

Fakulta elektrotechnická

## DISERTAČNÍ PRÁCE

k získání akademického titulu doktor  
v oboru

Elektrotechnika

**Ing. Jan Machač**

### **Rizikové aspekty životního cyklu výrobku**

*Školitel:* doc. Ing. František Steiner, Ph.D.

*Datum státní doktorské zkoušky:* 5. února 2013

*Datum odevzdání práce:* 29. ledna 2016

V Plzni, 2016

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že disertační práci na téma „Rizikové aspekty životního cyklu výrobku“ jsem vypracoval samostatně a použil jsem jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu literatury.

V Plzni dne

.....

Podpis

## **Poděkování**

Rád využiji tuto možnost a chci poděkovat svému školiteli doc. Ing. Františku Steinerovi, Ph.D. za odborné vedení mé práce, za cenné rady při jejím zpracování a v neposlední řadě za přátelský přístup při mentorování mé osoby po celou dobu mého doktorského studia.

Mé poděkování patří též všem kolegům z Katedry technologií a měření, kteří mi s ochotou pomáhali získávat odborné teoretické i praktické znalosti po dobu mého studia.

## **Anotace**

Tato práce se zabývá řízením rizik během životního cyklu výrobku. V úvodní část shrnuje problematiku životního cyklu výrobku a jeho jednotlivých fází. Je zde uveden rozbor vzniku rizik v jednotlivých fázích a současná možná řešení pro řízení rizik životního cyklu produktu. Následuje představení navržené metodiky pro řízení rizik celého životního cyklu výrobku. Metodika kombinuje dva typy technik posuzování rizik a vytváří tak uzavřený kruh neustálého zlepšování procesů. Jedná se o techniky vyhledávání nebo také předvídání rizik a o techniky vyšetřování scénářů či incidentů. Metodika kontroluje a přenáší rizika všech fází, což zaručuje řízení identifikovaného rizika po celou dobu životního cyklu. Součástí práce je také uživatelský návod na použití metodiky a následné ověření metodiky na případové studii. Práce umožňuje významně ulehčit práci a ušetřit čas manažerům či inženýrům při práci s riziky a jejich zvládním. Metodika napomáhá vyšší kvalitě výrobků a jejich udržitelnosti, čímž výrazně pomáhá zvyšovat konkurenceschopnost jejího uživatele. Přílohou práce je Průvodce metodami analýz rizik, který přehledně seznamuje s rozsáhlým přehledem dosud používaných metod analýzy rizik s jejich popisem a hodnocením.

## **Klíčová slova:**

Životní cyklus produktu, riziko, řízení rizik, analýza rizik, metodika, aktivum, hrozba, zranitelnost

## **Annotation**

This thesis deals with risk management during the product lifecycle. The opening part summarizes problems of the product life cycle and its separate phases. The analysis of a risk origin in single phases and current possible solutions for risk management of product lifecycle are published here. Further, the proposal of the methodology of the entire product lifecycle follows. The methodology combines two types of risk assessment and makes a closed circle of continuous process improvement. These are techniques for searching and prediction of risks and also techniques for scenario or incident investigation. The method manages and transfers risks which guarantees management of all-phase identified risks during the entire product lifecycle. The thesis also contains methodology guidelines and consequent verification on the case study. The resulting output significantly makes the work with risks easier and saves time of managers or engineers when dealing with risks and their treatment. The methodology helps the product quality and its sustainability whereby distinctively aids to increase the competitiveness of its user. Thesis contains a Guide of Risk Analysis Methods which clearly introduces a wide list of till now used methods of risk analysis with their description and evaluation.

## **Key words:**

Product Lifecycle, risk, risk management, risk analysis, methodology, asset, threat, vulnerability

## Seznam zkratk

- PLM** Product Lifecycle Management – Řízení životního cyklu výrobku (průmyslové)
- PLCM** Product Life Cycle Management – Řízení životního cyklu výrobku (ekonomické)
- CAD** Computer-Aided Design – Počítačem podporované navrhování
- CRM** Customer Relationship Management – Řízení zákaznických vztahů
- SCM** Supply Chain Management – Řízení dodavatelských řetězců
- ERP** Enterprise Resource Planning – Podnikové plánování zdrojů
- SDLC** Systems Development Lifecycle – Vývojové systémy životního cyklu
- CAM** Computer-Aided Manufacturing - Počítačem podporovaná výroba
- PDM** Product Development Management – Řízení vývoje produktu
- CAID** Computer-Aided Industrial Design - Počítačem podporované průmyslové navrhování
- CAE** Computer- Aided Engineering - Počítačem podporované inženýrství
- CNC** Computer Numeric Control – Číslicové řízení počítačem
- CAPE** Computer-Aided Production Engineering - Počítačem podporované výrobní inženýrství
- CAPP** Computer-Aided Production Planning - Počítačem podporované plánování výroby
- ČSN** Česká státní norma
- CNC** Computer Numeric Control – Číslicové řízení počítačem (u obráběcích strojů)

## Obsah

<b>SEZNAM ZKRATEK .....</b>	<b>- 6 -</b>
<b>ÚVOD .....</b>	<b>- 9 -</b>
<b>1. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE .....</b>	<b>- 10 -</b>
1.1 METODIKA DOSAŽENÍ CÍLŮ DISERTAČNÍ PRÁCE .....	- 10 -
1.2 STRUKTURA DISERTAČNÍ PRÁCE .....	- 11 -
<b>2. ŽIVOTNÍ CYKLUS VÝROBKU .....</b>	<b>- 12 -</b>
2.1. ROZDĚLENÍ ŽIVOTNÍHO CYKLU PODLE JEDNOTLIVÝCH FÁZÍ .....	- 13 -
2.2 RIZIKA ŽIVOTNÍHO CYKLU VÝROBKU .....	- 15 -
<b>3. ŘÍZENÍ RIZIK .....</b>	<b>- 19 -</b>
3.1 ZÁKLADNÍ POJMY .....	- 19 -
3.2 PROCES ŘÍZENÍ RIZIK .....	- 23 -
<b>4. SPOLEHLIVOST .....</b>	<b>- 31 -</b>
4.1 ZÁKLADNÍ POJMY SPOLEHLIVOSTI .....	- 31 -
4.2 SPOLEHLIVOST VÝROBKŮ .....	- 34 -
4.3 BEZPORUCHOVOST .....	- 36 -
<b>5. METODY ANALÝZY RIZIK .....</b>	<b>- 41 -</b>
5.1 TYPY METOD ANALÝZY RIZIK .....	- 41 -
5.2 PŘEHLED POUŽÍVANÝCH METOD ANALÝZY RIZIK .....	- 42 -
5.3 NÁVRH ANALÝZY RIZIK PRO ŽIVOTNÍ CYKLUS VÝROBKU .....	- 48 -
5.3.1 Výpočet pravděpodobnostní úrovně .....	- 50 -
5.3.2 Výpočet úrovně dopadu .....	- 51 -
5.3.3 Výpočet hodnoty rizika .....	- 51 -
<b>6. NAVRŽENÁ METODIKA ŘÍZENÍ RIZIK ŽIVOTNÍHO CYKLU VÝROBKU .....</b>	<b>- 53 -</b>
6.1 FÁZE KONCEPCE .....	- 55 -
6.2.1 Metoda Delphi .....	- 59 -
6.2.2 Lessons Learned databáze .....	- 60 -
6.2 FÁZE NÁVRHU .....	- 62 -
6.4 FÁZE REALIZACE .....	- 67 -
6.5 FÁZE PROVOZU .....	- 72 -
6.6 VYŠETŘOVÁNÍ INCIDENTU .....	- 77 -
<b>7. PŘÍPADOVÁ STUDIE .....</b>	<b>- 80 -</b>
7.1 FÁZE KONCEPCE .....	- 80 -

---

7.2 FÁZE NÁVRHU .....	- 88 -
7.3 FÁZE REALIZACE .....	- 99 -
7.4 FÁZE PROVOZU.....	- 112 -
<b>8. ZÁVĚR .....</b>	<b>- 121 -</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA.....</b>	<b>- 123 -</b>
<b>SEZNAM PUBLIKACÍ AUTORA .....</b>	<b>- 129 -</b>
<b>PŘÍLOHA 1- NÁVOD METODIKY .....</b>	<b>- 131 -</b>
<b>PŘÍLOHA 2 - PRŮVODCE METODAMI ANALÝZ RIZIK .....</b>	<b>- 148 -</b>



## Úvod

V současnosti je řízení rizik důležitou a nedílnou součástí každého strategického řízení organizace. Jedná se o proces nebo procesy, jejichž prostřednictvím se organizace věnuje rizikům, se kterými jsou spojeny činnosti a postupy organizace a jejichž pomocí se organizace snaží dosáhnout trvalého zisku či prospěchu. Správné řízení rizik se zaměřuje na identifikaci a zvládnutí těchto rizik. Jeho cílem je dodat co nejvyšší trvalou hodnotu všem činnostem organizace. Přispívá k pochopení možných výhod a nevýhod všech faktorů, které organizaci ovlivňují. Zvyšuje pravděpodobnost úspěchu a snižuje pravděpodobnost neúspěchu, stejně tak i nejistotu v dosahování obecných cílů činností organizace.

