Hodnocení rizik (HRI), Metody analýzy rizik (MAR)

sbírka příkladů

Obsah

Část I

HRI

1 Pravděpodobnost - výpočet a popis - nežádoucí události

2 Příklady na Booleovu algebru

3 Předběžná analýza ohrožení (PHA)

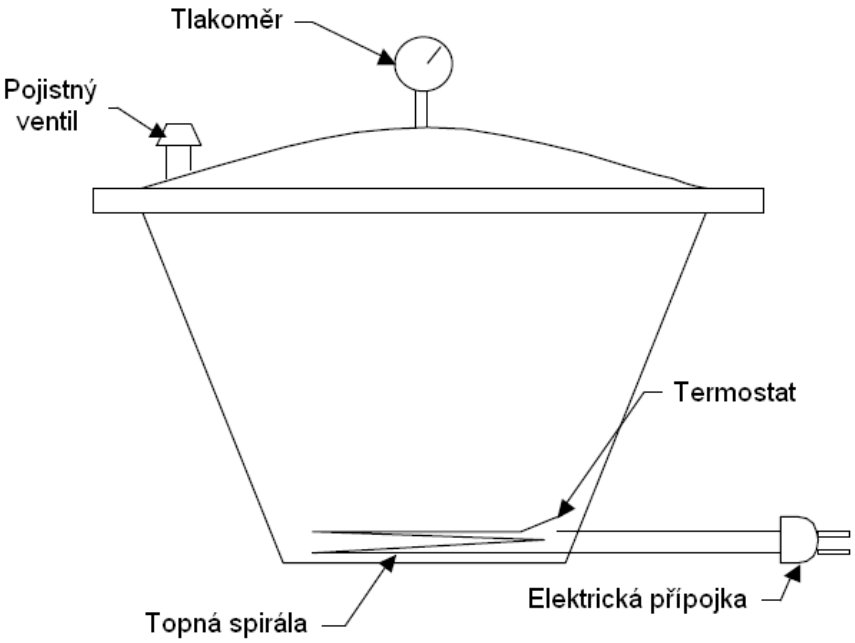
Preliminary Hazard Analysis – Předběžná analýza ohrožení

- Induktivní metoda – jejímž cílem je vlastní identifikace nebezpečí, nebezpečných situací a událostí, které mohou způsobit při dané činnosti, u daného zařízení nebo u systému poškození nebo újmu.
- Nejčastěji se provádí v rané etapě vývoje projektu, kdy je k dispozici málo informací o podrobnostech návrhu nebo o provozních postupech, a může předcházet před dalšími studiemi.
- Je též užitečná při analyzování existujících systémů nebo při stanovení priorit nebezpečí tam, kde okolnosti brání použití pokročilejších metod.
- Při PHA se zpracovává seznam nebezpečí a generických nebezpečných situací uvažováním charakteristik, jako jsou:
  - používané nebo vytvářené materiály a jejich reaktivita,
  - použitá zařízení,
  - provozní prostředí,
  - prostorové rozmístění,
  - rozhraní mezi součástmi systému atd.
- Vstupní informace pro analýzu
  - Účel a cíle analýzy
  - Technický popis systému – technické požadavky, legislativa
  - Definice funkcí systému a jeho prvků
  - Funkční členění systému
  - Definice rozhraní systému
  - Údaje o prvcích systému
- Postup provádění analýzy
  - přípravná část;
  - vlastní PHA jednotlivých prvků systému, resp. systému jako celku;
  - vyhodnocení analýzy.

3.1

3.2 Příklad

Proveďte analýzu PHA pro systém tlakového hrnce na obrázku. Analýzu zpracujte do zjednodušeného připraveného formuláře.



Obrázek 3.1: Zadání příkladu 3.2.

Bezpečnostní opatření tlakového hrnce

1. Pojistný ventil uvolňuje tlak v hrnci, aby nepřekročil nebezpečnou mez.
2. Termostat otevře obvod přes topnou spirálu, pokud teplota vzroste nad $250°C$.
3. Tlakoměr je rozdělen na zelenou a červenou sekci. „Nebezpečí“ je signalizováno, pokud je ukazatel v červené sekci.

Tabulka 3.1: Tabulka pro analýzu PHA.

Ohrožení	Příčina	Následek	Pravděpodobnost nehody v důsledku ohrožení	Nápravná, preventivní opatření

Řešení (PHA –- tlakový hrnec)

Tabulka 3.2: Řešení příkladu 3.2.

Ohrožení	Příčina	Následek	Pravděpodobnost nehody v důsledku ohrožení	Nápravná, preventivní opatření
Zásah elektrickým proudem	Když se obsluha dotkne přívodního kabelu, dojde vlivem vadné izolace vodičů k uzemění přes operátora.	Mírný šok elektrickým proudem v závislosti na celkovém elektrickém odporu lidského těla. Celkový odpor bude záviset na faktorech jako je odpor obuvi, vlhkosti těla v místě kontaktu a na stavu izolace.	Nepravděpodobná	Použít izolaci, která je odolná proti poškození. Použít uzemněný kabel (tříkolíková vidlice). Připojovat tlakový hrnec pouze do zásuvek, jejichž obvod je vybaven proudovým chráničem.
Požár	Vznikají jiskry v blízkosti hořlavého materiálu v případě, že proud prochází z kabelu v místě vadné izolace na jiný objekt.	Závažné poškození zařízení a okolí.	Extrémně nepravděpodobná (V izolaci musí existovat porucha, musí generovat jiskry a hořlavý materiál musí být umístěn v blízkosti kabelu. Pravděpodobnost, že všechny tyto podmínky nastanou současně je velmi nízká.)	Stejná tři opatření jako v případě zásahu el. proudem. Neuchovávat žádné hořlavé materiály v blízkosti zařízení.
Popálení	Obsluha se dotkne horkého povrchu tlakového hrnce nebo horkých materiálů uvnitř hrnce. Pára z bezpečnostního ventilu popálí obsluhu.	Popáleniny prvního a druhého stupně v závislotsi na době kontaktu kůže osoby s horkým povrchem nebo materiálem.	Přiměřeně pravědpodobná	Používat ochranné pomůcky v případě potřeby se hrnce dotknout. Používat tlakový hrnec mimo dosah dětí. Umístit kryt na bezpečnostní ventil aby rozptýlil unikající páru a tak zabránit přímému zasažení a spálení kůže.
Výbuch	Termostat a bezpečnostní ventil selže a nikdo si nevšimne, že tlakoměr indikuje nebezpečí.	Několi zranění nebo úmrtí. Ztráta zařízení. Poškození okolí.	Nepravděpodobná	Používat pouze vysoce kvalitní termostaty a bezpečnostní ventily. Použít vícenásovné zabezpečení (např. dva pojistné ventily)

4 Hazard and Operability Analysis (HAZOP)

Informace čerpány z publikací [4]

4.1 Popis

Název je zkratkou pro Studii nebezpečí a provozuschopnosti a jedná se o strukturované a systematické posouzení plánovaných a existujících produktů, procesů, postupů a systému. Jedná se o techniku sloužící k identifikaci rizik ve vztahu k lidem, zařízení, prostředí a/nebo cílům organizace. Od týmu provádějícího analýzu se rovněž očekává, pokud je to možné, poskytnout řešení pro ošetření rizika. Metoda HAZOP je procesem kvalitativní techniky založené na použití vodících slov, která se dotazují jak návrhový záměr nebo provozní podmínky mohou nebo nemohou být dosaženy v každém jednotlivém kroku návrhu, procesu, postupu nebo systému. Je obecně prováděna mezioborovým týmem pracovníků během souboru setkání. HAZOP je podobná metodě FMEA/FMECA v tom, že identifikuje způsoby poruch v rámci procesu, systému nebo postupu jejich příčiny a důsledky. Liší se v tom, že tým posuzuje nechtěné výstupy a odchylky od chtěných/zamýšlených výstupů a podmínek a pracuje zpět k možným příčinám a způsobům poruch. Zatímco FMEA/FMECA začíná své řešení identifikací způsobů poruch. Technika HAZOP byla původně vyvinuta pro analýzu systémů v chemickém průmyslu, přičemž byla postupně rozšířena na ostatní typy systémů a složitých procesů. To zahrnuje mechanické a elektronické systémy, postupy a softwarové systémy, a je dokonce směřována ke změnám v rámci organizace a k návrhům právnických smluv nebo k jejich revizi.

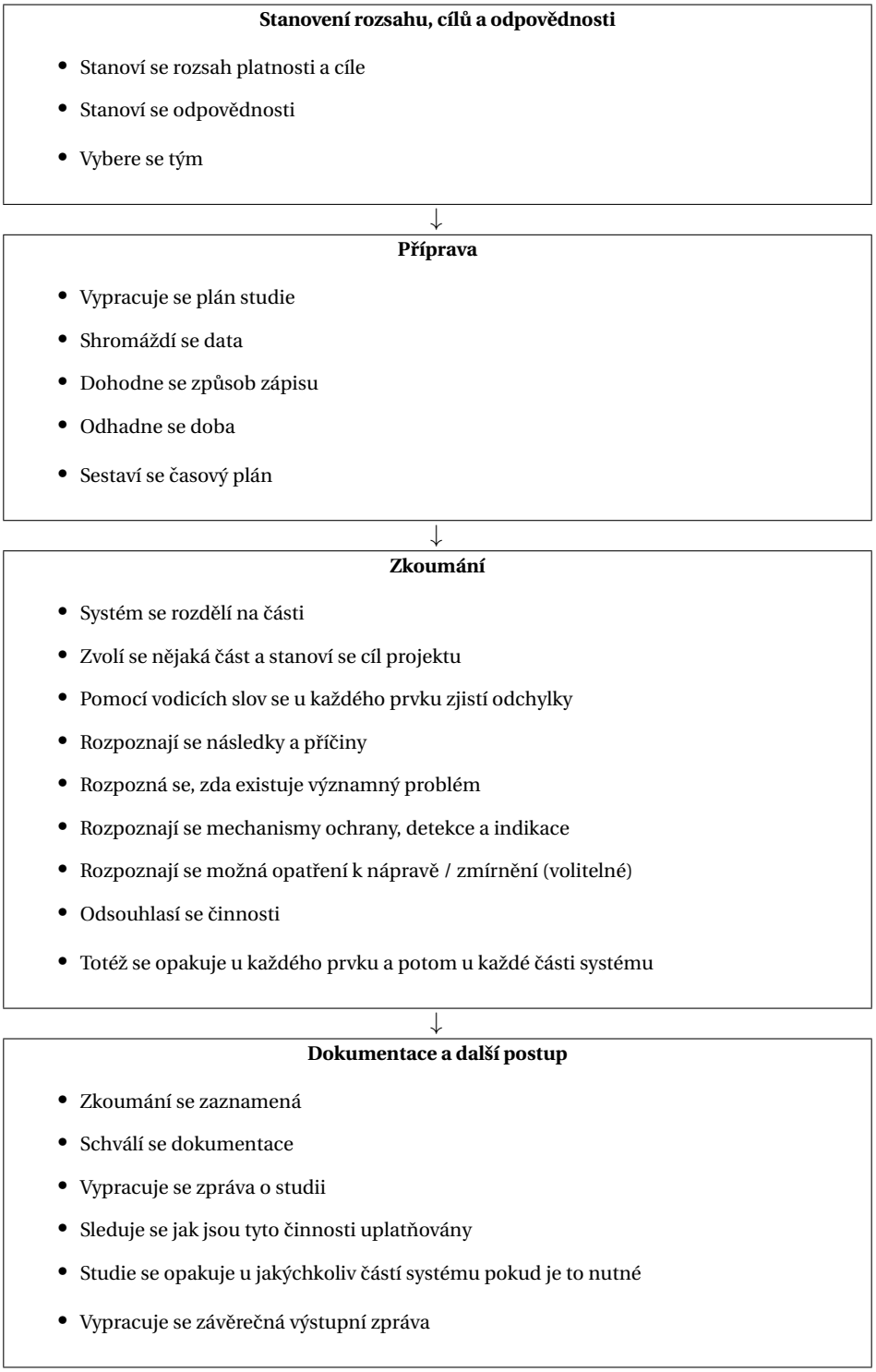
Výhody metody:

- poskytuje prostředky pro systematickou a zevrubnou analýzu a posouzení systému, procesu nebo postupu;
- zahrnuje mezioborový tým pracovníků včetně těch, kteří mají opravdové zkušenosti z každodenního života a těch, kteří mohou uskutečnit určitá protiopatření a ošetření rizika;
- metoda generuje a navrhuje možná řešení a akce na ošetření rizika;
- je aplikovatelná k širokému spektru systémů, procesů a postupů;
- umožňuje explicitní posouzení příčin a důsledků chyb člověka;
- produkuje psaný záznam procesu, který může být použit k prokázání vzhledem ke své pečlivosti

Nevýhody metody:

- detailní analýza může být časově velmi náročná a tedy rovněž velmi nákladná;
- detailní analýza vyžaduje vysokou úroveň dokumentace nebo specifikace systému/procesu resp. postupu;
- může se soustředit na nalezení detailních řešení raději než na pokoušení fundamentálních předpokladů (nicméně toto může být zmírněno fázovým přístupem);
- diskuse se mohou soustředit na detailní sporné body návrhu a ne na širší nebo externí sporné body;
- je omezena pouze náznaky a neúplným návrhem a pouhým úmyslem návrhu, rovněž tak předmětem a cíli, které jsou na zpracovatelský tým položeny;
- proces silně spoléhá na expertízy konstruktérů, kteří je mohou shledávat obtížnými pro to, aby byli vhodně objektivní za účelem nalezení problémů ve vlastním návrhu.

Studie HAZOP se realizují ve čtyřech základních postupných krocích znázorněných na obrázku 4.1.



Obrázek 4.1: Kroky provádění studie HAZOP

4.2 Principy zkoumání

Základem studie HAZOP je „zkoumání pomocí vodicích slov“, což je záměrné vyhledávání odchylek od cíle projektu. Pro usnadnění zkoumání se systém rozdělí na části tak, aby mohl být pro každou část přiměřeně stanoven cíl projektu (projektovaná funkce). Velikost zvolené části zpravidla závisí na složitosti systému a na závažnosti nebezpečí. Ve složitých systémech nebo v systémech, které představují velké nebezpečí, bývají tyto části zpravidla malé. V jednoduchých systémech nebo v systémech, které představují malé nebezpečí, použití větších částí často urychluje studii. Cíl projektu pro danou část systému se vyjádří pomocí prvků, které jsou nositeli význačných vlastností dané části a které představují přirozené rozdělení systému na části. Volba prvků, které se mají zkoumat, je do určitého rozsahu subjektivním rozhodnutím, jelikož může existovat několik kombinací, kterými bývá možné dosáhnout požadovaného účelu, a volba může též záviset na konkrétní aplikaci. Prvky mohou být samostatné kroky nebo etapy postupu, jednotlivé signály a objekty zařízení v řídicím systému, mohou to být zařízení nebo součástky v procesu nebo v elektronickém systému atd. Tým HAZOP zkoumá každý prvek (a charakteristiku, pokud to má význam) z hlediska odchylky od cíle projektu, která může vést k nežádoucím následkům. Rozpoznání odchylek od cíle projektu se dosahuje procesem kladení otázek s použitím předem stanovených „vodicích slov“. Role vodicího slova spočívá ve stimulaci nápaditého myšlení, jeho soustředění na studii a vyvolání nápadů a diskuse, čímž se maximalizují vyhlídky na úplnost studie. Základní klíčová slova a jejich významy jsou uvedeny v tabulce 4.1.

Tabulka 4.1: Základní vodicí slova a jejich všeobecný význam

Vodicí slovo	**Význam**
ŽÁDNÝ, NENÍ ŽÁDNÝ, NE	Úplná negace cíle projektu (projektované funkce)
VYŠŠÍ	Kvantitativní nárůst, kvantitativní plus
NIŽŠÍ	Kvantitativní pokles, kvantitativní minus
A TAKÉ, JAKOŽ I, A ROVNĚŽ	Kvalitativní nárůst, kvalitativní plus
ČÁSTEČNĚ	Kvalitativní pokles, kvalitativní minus
OBRÁCENÝ, ZPĚTNÝ	Logický opak cíle projektu (projektované funkce)
JINÝ NEŽ	Úplná náhrada/záměna

Dodatečná vodicí slova vztahující se ke stanovenému času (clock time) a k pořadí nebo posloupnosti jsou uvedena v tabulce 4.2.

Tabulka 4.2: Dodatečná vodicí slova vztahující se ke stanovenému času a k pořadí nebo posloupnosti

Vodicí slovo	**Význam**
PŘEDČASNÝ	Vzhledem ke stanovenému času
ZPOŽDĚNÝ	Vzhledem ke stanovenému času
PŘED	Vzhledem k pořadí nebo posloupnosti
PO	Vzhledem k pořadí nebo posloupnosti

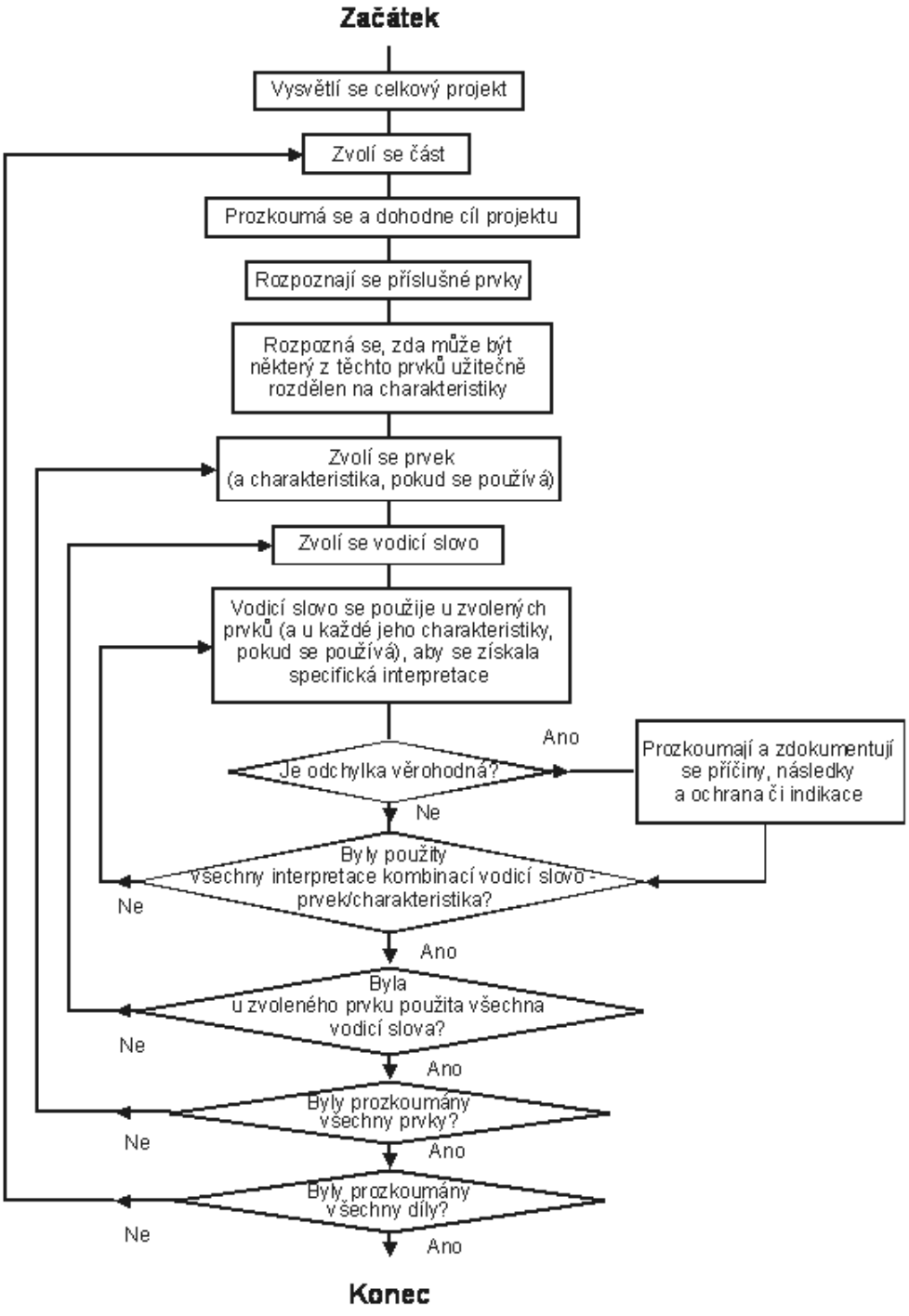
V etapě plánování studie HAZOP má vedoucí studie navrhnout počáteční seznam vodicích slov, která se mají používat. Vedoucí studie má navržená vodicí slova vyzkoušet u daného systému a má potvrdit jejich přiměřenost. Volba vodicích slov se má pečlivě uvážit, jelikož vodicí slovo, které je příliš specifické, může omezit nápady a diskusi a vodicí slovo, které je příliš obecné, nemusí efektivně zaměřit pozornost studie HAZOP. Některé příklady různých typů odchylek a s nimi spojených vodicích slov jsou uvedeny v tabulce 4.3.

Tabulka 4.3: Příklady odchylek a s nimi spojených vodicích slov

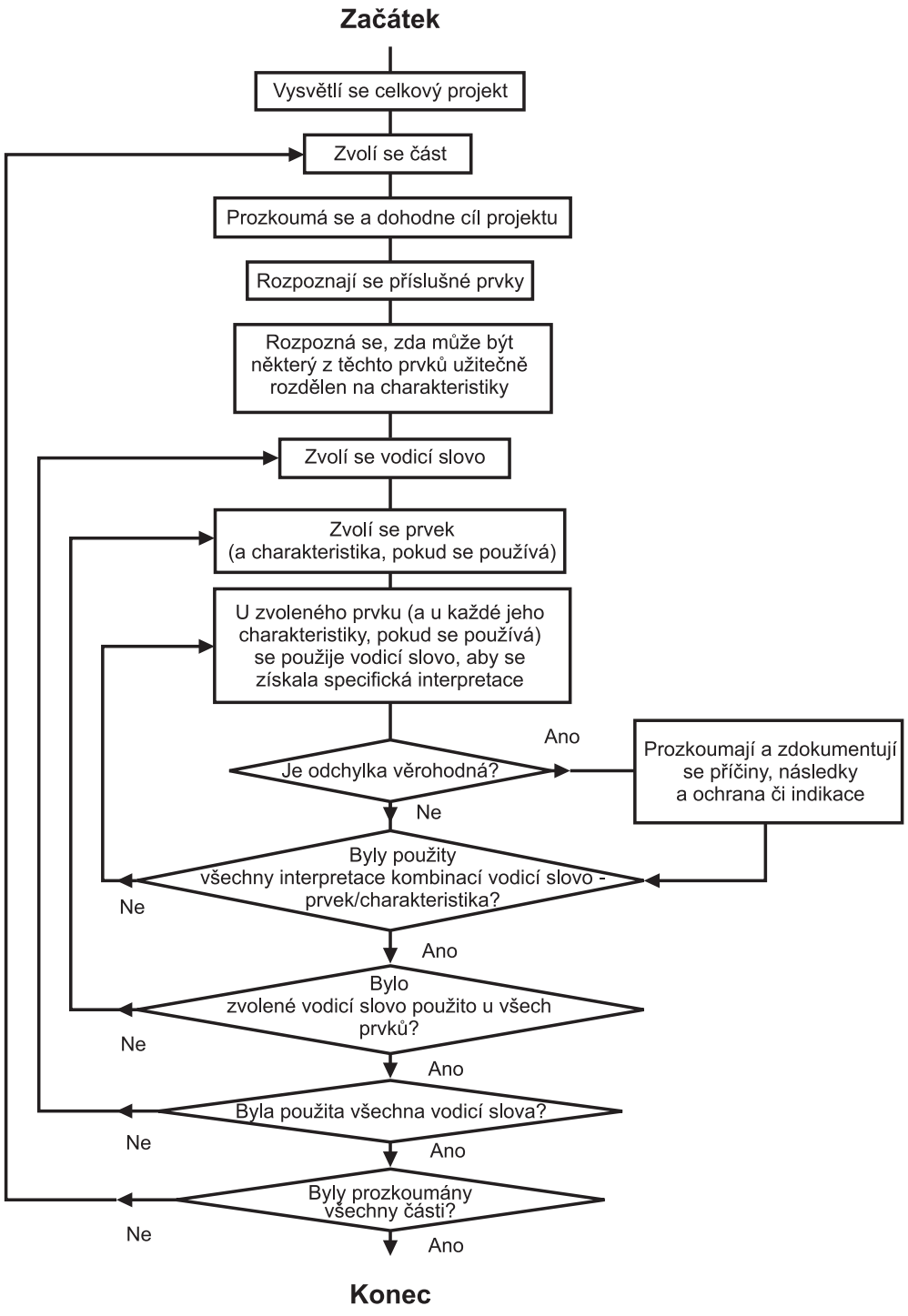
Typ odchylky	**Vodicí slovo**	**Příklad interpretace pro zpracovatelský průmysl**	**Příklad interpretace pro programovatelný elektronický systém (PES)**
Negace	ŽÁDNÝ, NENÍ ŽÁDNÝ	Žádné části zamýšleného cíle (funkce) se nedosáhlo, např. žádný průtok	Nejsou předávána žádná data nebo řídicí signály
Kvantitativní nárůst, kvantitativní plus	VYŠŠÍ	Kvantitativní nárůst, např. vyšší teplota	Data jsou předávána vyšší rychlostí, než je zamýšleno
	NIŽŠÍ	Kvantitativní pokles, např. nižší teplota	Data jsou předávána nižší rychlostí, než je zamýšleno
Kvalitativní nárůst, kvalitativní plus	A TAKÉ, JAKOŽ I, A ROVNĚŽ	Jsou přítomny nečistoty Současně se vykonává nějaká další operace/krok	Je přítomen nějaký další nebo rušivý signál
	ČÁSTEČNĚ	Dosahuje se pouze něco ze zamýšleného cíle, např. k zamýšlené přepravě kapaliny dochází pouze částečně	Data nebo řídicí signály jsou neúplné
Náhrada, záměna	OBRÁCENÝ, ZPĚTNÝ	Toto vodicí slovo se používá např. pro obrácený tok v potrubí a zpětnou chemickou reakci	Zpravidla se systému PES netýká.
	JINÝ NEŽ	Dosáhlo se jiného výsledku, než byl původní cíl, např. došlo k přenosu nesprávného materiálu	Data nebo řídicí signály jsou nesprávné
Čas	PŘEDČASNÝ	K něčemu, např. ke chlazení nebo filtraci, došlo relativně dříve vzhledem ke stanovenému času	Signály přicházejí příliš brzy vzhledem ke stanovenému času
	ZPOŽDĚNÝ	K něčemu, např. ke chlazení nebo k filtraci, došlo relativně pozdě vzhledem ke stanovenému času	Signály přicházejí příliš pozdě vzhledem ke stanovenému času
Pořadí nebo posloupnost	PŘED	K něčemu, např. ke směšování nebo ohřevu, došlo v nějaké posloupnosti příliš brzy	Signály přicházejí dříve, než bylo v nějaké posloupnosti zamýšleno
	PO	K něčemu, např. ke směšování nebo ohřevu, došlo v nějaké posloupnosti příliš pozdě	Signály přicházejí později, než bylo v nějaké posloupnosti zamýšleno

Kombinace vodicí slovo – prvek/charakteristika mohou být ve studiích jiných systémů, v jiných etapách životního cyklu a při použití jiných prezentací projektu interpretovány odlišně. Některé kombinace nemusí mít pro danou studii smysluplnou interpretaci a nemá se na ně brát ohled. Interpretace všech kombinací vodicí slovo – prvek/charakteristika má být přesně vymezena a dokumentována. Soustavu kombinací vodicí slovo/prvek lze považovat za matici, ve které vodicí slova určují řádky a prvky určují sloupce. V každé takto vytvořené buňce matice potom bude specifická kombinace vodicího slova a prvku. K úplnému rozpoznání všech nebezpečí je nutné, aby prvky a s nimi sdružené charakteristiky pokrývaly všechny příslušné aspekty cíle projektu a vodicí slova pokrývala všechny odchylky. Ne všechny kombi-

nace budou dávat věrohodné odchylky, takže i když se uváží všechny kombinace vodicích slov a prvků, může mít matice několik prázdných míst. Existují dvě možné posloupnosti, v nichž se mohou buňky matice zkoumat, a sice ‚sloupec po sloupci', tj. nejdřív prvek, nebo ‚řádek po řádku', tj. nejdřív vodicí slovo. Výsledky těchto zkoumání mají být v zásadě stejné. Analýza se má řídit podle toku nebo posloupnosti týkající se předmětu analýzy, přičemž má postupovat od vstupů k výstupům v logické posloupnosti. Síla technik rozpoznávání nebezpečí, jako je HAZOP, spočívá v systematickém procesu zkoumání krok za krokem. Existují dvě možné posloupnosti zkoumání: „nejdřív prvek" a „nejdřív vodicí slovo", jak je znázorněno na obrázcích 4.2 a 4.3.



Obrázek 4.2: Vývojový diagram postupu zkoumání HAZOP – Posloupnost „nejdřív prvek“



Obrázek 4.3: Vývojový diagram postupu zkoumání HAZOP – Posloupnost „nejdřív vodicí slovo“

4.3 Příklady

4.3.1 Hodnocení příčin kolize cisterny ADR s vlakem na železničním přejezdu

Příklad se zabývá hodnocením příčin kolize cisterny ADR s vlakem na železničním přejezdu. Jedná se o aplikaci metody HAZOP s posloupností „nejdřív prvek“ na modelovou úlohu. Vybrány byly takové charakteristiky, které jsou reprezentativní a relevantní pro nadefinované prvky modelového systému.

