od 20 od 1000; od 1 od 50; 2 %; 20.000 ppm | 8 |
| | od 10 od 1000; od 1 od 100; 1 %; 10.000 ppm | 7 |
| Srednja | od 2 od 1000; od 1 od 500; 0,2 %; 2.000 ppm | 6 |
| | od 0,5 od 1000; od 1 od 2000; 0,05 %; 500 ppm | 5 |
| | od 0,1 od 1000; od 1 od 10.000; 0,01 %; 100 ppm | 4 |
| Nizka | od 0,01 od 1.00; od 1 od 100.000; 0,001 %; 10 ppm | 3 |
| | $\leq 0,001$ od 1000; ≤ 1 od 1.000.000; $\leq 0,0001$ %; ≤ 1 ppm | 2 |
| Zelo nizka | Napaka je onemogočena s preventivnimi ukrepi | 1 |

*Tabela 2: Tabela za ocenjevanje verjetnosti pojavitve napake
(AIAG, 2008)*

| Priložnost za odkritje | Verjetnost odkritja | Kriterij: Verjetnost odkritja težave med nadzorom procesa | Ocena |
|---|------------------------------|---|-------|
| Ni možnosti | Skoraj nemogoča | Nadzor procesa ne obstaja. Ni možnosti odkritja ali ni analizirano. | 10 |
| Skoraj ni verjetnosti za odkritje kjer koli v procesu | Skoraj nemogoča do minimalna | Napake in/ali vzroka ni preprosto določiti/odkriti (npr. naključne presoje/avdio/kontrole). | 9 |
| Odkritje težave v nadaljnjem procesu | Minimalna | Odkrivanje napake v nadaljnjem procesu z operatorjevim nadzorom (vizualno/ročno/avdio ...). | 8 |
| Odkritje težave na izvoru | Zelo majhna | Odkrivanje napake v trenutnem procesu z operatorjevim nadzorom (vizualno/ročno/avdio ...) ali v nadaljnjem procesu z operatorjevim nadzorom z atributnimi pripravkami (gre/ne gre, ročni momentni ključ, ključ z ragljo ...). | 7 |
| Odkritje težave v nadaljnjem procesu | Majhna | Odkrivanje napake v nadaljnjem procesu z operatorjevim nadzorom z atributnimi pripravkami ali v trenutnem procesu z operatorjevim nadzorom z atributnimi pripravkami (gre/ne gre, ročni momentni ključ, ključ z ragljo ...). | 6 |
| Odkritje težave na izvoru | Srednja | Odkrivanje napake v trenutnem procesu z operatorjevim nadzorom z uporabo variabilnih meril ali s samodejnimi kontrolami na delovnem mestu, ki odkrijejo neustrezen kos in obvestijo operaterja (svetlobni signal, zvočni signal ...). Umerjanje pri nastavitvi stroja in preverjanje prvih kosov (za vzroke, ki so možni le ob nastavitvah). | 5 |
| Odkritje težave v nadaljnjem procesu | Srednje visoka | Odkrivanje napake v nadaljnjem procesu s samodejnimi kontrolami, ki odkrijejo neustrezen kos in ga izločijo kot neuporabnega za nadaljnjo obdelavo. | 4 |
| Odkritje težave na izvoru | Visoka | Odkrivanje napake v trenutnem procesu s samodejnimi kontrolami, ki odkrijejo neustrezen kos in ga izločijo kot neuporabnega za nadaljnjo obdelavo. | 3 |
| Odkritje napake in/ali preprečitev pojavitve | Zelo visoka | Odkrivanje napake v trenutnem procesu s samodejnimi kontrolami, ki odkrijejo težavo in preprečijo izdelavo neustreznega kosa. | 2 |
| Odkritje ne pride v poštev, preprečitev pojavitve | Skoraj gotova | Preprečitev vzroka napake z obliko, designom vpetja, designom stroja ali designom izdelka. Neustreznega kosa ni mogoče izdelati zaradi <i>error-proofinga</i> v fazi razvoja izdelka/procesa. | 1 |

Tabela 3: Tabela za ocenjevanje verjetnosti odkritja napake (AIAG, 2008)

3.1.6 Primer tabel FMEA

Analizo FMEA izvajamo in prikažemo s pomočjo tabel, ki v podjetju Domel sicer fizično niso več v uporabi, saj jih zamenjuje programska oprema APIS.

Spodaj sta prikazani različici tabel po standardih VDA 4 ter AIAG/QS 9000, pri katerih se je analiza FMEA morala izvajati po nekoliko drugačnem postopku in različnih prioritetah, pri čemer je prihajalo do zmede in nesporazumov pri dobavljanju proizvodov za oba trga hkrati.

FMEA-Formsheet VDA 4

| Fehler-Möglichkeiten- und Einfluß-Analyse | | | | | | | | FMEA-Nr.: | |
|---|---|------------------------|-----------------|-------------------------------|---|------------------------------|---|-----------|-----------|
| Typ/Model/manufacturing/Charge: | | | | Ident-Nr.: | | Respons.: | | Page of | |
| System-Nr./Subsystem: | | | | Revision: | | Supplier: | | Date: | |
| Function/Requirement | | | | Ident-Nr.: | | Respons.: | | Date: | |
| Function/Requirement | | | | Revision: | | Supplier: | | Date: | |
| Potential Effects | S | Potential Failure mode | Potential Cause | Recommended action Prevention | O | Recommended action Detection | D | RPN | Res./Date |
| | | | | | | | | | |

*Slika 11: Tabela FMEA po standardu VDA 4
(Domel d.o.o., 2018)*

FMEA-Formsheet AIAG/QS9000

| Failure Mode and Effects Analysis | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|------------------------|----------------------------------|---------------|----------------------------|-----------|------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|-------|---------------------|--|----------------|-------|---------|---------|--|--|
| System | | | | Design FMEA | | | | FMEA-Number: | | | | | | | | | |
| Subsystem | | | | | | | | Page 1 of 1 | | | | | | | | | |
| Component | | | | Design Responsibility | | | | Prepared by: | | | | | | | | | |
| Model year/Program: | | | | Key date: | | | | FMEA-Date (Orig): (Rev.) | | | | | | | | | |
| Core team: | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Function | Potential Failure Mode | Potential Effect of Failure Mode | S I A S E V S | Potential Cause of failure | O c c u r | Current Design controls Prevention | Current Design controls Detection | D e t e c | R P N | Re-commended action | Re-sponsibility / target completion date | action results | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | Action taken | S O D | E c t R | V e t P | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Slika 12: Tabela FMEA po standardu AIAG/QS9000
(Domel d.o.o., 2018)

4 PRIKAZ IZVEDBE FMEA V PODJETJU DOMEL

V podjetju DOMEL se metoda FMEA uporablja že na leta. Metoda za ameriški trg se je razlikovala od metode za nemški trg, zato je prihajalo do zmede ter posledično manjše kakovosti, daljšega časovnega obdobja izdelave in višjih stroškov. Od nedavnega za potrebe avtomobilske industrije izvajamo metodo FMEA po združenih zahtevah VDA/AIAG. Za razliko od prejšnjega postopka FMEA se pri analizi FMEA po zahtevah VDA/AIAG uporablja več korakov za izvedbo, pa tudi poenotene zahteve, tabele ter prioritizacija.

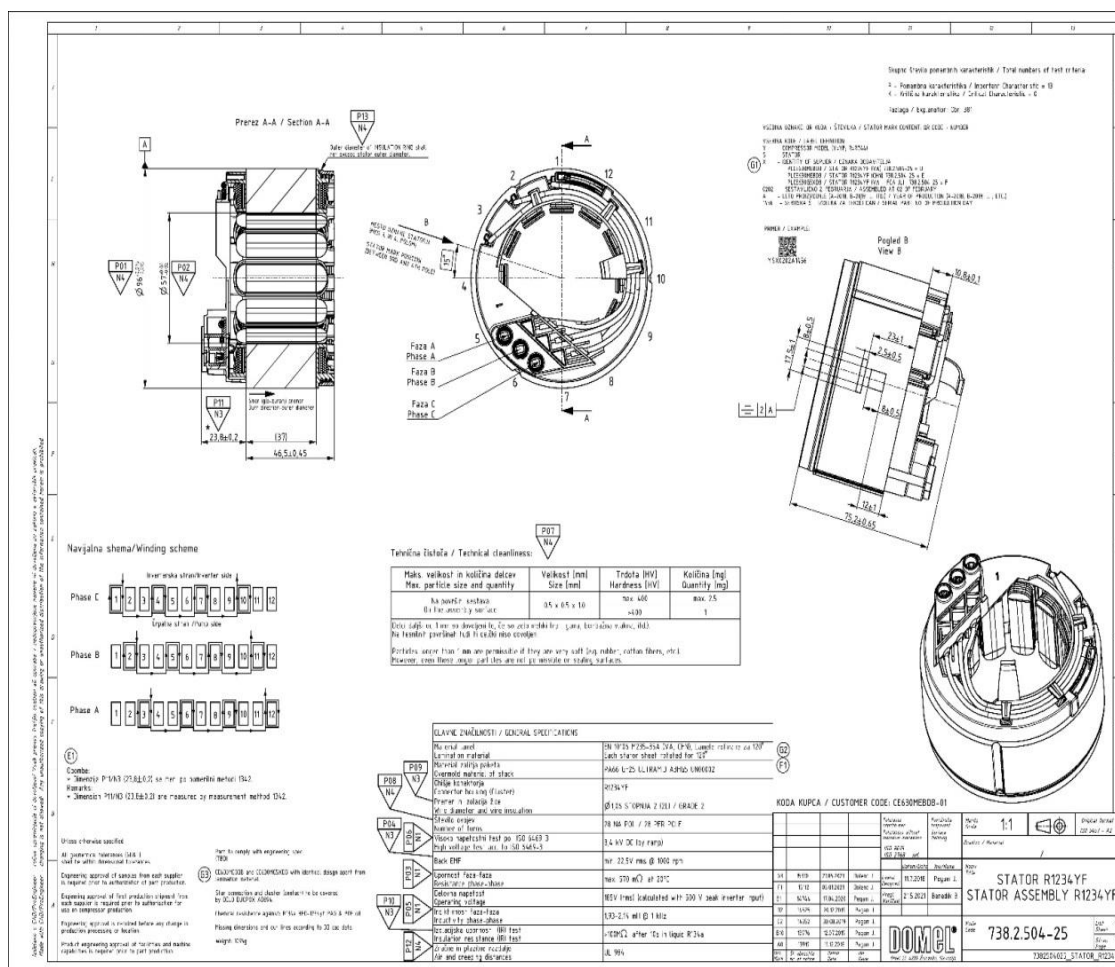
4.1 KORAKI PRI IZVEDBI ANALIZE FMEA PO ZDRUŽENIH STANDARDIH VDA/AIAG

Pri zahtevah standardov VDA/AIAG je analizo FMEA treba opravljati po točno določenih korakih ter zahtevah vsakega posameznega koraka. Koraki in podkoraki so točno določeni, v nadaljevanju pa jih bomo strnili in navedli bistvene zahteve. Za primer bomo uporabili statorski sestav 738. Prikazani bodo konkretni primeri, ki jih po zahtevi predstavimo tudi kupcu, zato so odseki iz programa Apis in nekatere tabele predstavljeni v angleškem jeziku.

4.1.1 Korak načrtovanja in priprave

V prvem koraku načrtovanja in priprave opišemo procese in proizvode, ki naj bi bili zajeti v analizi PFMEA. To nam omogoča, da vse procese lahko s pomočjo PFMEA po potrebi ponovno analiziramo ter se dokončno odločimo, kateri bodo in kateri ne bodo zajeti v analizo PFMEA. S tem projekt tudi identificiramo ter se odločimo, kaj naj analiza vsebuje in česa ne. Obe odločitvi sta pomembni za projekt, saj analiziranje nepotrebnih stvari med drugim povzroča stroške ter tako zviša končno ceno zagotavljanja kakovosti. Po navedbah priročnika (AIAG & VDA, 2019) si v tem koraku zastavimo nekaj osnovnih vprašanj:

- Kaj in kakšen proizvod kupec od nas kupuje?
- Kakšne zahteve ima kupec?
- Kateri so specifični elementi in procesi, ki povzročajo največje tveganje?
- Ali kupec od nas sploh zahteva analizo PFMEA?
- Ali moramo analizo razčlenjevati na sisteme, podsisteme in posamezne komponente?