Řízení rizik by mělo být nepřetržitým a stále se zdokonalujícím procesem začleněným do strategie organizace a do jejího prosazování. Mělo by se metodicky zabývat všemi riziky, které se vztahují k minulosti, přítomnosti a především k budoucnosti organizace a jejích aktivit. Musí být začleněno do kultury organizace spolu s účinnou politikou a plánem přijatým většinou vyššího managementu organizace. Musí převádět strategii do taktických a provozních cílů a rozdělovat odpovědnost v organizaci tak, aby řízení rizik bylo součástí náplně práce každého manažera a zaměstnance. Podporuje odpovědnost, měření a odměňování výkonu a tím přispívá k vyšší efektivitě na všech úrovních.

U výrobních organizací je nezbytně nutné přenést řízení rizik i na vyráběné produkty. Každý výrobek má svůj životní cyklus, kde je třeba uvažovat nejrůznější vlivy, které do životního cyklu výrobku vstupují, a rizika zde řídit. Životní cyklus produktu a jeho řízení se dnes staly již standardem a částmi informační struktury moderního podniku. Skládá se z několika fází a to z důvodů přehlednosti a jednoznačnosti. Tato skutečnost napomáhá i samotnému řízení rizik, které pak lze rozdělit a provádět pro každou fázi zvlášť. Bohužel do dnešní doby nebyla vyvinuta žádná komplexní metodika, která by řídila celý životní cyklus. Proto je zde třeba jednotné metodiky či techniky, která by řídila rizika ve všech fázích životního cyklu. Potenciálem této práce je takovou metodiku vytvořit a dokázat její uplatnění v praxi.

## **1. Cíle disertační práce**

Na základě rešerše současného stavu problematiky řízení rizik životního cyklu výrobku byly stanoveny cíle disertační práce.

Hlavním cílem disertační práce je vývoj nové univerzální metodiky řízení rizik, kterou je možné řídit rizika po celou dobu životního cyklu produktu. Metodika bude kombinovat dva typy technik posuzování rizik a vytvářet tak uzavřený kruh neustálého zlepšování procesů, jak je uvedeno v kapitole 6. Bude se jednat se o techniky vyhledávání nebo také předvídání rizik a o techniky vyšetřování scénářů či incidentů. Předvídaná rizika a rizika identifikovaná vyšetřováním scénářů v dané fázi, pak budou vstupem do fáze následující. To zaručí řízení identifikovaného rizika po celou dobu životního cyklu.

Dalším cílem bude ověření metodiky na případové studii, kde výstupem bude důkaz o funkčnosti a použitelnosti metodiky spolu s návodem pro uživatele.

Dílním cílem práce bude přehled současných metod analýzy rizik a určení jejich zařazení, jakožto technik posuzování rizik. Výsledná práce by měla významně ulehčit práci a čas manažerům či inženýrům při práci s riziky a jejich zvládním. Dále metodika bude napomáhat vyšší kvalitě výrobků a její udržitelnosti, čímž výrazně pomůže zvýšit konkurenceschopnost výrobce.

### **1.1 Metodika dosažení cílů disertační práce**

Pro dosažení cílů byla využita rešerše současného stavu problematiky řízení rizik životního cyklu výrobku. Kde předmětem rešerše jsou články a příspěvky z odborných vědeckých časopisů a konferencí a také odborná literatura.

Na základě rešerše problematiky řízení rizik životního cyklu výrobku je navržena metodika pro řízení rizik životního cyklu výrobku. Z takto navržené metodiky je odvozen návod na metodiku. Metodika je posléze ověřena v případové studii na konkrétním případě ve výrobním prostředí.

V úvodu práce je vysvětlena problematika životního cyklu výrobku a řízení jeho rizik, následně se práce zaměřuje na tvorbu nové ucelené metodiky postupu řízení rizik, která je později v práci ověřena. Příloha obsahuje návod metodiky a podrobný přehled metod analýzy rizik v českém jazyce, jenž byl též zpracován rešerší odborných zdrojů.

## **1.2 Struktura disertační práce**

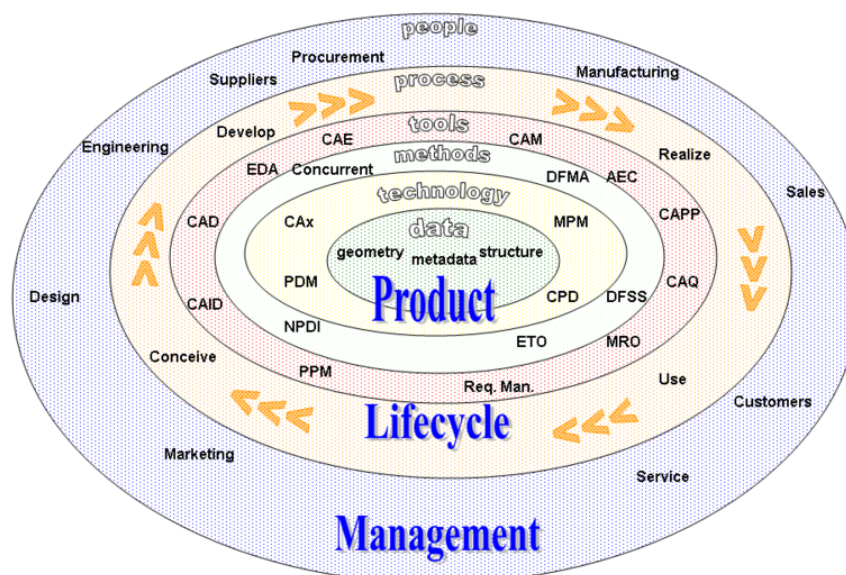
Struktura disertační práce je určena jejími cíli. Práce se v některých částech zabývá již známými metodami a postupy z důvodu rozsahu problematiky pouze okrajově, případně jsou uvedeny reference. Problematika je zformována do komplexního tvaru, který je dále myšlenkově otevřen. Jelikož použitelnosti metodiky nejsou kladeny žádné meze, byly vybrány metody identifikace rizik takové, které mají nejširší uplatnění. Celá problematika je vysvětlena v celé komplexnosti a logicky navazuje. Nejdůležitější částí je tedy samotný princip metody, který může být dle možností a požadavků nejrůznějších průmyslových odvětví upraven, aby co nejvíce vyhovoval. Text disertační práce je členěn v návaznosti na dílčí cíle práce.

## 2. Životní cyklus výrobku

Životní cyklus výrobku je založen na podstatě biologického životního cyklu, tedy proces od narození až po smrt. Teorie je stejná i pro produkt a lze jeho životní cyklus chápat jako proces, který je jedním z dalších podnikových procesů. Při managementu rizik musí účastníci se subjekty rozumět vazbě na ostatní podnikové procesy mimo projektový management i na procesy při přípravě a řízení projektu. Přirozeným rámcem pro zkoumání vazeb a procesů pro oblast projektového managementu je životní cyklus projektu.

V průmyslu je řízení životního cyklu výrobku nebo také PLM (Product Lifecycle Management) procesem řízení od koncepce přes design a výrobu k servisu a likvidaci výrobku, viz Obrázek 1. PLM zahrnuje lidi, data, procesy a obchodní systémy a poskytuje hlavní tok informací pro společnost. Zároveň systémy PLM pomáhají organizacím ve zvládnání zvyšující se komplexity a inženýrských úkolů vývoje nového produktu pro globální konkurenční trhy [1].