Tabulka 4.4: Pracovní výkaz analýzy HAZOP příčin kolize cisterny ADR s vlakem na železničním přejezdu (list 1)

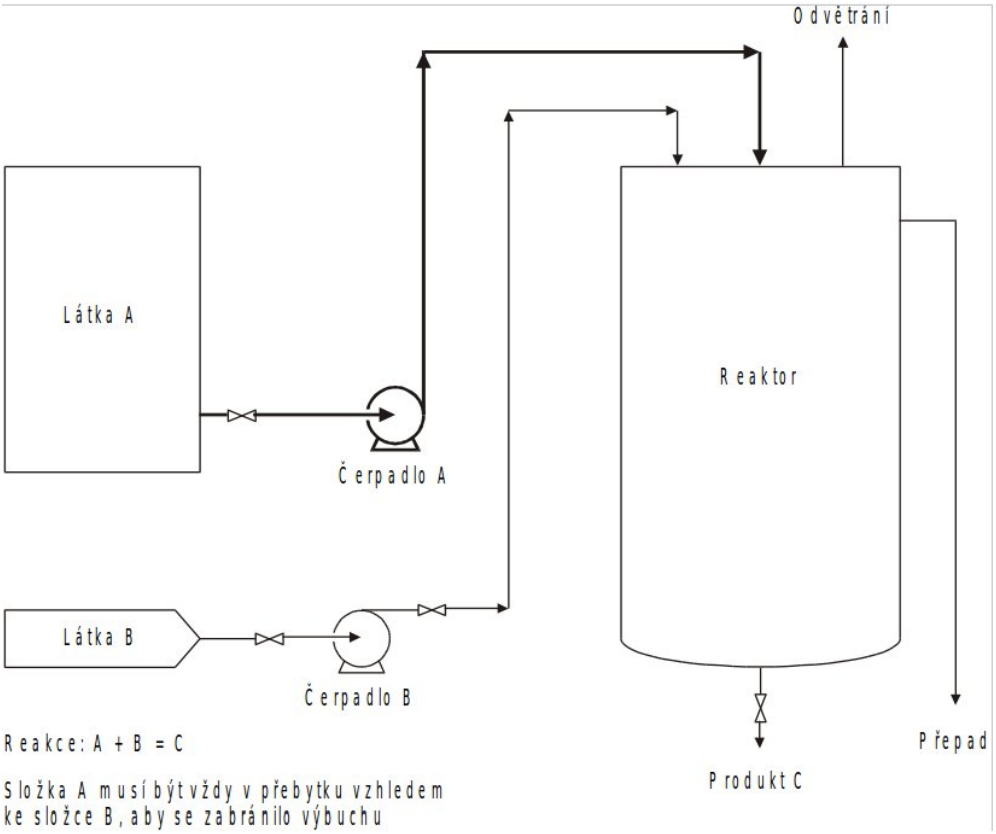
Název studie: Hodnocení příčin kolize cisterny ADR s vlakem na železničním přejezdu								List č.: 1 z 2
Referenční výkres: Schéma železničního přejezdu								Datum: 29.4.2010
Složení týmu:								Datum porady: 29.4.2010
Uvažovaná část: Srážka cisterny ADR s vlakem na železničním přejezdu								
č.	Prvek	Charakteristika	Vodicí slovo	Odchylka	Možné příčiny	Následky	Bezpečnostní opatření	Komentáře	Požadovaná opatření
1	Světelná signalizace	Svítící žárovka	žádný, není žádný	Žárovka nesvítí	Prasklé vlákno	Bez následků	Nejsou	Bez následků (při nefunkční světelné signalizaci fungují jako záloha systémy závor a zvukové signalizace)	Výměna za diodová světla
2	Světelná signalizace	Dobrá viditelnost	Jiný než	Není vidět na světelnou signalizaci	Stav počasí, snížená průhlednost krytu	Bez následků	Nejsou	Bez následků (při nefunkční světelné signalizaci fungují jako záloha systémy závor a zvukové signalizace)	Lepší stínění světelné signalizace proti odlesku, atd.
3	Světelná signalizace	Relé / přepínání	Jiný než	Relé nepřepíná mezi dvěma světly	Běžné opotřebení	Bez následků	Nejsou	Bez následků (při nefunkční světelné signalizaci fungují jako záloha systémy závor a zvukové signalizace)	Zálohování
4	Zvuková signalizace	Zvuk / signalizace	žádný, není žádný	Není slyšet zvuk signalizace	Běžné opotřebení	Bez následků	Nejsou	Bez následků (při nefunkční zvukové signalizaci fungují jako záloha systémy závor a světelné signalizace)	Nejsou
5	Závory	Funkční pohon	Jiný než	Závory se nesklopí v důsledku ne-funkčnosti pohonu	Běžné opotřebení	Bez následků	Nejsou	Bez následků (při nefunkčních závorách fungují jako záloha systémy světelné a zvukové signalizace)	Zálohování pohonu

Tabulka 4.5: Pracovní výkaz analýzy HAZOP příčin kolize cisterny ADR s vlakem na železničním přejezdu (list 2)

Název studie: Hodnocení příčin kolize cisterny ADR s vlakem na železničním přejezdu								List č.: 2 z 2	
Referenční výkres: Schéma železničního přejezdu								Datum: 29.4.2010	
Složení týmu:								Datum porady: 29.4.2010	
Uvažovaná část: Srážka cisterny ADR s vlakem na železničním přejezdu									
č.	Prvek	Charakteristika	Vodicí slovo	Odchylka	Možné příčiny	Následky	Bezpečnostní opatření	Komentáře	Požadovaná opatření
6	Závory	Převod pohonu	Žádný, není žádný	Závory se neskloní v důsledku nefunkčnosti převodu pohonu	Běžné opotřebení	Bez následků	Nejsou	Bez následků (při nefunkčních závorách fungují jako záloha systémy světelné a zvukové signalizace)	Nejsou
7	Závory	Celistvost závor	Jiný než	Mechanické poškození	Běžné opotřebení, vandalismus, vlivy počasí	Bez následků	Nejsou	Bez následků (při nefunkčních závorách fungují jako záloha systémy světelné a zvukové signalizace)	Výztuhy závor
8	Čidlo zabezpečovacího systému	Signál zaregistrování přijíždějícího vlaku	Žádný, není žádný	Nepodává signál o přijíždějícím vlaku	Běžné opotřebení, vandalismus	Srážka s cisternou ADR na přejezdu	Nejsou		Zálohování čidel ve vzd. několika metrů
9	Čidlo zabezpečovacího systému	Signál zaregistrování přijíždějícího vlaku	Jiný než	Podává zkreslený signál o přijíždějícím vlaku	Běžné opotřebení	Srážka s cisternou ADR na přejezdu	Nejsou		Zálohování čidel ve vzd. několika metrů
10	Napájení zabezpečovacího systému	Napájení	Žádný, není žádný	Nefunkční světelná i zvuková signalizace a závory	Běžné opotřebení	Srážka s cisternou ADR na přejezdu	Nejsou		Vlastní generátor napájení
11	Dopravní cisterna ADR	Pohyb / přeprava	Žádný, není žádný	Nemožnost jízdy v místě přejezdu	Běžné opotřebení, pojistný podvod	Srážka s cisternou ADR na přejezdu	Nejsou		Nejsou

4.3.2 HAZOP jednoduchého zařízení na zpracování chemických látek

Uvažuje se jednoduché zařízení na zpracování chemických látek uvedené na obrázku 4.4. Látky A a B jsou nepřetržitě dopravovány čerpadlem ze svých zdrojových tanků, aby se sloučily a vytvořily v reaktoru produkt C. Předpokládejme, že látka A musí být v reaktoru vzhledem k látce B vždy v přebytku, aby se zabránilo nebezpečí výbuchu. Úplná prezentace projektu by zahrnovala mnoho dalších podrobností, jako je vliv tlaku, teploty reakce a reaktantů, míchání, dobu reakce, slučitelnost čerpadel A a B atd., ale pro účely tohoto jednoduchého názorného příkladu budou tyto podrobnosti ignorovány. Zkoumaná část zařízení je znázorněna tučně.



Obrázek 4.4: Schéma jednoduchého toku

Část systému vybraná pro zkoumání je potrubí od zdrojového tanku obsahujícího látku A k reaktoru, včetně čerpadla A. Cíl projektu pro tuto část je nepřetržitě přepravovat látku A z tanku do reaktoru rychlostí větší, než je rychlost přepravy látky B. Cíl projektu vyjádřený v podobě prvků je uveden v záhlaví:

Látka	Činnost	Zdroj	Místo určení
A	Přeprava (rychlostí > B)	Tank pro A	Reaktor

Každé z vodicích slov uvedených v tabulce 4.1 (plus jakýchkoliv jiných slov dohodnutých jako vhodná vodicí slova během přípravných prací) se potom postupně použije u každého prvku a výsledek se zaznamená do pracovních výkazů HAZOP.

Proveďte metodu HAZOP pro prvky „látka“ a „činnost“ podle tabulky 4.6.

Poté, co jsou prozkoumána všechna vodicí slova u každého prvku příslušného této části systému, by mohla být zvolena další část (řekněme přepravní potrubí pro látku B) a proces by se mohl opakovat. Konečně by se tímto způsobem prozkoumaly všechny části systému a výsledky by se zaznamenaly.

Tabulka 4.6: Pracovní výkaz HAZOP pro příklad 4.3.2

Název studie: Příklad procesu								**List č.: 1 z 4**	
Výkres č.:		**Číslo revize:**						**Datum:** 17. 12. 1998	
Složení týmu:		LB, DH, EK, NE, MG, JK						**Datum porady:** 15. 12. 1998	
Uvažovaná část:		Přepravní potrubí ze zásobního tanku A do reaktoru							
Cíl projektu:		**Látka:** A **Zdroj:** Tank pro A		**Činnost:** **Místo určení:**	Nepřetržitá přeprava rychlostí větší než B Reaktor				
Č.	**Vodicí slovo**	**Prvek**	**Odchylka**	**Možné příčiny**	**Následky**	**Bezpečnostní opatření**	**Komentáře**	**Požadovaná opatření**	**Opatření přiděleno**
1	Žádný, není žádný	Látka A	Žádná látka A	Zdrojový tank je prázdný	Žádný tok A do reaktoru Výbuch	Žádná nejsou specifikována	Nepřijatelná situace	Uvážit instalaci poplachu plus zablokování čerpadla B při nízké hladině v tanku A	MG
2									
3	Nižší	Přeprava A (rychlostí > B)	Snížený průtok látky A	Potrubí je částečně ucpané, průsak, snížený výkon čerpadla atd.	Výbuch	Žádná nejsou specifikována	Nepřijatelné	Zkontrolovat průtoky čerpadlem a jeho charakteristiky při oficiálním uvádění do provozu Zkontrolovat postup uvádění do provozu	JK
4									

4.3.3 HAZOP na postup výroby

Uvažuje se malý dávkový proces pro výrobu bezpečnostně kritické plastikové součástky. Součástka má splňovat přísnou specifikaci jak z hlediska materiálových vlastností, tak i barvy. Posloupnost zpracování je následující:

1. vezme se 12 kg prášku „A“;
2. nasype se do míchačky;
3. vezme se 3 kg barvicího prášku „B“;
4. nasype se do míchačky;
5. míchačka se spustí;
6. míchá se 15 min; míchačka se zastaví;
7. smíchaná směs se nasype do tří sáčků po 5 kg;
8. míchačka se vymyje;
9. do míchací nádoby se přidá 50 l pryskyřice;
10. do míchací nádoby se přidá 0,5 kg tužidla;
11. přidá se 5 kg smíchaného prášku („A“ a „B“);
12. míchá se 1 min;
13. směs se do 5 min vylije do formy.

Provádí se studie HAZOP, aby se prozkoumaly způsoby, jakými by mohla být vyrobena látka podle zadané specifikace. Jelikož se jedná o posloupnost postupu, používají se jako zkoumané části při procesu HAZOP příslušné instrukce postupu.

Proveďte metodu HAZOP podle následující tabulky 4.7

Tabulka 4.7: Příklad pracovního výkazu HAZOP příkladu 4.3.3

Název studie: Postupy							**List č.: 1 z 3**	
Název postupu: Malovýroba složky X				**Číslo revize:**			**Datum:**	
Složení týmu: BK, JS, LE, PA							**Datum porady:**	
Uvažovaná část:		Instrukce 1: Vezme se 12 kg prášku „A“						
Č.	**Prvek**	**Vodicí slovo**	**Odchylka**	**Možné příčiny**	**Následky**	**Bezpečnostní opatření**	**Komentáře**	**Požadovaná opatření**	**Opatření přiděleno**
1	Vezme se prášek A	Žádný, není žádný	Žádný prášek „A“ se nevzal	Chyba pracovníka obsluhy	Konečná látka neztuhne	Pracovník obsluhy má vidět, že je v míchačce příliš málo látky. Barva by též byla příliš světlá.	Úplná nepřítomnost látky „A“ se nepovažuje za pravděpodobnou	Žádná	
2	Vezme se prášek A	A také, jakož i, a rovněž	S látkou „A“ se přidává další látka	Látka „A“ je kontaminována nečistotami	Specifikace barvy nemusí být splněna. Nemusí být dosaženo konečné směsi.	Před použitím se otestuje vzorek ze všech dodávek „A“		Zkontrolovat postupy zajištění kvality výrobce	BK
3									
4									

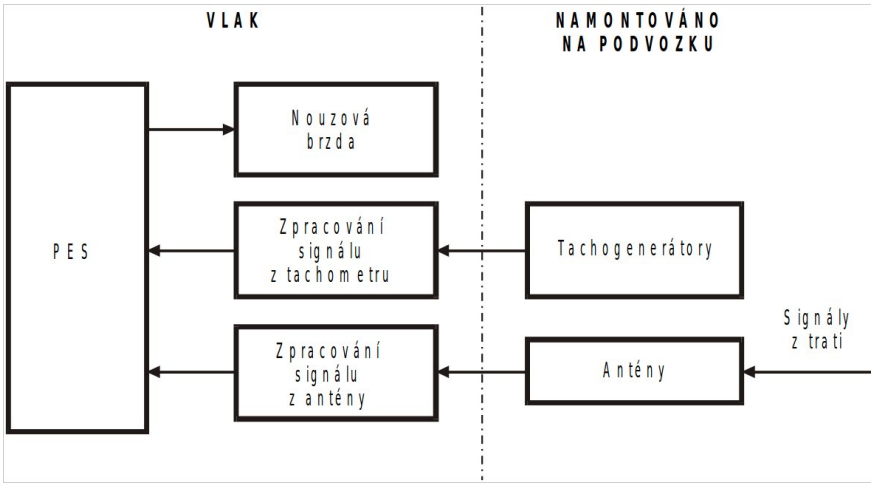
4.3.4 HAZOP na systém automatické ochrany vlaku

Účel systému

Tato aplikace se týká zařízení automatické ochrany vlaku (ATP), které je součástí vlaku. Je to funkce používaná v mnoha vlacích metra a v některých vlacích na hlavních tazích. Zařízení ATP monitoruje rychlost vlaku, srovnává ji s plánovanou bezpečnou rychlostí vlaku a automaticky spouští nouzové brzdění, jestliže zjistí stav překročení rychlosti. Ve všech systémech ATP existuje zařízení jak ve vlaku, tak na trati, kterým se předávají informace z trati do vlaku. Existuje mnoho různých systémů ATP, které se liší v podrobnostech způsobu, jakým plní základní požadavky.

Popis systému

Ve vlaku je jedna nebo více antén, které přijímají signály z traťového zařízení poskytujícího informace o bezpečných rychlostech nebo o bodech zastavení. Tyto informace jsou před předáním programovatelnému elektronickému systému (PES) podrobeny určitému zpracování. Další hlavní vstup do systému PES je z tachometrů nebo z jiných prostředků měření skutečné rychlosti vlaku. Hlavním výstupem systému PES je signál k bezpečnostním relé, jako je relé řídící nouzovou brzdu. Na obrázku 4.5 je uveden jednoduchý blokový diagram tohoto zařízení.



Obrázek 4.5: Zařízení ATP ve vlaku

Tabulka 4.8: Příklad pracovního výkazu HAZOP pro systém automatické ochrany vlaku

Název studie: Systém automatické ochrany vlaku								**List č.: 1 z 2**
Referenční výkres č.: Blokový diagram ATP					**Číslo revize:** 1			**Datum:**
Složení týmu: DJ, JB, BA								**Datum porady:**
Uvažovaná část: Vstup z traťového zařízení								
Cíl projektu: Přes antény poskytovat pro PES signál obsahující informace o bezpečných rychlostech a bodech zastavení								
Č.	**Prvek**	**Charakteristika**	**Vodicí slovo**	**Odchylka**	**Možné příčiny**	**Následky**	**Bezpečnostní opatření**	**Kom.**	**Požadovaná opatření**
1	Vstupní signál	Amplituda	Žádný, není žádný	Žádný signál není detekován	Porucha vysílače	Uvažováno v samostatné studii traťového zařízení			Přezkoumat výstup ze studie traťového zařízení
2	Tachometr	Rychlost	A také, jakož i, a rovněž	Je indikováno mnoho rychlostí	Náhlé změny výstupu způsobené proklu-zováním kola	Může být příčinou akce založené na nesprávné rychlosti			Zkontrolovat, zda se jedná o problém vyskytující se v praxi
3									
4									

5 Analýza způsobů, důsledků (a kritičnosti) poruch (FMEA/FMECA)

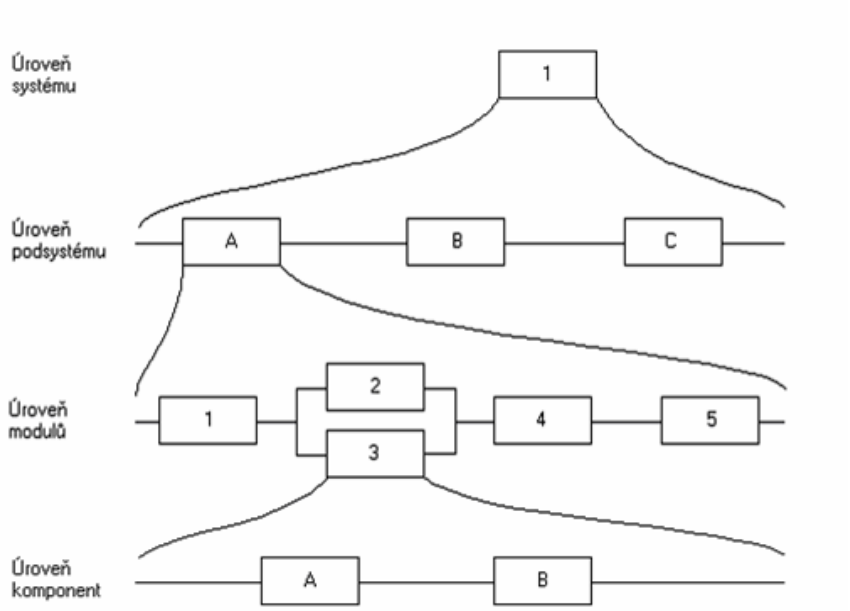
[5]

FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) = Analýza způsobů a důsledků poruch

- strukturovaná kvalitativní analýza, která slouží k identifikaci způsobů poruch systémů, jejich příčin a důsledků

5.1 Popis metody

- Induktivní metoda – provádí kvalitativní analýzu od nižší k vyšší úrovni členění systému.
- Analýza způsobů a důsledků poruch vyžaduje pro správné provedení seznam zařízení systému nebo podniku, znalost funkcí zařízení a způsobů poruch, znalost funkcí celého systému nebo podniku a znalost odezev na selhání zařízení.
- Analýza způsobů a důsledků poruch FMEA vychází ze seznamu zařízení. U každého zařízení jsou uvedeny potenciální poruchy a jejich možné nežádoucí účinky. FMEA identifikuje primární způsoby poruchy, které vedou k nehodě nebo k ní významně přispějí. Účelem FMEA je identifikovat způsoby poruch jednotlivých zařízení a jejich následky.
- Zkoumá jakým způsobem mohou objekty na nižší úrovni selhat a jaký důsledek mohou mít tato selhání pro vyšší úrovně systému (tomu předchází dekompozice a stanovení úrovní systému).



5.2 Cíle metody

- Posouzení důsledků a posloupnosti jevů pro každý zjištěný způsob poruchy prvku, ať má jakoukoliv příčinu, a to na různých funkčních úrovních systému.
- Určení významnosti nebo kritičnosti každého způsobu poruchy vzhledem k požadované funkci systému s uvážením důsledků na bezporuchovost nebo bezpečnost procesu.

- Klasifikace způsobů poruch podle toho, jak snadno je lze zjistit, diagnostikovat, testovat,..
- Odhady ukazatelů významnosti a pravděpodobnosti poruchy, jsou-li k dispozici potřebná data.

5.3 Použití metody

- Nejvýznamnější využití v etapě návrhu a vývoje, jako součást přezkoumání návrhu (metoda předběžného varování).
- Při modifikaci a modernizaci systému.
- Při změnách provozních podmínek.
- Při prokazování požadavků norem, předpisů nebo uživatele.
- Podklad pro:
  - návrh konstrukčních změn,
  - požadavky na provedení zkoušek.
- V období vznikajícího návrhu, konstrukce nebo projektu slouží FMEA k identifikaci a analýze všech potenciálně možných poruchových stavů, které mohou nastat.
- Cílem je odstranit nebo potlačit poruchové stavy změnou či úpravou konstrukčního řešení = **FMEA konstrukční**.
- Při návrhu procesu slouží k identifikaci a analýze všech jeho možných poruchových stavů, jejichž příčiny mohou spočívat v navrhovaném postupu procesu.
  - Cílem je umožnit návrh nápravných opatření k odstranění (potlačení) poruchových stavů změnou návrhu procesu = **FMEA procesní (výrobní)**.
- **FMEA procesní** by měla navazovat na provedenou **FMEA konstrukční** a provádí se jako závěrečná ve fázi schvalování technické přípravy výrobního postupu.
- Rozšířením analýz na vzájemné funkční souvislosti jednotlivých dílů, resp. jednotlivých operací procesů, včetně jejich analýzy z hlediska všech "zúčastněných" prvků (**člověk – stroj – materiál – prostředí**) při **FMEA/FMECA** procesní se dospělo k jejich komplexnějšímu pojetí, které je označováno jako tzv. **FMEA systémová** (výrobková).

5.4 Požadavky metody na vstupní informace

- účel a cíle analýzy
- musí být přesně vymezeno, k jakému účelu je analýza prováděna
- technický popis systému
  - slovní popisy konstrukčního uspořádání, podrobná výkresová dokumentace, schémata, grafy, jednoznačná identifikace a popis funkce jednotlivých prvků systému
- definice funkcí systému a jeho prvků
  - podrobný výčet všech důležitých funkcí systému a prvků
- funkční členění systému
  - členění do funkčních subsystémů až do požadované hloubky analýzy

  - může být podobné konstrukčnímu uspořádání, ale není to pravidlem

- definice rozhraní systému

  - vymezení hraničních bodů a prvků, kde dochází k interakci se „sousedními“ systémy nebo s vnějším okolím, aby se prvky neopakovaly vícekrát v různých systémech

FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis) = Analýza způsobů, důsledků a kritičnosti poruch

- rozšíření metody FMEA o odhad kritičnosti důsledků poruch a pravděpodobnosti jejich nastoupení

$$\text{RIZIKOVÉ ČÍSLO} = \text{VÝZNAM} \cdot \text{VÝSKYT} \cdot \text{ODHALITELNOST}$$

FMECA										
FMEA						Kritéria				
Produkt	Neshoda	Četnost neshody	Následek	Příčina	Opatření	Výskyt	Význam	Odhalení	Rizikové číslo MR/P	Opatření

Obrázek 5.1: Příklad obsahu tabulky FMECA [**?**].

Např. v automobilovém průmyslu stále používají zkratku FMEA, ačkoli obsahem již používají nástroj FMECA.

Tabulka 5.1: Hodnocení významu vady při FMECA návrhu výrobku.

Následek vady	Význam vady	Hodnocení
Nebezpečný bez výstrahy	Vada bez výstrahy ovlivňuje bezpečnost výrobku nebo dodržování zákonných požadavků.	10
Nebezpečný s výstrahou	Vada ovlivňuje bezpečnost výrobku nebo zákonných požadavků s výstrahou.	9
Velmi vážný	Nefunkční výrobek se ztrátou hlavní funkce.	8
Vážný	Funkční výrobek se sníženou výkonností. Zákazník je nespokojen.	7
Střední	Funkční výrobek s nefunkční částí zajišťující pohodlí. Zákazník pociťuje nepohodlí.	6
Nízký	Funkční výrobek, ale části zajišťující pohodlí pracují na nižší úrovni. Zákazník pociťuje určitou nepohodlnost.	5
Velmi nízký	Ozdobné nebo tlumicí prvky neodpovídají. Vadu zaznamená většina zákazníků.	4
Malý	Ozdobné nebo tlumicí prvky neodpovídají. Vadu zaznamená průměrný zákazník.	3
Velmi malý	Ozdobné nebo tlumicí prvky neodpovídají. Vadu zaznamená náročný zákazník.	2
Žádný	Žádný následek.	1

Tabulka 5.2: Pravděpodobnost výskytu vady.

Pravděpodobnost výskytu vady	Možný výskyt	Hodnocení
Velmi vysoká: vada je téměř nevyhnutelná	1–2 ze 2	10
	1 ze 3	9
Vysoká: opakované vady	1 z 8	8
	1 z 20	7
Střední: občasné vady	1 z 80	6
	1 ze 400	5
	1 z 2 000	4
Nízká: relativně málo vad	1 z 15 000	3
	1 ze 150 000	2
Vzdálená: vada je nepravděpodobná	Méně než 1 z 1 500 000	1

Tabulka 5.3: Odhalitelnost vady při FMECA návrhu výrobku.

Odhalitelnost	Pravděpodobnost odhalení vady při posuzování návrhu	Hodnocení
Absolutně nemožná	Posuzování návrhu výrobku neodhalí možnou příčinu vady ani následnou vadu nebo se posuzování neprovádí.	10
Velmi vzdálená	Velmi vzdálená možnost, že posuzování návrhu výrobku odhalí možnou příčinu vady nebo následnou vadu.	9
Vzdálená	Vzdálená možnost, že posuzování návrhu výrobku odhalí možnou příčinu vady nebo následnou vadu.	8
Velmi malá	Velmi malá možnost, že posuzování návrhu výrobku odhalí možnou příčinu vady nebo následnou vadu.	7
Malá	Malá možnost, že posuzování návrhu výrobku odhalí možnou příčinu vady nebo následnou vadu.	6
Průměrná	Průměrná možnost, že posuzování návrhu výrobku odhalí možnou příčinu vady nebo následnou vadu.	5
Mírně nadprůměrná	Mírně nadprůměrná možnost, že posuzování návrhu výrobku odhalí možnou příčinu vady nebo následnou vadu.	4
Vysoká	Vysoká možnost, že posuzování návrhu výrobku odhalí možnou příčinu vady nebo následnou vadu.	3
Velmi vysoká	Velmi vysoká možnost, že posuzování návrhu výrobku odhalí možnou příčinu vady nebo následnou vadu.	2
Téměř jistá	Posuzování návrhu výrobku téměř jistě odhalí možnou příčinu vady nebo následnou vadu	1

- Hodnota rizikového čísla by měla sloužit ke stanovení pořadí důležitosti jednotlivých možných vad vyvolaných určitou příčinou. Vzhledem k tomu, že jednotlivá dílčí kritéria jsou hodnocena v rozmezí od jednoho do deseti bodů, může se rizikové číslo pohybovat v rozmezí od 1 do 1000.

- Je však potřeba si uvědomit, že rizikové číslo může v tomto rozmezí nabývat pouze vybraných hodnot, přičemž jejich rozdělení není rovnoměrné.

- Možných kombinací jednotlivých dílčích hodnot je sice tisíc, ale některých hodnot rizikového čísla nelze dosáhnout a některá se mohou při různých kombinacích opakovat.

Tabulka 5.4: Speciální případy rozdělení při hodnocení rizika možných vad a potřeba opatření.

VÝZNAM	VÝSKYT	ODHALITELNOST	CHARAKTERISTIKA	POTŘEBA OPATŘENÍ
1	1	1	Ideální, cílový stav	NE
1	1	10	Bezpečně řízený proces	NE
10	1	1	Vada se nedostane k zákazníkovi	NE
10	1	10	Vada se může dostat k zákazníkovi	ANO
1	10	1	Častá snadno odhalitelná vada, která ale stojí peníze	ANO
1	10	10	Častá vada, která se může dostat k zákazníkovi	ANO
10	10	1	Častá vada velkého významu	ANO
10	**10**	**10**	**Tady není v pořádku NIC**	**ANO**

5.5 Postup metody FMEA, FMECA

Vlastní provádění metody FMECA zahrnuje čtyři skupiny činností, první skupina samostatně je metodou FMEA:

1. Identifikují se jakékoliv myslitelné poruchové stavy a analyzují se jejich možné projevy, důsledky a příčiny; provádění tohoto kroku analýzy vyžaduje stanovit:

   - místo a / nebo popis
   - projev
   - důsledek
   - příčinu

2. Hodnotí se současný stav tzv. rizikovým číslem MR/P (míra rizika / priorita):

   - Bodová ohodnocení se nejčastěji získávají roztříděním výskytu, významu a odhalitelnosti vždy do deseti tříd podle zvolených klasifikačních tabulek. Např. pro činitel „Význam“ je hodnota 10, resp. 9 přiřazena případům, kdy vzniká bezpečnostní riziko, hodnota 1 je přiřazena případům, kdy má následek poruchového stavu (vady) jen malý význam pro konečného uživatele (např. velmi malé omezení funkcí, rozeznatelné jen odborníkem).

   $$MR/P = \text{Výskyt} \cdot \text{Význam} \cdot \text{Odhalitelnost}$$

   Výskyt bodové ohodnocení pravděpodobnosti výskytu poruchového stavu,

   Význam bodové ohodnocení významu následku (tj. závažnosti z hlediska nepříznivých důsledků pro zákazníka),

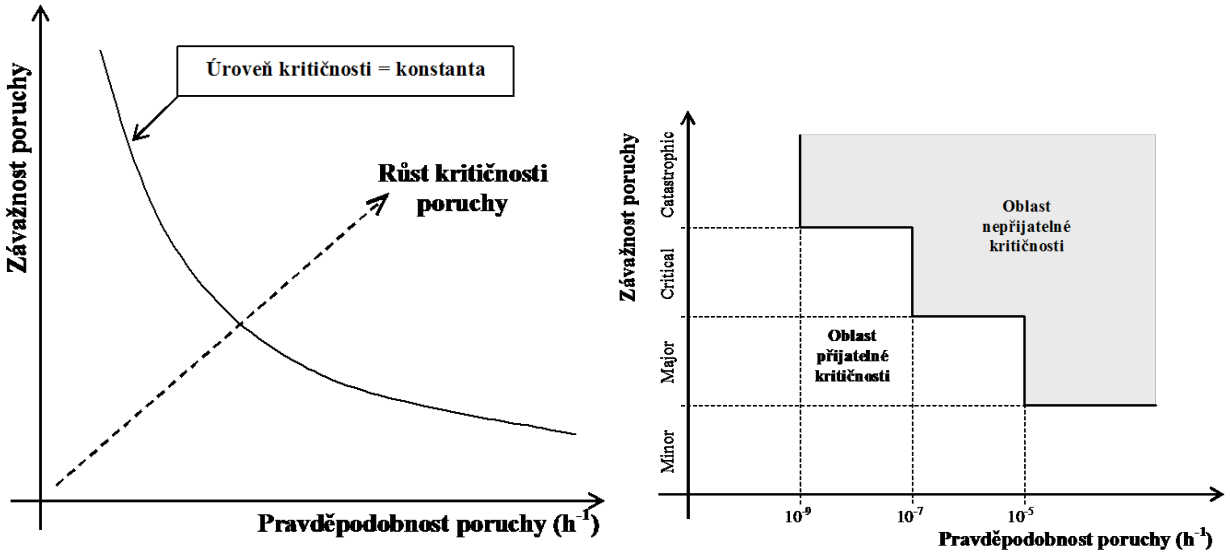
   Odhalitelnost bodové ohodnocení odhalitelnosti (tj. detekce) příčiny, resp. následku poruchového stavu před dodáním zákazníkovi.

3. Navrhnou se opatření k nápravě (změna či úprava konstrukčního řešení, návrhu výrobního postupu apod.) s vymezením termínů a odpovědností.

4. Po realizaci opatření k nápravě se provede opakovaně analýza podle 2. bodu postupu včetně hodnocení rizikovým číslem **MR/P** zlepšeného stavu.

5.6 Kritičnost poruchy

- ohodnocení závažnosti důsledků dané poruchy při uvažování její četnosti



5.7 Příklady

5.7.1 FMECA části automobilové elektroniky s výpočtem RPN

Analyzovanou montážní sestavou je napájecí zdroj a pouze jeho propojení k bateriovým přívodům.

K bateriovým přívodům je připojena dioda D1 a kondenzátor C9 spojující kladný pól baterie se zemí.

Dioda D1 má obrácenou polaritu, aby v případě, že by byl k objektu připojen záporný pól baterie, se toto záporné napětí zkratovalo na zem a objekt by byl ochráněn před poškozením.

Kondenzátor C9 je určen pro filtraci elektromagnetického rušení.

