

BLOK 2 INŽINIERSKE DISCIPLÍNY – Modul 2.6 Bezpečné konštruovanie strojov

Cieľom tohoto bloku je načrtnúť problémy a prístupy používané v procese konštruovania bezpečných technických systémov

2.6.0 KONŠTRUOVANIE BEZPEČNÝCH TECHNICKÝCH SYSTÉMOV

Vývoj konštrukčnej činnosti prešiel rôznymi vývojovými stupňami. V minulosti sa informácie technického charakteru, používané v procese konštruovania, predávali skúsenosťami. Jednotlivé návrhy boli tvorené v rámci kreativity konštrukčných kancelárií.

V súčasnosti sa pristupuje ku konštruovaniu systémovým prístupom. V procese konštruovania sa uplatňuje viacstupňová koncepcia návrhu technického systému, na ktorej sa podieľajú viacerí konštruktéri s rôznym zameraním. Súčasťou tohoto konceptu sú aj bezpečnostní inžinieri, ktorých úlohou je v súlade s existujúcim poznaním a legislatívou dosiahnuť vopred definované parametre projektovaného systému.

Používanie metodického konštruovania nie je samo o sebe novým, v mnohých konštrukčných kanceláriách sa používa. **Novým je však obsah činností jednotlivých zložiek účastných v procese konštruovania.**

Bezpečné konštruovanie v ponímaní týchto myšlienok je predovšetkým systematická a metodická práca. Používa mnohé štandardné postupy v procese tvorby výsledného produktu pričom sa zohľadňujú jednotlivé dielčie ciele, ako aj výsledný cieľ. Doposiaľ existujúce prístupy sa uplatňovali len parciálne. V procese konštruovania sa uvažovalo s výberom vhodného materiálu, spôsobom montáže, procesom údržby, atď. V žiadnom z nich sa neuvažovalo o spôsobe recyklácie, problémoch spojených s environmentalistikou v dnešnom ponímaní, resp. inými.

Bezpečnostné konštruovanie v ponímaní konštruovania systémov znamená nie len návrh a dimenzovanie strojných zariadení, ale tvorbu uceleného systému plniaceho definované ciele.

Minimalizácia ohrozenia v procese bezpečného konštruovania je možná aj inými vplyvmi ako konštrukčnými opatreniami. Riadenie a regulácia parametrov strojného zariadenia v súčasnosti musí spĺňať minimálne legislatívne požiadavky (napr. STN EN 292.1,2, resp. iné podľa druhu strojného zariadenia). Konštruovanie bezpečných systémov má svoje špecifické požiadavky, ktoré sú mnohokrát odlišné od ostatných kladených požiadaviek na výrobok.

Úlohou inžinierov, ktorí sa zaoberajú bezpečnosťou strojného zariadenia je minimalizácia ohrození vznikajúcich počas celej životnosti strojného zariadenia.

Integrácia v oblasti technických vied vytvára nové predpoklady v spôsobe myslenia a tým aj v prístupe ku konštruovaniu. Súčasná technická zariadenia v sebe koncentrujú rôzne druhy energie (mechanická,

chemická. atď.). V týchto systémoch sú prvky s vysokou kinetickou energiou, rýchlosťami, ktoré sú špecifické a vytvárajú ohrozenia.

V súčasnosti sa presúva mnoho riadiacich (povelových), funkcií z človeka na procesory (procesné riadenia). Uvedomiac si tento fakt je možné tvrdiť, že charakteristické mechanické ohrozenia sú dnes dopĺňané elektronickými. V blízkej budúcnosti je možné očakávať posun do oblasti génového inžinierstva t.z., nastane posun do oblasti biologických ohrození v širšom zábere ako v súčasnosti. Tieto nové ohrozenia musia byť minimalizované novými riešeniami.

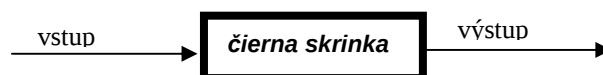
Bezpečnostné konštruovanie si v tejto súvislosti kladie za cieľ tvorbu bezpečného systému (na danom stupni poznania vedy a techniky). Samozrejmosťou v tomto vývoji ostanú ošetrovania v rámci poznatých štruktúr a ich charakteristických ohrození.

Bezpečnostné konštruovanie je metodický prístup zohľadňujúci požiadavky bezpečnosti v celom systéme človek – stroj - environment.

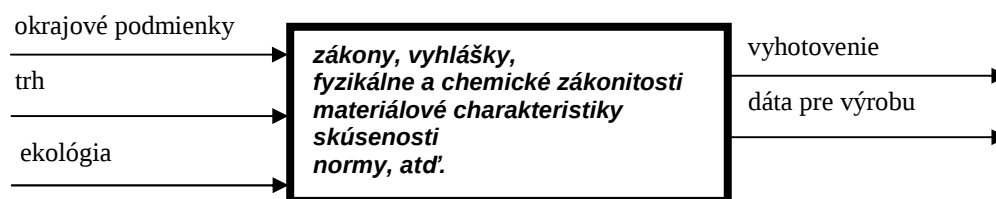
Bezpečnostné konštruovanie využíva multidisciplinárne poznatky, nakoľko v existujúcom systéme človek – stroj – prostredie pôsobí mnohokrát množstvo faktorov. Doposiaľ bolo zvykom u inžinierov technického zamerania riešiť len rozhranie človek - stroj.

V 70-tych rokoch boli vytvorené prvé systémové modely v oblasti bezpečného konštruovania. Charakteristickým bol model **čiernej skrinky**, obr.2, čo v systémovom prístupe znamená sledovať zmeny na definované vstupy.

Nasledujúci prístup bolo **systémové analyzovanie štruktúr**, obr.3.



Obr. 2, model čiernej skrinky



Obr. 3, model čiernej skrinky

Ako je z obr.2 zrejme, proces bezpečnostného konštruovania sa nedotýka len úzkej oblasti konštruovania. V procese pôsobí viacero konštruktérov snažiacich sa o splnenie definovaných cieľov. Riešenie niektorých detailných cieľov v tomto ponímaní je nutné ponechať na špecialistov z konkrétnej oblasti.

Od jednoduchých modelov zobrazených na obr.2, obr.3 sa prešlo k systémovému konštruovaniu. Na obr.4 je znázornený systémový prístup s definovaním jednotlivých čiastkových cieľov. V jednotlivých štruktúrach, ktoré plnia rozdielne úlohy je potrebné zohľadniť bezpečnostné požiadavky.

V súčasnom ponímaní dimenzovania v procese konštruovania mechanických štruktúr nie je možné vystačiť s **koeficientami bezpečnosti**, ale je nutné analyzovať a kvantifikovať vplyvy, ktoré tvoria ohrozenia.

K tomuto sú potrebné špecifické postupy (identifikovanie príčinných závislostí, porúch) v sledovaných systémoch. V prípade vývoja konštrukčných prvkov je nutné uplatniť iné postupy pomocou ktorých je možné minimalizovať ohrozenia.

Jednotlivé koncepty, ktoré vplyvajú na proces bezpečnostného konštruovania s jednotlivými faktormi sú :

Technická špecifikácia (technický koncept)

- postupy
- zhotovenie

- materiál
- spracovanie
- dimenzovanie
- systémový koncept

Bezpečnostná špecifikácia (bezpečnostný koncept)

- **hardwer** elementy, zhotovenie, transport, riadiaca a regulačná technika
- **softwer** meranie, riadenie, monitorovanie
- **postupy** spracovania materiálu, energia
- **personál** ergonómia, pracovisko, školenia, tréning
- **prostredie** emisie, imisie, odpady, ekológia
- **legislatíva** zákony, vyhlášky, smernice, nariadenia
- **akceptovanie** definovanie akceptovateľných hodnôt

Prevádzkové podmienky

- normálne prevádzkové podmienky
- maximálne prípustné preťaženie

Existujúca legislatíva podporujúca takéto ponímanie má dávať konštruktérovi všeobecnejšie nástroje ako sa používali v minulosti. Dnešné normy rámcovo určujú požiadavky, ich filozofia je iná ako v minulosti. Príkladom je norma STN EN 292.1, ktorá ukladá konštruktérovi identifikovať riziká a minimalizovať ich.

Bezpečnostný koncept v rámci existujúcich štruktúr musí spĺňať definované cieľové funkcie. Napr. konštrukcia sedačky pilota musí byť usporiadaná na možnú katapultáž na zemi ako aj vo vzduchu, obr.5.

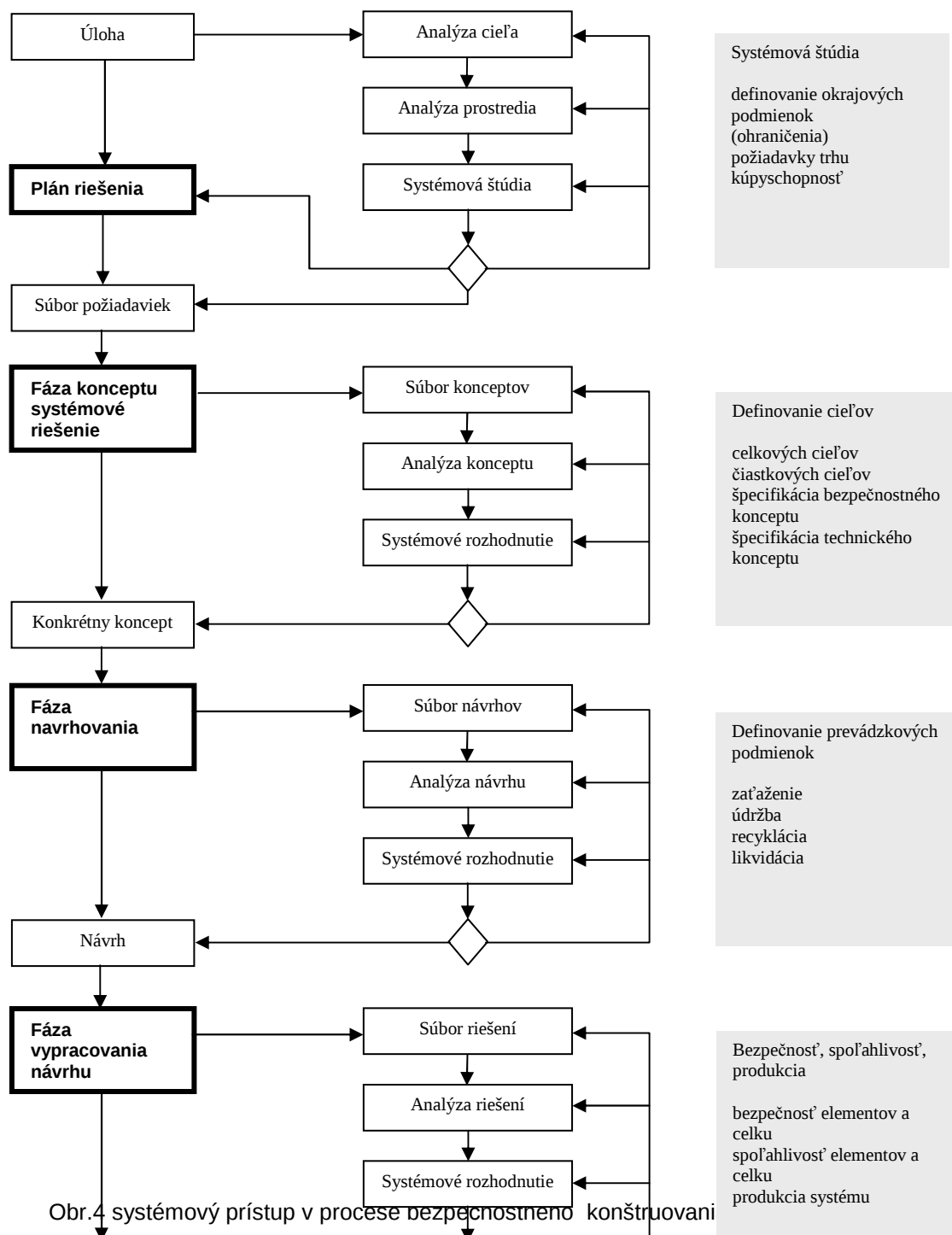
Proces bezpečnostného konštruovania nie je oddelený ale je súčasťou konštruovania vo všetkých fázach návrhu.

Mnohokrát sa stáva, že už navrhnuté strojné zariadenia má posúdiť bezpečnostný inžinier (v skutočnosti táto činnosť je suplovaná na oddeleniach BOZP, kde sa vyjadrujú k technickým riešeniam – len v rámci plnenia čiastkových legislatívnych noriem). Takýto prístup je nesprávny. Doposiaľ používané prístupy nie len v oblasti navrhovania strojných zariadení nepoužívajú prístup bezpečnostného konštruovania.