Životní cyklus je uváděn jako prostředek k definování začátku a konce projektu a jeho fází. Forma definice životního cyklu se liší podle druhu odvětví, ale i v rámci stejného odvětví bývá různá pro různé organizace a podniky. Při managementu projektů se v jednotlivých fázích mění i přístup k rizikům, v závislosti na tom, kolik informací již o projektu je k dispozici a do jaké míry se pokročilo v provádění projektu [1],[2] a [3].



Obrázek 1: Grafická podoba celého životního cyklu produktu[4].

## 2.1. Rozdělení životního cyklu podle jednotlivých fází

Podstata životního cyklu výrobku je ve vytvoření a centralizaci řízení všech použitých produktových dat a technologií, což umožňuje snadný přístup k informacím a znalostem. Životní cyklus výrobku je disciplína vyvinutá z nástrojů, jako jsou CAD, CAM a PDM a může být na něj nahlíženo, jako na prostředek integrace těchto nástrojů s metodami, lidmi a procesy během všech fází života produktu. Avšak není to pouze o softwarových technologiích, je to také obchodní strategie. Pro zjednodušení jsou jednotlivé fáze zobrazeny i tradičním sekvenčním inženýrským workflow. Přesné pořadí událostí a úkonů se může lišit v závislosti na produktu a druhu průmyslového odvětví. Hlavní události zobrazené na obrázku 2 jsou však povětšinou vždy stejné [5].



Obrázek 2: Základní fáze celého životního cyklu výrobku.

### 1. Fáze – Koncepce

Každá koncepce musí začínat představou nebo nápadem, následuje definice či specifikace požadavků založená na zákaznickém, firemním či tržním úhlu pohledu. Z této specifikace jsou definovány hlavní technické parametry produktu. Paralelně ke specifikaci požadavků je proveden počáteční koncepční návrh definující hlavní funkční aspekty společně s estetikou produktu. Pro průmyslový design, styl nebo tvar je využito velké množství různých médií a to od tužky s papírem, hliněné modely až ke 3D CAID (Computer-Aided Industrial Design) softwaru, tento krok je na obrázku 3 popsán jako plán. U některých návrhů bývá provedena i analýza možností, ale řízení životního cyklu je opakující se proces a je vždy možné posunout se zpět do předchozí fáze, když něco nefunguje dobře. Tyto úpravy jsou na obrázku označeny jako inovace [2].



Obrázek 3: Možný průběh první fáze životního cyklu výrobku.

## 2. Fáze – Návrh

V této fázi je proveden detailní design a vývoj produktové formy pokračující do testování prototypu přes pilotní uvolnění až k plnému uvedení. Může také obsahovat redesign a vést k vylepšení již existujících zastaralých produktů. Hlavním nástrojem pro design a vývoj je CAD (Computer-Aided Design). To může být jednoduchý 2D výkres nebo 3D model. Tento krok pokrývá mnoho inženýrských disciplín včetně: strojírenství, elektrotechniky, elektroniky, výpočetní techniky a další specifické jako např. architektura. Simulační, validační a optimalizační úlohy jsou prováděny s využitím CAE (Computer-Aided Engineering) softwaru, který provádí úkony, jako jsou např. analýza namáhání, výpočet kapalinové dynamiky, mechanická simulace nebo analýza rozměrových tolerancí [1],[3]. Postup této fáze je uveden na obrázku 4.



Obrázek 4: Možný průběh druhé fáze životního cyklu výrobku.

## 3. Fáze – Realizace

Jakmile je návrh produktových komponentů hotový, tak je definována metoda výroby a to včetně úkonů jako realizace návrhu nástroje, vytvoření CNC instrukcí pro díly produktu i nástrojů pro výrobu těchto částí, zde může být využito integrovaných nebo separátních CAM (Computer-Aided Manufacturing) softwarů. Ty obsahují analytické nástroje pro procesy simulace výroby a také pro operace jako je slévání, vstřikování či formování. Následně přicházejí na řadu CAPE (Computer-Aided Production Engineering) nebo CAPP (Computer-Aided Production Planning) nástroje. Tyto nástroje se využívají k simulaci výroby, rozvržení pracoviště či výrobní linky. Jak je uvedeno na obrázku 5, každá výrobní či realizační fáze by měla být zakončena testováním kvality. Paralelně ke všem inženýrským pracím probíhají marketingové a prodejní konfigurace produktu včetně prací dokumentačních [1],[2],[5].



Obrázek 5: : Možný průběh třetí fáze životního cyklu výrobku.

#### 4. Fáze – Provoz

Konečná fáze celého životního cyklu zahrnuje řízení informací produktu v provozu. Zákazníkovi jsou poskytovány podpůrné informace či servisní inženýři k opravě či údržbě, dále pak jsou poskytovány informace o řízení odpadu či recyklace produktu. To je konec každého produktu, viz obrázek 6.

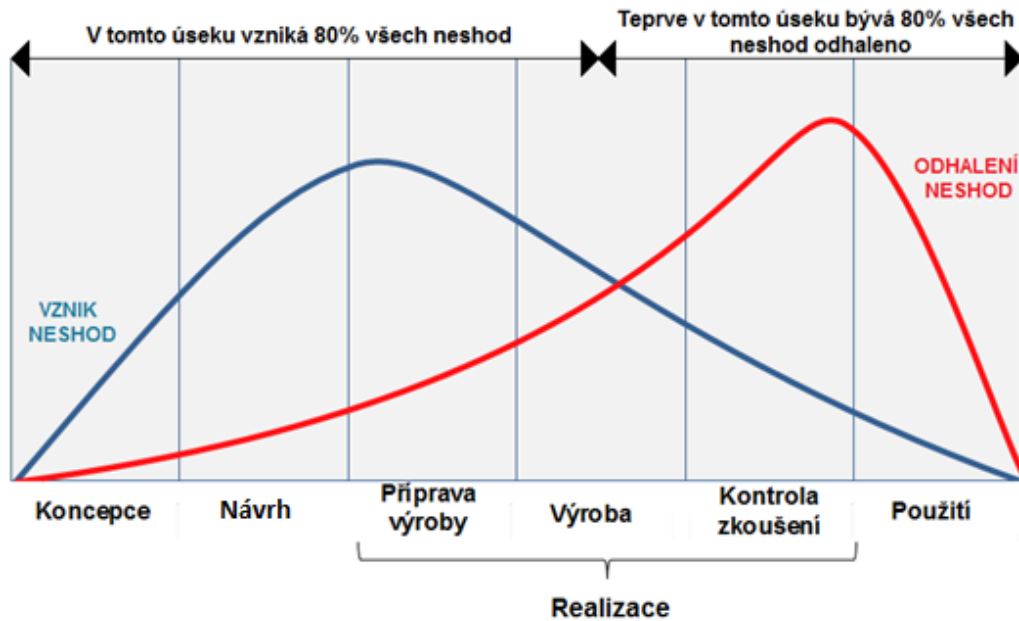


Obrázek 6: : Možný průběh čtvrté fáze životního cyklu výrobku.

Žádná z fází uvedených výše, nesmí být viděna v izolaci. Hlavní částí PLM je koordinace a řízení produktových dat. To zahrnuje řízení inženýrských změn a uvolňování komponentů, konfiguraci produktových odchylek, řízení dokumentů, plánování projektových zdrojů, časový rozsah a hodnocení rizik [1],[2],[3].

### 2.2 Rizika životního cyklu výrobku

Celý proces životního cyklu produktu je tedy neodmyslitelně svázán s riziky a tato rizika je třeba si uvědomovat a uvažovat jejich výskyt v každé fázi životního cyklu výrobku. Nejvíce neshod vzniká v úseku mezi koncepcí a samotnou výrobou, jak je vidět na obrázku 7. Nejmarkantnější nárůst neshod je v oblasti návrhu a přípravy výrobního procesu. Na druhé straně odhalení těchto neshod bývá ve fázi kontroly či použití. Následné odhalení a odstranění neshody ve výrobě či dokonce u zákazníka je pak značně nákladné.