Slika 13: Tehnična dokumentacija (Domel d.o.o., 2022)

Med drugim v tem koraku preučimo in zagotovimo tudi dobavo materiala, skladiščenje in logistiko, postopke vzdrževanja in popravil, transport itn. Skratka, ugotoviti in zagotoviti moramo, da so predhodno zagotovljeni vsi predhodni dejavniki za samo proizvodnjo. Zaželeno oz. skoraj obvezno je, da člani delovne skupine poznajo metodo FMEA ter so poznavalci področja, ki ga pokrivajo. S tem bodo bolje pripravljene za uspešno dosego cilja.

Vse te našteje dejavnosti rešujemo z uporabo metode 5T.

Metoda 5T: Z metodo 5T skušamo iz analize FMEA pridobiti kar najboljši možen rezultat v čim krajšem časovnem obdobju, s pomočjo tega koraka pa se skušamo izogniti tudi ponovni izvedbi analize FMEA.

Kratice 5T izhajajo iz petih vprašanj v angleškem jeziku, ki se začnejo s črko T.

- FMEA In Tent – vprašamo se po namenu analize FMEA ter zakaj jo izvajamo
 - FMEA Timing – določimo časovni okvir, v katerem bomo analizo dokončali
- Časovnica je eden pomembnejših faktorjev FMEA. Analizo je najbolje opraviti predčasno, saj je takrat uvajanje sprememb v proces najlažje in tudi najcenejše. Analiza FMEA mora biti predvidena že v projektnem načrtu procesa. Priporoča se, da se stopnje opravljene analize vpiše v načrt k obstoječim mejnikom procesa.

| Struktura projekta: Oznaka | Identifikacija |
|---|------------------|
| ▼ NP | 6012721 0040 |
| • ◆ Naročilo projekta | 24101 |
| • NP Predprojektni plan | 6012721 0050 |
| • NP Organizacija vodenja proj,uvodni sestane | 6012721 0060 |
| ▼ ▲ NAČRTOVANJE IZDELKA | P/00029-01.02 |
| ▼ Načrtovanje izdelka | 6012722 |
| • NP Koncipiranje izdelka | 6012722 0010 |
| • NP Izdelava predkalkulacije in info ponudbe | 6012722 0020 |
| • NP Ocena konstrukcijskih rešitev - FMEA | 6012722 0030 |
| ▼ ▲ VZORČENJE - Vzorec A, B | P/00029-01.02:2 |
| ▼ ▲ Izdelava rot+stat za EC MOTOR GEN3,9 | P/00029-01.02:21 |
| ▼ Vzorčenje - vzorec A | 6012726 |
| • NP Priprava dokumentacije | 6012726 0010 |
| • NP Izdelovanje prototipa | 6012726 0020 |
| ▼ Potrditev A vzorca | 6012726 0030 |
| • ◆ Prototip potrjen - PV-A | 24098 |
| ▼ ▲ Hanon Systems Gen 3.9 - 30 vzorcev | P/00029-01.02:22 |
| ▼ Vzorčenje - vzorec B | 6012728 |
| • NP Priprava dokumentacije | 6012728 0010 |
| • NP Izdelovanje prototipa | 6012728 0020 |
| ▼ Potrditev B vzorca | 6012728 0030 |
| • ◆ Prototip potrjen - PV-B (design freeze) | 24099 |
| • NP Izdelava DFMEA | 6012728 0040 |
| • NP Izdelava plana kakovosti | 6012728 0050 |
| ▼ ▲ Hanon Stator738.2.504,Rotor 738.2.525 | P/00029-01.02:23 |
| ▼ Vzorčenje - vzorec A | 6014539 |
| • NP Priprava dokumentacije | 6014539 0010 |
| • NP Izdelovanje prototipa | 6014539 0020 |

Slika 14: Terminski načrt z vključeno analizo FMEA
(Domel d.o.o., 2022)

- FMEA Team – premislimo in določimo člane, ki bodo sestavljali delovno skupino

Delovno skupino naj sestavljajo člani z različnih področij, ki so bistveni za sam proces. S tem se pokrije celotni spekter različnega znanja, ki je potrebno za uspešno razpravo.

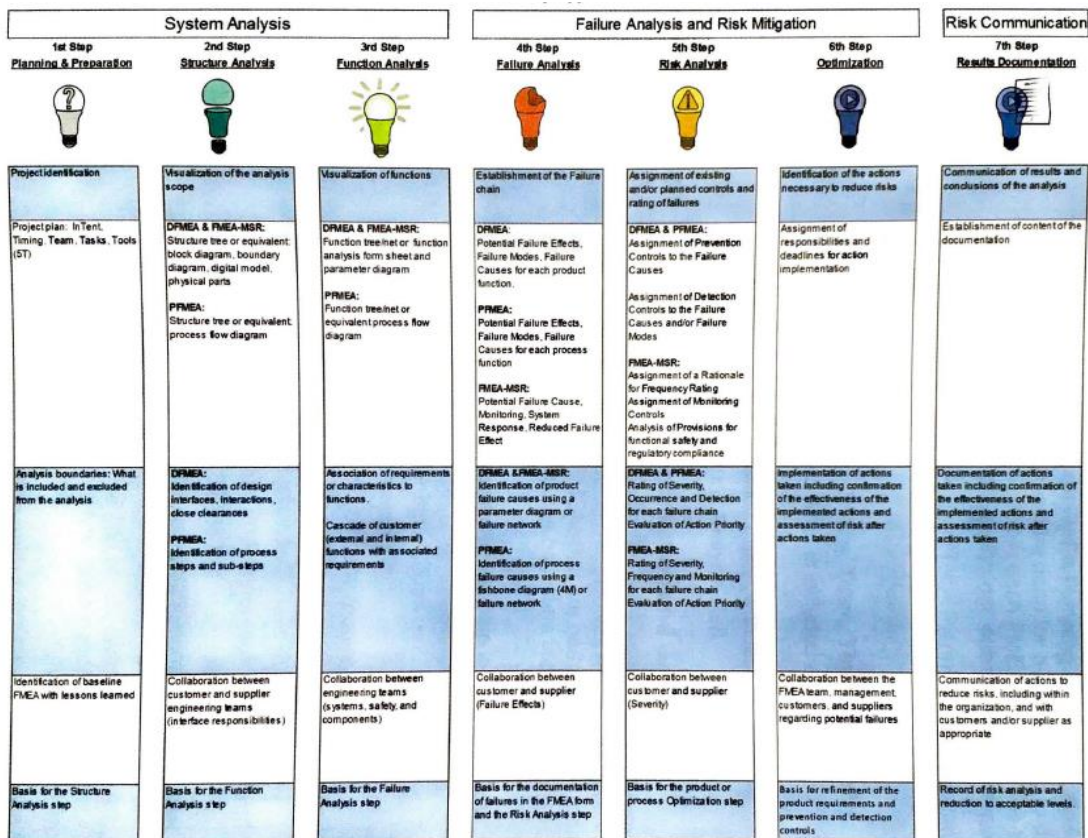
V našem primeru so to razvojni inženir, tehnolog, inženir kakovosti, moderator ter odgovorni za izvedbo. Osnovna delovna skupina, ki sodeluje na sestanku, pripravi analizo FMEA. Po trenutnih potrebah se ta lahko razširi tudi s člani, ki so poznavalci z drugih področij, kot so serviserji, dobavitelji, projektni vodja, zaposleni v proizvodnji ipd.

- FMEA Task – vprašamo se, kaj moramo analizirati

Način sedmih korakov, ki so predvideni pri združenih standardih VDA/AIAG, zahteva zapisnik v obliki tabele. Z zapisnikom omogočimo, da so rezultati analize ob zahtevi na voljo vodstvu podjetja in kupcem. Med drugim je izdelana analiza na voljo tudi presojevalcem, ki se s tem prepričajo, da so naloge analize izpolnjen.

- FMEA Tool – kako in s katerimi orodji bomo izvedli analizo

Na voljo je kar nekaj orodij v obliki programske opreme, ki se lahko uporabijo za izvedbo analize FMEA, podjetje pa se lahko samo odloči, ali bo izbralo svoj sistem ali pa obstoječi program, ki je že na trgu. V podjetju Domel za opravljanje analize uporabljamo programsko rešitev APIS.

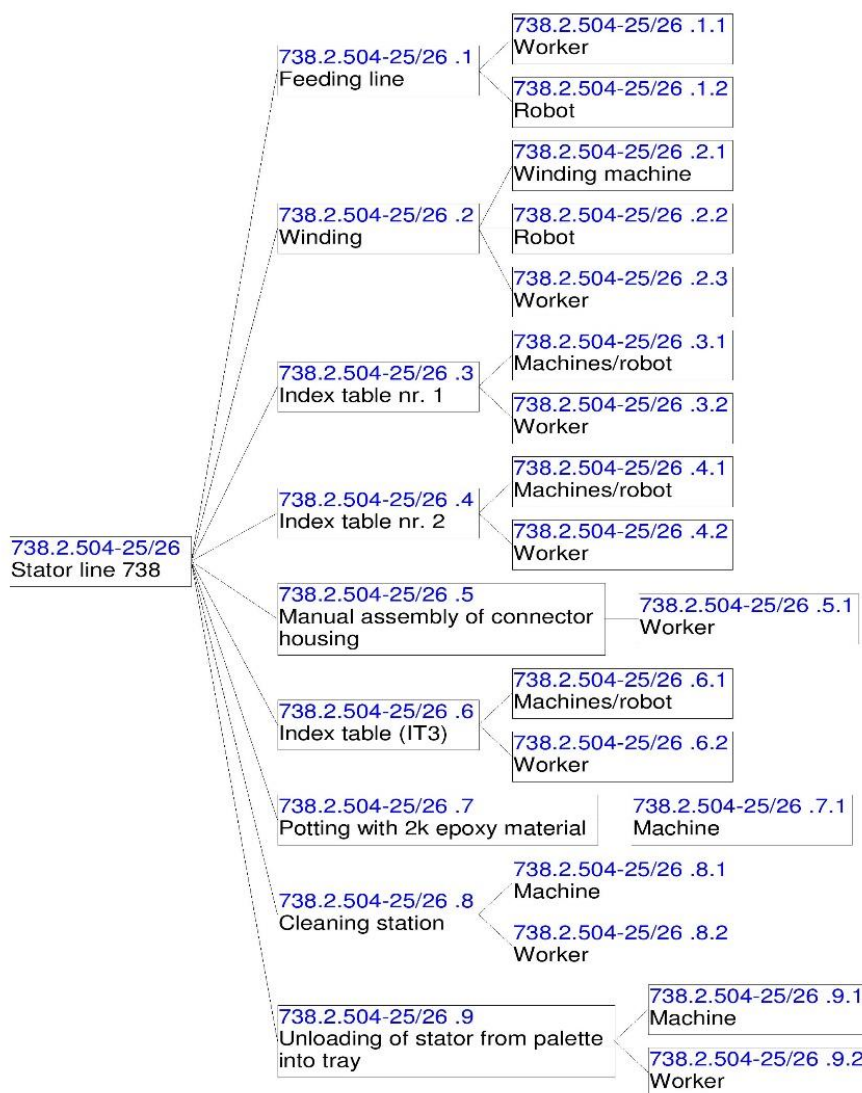


Slika 15: FMEA – 7 korakov pristopa (AIAG & VDA, 2019)