Jestliže by se kterýkoliv z těchto dílů zkratoval na zem, baterie by se též zkratovala na zem, což by vedlo k vybití baterie vozidla. Taková porucha je rozhodně bez varování a porucha typu „vrať se domů pěšky“ je v automobilovém průmyslu považována za nebezpečnou. Tudíž se klasifikace závažnosti pro způsoby poruch obou dílů typu „zkrat“ rovná 10.

Výskyty byly vypočteny z intenzit poruch dílů při jejich příslušných namáháních po dobu života vozidla a potom byly přizpůsobeny stupnici používané v analýze FMEA v automobilovém průmyslu.

Detekce je velmi nízká, jelikož by zkrat jakýchkoliv dílů mohl být při zkoušce ihned zpozorován – objekt nefunguje.

Přerušení jakéhokoliv výše uvedeného dílu nezpůsobí žádnou škodu objektu s výjimkou přerušení diody, potom by nedošlo k ochraně obráceného připojení baterie, zatímco při přerušení kondenzátoru nedojde k žádnému filtrování elektromagnetického rušení – je možné, že u jiných zařízení ve vozidle dojde k šumovému rušení.

V tabulce 5.5 je provedena část analýzy pro diodu D1. Proveďte obdobným způsobem analýzu pro kondenzátor C9.

Tabulka 5.5: FMEA části automobilové elektroniky s výpočtem RPN

Objekt / funkce	**Potenciální způsob poruchy**	**Potenciální důsledek poruchy**	**Závažnost**	**Potenciální příčina / mechanismus poruchy**	**Výskyt**	**Řízení návrhu ohledně prevence**	**Řízení návrhu ohledně detekce**	**Detekce**	**RPN**	**Doporučené opatření**	**Provedené opatření**	**Závažnost**	**Výskyt**	**Detekce**	**RPN**
D1	Zkrat	Zkrat +pólu baterie na -zem Vybití baterie, "vrať se domů pěšky"	10	Vnitřní vada součástky Průraz materiálu	3	Volba kvalitnější součástky s vyšším jmenovitým zatížením	Hodnocení a validační zkoušky bezporuchovosti	1	30						
D1	Přerušení	Žádná ochrana proti přepólování Nezasluhuje pozornost	2	Vnitřní vada součástky Vada kontaktování nebo prasklina v polovodiči	3	Volba kvalitnější součástky s vyšším jmenovitým zatížením	Hodnocení a validační zkoušky bezporuchovosti	2	12						
C9															
C9															

5.7.2 Kompaktní svítidlo sporáku

Kompaktní svítidlo sporáku se skládá z následujících částí:

- Keramický plášť
- Žárovka
- Upevňovací spona
- Podložka
- Skleněná krytka
- Připojovací konektory a kontakty objímky
- Závitový kroužek

Popis funkce jednotlivých částí a jejich identifikace jsou uvedeny v následující tabulce.

Název zařízení	Funkce	Identifikační číslo
Keramický plášť	Nosný díl všech prvků svítidla.	1234-K1
Žárovka	Osvětlení pečící trouby.	25W/240V, T300
Upevňovací spona	Element upevnění svítidla v panelu.	1234-R2
Podložka	Pružný element pod skleněnou krytkou.	1234-R3
Skleněná krytka	Krytka svítidla.	1234-B4
Připojovací konektory a kontakty objímky	Vytváří styk v objímce. Slouží pro připojení vodičů.	1234-R5, R6

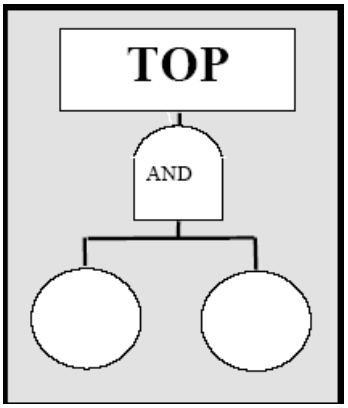
Proveďte analýzu FMEA/FMECA do připravené tabulky 5.6, využijte tabulek 5.1, 5.2 a 5.3 pro volbu hodnot významu (závažnosti), pravděpodbnosti (výskytu) a odhalitelnosti (detekce). Uveďte, která část Vámi vyplňované tabulky je metodou FMEA a která metodou FMECA a proč.

Tabulka 5.6: FMEA/FMECA kompaktního svítidla sporáku

Objekt / funkce	**Potenciální způsob poruchy**	**Potenciální důsledek poruchy**	**Závažnost**	**Potenciální příčina / mechanismus poruchy**	**Výskyt**	**Řízení návrhu ohledně prevence**	**Řízení návrhu ohledně detekce**	**Detekce**	**RPN**	**Doporučené opatření**	**Provedené opatření**	**Závažnost**	**Výskyt**	**Detekce**	**RPN**
Keramický plášť	Praskání, vyštipování.	Světlo nedrží v požadované pozici.	5	Nevhodný materiál, nevhodná tloušťka stěny dna.	3	Volba kvalitnějšího materiálu, silnější dno.	Zkoušky materiálu i výrobku.	1	15	Vhodnější materiál	Zvolen méně křehký materiál	5	2	1	10

6 Analýza stromu poruchových stavů (FTA)

- Analýza bezpečnosti metodou stromu poruchových stavů byla vyvinuta pro potřeby elektrotechniky, rozvíjena v letectví a široké použití nalezla v jaderné energetice. Na základě výsledků dosažených v jaderné energetice je dnes používána také v procesním průmyslu. Sestavení stromu poruchových stavů pro kterýkoliv systém je velmi náročné na čas, znalosti a zkušenosti.
- Strom poruch je logický graf, který slouží k odhalení cest, kterými se mohou v systému šířit poruchy. Jde o postup deduktivní, vychází se z přesně definované konečné poruchy - vrcholové události - tzv. „Top Event“ a hledají se příčiny nebo souběhy příčin (rozvíjejí se scénáře), které mohou konečnou událost způsobit.

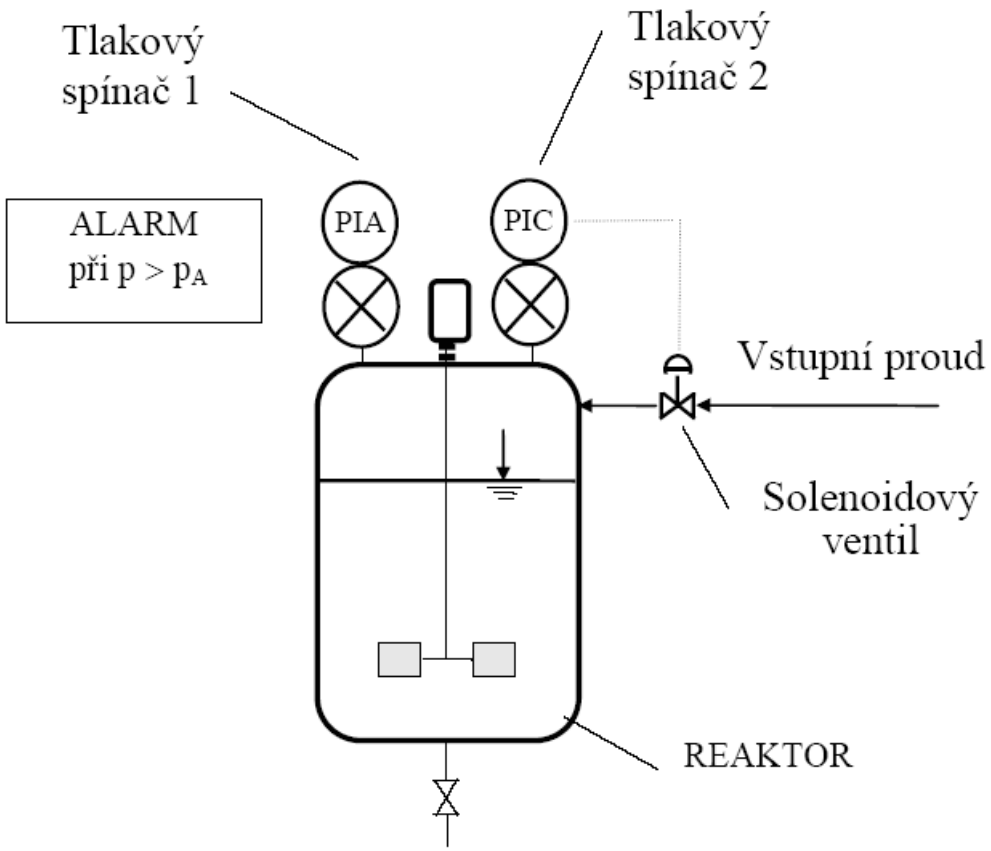


Před zahájením analýzy je nutno řešit tyto úkoly:

1. Přesně definovat analyzovanou - tzv. vrcholovou událost (Top Event). Popis musí být přesný a přiměřený, např. vysoká teplota v reaktoru, příliš vysoká hladina kapaliny v zásobníku. Naproti tomu se události typu „exploze reaktoru“ nebo „požár v procesu“ jeví jako příliš neurčitý, vágní popis události. Opačně zase událost typu „netěsnost ventilu“ se jeví pro tuto analýzu jako příliš specifická, detailní.
2. Popis sledované události. Jaké okolnosti/podmínky musejí nastat, aby k takové události došlo.
3. Stanovit okolnosti, které se při analýze nebudou brát do úvahy. Jsou to případy, které jsou nepravděpodobné, nebo se neuvažují. Může to být účinek tornáda, blesku, porucha el. vedení atd.
4. Stanovit fyzikální hranice systému. Které části systému (ještě) vezmete do úvah při sestavování stromu poruch?
5. Popsat uvažovaný stav systému, které ventily jsou otevřeny a které zavřeny? Jaké jsou uvažované výšky hladin? Jedná se o normální provozní stav?
6. Definovat úroveň podrobnosti analýzy. Je prvkem ventil nebo je ventil soubor prvků?

- Vlastní sestavení stromu poruch má řadu kroků. Vychází se z vrcholové události, kterou analyzujeme. V dalších krocích se hledají možnosti předzvěsti vrcholové události / poruchy v jednotlivých subsystémech. Tato fáze analýzy je náročná na čas, znalosti a zkušenosti. Postupuje se tak, že se hledají dílčí události, které přispívají/vedou k vrcholové události.
- Závažným krokem je posouzení logického vztahu mezi dílčími událostmi a událostí vrcholovou – přiřazení logického operátoru. Pokud k vrcholové události dojde jen v případě současného výskytu všech dílčích událostí (paralelní řazení), jde o logický operátor „AND“. Pokud má dílčí událost za následek vrcholovou událost, (sériové řazení), jde o logický operátor „OR“.

6.1 ÚLOHA (Sestavení stromu poruch jednoduchého systému s tlakovým reaktorem)



Popis řešeného problému:

1. Vrcholová událost - zničení reaktoru vysokým tlakem.
2. Okolnosti vedoucí k výskytu - vysoký procesní tlak v reaktoru.
3. Neuvažované události - porucha míchadla, porucha el. vedení.
4. Hranice uvažovaného systému – viz. schéma zařízení.
5. Uvažovaný stav - Solenoidový ventil je otevřený, nátok do reaktoru volný.

- Generování stromu poruch vychází z vrcholové události. Nárůstu tlaku v reaktoru brání dva subsystémy. Jde o regulaci přívodu vstupního proudu do reaktoru na základě hodnoty tlaku a havarijní signalizaci překročení horní povolené hodnoty tlaku. Pokud je jeden ze systémů bezporuchový, lze vrcholové události předejít. Pokud současně selžou oba subsystémy, dojde k havárii. Poruchové stavy těchto subsystémů se propojí logickým operátorem „AND“ (jsou řazeny paralelně - kterýkoliv z nich je schopen vrcholové události / poruše zabránit.).
- Generování stromu poruch pokračuje rozborem dvou uvažovaných subsystémů. Poruchový stav subsystému signalizace bude vyvolán poruchou tlakového spínače 1 nebo poruchou světelné signalizace. To znamená, že kterýkoliv z uvedených prvků může vyvolat poruchu subsystému – odpovídající logický operátor bude „OR“.
- Analogická situace je i v případě poruchy subsystému regulace. Bezporuchový provoz vyžaduje bezporuchovost tlakového spínače i solenoidového ventilu. Prakticky to znamená, že porucha kteréhokoliv prvku znamená poruchu subsystému.

- Na této úrovni analýza končí, poruchy prvků nejsou dále analyzovány. Úroveň podrobnosti analýzy bývá ovlivňována jednak požadavky praxe a jednak požadavkem na kvantitativní ocenění stromu událostí. Úroveň analýzy je potom ovlivněna dostupností údajů o spolehlivosti prvků. Prvkem je potom taková část subsystému, jejíž spolehlivostní charakteristiky jsou známy, nebo se předpokládá, že je lze získat.

- **Dělení systému na prvky je vždy účelovou záležitostí.**

- Pokud jsou známy spolehlivostní charakteristiky, lze stanovit pravděpodobnosti poruchy jednotlivých prvků. Předpokládejme, že pravděpodobnosti poruchy jednotlivých prvků systému byly stanoveny takto :

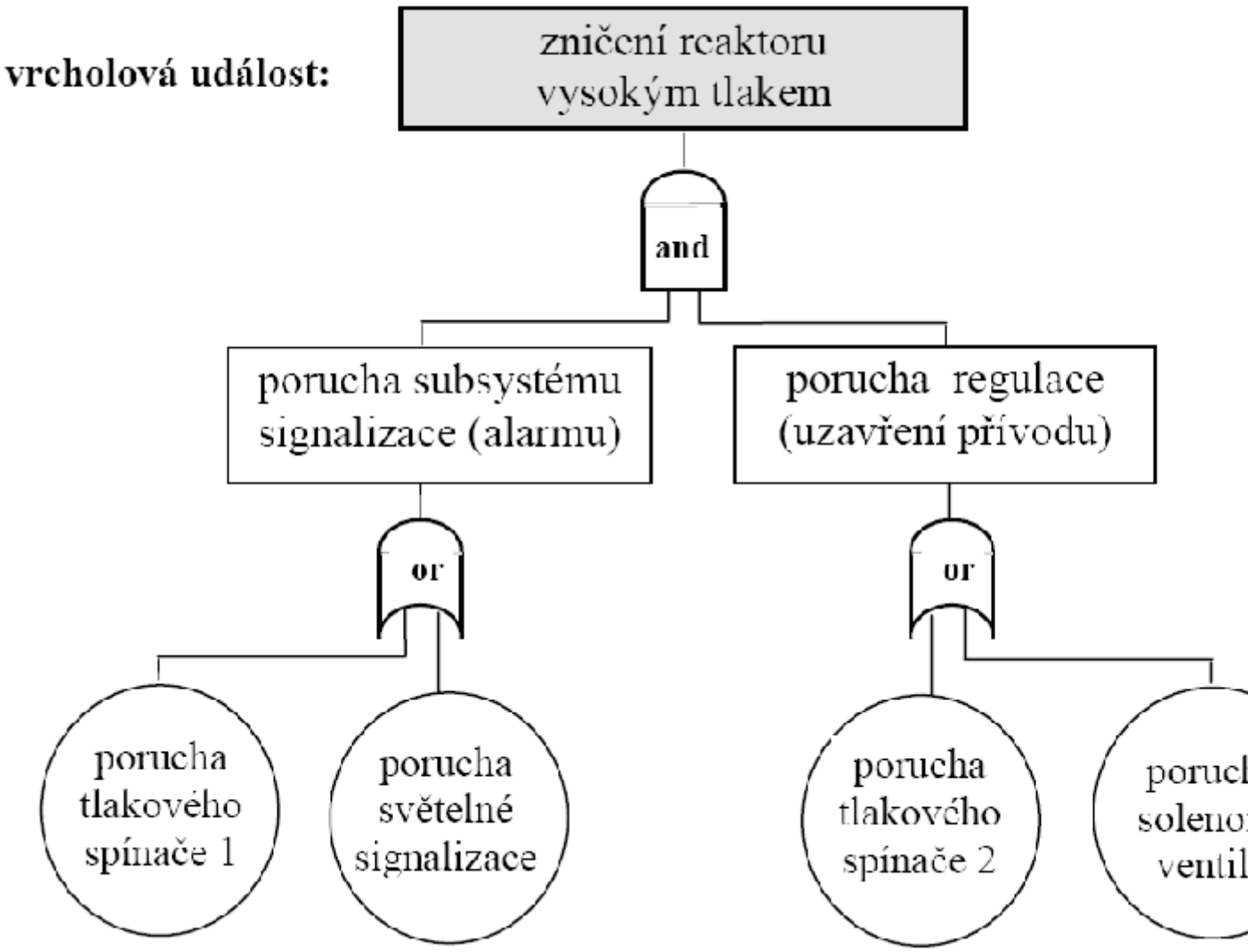
  - tlakový spínač 1 : P1 = 0,13

  - světelná signalizace : P2 = 0,04

  - tlakový spínač 2 : P3 = 0,13

  - solenoidový ventil : P4 = 0,34

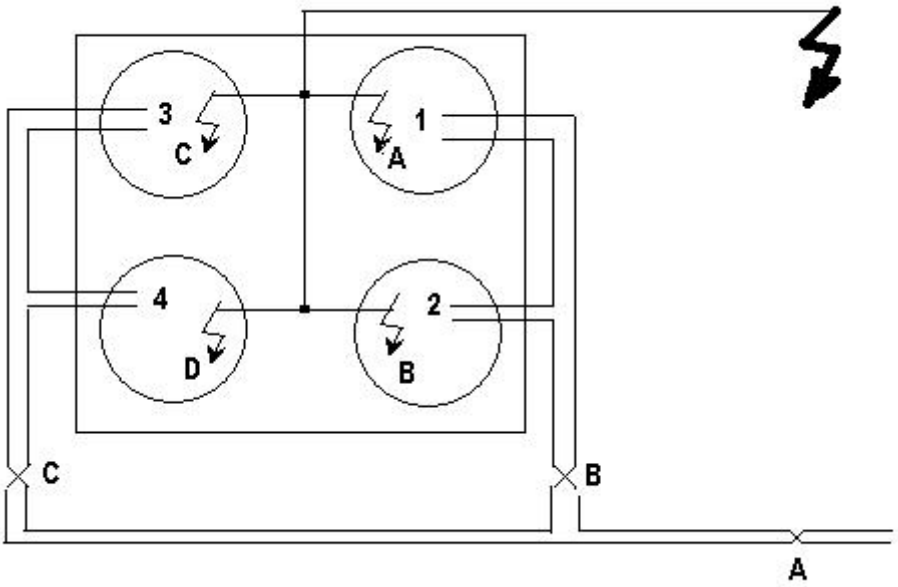
- Použitím jednoduchých pravidel z oblasti matematické logiky (průnik a sjednocení nezávislých jevů) dostaneme konečný výsledek. Pro subsystém signalizace dostaneme pravděpodobnost poruchy 0,17 a pro subsystém regulace dostaneme pravděpodobnost poruchy 0,47. Pravděpodobnost výskytu vrcholové události / havárie je potom P = 0,0799.



6.2 Analýza FTA - příklad plynový sporák

Zadání

- Plyn je uzavírán hlavním ventilem A.
- Uvnitř sporáku je plynové vedení rozděleno do ventilů B a C, z nichž každý zavírá plyn do dvou hořáků.
- Každý hořák má vlastní trysku, označme je 1, 2, 3, 4.
- Elektroinstalace začíná ve zdroji elektrického proudu.
- Jiskra je zajišťována pomocí elektrického oblouku na každém hořáku, přívod proudu je jedním okruhem, jiskřiště A, B, C, D jsou zapojena paralelně.
- Zařízení je v čase zahájení zkoumání v provozuschopném stavu, neuvažujeme současné selhání elektrické a plynové části.



Obrázek 6.1: Schéma plynového sporáku

Úkol

1. Vytvořte logickou strukturu stromu poruchových stavů pro zadanou konfiguraci plynového sporáku.

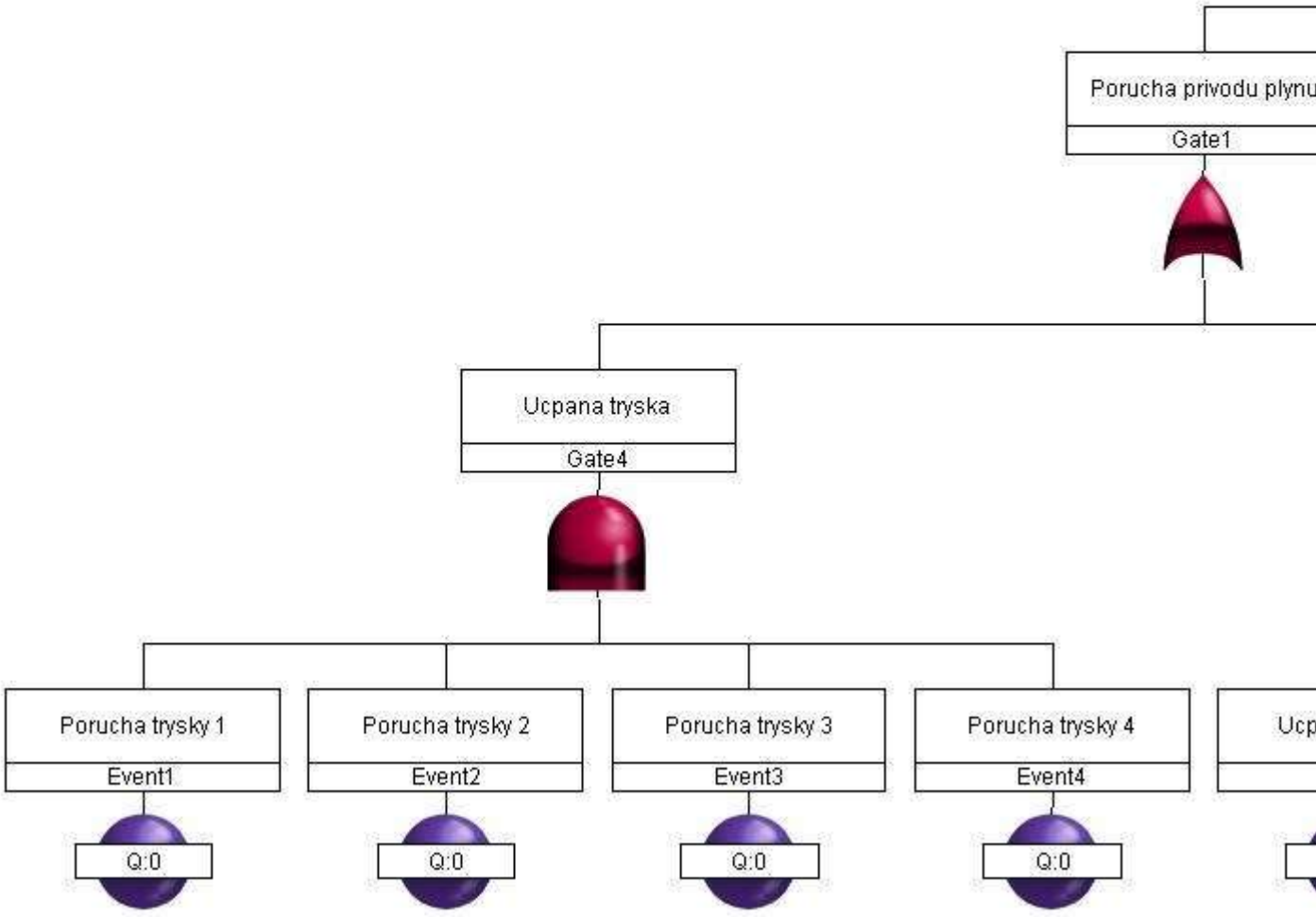
2. Vypočítejte kvantitativně pravděpodobnost nastoupení zadané vrcholové události, pokud je známo:

   - P (ucpání hlavního ventilu) = $2{,}1 \cdot 10^{-3}$ [h^{-1}]= P(A)
   - P (ucpání vnitřního ventilu) = $8 \cdot 10^{-3}$ [h^{-1}]= P(B)
   - P (ucpání trysky) = $2 \cdot 10^{-2}$ [h^{-1}] = P(C)
   - P (nefunkce jiskřiště) = $1{,}3 \cdot 10^{-2}$ [h^{-1}]= P(D)
   - P (přerušení vnitřního vodiče) = $3 \cdot 10^{-4}$ [h^{-1}]= P(E)
   - P (přerušení přívodního vodiče) = $6 \cdot 10^{-3}$ [h^{-1}]= P(F)

- Jako vrcholovou událost uvažujte ten stav, kdy nelze zapálit ani jeden hořák.

Řešení Ze zadání je zřejmé, že strom poruch se bude rozvíjet ve dvou větvích - elektrické a plynové. Selhání každého z těchto dvou obvodů způsobí funkční selhání systému.

Směr, kterým se analýza stromu poruchových stavů bude dále ubírat, není přesně stanoven, záleží na zkušenostech a logickém úsudku řešitele.



Obrázek 6.2: Strom poruchových stavů plynového sporáku

Označme jevy:	ucpání hlavního ventilu	A
	ucpání vnitřního ventilu	B
	ucpání trysky	C
	porucha elektrického oblouku	D
	přerušení vnitřního vodiče	E
	přerušení přívodního vodiče	F
Hradla:	vrcholová událost	G0
	porucha přívodu plynu	G1
	porucha přívodu el. proudu	G2
	sporák nehází jiskru	G3
	porucha rozvodu uvnitř sporáku	G4
	ucpaná tryska	G5

Kvalitativní řešení stromu poruchových stavů

Při hledání minimálních kritických řezů začneme hledat deduktivně, od vrcholové události:

$G0 = G1 \cup G2$

$G1 = G4 \cup G5 \cup A$

$G2 = E \cup F \cup G3$

$G3 = D \cap D \cap D \cap D$

$G4 = C \cap C \cap C \cap C$

$G5 = B \cap B$

$G0 = G1 \cup G2 = (G4 \cup G5 \cup A) \cup (E \cup F \cup G3) = (C \cap C \cap C \cap C \cup B \cap B \cup A) \cup (E \cup F \cup D \cap D \cap D \cap D)$

$G0 = G1 \cup G2 = (G4 \cup G5 \cup A) \cup (E \cup F \cup G3) = \boldsymbol{A \cup B \cap B \cup C \cap C \cap C \cap C \cup E \cup F \cup D \cap D \cap D \cap D}$

Nalezený výraz nelze zjednodušit, množina minimálních kritických řezů tedy je:

$\sum MKR = \{A\}, \{B,B\}, \{C,C,C,C\}, \{D,D,D,D\}, \{E\}, \{F\}$

Kvantitativní řešení stromu poruchových stavů

Pravděpodobnosti nastoupení jednotlivých událostí

$P(G_4) = P(C)^4 = 1{,}6 \cdot 10^{-7}$

$P(G_5) = P(B)^2 = 6{,}4 \cdot 10^{-5}$

$P(G_3) = P(D)^4 = 2{,}8561 \cdot 10^{-8}$

$P(G_2) = 1 - [1 - P(G_3)] \cdot [1 - P(E)] \cdot [1 - P(F)] = 6{,}29822 \cdot 10^{-3}$

$P(G_1) = 1 - [1 - P(A)] \cdot [1 - P(G_4)] \cdot [1 - P(G_5)] = 2{,}16402 \cdot 10^{-3}$

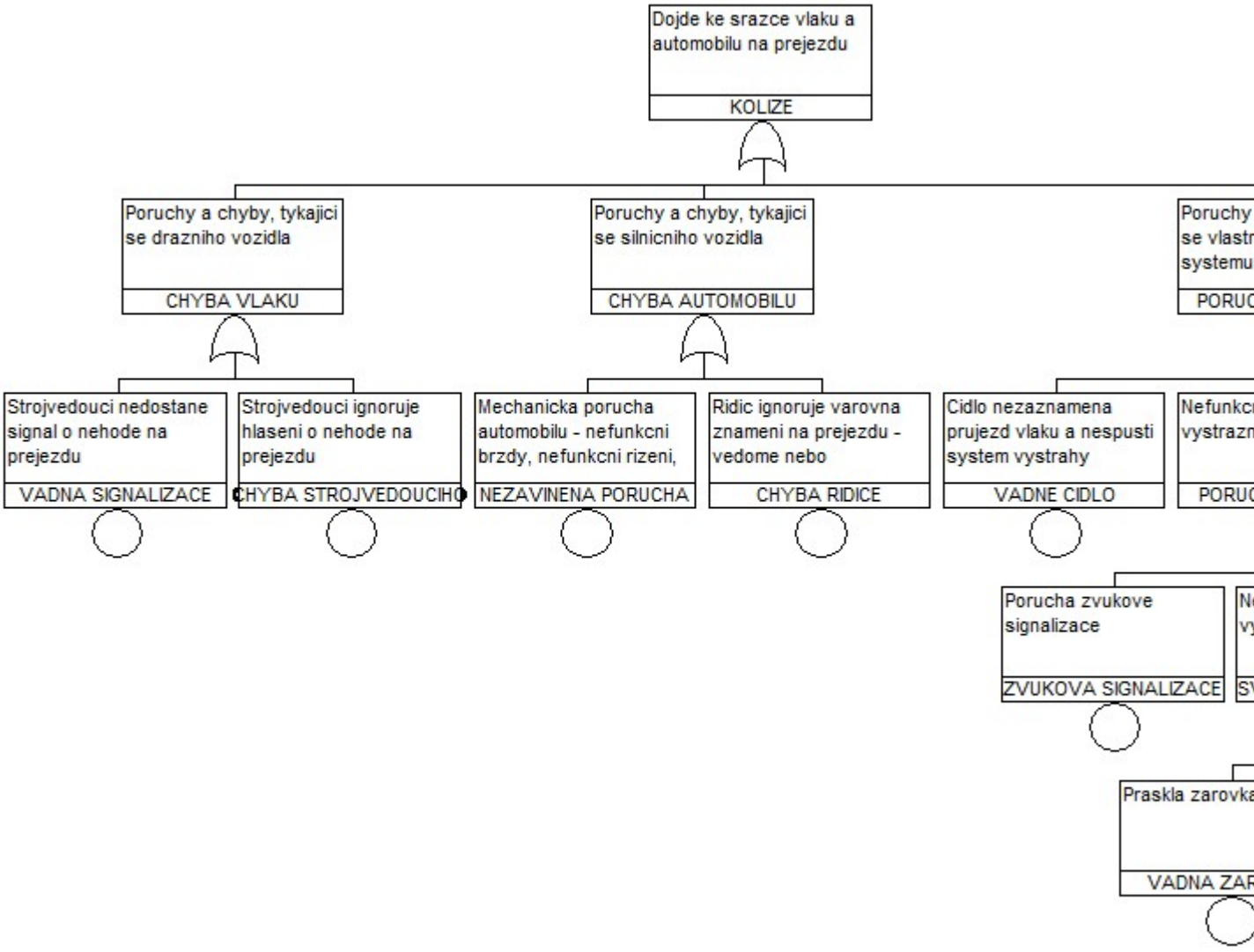
$P(G_0) = 1 - [1 - P(G_1)] \cdot [1 - P(G_2)] = 8{,}4486 \cdot 10^{-3}$

6.3 Hodnocení kolize cisterny ADR s vlakem na železničním přejezdu pomocí metody FTA

Představte si jednoduchou situaci, kterou je možná kolize cisterny ADR s vlakem na železničním přejezdu. Vyberte takové charakteristiky, které jsou reprezentativní a relevantní pro systém vlak-přejezd-cisterna. Jako vrcholovou událost uvažujte, že dojde ke srážce vlaku a cisterny na přejezdu. Vypracujte metodu FTA pro výše popsanou situaci.