Obrázek 7: Odhadovaný podíl vzniku a odhalení neshod [6].

Na problematiku dosud nevyvinuté metodiky managementu rizik životního cyklu upozorňují ve své práci Zou a Lin-li [7], kde vyjadřují potřebu vývoje široce akceptovatelného konceptu, který by zahrnoval všechny fáze životního cyklu v jedné metodice managementu rizik.

V dnešní době existuje celá řada metod jak rizika analyzovat a řídit. Kajko-Mattson, Lundholm a Norrby ve své práci [8] zmiňují průmyslový názor na efektivitu metod řízení rizik a možnosti, které přináší, jako na významný manažerský nástroj pro většinu vyspělých organizací. Nicméně nutnost této činnosti bývá často podceňována, jak uvádí Rong [9], který popisuje možnosti řízení projektových rizik pomocí Hallovi trojrozměrné struktury [10].

Zhao a Bai [11] zabývající se řízením rizik životního cyklu zdravotnických zařízení uvádějí, že tento celý cyklus je možné pokrýt metodou FMEA (Failure Mode and Effect Analysis), avšak metoda je zaměřená pouze na kvalitativně hodnocená rizika. O podobné tématice se zmiňuje i Guo, Tian a Zeng [12].

Dále pak Qi, Guo a Bai [13] zvolili pro pokrytí celého životního cyklu metodu, sestávající ze vzájemně souvisejících stromů, kdy jednotlivé fáze životního cyklu produktu jsou řešeny pomocí tabulkových matic. Ovšem tato metoda nepokrývá fázi ukončení životního cyklu produktu. Obdobně se k této problematice vyjadřují Guodong s kolektiv [14] a Yusheng s Yufangem [15], kteří místo matic používají fuzzy logiku.



Cornford a kolektiv [16] z vývojové laboratoře pro tryskové pohony vyvinuli pro potřeby NASA nástroj pro včasnou detekci a prevenci vad v závislosti na dosud známých datech. Svoji metodiku převedli i do softwarové podoby, využívají zde dosud známé metody analýzy rizik.

Bezpečností produktu po celou dobu jeho životního cyklu se zabývá ve svém odborném článku McRoberts [17]. Hodnotí rizika produktů, které mohou způsobit zranění či způsobit např. požár a tím následné zranění. Dále poukazuje na skutečnost, že nejúčinnějším způsobem je odhalení rizik ve fázi návrhu výrobku.

O tom, jak efektivně hodnotit systém řízení rizik, píše ve své práci Austin a Samadzadeh [18]. Uvádí metodu, jejíž pomocí lze kvantifikovat efektivitu systému řízení rizik. Metoda obsahuje metriky jak pro individuální rizika, tak pro celé systémy. Tyto metriky by však měly být použity pouze pro rizika s velkou prioritou. Zároveň dodávají, že metriky efektivnosti managementu rizik by mohly být prvním krokem pro Six Sigma projekty.

Strukturovaný trojrozměrný model návrhu životního cyklu produktu uvádí ve své práci Ying-Kui a Hong-Zhong [19]. Vytvořen byl především k asistenci lepší integrace a procesního vývoje produktu. Navrhovaný model využívá trojrozměrný pohled, tím je rozuměno, že sleduje životní cyklus ze třech pohledů a těmi jsou faktory (vývojový čas a náklady, spolehlivost, kvalita atd.), logika (omezení a vztahy v životním cyklu produktu) a fáze životního cyklu. Jedná se pouze o rámcový návrh bez konkrétních příkladů či ukázek využití.

Matta a spol. [20] udávají, že řízení životního cyklu produktu je vhodným systémem pro uchování produktových informací a znalostí a při případném znovu použití návrhu obdobného produktu může ušetřit určité prostředky. Do jisté míry může působit i jako systém řízení rizik, kdy uchovává znalosti v projektové paměti.

Je nutné rozlišovat mezi Product Lifecycle Managementem (PLM) a Product Life Cycle Managementem (PLCM). PLM popisuje inženýrské aspekty produktu od popisu vlastností produktu přes jeho vývoj a využití, kdežto PLCM poukazuje na komerční řízení produktu na obchodním trhu s ohledem na náklady a prodejní ceny, tedy jedná se i o rozdílné způsoby řízení rizik. Fáze z pohledu marketingového a jejich detailní popis a výhody uvádí ve své práci Yang a Zhao [21]. Tato práce se zabývá pouze inženýrsko – technologickými rizikovými aspekty celého cyklu.

---

PLM je jedním ze čtyř základních kamenů informační struktury podniku. Všechny společnosti potřebují řídit komunikaci a informace s jejich zákazníky (CRM – Customer Relationship Management), jejich dodavateli (SCM – Supply Chain Management), potřebují řídit zdroje podniku (ERP – Enterprise Resource Planning) a vyvíjet informační systémy (SDLC – Systems Development Life Cycle). Kromě toho musí výrobní společnosti také vyvíjet, popsat, řídit a komunikovat informace o jejich produktech [1],[2].

Význam životních fází produktu spočívá v tom, že umožňují lepší kontrolu nad průběhem celého cyklu. Po skončení každé fáze je možné další pokračování projektu přehodnotit. Použití fází umožní také sledovat hlavní ukazatele projektu a finanční vyjádření rizika. Fáze na sebe navazují a úspěšné uzavření jedné fáze je obvykle potřebné pro zahájení další fáze. Ty se mohou vzájemně překrývat, vzájemné návaznosti však musí být definovány.

Fáze projektu z pohledu různých autorů a odvětví popisují ve své práci Korecký a Trnkovský [22], kteří rovněž detailně popisují řízení projektových rizik, kde využívají velké množství dosud známých a používaných metod, avšak nevytvářejí komplexní metodiku

### 3. Řízení rizik

Řízení rizik je proces, při němž se subjekt snaží zamezit působení již existujících i budoucích faktorů a navrhuje řešení, která pomáhají eliminovat účinek nežádoucích vlivů a naopak umožňují využít příležitosti působení pozitivních vlivů. Součástí procesu řízení rizik je rozhodovací proces, vycházející z analýzy rizika. Po zvážení dalších faktorů, zejména ekonomických, technických, ale i sociálních a politických, management pro řízení rizik vyvíjí, analyzuje a srovnává možná preventivní a regulační opatření. Poté z nich vybere ta, která existující riziko minimalizují. Jako součást řízení rizik bývá chápáno i šíření informací o riziku a vnímání rizika [23].

#### 3.1 Základní pojmy

##### **Riziko**

Výraz „risico” pochází původem z Itálie, kdy souvisel s mořeplavectvím a byly jím označovány skalní útvary vyčnívající z moře, kterým se námořníci snažili při svých plavbách vyhnout, později pak jakékoliv nebezpečí pro plavbu lodí. Zdá se tedy více než pravděpodobné, že z tohoto zdroje pochází i české slovo úskalí, které se kromě významu útes, skála používá také pro označení nebezpečí či obtíží. Starší literatura vysvětluje pojem riziko či riskovat jako odvážení se něčeho či jako nebezpečí. Dle dnešního výkladu se rizikem rozumí nebezpečí vzniku škody, poškození či ztráty, případně nezdaru při podnikání. Neexistuje však obecně uznávaná definice a pojem riziko může být definován různě [23],[24]. Dle ČSN IEC 300-3-9 je riziko definováno jako kombinace četnosti nebo pravděpodobnosti výskytu specifikované nebezpečné události a jejich následků. ČSN ISO 31000 riziko definuje jako účinek nejistoty na dosažení cílů.

Dále pak riziko může být dle zdroje [25] definováno jako kombinace pravděpodobnosti určité události a jejích následků. Jelikož všechny druhy podnikání jsou ovlivněny událostmi a následky, které přinášejí příležitost k zisku nebo ohrožují úspěch, tak se na řízení rizik stále více nahlíží jako na činnost, která se zabývá jak zápornými, tak i kladnými aspekty rizik. V oblasti bezpečnosti jsou obecně následky považovány pouze jako negativní, proto se zde řízení rizik zaměřuje pouze na prevenci a zmírnění škod.