Bezpečnostné konštruovanie je potrebné v procese tvorby nového produktu uplatňovať vo všetkých jeho vývojových fázach, nie len v konečnej fáze a separátne.

Vývoj bezpečného konštruovania

Fázy



Obr.4 systémový prístup v procese bezpečnostného konštruovania

štruktúra

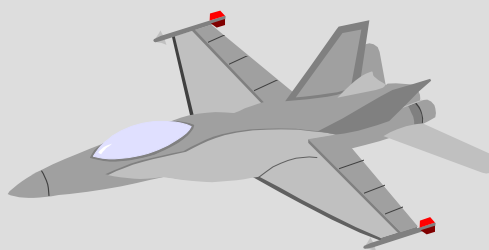
motor drak

- krídlo
- smerové kormidlo
- pilotná kabína

sedačka

cieľ

pohon lietadla
prenos energie
vztlak
zatačanie
podmienky pre pilota
možnosť opustenia kabíny



2.6.1 LEGISLATÍVA SLOVENSKEJ REPUBLIKY PRE OBLASŤ BEZPEČNOSTI STROJOV

Jedným z najmladších zákonov zákonom pre oblasť ochrany spotrebiteľa je zákon 294/99Z.z. – zákon o zodpovednosti za škodu spôsobenú vadným výrobkom, ktorý nadobúda platnosť 1.12.1999.

Povinnosti plynúce pre konštruovanie bezpečných výrobkov je z jeho nasledujúcich častí jasný.

- § 2, ods.1 výrobkom podľa tohto zákona je každá hnutelná vec, ktorá bola vyrobená, vyťažená alebo inak získaná, bez ohľadu na stupeň jej spracovania a ktorá je určená na uvedenie do obehu.

- § 3, ods.1, výrobok je podľa tohto zákona vadný ak nezaručuje bezpečnosť jeho užívania, alebo použitia, ktorú možno od neho oddôvodnene. Očakávať, najmä vzhľadom na :

- b) predpokladaný spôsob jeho užívania alebo použitia a účel, na ktorý môže výrobok slúžiť.

- § 5, ods.1, výrobca súčasti výrobku sa zbaví zodpovednosti za škodu spôsobenú vadným výrobkom, ak preukáže že vada výrobku bola spôsobená konštrukciou celkového výrobku, alebo ak súčasť výrobku jej výrobca vyrobil podľa požiadaviek výrobcu celkového výrobku, **alebo ak škoda bola spôsobená v dôsledku návodu na používanie celkového výrobku.**

Druhým zákonom pre oblasť bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci je Zákon NR SR č.330/96 Z.z., ako aj ďalšie(napr. nový Zákonník práce, platný od 1.12.99), ktoré sú komentované v module 3.1.

V súčasnej v Slovenskej republike existujú celý rad technických noriem, ktoré sú odvodené z EN. V oblasti bezpečnosti strojov je to predovšetkým STN EN 292.2 a STN EN 292.2, ako aj iné.

Je možné očakávať, že v budúcnosti sa bude súbor noriem v oblasti bezpečnosti strojov a technických zariadení nepretržite dopĺňovať, čo kladie zvýšené nároky na odborníkov v oblasti konštruovania bezpečných technických systémov.

2.6.1.1 Základné pojmy používané v oblasti konštruovania bezpečných technických systémov

Vybrané základné pojmy používané v súvislosti s tvorbou, prevádzkovaním a likvidáciou sledovaného strojného zariadenia sú v zmysle STN EN 292.1 :

Strojové zariadenie (stroj)

Montážny celok zostavený zo súčastí alebo častí strojov, z ktorých aspoň jedna je pohyblivá, z príslušných pohonných zariadení, ovládacích a energetických obvodov atď. vzájomne spojených na presne stanovené použitie, najmä na výrobu, spracovanie, dopravu alebo balenie materiálu. Strojové zariadenie zahŕňa aj montážny celok strojov, ktorý je na dosiahnutie rovnakého cieľa usporiadaný a ovládaný tak, aby fungoval ako integrálny celok.

Spôľahlivosť stroja

Schopnosť stroja, jeho častí alebo jeho príslušenstva v danom časovom období a za stanovených podmienok vykonávať bez poruchy požadovanú funkciu.

Udržiavateľnosť stroja

Spôsobilosť stroja byť udržiavaný v stave vykonávať svoju funkciu za podmienky predpokladaného použitia, alebo sa vrátiť do tohto stavu, pričom nevyhnutné činnosti (údržba) sa vykonávajú podľa stanovených postupov a pomocou predpísaných prostriedkov.

Bezpečnosť stroja

Spôsobilosť stroja vykonávať funkcie, napr. pri preprave, inštalácii, zoraďovaní, udržiavaní, demontáži a pri používaní za podmienok predpokladaného použitia, ktoré sú uvedené v návode na použitie (a v niektorých prípadoch pre dané časové obdobia vyznačené v návode na použitie) tak, aby nespôsobil zranenie alebo poškodenie zdravia.

Ohrozenie

Zdroj možného zranenia alebo poškodenia zdravia.

Nebezpečná situácia

Akákoľvek situácia, v ktorej je osoba vystavená jednému alebo viacerým ohrozeniam.

Riziko

Kombinácia pravdepodobnosti a rozsahu možného zranenia lebo poškodenia zdravia v nebezpečnej situácii.

V súvislosti s touto definíciou rizika je nutné pripomenúť vývoj v oblasti definície rizika, nakoľko v novších definíciách rizika (napr. BS 8800, resp. ISO 18 001) sa dôsledok definuje vo všeobecnejšom ponímaní, kde sa poníma vecná škoda ako aj úraz človeka.

Nebezpečná činnosť stroja

Činnosť stroja, ktorá vytvára riziko.

Nebezpečný priestor

Akýkoľvek priestor vnútri alebo mimo stroja, kde je osoba vystavená úrazu alebo poškodeniu zdravia.

Projektovanie (dizajn) stroja

Rad činností zahŕňajúci:

I. Štúdium vlastného stroja, ktoré berie do úvahy všetky etapy jeho životnosti:

1/. Konštruovanie a výrobu

2/. Prepravu a uvedenie do prevádzky (montáž, inštaláciu, nastavenie).

3/. Používanie (nastavenie, zábeh, prevádzku, čistenie, vyhľadávanie chýb, údržbu.)

4/. Vyradenie z prevádzky, demontáž a likvidáciu, ak má vzťah k bezpečnosti práce.

II. Navrhovanie inštrukcií pre uvedené etapy životnosti stroja (s výnimkou výroby) obsiahnutých

V tejto norme sú definované aj ďalšie definície, ktoré v procese konštruovania bezpečného zariadenia je nutné minimálne splniť.

2.6.2 KROKY METODICKÉHO KONŠTRUOVANIA BEZPEČNÝCH TECHNICKÝCH SYSTÉMOV

Metodické konštruovanie je postupnosť krokov, s cieľom vytvoriť trhom požadovaný produkt. Bez metodického konštruovania nie je možné vytvoriť väčšie celky, nakoľko musí dochádzať ku súčinnosti rôznych druhov činností ľudí, ktorí tvoria výsledný produkt. Príkladom takého pôsobenia je stavebný vežový žeriav Liebherr, kde pohony sú od fy. Demag, konštrukcia je Liebherr. Pohonná jednotka automobilu Škoda sa skladá z bloku motora, ktorý je vlastnej konštrukcie, vstrekovania, alternátora a ďalších elektronických zariadení od Boscha. Pokiaľ by v týchto prípadoch nebola jasná cieľová koncepcia mohlo by dôjsť k problémom. V procese tvorby výsledného produktu je nutné dodržať vopred stanovené priority (bezpečnosť, životnosť, udržiavateľnosť, ľahká údržba) a ciele na ich dosiahnutie.

Bezpečnostné konštruovanie je charakterizované :

- **produkt (konštrukcia, stroj, systém) musí v jednotlivých fázach konštruovania spĺňať požiadavky kladené na bezpečnosť**
- **metodické konštruovanie bezpečných systémov nie je ohraničené len poznaním technických dát. Je to integrácia všetkých dát, ktoré postihujú konkrétny systém s jeho okolím, ako aj interakcie medzi jednotlivými prvkami**
- **pri konštruovaní je potrebné uvažovať so všetkými stavmi, ktoré sa môžu vyskytnúť počas životnosti navrhovaného systému (zariadenia) – nábehy, údržba, oprava, likvidácia**
- **definovaným stupňom bezpečnosti**
- **definované opatrenia na minimalizáciu rizika majú byť v požadovanom stupni bezpečnosti. Ide o návrh primeraných opatrení s ohľadom na stupeň rizika**
- **v procese bezpečnostného konštruovania musia sa zohľadniť všetky vplyvy - parametre prostredia (opotrebenie, starnutie ..)**

Na bezpečnosť človeka v klasických strojárskych systémoch vplyvajú nasledovné faktory, obr.6.

normálny prevádzkový režim

- bezpečný nábeh
- ošetrovanie ohrození (všetky druhy identifikovaných ohrození)
- bezpečný dobeh

opravy a údržba

- regulárne vypínanie a zapínanie
- kumulovaná energia

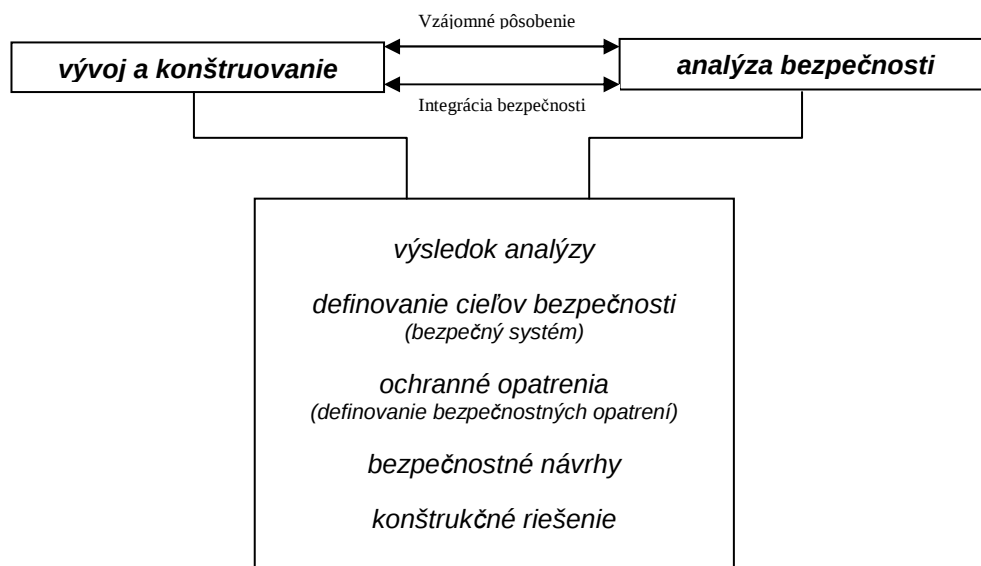
prerušenie prevádzky

- poruchy
- prestoje - výpadky
- manipulácia s ochrannými systémami
- vplyv prostredia
- pôsobenie škodlivín