Zadávání dat

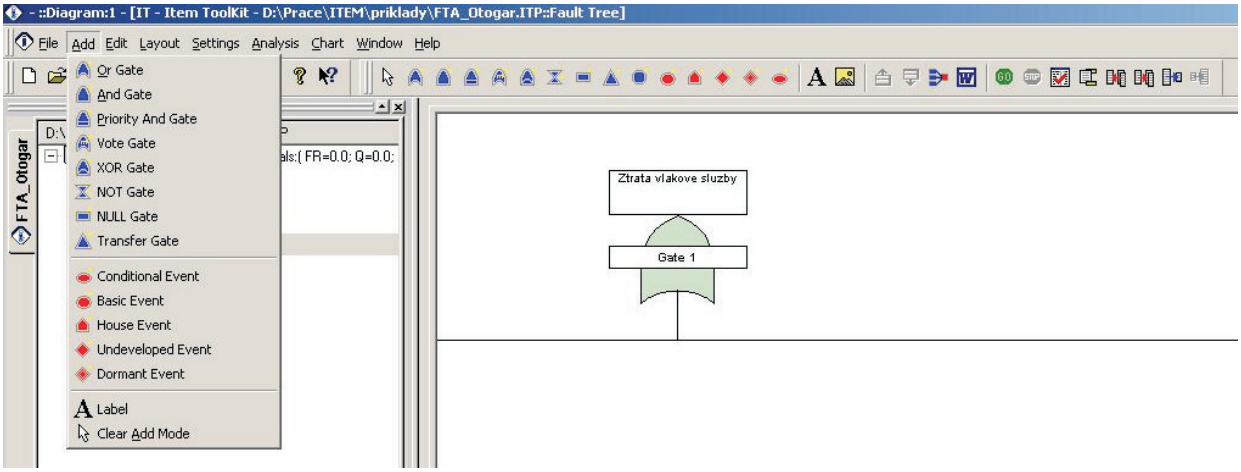
Pro zadávání vstupních dat slouží graficky dobře zpracovaný systém hradel a událostí. Strom poruch začíná vrcholovou událostí (TOP GATE), která se dále člení deduktivní metodou na jednotlivé nižší úrovně



Obrázek 6.3: Strom poruchových stavů kolize cisterny ADR s vlakem na železničním přejezdu

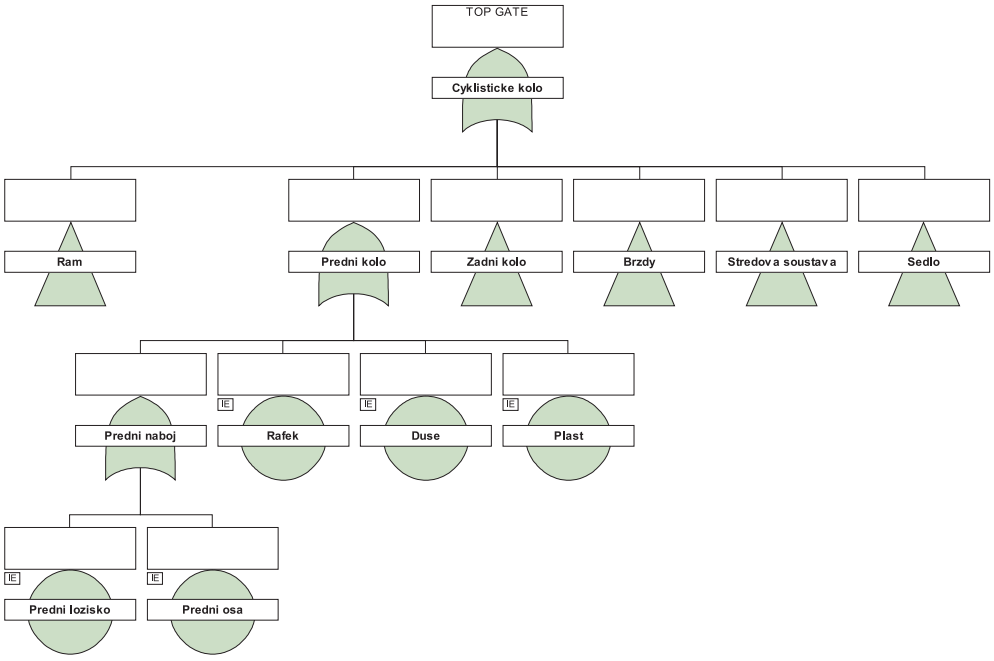
systému. V první fázi zadávání je třeba nadefinovat podobu výsledného stromu poruchových stavů, tedy provést kvalitativní analýzu. K tomu účelu slouží položka menu „ADD“ nebo lze práci urychlit pomocí ikon na liště. Znaky hradel a událostí odpovídají doporučeným značkám dle ČSN EN 61025.

Možnosti zadávání hradel a událostí jsou zobrazeny na obrázku 6.4.

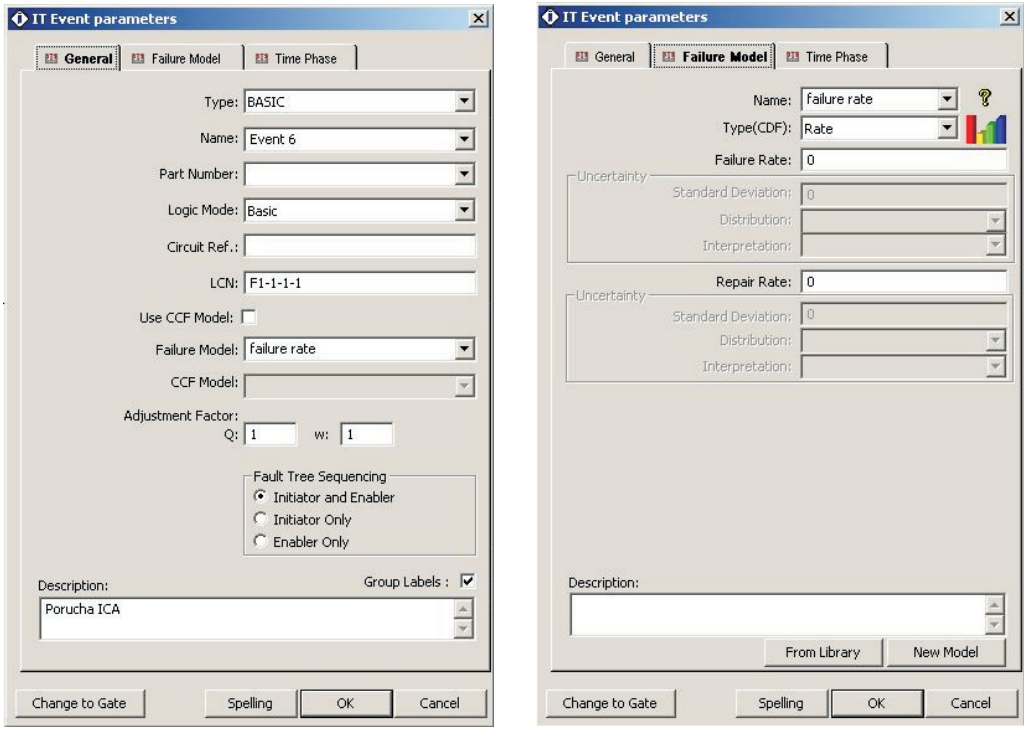


Obrázek 6.4: Zadávání kvalitativní podoby stromu poruch

Strom poruchových stavů reprezentuje logickou strukturu jevů, které vedou ke vzniku vrcholové události. Rozklad vrcholové události na primární a dále nerozvíjené události, vedoucí k jejímu vzniku, probíhá pomocí strukturované analýzy. Příklad takového stromu poruchových stavů je v jednoduché formě uveden na obrázku 6.5, vzhledem k omezenému prostoru je rozvinuta pouze jedna událost a zbylé jsou ponechány ve formě hradel přenosu.



Obrázek 6.5: Příklad (kvalitativního) stromu poruchových stavů



Obrázek 6.6: Zadávání obecných a specifických dat primární události

Pokud již je kvalitativní část analýzy provedena a jsou dostupná data, je možné přistoupit k zadávání kvantitativnímu. To se provádí dvojklikem na hradlo, ke kterému budou data zadávána. Tabulka zadávání (viz obrázek 6.6) umožňuje měnit typ události (BASIC, UNDEVELOPED, CONDITIONAL, HOUSE, DORMANT), její jméno, číslo dílu, logický model dat (BASIC, WORKING HOUSE, FAILED HOUSE) a mezi jinými i popis události, který se zobrazí v grafice stromu poruch a usnadní tak orientaci v prováděné analýze. Po kliknutí na záložku „Failure Model“ je možné zadávat modely poruchovosti komponenty. Jednotlivé modely mají unikátní, uživatelem definovaná jména a je možné je jednou nadefinovat a poté používat pro více komponent jako knihovnu dat. Z možností typů poruchových modelů je možno vybrat následující:

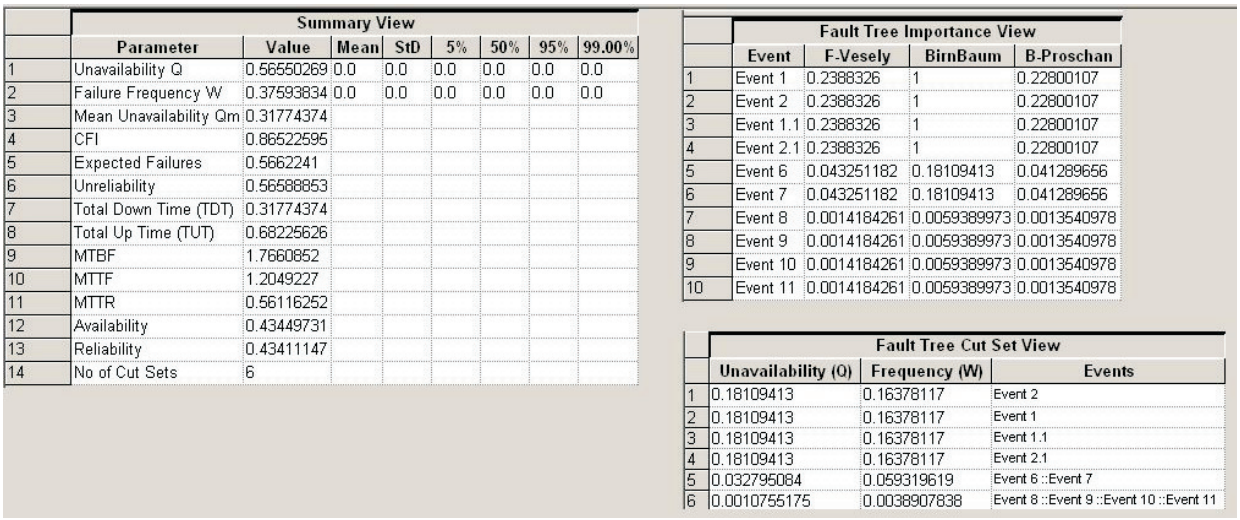
- fixed,
- rate,
- MTTF,
- dormant,
- standby,
- weibull,
- lognormal,
- normal,
- gamma,
- beta,
- binormal,
- chisquared,
- poisson,
- uniform,
- loguniform,
- ET initiator.

Názvy odpovídají jednotlivým rozdělením náhodné proměnné.

Po zvolení typu rozdělení je analytik proveden postupem pro zadávání dat o poruchách, resp. opravách, které se na zařízení provádějí. Jejich detailní okomentování není v tomto základním seznamovacím textu uvedeno.

Výpočetní část

Po vyplnění všech nezbytných údajů u komponent je možné přistoupit k vlastní analýze systému. Ta je provedena automaticky – kliknutím na záložku „Analysis / perform“. Výsledky jsou zobrazeny formou tabulky, viz obrázek 6.7.



Summary View

	Parameter	Value	Mean	StD	5%	50%	95%	99.00%
1	Unavailability Q	0.56550269	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	Failure Frequency W	0.37593834	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	Mean Unavailability Qm	0.31774374						
4	CFI	0.86522595						
5	Expected Failures	0.5662241						
6	Unreliability	0.56588853						
7	Total Down Time (TDT)	0.31774374						
8	Total Up Time (TUT)	0.68225626						
9	MTBF	1.7660852						
10	MTTF	1.2049227						
11	MTTR	0.56116252						
12	Availability	0.43449731						
13	Reliability	0.43411147						
14	No of Cut Sets	6						

Fault Tree Importance View

	Event	F-Vesely	BirnBaum	B-Proschan
1	Event 1	0.2388326	1	0.22800107
2	Event 2	0.2388326	1	0.22800107
3	Event 1.1	0.2388326	1	0.22800107
4	Event 2.1	0.2388326	1	0.22800107
5	Event 6	0.043251182	0.18109413	0.041289656
6	Event 7	0.043251182	0.18109413	0.041289656
7	Event 8	0.0014184261	0.0059389973	0.0013540978
8	Event 9	0.0014184261	0.0059389973	0.0013540978
9	Event 10	0.0014184261	0.0059389973	0.0013540978
10	Event 11	0.0014184261	0.0059389973	0.0013540978

Fault Tree Cut Set View

	Unavailability (Q)	Frequency (W)	Events
1	0.18109413	0.16378117	Event 2
2	0.18109413	0.16378117	Event 1
3	0.18109413	0.16378117	Event 1.1
4	0.18109413	0.16378117	Event 2.1
5	0.032795084	0.059319619	Event 6 ::Event 7
6	0.0010755175	0.0038907838	Event 8 ::Event 9 ::Event 10 ::Event 11

Obrázek 6.7: Tabulky výsledků analýzy stromu poruchových stavů

V první tabulce jsou zobrazeny vypočtené ukazatele spolehlivosti jako nepohotovost, frekvence poruch, střední nepohotovost, očekávaný počet poruch, celková doba přerušení provozu, celková doba provozu atd. Druhá tabulka zobrazuje výsledky analýzy důležitosti podle tří rozdílných metodik (F-Vesely, BirnBaum a B-Proschan) a konečně třetí tabulka ukazuje kritické řezy systému spolu s jejich základními parametry spolehlivosti.

7 Analýza stromu událostí (ETA)

[7]

Strom událostí (ETA – Event Tree Analysis) je logický orientovaný diagram, který popisuje logický rozvoj scénáře od tzv. iniciační události směrem k možným závažným následkům. Jedná se o induktivní systematický postup rozvíjející iniciační událost postupnými logickými kroky (možnými sekvencemi), kterými se berou do úvah tzv. bezpečnostní funkce systému včetně úspěšnosti takové funkce/zásahu.

Výsledkem je logický graf rozvoje iniciační události a pravděpodobnostní hodnocení scénáře s ohledem na různé možné následky.

Pokud se stane v provozu nějaká neočekávaná událost (výpadek, nehoda), bývá systém vybaven tzv. bezpečnostními systémy, které mají ochrannou funkci, tj. brání šíření nehody, výpadku, události. V neposlední řadě má tuto funkci i obsluha zařízení. Takové systémy mohou zasáhnout úspěšně nebo mohou i ony selhat. Metoda stromu událostí vyhodnocuje následky iniciační události s ohledem na reálné vlastnosti bezpečnostních systémů a spolehlivost člověka.

Rozlišují se dvě použití stromu událostí:

- Pre-nehodová aplikace se zabývá systémy, které mohou zabránit vzniku nehodových událostí z prekurzorů těchto událostí, např. účinnost víceprvkového ochranného systému.
- Post-nehodová aplikace se užívá ke zjištění koncových stavů nehodové události. Rovněž analýza lidské spolehlivosti používá techniku stromu událostí.

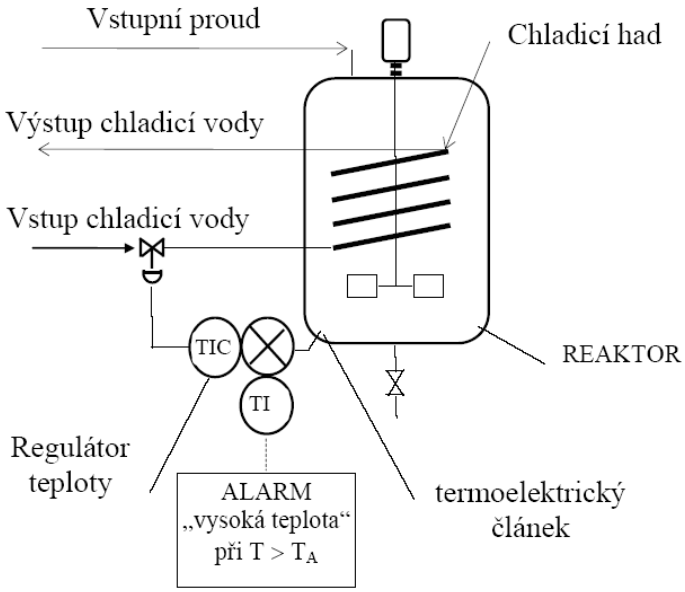
Postup při analýze pomocí stromu událostí

1. Identifikace sledované iniciační události
2. Identifikace bezpečnostních funkcí bránících šíření iniciační události
3. Sestavení stromu událostí
4. Vyhodnocení logického grafu a možných následků

7.1 Analýza ETA - Sestavení stromu událostí systému chemického reaktoru

- Exotermická reakce probíhající v reaktoru vyžaduje chlazení. Výpadek chlazení je nebezpečný, je zdrojem rizika. Hrozí „tepelné ujetí“ reaktoru s následnou explozí.
- Předpokládejme, že u tohoto systému byla instalována signalizace (alarm) vysoké teploty upozorňující operátora na vysokou teplotu v reaktoru. V systému byly identifikovány celkem 4 bezpečnostní funkce, které mohou zabránit rozvoji iniciační události a tak konečnému následku.
- K identifikaci jednotlivých bezpečnostních opatření/stupňů dospějeme logickým rozborem vývoje reálné situace. Při zvyšování procesní teploty v reaktoru dojde k překročení „horní dovolené teploty“ a je signalizována vysoká teplota. Prvním stupněm je signalizace (alarm) – „vysoká teplota“ v reaktoru. Druhý stupeň představuje monitorování stavu reaktoru operátorem, kterému při běžné prohlídce rektoru neujde zvyšování teploty v reaktoru (na základě místního měření teploty).

  Třetím stupněm je možnost obnovení funkce chlazení zásahem operátora. Posledním krokem je možnost odstavení reaktoru zásahem operátora.



Obrázek 7.1: Sestavení stromu událostí systému chemického reaktoru

Chronologická posloupnost bezpečnostních funkcí :

- Signalizace pro operátora " vysoká teplota"
- Zjištění nárůstu při běžné prohlídce reaktoru
- Zásah operátora – obnovení funkce chlazení
- Operátor odstaví reaktor

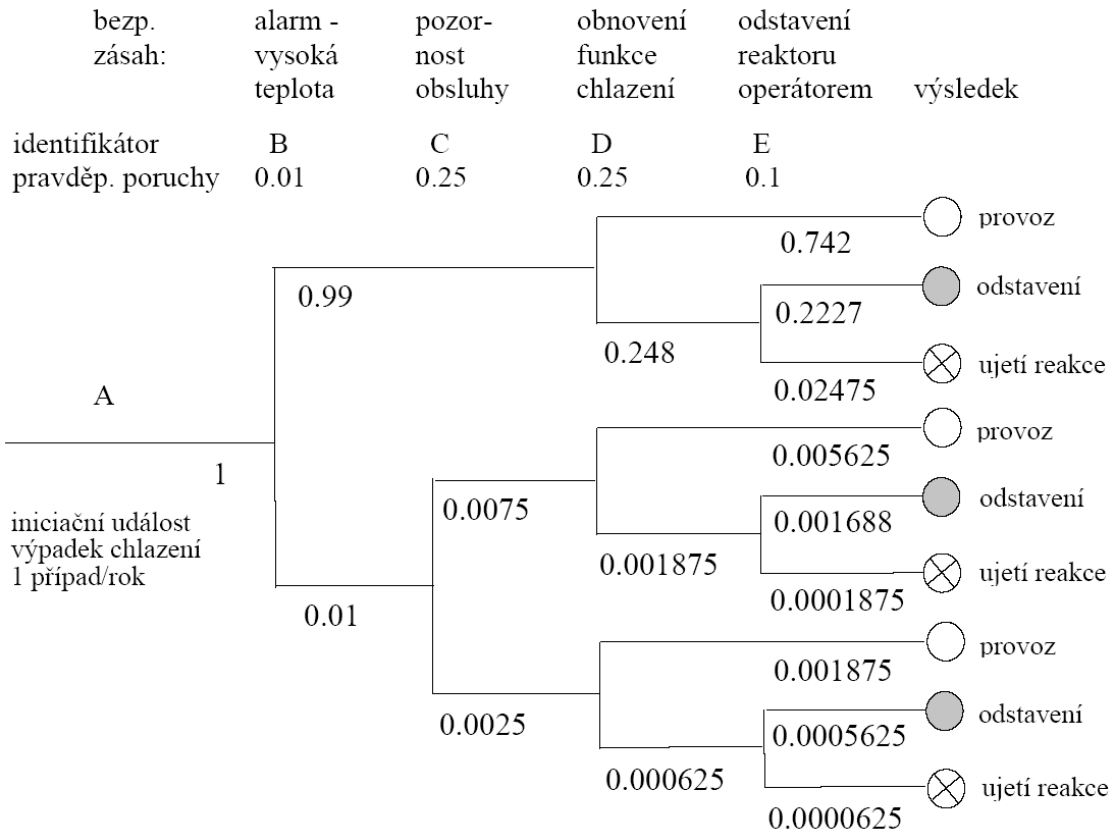
Pravděpodobnostní ocenění bezpečnostních funkcí: (vstupní údaje pro hodnocení scénáře)

- Údaj B - alarm „vysoká teplota“ - 1 signál ze sta signálů nepřijde.
- Údaj C - monitorování teploty operátorem při kontrole - v 1 ze 4 případů obsluha nezjistí nárůst teploty.
- Údaj D - obnovení funkce chlazení - v 1 ze 4 případů se nepodaří obnovit funkci chlazení.
- Údaj E - odstavení reaktoru operátorem - v 1 z 10 zásahů obsluhy se nepodaří reaktor včas odstavit.
- (Jde o údaje o spolehlivosti prvků systému a lidského činitele).

Úkol Sestavte strom událostí pro iniciační událost výpadku chlazení reaktoru.

Řešení

Signalizace „vysoká teplota“ je první bezpečnostní funkcí a pravděpodobnost úspěšné signalizace je vysoká. Graf se větví a zvažuje se ovlivnění vývoje situace další bezpečnostní funkcí. Pokud bylo zvýšení teploty v reaktoru úspěšně signalizováno, neovlivní další funkce (tj. monitorování teploty při obchůzce) vývoj situace a graf se nevětví. Pokud však není zvýšení teploty signalizováno, má monitorování teploty operátorem zásadní význam, jde o důležitou bezpečnostní funkci (i tato bezpečnostní funkce má jistou pravděpodobnost úspěchu a graf se větví. Další postup větvení grafu je analogický.



Obrázek 7.2: Strom událostí systému chemického reaktoru

Tabulka 7.1: Reprezentativní frekvence událostí

Událost	Frekvence nebo pravděpodobnost	Zdroj dat
A: Velký výtok stlačeného LPG	0,0001/rok	FTA
B: Okamžité zapálení u tanku	0,1	Expertní úsudek
C: Vítr fouká směrem k obydlené oblasti	0,15	Data z větrné růžice
D: Zpožděná iniciace blízko obydlené oblasti	0,9	Expertní úsudek
E: Spíš UVCE než zahoření	0,5	Historická data
F: Tryskavý plamen zasáhne tank s LPG	0,2	Geometrie umístění tanku

Tabulka 7.2: Koncové stavy sekvencí stromu událostí a jejich frekvence

Koncové stavy sekvencí	Sekvence vedoucí ke koncovým stavům	Frekvence (za
BLEVE	ABF	$2{,}0 \cdot 10^{-6} = 2{,}0 \cdot 1$
Zahoření	$A\bar{B}CD\bar{E}\bar{F} + A\bar{B}\bar{C}D\bar{E}\bar{F}$	$4{,}9 \cdot 10^{-6} + 27{,}5 \cdot 10^{-6} = 32{,}4 \cdot 1$
Zahoření a BLEVE	$A\bar{B}CDEF + A\bar{B}\bar{C}DEF$	$1{,}2 \cdot 10^{-6} + 6{,}9 \cdot 10^{-6} = 8{,}1 \cdot 1$
UVCE	$ABCDE + A\bar{B}CDE$	$6{,}1 \cdot 10^{-6} + 34{,}4 \cdot 10^{-6} = 40{,}5 \cdot 1$
Místní tepelné nebezpečí	$A\bar{B}F$	$8{,}0 \cdot 10^{-6} = 8{,}0 \cdot 1$
Bezpečné rozptýlení	$A\bar{B}\bar{C}D + A\bar{B}\bar{C}\bar{D}$	$1{,}4 \cdot 10^{-6} + 7{,}6 \cdot 10^{-6} = 9{,}0 \cdot 1$
Celkem všechny koncové stavy sekvencí		$= 100{,}0 \cdot 1$

Spektrum konečných možných stavů je zřejmé z logického grafu.

Pravděpodobnost výskytu jednotlivých konečných stavů se získá jednoduchým výpočtem.

Příklad detailního výpočtu je patrný z následujících rovnic.

Odstavení = 0.2227 + 0.001688 + 0.0005625 = 0.2250 případů / rok

Ujetí = 0.02475 + 0.0001875 + 0.0000625 = 0.0250 případů / rok

Při generování scénáře se obvykle vychází z předpokladu, že tato iniciační událost (např. výpadek chlazení) lze očekávat jednou za rok. Celý postup výpočtu se tak zjednoduší. Pokud lze iniciační událost očekávat s jinou frekvencí, lze výsledky jednoduše přepočítat.

7.2 Analýza ETA velkého úniku stlačeného LPG ze skladovacího zásobníku

Jde o post-nehodovou analýzu velkého úniku stlačeného LPG z izolovaného skladovacího tanku. Potenciální následky zahrnují také BLEVE tanku, pokud by byl únik zapálen (buď okamžitě, nebo zpětným zášlehem). V případě, že únik nebude zapálen okamžitě, může být látka unášena směrem k obydlené oblasti s několika iniciačními zdroji a explodovat (UVCE) nebo zahořet. Ostatní oblasti po větru mají nižší pravděpodobnost iniciace. Data potřebná pro strom událostí jsou uvedena v tabulce.

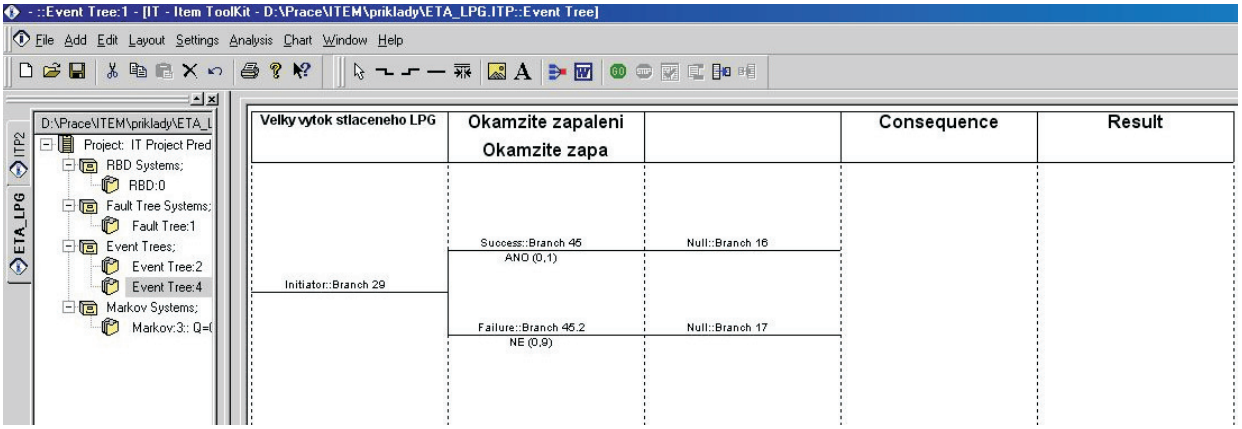
Údaje z této tabulky jsou použity k předpovědění možných koncových stavů sekvencí stromu událostí, který je uveden na obrázku (Obrázek 7 .9). Tento strom událostí není vyčerpávající. Ne všechny koncové stavy sekvencí jsou dovedeny až do konce, některé jsou ukončeny na vstupu do specifických konsekventních modelů. Například BLEVE může mít tři další účinky - tepelné účinky, přetlakovou vlnu a rozlet trosek. V praxi by byly tyto účinky prošetřovány ještě ve zvláštních modelech.

Z výsledného stromu událostí vyplývá celkem šest možných koncových stavů sekvencí. Celkový součet frekvencí všech koncových stavů sekvencí (tj. 100,0e -6 / rok) musí být roven frekvenci iniciační události 1e -4 / rok, což je splněno. Tato kontrola je ověřením správných konstrukčních a výpočetních vztahů ve stromu událostí.

Koncové stavy sekvencí stromu událostí a jejich frekvence

Zadávání dat

Při založení nové analýzy stromem událostí je automaticky připraven předdefinovaný strom událostí. Zahájení analytické práce je tedy usnadněno a je možné přímo začít vyplňovat rozhodovací diagram analýzy. Také další úpravy ETA jsou snadné a intuitivní. Ukázka začátku analýzy je zobrazena na obrázku 7.3.



Obrázek 7.3: Ukázka zadávání stromu událostí

Možnosti přidávání údajů do stromu událostí jsou dvě – pomocí menu a pomocí ikon rychlého ovládání. Obě varianty jsou rovnocenné a zahrnují možnost přidat:

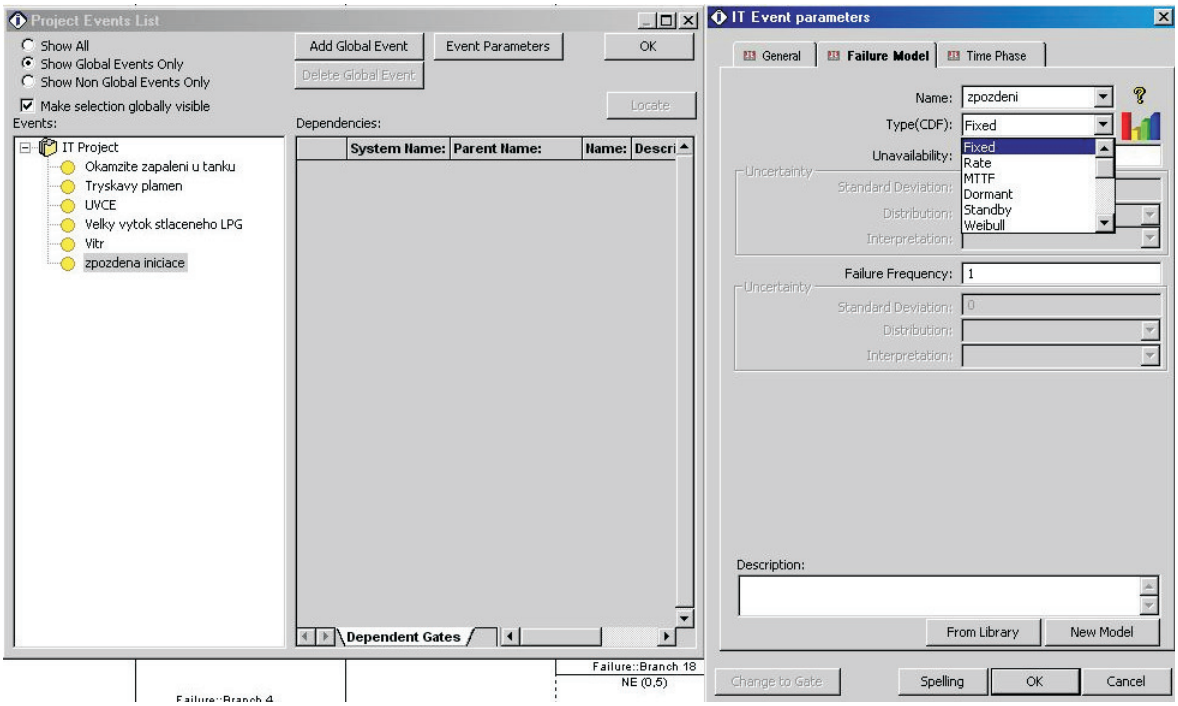
- nulovou větev,
- úspěšnou větev,
- neúspěšnou větev,
- rozhodovací sloupec.