Další definice pojmu rizika dle [23]:

- Možnost, že specifická hrozba využije specifickou zranitelnost systému.
- Střední hodnota ztrátové funkce.
- Nebezpečí chybného rozhodnutí.
- Situace, kdy kvantitativní rozsah určitého jevu podléhá jistému rozdělení pravděpodobnosti.
- Pravděpodobnost jakéhokoliv výsledku, odlišného od výsledku očekávaného.
- Odchýlení skutečných a očekávaných výsledků.
- Variabilita možných výsledků nebo nejistota jejich dosažení.
- Pravděpodobnost či možnost vzniku ztráty, obecně nezdaru.
- Nebezpečí negativní odchylky od cíle (tzv. čisté riziko).
- Možnost vzniku ztráty nebo zisku (tzv. spekulativní riziko).
- Neurčitost spojená s vývojem hodnoty aktiva (tzv. investiční riziko).

### **Aktivum**

Pod tímto pojmem rozumíme vše, co má pro daný subjekt nějakou hodnotu, která může být působením hrozby zmenšena. Aktiva se většinou dělí na hmotná a nehmotná. Aktivem však může být i sám subjekt, neboť působením hrozby může být ohrožena celá jeho existence. Posuzování hodnoty aktiva je založeno na velikosti škody způsobené zničením či ztrátou aktiva [23].

Obvykle se při stanovení hodnoty aktiva vychází z jeho nákladových charakteristik (pořizovací cena), mohou to být ale i charakteristiky výnosové. Velmi důležité je rozlišit, zda se jedná o jedinečné aktivum nebo o aktivum nahraditelné. Hodnota aktiva pro analýzu rizik se může stanovit také jako vážený průměr hodnot podle všech použitých hledisek. Aktiv je obvykle veliké množství a jejich počet se snižuje tak, že se provede seskupení aktiv podle různých hledisek, aby se vytvořily skupiny aktiv podobných vlastností. Seskupovat se mohou aktiva podobné ceny, kvality, účelu apod. Takto vytvořená skupina aktiv pak dále vystupuje jako jedno aktivum [24],[26].

## Nejistota

Nejistota je vnímána jako „nemožnost spolehlivého stanovení budoucích faktorů“. Je tedy zřejmé, že definice pojmu nejistota je v čase v podstatě stabilní. Je považována za pojem širšího významu a chápána jako neurčitost nebo náhodnost podmínek respektive následků těchto podmínek v podobě výsledků analyzovaných procesů, jevů či událostí, kdy je známá množina možných výsledků, ale nikoli pravděpodobnosti s jakou se objeví. Tedy ve smyslu, že tyto podmínky či výsledky jsou buď [27]:

- pouze částečně známé
- pouze částečně kvantifikované
- pouze částečně kvantifikovatelné do té míry, že mezi nimi (tj. mezi výsledky a jejich podmínkami či příčinami) není možné vyjádřit příčinné závislosti.

*Nejistota měření* je označení pro parametr, který souvisí s výsledkem měření a charakterizuje rozsah hodnot, které je možné racionálně přiřadit k měřené veličině. Jedná se o metodiku zpracovávání výsledků měření. Výsledná nejistota se skládá z několika dílčích nejistot. Z nejobecnějšího hlediska se rozdělují do dvou složek [27].

- Typ A - statistické zpracování opakovaně naměřených údajů za stejných podmínek měření (tlak, teplota, vlhkost)
- Typ B - nejistota způsobená známými nebo odhadnutelnými příčinami - nedokonalostí měřicích přístrojů, vlivem operátora, vlivem použitých metod měření

## Hrozba

Hrozbou označujeme vše co má nežádoucí vliv na bezpečnost, funkčnost nebo může způsobit škodu. Tedy je to síla, událost, aktivita či osoba. Příkladem může být požár, přírodní katastrofa, krádež, chyba obsluhy, ale i chyba finančního úřadu apod.

Škoda, která je způsobena působením hrozby na určité aktivum, je nazývána dopad hrozby. Dopad hrozby může být odvozen od absolutní hodnoty ztrát, do které jsou zahrnuty náklady na znovuoobnovení činnosti aktiva, nebo náklady na odstranění následků škod, které hrozba způsobila [23].

---

## **Zranitelnost**

Zranitelnost je nedostatek, slabina nebo stav aktiva či jeho části, která může být ohrožena nežádoucím vlivem hrozby. Tato vlastnost aktiva vyjadřuje, jak citlivé je aktivum na působení dané hrozby. Zranitelnost umožňuje hrozbě působit na aktivum, když dojde k interakci mezi hrozbou a aktivem. Základní charakteristikou zranitelnosti je její úroveň, která se hodnotí dle následujících faktorů:

- Citlivost – náchylnost aktiva k poškození hrozbou
- Kritičnost – důležitost aktiva pro analyzovaný subjekt [23]

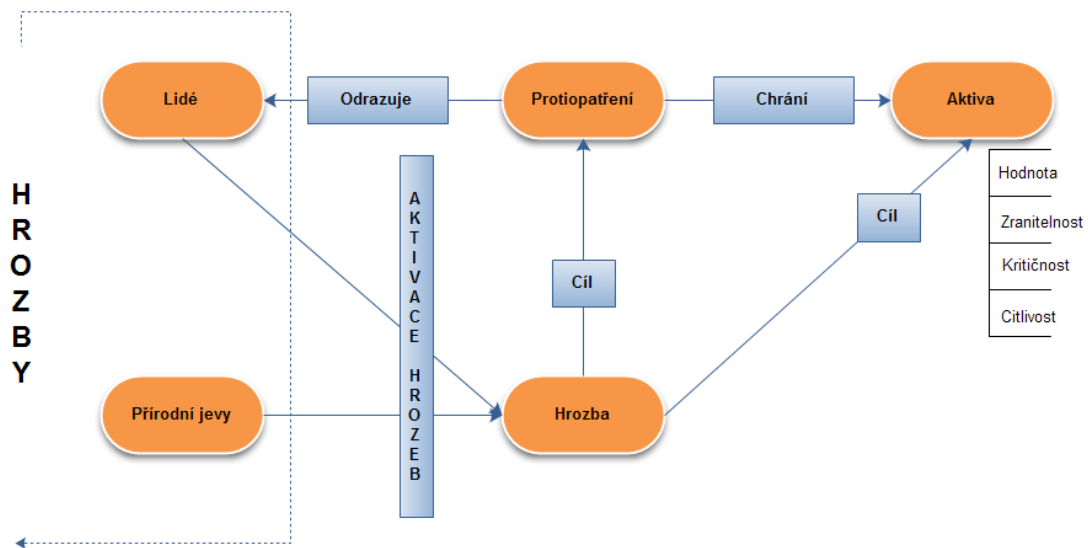
## **Míra rizika**

Riziko může vedle pravděpodobnosti vzniku nežádoucí události (dopad hrozby) vyjadřovat i míru neboli rozsah negativních důsledků. Kritérium míry rizika je primárním hlediskem při hodnocení procesů a faktorů. Míra rizika je nejčastěji číselná hodnota, která popisuje vztah mezi pravděpodobností a následky sledované nežádoucí události plynoucí z existence hrozby [23],[24].

## **Protiopatření**

Protiopatření je jakýkoliv proces, postup, procedura, technický prostředek, co je navržen speciálně pro zmírnění hrozby nebo jejího dopadu či snížení zranitelnosti. Protiopatření bývá také navrhováno s cílem předejít vzniku škody nebo zmírnit její následky. Z hlediska analýzy rizik je protiopatření charakterizováno efektivitou a náklady.

Efektivita protiopatření vyjadřuje, nakolik protiopatření sníží účinek hrozby. Obvykle bývá použito ve fázi zvládnání rizik jako jeden z hlavních parametrů při hodnocení vhodnosti použití daného protiopatření. Náklady se rozumí pořizovací náklady pro pořízení, zavedení a provozování. Společně s efektivitou jsou náklady důležitým ukazatelem při volbě vhodného protiopatření [23]. Obrázek 8 zobrazuje schéma, jak na sebe vzájemně působí hrozby, aktiva a protiopatření.



Obrázek 8: Schéma působení hrozeb na aktiva [24].