4.1.2 Korak – strukturna analiza

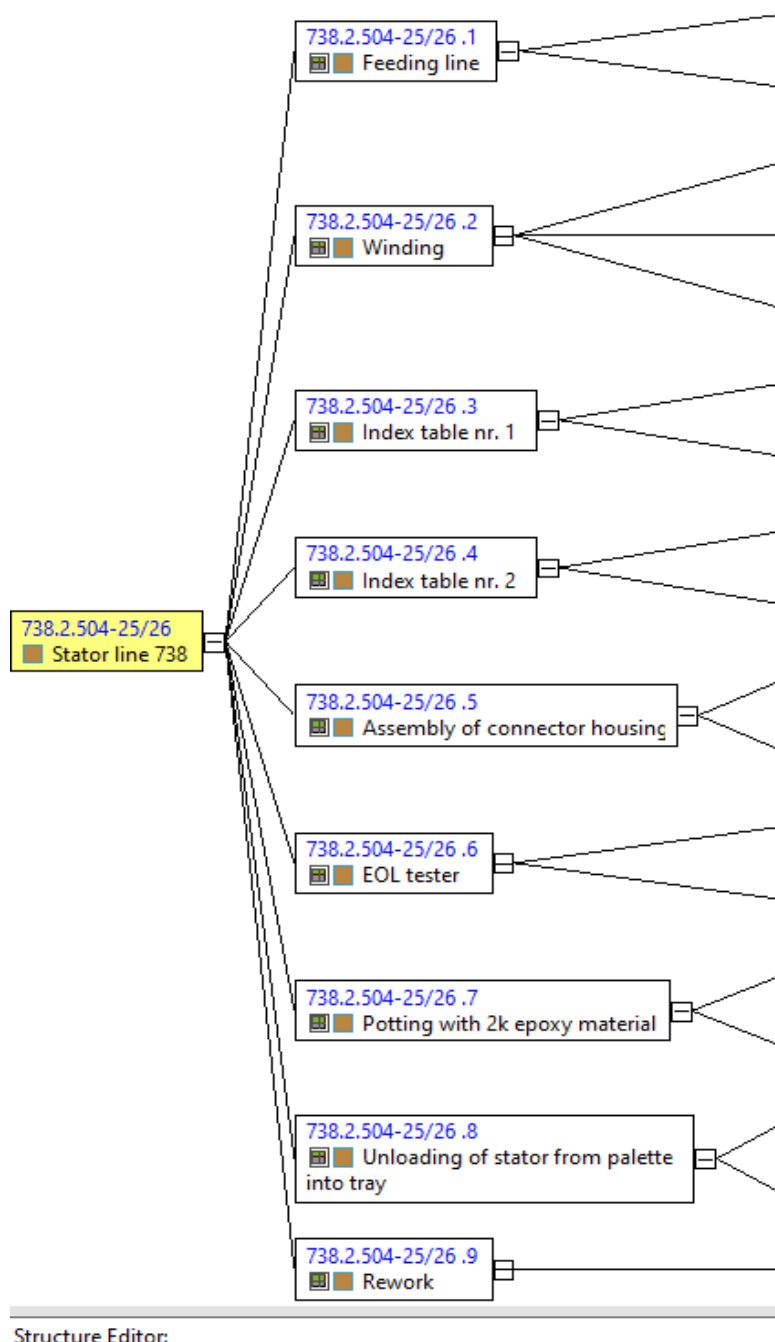
Z analizo strukture razčlenimo proizvodni proces na elemente procesa, procesne korake in delovne elemente. Podatki, ki jih bomo določili v tem koraku, so pomembni tudi za funkcijsko analizo, ki je naslednji korak. Elementi in informacije, ki jih ne bomo določili v strukturi analizi, bodo manjkali tudi v funkcijski analizi, ki zaradi tega ne bo popolna, kar pa ogroža celotno analizo.

V središču pozornosti je procesni korak, s katerim prikažemo proizvodne operacije, zato tudi predstavlja prvi pogoj in osnovo za izdelavo strukturne analize.



Slika 16: Struktura procesa proizvodnje statorja 738
(Domel d.o.o., 2022)

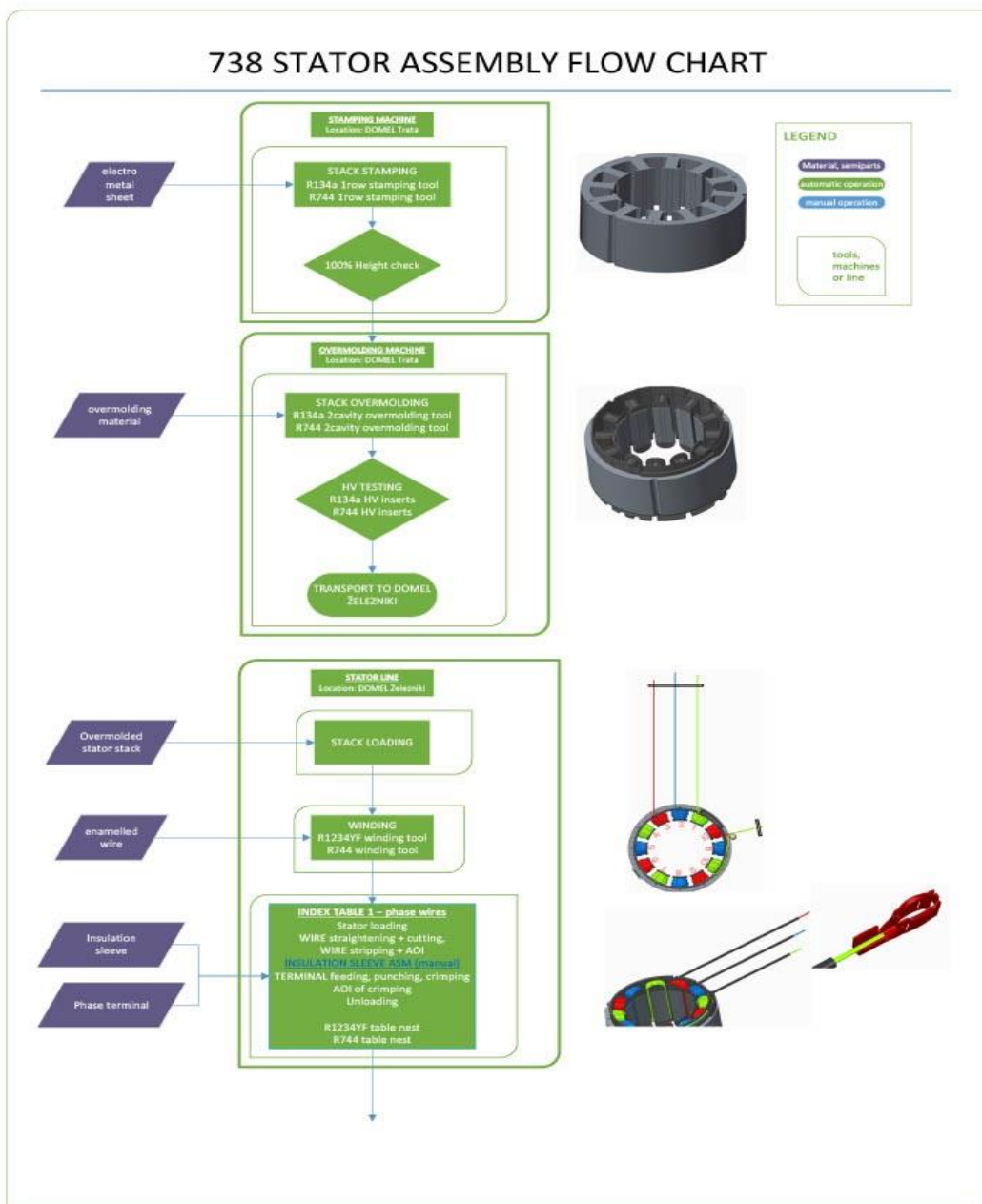
- Procesni (delovni) element**, ki ga obravnavamo, predstavlja najnižjo stopnjo v strukturnem drevesu. Vsak naslednji element pa predstavlja kategorijo možnih napak, ki bi lahko vplivale na proizvodni proces in povzročale zastoje ipd.



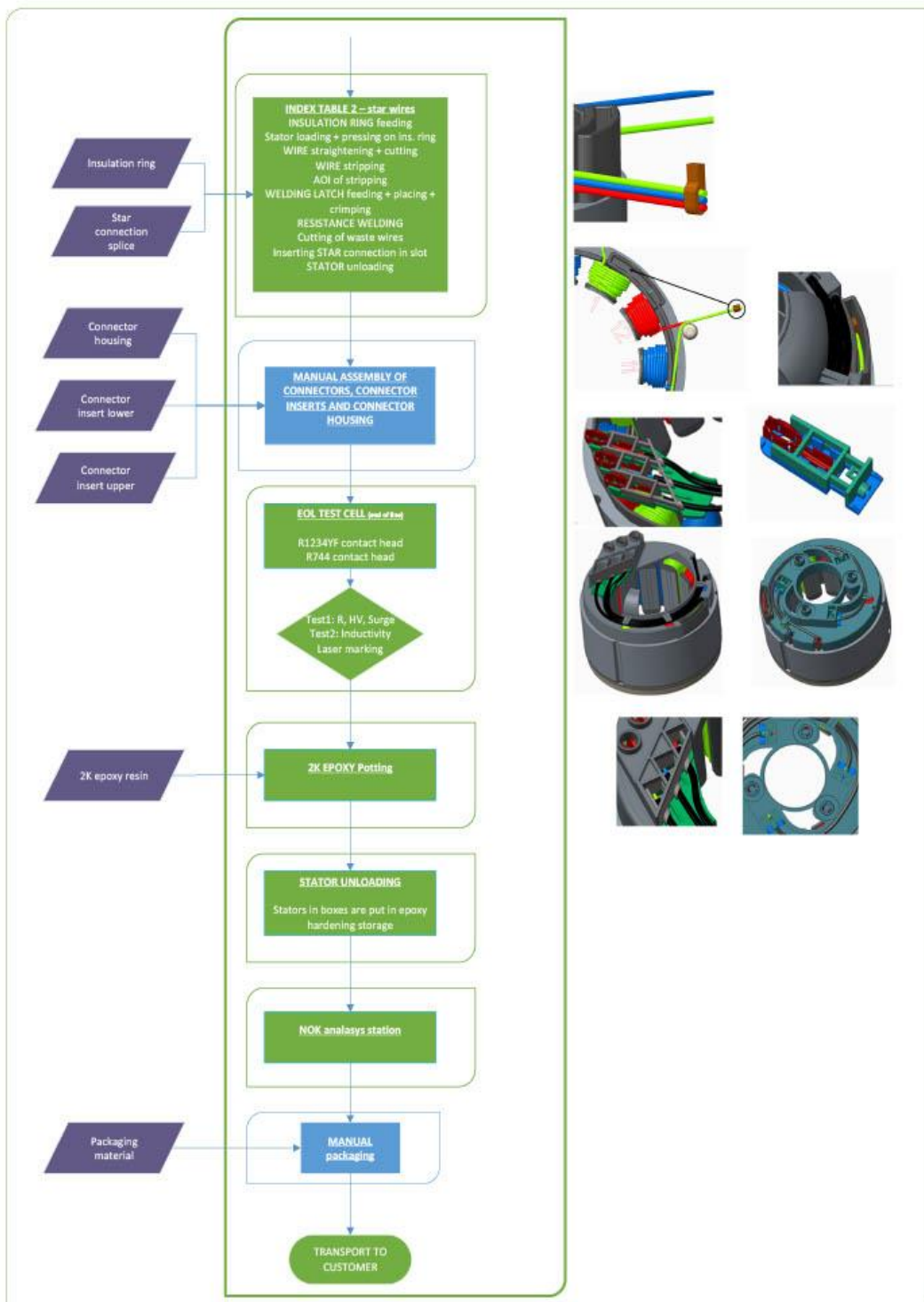
Slika 17: Procesni element – stator 738
(Domel d.o.o., 2022)

- Procesni diagram** je eden izmed pomembnejših pripomočkov pri analizi strukture, s katerim si pomagamo določiti proces in zagotoviti osnovo za strukturno analizo.

Sam format diagrama ni posebej opredeljen, pomembno je, da se prikaže gibanje proizvoda skozi celoten proces in da je dokončan še pred funkcijsko analizo.