Opakováním akce „přidat větev“ se nadefinuje celý strom událostí. Kvantifikace se provádí ve dvou úrovních. Nejprve je třeba nadefinovat parametry spolehlivosti tzv. sloupců. Tyto parametry jsou definovány shodným způsobem, jako je popsáno u FTA – nadefinuje se model spolehlivosti a následně hodnoty, se kterými bude tento model pracovat. Na výběr ITEM nabízí tyto modely (viz obrázek 7.4):

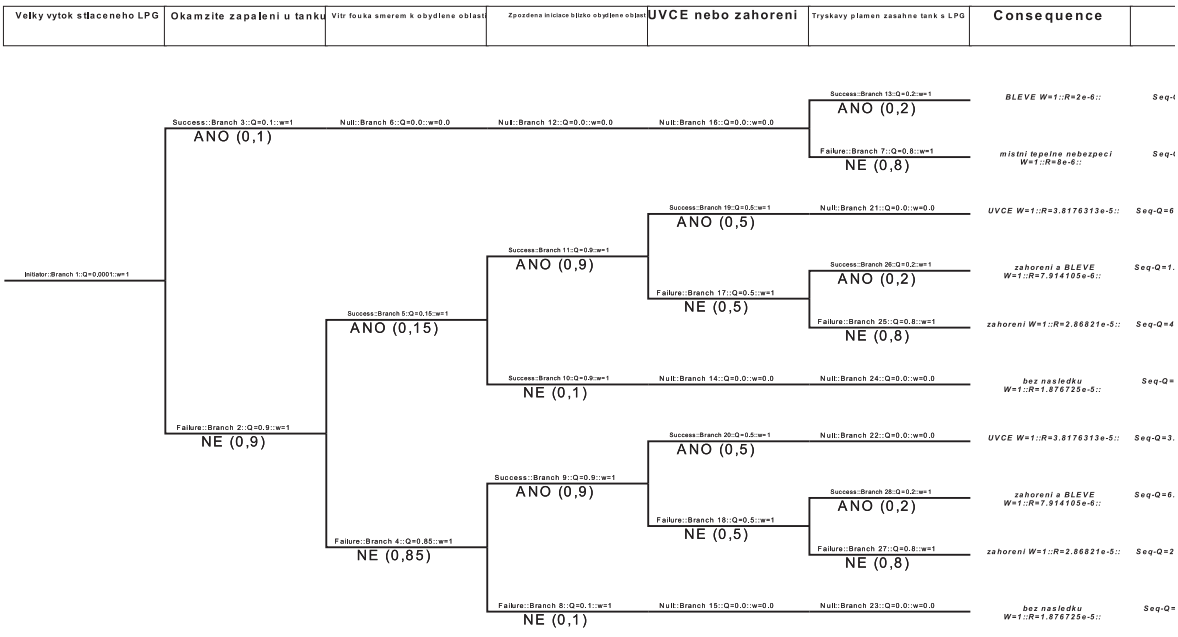
- fixed,
- rate,
- MTTF,
- dormant,
- standby,
- weibull,
- lognormal,
- normal,
- gamma,
- beta,
- binormal,
- chisquared,
- poisson,
- uniform,
- loguniform,
- ET initiator.

Výpočetní část

Po nadefinování nezbytných parametrů pro všechny události a rozhodovací větve je již strom událostí kompletní a je možné nechat provést jeho výpočet. Příklad hotového stromu událostí je uveden na obrázku 7.5.

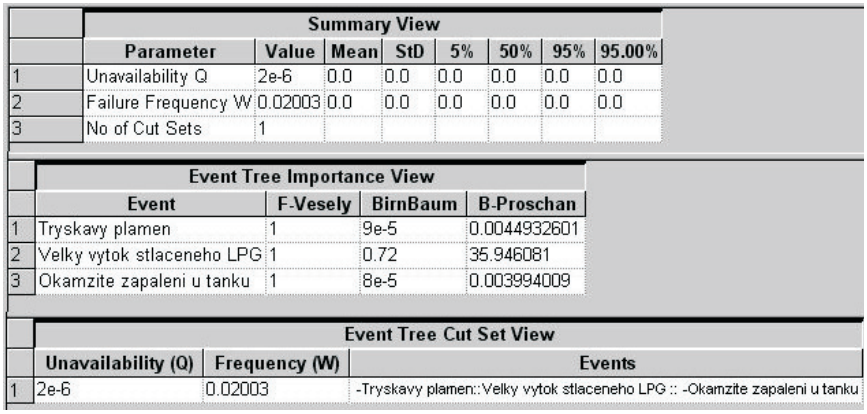


Obrázek 7.4: Možnost výběru modelů poruchovosti v ETA



Obrázek 7.5: Ukázka kompletního stromu událostí

Jak je zřejmé již z obrázku 7.5, ITEM Toolkit upravuje popisky jednotlivých údajů v analýze stromu událostí podle aktuálního prostoru, vymezeného popisku a v důsledku toho jsou některé delší názvy sloupců i větví téměř nečitelné. Analýza se spustí kliknutím na ikonu „GO“ a po jejím provedení je možné nalézt výsledky přehledně zobrazené v záložce Results. Příklad zobrazených výsledků z ETA je uveden na obrázku 7.6.



Summary View

	Parameter	Value	Mean	StD	5%	50%	95%	95.00%
1	Unavailability Q	2e-6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	Failure Frequency W	0.02003	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	No of Cut Sets	1						

Event Tree Importance View

	Event	F-Vesely	BirnBaum	B-Proschan
1	Tryskavy plamen	1	9e-5	0.0044932601
2	Velky vytok stlaceneho LPG	1	0.72	35.946081
3	Okamzite zapaleni u tanku	1	8e-5	0.003994009

Event Tree Cut Set View

	Unavailability (Q)	Frequency (W)	Events
1	2e-6	0.02003	-Tryskavy plamen::Velky vytok stlaceneho LPG :: -Okamzite zapaleni u tanku

Obrázek 7.6: Ukázka zobrazení výsledků analýzy stromem událostí v softwaru ITEM Toolkit

Výsledky jsou zobrazeny pro každý následek zvlášť, je zobrazena výsledná pravděpodobnost nastoupení každé sekvence a provedena analýza důležitosti událostí, které se na nastoupení koncové události podílejí.

8 Blokový diagram bezporuchovosti (RBD)

Text vychází z [6].

Blokový diagram bezporuchovosti (RBD – Reliability Block Diagram) je obrazová reprezentace bezporuchovosti systému. Znázorňuje logické spojení (fungujících) součástí potřebných pro úspěšný provoz systému.

- Jedním ze základních předpokladů, na němž jsou založeny postupy metody RBD, je předpoklad, že součásti (nebo bloky, které je reprezentují), mohou existovat pouze ve dvou stavech: pracují („použitelný“ stav), nebo mají poruchu („nepoužitelný“ stav).
- Dalším důležitým předpokladem je, že porucha (nebo oprava) libovolného bloku nesmí ovlivnit pravděpodobnost poruchy (nebo opravy) JAKÉHOKOLIV jiného bloku v systému, který se modeluje.
- Metoda RBD se má používat především u systémů bez opravy a v případech, kdy nezáleží na pořadí vzniku poruch.

Základem je dobrá znalost systému a jeho funkcí, parametrů výkonnosti systému a jejich mezí, a podmínek prostředí a provozu systému.

Systém je rozčleněn na jednotlivé prvky nebo logické bloky, vhodné pro účely analýzy. Jednotlivé bloky mohou představovat dílčí struktury systému, které lze dále znázornit v dalších RBD.

Vazby mezi prvky jsou sériové, paralelní, výběrové.

Blokový diagram bezporuchovosti popisuje logické vztahy, potřebné pro funkci systému. Nemusí tedy znázorňovat způsob, jakým je hardware systému fyzicky propojen.

Pokud je možné systém používat ve více funkčních režimech nebo v různých provozních prostředích, je třeba zpracovat RBD pro všechny tyto případy, pokud to má smysl (= pokud není v daném případě možnost vzniku poruchy zanedbatelná oproti případům ostatním).

8.1 Řešení základních vazeb mezi prvky

$F_S = 1 - R_S$

F_S je pravděpodobnost poruchy systému,
R_S pravděpodobnost bezporuchového provozu.

Sériový model:

$R_S = R_A \cdot R_B$

$R_{A,B}$ jsou pravděpodobnosti bezporuchového provozu jednotlivých prvků systému S.

Pravděpodobnost poruchy systému je tedy:

$F_S = F_A + F_B - F_A \cdot F_B$

Paralelní model:

$F_S = F_A \cdot F_B$

$F_{A,B}$ jsou pravděpodobnosti poruch jednotlivých prvků systému S.

Pravděpodobnost bezporuchového provozu je tedy:

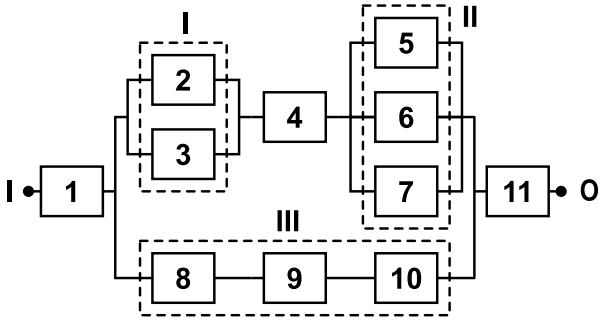
$R_S = R_A + R_B - R_A \cdot R_B$

8.2 Složitější metody řešení systémů pomocí RBD

8.2.1 Metoda dekompozice systému

- Jednotlivé části systému, které jsou tvořeny čistě paralelní, či sériovou strukturou postupně nahrazujeme fiktivními prvky, u nichž stanovíme pravděpodobnost bezporuchového stavu.
- Tato metoda může být použita pouze pro systémy, kde jsou poruchy jednotlivých prvků nezávislé.
- Zpětným dosazením dílčích výrazů potom obdržíme výsledný vztah pro pravděpodobnost bezporuchového stavu systému a dosazením číselných hodnot pravděpodobností prvků také obdržíme výslednou pravděpodobnost pro systém.

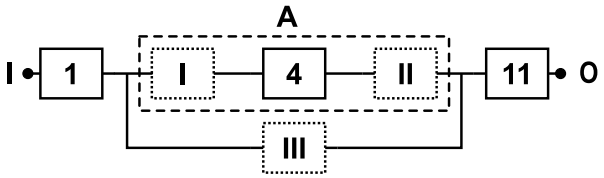
Příklad 1: postup metodou dekompozice systému



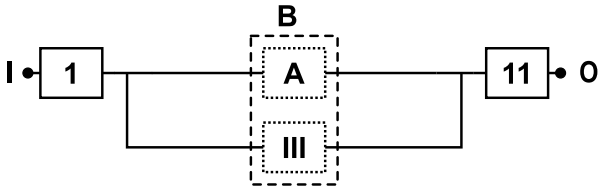
$R_I = 1 - [(1 - R_2) \cdot (1 - R_3)]$

$R_{II} = 1 - [(1 - R_5) \cdot (1 + R_6) \cdot (1 + R_7)]$

$R_{III} = R_8 \cdot R_9 \cdot R_{10}$



$R_A = R_I \cdot R_4 \cdot R_{II}$



$R_B = 1 - [(1 - R_A) \cdot (1 - R_{III})]$

$R_S = R_1 \cdot R_B \cdot R_{11}$

Pravděpodobnost poruchy systému pak bude:

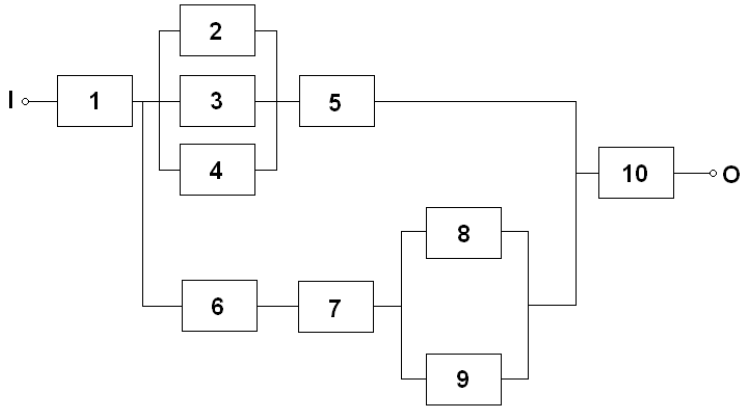
$F_S = 1 - R_S$

Příklad 2: postup metodou dekompozice systému

Přepište postup výpočtu z předchozího příkladu pro pravděpodobnosti poruch jednotlivých prvků systému.

Příklad 3: postup metodou dekompozice systému

Vypočtěte celkovou pravděpodobnost poruchy systému na obrázku 8.1. Použijte zadané hodnoty pravděpodobnosti poruchy jednotlivých prvků. Uveďte, kde jsou slabá místa takového systému.



Obrázek 8.1: Blokový diagram fiktivního systému

$F_1 = 0{,}105$

$F_2 = F_3 = F_6 = 0{,}237$

$F_4 = F_5 = F_8 = 0{,}004$

$F_7 = F_{10} = 0{,}118$

$F_9 = 0{,}045$

8.2.2 Inspekční metoda

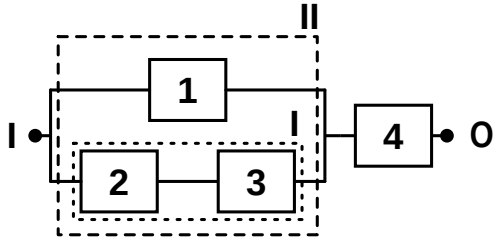
- Stav systému vyjádříme jako logickou kombinaci jevů vyjadřujících stavy jednotlivých prvků a dále vyšetříme, s jakou pravděpodobností tato kombinace jevů může nastat.
- Zkoumáme logické vazby mezi stavem jednotlivých prvků a stavem systému.
- Předmětem zkoumání nemusí být pouze bezporuchový stav systému, stejně tak to může být i poruchový stav.

1. Převod logického výrazu do disjunktního tvaru.
   - Cílem je úprava logického výrazu do tvaru, který představuje sjednocení řady vzájemně disjunktních jevů, protože jsme schopni snadno vyjádřit pravděpodobnost takto popsaného jevu.
   - Je výhodné na začátku řešení uspořádat logický výraz vyjadřující stav systému tak, aby v něm byly sjednocované jevy uspořádány zleva doprava podle složitosti, to znamená tak, aby první člen ve výrazu vyjadřoval průnik nejmenšího počtu jevů a poslední člen průnik nejvyššího počtu jevů.

2. Přímé vyjádření pravděpodobnosti jevu

   - Založeno na znalosti vztahu pro výpočet pravděpodobnosti sjednocení dvou nedisjunktních jevů A a B.
   - Přímo vyjádříme pravděpodobnost zkoumaného stavu objektu jako pravděpodobnost nastoupení jevu popsaného příslušným logickým výrazem.
   - Výraz upravíme tak, aby představoval prosté sjednocení dvou jevů.
   - Vyjádříme pravděpodobnost tohoto sjednocení jevů jako součet pravděpodobností těchto jevů zmenšený o pravděpodobnost jejich průniku.
   - Opakujeme, dokud pravděpodobnost logického výrazu není vyjádřena jako prostý součet pravděpodobností průniků jevů.

Příklad 1: postup inspekční metodou



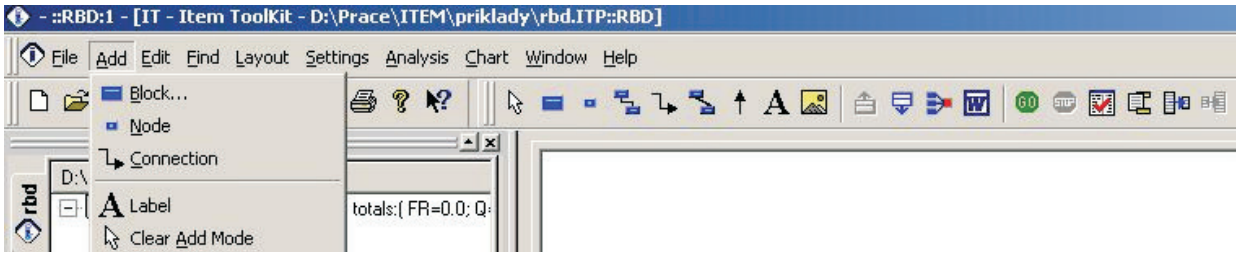
$$R_S = R_4 \cap R_{II} = R_4 \cap (R_I \cup R_1) = R_4 \cap [(R_2 \cap R_3) \cup R_1]$$

8.3 Použití metody RBD v sw ITEM

Převzato z [14].

8.3.1 Zadávání dat

Blokové diagramy bezporuchovosti jsou, podobně jako stromy poruchových stavů, přehledně graficky zpracovány. Logická struktura diagramu se zadává pomocí záložky „Add“ nebo ikonami na liště. Jednotlivé ikony znázorňují vkládané objekty. Analytik má na výběr „blok“, „uzel“ a „propojení“ viz obrázek 8.2.

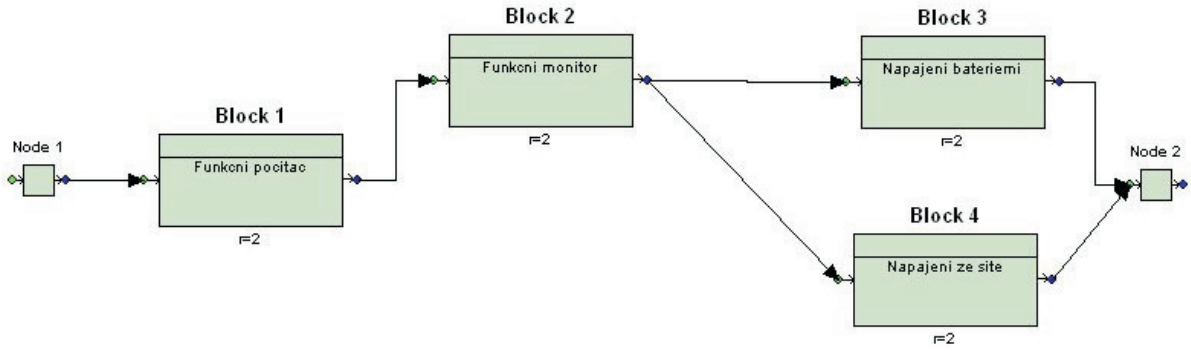


Obrázek 8.2: Zadávání blokového diagramu bezporuchovosti

Bloky znázorňují jednotlivé analyzované součástky. Uzly jsou používány zejména jako počáteční a koncový uzel a po provedení analýzy jim jsou přiřazeny výsledky a propojení slouží k vyznačení logických vazeb mezi bloky. Na výběr jsou dvě možnosti propojování bloků (znázorňuje obrázek 8.3):

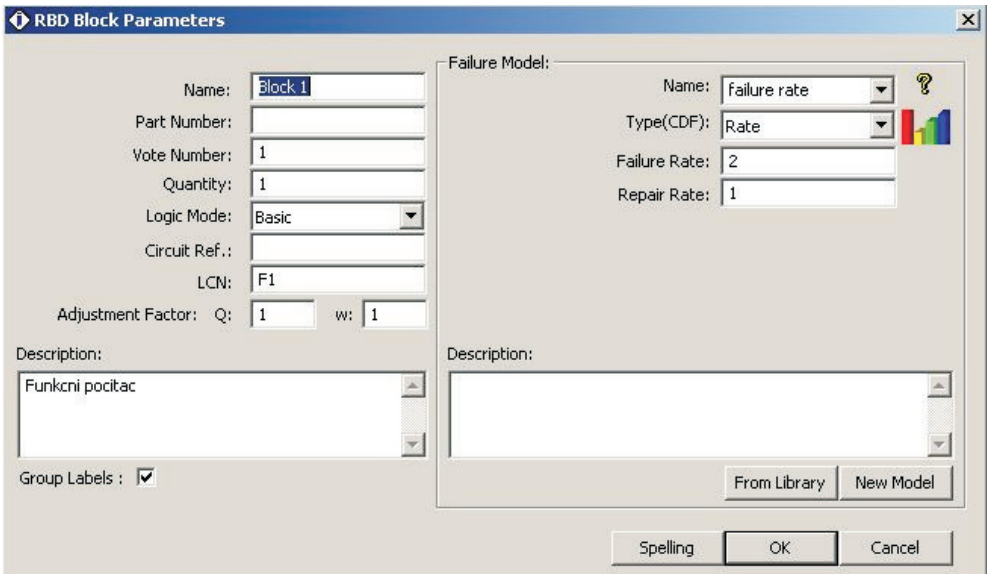
- přímé propojení – linka vede přímo z jednoho bloku do druhého,

- ortogonální propojení – linka obsahuje pouze vodorovné a svislé úseky; toto propojení je vhodné pro zvýšení přehlednosti analýzy složitých systémů.



Obrázek 8.3: Ukázka RBD diagramu v ITEM Software

Po vytvoření logického modelu zapojení systému z pohledu spolehlivosti je možné vyplnit parametry jednotlivých bloků. Tabulka zadávání parametrů je uvedena na obrázku 8.4.



Obrázek 8.4: Zadávání parametrů spolehlivosti do bloku RBD analýzy

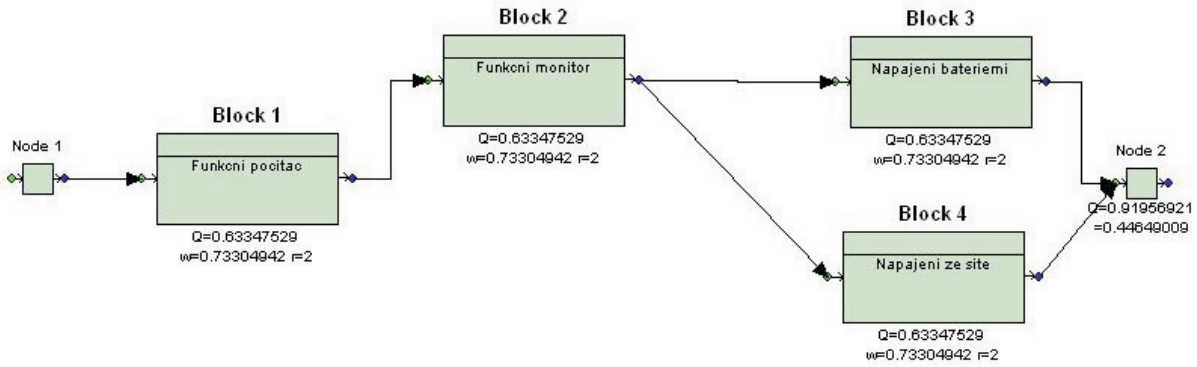
V tabulce editace parametrů bloku (viz obrázek 8.4) je možné změnit jméno bloku, uvést jeho popis, který se zobrazí i v grafickém vyjádření RBD a také specifikovat model poruchovosti komponenty. Z typů poruchových modelů je možno vybrat:

- fixed,
- rate,
- MTTF,
- dormant,
- standby,
- weibull,
- lognormal,
- normal,

- gamma,
- beta,
- binormal,
- chisquared,
- poisson,
- uniform,
- loguniform.

8.3.2 Výpočetní část

Po správném zadání známých parametrů do modelu je možno přejít k výpočtu. Tento je proveden automaticky příkazem „Analysis / perform“ nebo zrychleně kliknutím na ikonu „GO“. Pokud proběhne analýza bez problémů, objeví se pod jednotlivými bloky diagramu bezporuchovosti výsledek Q (poruchovost) a w (frekvence poruch) a pod koncovým uzlem jsou tytéž ukazatele pro celý systém, znázorněný blokovým schématem viz schéma na obrázku 8.5.



Obrázek 8.5: Výsledný ohodnocený RBD

Detailní výsledky jsou zobrazeny v záložce „results“. Tabulárně zde jsou uvedeny údaje o systému, jako je jeho nepohotovost, frekvence poruch, očekávaný počet poruch, $MTBF$, $MTTR$ a další. Některé údaje jsou vlastně duplikované (je uvedena pohotovost i nepohotovost), ovšem údaje si nepřekáží a usnadní práci při vyhodnocování výsledků. V tabulkách výsledků je také analýza důležitosti jednotlivých bloků pomocí tří různých metod výpočtu a přehled kritických řezů s ohodnocením jejich nepohotovosti a frekvence poruch. Všechny tyto tabulky jsou uvedeny na obrázku 8.6 .

Summary View

	Parameter	Value
1	Unavailability Q	0.91956921
2	Failure Frequency W	0.44649009
3	Mean Unavailability Qm	0.72254801
4	CFI	5.5512332
5	Expected Failures	1.352666
6	Unreliability	0.99450523
7	Total Down Time (TDT)	0.72254801
8	Total Up Time (TUT)	0.27745199
9	MTBF	0.73928079
10	MTTF	0.20511493
11	MTTR	0.53416587
12	Availability	0.080430793
13	Reliability	0.005494768
14	Capacity	0.0
15	No of Cut Sets	3

RBD Importance View

	Event	F-Vesely	BirnBaum	B-Proschan
1	Block 1	0.37972637	1	0.30609585
2	Block 2	0.37972637	1	0.30609585
3	Block 4	0.24054727	0.63347529	0.19390415
4	Block 3	0.24054727	0.63347529	0.19390415

RBD Cut Set View

	Unavailability (Q)	Frequency (W)	Events
1	0.63347529	0.73304942	Block 2
2	0.63347529	0.73304942	Block 1
3	0.40129094	0.92873739	Block 3::Block 4

Obrázek 8.6: Tabulky výsledků analýzy blokového diagramu bezporuchovosti

Analýza RBD slouží především k modelování méně rozsáhlých systémů. Software ITEM Toolkit umožňuje přehledně modelovat pomocí RBD i rozsáhlé systémy, limitujícím faktorem přehlednosti analýzy bude velikost obrazovky a grafické reprezentace bloků.

9 Analýza spolehlivosti člověka (HRA)[1]

9.1 Spolehlivost člověka

Spolehlivost člověka (Human Reliability) – schopnost člověka splnit úkol jak je to požadováno, a tehdy, když je to požadováno (v definovaném časovém období a v přípustných mezích).

9.1.1 Analýza spolehlivosti člověka (HRA)

Analýza spolehlivosti člověka - HRA (Human Reliability Analysis, v am. terminologii Human Reliability Assessment) je (ČSN EN 62508):

Systematický proces s cílem ohodnotit spolehlivost člověka.

HRA se snaží najít vyjádření lidského chování uvnitř systému. Jde o predikci, která se snaží najít příspěvek lidských chyb za účelem předpovědi podstatných selhání systému.

9.1.2 Historické souvislosti

Vývoj nástrojů HRA byl mnoho desetiletí poměrně pomalý a na okraji zájmu. Po nehodě Three Mile Island (1979) se do tohoto odvětví však vrhlo mnoho úsilí. To přineslo existenci mnoha HRA nástrojů - nejvíce v oblasti jaderného průmyslu. V období 80.- 90. let 20. století se vývoj v oblasti HRA soustředil především na hledání způsobů kvantifikace pravděpodobnosti vybraných událostí lidské chyby (HEP - *Human Error Probability*). Odhad pravděpodobnosti je definován následovně:

$$HEP = \frac{počet\ nastalýcj\ chyb}{počet\ příležitostí\ k\ chybě}$$

Pravděpodobnost úspěšného provedení dané úlohy člověkem (HSP - Human Success Probability) je daná analogicky:

$$HSP = 1 - HEP$$

9.1.3 Lidská chyba

Definice a chápání lidské chyby se s vývojem metod HRA měnili. Dodnes není široce přijímaná jediná ustálená definice, a proto musíme vybrat tu, která nejvíce odpovídá současnému stavu oboru (zjednodušená definice dle Sträter, 2005):

Lidská chyba je charakterizována nežádoucím nebo chybným stavem systému, jehož součástí je interakce člověk-stroj. Tato interakce přináší potřebu mentálních nebo fyzické aktivity jedince a vede k situaci, kdy nejsou zcela nebo zčásti splněny požadavky systému (nebo jeho částí).

V této definici člověk jako součást systému vždy nese určitý podíl na příčině (stejně jako všechny jiné části systému nesou podíl na příčině) nežádoucího nebo chybného stavu systému. Jak bude vysvětleno dále, tato definice odpovídá současnému chápání spolehlivosti člověka v moderních metodách HRA.

Chyba z vynechání. Chyba z vynechání je obvykle označována zkratkou EOM - z ang. výrazu *error of omission*. Jde o selhání vykonat nebo plně dokončit akci (nevykonání akce).

[1] Autor: Ing. Radim Doležal

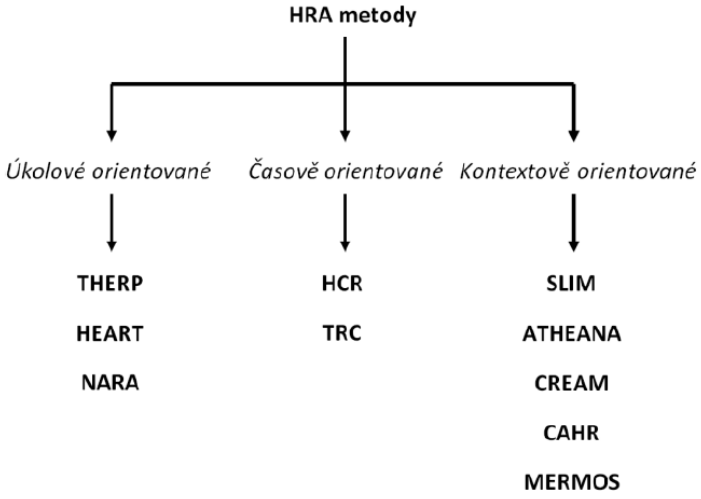
Chyba z přidání. Chyba z přidání je obvykle označována zkratkou EOC - z ang. výrazu *error of commission*. Jde o chybu z vykonání špatné akce (která není vyžadována). Mnohdy je dělená do dvou kategorií: kvalitativní a kvantitativní chyba z přidání (Sträter, 2000). Jednotlivé způsoby chápání chyby z přidání budou vysvětleny u patřičných HRA metod.

Nepatřičná akce. Nepatřičná akce (*extraneous act*) je akce přidaná nebo vykonaná namísto požadované akce. Na rozdíl od EOC jde o odchylku způsobenou vědomě nebo jinými okolnostmi než snahou o splnění požadovaného úkolu. Patří sem i akt poškození systému nebo jeho součásti (úmyslné, v hněvu apod.).

Příležitost k zotavení. Moment nebo časový interval kdy má člověk možnost napravit dříve způsobenou chybu. Podle druhu akce může být příležitost k zotavení např. pouze ihned po lidské chybě, nebo i po dlouhý interval v rámci celé sekvence úlohy. Zdali je tato příležitost k zotavení člověkem rozpoznána je ovlivněno tzv. faktory zotavení (*recovery factors*).