bezpečnosť pre človeka

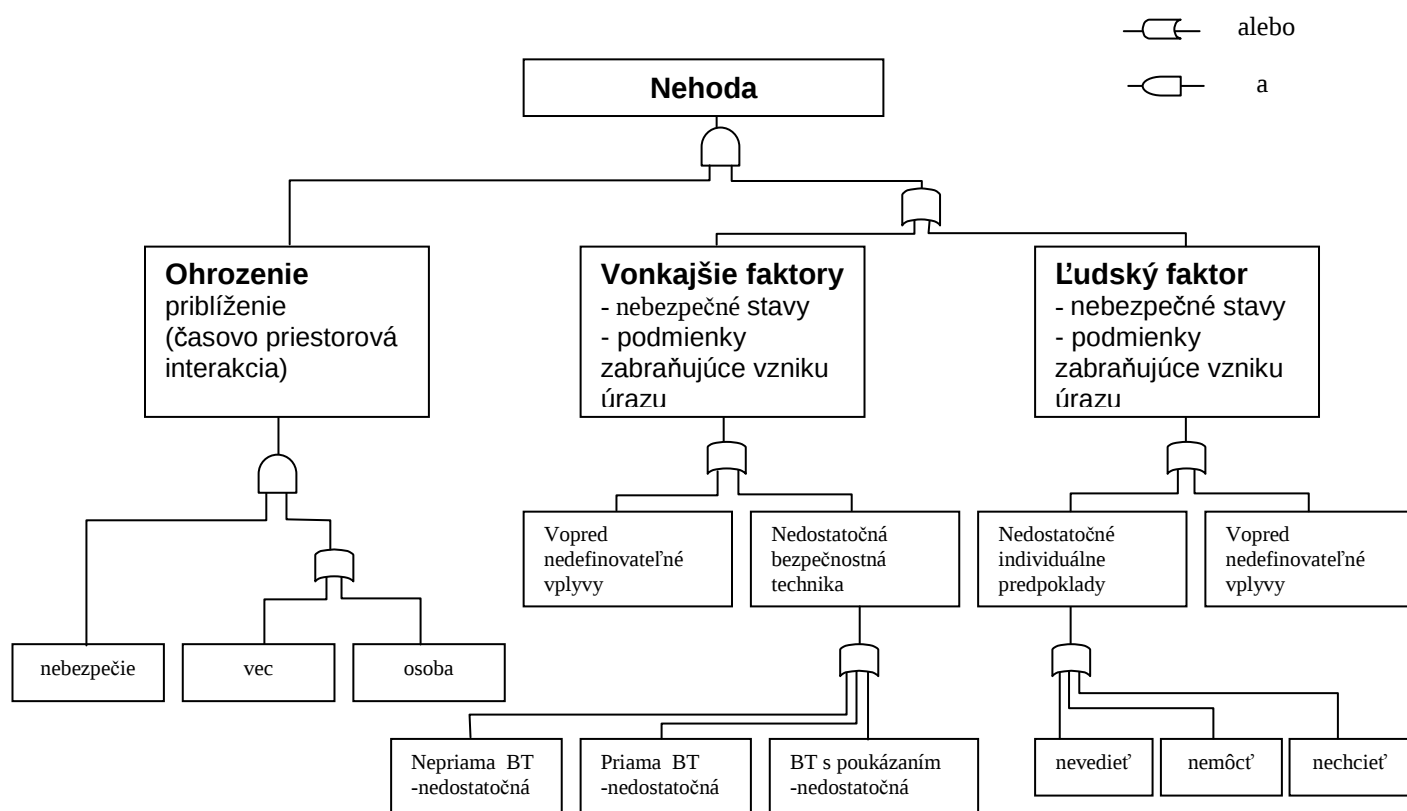
Obr.6, faktory vplyvajúce na bezpečnosť človeka (klasická strojárska technológia)

Na obr.8 je schematicky zobrazenie súvislosti v procese bezpečnostného konštruovania

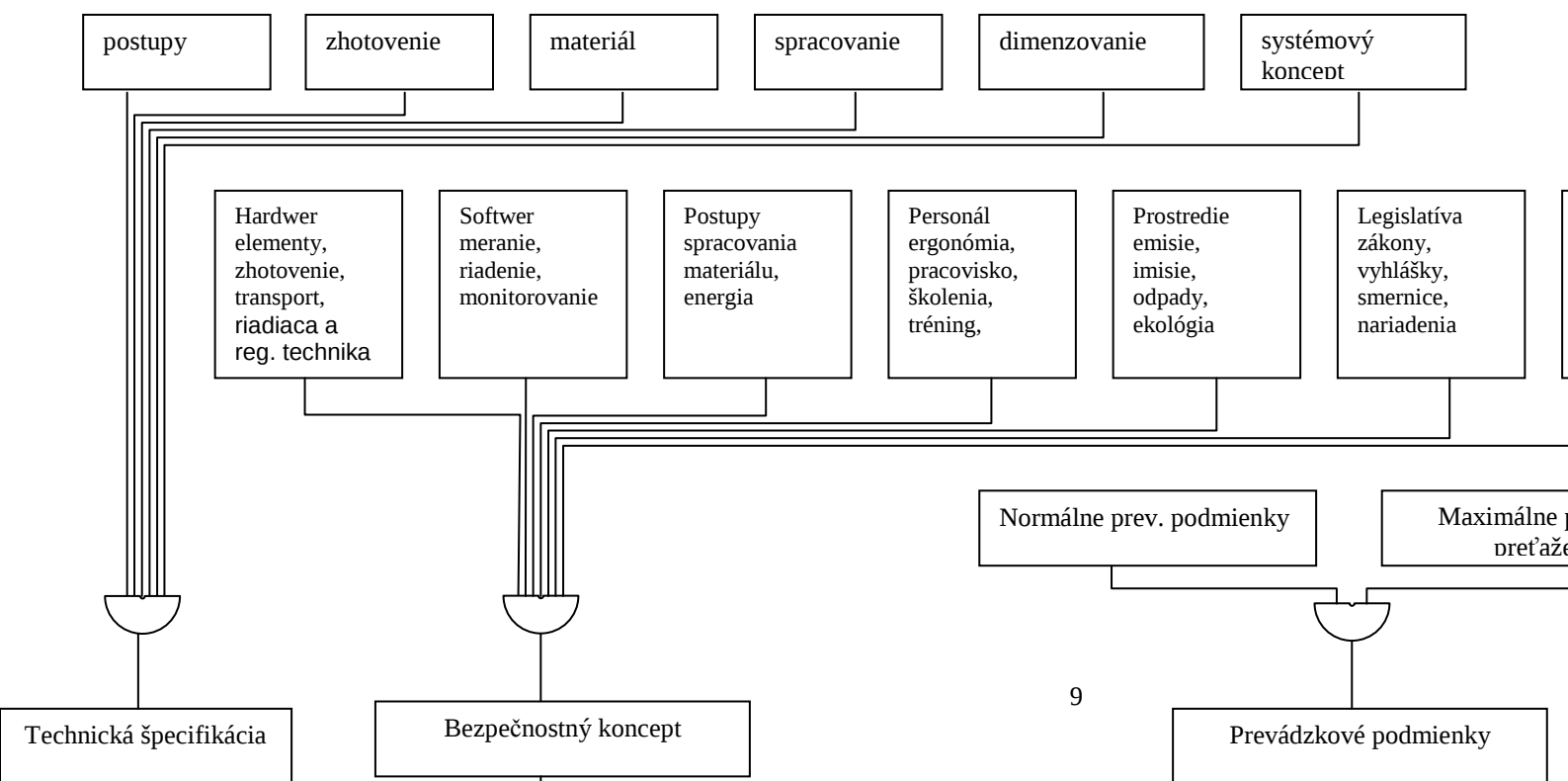


Obr.8, súvislosti v procese bezpečnostného konštruovania

Pri konštruovaní bezpečného systému vo všeobecnosti by sa malo uvažovať s kauzálnou závislosťou a prvkami, ktoré ju tvoria. Na obr.9 sú jednotlivé prvky, ktoré pôsobia na vznik nehody.



Obr.9, kauzálna závislosť a vzťah jej prvkov
V procese tvorby bezpečného produktu je nutné zohľadniť súvislosť jednotlivých konceptov, obr.10.



Obr.10, tvorba bezpečného produktu.

2.6.3 PRINCÍPY KONŠTRUOVANIA BEZPEČNÝCH TECHNICKÝCH SYSTÉMOV

Možnosti tvorby bezpečných výrobkov konštruovaní je možné zhrnúť do troch základných princípov :

- **bezpečný počas životnosti (*safe life*)**
- **poškodenie tolerovateľný (*fail safe*)**
- **bezpečný proti sabotáži (*sabotage proof*)**

Pod pojmom **safe life** sa rozumie také vyhotovenie konštrukcie, že počas definovanej životnosti pri určených podmienkach nasadenia nedôjde k zlyhaniu elementov. Môžu nastať nebezpečné situácie ale nemôže dôjsť k zlyhaniu rozhodujúcich funkcií. Je prípustná výmena, vo vopred definovanom intervale, komponentov zabezpečujúcich dielčie funkcie (nemôže dôjsť k zlyhaniu motora na jednomotorovom lietadle, roztrhnutiu lana osobnej kabínkovej lanovky pokiaľ lano má nosnú aj ťažnú funkciu).

Pod pojmom **fail safe** sa rozumie ak môže nastať chyba výrobku alebo čiastočných funkcií, ktoré sami alebo v kombinácii s inými chybami nemôžu viesť k nebezpečnému stavu. Pre výrobok je definované koľko akých chýb, v ktorých subsystémoch môže nastať počas životnosti bez toho aby celý

systém nevytvoril nebezpečný stav. Znamená, že systém toleruje poškodenie.

Pod pojmom **sabotage proof** sa rozumie konštrukcia, systém, ktorý aj pri úmyselných (schválnych) chybách nespôsobí nebezpečný stav. Tento cieľ sa definuje len u špecifických častí a zariadení.

2.6.3.1 Opatrenia na minimalizovanie ohrození

Opatrenie, ktoré sa môžu v procese konštruovania systému použiť je možné rozdeliť do dvoch veľkých skupín. Sú to priame a nepriame opatrenia prijímané na minimalizovanie resp. eliminovanie ohrozenia vhodným návrhom.

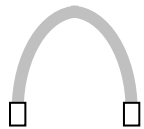
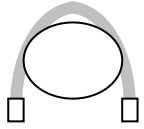
Priame a nepriame bezpečnostné opatrenia musia zohľadňovať:

- **funkčnú bezpečnosť počas celej životnosti zabezpečenú priamym, nepriamym opatrením**
- **funkciu bezpečného správania sa pri vyskytnutí sa chyby (omylu), napr. bezpečný voči porušeniu**
- **bezpečný aj pri výpadku špecifických prvkov zabezpečujúcich bezpečnosť (žiadne ohrozenie pri výskyte chyby)**
- **účinne pôsobiť pri ohrození**

Opatrenia na zabránenie jednotlivým nebezpečným stavom môžu byť :

I. Nepriame bezpečnostné opatrenia

Požadovaný stupeň bezpečnosti je možné doiahnuť prostredníctvom konštrukčných opatrení. Výrobok, sa tvorí tak, že konštrukciou sú vylúčené možné ohrozenia. Opatrenia na dosiahnutie definovaného stupňa bezpečnosti nie sú potrebné. Na obr. 11 je charakteristické konštrukčné riešenia nevyžadujúce ďalšie opatrenia.

Zaťaženie	Nevhodné riešenie	Vhodné riešenie	popis
Ohybové namáhanie			Hadica na ohybe musí opisovať kruh o uhlovej výseči 180°
Osové namáhanie			Minimálna dĺžka hadice 1,1l

Obr.11, vhodné a nevhodné riešenia.

Konštruktér má však k dispozícii aj ďalšie možnosti, zhrnuté v nižšie uvedených postupoch :

- **časové ohraničenie zlyhania**

Tento postup sa používa u systémov, kde chybu na vstupe je možné konštrukčným usporiadaním spomaliť na výstupe. Ide o časovo ohraničené reakcie systému.

- **predimenzovanie**

Problémové časti systému je možné navrhnuť tak, aby boli predimenzované pre definovaný druh namáhania.

- **vytvorenie protireakcie**

Konštrukčný element je tvorený tak, aby pri vopred definovaných parametroch vlastnou protireakciou minimalizoval ohrozenie. Nie vždy je to možné (mechanický regulátor otáčok).

- **rovnaká dôležitosť zrovnateľných častí**

V systéme, ktorý pozostáva z funkčne zrovnateľných parametrov je nutné venovať rovnakú pozornosť bezpečnosti všetkých častí.

- **minimalizovanie pravdepodobnosti nežiadúceho stavu**

Výber kvalitných komponentov systému voči konkrétnym druhom ohrození (vibrácie, prach,...).

- **rozpoznanie chýb**

Pre aktívne chyby (je ich nožné identifikovať) nie je nutné vytvárať prídavné bezpečnostné opatrenia. Pre pasívne chyby (nie je ich nožné identifikovať) je nutné vytvárať prídavné bezpečnostné opatrenia. Opatrenia sú závislé od stupňa bezpečnosti.

- **odolnosť proti omylom**

Konštruovaním sa zabezpečí, že nedôjde k omylom (spojka hadice pneumatického kladiva musí byť vyhotovená tak, aby sa nedala zasunúť do rýchlospojky kyslíkového rozvodu).

- **zreteľnosť postupov**

V procese riadenia musí byť zreteľná postupnosť krokov, logické signály, povely (tvorba postupov v procese riadenia - jednoznačnosť).

- **ergonomičnosť**

Každý konštruktér musí konštruovať zariadenia tak aby vyhovovali ergonomickým požiadavkám.

- **redundancia**

Viacnásobná prítomnosť elementu s rovnakou funkciou zabezpečujúca pri výpadku funkcie zálohu. Podľa druhu výpadku sú usporiadané elementy (paralelne, sériovo).

- **diverzifikácia**

Pri redundantnom usporiadaní sa používajú viaceré princípy. Hovorí sa o diverzifikácii princípu, predovšetkým fyzikálnych princípov u mechanických sústav. Nie je možné, aby nastala chyba typu common mode.

- **rezerva energie**

Minimalizácia alebo vylúčenie chyby prostredníctvom rezervy energie.