### 3.2 Proces řízení rizik

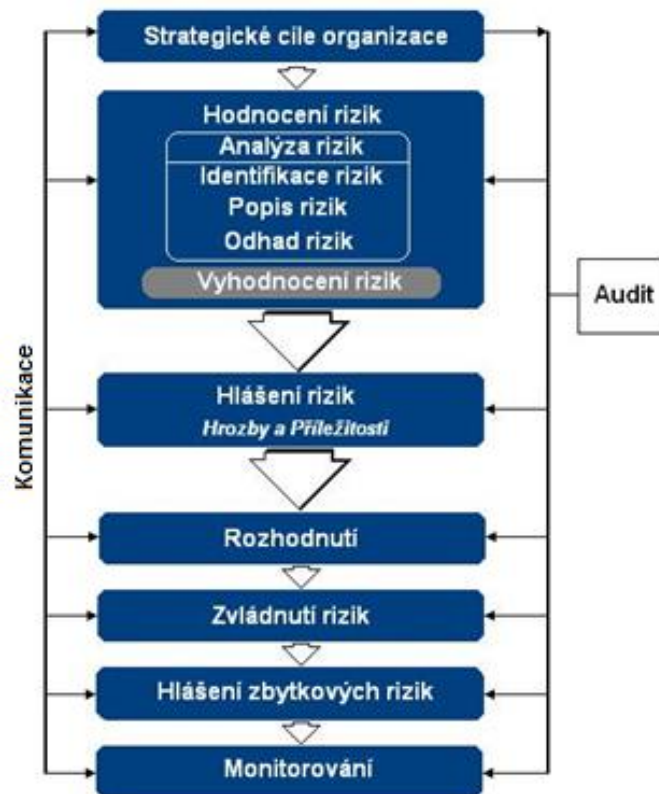
Proces řízení rizik navrhuje řešení, která pomáhají eliminovat účinek nežádoucích vlivů a i naopak umožnit využití příležitosti působení vlivů pozitivních a dosáhnout tak trvalého zisku či prospěchu [23],[25].

Správné řízení rizik se zaměřuje na identifikaci a zvládnutí rizik. Jeho cílem je dodat co nejvyšší trvalou hodnotu všem činnostem organizace. Přispívá k pochopení možných výhod i nevýhod všech faktorů, které organizaci ovlivňují. Zvyšuje pravděpodobnost úspěchu a snižuje pravděpodobnost neúspěchu, stejně tak i nejistotu v dosahování obecných cílů činností organizace [25],[28].

Finálním výstupem procesu řízení rizik by mělo být rozhodnutí, o tom zda a jak rizika zvládat. Pro nepřijatelnou úroveň rizika může být vyžadováno zastavení probíhajícího procesu a přijetí opatření na její snížení. Pokud je riziko přijatelné a přitom nikoliv bezvýznamné a potenciál zisku je značný, následuje obvykle vypracování plánu preventivních opatření za účelem jeho redukce. Zbytková rizika, která nejdou protipatřeními efektivně snížit, jsou zpracovávána pomocí krizových plánů [23].

Řízení rizik by mělo být nepřetržitým a stále se zdokonalujícím procesem začleněným do strategie organizace a do jejího prosazování. Musí podporovat odpovědnost, měření a odměňování výkonu a tím přispívat k vyšší efektivitě na všech

úrovních. Programy či plány by měly být svou podstatou proaktivní a namířené do budoucnosti. Osoby odpovědné za plánování by měli být důsledně vedeny k myšlenému dosahování změn. Zároveň však musí využívat své znalosti a zkušenosti z již dříve prováděných opatření a procesních změn [24],[25]. Jedná se o postupný, neustále se opakující proces zlepšování, nejlépe začleněný do existujících praktik nebo jiných výrobních či projektových postupů. Systém řízení rizik je vyobrazen na obrázku číslo 9.



Obrázek 9: Systém řízení rizik [25].

Třídění typologie oblastí, kde se řízení rizik vyskytuje nejčastěji, je dle [23] následující:

- Přírodní katastrofy
- Rizika ochrany životního prostředí
- Finanční rizika
- Technická rizika
- Projektová rizika
- Manažerská rizika
- Procesní, provozní rizika
- Personální rizika
- Rozvojová, strategická
- Tržní rizika, obchodní rizika



- Bezpečnostní rizika
- Informační rizika
- Zdravotní rizika
- Kulturní rizika
- Morální a sociální rizika

### **Analýza rizik**

Analýza rizik se zabývá odhalováním a pochopením rizik. Poskytuje informace pro rozhodnutí, zda je nutné se danými riziky zabývat či nikoliv. Do analýz rizik je obvykle zahrnován odhad rozsahu potencionálních následků, které mohou vyplynout z události, situace nebo okolnosti a jejich přidružených pravděpodobností. Cílem je pak změření úrovně možného rizika [25],[28].

Za určitých okolností se následek může vyskytnout také jako výsledek řady různých událostí či podmínek anebo se může vyskytnout v situaci, kdy specifická událost není zjištěna. V tomto případě je při posuzování rizik pozornost soustředěna na analyzování důležitosti a zranitelnosti součástí systému s cílem stanovit ošetření, které souvisí s úrovní strategie ochrany a obnovy. Analýza rizik se sestává ze tří na sobě závislých procesů a to z identifikace, popisu a odhadu rizik [25],[28].

### **Identifikace rizika**

Identifikace rizika slouží k určení míry nejistoty, které je proces nebo samotná organizace vystavena. Proto je třeba mít podrobný přehled o organizaci a jejím tržním, sociálním, politickém a kulturním prostředí. Stejně tak je velice důležité porozumět základním cílům organizace a všem hrozbám a příležitostem souvisejících s dosahováním těchto cílů [25].

Tento krok se tedy snaží identifikovat všechna aktiva, hrozby a zranitelnosti, kterými se bude proces řízení rizik zabývat. Důkladná identifikace je velice důležitá, jelikož neidentifikované riziko může být v analýze rizik vynecháno. Proto je nutné, aby identifikace rizik byla založena na dobře navrženém, systematickém postupu. Při identifikaci je možné vycházet ze seznamů rizik či hrozeb, které jsou sestaveny podle literatury, analýz či profesionálních zkušeností [23],[28]. Pro samotné vytvoření seznamu je vhodné využít některých z brainstormingových metod či metodu účelových interview Delphi.

## **Popis rizika**

Identifikovaná rizika bývají zobrazována ve strukturované formě a to nejčastěji ve formě tabulky. U tohoto typu vyjádření je nejdůležitější, aby bylo zvoleno vhodné uspořádání tabulky, které usnadní určení nejzávažnějšího rizika a jeho podrobnější analýzu. Identifikace rizik spojených s činnostmi organizace a rozhodováním může být rozdělena jako strategická, projektová/taktická, provozní. Je důležité uplatnit řízení rizik jak v přípravné fázi projektů, tak po celou dobu trvání konkrétního projektu, tedy popis rizika by měl být tzv. „živým dokumentem“ [25].

## **Odhad rizika – měření rizika**

Odhad rizika může být vyjádřen kvalitativními či kvantitativními termíny pravděpodobnosti výskytu a možných následků. Následky je výhodné rozdělit na dvě skupiny a to na hrozby a příležitosti. Pravděpodobnost může být nízká, střední a vysoká, ale vyžaduje rozdílné definice pro hrozby a příležitosti. Organizace mohou zavést různá měřítka následků a pravděpodobností, které vyhovují jejich potřebám. Avšak ne vždy lze odhadnout všechna rizika. Analyzují se proto všechny možné příčiny. K tomu se využívá analýzy četností, následků, výpočtu rizikových čísel či odhadu nejistot. [24],[25].

Při analýze rizik se v mnoha případech pracuje s veličinami, které nejde přesně změřit a určení jejich velikosti závisí na kvalifikovaném odhadu odborníka, který se vyjadřuje na základě svých zkušeností (obvykle se používá stupnice 1 – 10 nebo výrazy žádné, malé, střední, velké). Intuitivně se jevy s vyšší pravděpodobností označují jako rizikovější než ty, kde je pravděpodobnost nízká. Je-li riziko definováno jako možnost odchylky od požadovaného výsledku, který jsme očekávali, tak je stupeň rizik měřen pomocí pravděpodobností této odchylky. Tedy čím vyšší je pravděpodobnost, že k nepříznivé události dojde, tím větší je pravděpodobnost odchylky od výsledku, a tím je i vyšší riziko. V případě velkého počtu jednotek vystavených riziku lze provést odhady ohledně pravděpodobnosti výskytu daného počtu ztrát. Na základě těchto odhadů, můžeme formulovat prognózu. V případě hromadných ohrožení není stupněm rizika pravděpodobnost jednotlivého výskytu ztráty, je to pravděpodobnost nějakého výsledku, který bude odlišný od výsledku, který je očekáván či předpovídan [23].