9.1.4 Třídění metod HRA

Třídění metod HRA je individuální a záleží tak na každém autorovi jak k němu přistoupí. V současnosti jsou však odborníky přijímány dva druhy třídění, které se ve své podstatě doplňují. První třídění je podle filozofie přístupu (Spurgin, 2009):

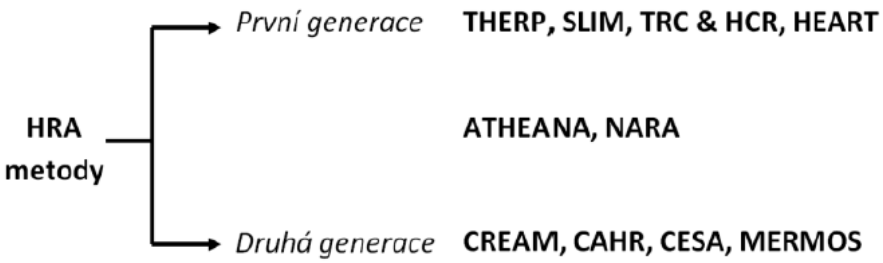


Obrázek 9.1: Třídění HRA metod podle filozofie přístupu.

Druhý způsob třídění, který je v současnosti nejvíce rozšířen používá třídy různých generací. V odborné literatuře se tak setkáváme s metodami první generace, mezi které jsou nejčastěji řazeny: THERP, HEART a SLIM. Hlavním zástupci metod druhé generace jsou MERMOS, CREAM, CESA a CAHR.

9.1.5 HRA proces

Struktura aplikace různých metod HRA se v zásadě neliší. Již skoro dvě desetiletý známý HRA proces (Kirwan, 1994) lze jde uplatnit u všech tradičních metod HRA. Je to i proto, že vychází z obecného rámce managementu rizika. Strukturou je velmi podobný dosud jediné představené normě HRA analýzy: IEEE 1082 (IEEE STD 1082, 1997). V obrázku si můžeme všimnout urychlující větve, která proces zjednodušuje - jde o případ, kdy si vystačíme pouze s kvalitativní analýzou.



Obrázek 9.2: Třídění HRA metod podle generací.

Definice problému Tato část vede k rozhodnutí, které lidské zásahy budou analyzovány. Zabývá se zhodnocením forem vlivu člověka v rámci celého systému (Kirwan, 1994). Jsou dva základní problémy, s kterými se v této fázi musíme vypořádat:

Má být HRA ve své podstatě kvantitativní, nebo kvalitativní?

Jak daleko má HRA zajít (do jaké šíře)? Má se zaměřit pouze na abnormální stavy (nehody, poruchy komponent) které vyžadují lidský zásah, nebo se zaměřit na potenciální chyby člověka při normálním provozu, které vedou ke zvýšení rizika? Komplexní přístup vyžaduje obě.

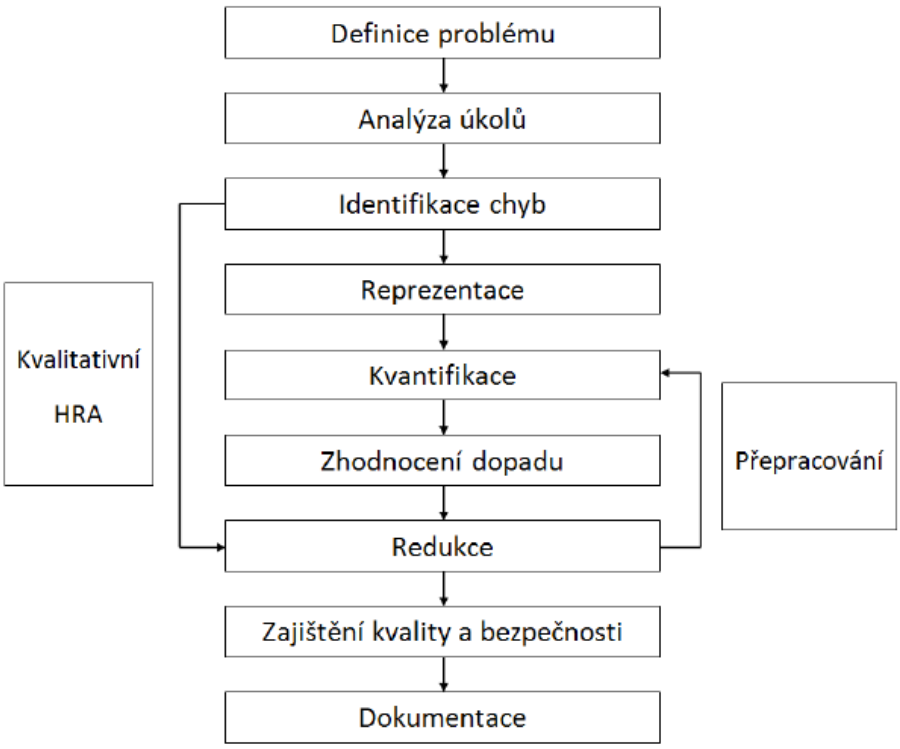
Definice problému je formální reakcí odborníka na požadavky praxe. Snaha o kvalifikovanou formulaci problému, který si vyžaduje analýzu pomocí nástrojů metod HRA.

Analýza úkolů Předchozí krok nám určil šířku úkolů (jejich počet, charakter) pro analýzu spolehlivosti člověka. V tomto kroku je potřeba definovat, jaké akce člověka by měly být provedeny při jednotlivých úkolech, stejně jako nástroje a informační rozhraní který by člověk měl použít (Kirwan, 1994). Je potřebné také identifikovat, které tréninkové procedury, schopností a znalostí jsou potřeba. Jednotlivé druhy metod HRA jednotlivé kroky úkolů zařazují do různě rozvinutých formálních kategorií (např. akce typu pozorování, interpretace, plánování, provedení). Všechny tyto informace společně určují hloubku (rozsah) analýzy HRA. Tato fáze analyzování úkolů je kritická pro celý proces v ohledu zachycení druhů chování, které jsou zajímavé/důležité pro HRA zhodnocení. Zdali se týkají údržby, procesu monitorování veličin, zajišťování akcí řízení, diagnostiky, případně simulace havárií. Analýza úkolů je užívána k uspořádání úkolů operátora pro další analýzu, podobně jako vývojová schémata, diagramy nástrojů a další zobrazení, která jsou použita ke znázornění různých stavů a operací zúčastněných na zadaném procesu. Proto by bez této formy analýzy úkolů byly úkoly popsány pouze vágně a další časti analýzy by nemohly mít spolehlivé výsledky.

Identifikace (lidských) chyb Pakliže je analýza úkolů dokončena a definuje, jak by se s úkoly mělo zacházet, musí identifikace chyb zvážit, co se může „pokazit“. Tato identifikace chyb by měla zvážit následující typy akcí:

Chyba z vynechání (EOM), chyba z přidání (EOC), nepatřičná akce, příležitost k zotavení chyb. Podle druhu metody HRA může být tato identifikace plně odborným odhadem z charakteru části úkolu až k sofistikovaným metodám, které ze zařazení jednotlivého kroku úkolu do formální kategorie určují z tabulek, nebo softwarových nástrojů, možné druhy chyb a příležitostí k zotavení. Odborný odhad pak slouží pouze k vyloučení nepravděpodobných scénářů.

Reprezentace Je-li definováno, co by operátor měl dělat a co „rozdílného“ se může stát, dalším krokem je reprezentace této informace do formy, která dovoluje kvantitativní ohodnocení dopadu lidské chyby na systém. Reprezentace vytváří logický rámec pro identifikované lidské chyby. Typicky jsou užívány stromy poruch a událostí.



Obrázek 9.3: HRA proces.

Kvantifikace Když je potenciál lidské chyby reprezentován, je dalším krokem kvantifikování odhadu pravděpodobnosti těchto chyb a celkový efekt chyby. Tato část analýzy obvykle vypočítává pravděpodobnost lidské chyby – HEP, která je základní metrikou hodnocení spolehlivosti člověka. Můžeme se setkat se zkratkami této fáze: HEQ – human errror quantification, někdy taká HRQ – human reliability quantification.

Pro metody HRA je vlastní obecný způsob výpočtu pravděpodobnosti lidské chyby (jedné akce) podle vzorce ve formě:

$$HEP = f\,(HEP_{BASIC}, F_1, \ldots F_n, R_1, \ldots R_M),$$

kde index n označuje konkrétní PSF a index m faktory zotavení. Tento vzorec znamená, že jsou základní hodnoty lidské chybovosti HEP_{BASIC} pro určitý druh výkonu podle dané funkce metody modifikovány numerickými vlivy faktorů ovlivňujících výkon (F_i), stejně tak s numerickými vlivy faktorů zotavení (R_i).

Zhodnocení dopadu Když jsou chyby kvantifikovány a reprezentovány logickými stromy, může být vypočítána celková úroveň rizika systému. Zároveň v této fázi může být určena akceptovaná úroveň rizika. Vztah vypočítaného rizika k této úrovni pak určuje, zda riziko přijmeme, nebo musíme hledat nástroje k redukci rizika. Toto zvážení může v nejhorší variantě vést k odstavení systému. Zhodnocení dopadu neobsahuje pouze zhodnocení úrovně rizika, ale také ukazuje, které události nejvíce přispívají k této úrovni. Právě tyto události nebo jejich kombinace mohou být cílem vyšetřování a dalšího zlepšování.

Redukce chyb Redukcí chyb myslíme především redukci pravděpodobnosti chyby - toho lze dosáhnout obecně třemi základními způsoby:

1. Pomocí identifikované příčiny lidské chyby, kdy se snažíme změnou systému úplně zamezit vzniku dané chyby.
2. Změnou identifikovaných faktorů ovlivňujících výkon (PSF), které negativně přispívají k velikosti HEP. Zlepšením faktorů se snažíme snížit HEP na akceptovatelnou hladinu.
3. Změnit procedury a interakci člověka se systémem tak, aby obsahovaly více příležitostí k zotavení. Tato příležitost k zotavení následně ovlivňuje výsledné HEP.

V mnoha případech je potřeba mnoha iteračních kroků, než je dosaženo požadované úrovně rizika.

Dokumentace Celý proces analýzy spolehlivosti člověka by měl být dokumentován průběžně. Na závěr je třeba vypracovat dokumentaci, která shrnuje výsledky celého procesu. Velkou část výstupů do bezpečnostní dokumentace získá zpracovatel řízenými rozhovory a konzultacemi s vybranými pracovníky provozovatele a studiem příslušných podnikových dokumentů a písemností. Tato dokumentace zároveň dává určitou záruku kvality a bezpečnosti. Závěry mohou být brány jako validní pouze během intervalu, ve kterém se všechny součásti podílející na interakci člověka se systémem podstatně nemění. Při změně systému např. po inovaci ovládacích prvků, změně ovládané technologie, odlišném fyzickém a společenském prostředí, tréninkových procedur ale i podstatné změně charakteristik skupiny operátorů je potřeba analýzu HRA patřičně aktualizovat.

Faktory ovlivňující výkon Faktory ovlivňující výkon (PSFs - *Performance Shaping Factors*, zřídka PIFs - *Performance Influencing Factors*) jsou charakteristiky vnějšího prostředí, úkolu a lidí, které utvářejí individuální výkonnost (ČSN EN 62508). Obvykle jsou děleny na vnější (prostředí) a vnitřní (individuální). Vnější vlivy a individuální schopnosti jedince můžeme podle různých hledisek zařazovat do různých tříd tak, aby posuzování spolehlivosti člověka zahrnovalo spektrum nejdůležitějších vlivů. Nutno podotknout, že univerzální seznam PSFs neexistuje a každá metoda a každý autor k nim přistupuje s vlastním pojetím. Chápání jejich vlastností se tak často pohybuje v paletě od naprosto kvalitativního, přes semikvantitativní až k plně kvantitativnímu ocenění (např. při stanovení pravděpodobnosti lidské chyby).

Celou situace dále stěžuje vývoj metod HRA druhé generace, které zavádí vlastní obdobu PSF. Jde o kontext přibližující chybu (EFC - *Error Forcing Context*). EFC v některých metodách plně nahrazuje všechny PSFs, u jiných autoři ponechávají tradiční PSFs a k nim zavádějí dodatečné EFC. Problematika kontextu je rozvedena v následujících kapitolách - pro potřeby této části tedy shrňme, že PSFs je pojem velmi individuální pro každou metodu HRA. V některých případech znamená tradiční faktory metod první generace a jindy označuje už moderní klasifikaci faktorů spolu s kognitivními faktory a kontextem.

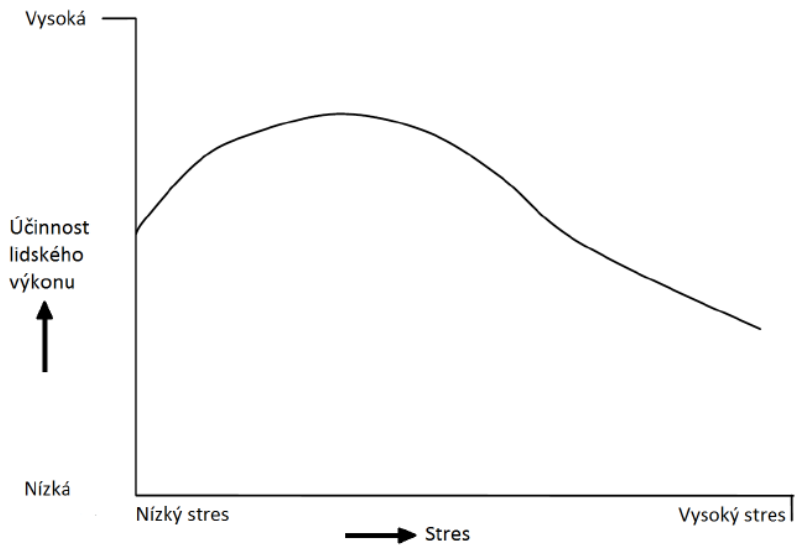
Dalšími obdobami PSF s podobnou funkcí jsou například i CPC (*Common Performance Condition*) v metodě CREAM nebo EPC (*Error Producing Condition*) v metodě HEART (a jejích následovnících). Nejčastější vybrané PSFs jsou:

Stres Stres je jedním z nejčastěji zmiňovaných PSF. Zároveň se vymezuje vůči ostatním PSFs díky tomu, že jde spíše o reakci na souhrn všech ostatních PSFs. Využívání stresu jako PSF je tak obvykle zjednodušením a záměnou komplexní reakce mnoha jiných faktorů.

Stres je jedinečná reakce organismu a jako takový nemůže být u jedince přesně předpovězen z daných stresorů. Úkolem pracovníků lidských zdrojů, podnikových psychologů a dalších, je vybrat na důležitá řídící místa takové jedince, jejichž psychika je stabilní a u nichž můžeme psychickou i fyzickou odezvu při vystavení stresorům očekávat v akceptovatelných mezích. To je také důvod, proč např. pilota dopravních letadel, operátora velínu jaderné elektrárny může dělat pouze určité procenta jedinců z celé populace. U těchto vybraných lidí by psychická a fyziologická odezva na stresory měla s určitou nejistotou odpovídat naší teorii.

Stres v kontextu lidského faktoru tedy chápeme jako tuto všeobecnou souhrnnou reakci organismu, mající jasné důsledky na lidský výkon. Tyto důsledky nesmíme brát pouze jako negativum. V praxi se

setkáváme s pozitivní rolí stresu - určitého „vzrušení", které udržuje pracovníky v pozoru, nutí je k akci. Odborníci studovali různé stupně stresu a jejich vliv na ukazatel, který nazvali „efektivita výkonu". Tento vágní pojem lze chápat jako zobecnění mnoha různých ukazatelů lidského výkonu - může jít o bezchybnost, rychlost apod. Ze zkušeností praktiků v oblasti lidského výkonu byla v šedesátých letech vytvořena teoretická křivka zobrazující vztah mezi stresem a efektivitou výkonu. Odpovídá obecně přijímaným názorům, že určitá hladina stresu pro optimální výkon je přínosná. Pokud však stres naroste do extrémních hodnot - efektivita výkonu klesá (tj. člověk více chybuje apod.).



Obrázek 9.4: Efektivita lidského výkonu v závislosti na stresu.

Dostupný čas Jde pravděpodobně o nejčastěji používaný PSF v metodách první generace. Základním předpokladem o vlivu tohoto PSF na spolehlivosti člověka bylo to, že pravděpodobnost správné reakce s časem roste. Tento předpoklad odpovídá obecnému vnímání, že dříve nebo později člověk přijde na správnou odpověď. Toto tvrzení potvrdilo mnoho různých vědeckých výzkumů ve specifickém prostředí. Čas byl také občas považován za dominantní faktor, s kterým se dobře kvantifikuje HEP.

Pozdější výzkum ukázal, že kvantifikace vlivu dostupného času se stává mnohem složitější při výskytu komplexní kombinace PSFs a jeho vliv na lidskou chybu není tak dominantní, jak se předpokládalo. Analýzy založené na mylných předpokladech o vlivu dostupného času na spolehlivost člověka tak z dnešního pohledu považujeme za zavádějící.

Další PSFs s kterými se můžeme často setkat:

- Organizační dostatečnost
- Pracovní podmínky
- Dostatečnost MMI a operativní podpory
- Dostupnost procedur a plánů
- Počet simultánních cílů
- Denní doba

- Dostatečnost zkušeností a tréninku
- Kvalita spolupráce skupiny

9.2 TESEO

Nejjednodušší metoda s velmi nepřesnými výsledky. Lze ji chápat jako „úvod do výpočtu odhadu spolehlivosti člověka“. K odhadu spolehlivosti lidského činitele metoda využívá pět faktorů, jsou to:

- Typ realizované aktivity K_1.
- Čas, který je k dispozici pro provedení aktivity K_2 (stresový faktor běžných činností, případně stresový faktor mimořádných činností).
- Charakteristika personálu K_3 (faktor operátorských kvalit).
- Psychický stav personálu K_4 (faktor úzkosti a stresu).
- Místní pracovní podmínky K_5 (ergonomický faktor).

Výsledný odhad pravděpodobnosti lidské chyby při realizaci dané aktivity se vypočítá jako:

$$HEP = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5$$

Konkrétní numerické hodnoty jednotlivých faktorů Ki lze získat z tabulek. Pokud součin všech pěti faktorů dosáhne numerické hodnoty větší než 1, předpokládá se, že pravděpodobnost lidské chyby je rovna jedné. Tabulky vypadají například takto:

Typ činnosti	K1
Jednoduchá, rutinní	0,001
Vyžadující si pozornost, rutinní	0,01
Neobvyklá	0,1

Tabulka 9.1: Numerické hodnoty faktoru K1.

Doba pohotovosti pro běžné činnosti [s]	K2
2	10
10	1
20	0,5

Tabulka 9.2: Numerické hodnoty faktoru K2.

Doba pohotovosti pro mimořádné činnosti [s]	K2
3	10
30	1
45	0,3
60	0,1

Tabulka 9.3: Numerické hodnoty faktoru K2.

Operátorovy kvality	K3
Pozorně zvolený, expert, dobře školený	0,5
Průměrné znalosti a školení	1
Malé znalosti, chabé školení	3

Tabulka 9.4: Numerické hodnoty faktoru K3.

Faktor úzkosti a stresu	K4
Stav vážného nepředvídaného případu	3
Stav vážného potenciálně nepředvídaného případu	2
Normální stav	1

Tabulka 9.5: Numerické hodnoty faktoru K4.

Ergonomický faktor	K5
Vynikající mikroklima, vynikající koordinovanost s provozem	0,7
Dobré mikroklima, dobrá koordinovanost s provozem	1
Rušené mikroklima, rušená koordinovanost s provozem	3
Rušené mikroklima, chabá koordinovanost s provozem	7
Špatné mikroklima, chabá koordinovanost s provozem	10

Tabulka 9.6: Numerické hodnoty faktoru K5.

9.2.1 Jednoduchý příklad analýzy HRA metodou TESEO (příklad 1)

Zapnutí přečerpávání do rezervní nádrže: uvažujeme operátora výroby (chemické, petrochemické apod.), který jako jeden z úkolů sleduje stav hladiny v nádrži jedné z provozních kapalin. Při určité úrovni hladiny má za úkol spustit přečerpávání do druhé nádrže dříve než dojde k dosažení limitního stavu a zásahu bezpečnostního systému.

Vybíráme tyto charakteristiky:

Typ aktivity: Vyžadující si pozornost, rutinní: $K_1 = 0{,}01$
Doba pohotovosti pro běžné činnosti: Více než 60s: $K_2 = 0{,}1$
Operátorovy kvality: Průměrné znalosti a školení: $K_3 = 1$
Faktor úzkosti a stresu: Normální stav: $K_4 = 1$
Ergonomický faktor: Dobré mikroklima, dobrá koordinovanost s provozem: $K_5 = 1$

$$HEP = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 = 0{,}01 \cdot 0{,}1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0{,}001$$

9.3 THERP

Technika pro předpovídání intenzity lidské chyby (Technique for Human Error Rate Prediction) je dodnes nejvíce využívanou technikou analýzy spolehlivosti člověka v jaderném průmyslu. Metoda THERP je silně spjatá s dokumentem Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications - Final Report z roku 1983. Její vývoj však trval již několik desetiletí předtím. Teprve v této publikaci byla metoda THERP představena ve své finální podobě s vhodnými pravidly. Tyto pravidla a jejich zdůvodnění tvoří zbytek náplně Handbooku (o velikostí více jak 700 stránek). Celý Handbook představuje ucelený souhrn informací a dlouholetých zkušeností s nasazením metody THERP, jejím použití v různých oblastech posuzování lidského výkonu v jaderných elektrárnách a celkovou filozofii autorů.

Tento svůj přístup sami autoři nepovažovali za perfektní, ale efektivní ve snaze začlenit lidský faktor do tehdejších analýz PRA.

9.3.1 Pravděpodobnost lidské chyby metody THERP

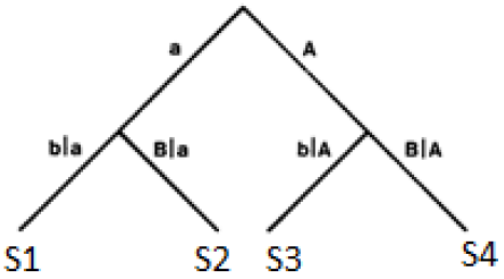
Metoda THERP považuje předpověď lidského výkonu za velmi obtížnou disciplínu kvůli inherentní rozmanitosti lidské činnosti. Navzdory této rozmanitosti si metoda THERP dovoluje předpovědět (s různými stupni nejistot) spolehlivost člověka zahrnutého do úkolu na který je řádné připraven (tréninkem a školením). Nejistota bude nejmenší, pokud budeme předpovídat chování při výkonech rutinních úkolů, jako jsou testy, údržba, kalibrace a normální operace řízení. S největší nejistotou naopak bude předpovídat chování v důsledku mimořádné situace. Metoda využívá známé nástroje technické spolehlivosti (stromy událostí) se změnami umožňující větší variabilitu, zavádí nástroj PSF a reflektuje celkovou rozdílnosti lidského výkonu ve srovnání s provozem technického zařízení. Základní předpoklad metody THERP je, že celkové spojené HEP lze získat ze základní povahy úkolu, daného prostředí, stavu mysli člověka plnícího úkol a dalších okolností. Povaze úkolu odpovídají základní pravděpodobnosti lidské chyby (BHEP), nebo nominální pravděpodobnosti (NHEP). Prostředí, stav mysli a další okolnosti pak charakterizují PSF. THERP je dále charakterizován těmito znaky:

- Výsledky silně závisí na detailní a správně provedené analýze úkolů.
- Pro hodnocení úkolů používá strom událostí.
- Využívá faktory zotavení – jak ve stromě pravděpodobností, tak při výpočtu HEP.
- Dovoluje modelovat potenciální závislosti mezi různými úkoly.

9.3.2 Základní, podmíněné a spojené pravděpodobnosti

Čtyři typy pravděpodobností jsou důležité při provádění metody THERP. Jsou to:

1. Nominální pravděpodobnost lidské chyby (NHEP) – je pravděpodobnost lidské chyby bez přihlížení k PSF nebo jiným úlohám.
2. Základní pravděpodobnost lidské chyby (BHEP) – jde o pravděpodobnost lidské chyby při úloze uvažované jako izolovaná část, neovlivnitelná jinými úlohami.
3. Podmíněná pravděpodobnost lidské chyby (CHEP) – jde o pravděpodobnost specifické úlohy, při daném selhání nebo úspěchu jiné úlohy. Modifikace BHEP ovlivněním jinými úlohami a událostmi. Dvě úlohy jsou nezávislé, jestliže je podmíněná pravděpodobnost stejná bez ohledu, zda došlo k selhání jiné úlohy. Jinak jsou úlohy závislé.
4. Spojená pravděpodobnost lidské chyby (JHEP) – jde o pravděpodobnost lidské chyby, pakliže všechny úlohy musí být vykonány správně k dosažení výsledku.



Obrázek 9.5: Dvě lidské akce a výsledné scénáře ve stromu pravděpodobnosti.

9.3.3 Získávání HEP pro konkrétní úlohu

1. Tabulky Handbooku metody THERP.

   Data do těchto tabulek byly získané z dostupných dat jaderného průmyslu, simulátorů velínů jaderných elektráren, dalších provozů patřících do chemického průmyslu apod. Byly použity také data vhodných studií (vybraných autory) a některá data byla aproximována na základě podobnosti s jinou úlohou. Všechna data delší dobu upravována a konzultována mezi mnoha odborníky z oblasti lidského faktoru.

   THERP dále nabízí tyto metody:

2. Expertní úsudek.

   - přímý odhad HEP.
   - nepřímý odhad HEP.
   - metoda párového porovnání (snaží se o eliminaci skutečnosti, že člověk dokáže mnohem lépe odhadnout tyto ukazatele kvalitativně, než kvantitativně).
   - metoda postupného zařazování (ranking).

3. Použití vlastních dat o chybovosti.

9.3.4 Strom pravděpodobností

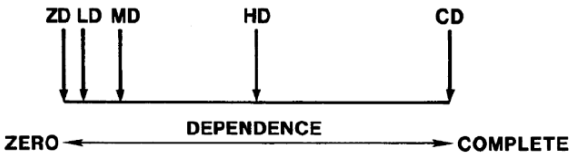
Základním nástrojem reprezentace lidských činností v metodě THERP je strom pravděpodobností - někdy nazýván také strom událostí HRA. Metoda se drží tradičního binárního větvení (tedy větvení pouze do dvou větví). Jednotlivé události jsou ve stromu reprezentováni uzlem a mohou znamenat nejen lidské akce, ale i další související události.

Každá událost (uzel) má za výsledek dvě nové větve (tj. úspěch či neúspěch) a každé této větvi je přiřazena odpovídající pravděpodobnost výskytu. Tyto pravděpodobnosti jsou podmíněné událostmi v předchozích částech stromu (diagramu). Strom pravděpodobností je užitečný nástroj pro zpřehlednění sekvence akcí uvažovaných scénářů. Umožňuje snadný (i ruční) výpočet výsledných pravděpodobností jednotlivých scénářů. Je také možné graficky znázornit příležitosti k zotavení - faktory zotavení se tak promítnou přímo do struktury stromu.

Pravidla výpočtu pravděpodobností ve stromu pravděpodobností shrnuje následující ilustrační příklad:

Lidský výkon se sestává ze dvou zásahů (akcí). Úspěch u prvního zásahu označujeme a, neúspěch A. Analogicky u druhého zásahu označujeme úspěch b, neúspěch B. Tyto dvě lidské akce obecně nabízí čtyři možné výsledné scénáře - $S1$, $S2$, $S3$ a $S4$.

Pravděpodobnost scénáře S1 se vypočte: $P(S1) = P(a) \cdot P(b|a)$



Obrázek 9.6: Kontinuum pozitivní závislosti zastoupené pěti diskrétními body.

Analogicky lze určit i vzorce pro další scénáře.

Na příkladu je vidět, že jeden lidský zásah může být ve stromu reprezentován více uzly. Pravděpodobnosti výsledných větví těchto uzlů však nemusí být stejné, protože se jedná o podmíněné pravděpodobnosti. V příkladu se např. $P(b|a) = P(b|A)$ pouze v případě, pokud jsou oba lidské zásahy (jako jevy) nezávislé.

Výpočet jednotlivých HEP (jevy A a B) ve stromě pravděpodobností můžeme vyjádřit obecně například takto:

$$HEP = BHEP \prod_{i=1}^{n} PSF_1$$

kde je numerická hodnota základní HEP a PSF_1jsou kvantifikované vlivy jednotlivých PSFs příslušejících k úloze. Výpočet celkové (spojené) pravděpodobnosti úspěchu či neúspěchu (JHEP) pak naprosto závisí na struktuře stromu pravděpodobností a použitých faktorů zotavení.

9.3.5 PSFs metody THERP

Handbook metody THERP obsahuje vyčerpávající popis mnoha různých PSF. Je však třeba poznamenat, že většina je popsána pouze kvalitativně a pouze několik nejvýznamnějších kvantitativně za pomocí vztahů a tabulek.

9.3.6 Model závislosti metody THERP

Tento model je určen pro kvalifikovaný odhad důsledku závislosti při určování HEP úkolů ke kterým nemáme dostatek dat. Skutečná závislost se může pohybovat v celém kontinuu od žádné k úplné. Tak velký rozsah se autorům metody zdál zbytečný a tak navržený model zjednodušuje toto kontinuum do pěti diskrétních bodů. Kromě krajních mezí odpovídajících úplné a žádné závislosti, jsou mezi nimi tři body.

Úroveň závislosti je tedy rozdělena do pěti kategorií:

1. Žádná závislost (ZD – Zero dependence)
2. Nízká závislost (LD – Low dependence)
3. Střední závislost (MD – Moderate dependence)
4. Vysoká závislost (HD – High dependence)
5. Úplná závislost (CD – Complete dependence)

Těchto pět diskrétních hodnot pozitivní závislosti v celém spektru zobrazili autoři takto:

Autory metody THERP byl navržen následující kvantifikační model pro výpočet pravděpodobnosti lidské chyby závislých úloh:

$$HEP_N\,[HEP_{N-1}]\,ZD = HEP_N$$

$$HEP_N\,[HEP_{N-1}]\,LD = \frac{1+19HEP_N}{20}$$

$$HEP_N\,[HEP_{N-1}]\,MD = \frac{1+6HEP_N}{7}$$

$$HEP_N\,[HEP_{N-1}]\,HD = \frac{1+HEP_N}{2}$$

$$HEP_N\,[HEP_{N-1}]\,CD = 1$$

Kde HEP_N je HEP pro úkol N při žádané závislosti k úloze N–1.

Neexistují žádná pevná a rychlá pravidla pro rozhodnutí, který druh závislosti je vhodný pro danou situaci. Jde čistě o kvalifikovaný úsudek.

9.3.7 Jednoduchý příklad analýzy HRA metodou THERP (příklad 1)

Zapnutí přečerpávání do rezervní nádrže (stejné zadání jako u příkladu výpočtu metodou TESEO).

Z tabulek je vybrán následující druh výkonu: „aktivita se znalostí písemných postupů“. Tedy: Odhad pravděpodobnosti chyby z vynechání položky z instrukcí, pakliže jsou určeny písemných postupy (tabulka 20-7: *Estimated probabilities of errors of omission per item of instruction when use of written procedures is specified*). Konkrétní položka je *krátký seznam* (*short list:* < *10 items*). $BHEP = 0{,}001$.

Žádný faktor zotavení neuvažujeme, naopak je identifikován následující PSF:

Velmi nízká hladina stresu: PSF1 = 2.

