

PRÍPRAVA DFMEA V PROCESE VÝVOJA AUTOMOBILOVÝCH SEDADIEL

Ing. Štefan Babjak, PhD.

Technická univerzita v Košiciach
Inovačné centrum automobilovej výroby
E – mail: stefan.babjak @tuke.sk

Ing. Roman Barilla

Johnson Controls Trenčín, s.r.o.
E – mail: roman.barilla@jci.com

ABSTRAKT

Predkladaný príspevok popisuje prípravu analýzy FMEA (failure mode and effect analysis – analýza chýb a ich dôsledkov). Príspevok sa zameriava na DFMEA (dizajnová FMEA) ako jedného z nástrojov štíhleho dizajnu, ktorý umožňuje predchádzať možným chybám už v raných fázach návrhu produktu a predstavuje požiadavky a trendy v oblasti vývoja automobilových sedadiel.

ABSTRACT

Submitted article deals with the preparation phase of FMEA (failure mode and effect analysis). It is oriented on the DFMEA (Design potential FMEA) as a tool of lean design that enables to avoid the possible mistakes already in the early phases of product design and it introduces the requirements, demands and development trends in the field of automotive seats.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Navrhovanie výrobkov, FMEA, štíhly dizajn, inovácie, systémy automobilu

KEYWORDS

Product design, FMEA, lean design, innovation, automobile systems

ÚVOD

V súčasnom období, ktoré je dlhodobou poznamenané trendom skracovania inovačných cyklov a najmä v oblasti automobilovej výroby, ktorá je napriek dopadom finančnej krízy stále vedúcim odvetvím v tempe implementácii inovácií v praxi, predstavuje zvládnutie štíhleho prístupu (lean approach, t.j. odbúravanie činností, ktoré nepridávajú žiadnu hodnotu pre zákazníka), významnú konkurenčnú výhodu. FMEA, ako analytický nástroj, ktorý slúži na odhaľovanie potenciálnych problémov, ich príčin a následkov, má za úlohu determinovať mieru významnosti jednotlivých rizík a opatrenia na elimináciu vzniku problémov. Celý tento proces má za úlohu zaistiť, aby nový výrobok spĺňal všetky požiadavky, ktoré sú naň kladené a vyhnúť sa potrebe dodatočného riešenia problémov a zmien návrhu, čo predstavuje

v neskorších fázach prípravy výroby obrovskú úsporu nákladov. Korekcia chýb návrhu výrobku totiž býva rádovo desať až stonásobne nákladnejšia ako vo fáze navrhovania výrobku, po spustení výroby dokonca tieto náklady môžu rásť rádovo tisícásobne.

DESIGN POTENTIAL FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (DFMEA)

Z hľadiska analyzovaného objektu skúmania je možné špecifikovať nasledovné typy FMEA:

- Dizajnová, konštrukčná (DFMEA): analýza výrobku pred zahájením výroby.
- Procesová (PFMEA): analýza výrobných a montážnych procesov.
- Konceptná : analýza systémov či subsystémov pri príprave konceptu a v raných fázach návrhu.
- Analýza vybavenia: analýza strojných zariadení, vybavenia, príslušenstva a návrhu nástrojov predchádzajúca nákupu zariadení.
- Analýza servisu a služieb: analýza podporných služieb a servisných priemyselných procesov pred spustením ich poskytovania zákazníkom.
- Systémová: globálna analýza funkcií systému.
- Softvérová: analýza funkcií softvéru.

DFMEA predstavuje v procese vývoja výrobku analytickú techniku, ktorú primárne využíva konštruktér, resp. tím zodpovedný za vývoj a slúži na to, aby možné chyby návrhu a ich následky bolo možné presne určiť a zvážiť nápravné opatrenia. Preto je nevyhnutné vyhodnotiť každý prvok, súčiastku, a to v kontexte celého systému, montážnej skupiny, ako i komponentu. Vo svojej podstate tak DFMEA predstavuje akúsi sumarizáciu úvah pracovného tímu (vrátane poznatkov získaných z predošlých skúseností) v priebehu procesu vývoja komponentu, subsystému a celého systému. Takýto systematický prístup paralelizuje, formalizuje a dokumentuje myšlienkové procesy, ktorými za normálnych okolností prechádza každý konštruktér v procese vývoja výrobku.