- **únosnosť systému**

Stav bezpečnosti celého systému je závislý od jednotlivých dielčích štruktúr. Interakciou systému je možné vytvoriť stav, kedy dôjde k zmierneniu výsledného ohrozenia (dvojzáves

lanovky - nosné a ťažné lano, v prípade pretrhnutia ťažné lano čiastočne zmierni pád).

- **kontrola opatrení**

Vykonanie kontrolných opatrení počas :

- ♦ normálnych prevádzkových režimov
- ♦ extrémneho zaťaženia
- ♦ pôsobenie kombinácie zaťaženií
- ♦ preskúmanie analýz

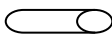
- **simulačný test**

- ♦ *simulovanie nežiadúcich stavov*
- ♦ *systémové vyhodnotenia analytickými postupmi*

II. Priame bezpečnostné opatrenia

Priamymi bezpečnostnými opatreniami sa nazývajú tie, kde je nutné použiť bezpečnostných opatrení. Najčastejšie používané ochranné opatrenia sú zhrnuté STN EN 292.1.2.

V procese voľby materiálu pre kryt obrábacieho stroja je potrebné zvoliť vhodný materiál. Na obr.12 je definovaná potrebná energia na priraz a pokryvenie materiálu.

<i>materiál</i>	<i>skúšobné teliesko</i> 	<i>W_k [kJ]</i>	<i>poznámky</i>
platňa 960 x 960, hrúbka 3 mm 11373.5	625 g	1,53kJ 2,1kJ	potrebná energia na deformovanie - priraz a pokryvenie
	1 250 g	2,48kJ 2,88kJ	
	2 500 g	3,78kJ 4,06kJ	
platňa 960 x 960, hrúbka 5 mm AlMg3	625 g	1,28kJ	nebola vykonaná skúška na priraz
	1 250 g	2,4kJ	
	2 500 g	3,78kJ	

Obr.12, katalóg materiálov pre výber vhodného krytu obrábacieho stroja

2.6.4 URČENIE AKCEPTOVATEĽNÝCH HRANÍC

V procese konštruovania sa používajú rôzne analýzy. Zásadnou otázkou v procese hodnotenia je problém **kritérií a prijatých opatrení**. V procese konštruovania sa definuje

hierarchia cieľov a opatrení. Môže sa jednoducho stať, že budú splnené základné požiadavky kladené na produkt, napriek tomu nebude zákazník spokojný, nakoľko hierarchia cieľov nebude splnená. V ponímaní bezpečnostného konštruovania musí však produkt vždy byť primerane bezpečný. Ďalšie z toho plynúce ciele bez základných požiadaviek kladených na bezpečnosť sú neprijateľné.

Každý systém obsahuje určitý stupeň nedokonalosti - existuje riziko, ktoré nie je možné na dnešnom stupni poznania odstrániť, ako aj riziko, ktoré je definované akceptovateľnou hranicou.

Parametre, ktoré vplývajú na určenie hranice akceptovateľnosti

- Legislatívne predpisy
- Psychologické aspekty
- Kultúra
- Politika BOZP
- Vlastnícke vzťahy

✓ **Legislatívne predpisy**

1. Poznanie legislatívnych predpisov.

V procese určenia akceptovateľnej hranice je potrebné poznať legislatívne predpisy v konkrétnej oblasti.

2. Aplikovanie do praxe

Samotné poznanie bez realizácie nemá účinok, preto je potrebné aplikovať predpisy.

3. Existencia prvkov technického riskmanažmentu

Pokiaľ v podniku neexistujú štruktúry, ktorých úlohou je identifikácia, sumarizácia a rozhodovanie o technických rizikách tak proces minimalizácie je nekonceptný a podlieha rôznym vplyvom podľa potreby rôznych záujmových štruktúr.

4. Definovanie postavenia technického riskmanažmentu v organizačnej štruktúre

Samotná existencia štruktúr riskmanažmentu s konkrétnou náplňou nezaručuje očakávaný výsledok, kým dané štruktúry nemajú potrebnú rozhodovaciu právomoc. Upozorňovať na určité stavy bez možnosti zásahu v rozhodovacom procese stavia tieto štruktúry do polohy štatistov.

✓ **Psychologické aspekty**

Sekundárne na určenie akceptovateľnej hranice vplývajú aj schopnosti ľudí na rozhraní stroj – človek. Stav schopnosti a vlastnosti personálu je nutné zohľadniť minimálne prostredníctvom nižšie definovaných parametrov.

1. Nízka adaptívna pripravenosť (úroveň konkrétneho pracoviska)

Vyskytuje sa vtedy, keď zamestnanec buď nerozoznáva ohrozenia na pracovisku, alebo nemá potrebné znalosti resp. zručnosti na zvládnutie ohrozenia.

2. Nesúhlas s bezpečnou praxou

Vyskytuje sa vtedy, keď už zamestnanec má zautomatizované zručnosti pre rozpoznanie a zvládnutie ohrozenia, ale (z ľubovoľného dôvodu) jeho vnímanie ohrozenia líši sa od toho, ako toto ohrozenie vníma zamestnávateľ. Preto, na rozdiel od zvyku, nezrovnalosť v zachovávaní bezpečnosti pri práci zahŕňa buď :

- vedomú voľbu plniť svoju úlohu takým spôsobom, ktorý spoločnosť považuje za nebezpečný, alebo
- ochotu zamestnanca vykonávať úkon napriek nedôvere v jeho bezpečnosť pretože firma hovorí, že je to bezpečné.

3. Osobná voľba

Osobná voľba sa dotýka prípadov, kedy zamestnanec vie, že sa zapája do rizikovej činnosti, ale rozhodne sa tak konať, pretože niečo môže dosiahnuť na základe takejto voľby.

4. Osobné faktory

Rôzne osobné faktory môžu viesť ku problémovému chovaniu. Najzrejmejším takýmto faktorom je strata zmyslu pre hodnoty, ktorá sa môže nachádzať v rozmedzí od nadmerného užívania drog alebo alkoholu po stres, únavu, chorobu alebo užívanie predpísaných liekov.

✓ Kultúra

Kultúra sa dotýka faktu "ako sa veci realizujú v tejto krajine na konkrétnom pracovisku" - je to systém prijímaných predpokladov a hodnôt. Kultúra sa vyvíja časom a zvyčajne sa nemení rýchle.

✓ Politika BOZP

1. Koncepcia politiky BOZP a náväznosť na ďalšie štruktúry

Jednoznačná koncepcia s definovanými cieľmi, postupmi a prostriedkami.

✓ Vlastnícke vzťahy

1. Jasné vlastnícke vzťahy

Jasné vlastnícke vzťahy definujú v oblasti vývoja aj miesto konštrukcie a spôsoby konštruovania a ponímania bezpečnostného konštruovania v týchto postupoch.

Z hľadiska bezpečnosti systému je nutné definovať podmienky považované za neakceptovateľné a pri ich vyskytnutí sa je nutný zásah s cieľom minimalizácie rizika na akceptovateľnú úroveň.

Medzi neakceptovateľné podmienky vo všeobecnosti patria

- porucha jednoduchého komponentu, ľudská chyba, alebo charakteristika konštrukcie, ktorá môže spôsobiť nehodu **s kritickou alebo katastrofickou závažnosťou;**
- duálna porucha nezávislých komponentov, duálna ľudská chyba, alebo ich kombinácia zahŕňajúca aj zlý povel alebo kontrolnú funkciu, ktoré môžu **spôsobiť nehodu s kritickou alebo katastrofickou závažnosťou;**

- generovanie nebezpečných žiarení, napr. ionizujúce žiarenie, ak nie sú vykonané opatrenia na ochranu osôb alebo citlivého zariadenia;
- procesy manipulácie, ktoré môžu spôsobiť nehodu nechráneným osobám a zariadeniam;
- **kategórie rizika, ktoré sú špecifikované ako neakceptovateľné zmluvne v dohode.**

Nasledujúce podmienky sú považované za akceptovateľné a nevyžadujú ďalšiu analýzu, ak už raz boli kontrolované a verifikované:

- systémová štruktúra, ktorá vyžaduje dve alebo viac nezávislých ľudských chýb alebo porúch alebo ich kombinácia;
- systémová štruktúra, ktorá vyžaduje aspoň tri nezávislé ľudské chyby alebo poruchy alebo ich kombinácie;
- systémové štruktúry, ktoré pozitívne tvoria prevenciu chýb;
- systémové štruktúry, ktoré pozitívne zabraňujú poškodeniu jednej časti druhou;
- ohraničenia systémovej štruktúry v operácii interakcii alebo náväznosti, ktorá predchádza vzniku poruchy;
- systémové štruktúry, ktoré poskytujú zlepšený bezpečnostný faktor, alebo ho udržujú na akceptovateľnej úrovni;
- systémové štruktúry, u ktorých energetické toky môžu spôsobiť poruchu, napr. ventily;
- systémové štruktúry, u ktorých porucha časti môže byť dočasne tolerovaná, pretože zvyšková pevnosť alebo funkčnosť je postačujúco bezpečná;
- systémové štruktúry, u ktorých obsluha zvládne rizikovú situáciu podľa predpokladu;
- systémové štruktúry, ktoré ohraničia alebo kontrolujú použitie nebezpečných materiálov.

Vo všeobecnosti na určenie akceptovateľnej hranice v procese posudzovania rizika má vplyv viacero parametrov. Výberom konkrétnej metódy sa dospeje k následným možnostiam :

- je pevne stanovená hodnota akceptovateľného rizika (napr. EN 954 prostredníctvom kategórií, ktoré musia byť splnené)
- hodnota akceptovateľného rizika sa určuje na základe všeobecne požadovaných parametrov
- hodnota akceptovateľného rizika sa určuje na základe požiadaviek zákazníka
- hodnota akceptovateľného rizika je určená na základe všeobecne neprijateľných stavov pre sledovaný systém, zariadenie.

Určenie akceptovateľnej hranice v konkrétnych podmienkach je podmienené existenciou štruktúr, ktoré vedia stanoviť túto hranicu v konkrétnych podmienkach.

Definovanie druhej problémovej oblasti je definovanie opatrení, ktoré sú závislé od **definovania celkových cieľov**.

2.6.5 ANALÝZY

Bez identifikácie a vhodnej analýzy nie je účelné vytvárať nové systémy. Poznanie súvislosti v celku ako aj jeho dielčích častiach umožní vytvoriť produkt s potrebnými vlastnosťami. Analýzy používané v procese bezpečnostného konštruovania je možné rozdeliť podľa náročnosti na čas. Druhým delením je delenie podľa náročnosti na informácie, ktoré je potrebné získať a analyzovať. Najpoužívanejšie analýzy sú :

Morfologické analýzy

- kontrolné listy
- analýzy pomocou vzorových formulárov
- analýza pomocou morfologických polí
- analýzy pomocou katalógov

Analýzy podľa legislatívnych kritérií

- posúdenie zariadenia v zmysle vyhlášky 74/96 Z.z.
- posúdenie zariadenia v zmysle STN EN 292.1

Analýzy logických štruktúr

- FTA
- FMECA

Analytické rozborý majú konštruktérom v procese bezpečnostného konštruovania pomáhať pri tvorbe riešení s spoľahlivých a bezpečných systémov. Jedná sa ako o celý rad problémov, ktoré bezpečnostný inžinier musí vedieť ošetriť. Nižšie sú popísané najčastejšie používané postupy v procese konštruovania, ako aj počas prevádzky a likvidácie systému.

2.6.5.1 Morfologické analýzy

Nižšie uvedené morfologické analýzy majú za úlohu v jednotlivé analyzované systémy rozdeliť a v nich skúmať bezpečnosť s ohľadom na morfologické štruktúry.

Analýza pomocou kontrolných listov

Najjednoduchšia z týchto metód je identifikovanie ohrození v systéme pomocou kontrolných listov. Je to forma vopred definovaných otázok na, na ktoré sa odpovedá len odpoveďami **áno, nie**. Táto metóda neumožňuje vystihnúť kauzálnu závislosť. Jedná sa teda o odpovede a identifikovanie v rámci úzkej záujmovej oblasti. Charakteristické sú kontrolné listy pre administratívne pracoviská, pre výkon špecifických činností napr. práca s počítačom pod. Môžu byť použité bez hlbších znalostí o problematike bezpečnosti nakoľko sa odpovedá len kladne alebo záporne. Dnes používané kontrolné listy oproti minulosti sú vhodne dopĺňané aj graficky. Na obr.13 je charakteristická časť z kontrolného listu. Kontrolné listy tvoria odborníci z oblasti bezpečnosti, pričom sa sledujú ciele, ktoré

musia byť pokryté minimálne v rámci legislatívy platnej pre daný druh kontroly.