Výsledná pravděpodobnost je vypočtena podle vzorce:

$$HEP = \min\left((0{,}001 \cdot 2)\,,1\right) = 0{,}002$$

9.3.8 Jednoduchý příklad závislých úloh v metodě THERP (příklad 2)

Základem je předchozí příklad, analyzujeme lidskou chybu při reakci na zásah bezpečnostního systému. Tento zásah je indikován varovným signálním světlem. Z tabulek je vybrán následující druh výkonu: Model reakce na signalizaci: odhad pravděpodobnosti chyby pro více signalizací v krátkém čase (tabulka 20-23: *Annunciator response model: estimated HEPs for multiple annunciators alarming closely in time*). Pro jedinou signalizaci je hodnota $BHEP = 0{,}0001$. Žádný faktor zotavení neuvažujeme, je identifikován následující PSF: optimální hladina stresu s numerickým vlivem $PSF_2 = 1$. Zároveň uvažujeme vysokou závislost úlohy k předchozímu selhání identifikace vysoké hladiny nádrže.

Výsledná pravděpodobnost je vypočtena podle vzorce:

$$HEP_2|HEP_1 = \frac{1+HEP_1}{2} = \frac{1+0{,}0001 \cdot 1}{2} \simeq 0{,}5$$

9.4 HEART

Technika posouzení a redukce lidské chyby (*Human Error Assessment and Reduction Technique - HEART*) se liší od ostatních metod tím, že se nesnaží rozložit úlohu na souhrn podúloh, ale snaží se hodnotit a kvantifikovat úlohu jako celek. Metoda byla vyvinuta již v roce 1985 a zůstala rozšířena především ve Velké Británii. Přestože je hlavní část metody úkolově orientovaná, tak úkol je definován více globálně, než v přístupu podúloh jaký ukázal Swain a Guttman v metodě THERP (Spurgin, 2009). Přístup HEART spočívá v definování souboru osmi generických typů úloh (*Generic Task Types - GTTs*) spojených s provozem technologického systému. Jde tedy o velmi obecné typy úloh. Pro všechny úlohy je tabulkově zadaná HEP s hodnotami 5tého a 95tého percentilu uvažovaného log-normálního rozdělení(Kirwan, 1994). Celá tabulka je níže:

Generický typ úlohy		**Navrhované nominální HEP (hodnoty 5tého a 95tého percentilu)**
A	Úplně neznámá, vykonaná v rychlosti bez představy o možných následcích	0,55 (0,35 - 0,97)
B	Změna nebo návrat systému do nového nebo jedinečného stavu bez provedení procedury nebo dohledu	0,26 (0,14 - 0,42)
C	Komplexní úloha vyžadující vysokou úroveň porozumění a schopností	0,16 (0,12 - 0,28)
D	Velmi jednoduchá úloha prováděná překotně, nebo s nedostatečnou pozorností	0,09 (0,06 - 0,13)
E	Rutinní, často prováděná zrychlená úloha vyžadující relativně malou úroveň schopností	0,02 (0,007 - 0,045)
F	Obnova nebo posun systém do původního nebo nového stavu dodržováním postupů, s určitou kontrolou	0,003 (0,0008 - 0,007)
G	Úplně známá úloha, dobře navržená, často prováděná, rutinní úloha nastávající několikrát za hodinu, prováděná na nejvyšší možnou úroveň díky vysoké motivaci, dobrému tréninku a znalostem, plném vědomí důsledků selhání, s časem na napravení potenciálních chyb, ale bez podstatných podpůrných prostředků	0,0004 (0,00008 - 009)
H	Správná reakce na požadavky systému, i když je možnost použití automatických pomocných (poradních) a zobrazovacích systémů dovolujících správnou interpretaci stavu systému	0,00002 (0,000006 - 0,0009)

Tabulka 9.7: Generické typy úloh (Williams, 1986)

Metoda zavádí vlastní druh PSFs, tzv. podmínky vzniku chyb - *Error Producing Condition* (EPC), například únavu, rozptýlení, prostorové uspořádání apod. - celkově 38 různých EPC (Spurgin, 2009). Kvantifikované hodnoty vlivu EPCs na pravděpodobnost mohou být upraveny pomocí korekčního faktoru, který zohledňuje dopad. Tato korekce je tzv. zhodnoceným poměrem vlivu (*Assessed Proportional of Affect* – APOA). Velikost APOA se pohybuje v rozmezí 0,0 - 1,0 a určuje ho expertní úsudek.

Jako příklad můžeme uvést EPC s největším negativním dopadem na HEP. Jde o: *Neznalost situace, která je potenciálně důležitá, ale nastává jen zřídka, nebo která je neobvyklá, případně nová.* Její dopad je

předpovězen podle tabulek na maximální hodnotu 17 (zvýší pravděpodobnost 17krát). Dalším příkladem může být EPC pohybující se svou závažností přibližně uprostřed tabulky: *Operátorova nezkušenost (např. nově kvalifikovaný pracovník, ne-expert v dané oblasti)*. Hodnota dopadu na HEP tohoto EPC je už pouze 3.

HEP úlohy se počítá podle následujících vzorců:

$$WF_i = [(EPC_i - 1) \cdot APOA_i + 1{,}0]$$

$$HEP = GTT \cdot WF_1 \cdot WF_2 \cdot WF_3 \cdot \ldots atd.$$

kde

GTT	je navrhovaná nominální HEP spojená s generickým typem úlohy,
EPC_i	jsou numerické hodnoty dopadu vybraných podmínek vzniku chyb,
$APOA_i$	jsou zhodnocené poměry vlivu pro jednotlivé podmínky,
WF_i	jsou vážené vlivy podmínek.

Ve vzorci si můžeme všimnout možnosti, že výsledná HEP výrazně překročí hodnotu 1. V daném případě tuto hodnotu musíme z jasných důvodů uvažovat jako 1,0 - tedy jistý jev.

Další charakteristikou metody je fakt, že nemá vypracovaný vlastní model závislosti mezi úlohami.

Metoda HEART je poměrně jednoduchá, pracuje s malým počtem tabulek a rychle se provádí. Je však velmi závislá na expertním úsudku - jak při vybírání jednotlivých EPC, tak jejich APOA. I praktici, mající mnoho zkušeností s jinými metodami HRA mají problémy s ohodnocením úloh, podle jejich tabulek. Pakliže postupují s podobnou filozofií jako např. v metodě THERP, tak výsledné HEP v nepřiměřeném množství překračují hodnotu 1 a dávají nevhodně konzervativní výsledky. Užití metody HEART je tak pro velkou část praktiků vhodné jenom, pokud člověk dokáže přijmout rozdílnou filozofii práce a expertního úsudku v metodě. U praktiků, kteří tohoto nejsou schopni je tato metoda doporučena pouze jako nástroj pro identifikaci kritických úloh (screening).

9.4.1 Jednoduchý příklad analýzy metodou HEART (příklad 1)

Zapnutí přečerpávání do rezervní nádrže:

Vybereme tento druh úlohy (GTT): Obnova nebo posun systém do původního nebo nového stavu dodržováním postupů, s určitou kontrolou: $HEPB = 0{,}003$. Identifikované PSF jsou: Malé nebo na sobě závislé kontroly a testy výstupů ($EPC_1 = 3$), Mála příležitost k procvičení mysli a těla bez okamžitého omezení práce ($EPC_2 = 1{,}8$). Příslušné váhové faktory byly určeny: $WF_1 = 0{,}5$; $WF_2 = 0{,}8$. Výsledná pravděpodobnost lidské chyby je:

$$HEP = (0{,}003) \cdot [(3-1) \cdot 0{,}5 + 1] \cdot [(1{,}8-1) \cdot 0{,}8 + 1] \simeq 0{,}01$$

9.5 Shrnutí

Metody HRA vychází ze stejných principů. Velkou roli hraje expertní úsudek při výběru správných druhý lidského výkonu z tabulek. Stejně tak při identifikaci PSF.

Na správném výsledky se kriticky podílí především korektně vypracovaná analýza úkolů. Tedy správné popsání lidského výkonu. Na ní následuje kvalitní dekompozice - tj. rozbití celého lidského výkonu na jednotlivé malé části (jednotlivé lidské úkony). Používají se buď vlastní způsoby analýzy úkolů různých metod, nebo sofistikovanější nástroje, např. HTA. HTA (hierarchical task analysis) je široce používaná metoda s mnoha různými variantami. Její problematika přesahuje tuto publikaci. Příklad, jak může HTA vypadat ukazuje následující tabulka:

Tabulka 9.8: Příklad užití HTA.

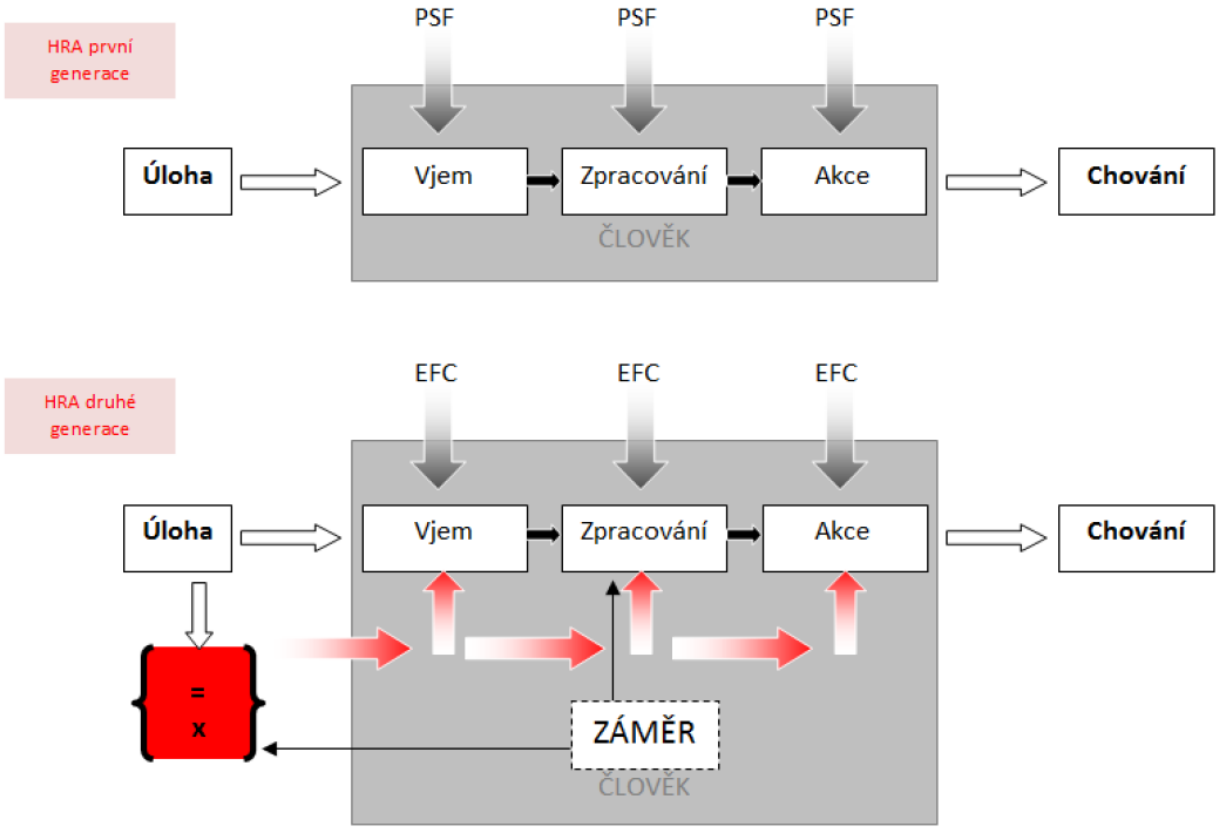
	Cíl		Kroky úkolu nebo aktivity	Přepočtená hodnota HEP	Dolní mez	Horní mez
1.	Rozpoznání situace a diagnóza správné procedury	1.A	Reakce na výstražné signály	0,014	0,004	0,0034
		1.B	Zjištění stavu hlavního elektrického napájení	0,005	0,0005	0,05
		1.C	Zjištění stavu bezpečnostního elektrického napájení	0,005	0,0005	0,05
		1.D	Zjištění stavu jednotky 2	0,005	0,0005	0,05
		1.E	Určení bezpečnostní procedury	0,0025	0,00025	0,025
2.	Bezpečnostní procedura	2.A	Odstavení jednotek 1 a 3 uzavřením bezpečnostních ventilů mezi jednotkami 1, 2 a 3.	0,006	0,005	0,008
		2.B	Spuštění sanační jednotky.	0,006	0,005	0,008
		2.C	Spuštění diesel-generátoru (DG) do teplé rezervy.	0,02	0,009	0,0114
		2.D	Kontrola stavu systému před spuštěním odsávání do sanace.	0,002	0,0002	0,02
		2.E	Otevření ventilu mezi jednotkou 2 a sanační jednotkou.	0,006	0,005	0,008

9.5.1 Metody HRA druhé generace

Metodám analýzy spolehlivosti člověka druhé generace se obecně přiřazuje proti starším metodám především větší důraz na hledání kontextu a chyb z přidání (EOC). Skutečným krokem kupředu je ale především snaha o lepší pochopení kognitivní stránky chování člověka.

Metody druhé generace se tedy snaží podchytit stejné druhy lidského chování náchylné k chybě jako metody první generace, ale snaží se také najít druhy chování vyvolané záměrem (cílem) člověka, které

jsou v konfliktu s tím, jak by úloha měla být správně vyřešena. Tento zásadní rozdíl mezi dvěma generacemi HRA ilustruje následující obrázek:



Obrázek 9.7: Rozdílný přístup dvou generací metod HRA.

Červeně podbarvený blok a z něj vystupující šipky znázorňují fenomén, kdy je záměr buď v souladu (symbolizován znakem „=“) nebo v rozporu (symbolizován znakem „x“) s povahou úlohy.

Metody druhé generace tak různým způsobem obohacují tradiční přístup již zažitých a dlouhá léta používaných metod. Používají tradiční přístup obecného procesu HRA a zachovávají nástroj PSFs. Onu přidanou hodnotu bychom mohli nazvat „kognitivním rozměrem“. Ten bychom dále mohli rozdělit na kognitivní zatížení a vypořádání.

Problematika metod druhé generace bohužel přesahuje rámec tohoto textu.

9.6 Příklady výpočtu spolehlivosti člověka pomocí různých metod HRA – Obsluha kávovaru

Vaření kávy je jedna z nejčastějších činností, kterou můžeme sledovat prakticky ve všech kulturách a na všech místech na zemi (rozšířenosti pití kávy může konkurovat pouze čaj). Druh a způsob vaření, důvod a způsob její konzumace má napříč společností mnoho různých forem. Jedním z nejčastějších způsobů vaření kávy a pravděpodobně nejmasovějším z hlediska objemu je vaření překapáváním mleté kávy v papírových filtrech vařící vodou do konvic v automatických kávovarech známých od 70. let 20. století. Tento způsob vaření z hlediska milovníků kvalitní kávy není nejlepší, ale pro svojí relativní jednoduchost se široce rozšířil po celém světě.

Tyto automatické kávovary se liší typ od typu od naprosto jednoduchých až po luxusní s mnoha funkcemi. Konvice na uvařenou kávu se používají skleněné, ale i nerezové apod. Některé kávovary mají pouze spínání chodu, jiná dovolují nastavovat teplotu a rychlost proudění vody do konvice nebo funkci časovače. Liší se provedení nádržek na vodu a indikace jejich naplnění. Existuje mnoho dalších rozdílností ve fyzické konstrukci kávovarů.

Podmínky, za kterých se daný kávovar používá, mohou být také velmi rozdílné. Někteří lidé vaří kávu během snídaně a jsou přítomni během celého procesu. Mají tedy mnoho příležitostí celý proces a průběh vaření kontrolovat a případné chyby napravit. Opačným případem může být předpřipravené vaření spuštěné časovačem, kdy není přítomen nikdo, kdo by případně napravil chybnou předchozí přípravu. Lidé mohou připravovat náplň do kávovaru buď večer před spaním, ráno když jsou ještě rozespalí nebo v práci kdy jsou pod stresem a myslí na pracovní úkoly. Vzhledem k této široké škále rozdílností není možné vytvořit jedinou platnou analýzu spolehlivosti člověka při vaření kávy v kávovaru. Takovouto analýzu můžeme udělat, ale vždy bude platit pro jeden druh kávovaru, konkrétní situaci za které je vařena a konkrétního člověka, který ji vaří.

Konkretizování situace: Uvažujeme ranní vaření kávy na starším kávovaru ve firemní kuchyňce. Kávovar má pomalejší chod a první káva se v konvici objevuje až po dvou minutách od zapnutí. Pracovník obvykle není přítomen celému procesu vaření kávy, pouze jednou přijde chod zkontrolovat. Jako úspěšný lidský výkon budeme považovat uvaření kávy včas a bez žádných mimořádných událostí. Pracovník tedy může udělat některé druhy chyb, ale musí je napravit během jediné uvažované kontroly. Návod k obsluze má pracovník k dispozici, ale neočekáváme, že ho bude hledat. Pracovník bude postupovat podle zkušeností, které mu byly předané ústní cestou, osvojováním technických zařízení podobného typu a vlastních pozorování.

Užití metody THERP (pro nedostatek dat podobných úloh budeme pravděpodobnost vypočítávat z tabulek pro zapomenutí ústních instrukcí, přičemž tuto hodnotu zmenšíme o faktor 3-5 (podle výhodnosti pro zaokrouhlení) pro uvažovanou jednoduchost úlohy a předchozí zkušenosti).

Protože jde o jednoduchý ilustrační příklad, tak nebudeme uvažovat závislosti mezi událostmi. Jednotlivé události (včetně výpočtu jejich pravděpodobnostních charakteristik) procesu vaření kávy jsou:

A Kontrola stavu vody v nádržce. Pravděpodobnost zapomenutí na stav vody je podle tabulek 0,01. Uvažujeme vliv ergonomie ukazatele stavu vody - stavoměrná komora má červený plovoucí ukazatel, který při samotném vizuálním pohledu na kávovar upozorňuje, že voda je něco, čemu je potřeba věnovat pozornost - zlepšující faktor (/2). Pracovník je však při vaření pod velmi nízkou hladinou stresu (x2) - tedy celková pravděpodobnost je 0,01.

B Možné napravení chyby zapomenutí na stav vody v nádržce při kontrole. Uvažujeme stejnou pravděpodobnost jako v předchozím případě s jediným rozdílem, že pracovník již věnuje plnou pozornost (při kontrole zjistil, že něco není v pořádku). Pravděpodobnost je tedy 0,005.

C Výměna filtru a nasypání nové kávy (uvažujeme úplnou závislost mezi filtrem a novou kávou a proto je můžeme sdružit do jediné podúlohy). Pravděpodobnost zapomenutí výměny filtru a nasypání nové kávy je tabulkově 0,01. Uvažujeme nízkou hladinu stresu (x2). Pravděpodobnost chyby je 0,02.

Obrázek 9.8: Kávovar

D Možné napravení nevyměněné náplně. Vzhledem k tomu, že předpokládáme ponechanou starou náplň, tak spočívá úspěšná kontrola v rozpoznání slabšího odstínu kávy a rozdílné vůně. Pravděpodobnost selhání této kontroly byla dosazena metodou párového srovnání jako 0,3.

E Vypláchnutí konvice a zasunutí na správné místo. Uvažujeme, že na dně filtračního koše je ventil, který se otevře pouze při stlačení čepem konvice ve správné poloze. Pravděpodobnost špatného zasunutí podle tabulky je 0,01. Uvažujeme nízkou hladinu stresu (x2). Pravděpodobnost chyby je 0,02.

G Přetečení filtračního koše při špatně zasunuté konvici. Uvažujeme, že při špatném zasunutí konvice nemá káva kam odtékat a může v koši přetéci. Pravděpodobnost, že pracovník přijde zkontrolovat chod kávovaru dříve, než k přetečení dojde a může tuto chybu napravit je 0,5.

H Možné napravení špatného zasunutí. Uvažujeme stejnou pravděpodobnost jako v případě G s jediným rozdílem, že pracovník již věnuje plnou pozornost (při kontrole zjistil, že něco není v pořádku). Pravděpodobnost je tedy 0,01.

K Zapnutí kávovaru. Pravděpodobnost zapomenutí je 0,01. Spínač má světelnou indikaci, která zlepšuje pravděpodobnost /3 (pracovník má spojený správný chod kávovaru se svítící kontrolkou). Uvažujme nízkou hladinu stresu (x2). Pravděpodobnost chyby je 0,007.

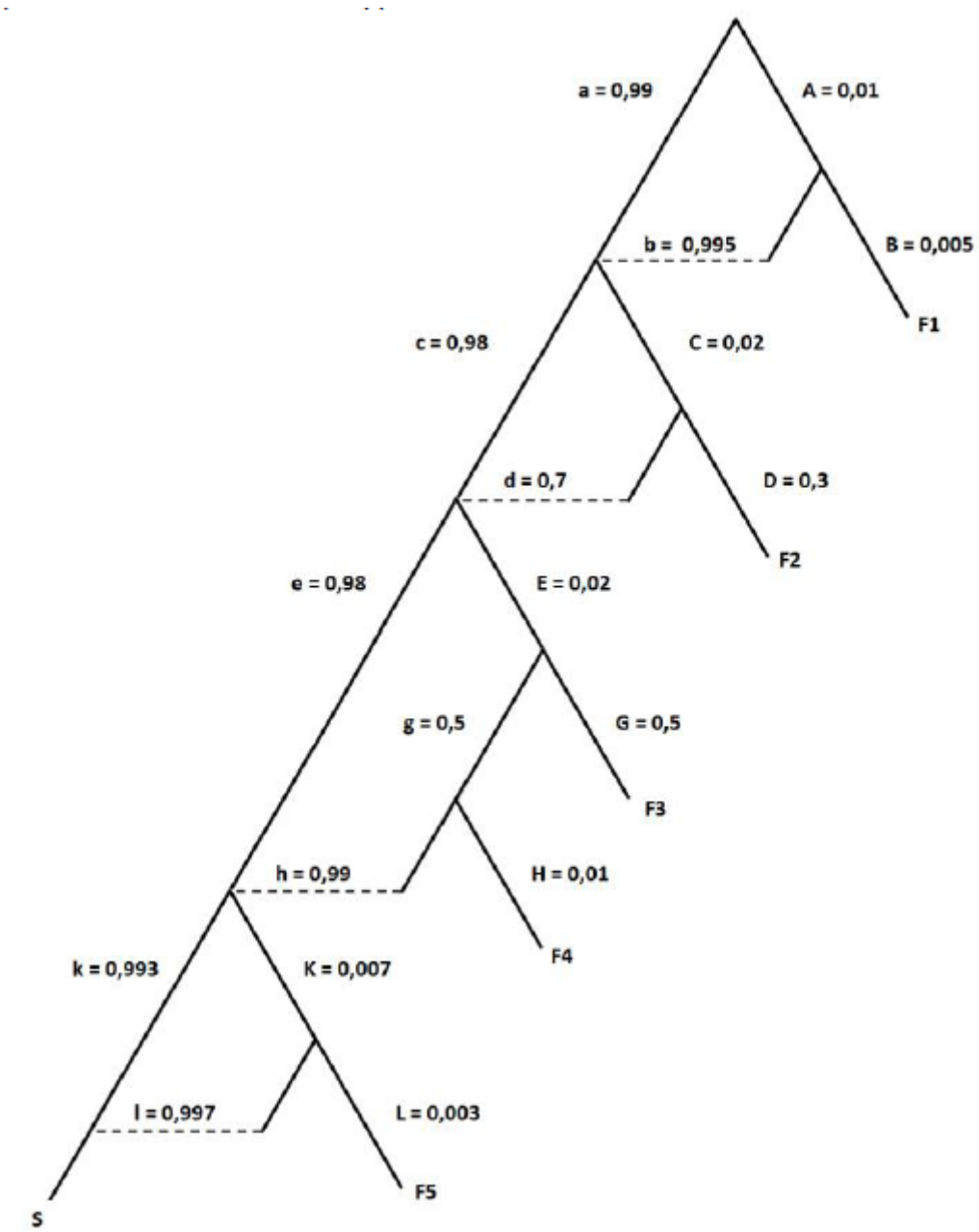
L Možné napravení nezapnutého kávovaru. Uvažujeme stejnou pravděpodobnost jako v předchozím případě s jediným rozdílem, že pracovník již věnuje plnou pozornost (při kontrole zjistil, že něco není v pořádku). Pravděpodobnost je tedy 0,003.

Strom pravděpodobností pro obsluhu kávovaru vypadá následovně:

Celková pravděpodobnost úspěchu při vaření kávy je:

$$\begin{aligned} P_S &= (a + Ab)\,(c + Cd)\,(e + Egh)\,(k + Kl) \\ &= (0{,}99 + 0{,}01 \cdot 0{,}995)\,(0{,}98 + 0{,}02 \cdot 0{,}7)\,(0{,}98 + 0{,}02 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}99)\,(0{,}993 + 0{,}007 \cdot 0{,}997) \\ &= 0{,}98389074 \end{aligned}$$

Pokud jde o neúspěšné větve, tak F1, F2, F4 a F5 vedou k přímému neúspěchu při vaření kávy včas:



Obrázek 9.9: Strom pravděpodobností pro úlohu vaření kávy.

$$
\begin{aligned}
P_{Fb} &= AB + (a + Ab)\,CD + (a + Ab)\,(c + Cd)\,EgH + (a + Ab)\,(c + Cd)\,(e + Egh)\,KL \\
&= 0{,}01 \cdot 0{,}005 + (0{,}99 + 0{,}01 \cdot 0{,}995) \cdot 0{,}02 \cdot 0{,}3 + (0{,}99 + 0{,}01 \cdot 0{,}995) \cdot (0{,}98 + 0{,}02 \cdot 0{,}7) \cdot 0{,}02 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}01 \\
&+ (0{,}99 + 0{,}01 \cdot 0{,}995) \cdot (0{,}98 + 0{,}02 \cdot 0{,}7) \cdot (0{,}98 + 0{,}02 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}99) \cdot 0{,}007 \cdot 0{,}003 \\
&= 0{,}006169757
\end{aligned}
$$

Větev F3 vede k přetečení směsi horké kávy a mleté kávy z filtračního koše. Pracovník nebude schopen uvařit kávu včas a navíc ještě bude muset kávovar náročně čistit. Pravděpodobnost této události je:

$$P_{F3} = (a + Ab)\,(c + Cd)\,EG = (0{,}99 + 0{,}01 \cdot 0{,}995) \cdot (0{,}98 + 0{,}02 \cdot 0{,}7) \cdot 0{,}02 \cdot 0{,}5 = 0{,}009939503 \simeq 1 \cdot 10^{-2}$$

Kontrolní součet:

$$S_C = 0{,}98389 + 0{,}00616976 + 0{,}009939503 = 0{,}999999263 \simeq 1$$

Celková pravděpodobnost neúspěchu při vaření kávy je:

$$P_F \simeq 1{,}6 \cdot 10^{-2}$$

Užití metody HEART: Uvažovanými typy úlohy by mohly být: **D** (Velmi jednoduchá úloha prováděná překotně, nebo s nedostatečnou pozorností), **E** (Rutinní, často prováděná zrychlená úloha vyžadující relativně malou úroveň schopností), **F** (Obnova nebo posun systém do původního nebo nového stavu dodržováním postupů, s určitou kontrolou).

Protože uvažujeme znalost postupu vaření kávy a jednou kontrolu kávovaru v průběhu vaření kávy - je expertně vybrán typ úlohy F s nominální pravděpodobností $0{,}003$ $(0{,}0008 - 0{,}007)$.

Jsou identifikovány tyto EPCs *(Error Producing Condition - podmínka vzniku chyb)* (s jejich maximálním dopadem na HEP *(Human Error Probability - pravděpodobnost lidské chyby)*):

EPC1: Nedostatek času na zjištění chyby a její korekci (x 11).

EPC2: Špatná, nejasná nebo chybně označená zpětná vazby od systému (x4).

EPC3: Operátorova nezkušenost (např. nově kvalifikovaný pracovník, neexpert v dané oblasti) (x3).

EPC4: Absence různorodých vstupů pro kontrolu správnosti (x2,5).

Na základě expertního úsudku byly určeny pro dané EPCs tyto APOAs *(Assessed Proportional of Affect - zhodnocený poměr vlivu)*:

$$WF_i = [(EPC_i - 1) \cdot APOA_i + 1{,}0]$$

$APOA_1 : 0{,}8 \rightarrow WF_1 = ((11 - 1) \cdot 0{,}8) + 1 = 9$

$APOA_2 : 0{,}4 \rightarrow WF_2 = ((4 - 1) \cdot 0{,}4) + 1 = 2{,}2$

$APOA_3 : 0{,}5 \rightarrow WF_3 = ((3 - 1) \cdot 0{,}5) + 1 = 2$

$APOA_4 : 0{,}2 \rightarrow WF_4 = ((2{,}5 - 1) \cdot 0{,}2) + 1 = 1{,}3$

Výsledná pravděpodobnost selhání je:

$$HEP = GTT \cdot WF_1 \cdot WF_2 \cdot WF_3 \cdot WF_4 = 0{,}003 \cdot 9 \cdot 2{,}2 \cdot 2 \cdot 1{,}3 = 0{,}15444 \simeq 0{,}16$$

kde

GTT	je navrhovaná nominální HEP spojená s generickým typem úlohy,
EPC_i	jsou numerické hodnoty dopadu vybraných podmínek vzniku chyb,
$APOA_i$	jsou zhodnocené poměry vlivu pro jednotlivé podmínky,
WF_i	jsou vážené vlivy podmínek.

Meze nejistoty můžeme přepočítat podle stejného vzorce a výslednou pravděpodobnost tedy můžeme zapsat:

$$HEP \simeq 0{,}16\,(0{,}04 - 0{,}36)$$

10 Příklad šíření látek v prostředí Metodu Dow FEI

Část II

MAR

11 Metoda CCA

12 Metoda TA

13 Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP)

Informace čerpány z publikací [18],[1],[2].

Metoda HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points – analýza nebezpečí a kontrolní kritické body, systém kritických bodů, analýza ohrožení a kritických kontrolních bodů, systém analýzy rizika a kritických kontrolních bodů) je nástroj určený k předcházení rizikům ohrožujícím bezpečnost potravin.

Požadavky na systém HACCP jsou uvedeny v [18] do strany 7.

13.1 Postup provádění metody HACCP

- Sestavení týmu
  - má vedoucího, členové týmu odborně pokryjí celou řešenou problematiku, zahrnuje i člena provozovatele potravinářského podniku
- Vymezení činnosti
  - Provozovatel podniku definuje všechny činnosti, které provádí ve výrobě, zpracování a distribuci potravin a všecny musí být zahrnuty v plánu HACCP[2]
- Informace o potravinách
  - Spolehlivé informace o všech potravinách potřebné ke zhodnocení jejich bezpečnosti.
- Identifikace zamýšleného použití
  - Zohledňuje se předpokládaná cílová skupina spotřebitelů z hlediska možného ovlivnění zdraví a nesprávného použití výrobku.
- Sestavení proudového diagramu
  - Diagram pokrývá všechny fáze výroby, zpracování a distribuce v podniku.
  - Musí zahrnovat všechny operace vč. nakupovaných služeb, přípravy surovin, nakládání s odpady, zpracování, distribuci a všechny další, které mohou mít vliv na bezpečnost potravin.
- Potvrzení proudového diagramu na místě
  - Diagram musí být potvrzen na místě za běžného provozu, případně upraven.
- Analýza nebezpečí
  - Musí být provedena a musí obsahovat veškerá nebezpečí, ohrožující bezpečnost potravin, která lze v rozumné míře předpokládat.
- Stanovení kritických kontrolních bodů (CCP)
  - Na základě definované metodiky musí být identifikovány kritické kontrolní body. Pro každé nebezpečí musí existovat vhodné opatření.
- Stanovení kritických mezí
  - Pro každý stanovená kritický kontrolní bod jsou stanoveny hodnoty kritických mezí. Musí být měřitelné a dobře vyhodnotitelné.