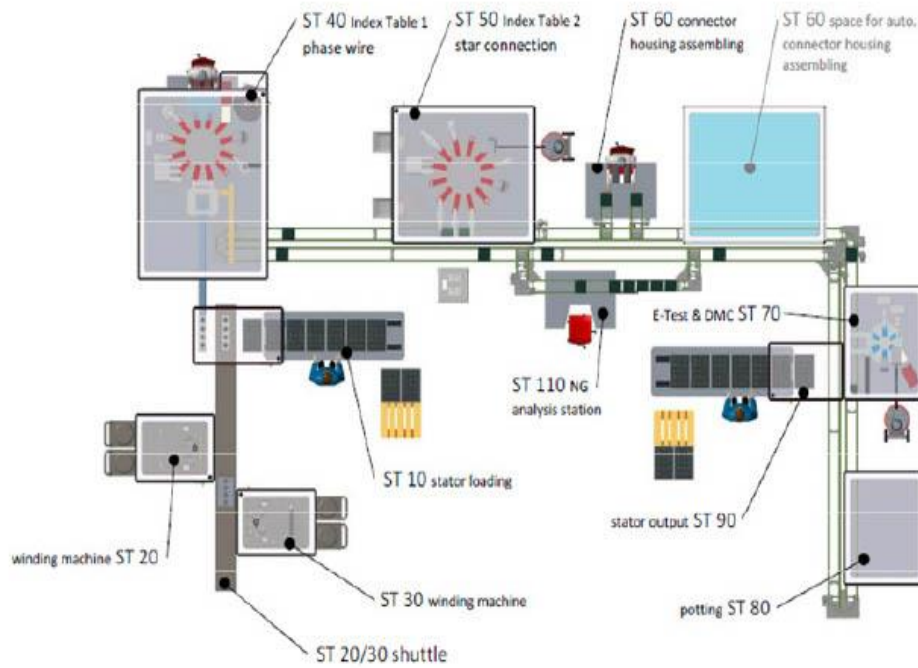


Slika 18: Procesni element – stator 738
(Domel d.o.o., 2022)



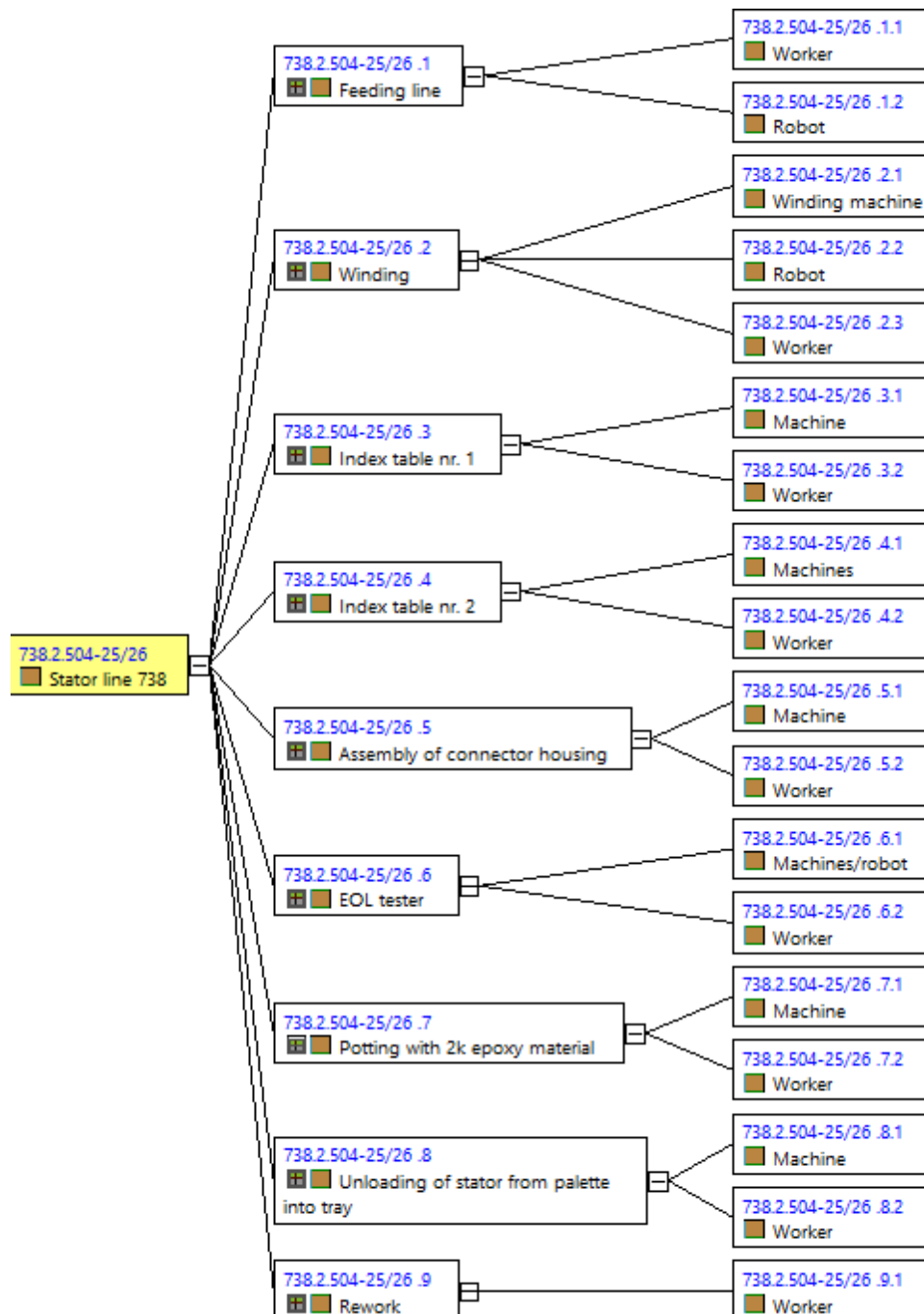
Slika 19: Procesni element – stator 738
(Domel d.o.o., 2022)

738 STATOR ASSEMBLY LAYOUT



Slika 20: Procesni diagram (layout)
(Domel d.o.o., 2022)

- **Strukturno drevo** je enakovredna alternativa procesnemu diagramu. Z njim sistemske elemente hierarhično razporedimo z namenom, da prikažemo odvisnost elementov. Vsak element je gradnik, za katerega v nadaljnjem postopku določimo funkcije in možne napake.



Slika 21: Strukturno drevo
(Domel d.o.o., 2022)

4.1.3 Korak – funkcijska analiza

Namen funkcijske analize je osnova za naslednji korak analize napak. Njen namen je zagotoviti, da so vse predvidene zahteve procesa ali proizvoda ustrezno dodeljene.

Cilji, ki jih s funkcijsko analizo skušamo doseči, so:

- **prikaz in vizualizacija poteka procesa**, ki nam prikaže delovni proces posameznega postopka. Za vsak delovni proces je lahko več korakov, npr. vrtanje luknje, natiskovanje ležaja, nanašanje lepila itn.;
- **izdelava diagrama procesa ali funkcijskega drevesa**, ki sta si med sabo enakovredna. Zahteve omogočajo prosto izbiro med enim in drugim, odvisno od podjetja. Pomaga nam pri predstavitvi usklajenosti med analizo strukture in analizo funkcij. Z osredotočenostjo elementa, ki ga analiziramo – na sredini, se na levi strani vprašamo, kakšen je proces oz. kaj je proizvod procesa, na levi strani pa se vprašamo, kako se bo proces izvedel;
- **povezava zahtev s funkcijami ali lastnostmi proizvoda/procesa**; funkcije in značilnosti izdelka lahko razberemo že iz predhodnega procesnega koraka. Lahko so že presoјane in izmerjene, same značilnosti, kot so tolerance, obdelava površine, lastnosti materialov ipd., pa razberemo iz projektne dokumentacije in risb proizvoda;
- **sodelovanje z različnimi oddelki v podjetju**, ki morajo poskrbeti za skladnost zahtev stranke, npr. varnostne zahteve ipd.; zapisnik o dogovoru na takih sestankih sicer ni nujen, je pa zaželen.

4.1.4 Korak – analiza napak

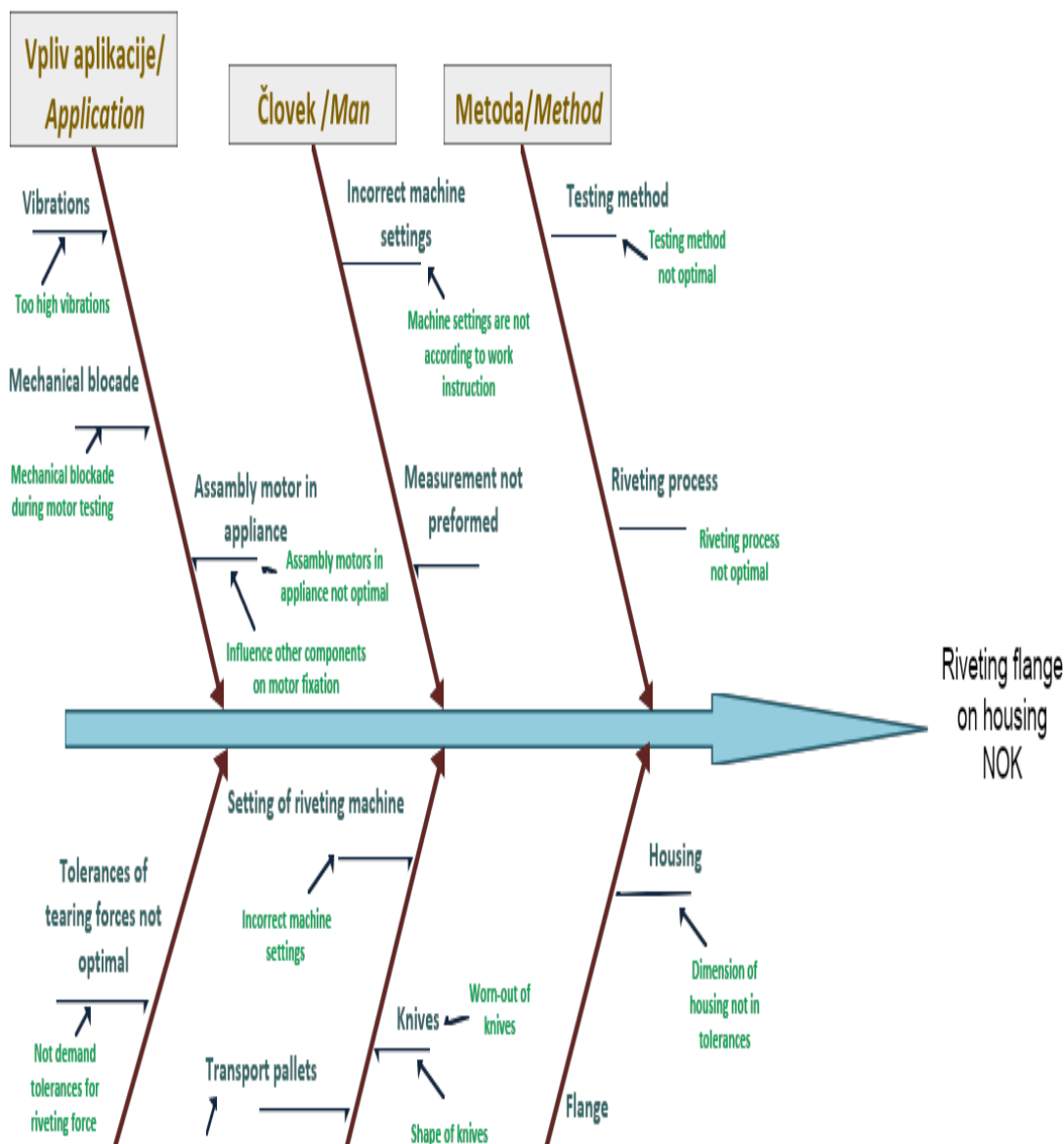
Analiza napak nam služi za iskanje in prepoznavanje vseh možnih napak in vzrokov zanje ter način, kako je do njih prišlo, pa tudi posledic, ki jih te napake lahko pustijo v procesu izdelave ali pri uporabi proizvoda. Uporabljamo pa jo tudi za izdelavo ocene tveganja.