Z uvedeného vyplýva, že akákoľvek FMEA je tímovou záležitosťou, na ktorej sa musia podieľať aktívne zástupcovia rôznych oddelení resp. pracovných tímov, ktoré istým spôsobom prichádzajú s daným výrobkom do kontaktu. Toto spektrum odborníkov by nutne, nie však výhradne malo zahŕňať oblasti montáže, výroby, dizajnu, analýz/testovania, spoľahlivosti, materiálov, kvality, servisu a dodávateľov, ako i bezprostredne nadradeného systému a podriadených systémov a komponentov.

PROCEDÚRA FMEA

Procedúra FMEA prechádza nasledovnými fázami:

1. Zadanie úlohy a vytvorenie tímu.
2. Vypracovanie tzv. diagramu ohraničení (boundary diagram).
3. Vypracovanie matice rozhraní.
4. P – diagram.
5. Vlastná FMEA:
 - o analýza možných chýb,
 - o analýza súčasného stavu,
 - o návrh a zavedenie nápravných opatrení,
 - o analýza nového stavu.

Či už je FMEA vykonávaná klasickým spôsobom, alebo s podporou softvéru, jej výstupom je tabuľka FMEA, ktorej štruktúra sa síce môže v rámci jednotlivých podnikov v detailoch líšiť, avšak základná štruktúra je nasledovná (obr.1):

[illegible]

Obr. 1 Formulár FMEA [1]

Hlavička obsahuje údaje pre identifikáciu analyzovaného systému, verzie FMEA a participujúcich osôb, vrátane ich právomocí a zodpovednosti, ako napr. názov výrobku a jeho vnútropodnikové označenie, zoznam členov FMEA tímu, zodpovedného riešiteľa, zapisovateľa, dátumu vypracovania, revízie a schválenia a pod.

Telo tabuľky obsahuje nasledovné údaje [1]:

- Prvok / funkcia.
- Potenciálna chyba (potential failure mode).
- Potenciálny efekt.
- Významnosť chyby (severity S).
- Klasifikácia špeciálnej charakteristiky chyby.
- Príčina chyby.
- Pravdepodobnosť výskytu chyby (occurrence O).
- Opatrenia pre prevenciu / odhaľovanie chýb.
- Spôsoby (metódy) kontroly preventívnych / detekčných opatrení.
- Pravdepodobnosť odhalenia chyby (detection D):
 - Číslo priority rizika $RPN = S \times O \times D$
 - Odporúčané opatrenia
 - Zodpovednosť za opatrenia
 - Prijaté opatrenia
- Výsledky opatrení (upravené S, O, D a RPN)

PRÍPRAVA DFMEA

Diagram ohraničení

Diagram ohraničení predstavuje grafické vyjadrenie vzťahov medzi jednotlivými komponentmi skúmaného systému, t.j. výrobku, ako i súvisiacich prvkov, ktoré síce nie sú súčasťou samotného výrobku, ale tvoria bezprostredné okolie a medzi nimi a výrobkom existujú určité vzťahy, ktoré je potrebné vziať do úvahy (napr. konzola na karosérii, na ktorú sa upevní sedadlo, ukotvenie bezpečnostného pásu na B stĺpiku a pod.). Tieto prvky sú v diagrame zobrazené vo forme blokov, s vyznačenou hranicou medzi komponentmi výrobku a komponentmi okolia. Vzťahy medzi nimi vyjadrujú spojnice so šípkami, ktoré vyjadrujú smer interakcie, t.j., či je interakcia jednosmerná, alebo obojstranná. Je výhodné jednotlivé väzby odlišiť, napr. farebne alebo štýlom čiary podľa toho, o akú interakciu (fyzickú, energetickú, informačnú, atď.) ide. To umožní dokonale pochopiť väzby a vzťahy a dekomponovať výrobok na potrebnú úroveň detailu. U zložitejších systémov, ako sú napr. automobilové sedadlá, je nutné vytvoriť niekoľko diagramov ohraničení na rôznych úrovniach detailnosti.