PRÁCA S OBRAZOVKOU		STRANA 01
Sú dobre čitateľné znaky na obrazovke	áno nie	
Kritéria		opatrenia a návrhy
Znaky sú ostro a výrazne viditeľné	☐ 1 ☐ ☐ 2 ☐ ☐ 3 ☐	• nastaviť jas a kontrast displeja, • vytvoriť kontrast medzi podkladom a znakmi
EEE		

Obr.13, kontrolný list

Následovne k tomuto formuláru je formulár s navrhnutými opatreniami a časovým horizontom.

Vzorové formuláre

Vzorové formuláre sú tvorené formou kontrolných otázok tvoriaci ucelenejší systém ako kontrolné listy. **Otázky postihujú kauzálnu závislosť, neodpovedá sa len otázkou áno, nie**, v odpovedi musí byť podchytená spojitosť medzi jednotlivými prvkami systému. Predpokladá hlbšie znalosti z problematiky bezpečnosti, bezpečnostného konštruovania. V procese tvorby otázok musia sa vystihnúť charakteristické štruktúry sledovaného systému ako aj väzbovosť medzi nimi. V týchto kontrolných formulároch sú popísané jednotlivé poruchy pomocou interných označení počínajúc kódmi zariadenia a končiac kódmi výpadkov a klasifikácie ohrození. Táto metóda vychádza zo skupín zdrojov ohrození (elektrické, mechanické,..) pričom sa skúma ako pôsobia v analyzovanom systéme.

Morfologické polia

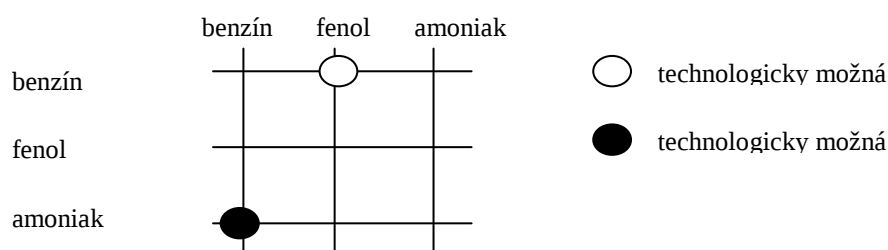
Vyhodnotenie pomocou morfologických polí sa používa ako grafický kombinačný prostriedok na špecifické udalosti. Napr. sledovanie možných ohrození v procese prepravy chemikálií, možných kombinácií reakcií v chemických prevádzkach, atď. V zásade môžu nastať tri rôzne stavy, ktoré sa sledujú a zvyrazňujú v tvare morfologických polí.

Medzi A a B nenastane interakcia.

Medzi A a B nastane interakcia s príslušný stupňom ohrozenia – akceptovateľná.

Medzi A a B nenastane interakcia – neakceptovateľná.

Toto je možné zvýrazniť aj graficky



Obr.14, morfologická sieť

Obdobne je tento výsledok možné zapísať v tabuľkovej forme.

zmiešavač čpavok		1,3
reboiler zmes DPU	1,3	

- 1 – žiadna reakcia
2 – žiadna škodlivá reakcia
3 – škodlivá reakcia

Tab.1, morfologické pole

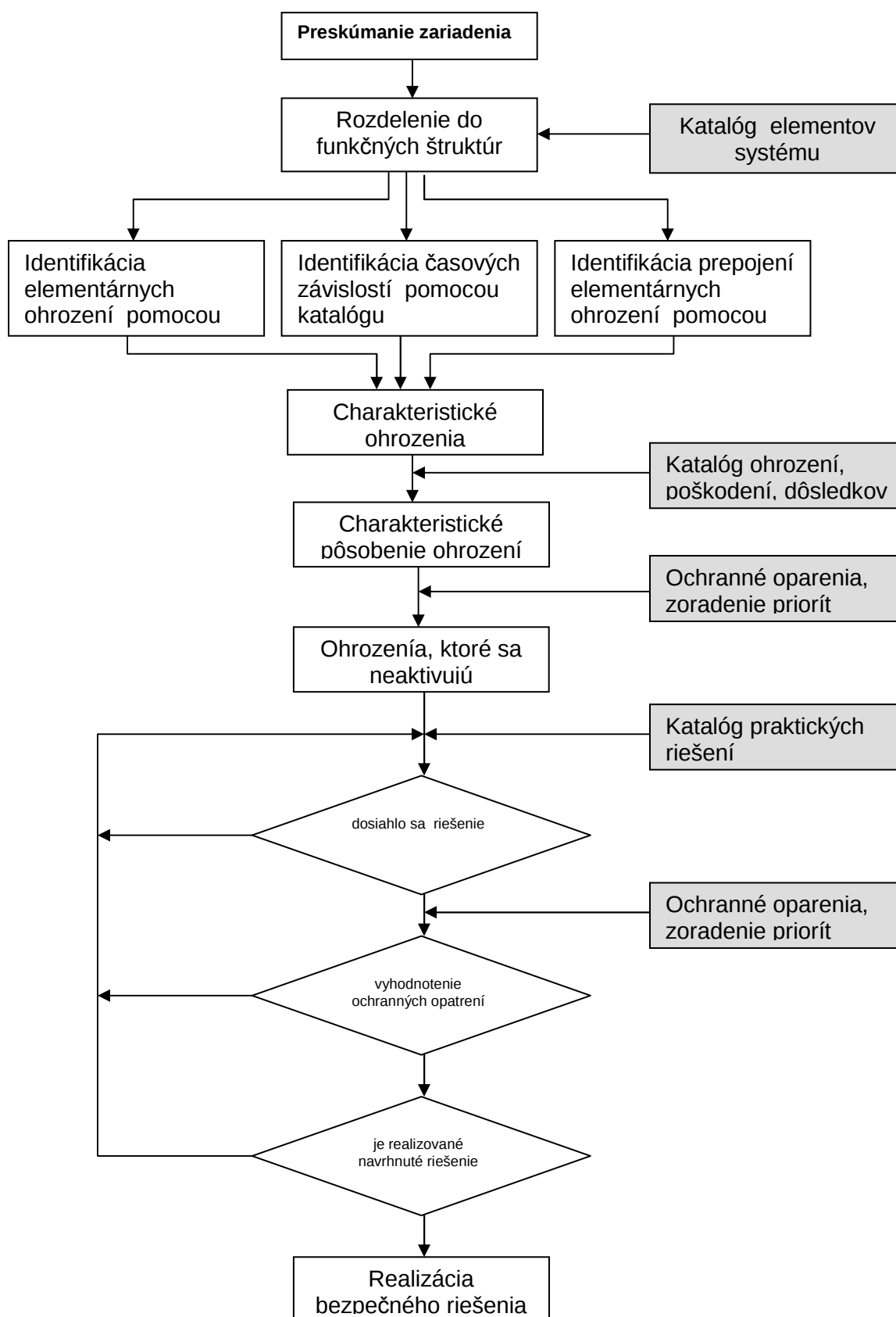
V prípade zložitých procesných dejov a dispozičného rozmiestnenia aparátov je táto metóda problematická. Dobre posluží na rýchlu identifikáciu možných ohrození, ktoré je potom možné analyzovať presnejšími metódami.

Katalógy

Postup využívajúci sústredných poznatkov v katalógových listoch v procese bezpečnostného konštruovania je na obr.15. Otázkou je, či dnešné obsahy katalógov sú postačujúce pre proces bezpečného konštruovania. Požadované katalógy, ktoré by zohľadňovali definovaný stupeň bezpečnosti a boli by použiteľné v dnes štandardných kresliarskych programoch typu Autocad doteraz nie sú. Katalógy takéhoto typu musia obsahovať základné informácie o ohrozeniach, pôsobení týchto ohrození a možnej minimalizácii.

MECHANICKÉ OHROZENIA			
riešený problém	spôsob riešenia	princíp pôsobenia	škica
	krytie nebezpečného priestoru proti odletujúcim častiam	priestor, v ktorom sa pohybuje obsluha musí byť chránený proti odletujúcim šponám. Ochranné zariadenie pozostáva z krytu - plná konštrukcia zavesená na pántoch umožňujúca odkrytie a zakrytie priestoru.	

Tab.2, katalóg konštrukčných riešení



Obr.15, použitie katalógov v procese bezpečnostného konštruovania

2.6.5.2 Analýzy podľa legislatívnych kritérií

Posúdenie zariadenia v zmysle vyhlášky 74/96 Z.z.

Vyhláška Úradu bezpečnosti práce Slovenskej republiky slúži na zaistenie bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci, bezpečnosti tlakových, zdvíhacích, elektrických a plynových technických zariadení a o odbornej spôsobilosti

Technické zariadenia sa na účely tejto vyhlášky rozdeľujú z hľadiska miery ohrozenia na zariadenia s vyššou mierou ohrozenia (skupina A a B) a na zariadenia s nižšou mierou ohrozenia (skupina C).

Rozdelenie týchto zariadení :

- **tlakové zariadenia skupiny**
- **zdvíhacie zariadenia skupiny**
- **elektrické zariadenia skupiny**
- **plynové zariadenia**

Pre každé technické zariadenie a jeho časti sa spracováva konštrukčná dokumentácia (projekt) zodpovedajúca tejto vyhláške a bezpečnostným a technickým požiadavkám. Vyrábať, montovať a rekonštruovať vyhradené technické zariadenia alebo ich časti možno iba podľa osvedčenej konštrukčnej dokumentácie (projektu).

Výroba a dodávky technických zariadení musia spĺňať požiadavky kladené na výrobok zodpovedajúce bezpečnostným a technickým požiadavkám. Pri výrobe alebo pri dodávkach vyhradených technických zariadení, na ktoré sa vyžaduje osvedčená konštrukčná dokumentácia, organizácia umožní Technickej inšpekcii overiť skutočnosti dôležité z hľadiska bezpečnosti technického zariadenia. (poskytne požadované informácie o mieste, dátume výroby alebo dodávok a výrobnej dokumentácii, o priebehu výroby, o výsledkoch prehliadok a skúšok. Umožní odskúšanie vyrábaných vyhradených technických zariadení alebo ich častí v priebehu výroby).

Výrobca alebo dodávateľ spolu s vyrobeným, zmontovaným alebo rekonštruovaným technickým zariadením alebo s jeho časťou odovzdá odberateľovi sprievodnú technickú dokumentáciu v rozsahu zodpovedajúcom charakteru technického zariadenia a bezpečnostným a technickým požiadavkám.

V sprievodnej technickej dokumentácii vyhradených technických zariadení musia byť zahrnuté aj technické údaje charakterizujúce ohrozenia :

- **charakteristiku prostredia, v ktorom môže zariadenie pracovať,**
- **pokyny na prevádzku alebo odkazy na predpisy**

Posúdenie zariadenia v zmysle STN EN 292.1

Pomocným nástrojom v procese vyhodnocovania existujúceho riešenia je aj STN EN 292.1,2, ktorá popritom, že konštruktérovi ukladá prijať opatrenia na minimalizáciu rizík vychádza z nasledovných myšlienok :