Cilji, h katerim še stremimo z analizo napak, so:

- vzpostavitev verige napak, s katero se vprašamo po napaki, kaj jo je povzročilo in kakšna je njena posledica;
- s pomočjo vzorčno-posledičnega diagrama »ribja kost« prepoznamo vzroke napak v procesu;
- komuniciranje in sodelovanje s kupcem v primeru dilem o pomenu napake na proizvodu;
- izdelava »osnovne podlage« za dokumentiranje napak in tveganj na obrazcu FMEA.

DIAGRAM RIBJE KOSTI - ISHIKAWA DIAGRAM

DOMEL



Slika 22: Vzorčno-posledični diagram »ribja kost« (Domel d.o.o., 2022)

Napake in posledice možnih napak se lahko pojavijo v vsakem sistemu, podsistemu itn. Učinke ugotavljamo na način, kako jih bo lahko opazil ali izkusil kupec. Pri prepoznavi teh napak so nam v pomoč nekatera vprašanja, kot npr.:

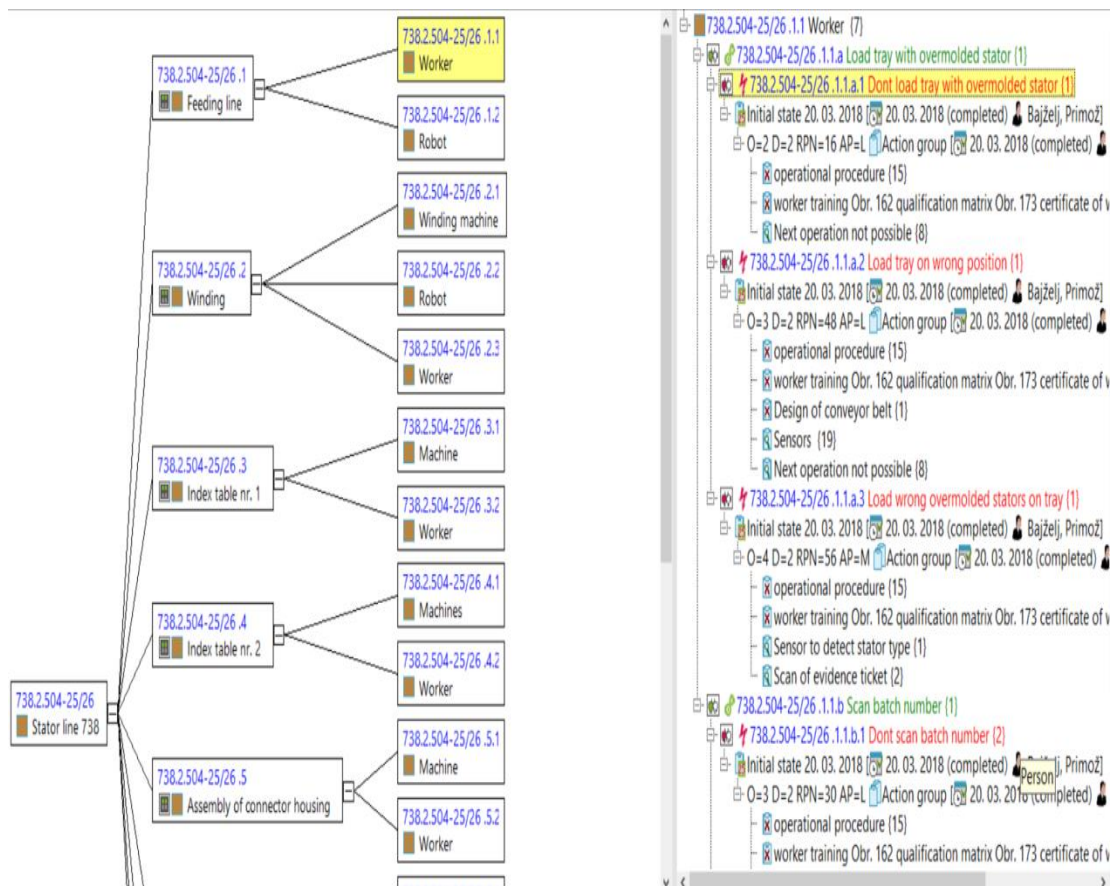
- Kako se napaka odraža pri kupcu?
- Kakšne posledice prinaša napaka?
- Ali se bo in kako se bo videla napaka?
- Kaj se zgodi ob pojavu določene napake?
- Zakaj se je pojavila napaka oz. kateri je vzrok zanjo?
- V kakšnih okoliščinah se je pojavila napaka in ali so le-te vzrok zanjo?
- Kaj storiti, če se napaka zazna, še preden proizvod pride do končnega uporabnika?
- Ali lahko napaka vpliva na nadaljnjo obdelavo in celo povzroči škodo v proizvodnji in pri operaterju?

4.2 NAČINI/VRSTE NAPAK

Za ugotavljanje vrste napak nam pri analizi pomaga skupinska metoda viharjenja možganov (angl. *brainstorming*), še nekoliko boljši »pripomoček« za ugotavljanje vrste napake pa so izkušnje s podobnimi proizvodi, ki smo jih izdelali v preteklosti. Te lahko uporabimo že pri metodi viharjenja možganov ali pa pregledamo pretekla poročila o napakah, zapisnike kupcev itn.

Kategorije napak, ki so največkrat prisotne, oz. vprašanja, ki si jih moramo v tej fazi zastaviti, so:

- vgradnja napačnih sestavnih delov,
- zamujanje posamezne operacije v procesu,
- napačna/nepripravljena operacija,
- nestabilen delovni proces,
- operacija ni izvedena v celoti,
- postopek v procesu ni izveden ali pa je izveden nepopolno.



Slika 23: Vrste in načini napak
(Domel d.o.o., 2022)

Slika prikazuje vrste in načine napak, ki jih lahko povzroči delavec, ki na statorski liniji 738 zagotavlja material. Napake, ki smo jih ugotovili, so:

- v stroj niso naloženi zabrizgani statorji,
- material je vstavljen na napačno pozicijo,
- naloženi so napačni statorji,
- serijska številka ni poskenirana.

4.2.1 Vzroki za napako

Pri ugotavljanju vzroka za napako se vprašamo, zakaj bi do napake sploh prišlo oz. kdo ali kaj jo lahko povzroči. Ker je posledica take napake lahko okvara, je vzroke treba poiskati in določiti za vsak korak v procesu ter jih na kratko, jedrnato in razumljivo opisati, saj nam bo to v pomoč pri naslednjih postopkih kontroliranja in ukrepanja ob pojavu napak.

V podjetju DOMEL uporabimo princip, pri katerem moderator z dovolj širokimi vprašanji spodbudi delovno skupino k razmišljanju. Pri tem mu je v veliko pomoč poznavanje metode Ishikawine 4M. To metodo po potrebi razširimo do 7M, sicer pa najpogosteje uporabljamo 2M.

Metoda 4M predvideva, da so pri vzrokih za napake najpogostejši 4 dejavniki;

1) MAN – človek. Pri tem si zastavimo vprašanja:

- Ali delavec lahko vstavi napačen material ali pa ga celo pozabi vgraditi?
- Ali je možno, da se material vgradi narobe?
- Ali se material ob postopku lahko poškoduje?

2) MACHINE – stroj. Prav tako kot človeške so lahko pogoste napake pri strojni obdelavi, zato se vprašamo:

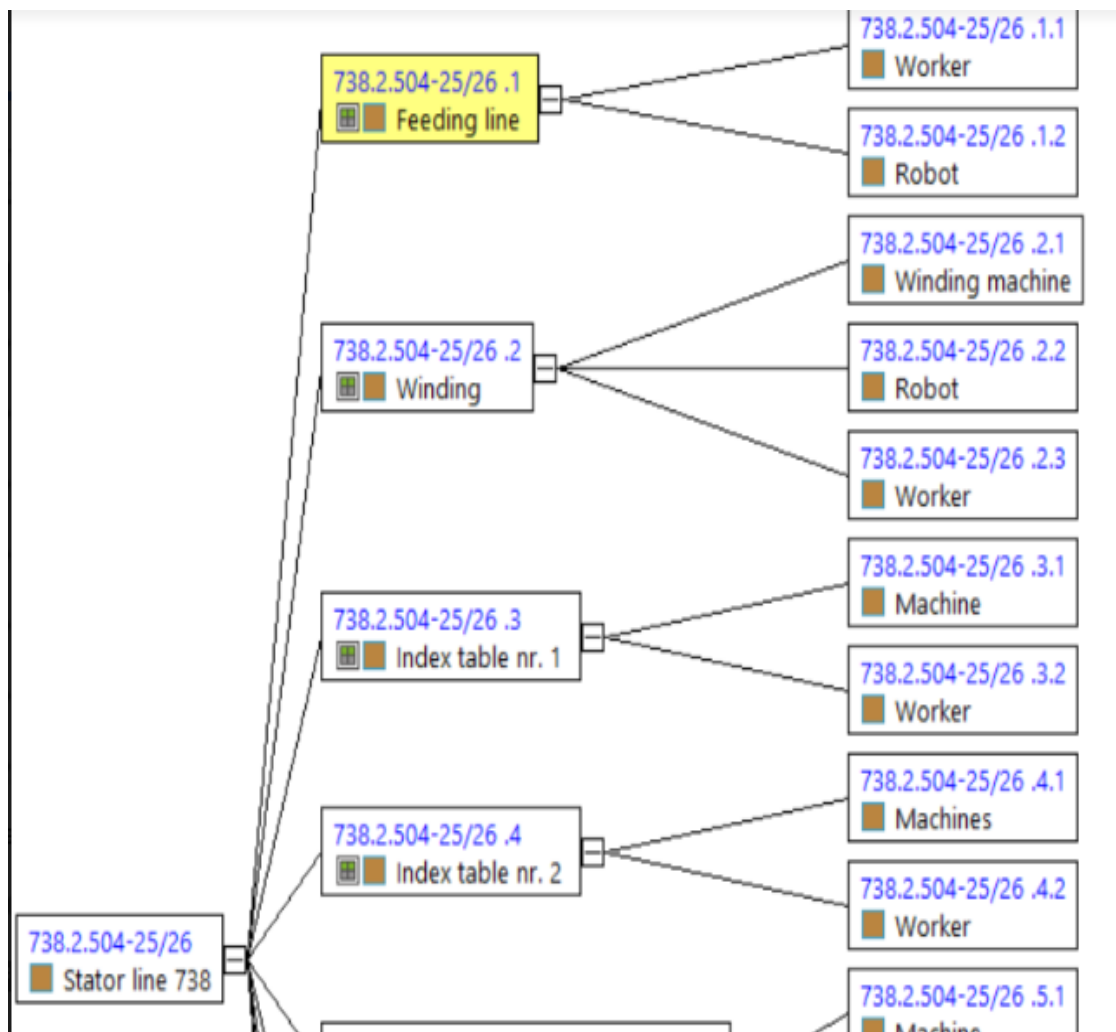
- Ali se proces lahko ustavi, npr. zaradi zamašitve, pomanjkanja materiala, napačne pozicije stroja ipd.?
- Ali stroj dopušča vnos napačnega programa in ali so nastavitve napačno vnesene?
- Se lahko zaobide samodejno izvajanje in se stroj upravlja ročno?
- So navodila za delo, kontrolo in preprečitev napak na voljo ob stroju?

3) MATERIAL – Glede materiala zaradi predhodne vhodne kontrole sklepamo, da je skladen z zahtevami, zato ga kot takega (lastnosti) ne obravnavamo, se pa vprašamo:

- Se lahko naloži ali uporabi preveč ali premalo materiala?
- Je mogoče, da se material ne vloži?
- Je lahko vložen v napačno pozicijo ali na napačno mesto?