Matica rozhraní

Matica rozhraní (obr.2) vyjadruje interakcie medzi jednotlivými prvkami systému a umožňuje ich kvalitatívne a kvantitatívne identifikovať a definovať príčiny vzniku chýb v tabuľke FMEA.

	Grill Opening Panel	Hood	Headlamp Housing	Headlamp	Screws/fasteners	Wiring/electrical system	Connector	Body
Grill Opening Panel		-1 -2	-1 -1	2 -2				
Hood	-1 -2		-1 -1	1 2				
Headlamp Housing	-1 -1	-1 -1		2				
Headlamp	2 -2	-1 -1	2					
Screws/fasteners								
Wiring/electrical system								
Connector								
Body								

Obr. 2 Matica rozhraní [2]

Každá bunka v matici je rozdelená do kvadrantov, určených pre špecifikáciu interakcie: fyzický kontakt, transfer energie, výmena informácií, materiálová výmena; číslo v príslušnom kvadrante vyjadruje jej povahu:

- +2: interakcia je nevyhnutná pre funkciu,
- +1: interakcia je prínosom, avšak nie je nevyhnutná pre správnu funkciu,
- 0: interakcia nemá vplyv na funkčnosť.

- -1: negatívny efekt interakcie, nebráni funkčnosti,
- -2: interakcii musí byť zabránené pre dosiahnutie správnej funkcie.

P – diagram

P – diagram predstavuje štruktúrovaný nástroj pre identifikáciu určených **vstupov** a **výstupov** (ideálnej funkcie) skúmaného subjektu. Tieto musia byť presne definované merateľnými spôsobmi. Pokiaľ sú tieto špecifikované, je možné určiť **chybové stavy** (t.j. neželané funkcie). Následne sa stanovujú **poruchové faktory**, ktoré vedú k vzniku chybových stavov. Na záver sa určujú **kontrolné faktory** a prostriedky pre kompenzáciu identifikovaných poruchových faktorov.

SUBSYSTÉMY, KOMPONENTY A FUNKCIE AUTOMOBILOVÝCH SEDADIEL

Sedadlo vo vozidle predstavuje komplexný systém, ktorý zahŕňa predovšetkým pohodlné sedenie a bezpečnosť. Z uvedeného vyplývajú hlavné funkcie sedadla vo vozidle:

- **Podopretie tela** vodiča / spolujazdcov: držanie tela je ZÁKLADNOU FUNKCIOU
- **Poloha** vodiča: dôležitá pre bezpečnosť vozidla (dostupnosť obslužných prvkov)
- **Pohodlné sedenie** pre vodiča / spolujazdcov: zameranie spočíva na dlhodobom pohodlí
- **Ochrana** vodiča / spolujazdcov: zabráňovanie neželaným pohybom

Význam polohy vodiča a pohodlia pri sedení pre bezpečnosť spočíva v dostupnosti všetkých obslužných prvkov a v sedení odolnom voči únave.