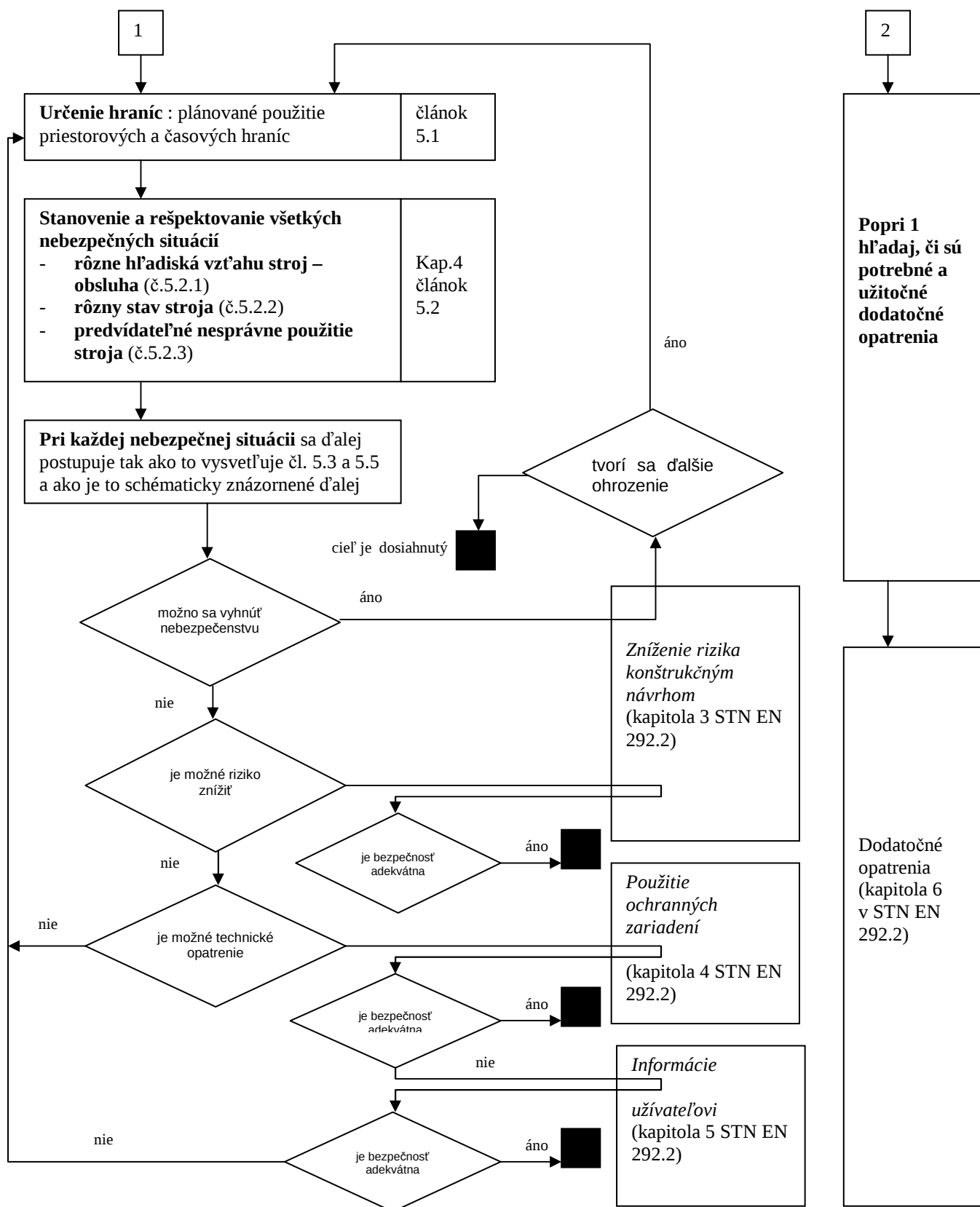
- ***ak existuje v systéme konkrétne nebezpečenstvo, tak je len otázkou času kedy sa iniciuje a tým je vytvára ohrozenie, ktoré môže spôsobiť úraz. Otázne je ako závažný tento úraz môže byť.***
- ***v kapitole 4 tejto normy sú vymenované základné ohrozenia, ktoré konštruktér by mal zvažovať či v návrhu sú obsiahnuté alebo nie***
- ***nie je účelná ani dosiahnuteľná absolútna bezpečnosť. Pre každý systém, strojné zariadenia, riadiaci systém je požadovaný stupeň bezpečnosti***
- ***nové navrhnuté riešenie je len vtedy akceptovateľné, ak prinesie vyšší stupeň bezpečnosti***

Pri konštruovaní v zmysle tejto normy je nutné zohľadniť aj faktory :

pravdepodobnosti – je vhodné vytvárať primerané opatrenia.

dôsledok – rozsah materiálnych škôd a možnosť poranenia až úmrtia človeka.

Stratégia výberu navrhovaných bezpečnostných opatrení (schematické znázornenie) je na obr.16.



Obr.16, stratégia výberu navrhovaných bezpečnostných opatrení (schematické znázornenie)

2.6.5.3 Analýzy logických štruktúr

FTA (Faul tree analysis - strom poruchových stavov)

Metóda FTA je v podstate deduktívna metóda zameraná na presné zistenie príčin alebo kombinácií príčin, ktoré môžu mať za následok definovanú nežiadúcu udalosť. Analýza je väčšinou kvantitatívna, ale v prípade ďalšieho využitia aj kvalitatívna. Metóda FTA je v podstate organizované grafické vyjadrenie podmienok alebo iných faktorov, ktoré spôsobujú vznik alebo prispievajú k vzniku definovanej nežiadúcej udalosti, označenej ako vrcholová **udalosť - porucha**. Zobrazenie stromu porúch je v tvare, ktorý môže byť pochopený, analyzovaný a v prípade potreby zmenený s cieľom zjednodušiť identifikáciu sledovanej poruchy.

Vychádzajúc z najvyššej úrovne stromu porúch - **nežiadúci stav**, je možné postupovať po jednotlivých úrovniach stromu poruchových stavov až k elementárnej príčine na príslušnej úrovni stromu poruchových stavov. Takýmto spôsobom je možné vyšetrovať ľubovoľné závislosti v systéme, ako aj v jeho subsystémoch.

Pri analýze metódou FTA je nutný systematický prístup, nakoľko je **potrebné vystihnúť funkčné väzby medzi prvkami sledovaného systému**. Metóda FTA prechádzajúc zhora nadol po strome poruchových stavov ľahko umožňuje rozoznať príčinnú závislosť nežiadúceho stavu.

Popri základných definíciách, ako sú systém, subsystém, komponenty, je účelné ozrejmiť aj niektoré špecifiká tejto metódy. Je nutné uvažovať o systéme a jeho štruktúre, ako aj o jeho funkciách. Jeden technický systém môže vykonávať rôzne funkcie. Jednotlivé subsystémy, tak ako systém, môžu mať viacero čiastkových funkcií. Komponentom sa nazýva hierarchicky najnižší prvok systému.

Jednotlivé nepriaznivé stavy, resp. javy, je vhodné deliť na:

- primárne (prípustný nepriaznivý stav, pri ktorom nedochádza k veľkej zmene cieľovej funkcie zabezpečovanej komponentom systému);
- sekundárne, následné (nepřípustné, vzniká výpadkom komponentu);
- komanditné, príkazové (funkčnosť komponentu je zachovaná, ale komponent dostáva chybné podnety).

Použitie a cieľ

Metóda FTA je vhodná najmä na analýzu systémov, ktoré sa skladajú z funkčne viazaných alebo závislých subsystémov, slúžiacich k splneniu definovanej funkcie. Najčastejšie sa používa v jadrovej technike, zložitých systémoch, akými sú lietadlá, chemické technológie a zložité informačné systémy.

Umožňuje jednoduché pochopenie systému a jeho funkčných väzieb, ako aj vplyvových faktorov. V prípade, ak sú stromy porúch rozsiahle, je vhodné použiť výpočtovú techniku, nakoľko proces overovania zostaveného stromu porúch bežnými spôsobmi by bol rozsiahly.

Cieľom tohto postupu je:

- systematické identifikovanie všetkých možných kombinácií príčin, ktoré vedú k neželaným javom;
- vytvorenie modelu (kauzálnej závislosti) pre skúmanie bezpečnosti sledovaného systému za účelom poznania vstupno-výstupných interakcií;
- jednoduché definovanie pravdepodobnosti neželaného stavu v systéme, resp. jeho ľubovoľnej časti;
 - poskytnutie prehľadného analytického zápisu logických operácií existujúcich v sledovanom systéme;
- zostrojenie modelu pre simuláciu bezpečnosti, spoľahlivosti, atď.;
- zobrazenie sledovaného systému formou grafického modelu, do ktorého sú zaznamenávané kvantitatívne a kvalitatívne údaje;
- rozpoznanie jednotlivých rizikových faktorov v procese analýzy rizika.

Postup

Pri analýze stromu poruchových stavov sa postupuje po krokoch. Špecifická postupnosť krokov nie je pre všetky posudzované systémy unifikovaná. Uvedená postupnosť krokov je minimom, ktoré musí obsahovať každá analýza:

•Definovanie analyzovaného systému, účel a rozsah analýzy a základné predpoklady, ktoré boli prijaté. Predpoklady majú obsahovať podmienky, pri ktorých je sledovaný systém prevádzkovaný (normálna prevádzka, údržba, špeciálne úkony a pod.). Množstvo nutných informácií je podmienené cieľom analýzy. **Často nepostačujú znalosti jednej osoby a je nutné vytvoriť profesijné skupiny za účelom získania postačujúcich informácií.**

•Definovanie nežiadúcej udalosti - poruchy. Špecifikovanie nežiadúcej udalosti znamená definovanie začiatku vzniku alebo existenciu nebezpečných podmienok, resp. neschopnosť systému plniť požadované funkcie.

•Konštrukcia stromu poruchových stavov. Strom poruchových stavov je grafické zobrazenie pozostávajúce z jednotlivých prvkov, ktoré sú viazané logickými operáciami popisujúcimi sledovaný proces. Je nutné, aby v procese tvorby boli rozlíšené podmienené a nepodmienené stavy.

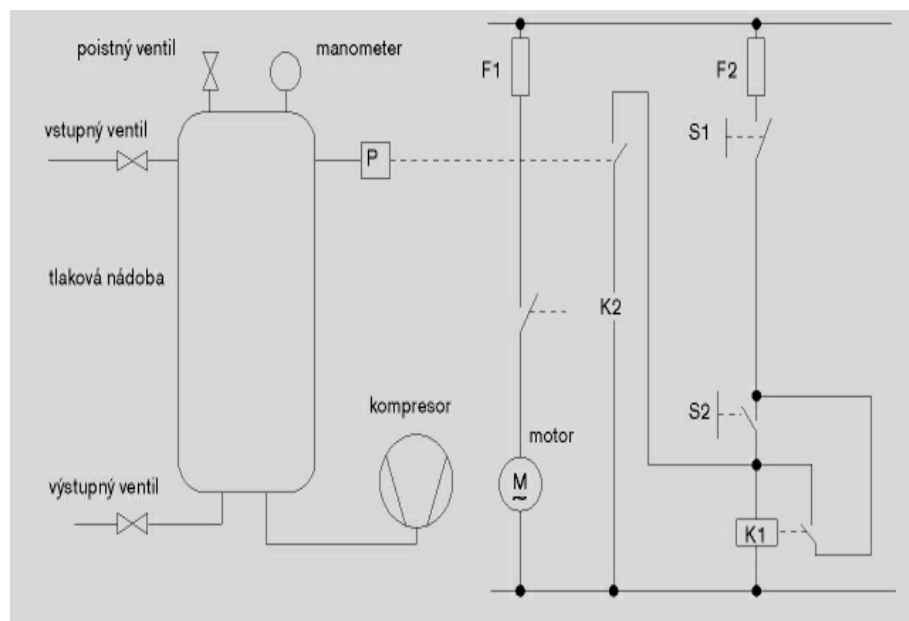
•Hodnotenie stromu poruchových stavov.

Medzi základné ciele logickej (kvalitatívnej) a numerickej (kvantitatívnej) analýzy systému patria:

- sledovanie stavov, ktoré môžu priamo spôsobiť poruchu systému, a určenie pravdepodobnosti takéhoto stavu,
- posúdenie odolnosti systému voči poruchovým stavom,
- overenie nezávislosti porúch systémov, subsystémov, prvkov,
- posúdenie správnosti informácií pre kritické prvky systému,
- určenie diagnostických prístupov pre koncepciu zlepšenia existujúceho stavu.
- správa o výsledkoch analýzy.

Jednotlivé kroky tohoto postupu je možné ukázať na príklade, z ktorého sú zrejmé odlišnosti od metódy FMEA.

Analyzovaný je pre porovnanie systém tlakovej nádoby, obr.17. Relé K1 pracuje ako samostatné stop relé. Systém sa uvádza do činnosti zopnutím spínača S2. Relé K2 pracuje ako samostatné spínacie relé, ktoré spúšťa motor. Pri dosiahnutí maximálneho tlaku sa rozopne relé K2, ktoré vypne motor kompresora.