[2] Dokument vytvořený na základě principů HACCP a stanovující způsob ovládání nebezpečí významných pro porušení bezpečnosti potravin

- Monitoring
  - Provádí pověřená osoba definovanými metodami v definovaných intervalech a sleduje stanovené kritické meze.
- Stanovení nápravných opatření
  - Nápravná opatření musí existovat pro každé překročení kritických mezí. Každé provedení nápravných opatření je dokumentováno.
- Ověřovací postupy
  - Provádí se pravidelné ověřování systému HACCP. Zahrnuje ověřování metod a postupů monitoringu, správnost plánu HACCP, funkce systému.
- Dokumentace
  - Veškeré postupy zavedení a provozu systému HACCP musí být dokumentovány.
- Školení
  - Všichni zaměstnanci podniku musejí být pravidelně proškolováni dle systému HACCP.

14 Scenario Analysis (SA)

Informace čerpány z publikací [15].

Analýza pomocí scénářů je název vyvinutého popisného modelu pro to, jak se eventuelně může změnit budoucnost. Může být využita pro identifikaci rizik při posouzení možných vývojů situace v budoucnosti a analýze jejich dopadů. K tomuto účelu může být využit soubor scénářů (jako například „nejlepší případ“, „nejhorší případ“ a/nebo „očekávaný případ“), který slouží k analýze potenciálních důsledků a jejich pravděpodobností pro každý scénář jako forma analýzy citlivosti v případě, kdy analyzujeme riziko. Síla analýzy pomocí scénářů je popsána při zohlednění hlavních změn v posledních 50-ti letech v oblasti technologií, preferencí zákazníka, společenských názorů, apod. Analýza pomocí scénářů nemůže předpovídat pravděpodobnosti takovýchto změn, zato ale může posoudit důsledky a pomoci organizaci vyvinout silná opatření a odolnost potřebnou pro adaptaci na předpokládané změny. Analýza pomocí scénářů může být pomocná a užitečná v rámci asistence při procesu rozhodování a plánování strategií do budoucna. Stejně tak může být užitečná při posuzování existujících aktivit. Tato analýza může hrát důležitou část v jednotlivých třech částech posouzení rizika. V rámci analýzy a identifikace může být použit soubor scénářů odrážejících „nejlepší případ“, „nejhorší případ“ a „očekávaný případ“ za účelem identifikace toho, co by se mohlo v daných podmínkách stát, pravděpodobnosti toho, že se to může stát a samozřejmě úroveň důsledků pro každý takový stanovený scénář.

Výhody:

Analýza pomocí scénářů bere do úvahy velké množství možných budoucích událostí, které mohou být preferovány pro tradiční přístupy za účelem spolehnutí se na vysoce-středně-málo možné předpovědi, které předpokládají, za využití historických dat, že budoucí události budou pravděpodobně pokračovat s ohledem na souvislosti, trendů a zkušeností z minulosti. Toto je důležité zejména pro situace, kde existuje málo informací ze současnosti, na kterých by mohly být založeny předpovědi nebo tam, kde je riziko posuzováno v dlouhodobých souvislostech. Tato „výhoda“ má nicméně související nevýhody, které jsou představovány v některých případech vysokou nejistotou a tedy určitou nereálností posuzovaných scénářů. Hlavním problémem při využití analýzy pomocí scénářů je dispozice dat a schopnosti analytiků, resp. posuzovatelů k tomu, aby byli schopni vytvořit realistické scénáře, jež jsou odpovídající možným výstupům sledovaných procesů. Nebezpečí při využití analýzy pomocí scénářů, jako rozhodovací nástroj, jsou v tom, že použité scénáře nemusí mít adekvátní základy, že použitá data mohou být spekulativní, a že některé nerealistické výsledky nemusí být nutně jako takové být vůbec zpozorovány.

- Nejlepší scénář
  - zahrnuje takové parametry problému, které z aktuálního pohledu vypadají nadnesené a které povedou k úspěchu
- Nejhorší scénář
  - zahrnuje takové parametry problému, které z aktuálního pohledu vypadají podhodnocené
- Nejpravděpodobnější scénář
  - nejpravděpodobnější parametry problému, z aktuálního pohledu řešitele

15 Metodu MA

16 Metodu CBA

17 Metodu přepravy nebezpečných věcí - vznik nehody a šíření látky v prostředí

18 Brainstorming

Informace čerpány z publikací [8],[10],[17].

- Poprvé použita v r. 1938 Alexem F. Osbornem, rozpracována 1953 v [16].
- Cílem je generování co nejvíce nápadů na dané téma – jde o kvantitu, ne kvalitu. Čím více nápadů, tím větší pravděpodobnost, že se mezi nimi objeví skvělá myšlenka.
- Skupinová technika. Pomáhá neformální prostředí, tým lidí, kteří se znají – nebojí se, že se „shodí“ před ostatními, dobrá nálada – podporuje „rozbíhavé“ myšlení.
- Hlavní zásadou je přísné oddělení tvorby nápadů od jejich hodnocení.
- Předpokládá, že lidé ve skupině na základě podnětů ostatních, vymyslí více, než by vymysleli jednotlivě.
- Využití v managementu, podnikání, hledání optimálních postupů, prognostice.
- Formální struktura: měla by obsahovat pouze zapisovatele, který se nemusí účastnit vymýšlení, ale zapisuje vše vyřčené.
- V praxi jde o vyčerpávající a namáhavou metodu pro její účastníky.

18.1 Zásady metody

1. Vysvětlení problému
   - Účastníci jsou seznámeni s cílem setkání, řešeným problémem a pravidly.
   - Může se uskutečnit krátká diskuse o problému.
2. Vymýšlení nápadů a jejich zápis
   - Vždy mluví jen jeden člověk.
   - Vyslovené nápady jsou zapisovány tak, aby na ně všichni účastníci viděli.
   - Přijímají se všechny nápady.
   - Nesmí být nikým komentovány – i zdánlivě hloupý nápad může někoho přivést na dobrou myšlenku.
   - Může se kombinovat a doplňovat už vyslovené nápady.
3. Přestávka
   - Několik minut, hodin až dní.
   - Zapomene se na to, kdo jednotlivé návrhy vyslovil – „odosobnění“ návrhů.
4. Vyhodnocení návrhů
   - Provádí stejná skupina účastníků.
   - Je třeba mít určena kritéria hodnocení návrhů (ne více než 5-6).
   - Návrhy jsou zařazeny do skupin obdobných návrhů.
   - Výběr nejlepších k dalšímu zpracování.
   - Výběr „nejdivočejších“ a úvahy jak jich využít.
   - Zhodnocení vybraných návrhů.
   - Důležité je se soustředit, jak nápady uskutečnit, ne proč uskutečnit nejdou.

18.2 Varianty metody

- Psaný brainstorming
  - List papíru putuje mezi účastníky a každý na něj napíše svůj nápad.
- Pingpongový brainstorming
  - Určený pro dva účastníky, kteří střídavě říkají své nápady. Mohou reagovat na nápady druhého.
- Brainstorming s etapou samostudia
  - Po seznámení s problémem je etapa, kdy se účastníci snaží nastudovat nebo promyslet problém samostatně. Pak se pokračuje společnou etapou vymýšlení návrhů.
- Gordonova metoda
  - Cílem je vytvořit pouze jedno originální řešení. Na počátku nikdo kromě vedoucího přesně neví, jaký problém se řeší. Probém se řeší ze široka a vedoucí téma postupně zúžuje, až se nakonec najde řešení.

18.3 Nevýhody metody

1. Motivace účastníků – nejsou hodnoceni samostatně za počet nápadů, ale jako skupina dohromady – může to vést k nižšímu počtu nápadů.
2. Obava z hodnocení – Účasníci se obávají vyslovit své nápady i přes to, že jedním z pravidel metody je nehodnotit vzájemně nápady. Obava roste s obtížností úkolu – pravděpodobností špatné odpovědi.
3. Blokování výkonu – Vždy mluví pouze jeden, ostatní mezitím mohou svou myšlenku zapomenout.

18.4 Příklady[3]

Zopakujte si pravidla metody brainstorming, vysvětlete téma, stanovte zapisovatele, proveďte hledání návrhů, vyhodnoťte získané návrhy.

18.4.1 Téma: Jaký význam cítíte za slovem „riziko“.

Na základě pravidel metody brainstroming nalezněte vhodné významy pojmu riziko.

18.4.2 Téma: Jaká udělat zabezpečení zásobníku na nebezpečnou kapalnou látku?

Na základě pravidel metody brainstroming navrhněte vhodná zabezpečení zásobníku kapalné látky.

18.4.3 Téma: Jak informovat obyvatelstvo o úniku toxického plynu?

Na základě pravidel metody brainstroming navrhněte vhodné cesty informování veřejnosti o úniku toxického plynu.

[3] Jeden z příkladů alespoň částečně vypracovat!!!

19 Delphi

Informace čerpány z publikací [3],[12].

Delphi – Metoda účelových interview

- Metoda slouží k předvídání přítomnosti a budoucnosti.
- Kvalitativní, skupinová, iterativní[4] metoda.
- Využívá soubor vhodně volených otázek, prodiskutovaných na účelových pohovorech nebo formou dotazníku. Otázky se dělí na dvě části. Předem dané a variabilní – podle průběhu pohovoru a postavení respondenta.
- Posuzovatelé nepřicházejí vzájemně do styku – vylučuje to vzájemné ovlivňování.
- Vhodná pro analýzu rizik – odpoví, co se může stát a za jakých podmínek.
- Absence finančního vyjádření.
- Iterační postup – výsledky kola rozhovorů jsou statisticky zpracovány a výsledky sděleny posuzovatelům. Ti jsou vyzváni, aby zaujali k výsledkům stanovisko, případně upravili nebo potvrdili své původní stanovisko. Dochází tak k prosazení nejpodstatnějších hypotéz. Účastníci ale nejsou ovlivněni dominantními příslušníky skupiny. Doporučují se 2-3 kola, jinde 5, 7 nebo dokonce 9.
- Používají se subvarianty metody.
  - Metoda anketní analýzy
  - Metoda scénářů
  - Metoda matic

19.1 Postup metody Delphi

- Vhodná volba témat výzkumu. Má zásadní vliv na to, kdy a jakého dosáhneme konsensu[5].
- Výběr odborníků (posuzovatelů) z dané problematiky. Cca 10 – 100 osob. Jejich oslovení a seznámení s tématem výzkumu.
- **1. kolo**
  - Varianta a) Sestavení jednoznačných a zodpověditelných otázek organizačním týmem a rozeslání posuzovatelům. Ti mohou případně některé oblasti doplnit.
  - Varianta b) Stanoví se základní okruhy problému. Reakce posuzovatelů jsou zpracovány a na jejich základě jsou vytvořeny konkrétní otázky, které jsou následně rozeslány posuzovatelům do druhého kola.
- Jsou vyhodnoceny odpovědi z 1. kola a je stanoven seznam zjištěných problémů.
- **2. kolo**
  - Seznam je odeslán posuzovatelům, ti mohou revidovat svoje odpovědi, případně znovu odpovědět.
  - Mohou také volit, kterou část problematiky považují za podstatnější a kterou za méně podstatnou.

[4] Provádí se opakovaně, přičemž výsledek jednoho kola ovlivňuje vstupy kola následujícího.
[5] Shody mínění všech zúčastněných.

  - V odpovědích začíná docházet k nějaké shodě.
- Organizátoři následně statisticky zpracují výsledky druhého kola.
- **3. kolo**
  - Výsledky jsou představeny posuzovatelům. Ti znovu hodnotí s přihlédnutím ke statistickým výsledkům celé skupiny z minulého kola.
  - Posuzovatelé, kteří se odchylovali více jsou požádáni o zdůvodnění svých odpovědí.
  - Zde se očekává už jen drobné zlepšení shody.
- Na základě odpovědí ze 3. kola jsou vytvořeny konečné výsledky.
- **4. kolo**
  - Může proběhnout (ale nemusí)
  - Zbylá témata a jejich hodnocení jsou rozeslána posuzovatelům.
  - Může dojít k poslednímu zpřesnění odpovědí.
- Počet iterací v metodě Delphi závisí na stupni konsensu v jednotlivých kolech. Podle potřeby může být kol víc nebo méně.

19.2 Výhody

- anonymita posuzovatelů
- vícekolové dotazování se zpětnou vazbou na předchozí kolo
- přehledná prezentace odpovědí
- schopnost prozkoumat bez emocí a objektivně zvolenou problematiku
- ideální pro získávání informací o budoucích obecných trendech, žádostivosti určitého jevu a směrech k jeho dosažení
- odstraňuje překážky s dosahováním shody mezi posuzovateli v jedné lokalitě
- je nezávislá na osobnostech posuzovatelů

19.3 Nevýhody

- výběr posuzovatelů, stejně jako struktura dotazníku jsou chápány jako nejzranitelnější a též nejkritizovanější komponenty metody Delphi
- může docházet k nedostatečnému zpětnému zhodnocení výsledků získaných metodou Delphi
- některé Delphi predikce jsou formulovány pro dlouhodobý časový horizont a jejich platnost tak prozatím nemůže být ověřena
- celý proces vyžaduje značné množství času
- problém s posuzovateli s extrémními názory, které raději změní, než aby je vysvětlili
- možnost, že posuzovatelé nedojdou ke konsensu – shodě
- možný výskyt extrémních hodnot
- je třeba vytvořit podrobný postup pro zodpovídání otázek
- úspěch závisí na vhodném výběru dotazovaných

19.4 Varianty dotazníků

Tým odborníků	Hodnocení významnosti					Komentáře
	1	2	3	4	5	
Otázka 1						

Tým odborníků – Pokud problematiku hodnotí více typů odborníků, mohou se otázky na ně podle odbornosti lišit. Zde může být uvedeno, pro jakou odbornost je dotazník určen.

Komentáře – Není nutné vyplňovat. Odborník zde může téma rozšířit, zúžit, zdůraznit některou část.

Kritérium	Vysvětlující komentář	Souhlas / nesouhlas	Komentář posuzovatele
Kritérium 1	Vysvětlení kritéria 1	Souhlasím / nesouhlasím	Mám k tomu poznámku

Souhlas / nesouhlas – Posuzovatel uvede, zda souhlasí či ne s takto formulovaným kritériem a jeho vysvětlením.

Výroky z posuzované oblasti problematiky	Důležitost nízká 1 2 3 4 5 vysoká	Dostupnost nízká 1 2 3 4 5 vysoká	Komentář
Bezpečnostní manuál	4	3	

19.5 Příklad použití

Převzato z [11].

19.5.1 Řešená problematika

Aplikace metody Delphi při expertním stanovení faktorů ovlivňujících efektivnost e-learningu ve vzdělávání pracovníků v malých a středních podnicích

Výzkumné šetření bylo zaměřeno na identifikaci faktorů, které jsou klíčové z hlediska jejich pozitivního a negativního vlivu na efektivnost e-learningu ve vzdělávání pracovníků v malých a středních podnicích (MSP). Delphi šetření bylo tříkolové a proběhlo v měsících březen až červen 2009. Vlastnímu šetření předcházela přípravná fáze, ve které byl definován výzkumný problém, formulována výzkumná otázka a byl proveden výběr panelu expertů.

19.5.2 Výběr expertů

- z univerzit (7 osob)
- z malých a středních podniků (7 osob)
- ze vzdělávacích a poradenských pracovišť (4 osob)
- z firem poskytujících e-learningové produkty (8 osob)

Výběr na základě kritérií:

- odborník má zkušenosti s e-learningem získané absolvováním e-learningových kurzů nebo tvorbou e-learningových kurzů,

- odborník má zkušenosti s implementací a realizací e-learningu pro segment malých a středních podniků a
- odborník je akademik se vztahem k problematice vzdělávání dospělých a se zkušenostmi s e-learningem.

Každý odborník musel splňovat apespoň dvě z uvedených kritérií současně.

19.6 Příklad vyhodnocení dotazníků

Management	Stupnice vlivu – x_i 1 nejmenší vliv,..., největší vliv 5					Průměr	Medián
	1	2	3	4	5		
	Počet hlasů od posuzovatelů – absolutní četnost n_i						
Pozitivní motivace pracovníků ze strany vedení podniku	0	0	4	7	8	4,21	4
Předchozí zkušenosti majitele a managementu s e-learningem	0	0	6	4	9	4,16	4
Pozitivní postoj majitele a managementu k e-learningu	0	1	3	9	6	4,05	4
Zájem firmy o rozvoj a vzdělávání pracovníků	0	1	3	9	6	4,05	4
Pozitivní motivace pracovníků zodpovědných za vzdělávání k využití e-learningu	0	1	3	13	2	3,84	4
Začlenění e-learningu do systému vzdělávání v organizaci	0	3	3	8	5	3,79	4
Vhodná propagace této formy vzdělávání uvnitř podniku	0	1	7	10	1	3,58	4
Výkonová, nátlaková motivace ze strany vedení podniku	2	4	6	4	3	3,1	3

19.7 Zadání příkladů

19.7.1 Příklad 1 – Bezpečnostní prvky letadla pro nouzové opuštění paluby

Zadání:

Úkolem je zhodnotit možnosti únikových cest pro pasažéry z osobního dopravního letadla. Odhadnout situace, kdy k použití únikových cest může dojít. Jak únikové cesty navrhnout co nejefektivněji vzhledem ke snaze minimalizovat ohrožení pasažérů. Zvolit prioritní únikové cesty ze všech navržených.

K vyřešení použijte metodu Delphi.

Řešení:

1. Diskutujte o problematice únikových cest z letadla.
2. Na základě prvotní diskuse stanovte, jaké druhy odborníků byste k řešení přizvali.
3. Rozdělte se do zvolených skupin odborníků a do skupiny výzkumníků, provádějících a vyhodnocujících metodu Delphi.

Převzato z www.novinky.cz

Obrázek 19.1: Nouzové opuštění letadla

4. Na základě prvotní diskuse tým provádějící metodu sestaví sadu témat (otázek) pro jednotlivé týmy odborníků a vytvoří tabulku dle 19.1.

Tým odborníků	Hodnocení významnosti					Komentáře
	1	2	3	4	5	
Otázka 1						
Otázka 2						
...						

Tabulka 19.1: Modelová tabulka pro hodnocení metodou Delphi

5. Tabulku následně vyplní každý odborník samostatně, anonymně a bez jakékoliv komunikace s ostatními. Může případně doplnit ještě další otázky (témata), která jsou dle vlastního uvážení podstatná.

6. Tým provádějící metodu následně všechny odpovědi vyhodnotí a zpracuje tabulku výsledků např. dle 19.2.

Tým odborníků	Hodnocení významnosti – četnost hlasů odborníků					Průměr	Medián
	1	2	3	4	5		
Otázka 1							
Otázka 2							
...							

Tabulka 19.2: Modelova tabulka pro celkové vyhodnocení.

7. Se zpracovanými výsledky (tabulkami) seznamte jednotlivé odborníky.

8. V následujícím kole znovu odpovězte na otázky do dotazníku 19.1, teď už se znalostí výsledků z prvního kola. Znovu anonymně a nezávisle na ostatních. Otázky mohou být seřazeny podle důležitosti, jak jim byla přiřazena v kole prvním.

9. Výsledky jsou znovu zpracovány. Dochází ke zúžení témat na základě nejčastějších odpovědí a nejvyšších priorit. Ptáme se dále např. už jen na polovinu otázek, které se v předchozím hodnocení

umístily nejvýše.

10. S těmito výsledky jsou znovu seznámeni odborníci a je provedeno třetí kolo, které slouží ještě k dalšímu zpřesnění výsledků.

11. V případě potřeby (široce zvolené téma, výsledky se ubírají jiným než požadovaným směrem) je možné provádět kol více, dokud nedojdeme k uspokojivému výsledku.

19.7.2 Příklad 2[6]

Zde by to chtělo vytvořit příklad takový, aby kromě tématu existovaly už i základní otázky (témata) – tedy hotový dotazník pro první kolo. S více studenty v hodině půjde lépe vysvětlit, jak mohou dotazníky vypadat a jak s metodu začít provádět. Nedaří se mi někde takový vhodný příklad najít, aby byl navíc z oblasti rizika.

[6] Vymyslet příklad částečně vypracovaný. Dále ještě jeden pouze se zadáním pro rychlejší studenty.!!!!!!

20 Root Cause Analysis (RCA)

Informace čerpány z publikací [9],[13].

Analýza hlavní příčiny, analýza prvotních příčin, analýza prvopříčin, analýza příčin a následků (Root Cause Analysis)

Je to metoda řešení problémů a jevů v technice ale i jiných oborech tím, že problém nebo jev dokážeme analyzovat až do elementárních příčin jeho vzniku a ty se potom pokoušíme podle potřeby odstraňovat nebo podporovat.

Iterativní metoda, použitelná k neustálému zlepšování.

Typicky se provádí poté, co událost nastala a je snaha zabránit tomu, aby událost nastala znovu. S dobrou znalostí lze provádět i pro predikci události.

Metoda RCA má mnoho variant, nástrojů a přístupů. Základní varianty jsou tyto:

- Bezpečnostně orientovaná RCA
- Produkční RCA
- Procesní RCA
- RCA orientovaná na poruchy
- Systémová RCA

Nástroje, použitelnépro provádění metody RCA:

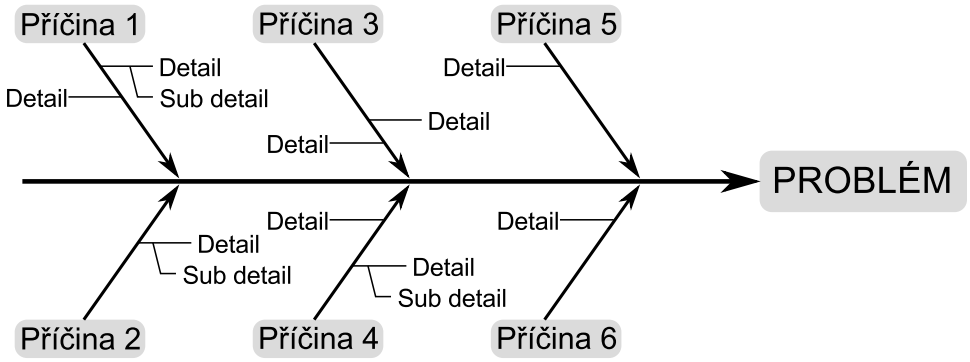
- metoda pěti „proč“
- diagram Rybí kost (též „Ishikawův diagram“ nebo „Diagram příčiny a následku“)

Příklad použití metody pěti „proč“:

1. Proč se robot zastavil?
   Obvod se přetížil a spálila se pojistka.
2. Proč se obvod přetížil?
   Ložiska nebyla dostatečně mazána a tak se zadřela.
3. Proč nebyla ložiska dostatečně mazána?
   Olejová pumpa robotu nedodávala dostatek oleje.
4. Proč pumpa nedodávala dostatek oleje?
   Sání pumpy je ucpáno kovovými šponami.
5. Proč je sání ucpáno kovovými šponami?
   Protože na pumpě není filtr.

Příklad diagramu Rybí kost:

1. V hlavě rybí kosti je uveden problém, který řešíme, ve formě otázky.
2. Hlavní kosti mají význam hlavních skupin příčin.
   Často se užívají typycké hlavní skupiny příčin, které ale nemusejí nutně vést k řešení našeho problému. Jsou jimi:



Obrázek 20.1: Rybí kost

- lidé
- zařízení
- materiál
- informace
- metody
- měření
- prostředí

3. Malé kosti jsou detailní položky příčin.

Po sestavení diagramu rybí kosti je vhodné projít jednotlivé cesty od nejdrobnější příčiny až k řešenému problému (rybí hlavě) i nazpátek. Přitom pečlivě posuzovat, zda mají veškeré návaznosti logiku a pro řešený problém smysl.

Po nalezení hlavní příčiny je dobré ji v diagramu označit. Nalezená hlavní příčina nemusí být jediná.

20.1 Základní principy

1. Primárním cílem metody RCA je identifikovat faktory, ovlivňující nebezpečné následky události tak, abychom mohli identifikovat co musí být změněno, aby k události nedošlo znovu, případně aby následky byly přijatelnější. (Za úspěch se považuje, když jsme si téměř jisti, že opakování události nenastane.)
2. Efektivitu metody RCA docílíme systematickým využívámím, obvykle jako součásti vyšetřování. Závěry a identifikované hlavní příčiny jsou zdokumentovány. Je třeba týmové spolupráce.
3. Může existovat více než jedna hlavní příčina. Je zapotřebí důslednost, aby byly odhaleny všechny.
4. Účelem identifikace všech příčin je snaha o jejich prevenci co nejjednodušší cestou a co nejlevněji. Pokud jsou alternativy prevence stejně efektivní, volí se ta jednodušší nebo levnější.
5. Identifikace hlavních příčin závisí na definici problému (události). Detailní a jasné popisy problematiky jsou vyžadovány.
6. Pro lepší pochopení vztahů mezi jednotlivými faktory, hlavní příčinou a případnou prevencí může být sestavena sekvence událostí nebo časová linie.
7. Metoda RCA může pomoci přetvořit pohled na problematiku nebezpečných událostí z „reakčního“ (reagujeme na nastalý problém) na „předvídavý“ (řešíme drobné problémy dříve, než se z nich stanou problémy velké). Vede také ke snížení frekvence výskytu problémů v čase.

20.2 Provádění a dokumentace korektivní akce založené na metodě RCA

Metoda RCA (v krocích 3,4 a 5) tvoří kritickou část úspěšné nápravy, protože směřuje nápravu na hlavní příčinu problému. Nalezení hlavní příčiny problému není primární cíl, ale bez její znalosti není možné určit, které nápravné opatření bude efektivní.

Postup metody spočívá v následujících krocích:

1. Věcně se definuje problém nebo popíše událost. Zahrou se kvalitativní i kvantitativní parametry nebezpečných následků (povaha, velikost, místo, čas).
2. Shromáždí se data a důkazy, popisující celou událost v čase až ke konečnému selhání. Pro každý stav, chování, činnost a nečinnost je upřesněno v časové ose co mělo být provedeno, pokud se to liší od toho co provedeno bylo.
3. Ptáme se „proč“ a identifikujeme příčiny spojené s každým krokem posloupnosti vedoucí k definovanému problému. „Proč“ se rozumí „Jaké byly faktory, které přímo vedly k efektu?“.
4. Identifikují se nápravná opatření, která s jistotou předejdou opakování každého nebezpečného účinku. Ujistíme se, že každé nápravné opatření, pokud by bylo použito před vznikem nebezpečné události, by vedlo ke snížení nebo zamezení následků.
5. Naleznou se řešení, která budou efektivní, se souhlasem zainteresované instituce (podniku, skupiny), s přiměřenou jistotou zabrání opakování, jsou pod kontrolou instituce, splní cíle a plány a nezpůsobí nové neočekávané problémy.
6. Provedou se doporučená nápravná opatření.
7. Pozorováním se zajistí efektivita realizovaných zlepšení.
8. Identifikují se další metodiky k řešení problému, které mohou být užitečné.
9. Identifikují se všechny další případy nebezpečných následků.

20.3 Příklady[7]

20.3.1 Příklad 1 – Startování auta.

Příjdete ráno k autu a chcete nastartovat. Po otočení klíčkem se ozve snaha o otočení motorem, ale po chvíli je ticho a motor nenaskočí. Analyzujte příčiny problému metodou RCA, pokuste se idetifikovat hlavní příčinu a navrhnout nápravné opatření tak, aby se situace pokud možno neopakovala. Ptejte se pedagoga na informace, popisující detaily situace, stav auta, prostředí kolem apod.

20.3.2 Příklad 2 – Nehoda cisterny s nebezpečnou kapalinou na rovném přehledném úseku silnice

Došlo k nehodě cisteny, převážející nebezpečnou kapalinu, na rovném přehledném úseku silnice I. třídy. Cisterna sjela přes pravou krajnici do příkopu, kde se převrátila na bok a náklad vytekl na pole. Řidič nehodu přežil, došlo pouze k lehkému zranění a je schopen odpovídat na dotazy. Ptejte se řidiče (pedagoga) na detaily nehody a chvil před ní a pomocí metody RCA se pokuste stanovit hlavní příčiny nehody. Navrhněte nápravná opatření, aby se takovémuto typu nehody pro příště zabránilo.

[7] Jeden příklad alespoň částečně rozpracovat!!!!!

Reference

[1] Hazard analysis and critical control point principles and application guidelines. http://www.fda.gov/Food/FoodSafety/HazardAnalysisCriticalControlPointsHACCP/HACCPPrinciplesApplication 85

[2] Postup zavádění HACCP :: HACCP. http://haccp.webnode.cz/postup-zavadeni-haccp/. 85

[3] Risk-management.cz. http://www.risk-management.cz/index.php?cat2=1&clanek=3727. 93

[4] Norma ČSN EN 61882:2002 studie nebezpečí a provozuschopnosti (studie HAZOP) – pokyn k použití, 2002. 10

[5] Norma ČSN EN 60812:2007 techniky analýzy bezporuchovosti systém? – postup analýzy zp?sob? a d?sledk? poruch (FMEA), 2007. 26

[6] Norma ČSN EN 61078:2007 techniky analýzy spolehlivosti – blokový diagram bezporuchovosti a booleovské metody, 2007. 53

[7] Norma ČSN EN 62502:2011 techniky analýzy spolehlivosti – analýza stromu událostí (ETA), 2011. 46

[8] Brainstorming, February 2013. Page Version ID: 9439051. 91

[9] Root cause analysis, February 2013. Page Version ID: 538592519. 99

[10] (ach). Rozpútajte búrku nápadov – brainstorming. http://www.jeneweingroup.com/dokumenty/instore/brainstorm 91

[11] Dana Egerová and Jaroslav Mužík. Aplikace metody delphi při expertním stanovení faktor? ovlivňujících efektivnost e-learningu ve vzdělávání pracovník? v malých a středních podnicích. *E+M Ekonomie s Management*, 2010(2), 2010. 95

[12] Chia-Chien Hsu and Brian A. Sandford. The delphi technique: Making sense of consensus. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 12(10):1–8, 2007. 93

[13] Bob Hubbard. Root cause analysis | lean learning. http://bobsleanlearning.wordpress.com/tag/root-cause-analysis/. 99

[14] Jan Kamenický and Jaroslav Zajíček. *Softwarové nástroje spolehlivosti*. Technická univerzita v Liberci, Liberec, 2012. 56

[15] Hannah Kosow and Martin Gassner. *Methods of Future and Scenario Analysis*. German Development Institute/Deutsches Institut für Entwicklungspolitik (DIE), 2008. 87

[16] Alex F Osborn. *Applied imagination; principles and procedures of creative thinking*. Scribner, New York, 1953. 91

[17] (pe). Jak má vypadat správný brainstorming? http://modernirizeni.ihned.cz/c1-59008320-jak-ma-vypadat-spravny-brainstorming. 91

[18] Ministerstvo zemědělství, Komoditní úsek, and Sekce potravinářských výrob Úřad pro potraviny. Všeobecné požadavky na systém analýzy nebezpečí a stanovení kritických kontrolních bod? (HACCP) a podmínky pro jeho certifikaci, 2010. 85