4) ENVIRONMENT (MILIEU) – okolje. Okolje, v katerem se izvaja proces, ter vplivi okolja so pomemben dejavnik povzročitve napak. Vprašamo se:

- Ali je osvetlitev za izvajanje naloge primerna?
- Je delovni material dostopen ter dobro viden, da ne pride do uporabe napačnega?



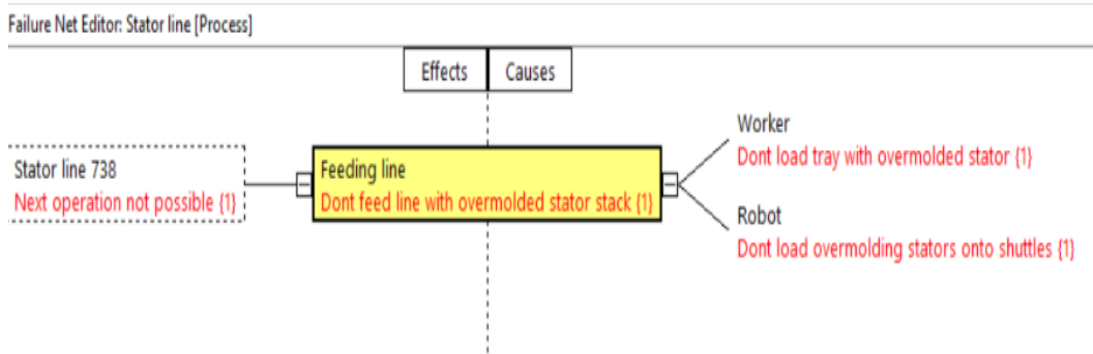
Slika 24: Vzroki napak
(Domel d.o.o., 2022)

Slika prikazuje vzroke, za katere smo predvideli, da lahko povzročijo napako. Na statorski liniji 738 poleg človeka in stroja sodeluje tudi robot. Le-tega smo predvideli za možen vzrok napake, zato smo največkrat uporabljena 2M razširili še s tretjim »M« (robot).

4.2.2 Analiziranje

Možne napake so izpeljane iz predhodnih procesnih korakov, iz funkcijske analize pa izdelamo tudi verigo napak.

Osrednji element je način napake, ki je povezan s posledico napak in vzroki za njen nastanek. Glede na osredotočenje na element v verigi se lahko vprašamo, zakaj je do napake prišlo in kakšne so njene posledice.



Slika 25: Veriga napak
(Domel d.o.o., 2022)

Slika prikazuje osrednji element, v našem primeru statorske linije 738, ki je povezan z vzroki in posledicami napak. V tem primeru smo predvideli možnost, da robot ne bo izvršil operacije, delavec pa ne bo naložil oz. bo naložil napačne/nezabrizgane statorje. Napaka bi v vsakem primeru onemogočala naslednjo operacijo.

Enako postopek ugotavljanja ponovimo pri vseh drugih elementih.

Failure effects (FE) – posledice, ki jih povzroči napaka

Failure mode (FM) – vrsta napake

Failure cause (FC) – vzrok za nastanek napake

5 KORAK – ANALIZA TVEGANJA

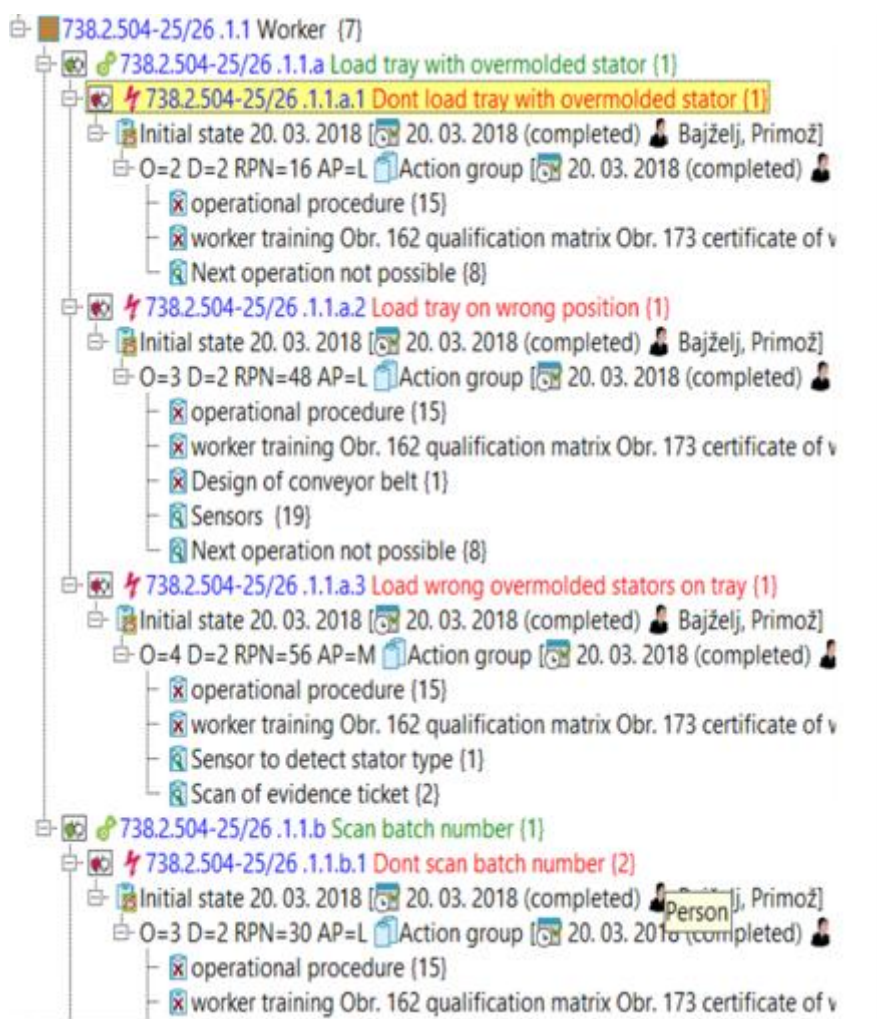
Namen analize je prioritizirati ukrepe ob napakah glede na njihovo resnost, pojavnost in možnost odkritja. Napake ocenimo in jim določimo način, s katerim jih bomo kontrolirali in preprečevali, ovrednotimo tudi prednostne naloge ter za vsako verigo napak ocenimo njihovo resnost, pojavnost in možnost zaznavanja.

Sprotno kontrolo in preprečevanje napak v proizvodnem procesu lahko zagotavljamo:

- z vizualnim pregledom ter kontrolnim pregledom s pomočjo kontrolnih točk,
- s pregledom s kamero,
- z merjenjem dimenzij, sile, navora,
- s sprotno naključno kontrolo.

Vzrokom napake določimo preventivne kontrole, s tem pa omogočimo optimalno načrtovanje procesa, v katerem se bodo možnosti za napake zmanjšale. Preventivni postopki, ki se lahko uporabijo v sami proizvodnji, so:

- dvoročna uporaba stroja;
- preprečevanje napačne ali naknadne vgradnje kosa, pri čemer si pomagamo z metodo POKA-YOKE;
- redno vzdrževanje opreme;
- navodila za uporabo;
- kontrola strojev;
- naključne kontrole kosov itn.



Slika 26: Napake in načini preprečevanja napak (Domel d.o.o., 2022)

Slika prikazuje odsek iz programa Apis. Rdeče obarvane so napake, pod njimi pa možne rešitve za preprečitev njihovega pojava.

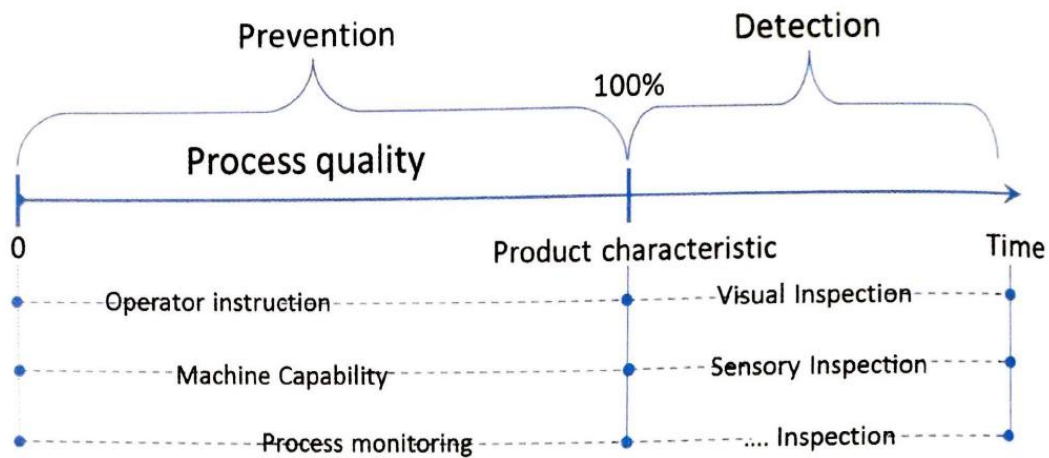


Figure 3.5-2 Roadmap of process understanding

Slika 27: Razumevanje procesa
(AIAG & VDA, 2019)

Slika prikazuje vključenost kakovosti v proces, kjer vidimo, da preventivno delovanje, kot je metoda FMEA, pomeni velik del uspeha.

6 NAČIN NAPAKE

Po zahtevah standardov AIAG/VDA moramo tveganje opredeliti s predpisanimi tabelami, ki jih bomo prikazali v nadaljevanju, poleg tega pa lahko dodamo še svoje faktorje. Vsaka napaka se opredeli glede na njen način, za kar uporabimo tri ocene:

- **Severity – S:** predstavlja resnost/težo učinka napake, pri čemer se vprašamo, katere posledice napake bo čutil kupec. Je najtežji kriterij, ki ga ocenjujemo pri napakah. Določimo ga s pomočjo kriterijev iz predpisane tabele, ki pa jo lahko razširimo tudi s specifičnimi zahtevami podjetja.

| Process General Evaluation Criteria Severity (S) | | | | |
|--|-----------|--|--|---|
| Potential Failure Effects rated according to the criteria below. | | | | |
| S | Effect | Impact to Your Plant | Impact to Ship-to Plant (when known) | Impact to End User (when known) |
| 10 | Very High | Failure may result in an acute health and/or safety risk for the manufacturing or assembly worker. | Failure may result in an acute health and/or safety risk for the manufacturing or assembly worker. | Affects safe operation of the vehicle and/or other vehicles, the health of driver or passenger(s) or road users or pedestrians. |
| 9 | | Failure may result in in-plant regulatory noncompliance. | Failure may result in in-plant regulatory noncompliance. | Noncompliance with regulations. |
| 8 | High | 100% of production run affected may have to be scrapped. Failure may result in in-plant regulatory noncompliance or may have a chronic health and/or safety risk for the manufacturing or assembly worker. | Line shutdown greater than full production shift; stop shipment possible; field repair or replacement required (Assembly to End User) other than for regulatory noncompliance. Failure may result in in-plant regulatory noncompliance or may have a chronic health and/or safety risk for the manufacturing or assembly worker. | Loss of primary vehicle function necessary for normal driving during expected service life. |
| 7 | | Product may have to be sorted and a portion (less than 100%) scrapped; deviation from primary process; decreased line speed or added manpower. | Line shutdown from one hour up to full production shift; stop shipment possible; field repair or replacement required (Assembly to End User) other than regulatory noncompliance. | Degradation of primary vehicle function necessary for normal driving during expected service life. |
| 6 | Moderate | 100% of production run may have to be reworked off line and accepted. | Line shutdown up to one hour. | Loss of secondary vehicle function. |
| 5 | | A portion of the production run may have to be reworked off line and accepted. | Less than 100% of product affected; strong possibility for additional defective product; sort required; no line shutdown. | Degradation of secondary vehicle function. |
| 4 | | 100% of production run may have to be reworked in station before it is processed. | Defective product triggers significant reaction plan; additional defective products not likely; sort not required. | Very objectionable appearance, sound, vibration, harshness, or haptics. |
| 3 | Low | A portion of the production run may have to be reworked in station before it is processed. | Defective product triggers minor reaction plan; additional defective products not likely; sort not required. | Moderately objectionable appearance, sound, vibration, harshness, or haptics. |
| 2 | | Slight inconvenience to process, operation, or operator. | Defective product triggers no reaction plan; additional defective products not likely; sort not required; requires feedback to supplier. | Slightly objectionable appearance, sound, vibration, harshness, or haptics. |
| 1 | Very Low | No discernible effect. | No discernible effect or no effect. | No discernible effect. |