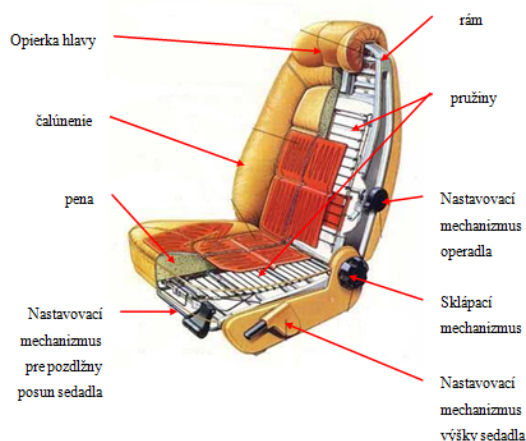
K tomu sa v rozhodujúcej miere pridružuje ochrana vodiča/spolujazdca v prípade nehody. V balíku celkovej bezpečnosti vozidla musí sedadlo chrániť ľudí pred zraneniami a cielene odbúravať energiu, aby sa pre neho znížili záťaže (negatívne zrýchlenie). Pri tomto je obzvlášť dôležitý súlad všetkých pasívnych bezpečnostných prvkov medzi sebou. Rozlišujú sa nasledovné hlavné znaky:

- **Tuhosť stavby:** absorpcia energie za účelom zníženia zaťaženia tela.
- **Zabránenie podklznutiu:** bezpečné zadržanie v pásovom systéme.
- **Rozpoznávanie osôb:** cielené ovládanie airbagov.
- **Integrácia detského sedadla:** užívateľsky priateľská integrácia do bezpečnosti vozidla (ISOFIX / Top Tether).
- **Hlavová opierka:** zníženie rizika poranenia krčnej chrbtice hyperextenziou (Neck Insurance Criteria).

- **Zadržiavacie systémy:** pásový uzáver, pásový systém, bočný airbag proti neželaným pohybom.
- **Tuhosť dielcov:** zabrániť pretrhnutiu / zlomeniu a uvoľneniu blokovaniu, aby sa poskytlo bezpečné zadržanie tela.

Z hľadiska potrieb FMEA je v automobilovom sedadle možné identifikovať nasledovné základné subsystémy (obr. 3):

- rám sedadla,
- pružiny,
- pena,
- sklápací mechanizmus operadla,
- nastavovací pozdĺžny a výškový mechanizmus sedadla,
- čalúnenie,
- opierka hlavy,
- opierka ruky.



Obr. 3: Prierez sedadlom [3]

Automobilové sedadlá ako celok, aj ich jednotlivé komponenty musia spĺňať funkcie, ktoré je možné rozdeliť do nasledovných skupín:

- **Legislatívne:** zhoda s predpísanými normami pre homologizáciu v tej – ktorej krajine, napr. ECE 14, ECE 17, ECE 21.
- **Bezpečnosť:** bezpečná a bezporuchová prevádzka, ktorá nie je špecifikovaná legislatívnymi normami (napr. počet a funkcia airbagov, nastavenie sedadla bez rizika poškodenia ovládacích prvkov a následného zranenia, atď.).
- **Komfort:** základné a doplnkové funkcie, zaručujúce, resp. zvyšujúce pohodlie (napr. materiál bez nepríjemného zápachu, vyhovujúca tvrdosť penových častí, správne vyhrievanie a vetranie sedadiel, atď.).
- **Montáž a vyrobiteľnosť** – jednoduchá zmontovateľnosť jednotlivých komponentov pri výrobe.
- **Ergonómia** – dostupnosť a jednoduchosť použitia ovládacích prvkov

- **Odolnosť a trvanlivosť** – zaručená predpísaná životnosť.
- **Haptické a optické funkcie:** povrch a štruktúra príjemné pri kontakte s telom, zachovanie požadovaného vzhľadu, a pod.

Pri plnení hlavných funkcií sa v zásade rozlišuje medzi nasledovnými typmi sedadiel:

- sedadlo vodiča,
- lavica zadného sedadla,
- jednotlivé zadné sedadlá,
- sedadlá s integrovanými pásmi,
- športové sedadlá.
- detské sedadlá.