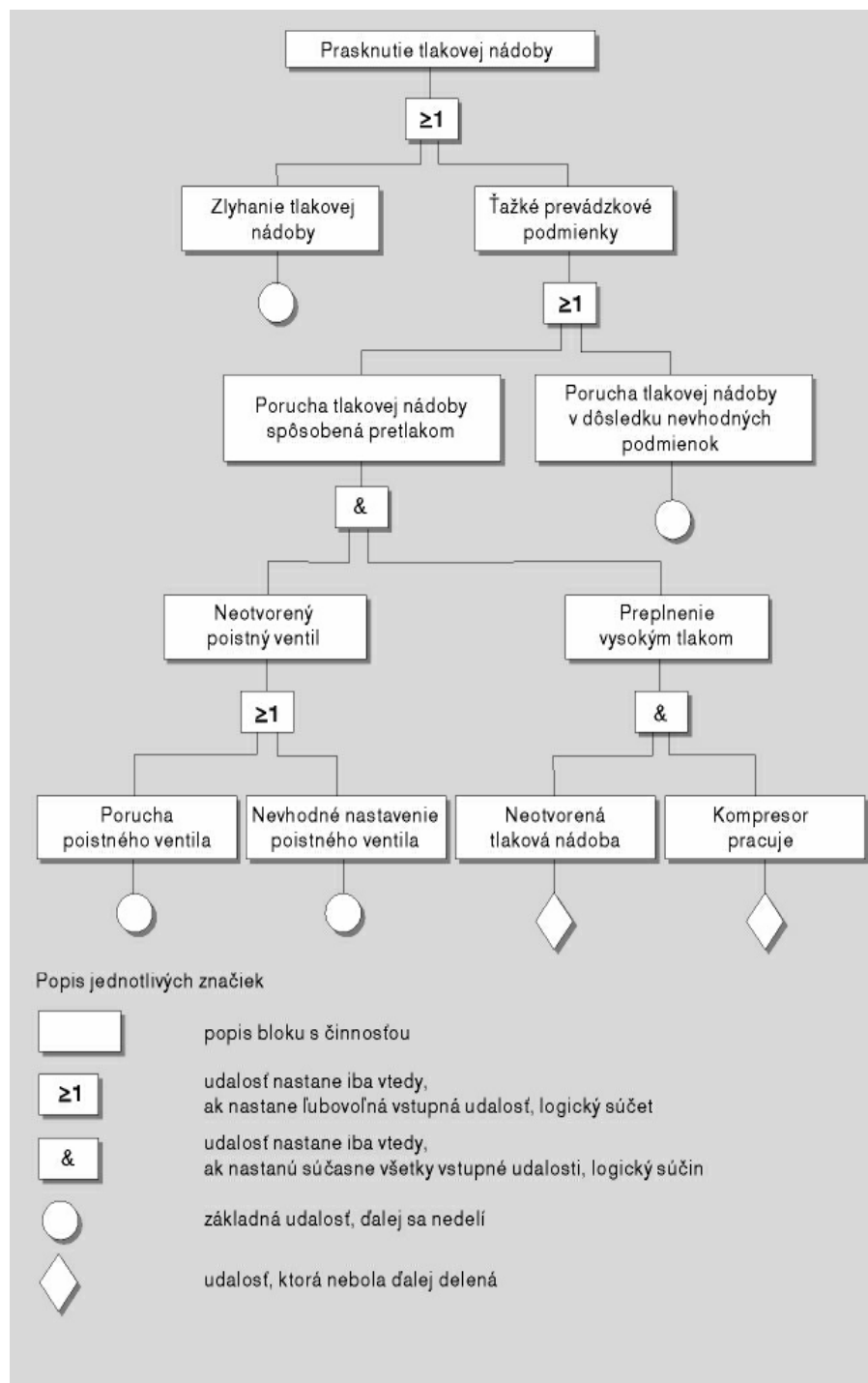
Obr.17, systém tlakovej nádoby

Zostavenie stromu porúch obsahuje nasledovné kroky:

- nepriaznivou udalosťou je trhlina v tlakovej nádobe;
- prasknutie tlakovej nádoby môže nastať, ak vysadia jednotlivé komponenty tlakovej nádoby;
- vzniknutie nepriaznivej udalosti je možné, ak jednotlivé komponenty systému tlakovej nádoby sú nefunkčné. Buď dôjde k zlyhaniu tlakovej nádoby (primárny výpadok), alebo dôjde k výpadku vplyvom ťažkých prevádzkových podmienok (sekundárny výpadok);
- porucha nie je spôsobená funkčným výpadkom (výpadok funkcie);

- identifikovali sa dva možné výpadky, trhlinka v tlakovej nádobe spôsobená pretlakom, alebo prasknutie tlakovej nádoby v dôsledku nevhodných podmienok prostredia;
- je nutné analyzovať poruchovosť jednotlivých komponentov.

Strom porúch je zobrazený na obr.18.



Obr.18, strom porúch pre kotol podľa obr.17

FMEA (Failure mode and effect analysis - analýza spôsobov a dôsledkov poruchových stavov), ako aj FMECA (Failure mode and effect critical analysis - analýza dôsledkov identifikovaných poruchových stavov)

Metóda FMEA, ako aj FMECA sú metódy, ktoré boli vyvinuté pre potreby štúdia porúch v systémoch. Sú aplikovateľné na rôzne systémy (elektrické, hydraulické, mechanické a pod.) ako aj ich kombinácie.

FMEA je postup popisujúci priebeh vzniku a dôsledok poruchy. Logickým rozšírením FMEA o zváženie dôsledku poruchy a pravdepodobnosti výskytu porúch je metóda FMECA. Dôsledok poruchy je zatriedovaný do niekoľkých tried v závislosti na zvolených kritériách, napr. bezpečnosť (usmrtenie, ľahký úraz a pod.). Obidve metódy umožňujú identifikovať poruchy s významnými následkami, ktoré ovplyvňujú funkcie systému.

Vo všeobecnosti platí, že poruchy ľubovoľného prvku systému negatívne ovplyvňujú funkčnosť systému. Pri štúdiu bezpečnosti, spoľahlivosti a prevádzkyschopnosti analyzovaného systému sa vyžaduje kvantitatívna a kvalitatívna analýza, ktoré sa vzájomne dopĺňajú. Metódy kvantitatívnej analýzy umožňujú výpočet a predpoveď sledovaných parametrov analyzovanej činnosti.

Postup analýzy je možné uplatniť v konkrétnej úrovni systému, pre ktoré sú k dispozícii kritériá porúch. Postup vychádza z charakteristiky poruchy základného prvku a z funkčnej štruktúry prvku. Stanovuje sa vzťah medzi poruchami prvku a poruchami systému, alebo zlyhanie funkcie prvku, resp. systému.

FMEA je obmedzená na kvalitatívnu analýzu spôsobu porúch v sledovanom systéme a nezahŕňa ľudské chyby napriek skutočnosti, že v bežných systémoch takéto chyby existujú.

Použitie a ciele

Nakoľko ide o systémový prístup, metódu je možné aplikovať v rôznych oblastiach, záleží predovšetkým od druhu analyzovaného systému a stanovených cieľov. Používa sa predovšetkým na hľadanie **procesných a konštrukčných** nedostatkov analyzovaného systému. FMECA je použiteľná vo všetkých troch zložkách integrovaného systému riadenia bezpečnosti (kvalita, environmentalistika, bezpečnosť). V oblasti bezpečnostného konštruovania je dnes rozšírená v procesných dejoch používa aj v automobilovom priemysle.

Pri rozhodovaní o rozsahu a spôsobe aplikácie FMECA v konkrétnom systéme a v konkrétnom prvku je nutné zvážiť, pre ktoré účely a v ktorej časovej fáze vzhľadom na etapy technického života systému, ako aj vzhľadom na ostatné činnosti sa metóda má použiť. Je potrebné zvážiť požadovaný stupeň poznania nežiadúcich javov vo forme porúch a ich

dôsledkov. Na základe týchto úvah je možné rozhodnúť o rozsahu analýzy na konkrétnej úrovni systému (systém, podsystém, diel, prvok) vo väzbe na proces navrhovania a vývoja analýzy.

Systémová FMECA - je tímová metóda, ktorá začína v rannom štádiu procesu vzniku výrobku, aby mohli byť zavedené preventívne opatrenia na predchádzanie vzniku možných porúch t.j. minimalizovali sa riziká vývojových a plánovacích procesov.

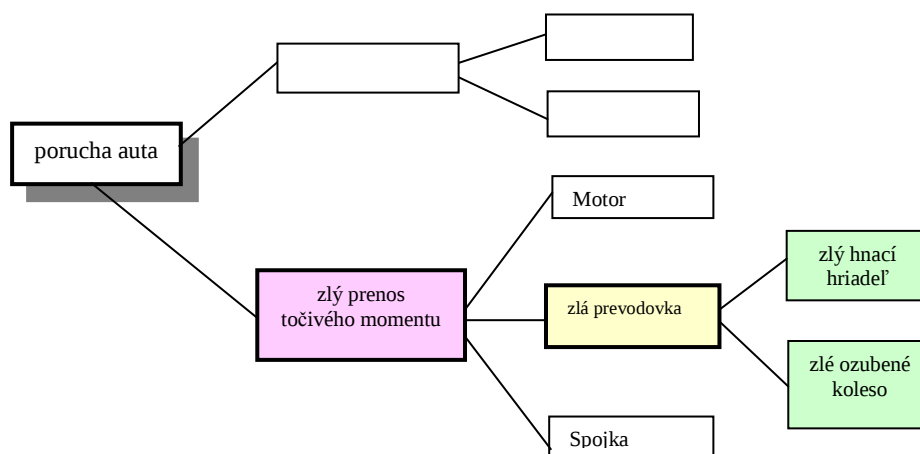
Oblasť použitia systémovej FMECA:

- vývoj výrobku,
- plánovanie procesov.

Systémová FMEA výrobku skúma možné vady funkcií systémov výrobku (napr. prevodovky, agregátu). Postupuje až k prvotným vadám jednotlivých dielov. Možné spôsoby zlyhania jednotlivých dielov sa skúmajú *konštrukčnou FMECA*.

Postupnosť prác:

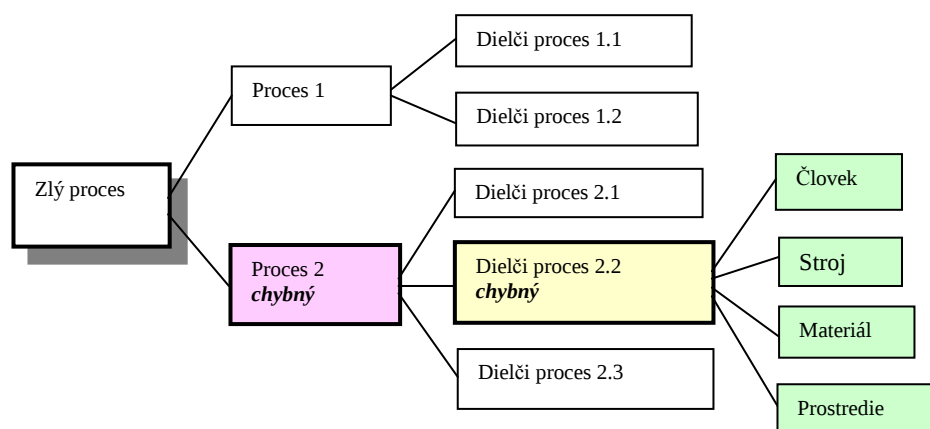
Do tabuľkového formulára sa zapíše skúmaný výrobok (automobil), **jeho možná vada** (resp. vady jeho subsystémov - prevodovka), **príčina vady** (určia sa z vadných funkcií prvkov systému - zlyhanie hnacieho hriadeľa, ozubeného kolesa, ložiska), a ich **následky** (možné následky porúch vedú k vadným funkciám nadradených prvkov - napr. ovplyvnenie funkcie prenosu točivého momentu vedie k úplnej vade systému - auto je nepojazdné).



Obr.19, konštrukčná FMECA

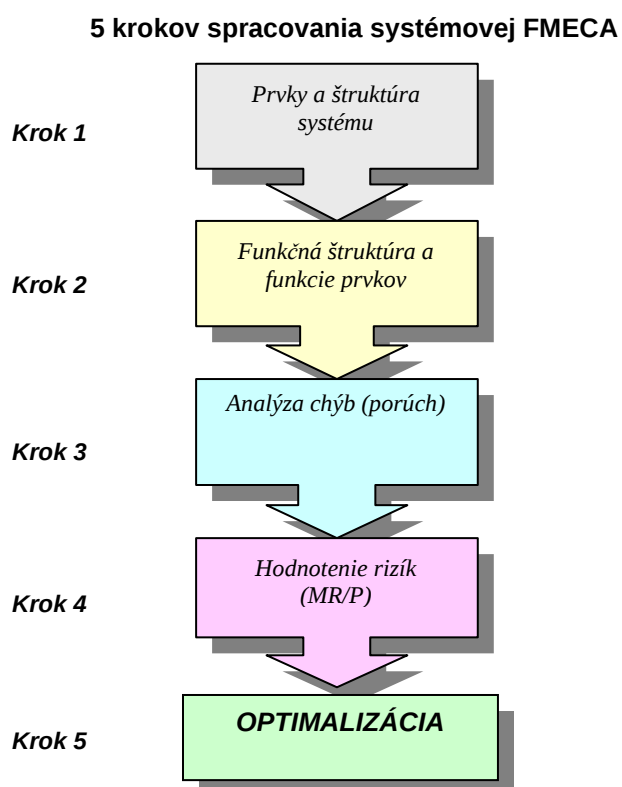
Systémová FMECA procesu skúma možné chybné funkcie výrobného procesu (napr. výrobných postupov, montáže, údržby, logistiky alebo dopravy a pod.). Popisuje výrobný proces podľa zúčastnených prvkov systému: **človek - stroj - materiál - prostredie**. Teda jednotlivé **kroky procesu**

(operácie) sa berú ako funkcie týchto prvkov systému. Skúmanie chybných funkcií a porúch, ak je to nutné, sa prevádza až po technické vlastnosti výrobných zariadení.