Tabela 4: Tabela ocene resnosti/teže napak (AIAG & VDA, 2019)

- Occurrence – O: predstavlja verjetnost pojava napake. Kot izhodišče za oceno pojavnosti si s pomočjo predpisane tabele postavimo možno napako. Med drugimi si pomagamo tudi z vprašanji o podobnih preteklih izkušnjah in procesih, delovnem okolju, navodilih za delo itn. Ocenjevanje pojavnosti napake je relativno in ne odraža vedno dejanskega stanja, zato se moramo opredeliti, ali je napaka tehnične narave, ali pa moramo uporabiti že utečeno dobro prakso in izkušnje iz preteklosti. S tem pripomoremo h kar najboljši zaznavi potencialne napake.

| Occurrence Potential (O) for the Process | | | | | |
|--|---------------------------------------|---|---|---|-------------------------------------|
| Potential Failure Causes rated according to the criteria below. Consider Prevention controls when determining the best Occurrence estimate. Occurrence is a predictive qualitative rating made at the time of evaluation and may not reflect the actual occurrence. The occurrence rating number is a relative rating within the scope of the FMEA (process being evaluated). For Prevention Controls with multiple Occurrence Ratings, use the rating that best reflects the robustness of the control. | | | | | |
| O | Prediction of Failure Cause Occurring | Type of Control | Prevention Controls | Incidents per 1000 items/vehicles | Time Based Failure Cause Prediction |
| 10 | Extremely High | None | No prevention controls. | ≥ 100 of 1.000; ≥ 1 of 10; ≥ 10%; ≥ 100.000 ppm | Every time |
| 9 | Very High | Behavioral | Prevention controls will have little effect in preventing failure cause. | 50 of 1.000; 1 of 20; 5%; 50.000 ppm | Almost every time |
| 8 | | | | 20 of 1.000; 1 of 50; 2%; 20.000 ppm | More than once per shift |
| 7 | High | Behavioral or Technical | Prevention controls somewhat effective in preventing failure cause. | 10 of 1.000; 1 of 100; 1%; 10.000 ppm | More than once per day |
| 6 | | | | 2 of 1.000; 1 of 500; 0,2%; 2.000 ppm | More than once per week |
| 5 | Moderate | Behavioral or Technical | Prevention controls are effective in preventing failure cause. | 0,5 of 1.000; 1 of 2000; 0,05%; 500 ppm | More than once per month |
| 4 | | | | 0,1 of 1.000; 1 of 10.000; 0,01%; 100 ppm | More than once per year |
| 3 | Low | Best Practices: Behavioral or Technical | Preventive controls are highly effective in preventing failure cause. | 0,01 of 1.000; 1 of 100.000; 0,001%; 10 ppm | Once per year |
| 2 | Very Low | | | ≤ 0,001 of 1.000; ≤ 1 of 1.000.000; ≤ 0,0001%; ≤ 1 ppm | Less than once per year |
| 1 | Extremely Low | Technical | Prevention controls are extremely effective in preventing failure cause from occurring due to design (e.g. part geometry) or process (e.g. fixture or tooling design). Intent of prevention controls - Failure Mode cannot be physically produced due to Failure Cause. | Failure is eliminated through prevention control. | Never |

Prevention Control Effectiveness: Consider if prevention controls are technical (rely on machines, tool life, tool material, etc.), or use best practices (fixtures, tool design, calibration procedures, error-proofing verification, preventive maintenance, work instructions, statistical process control charting, process monitoring, product design, etc.) or behavioral (rely on certified or non-certified operators, skilled trades, team leaders, etc.) when determining how effective the prevention controls will be.

Tabela 5: Tabela ocene pojavnosti napak
(AIAG & VDA, 2019)

- Detection – D: nam pove, kolikšna je verjetnost za odkritje napake, še preden se pojavijo posledice pri kupcu. Možnost odkrivanja napake ocenimo s tabelo, ki jo po potrebi lahko razširimo tudi z metodami, ki se po navadi uporabljajo v podjetju.

| Detection Potential (D) for the Validation of the Process Design | | | |
|--|-------------------|---|--|
| Detection Controls rated according to the Detection Method Maturity and Opportunity for Detection. | | | |
| D | Ability to Detect | Detection Method Maturity | Opportunity for Detection |
| 10 | Very Low | No testing or inspection method has been established or is known. | The failure mode will not or cannot be detected. |
| 9 | | It is unlikely that the testing or inspection method will detect the failure mode. | The failure mode is not easily detected through random or sporadic audits. |
| 8 | Low | Test or inspection method has not been proven to be effective and reliable (e.g. plant has little or no experience with method, gauge R&R results marginal on comparable process or this application, etc.). | Human inspection (visual, tactile, audible), or use of manual gauging (attribute or variable) that should detect the failure mode or failure cause. |
| 7 | | | Machine-based detection (automated or semi-automated with notification light, buzzer, etc.), or use of inspection equipment such as a coordinate measuring machine that should detect failure mode or failure cause. |
| 6 | Moderate | Test or inspection method has been proven to be effective and reliable (e.g. plant has experience with method, gauge R&R results are acceptable on comparable process or this application, etc.). | Human inspection (visual, tactile, audible), or use of manual gauging (attribute or variable) that will detect the failure mode or failure cause (including product sample checks). |
| 5 | | | Machine-based detection (semi-automated with notification light, buzzer, etc.), or use of inspection equipment such as a coordinate measuring machine that will detect failure mode or failure cause (including product sample checks). |
| 4 | High | System has been proven to be effective and reliable (e.g. plant has experience with method on identical process or this application), gauge R&R results are acceptable, etc. | Machine-based automated detection method that will detect the failure mode downstream , prevent further processing or system will identify the product as discrepant and allow it to automatically move forward in the process until the designed reject unload area. Discrepant product will be controlled by a robust system that will prevent outflow of the product from the facility. |
| 3 | | | Machine-based automated detection method that will detect the failure mode in-station , prevent further processing or system will identify the product as discrepant and allow it to automatically move forward in the process until the designed reject unload area. Discrepant product will be controlled by a robust system that will prevent outflow of the product from the facility. |
| 2 | | | Detection method has been proven to be effective and reliable (e.g. plant has experience with method, error-proofing verifications, etc.). |
| 1 | Very High | Failure mode cannot be physically produced as-designed or processed, or detection methods proven to always detect the failure mode or failure cause. | |

Tabela 6: Tabela zaznavnosti napak (AIAG & VDA, 2019)

7 PRIORITIZACIJA

Ko smo končali s postavitvijo in identifikacijo napak, njihovih posledic ter kontrolo in nadzorom pojavnosti, zaznavnosti in teže napak, si zastavimo način, s katerim jih bomo kar najbolje prilizirali.

Prioritetna metoda, ki se uporablja po zahtevah VDA/AIAG, daje večji poudarek resnosti/teži napake, šele nato njeni pojavnosti in odkrivanju. S pomočjo akcijsko-prioritetne tabele, ki predstavlja več kot tisoč možnosti S/O/D, lahko v podjetju uporabljamo en sam sistem za ocenjevanje prednostnih nalog namesto več različnih, ki so v preteklosti potekali v dogovoru in z usklajevanjem z vsakim posameznim kupcem.

7.1 OCENA POMEMBNOСТИ NAPAKE – RPN

Ocena pomembnosti napake proizvoda je: $S \times O \times D$ ($F \times G \times D$)

F – pojavnost napake

G – pomembnost/teža napake

D – odkritje napake

Namen postopka RPN je prepoznati najšibkejši člen procesa. Z njim prepoznavamo učinke napak, ki jih po vsej verjetnosti težje odkrijemo in lahko za kupca predstavljajo veliko škodo.

Težava nastane, ker RPN kot samostojna metoda ni primerna za določanje korektivnih ukrepov, saj je v nasprotju z zahtevo po prioriteti resnosti napake; RPN daje enako težo tako resnosti in pojavitvi kot tudi odkrivanju napake. Ob zmnožku teh treh lahko kljub različnim kombinacijam množenja dobimo dokaj podoben rezultat, s katerim pa glede na zahteve nastane zmeda pri prilizaciji. Pri uporabi RPN je zato za določanje prednosti priporočljivo uporabiti dodatno metodo $S \times O$.

Pred uvedbo zahtev VDA/AIAG je veljalo, da je bil proizvod tisti, ki je narekoval, kam se mora ekipa usmeriti v prihodnosti. V kolikor je bil rezultat RPN 100 ali več, je bilo treba predlagati nove preventivne aktivnosti in zaznavanje ter oceno ponovno izvesti. Taka metoda ni bila ustrezna, ker je rezultat lahko visok na podlagi nizke S in velikih O in D.

Način po zahtevah VDA/AIAG pa nas usmeri v matematično matriko, ki je v ozadju uspešne prepoznave. Sam izračun nam sicer izdelava programska oprema.

Tveganja (napake) na najnižji ravni, ki povzročijo posledice na najvišji ravni (končnem proizvodu), imajo visoko oceno resnosti (S) in na kupca najbolj vplivajo. Iz tega razloga se v ozadju uporablja kombinacija $D \times O$.

Za primer: Pri tveganju z visoko S in visoko pojavitvijo O je lahko zaznavanje napake izredno dobro, pa je kljub temu to zaznavanje brezpredmetno, ker se je napaka vseeno pojavila. Velja pa tudi obratno – v kolikor je pojavitev nizka, zaznavanje pa slabo, se bo zaradi produkta teh dveh napaka pri kupcu vseeno pojavila. Z maticami tveganja si nato predstavimo rezultat analize, ki ga uporabimo kot vhodni element za razvrščane prioritete ukrepov.