TRENDY VÝVOJA AUTOMOBILOVÝCH SEDADIEL

V budúcnosti sa okrem čisto mechanických prvkov bude stále viac využívať podpora elektrických a elektronických systémov. V jednotlivých prípadoch budú mať pneumatické riešenia stále svoje opodstatnenie. Príklady použitia sú:

- elektrické nastavenie sedadla / bez funkcie Memory,
- vnímanie hmotnosti a polohy
- vnímanie rozloženia sedacieho tlaku,
- elektromechanické blokovanie sedadla,
- rozpoznanie detského sedadla.

V budúcnosti sa dosiahnu veľké pokroky v oblasti integrácie vozidla napr. prostredníctvom cieľeného riadenia airbagu, polohovania sedadla pred nárazom, variability v spojení s hrubou stavbou. Týmto sa trvalo usiluje o čo najlepší kompromis medzi hmotnosťou a nákladmi, napr. pre konštrukciu stavby sedadla sa jasne ukazuje na použitie vysokopevných konštrukcií z oceleového plechu.

V oblasti pohodlia pri sedení platí v budúcnosti zjednodušenie množstva možností nastavenia, aby sa zabránilo chybnej obsluhu. Toto sa v podstate deje prostredníctvom automatických nastavení alebo funkcií Memory. V nízkocenovom sektore sa musia vyvíjať málo nákladne riešenia, ako napr. dvojité penové vrstvy na optimalizáciu tlmenia sedacieho tlaku. Globálne trhy si vyžadujú zohľadnenie rozličných antropometrických hľadísk.

Hlavné témy budúcnosti pri bezpečnostných stránkach sú tzv. inteligentné zadržiavacie systémy. Všetky systémy majú za cieľ chrániť v prípade nehody jednotlivco čo najväčšie možné spektrum osôb. Deje sa to v závislosti od druhu nehody a osoby ako aj jej polohy vo vozidle.

Ťažiskové body vývoja tu ležia pri rozličných snímačoch, airbagoch, absorpcii energie, aktívnych hlavových opierkach, aktívnom zabránení podklznutia.

ZÁVER

Požiadavky na vývojových inžinierov sa so stále zložitejšími systémami zvyšujú. Treba ovládať a integrovať rozličné odborné oblasti (napr. mechanika, elektronika, technika plastov, antropológia, kinematika, technika tvárnenia). Pritom inžinier pre úplné sedadlo musí mať nielen široké odborné vedomosti, ale priniesť so sebou aj vysokú sociálnu kompetenciu, aby mohol viesť väčšie vývojové tímy s nasmerovaním na cieľ.

Hlavnou úlohou FMEA je urýchliť a zdokonaľiť inovačný proces odhaľovaním a elimináciou rizík vzniku chýb. To predpokladá jednak určitú mieru skúseností z predchádzajúcich projektov a jednak vhodné zloženie FMEA tímu z expertov v rôznych oblastiach. Kvalitne spracovaná FMEA totiž musí pokrývať všetky aspekty skúmaného systému čo možno najpodrobnejšie a do čoho možno najväčšej hĺbky. To vyžaduje dokonalú organizáciu tímovej práce tak, aby okrem analýzy v presne vymedzených oblastiach špecializácie členov tímu boli analyzované aj oblasti, kde sa kompetencie jednotlivých členov tímu prekrývajú, čím sa dosiahne synergia a teda aj vyššia kvalita analýzy a inovačného procesu ako takého. FMEA sa tak stáva súčasťou systému kontroly kvality ako nástroj pre testovanie integrity inovácie.

LITERATÚRA

- [1] SAE Recommended Practice J1739
- [2] FMEA Handbook Concept and Design. Ford Motor Company, 2000
- [3] Interná dokumentácia Johnson Controls Trenčín, s.r.o.

Článok bol vypracovaný v rámci riešenia grantovej úlohy KEGA 3/6342/08 – Inovatívne vzdelávacie materiály pre bakalársky študijný program Automobilová výroba