## **Vyhodnocení rizika**

Vyhodnocení rizik zahrnuje srovnání závažnosti rizik, identifikovaných během procesu analýzy rizik, s měřítky rizik zavedenými při stanovení kontextu. Rizika je vhodné porovnat s cíli projektu či cíli organizace a rozsahem příležitostí nebo hrozeb, které z nich mohou vyplynout. Vyhodnocení rizik slouží k rozhodnutí o závažnosti rizik pro organizaci, zda konkrétní riziko akceptovat nebo jej zvládat [25],[28].

K rozhodnutí mohou vést tyto aspekty:

- Potřeba ošetření rizika
- Priority ošetření rizika

Konečné rozhodnutí, zda a jak je nutné riziko ošetřit, může záviset na nákladech a přínosech při podstupování rizika a také na nákladech a přínosech při zavedení zlepšených prvků řízení rizika [28].

## **Hlášení zbytkových rizik**

Hlášení rizik by se mělo dělit na externí a interní, kdy interní hlášení spočívá v informování různých úrovní organizace a externí hlášení má za úkol pravidelně informovat všechny zainteresované strany o politikách řízení rizik a o efektivitě dosahování stanovených cílů [25].

### **Interní hlášení**

Jak již bylo zmíněno výše, tak různé úrovně organizace vyžadují různé informace o procesu řízení rizik.

#### Vedení organizace by mělo:

- znát všechna nejzávažnější rizika, kterým je organizace vystavena
- zajistit efektivní zvládnutí procesu řízení rizik
- mít povědomí o krizovém postupu
- jasně rozdělit zodpovědnost za řízení rizik
- zajistit patřičné povědomí o rizicích v celé organizaci

#### Organizační jednotky by měly:

- mít povědomí o rozdělení zodpovědnosti a kompetencí spadajících do jejich úseku
- hlásit vedení jakákoliv nová rizika
- sledovat všechny činnosti organizace

### Jednotlivci by měli:

- hlásit jakákoliv nová rizika
- vědět, že řízení rizik je částí firemní kultury
- chápat odpovědnost
- stále zlepšovat proces řízení rizik

### **Externí hlášení**

Zainteresované strany stále častěji požadují po organizaci důkazy o správném vedení organizace, nejen z finančního hlediska, ale i z hlediska bezpečnosti a životního prostředí.

#### Zde je třeba hlásit:

- základní opatření k řízení rizik
- způsoby kontroly
- zavedení systému monitorování a přezkoumání rizik

### **Rozhodnutí**

Rozhodnutí je proces, ve kterém je rozhodováno o tom, zda a jaká rizika budou podrobena zvládnutí. Tento proces se dělí dle úrovně informovanosti na rozhodování za jistoty, nejistoty či rizika.

Rozhodování za jistoty nastává tehdy, pokud jsou známy všechny případné důsledky. Rozhodování za nejistoty je tehdy, jsou-li k dispozici všechny informace, jsou známy všechny situace, které mohou nastat i jejich důsledky, ale není známa pravděpodobnost, se kterou nastanou. Rozhodování za rizika je uskutečněno v situaci, kdy jsou známy všechny situace, které mohou nastat i jejich pravděpodobnost, ale není známo, která situace nastane. Zde je třeba využít zkušeností manažera. Cílem rozhodování je úspěšný budoucí stav, jasný cíl, dobře nadefinované kroky a zodpovědnosti, dosažitelnost a posun k vyšší přidané hodnotě [26].

### **Zvládnutí rizik**

Výběr nejvhodnější metody pro zvládnutí rizik spočívá ve vyvážení nákladů na její uskutečnění proti ziskům, které to přinese. Náklady na řízení rizik mají být celkově úměrné dosahovaným ztrátám [23]. Mezi nejběžnější metody patří akceptace a redukce rizika. Jsou však i zde další metody jako ignorace rizika, vyhnutí se riziku a transfer rizika [29].

### **Akceptace rizika**

Jedná se o nejčastější metodu zvládnání rizik, která spočívá v tom, že nepodniknou žádné kroky k odvrácení rizika. Tato metoda se doporučuje pouze v případech nízkých nebo zbytkových rizik. Tento přístup má své opodstatnění v případech, kdy je zbytečné vynaložit prostředky na opatření proti riziku, jež je zanedbatelné nebo kdyby náklady na jeho odstranění mnohonásobně překročily škody, které by mohly být způsobeny.

### **Redukce rizika**

Redukce rizika je velice běžná metoda zvládnání rizik. Cílem této metody je redukce rizika na přijatelnou úroveň či jejich úplná minimalizace. Tato metoda bývá doporučována pro všechna rizika s vysokou pravděpodobností bez ohledu na možný dopad.

Dle [23] mohou být metody redukce rizik děleny do dvou skupin:

- metody odstraňující příčiny vzniku
- metody snižující nepříznivé důsledky rizika

### **Ignorace rizika**

Nejhorší možný případ, který může nastat, je ignorace rizika. V tomto případě management vůbec netuší, že by mohlo nějaké riziko existovat a nesnaží se ani provést analýzu možných dopadů [29]. Dříve býval tento způsob velice častý, bohužel i v dnešní době si mnoho společností či jiných subjektů možnosti řízení rizik nepřipouští. Bohužel v těchto případech dochází k dopadu hrozby, která má často za následek velké finanční nebo materiálové ztráty, ale také újmy na zdraví či ztráty na životech.

### **Transfer rizika**

V případech, kdy je pravděpodobnost výskytu rizika nízká, dopady zničující a není možné použití jiných metod, tak je třeba riziko přenést. Jedná se o přenos odpovědnosti za zvládnání rizika na ekonomicky silnějšího partnera. Z dceřiné společnosti na mateřskou, outsourcingovou nebo pojišťovací společnost [29].

Transfer rizika je defenzivní přístup k riziku. Mezi nejčastější způsoby přesunu rizika patří [23]:

- Dlouhodobé kupní smlouvy dodávek materiálu za předem stanovené fixní ceny
- Kupní smlouvy, které podmiňují minimální odběr výrobků
- Obchodní smlouvy zajišťující odběrateli dodávku materiálu v předem určené kvalitě a předem určeném čase.
- Přesun technické inovace výroby na spolupracující firmu
- Leasing
- Franchising
- Pojištění
- Akreditiv, inkaso, bankovní záruky

### **Vyhnutí se riziku**

Vyhýbání se rizikům je jednou z metod zvládnání rizik. Tato metoda však většinou bývá považována za negativní. Často se jedná o zcela nevyhovující přístup k řešení rizik, jelikož příliš častým vyhýbáním se riziku bývají všechny činnosti ochuzené o řadu příležitostí k výtěžku, poznání či jiné užitečné činnosti a poté nedosahují svých cílů. Aplikace této metody je na místě, jedná-li se například o nepropracovaný podnikatelský záměr, u něhož je riziko neúspěchu neúměrně velké, proto je lepší se riziku vyhnout. S podnikatelskými, výzkumnými, vývojovými či technologickými aktivitami jsou vždy rizika úzce spjata, a proto nelze tento přístup doporučit [23],[26].

### **Zbytková rizika**

Zbytkové riziko je takové riziko, které je po implementaci protiopatření tak malé, že nepřesáhne referenční úroveň, tedy hranici míry rizika, která rozhoduje, zda je nutné proti riziku podnikat další protiopatření pro jeho snížení. Zbytkové riziko by mělo být tak malé, že jej lze akceptovat [23].