| DOMEL® | | Action Priority Editor | | | | | | | |
|---|-----------------------------------|--|--------------------------------------|---------------|-------------------|--------|----|------|--|
| | | \jad.domet.com\user\sa\ladajah\Desktop\FRMEA rotor SIA\FRMEA Rotor Assembly24062022fme.fme | | 2 AP Catalogs | | | | | |
| Catalog | Effect | S | Prediction of Failure Cause Occuring | O | Ability to Detect | D | AP | Note | |
| + Catalog: AIAG/VDA Design/Process (2019) [is default catalog for: Design, Process] (5 items) | | | | | | | | | |
| AIAG/VDA Design/Process (2019) | Product or Plant Effect Very High | 9 - 10 | Very high | 8 - 10 | Low - Very low | 7 - 10 | H | | |
| | | | | | Moderate | 5 - 6 | H | | |
| | | | | | High | 2 - 4 | H | | |
| | | | | | Very high | 1 - 1 | H | | |
| | | | High | 6 - 7 | Low - Very low | 7 - 10 | H | | |
| | | | | | Moderate | 5 - 6 | H | | |
| | | | | | High | 2 - 4 | H | | |
| | | | | | Very high | 1 - 1 | H | | |
| | | | Moderate | 4 - 5 | Low - Very low | 7 - 10 | H | | |
| | | | | | Moderate | 5 - 6 | H | | |
| | | | | | High | 2 - 4 | H | | |
| | | | | | Very high | 1 - 1 | M | | |
| | | | Low | 2 - 3 | Low - Very low | 7 - 10 | H | | |
| | | | | | Moderate | 5 - 6 | M | | |
| | | | | | High | 2 - 4 | L | | |
| | | | | | Very high | 1 - 1 | L | | |
| Very low | 1 - 1 | Very high - Very low | 1 - 10 | L | | | | | |
| AIAG/VDA Design/Process (2019) | Product or Plant Effect High | 7 - 8 | Very high | 8 - 10 | Low - Very low | 7 - 10 | H | | |
| | | | | | Moderate | 5 - 6 | H | | |
| | | | | | High | 2 - 4 | H | | |
| | | | | | Very high | 1 - 1 | H | | |
| | | | High | 6 - 7 | Low - Very low | 7 - 10 | H | | |
| | | | | | Moderate | 5 - 6 | H | | |
| | | | | | High | 2 - 4 | H | | |
| | | | | | Very high | 1 - 1 | M | | |
| | | | Moderate | 4 - 5 | Low - Very low | 7 - 10 | H | | |
| | | | | | Moderate | 5 - 6 | M | | |
| | | | | | High | 2 - 4 | M | | |
| | | | | | Very high | 1 - 1 | M | | |
| | | | Low | 2 - 3 | Low - Very low | 7 - 10 | M | | |
| | | | | | Moderate | 5 - 6 | M | | |
| | | | | | High | 2 - 4 | L | | |
| | | | | | Very high | 1 - 1 | L | | |
| Very low | 1 - 1 | Very high - Very low | 1 - 10 | L | | | | | |
| AIAG/VDA Design/Process (2019) | Product or Plant Effect Moderate | 4 - 6 | Very high | 8 - 10 | Low - Very low | 7 - 10 | H | | |
| | | | | | Moderate | 5 - 6 | H | | |
| | | | | | High | 2 - 4 | M | | |
| | | | | | Very high | 1 - 1 | M | | |
| | | | High | 6 - 7 | Low - Very low | 7 - 10 | M | | |
| | | | | | Moderate | 5 - 6 | M | | |
| | | | | | High | 2 - 4 | M | | |
| | | | | | Very high | 1 - 1 | L | | |
| | | | Moderate | 4 - 5 | Low - Very low | 7 - 10 | M | | |
| | | | | | Moderate | 5 - 6 | L | | |
| | | | | | High | 2 - 4 | L | | |
| | | | | | Very high | 1 - 1 | L | | |
| | | | Low | 2 - 3 | Low - Very low | 7 - 10 | L | | |
| | | | | | Moderate | 5 - 6 | L | | |
| | | | | | High | 2 - 4 | L | | |
| | | | | | Very high | 1 - 1 | L | | |
| Very low | 1 - 1 | Very high - Very low | 1 - 10 | L | | | | | |
| AIAG/VDA Design/Process (2019) | Product or Plant Effect Low | 2 - 3 | Very high | 8 - 10 | Low - Very low | 7 - 10 | M | | |
| | | | | | Moderate | 5 - 6 | M | | |
| | | | | | High | 2 - 4 | L | | |
| | | | | | Very high | 1 - 1 | L | | |
| | | | High | 6 - 7 | Low - Very low | 7 - 10 | L | | |
| | | | | | Moderate | 5 - 6 | L | | |
| | | | | | High | 2 - 4 | L | | |
| | | | | | Very high | 1 - 1 | L | | |
| | | | Moderate | 4 - 5 | Low - Very low | 7 - 10 | L | | |
| | | | | | Moderate | 5 - 6 | L | | |
| | | | | | High | 2 - 4 | L | | |
| | | | | | Very high | 1 - 1 | L | | |
| | | | Low | 2 - 3 | Low - Very low | 7 - 10 | L | | |
| | | | | | Moderate | 5 - 6 | L | | |
| | | | | | High | 2 - 4 | L | | |
| | | | | | Very high | 1 - 1 | L | | |
| Very low | 1 - 1 | Very high - Very low | 1 - 10 | L | | | | | |
| + Catalog: AIAG/VDA MSR (2019) [is default catalog for: AIAG/VDA MSR (2019)] (6 items) | | | | | | | | | |

Slika 28: Ocenjevalna matrika (Domel d.o.o, 2020)

| ANALYSIS (STEP 4) | | | RISK ANALYSIS (STEP 5) | |
|---|---|---|------------------------|---|
| 2. Failure Mode (FM) of the Focus Element | 3. Failure Cause (FC) of the Work Element | Current Prevention Control (PC) of FC | O | Current Detection Controls (DC) of FC or FM |
| (1) Customer not able to contact | (1) Phase wires not correctly processed | | | |
| | (1) Load stator to wrong position | (42) [20. 03. 2018 (completed) • Bajželj, Primož] Software design | 2 | (12) [20. 03. 2018 (completed) • Bajželj, Primož] Sensor |
| | (1) Damage stator at loading on index table | (42) [20. 03. 2018 (completed) • Bajželj, Primož] Software design | 2 | (12) [20. 03. 2018 (completed) • Bajželj, Primož] Sensor |
| | (1) Wire not correctly straightened (IT1) | (42) [20. 03. 2018 (completed) • Bajželj, Primož] Software design | 2 | (12) [20. 03. 2018 (completed) • Bajželj, Primož] Sensor |
| | (1) Wire damaged at straightening (IT1) | (64) [20. 03. 2018 (completed) • Bajželj, Primož] Machine design | 2 | (15) [20. 03. 2018 (completed) • Bajželj, Primož] Salt bath test |
| | | (42) [20. 03. 2018 (completed) • Bajželj, Primož] Software design | | |
| | | (12) [20. 03. 2018 (completed) • Bajželj, Primož] Preventive maintenance | | |
| | (1) Wire not correctly cut (IT1) | (42) [20. 03. 2018 (completed) • Bajželj, Primož] Software design | 2 | (16) [20. 03. 2018 (completed) • Bajželj, Primož] AOI |
| | (1) Wire damaged at cutting (IT1) | (64) [20. 03. 2018 (completed) • Bajželj, Primož] Machine design | 2 | (15) [20. 03. 2018 (completed) • Bajželj, Primož] Salt bath test |
| | | (42) [20. 03. 2018 (completed) • Bajželj, Primož] Software design | | |
| (12) [20. 03. 2018 (completed) • Bajželj, Primož] Preventive maintenance | | | | |

Slika 29: Tabela analize tveganja (Domel d.o.o., 2022)

V odseku iz tabele, ki jo izdelava programska oprema, je prikazan del rezultata analize FMEA, ki prikazuje načine in vzroke napak ter način zaznavanja in preventivnega preprečevanja s poudarkom na oceni pojavnosti napake. Rdeče obarvane so možne napake, ki smo jih predvideli, modre pa predvidene rešitve za preventivo in kontrolo.

8 KORAK – OPTIMIZACIJA

V koraku optimizacije skušamo doseči njen glavni cilj, to je izboljšanje procesa, in sicer tako, da razvijemo dejanja, ki bodo zmanjšala tveganje za pojav napak. Ekipno pregledamo rezultate analize ter določimo ukrepe, ki bodo odpravili ali vsaj zmanjšali vzroke za napako. Določimo tudi ukrepe, s katerimi bomo povečali možnost zaznave potencialnih napak.

V kolikor ukrepi niso pomembni, to zapišemo pod opombe.

Standardi VDA/AIAG sicer priporočajo optimizacijo po naslednjem vrstnem redu, ki se je izkazal za najbolj učinkovitega:

- »modifikacija postopka za odpravo teže napake,
 - modifikacija postopka pojavnosti napake,
 - povečanje zaznavnosti za vzrok in vrsto napake,
 - ponovno vrednotenje prizadetih korakov v primeru modifikacije procesa«.
- Analiza FMEA je popolna šele takrat, ko se za vsak element zapišejo stopnja tveganja ter pripadajoči ukrepi (AIAG & VDA, 2019)

9 KORAK – DOKUMENTIRANJE REZULTATOV

V tem koraku povzamemo obseg in rezultate analize FMEA, jih dokumentiramo in analiziramo ter pripravimo dokumentacijo o izvedenih dejanjih, učinkovitosti ukrepov ter vključimo oceno tveganja po izvedenih ukrepih. Zapišemo še vse ukrepe za zmanjšanje tveganja ter evidenco analize tveganja.

Vse to strnemo v poročilo, ki se lahko uporablja za komunikacijske namene znotraj podjetja ali med podjetji kot povzetek za delovno skupino FMEA ali druge, ki bi povzetek potrebovali, ni pa namenjeno podrobno, ko bi zanimale vodstvo podjetja ali kupca.

10 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi je zaradi obsega prikazan le del analize FMEA, ki pa vseeno prikaže celoten postopek, princip ter svoje osnovne korake in glavne značilnosti od začetka do konca izdelave.

S tako obsežno analizo FMEA se v preteklosti še nisem srečal. Čeprav je sama zasnova analize zastavljena relativno preprosto, je za uspeh potrebno veliko raznovrstnega znanja, izkušenj in različnih pogledov, ki jih mora imeti dobro usklajena delovna skupina.

Pri tem je treba upoštevati vse zahteve kupcev ter njihove standarde in usmeritve, v čemer vidim v postopku analize FMEA po združenih zahtevah veliko prednost. Prednost je med drugim tudi v sodobni izvedbi metode s pomočjo namenske programske opreme, ki nas na neki način pelje skozi postopek in nam olajša delo, saj med drugim iz vnesenih podatkov izdela tudi končno tabelo s prioritetskimi izračuni. Posledično se možnost napak tako še zmanjša.

Predvidevali smo, da opravljena analiza FMEA po združenih zahtevah pripomore k preprostejši in hitrejši izvedbi z manj nespornostmi ter posledično z manj napakami, ki bi povzročile reklamacijo.

Reklamacije pri konkretnem primeru statorja 738 sicer ni bilo. Analiza za ta primer pa se je izvajala zgolj po metodi združenih standardov, zato konkretne primerjave med eno in drugo za isti primer ne morem narediti.

Za reklamacije in možne napake v sami analizi FMEA in procesu je mogočih mnogo dejavnikov, ne pa tudi zgolj metoda kot taka.

Procesi se stalno spreminjajo, naročila so vse številčnejša, prav tako pa se menjajo kupci in dobavitelji, zato se uspehov pri odpravljanju napak pred uvedbo metode FMEA po združenih VDA/AIAG standardih in po njej ni spremljalo.

Osebnostno se mi glede na leta raziskav in sodelovanja mnogih proizvajalcev, ki so bili vključeni v projekt priprave zahtev skupnih standardov, trenutno ne zdi potrebno izvajati primerjave med uspehom in reklamacijami pred uvedbo metode in po njej.

Po drugi strani pa vemo, da se svet nenehno razvija, zato so potrebne tudi stalne izboljšave. Sam osebno se v kakovost oz. razvoj kakovosti šele vključujem, sem pa bil kot orodjar in avtosevirsni tehnik že leta dokaj tesno povezan in seznanjen z avtomobilsko industrijo, zato si upam trditi, da je ne glede na vse še vedno mogoče, da se kljub vloženemu znanju in izkušnjam sodelujočih sistem še izboljša.

S tega vidika bi bilo v prihodnosti smiselno zbrati in izluščiti pretekle podatke ter analizirati uspeh pred uvedbo sistema analize FMEA po združenih zahtevah VDA/AIAG in po njem.

11 LITERATURA IN VIRI

AIAG & VDA. (2019). *AIAG & VDA FMEA Handbook*. Michigan: AIAG.

AIAG. (2008). *FMEA Reference Manual, 4th Edition*. Southfield: AIAG.

Domel d.o.o. (2020). *Ocenjevalna matrika; FMEA seminar*. Železniki.

Domel d.o.o. (2018). *Dokumenti FMEA analiza*. Železniki.

Domel d.o.o. (2022). *Dokumentacija FMEA motorja 731*. Železniki.

Domel d.o.o. (2022). *Dokumentacija FMEA statorja 738*. Železniki.

Domel d.o.o. (2022). *Interni arhiv slik*. Železniki.

Elsmar. (1. 7 2022). *Elsmar*. Pridobljeno iz <https://elsmar.com/elsmarqualityforum/>

Marolt, J., in Gomišček, B. (2005). *Management kakovosti*. Maribor: Založba Moderna organizacija.

Twi. (1. 7 2022). *Twi - global*. Pridobljeno s Twi – global. What is failure mode and effect analysis (FMEA)? (2022<https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-failure-mode-and-effects-analysis-fmea#FMEAProcedure>)

VDA . (2009). *Verband der Automobilindustrie e.V., VDA Volume 4*. Frankfurt/Main: VDA.