Obr.20, procesná FMECA

Postupnosť krokov ako pri konštrukčnej tak i pri procesnej FMECA metóde je možné zhrnúť do krokov, obr.21.



Obr.21, postupnosť krokov metódy FMECA

FMECA má predovšetkým tieto ciele:

- vyhodnotenie dôsledkov a postupnosti javov pre každý zistený priebeh poruchy prvku spôsobenú akoukoľvek príčinou na rôznych funkčných úrovniach;
- určenie významnosti dôsledku poruchy s ohľadom na správne vykonávanie funkcie s uvážením dôsledku pri zohľadnení vopred zvolených kritérií, napr. kritérium akceptovateľného rizika;
- klasifikovanie zistených porúch podľa toho, za akých podmienok je ich možné diagnostikovať, testovať;
- určenie ukazovateľov významnosti a pravdepodobnosti poruchy v prípade, ak sú k dispozícii potrebné informácie.

FMECA je účinná predovšetkým vtedy, ak je aplikovaná na prvky systému, ktoré spôsobujú poruchu celého systému.

FMECA môže byť zložitá a zdĺhavá v prípade rozsiahlych systémov, ktoré majú mnoho funkcií a pozostávajú z mnohých prvkov. Je to spôsobené tým, že je nutné spracovať podrobné informácie o systéme. Rozsah údajov sa zväčšuje aj uvažovaním stratégie údržby. Ďalším obmedzením je skutočnosť, že FMECA obvykle nezahrňuje ľudské chyby. Interakcia medzi človekom a strojom sa skúma špeciálnymi metódami. Ľudské chyby sa v prevádzke objavujú v určitej postupnosti, ktorú je vhodné analyzovať metódami popisujúcimi kauzálnu závislosť správania sa človeka. FMECA určí slabé miesta systému, ktoré sú citlivé na ľudský faktor.

FMEA ako aj FMECA neumožňujú analyzovať funkčné väzby medzi jednotlivými štruktúrami a jednotlivými prvkami systému.

FMECA pozostáva z týchto charakteristických 5 krokov (obr, 21) :

- | | |
|--|---------------|
| • popis systému a jeho základných funkcií, definovanie minimálnych funkcií s ohľadom na zvolené kritériá (bezpečnosť, spoľahlivosť a pod.) | Krok 1 |
| • vypracovanie funkčných blokových štruktúr, ktoré usporiadajú analyzovaný systém do prehľadných celkov | Krok 2 |
| • stanovenie základných princípov a spôsobu dokumentácie postupu | |
| • spôsob identifikácie porúch, ich príčin a dôsledkov | Krok 3 |
| • voľba metód na identifikáciu porúch | |
| • vyšetrovanie špecifických kombinácií viacnásobných porúch | |
| • kvantifikácia pravdepodobnosti a jej zaradenie do kategórie pravdepodobnosti | Krok 4 |
| • kvantifikácia dôsledku a jeho zaradenie do kategórie dôsledku | |
| • návrh konštrukčných a prevádzkových opatrení pre významné poruchy | Krok 5 |
| • odporúčania | |

- odporúčania.

Dokumentácia FMECA

Dokumentovanie výsledkov je formou súpisu nápravných opatrení s príslušným definovaním času a zodpovedného. Dokumentovanie analýzy na zvolenej úrovni konkrétneho prvku

systému je najvhodnejšie prostredníctvom pracovného formulára. Vo formulári sú podchytené predovšetkým údaje o:

- názve analyzovaného prvku systému;
- vykonávanej funkcii sledovaného prvku systému;
- identifikačnom kóde prvku systému;
- prejave poruchy;
- príčine poruchy;
- dôsledku poruchy;
- metóde zisťovania poruchy;
- opatreniach;

Analýza pravdepodobnosti poruchy

Pravdepodobnosť výskytu každej poruchy sa stanovuje kvantitatívne pri použití analytických odhadov. Odhad pravdepodobnosti danej poruchy pre konkrétne prevádzkové podmienky vyžaduje štatisticky významné množstvo spoľahlivých údajov.

Zaradenie pravdepodobností, resp. početnosti jednotlivých porúch do skupín, vytvára kategórie pravdepodobnosti:

- veľmi nízka (1);
- nízka (2);
- stredná (3);
- vysoká (4).

Analýza dôsledku

Pri kvantifikovaní poruchy je potrebné určiť jej dôsledok. Analýza dôsledku poruchy pomáha pri rozhodovaní o následných opatreniach, ako aj o ich významnosti. Každý uvažovaný dôsledok sa klasifikuje podľa závažnosti vzhľadom k celkovej funkčnosti systému a zohľadňuje zvolené kritériá. Musí byť definovaný zoznam porúch a to pre každý prvok zariadenia. Členenie do jednotlivých kategórií je možné podľa dôsledku nasledovne:

- akýkoľvek jav, ktorý by mohol potenciálne spôsobiť zlyhanie hlavných funkcií systému, ktoré by malo za následok významné poškodenie systému alebo jeho okolia, alebo by spôsobilo smrť alebo ťažké zranenie človeka - kategória IV;
- akýkoľvek jav, ktorý by mohol potenciálne spôsobiť zlyhanie hlavných funkcií systému, ktoré by malo za následok významné poškodenie systému alebo jeho okolia, ale ktorý zanedbateľne ohrozuje ľudské životy, resp. zdravie ľudí - kategória III;
- akýkoľvek jav, ktorý zhoršuje činnosť systému, ale nespôsobuje vážne poškodenie systému alebo neohrozuje ľudské životy - kategória II;
- akýkoľvek jav, ktorý by mohol zhoršiť činnosť systému, pričom poškodenie systému alebo jeho okolia bolo zanedbateľné a ľudské životy by neboli ohrozené - kategória I.

Zatried'ovanie javov do kategórií vyžaduje dôkladné rozhodnutie. Kategorizácia musí zahŕňať všetky prvky systému.

Postup určovania mieri rizika

Modifikácia FMECA v súčasnosti umožňuje podrobnejšie definovanie a rozdelenie kategórií pravdepodobnosti a dôsledku.

Modifikácia pracuje s pojmami riziko, nie porucha a ohrozenie, nakoľko dochádza k výpočtu porovnávacej hodnoty rizika (PHR), ktorá je funkčným vyjadrením rizika. Hodnota PHR vyjadruje pokles, resp. rast tejto hodnoty pri vykonaní konkrétnych technických opatrení.

Postup určovania a porovnania hodnoty PHR je zhrnutý do týchto bodov:

1. popis procesu, resp. systému,
2. definovanie možných porúch,
3. stanovenie pravdepodobnosti poruchy - definovanie kategórie pravdepodobnosti A,
4. stanovenie potenciálnych dôsledkov poruchy - definovanie kategórie dôsledku B,
5. vykonanie opatrení na zabránenie rizika - definovanie kategórie opatrenia E,
6. výpočet PHR ($PHR = A \times B \times E$),
7. realizovanie následných opatrení,
8. určenie zodpovednosti a termínu,
9. opätovné vykonanie opatrenia,
10. vyhodnotenie, či hodnota PHR po vykonaní opatrení je menšia, ako je hodnota vypočítaná v bode 6.

Za účelom posúdenia rizika prostredníctvom hodnoty PHR sú stanovené lingvistické premenné pre jednotlivé parametre A,B,E .Príslušná hodnota PHR aj s popisom vzniku poruchy sa zaznamenáva v štandardných tabuľkách pre metódu FMEA.

Príklad:

V technologickom celku valcovania plochých výrobkov za tepla je nutné identifikovať a kvantifikovať jednotlivé ohrozenie pôsobiace v systéme horizontálneho pohonu valcov kvartostolice. Vykonanie analýzy má za cieľ zostavenie poradia jednotlivých opatrení pre zabezpečenie bezpečnosti a spoľahlivosti systému.

Porovnanie niektorých nepriaznivých stavov v sledovanom systéme je v tab.3.

V súlade s postupom analýzy je nutné vykonať rozdelenie systému do jednotlivých podsystémov. Rozbor poruchovosti jednotlivých častí sústrojenstva ukázal, že najslabším prvkom systému pohonu horizontálnych valcov kvartostolice je prevodová skriňa. Samotnú prevodovú skriňu v tomto systéme je vhodné rozdeliť do mechanických, hydraulických a podporných (diagnostických) štruktúr. Na tieto štruktúry vplýva

prostredie. Vplyv prostredia je charakterizovaný technologickými parametrami samotného valcovania (napr. nízka teplota valcovaného materiálu), ktoré spôsobujú nadmerné preťažovanie celého sústrojenstva, ale predovšetkým prevodovej skrine.

Je potrebné podotknúť, že porovnávanie opatrení prostredníctvom hodnoty PHR je možné len medzi dvoma stavmi.

FIRMA	FMEA Konštrukčný uzol PREVODOVKA Process/operácia VALCOVANIE ZA TEPLA								Časť - názov MECHANICKE ČASTI		Evidenčné číslo 543251/85				
	Potvrdenie oddelenia		Názov/oddelenie/dodávateľ		Názov/oddelenie/dodávateľ		Model/systém/zhotovenie CD - 400		Technické opatrenia						
			Podpis		Podpis		Zostavené (Meno/oddelenie)		Datum 12.11.1992		Prepracované datum 12.12.1992				
Systém/ charakteristika	Možná porucha	Možná dôsledky poruchy B	Možná príčina A	Súčasný stav Testovanie 12.09.1992					Namňovaná opatrenia	Zodpovedný	Zapísaný stav				
				Opatrenia E	A	B	E	PHR			Výkonaná opatrenia	A	B	E	PHR
P=8,4 MW 428 ot./min. na vstupe i=8,4, k=2,2	preťaženie prevodovky	nadmerné opotrebenie (lom ozubení)	nízka teplota valcovaného materiálu	evidencia porúch	7	5	10	350	evidencia prírodných rázor	elektroúsek	sledovanie preťaženia počítanom	7	4	9	282
P=8,4 MW 428 ot./min. na vstupe i=8,4, k=2,2	preťaženie prevodovky	skrátenie životnosti prevodovky	nehodná údržba	žiadne	7	5	9	504	zariadenie údržbárskych postupov	údržba	údržbárske postupy	5	7	9	315

Tab.3, porovnanie niektorých nepriaznivých stavov v systéme pohonu kvartostolice

Kontrolné otázky

1. Vymenujte princípy konštruovania bezpečných technických systémov. Popíšte rozdiel medzi nepriamymi a priamymi opatreniami na minimalizovanie rizika
2. Čím je definovaná akceptovateľná hodnota v procese konštruovania bezpečných technických systémov?
3. Charakterizujte kroky metódy FMECA

Odpovede na otázky

1.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Znenie správnych odpovedí.

1.Princípy konštruovania bezpečných technických systémov :

- bezpečný počas životnosti (safe life)
- poškodenie tolerovateľný (fail safe)
- bezpečný proti sabotáži (sabotage proof)

Popíšte rozdiel medzi nepriamymi a priamymi opatreniami na minimalizovanie rizika

Nepriame bezpečnostné opatrenia

Požadovaný stupeň bezpečnosti je možné doiahnuť prostredníctvom konštrukčných opatrení. Výrobok, sa tvorí tak, že konštrukciou sú vylúčené možné ohrozenia. Konštrukčné riešenia nevyžaduje ďalšie opatrenia.

Priame bezpečnostné opatrenia

Priamymi bezpečnostnými opatreniami sa nazývajú tie, kde je nutné použiť bezpečnostných opatrení.

2.Akceptovateľná hodnota v procese konštruovania bezpečných technických systémov je tvorená

- legislatívnymi predpismi
- psychologickými aspektami užívateľa strojného zariadenia
- kultúrou
- politikou BOZP
- vlastníckymi vzťahmi

3. Kroky metódy FMECA sú

- | | |
|--|---------------|
| • popis systému a jeho základných funkcií, definovanie minimálnych funkcií s ohľadom na zvolené kritériá (bezpečnosť, spoľahlivosť a pod.) | Krok 1 |
| • vypracovanie funkčných blokových štruktúr, ktoré usporiadajú analyzovaný systém do prehľadných celkov | Krok 2 |
| • stanovenie základných princípov a spôsobu dokumentácie postupu | |
| • spôsob identifikácie porúch, ich príčin a dôsledkov | Krok 3 |
| • voľba metód na identifikáciu porúch | |
| • vyšetrenie špecifických kombinácií viacnásobných porúch | |
| • kvantifikácia pravdepodobnosti a jej zaradenie do kategórie pravdepodobnosti | Krok 4 |
| • kvantifikácia dôsledku a jeho zaradenie do kategórie dôsledku | |
| • návrh konštrukčných a prevádzkových opatrení pre významné poruchy | Krok 5 |
| • odporúčania | |