### **Monitoring rizika**

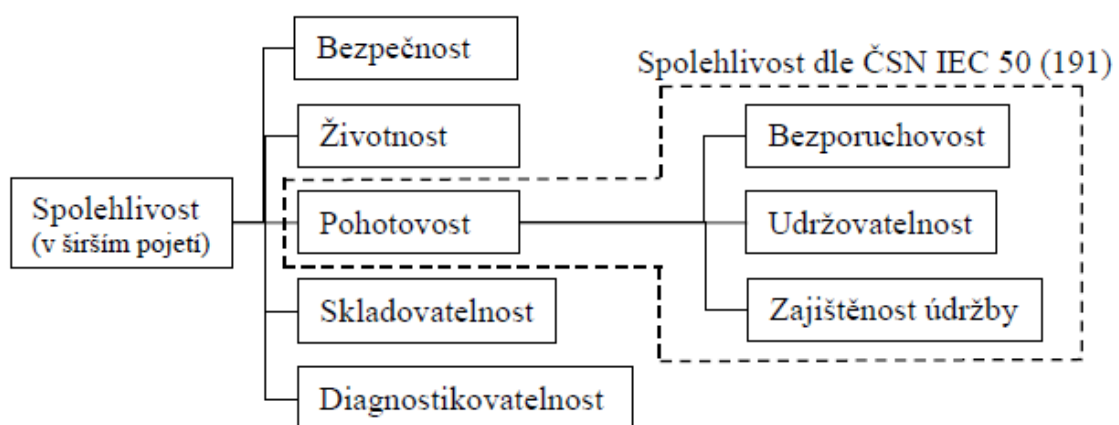
Plán řízení rizik musí být stále aktuální a je třeba ho upravovat na základě posouzení aktuálního stavu. Podmínky, které ovlivňují následky, se mohou neustále měnit. Stejně tak i pravděpodobnosti jejich výskytu. Proto je nutné cyklus řízení rizik opakovat. Monitoring rizika poskytuje objektivizované vstupy pro další iteraci analýzy rizik. Nepřetržitý monitoring je nutný pro ta rizika, která se vyznačují vysokou pravděpodobností hrozby a velkým dopadem. [23],[29].

## 4. Spolehlivost

Vzhledem k celkové snaze snižování neshod výrobku, je nezbytné se zaměřit na spolehlivost výrobku a to během celého životního cyklu s důrazem na počáteční fáze jeho životního cyklu, kde predikcí spolehlivostních parametrů je možné identifikovat rizikové aspekty výrobku, na které je třeba se zaměřit a zvládat. Rizikovým aspektem je v tomto případě chápán vznik poruchy či neshody výrobku. Navrhovaná metodika se tedy snaží zvýšit spolehlivost nejen prvotní analýzou, ale soustavným sledováním incidence poruch, jejím vyhodnocením a aplikací odpovídajícího opatření.

### 4.1 Základní pojmy spolehlivosti

Spolehlivost byla definována jako obecná vlastnost objektu (např. vozidla), spočívající ve schopnosti plnit požadované funkce při zachování hodnot stanovených provozních ukazatelů v daných mezích a v čase podle stanovených technických podmínek. Jednalo se tedy o objektivní, obecnou a komplexní vlastnost. Většina odborníků však považovala toto vymezení základního termínu spolehlivost za méně vhodné. Podle nově zavedených norem ČSN ISOP 8402 a podrobněji pak ČSN IEC 50(191) je **spolehlivost** chápána úžeji jako termín pro popis **pohotovosti** a činitelů, které ji ovlivňují: bezporuchovost, udržitelnost a zajištěnost údržby - viz obr. 10.



Obrázek 10: Diagram spolehlivosti [30].

Zatímco vymezení termínu **bezporuchovost** se příliš nezměnilo, je termín **udržovatelnost** chápán obecněji a odpovídá původnímu vymezení obecné udržovatelnosti podle legislativy platné do roku 1993 (ČSN 01 0102). Přehled základních termínů a definic podle nové legislativy (platné od 1993) je uveden v tab. 1.

**Údržba** je obecně chápána jako kombinace všech řídicích, technických, organizačních, kontrolních a administrativních činností, zaměřených na udržení ve stavu nebo navrácení objektu do stavu, v němž může plnit požadovanou funkci (takto obecně vymezená údržba = preventivní údržba + údržba po poruše); je prováděna uživatelem, provozovatelem, dodavatelem, výrobcem aj.

**Tabulka 1: Přehled základních termínů a definic podle legislativy [30].**

<b>T e r m í n</b>	<b>D e f i n i c e</b>
<b>bezpečnost</b> (safety)	stav, ve kterém je riziko ohrožení zdraví, života osob, životního prostředí nebo majetku omezeno na přijatelnou úroveň
<b>životnost</b> (durability)	schopnost objektu plnit požadovanou funkci v daných podmínkách používání a údržby do mezního stavu, který lze charakterizovat ukončením užitečného života, ekonomickou nebo technickou nevhodností, či jinými závažnými důvody
<b>spolehlivost</b> (dependability)	souhrnný termín pro popis pohotovosti a činitelů, které ji ovlivňují, tj. bezporuchovost, udržovatelnost a zajištění údržby
<b>pohotovost</b> (availability)	schopnost objektu být ve stavu schopném plnit požadovanou funkci v daných podmínkách, v daném časovém okamžiku nebo intervalu, za předpokladu, že jsou zajištěny požadované vnější podmínky
<b>bezporuchovost</b> (reliability)	schopnost objektu plnit požadovanou funkci v daných podmínkách a v daném časovém období
<b>udržovatelnost</b> (maintainability)	schopnost objektu v daných podmínkách používání setrvat ve stavu nebo se vrátit do stavu, v němž může plnit požadovanou funkci, jestliže se údržba provádí v daných podmínkách a používají se stanovené postupy a prostředky
<b>zajištěnost údržby</b> (maintenance support)	schopnost organizace poskytující údržbářské služby zajišťovat dle požadavků v daných podmínkách (vztahují se jak na vlastní objekt, tak na podmínky používání i údržby) prostředky potřebné pro údržbu podle dané koncepce údržby



Teorie spolehlivosti zkoumá zákonitosti vzniku poruch a metody jejich předpovídání, hledá způsoby zvýšení spolehlivosti výrobků, v údobí jejich návrhu, projekce, konstrukce a výroby, ale také metody dosažení inherentní spolehlivosti (vnitřně dané) a provozní spolehlivosti v období provozu a skladování. Pojem provozní spolehlivost zahrnuje technickou stránku spolehlivosti a spolehlivost člověka - obsluhovatele, operátora aj. Teorie spolehlivosti rovněž rozpracovává metody kontroly a zkoušení spolehlivosti. V tab. 1. uvedené stručné definice spolehlivostních vlastností mají pouze **kvalitativní** charakter - přinášejí údaje o obsahu každé vlastnosti.

**Kvantifikace** spolehlivosti zahrnuje dva kroky:

- volbu kvantitativních měr (číselných, funkčních aj.), tj. ukazatelů a charakteristik bezporuchovosti, udržovatelnosti, opravitelnosti, pohotovosti, popř. dalších,
- stanovení jejich požadovaných hodnot na základě zadání, požadavků, popř. smluv, průzkumu trhu aj.

Stanovení ukazatelů spolehlivosti (bezpečnosti, životnosti) pro daný konkrétní typ výrobku závisí na jeho funkční složitosti, účelu použití aj. Obecně probíhá v následujících krocích:

- určí se, kterými ukazateli bude spolehlivost (a rovněž bezpečnost a životnost) popsána; tato úloha se označuje jako volba nomenklatury ukazatelů
- zvolené nomenklatury ukazatelů se přiřadí numerické hodnoty - v této fázi se stanoví cílové hodnoty na základě zjištěných požadavků pro specifikované technické parametry a podmínky používání,
- provede se předběžná analýza dosažitelnosti stanovených cílů (včetně ekonomické efektivity); výrobek se v této fázi uvažuje obvykle jako systém.

## 4.2 Spolehlivost výrobků

Při výzkumu, analýze, sledování, hodnocení, zkouškách apod. libovolného jevu musíme přesně definovat předmět sledování. V oboru spolehlivosti nazýváme předměty sledování nejobecnějšími termíny - objekt nebo výrobek (objektem, popř. výrobkem je např. vozidlo nebo jeho dílčí část aj.).

Objektem je skutečný předmět, materiál nebo pozorovaná hodnota. Je-li objekt vyrobený, nazývá se výrobkem. Výrobek může mít povahu prvku nebo soustavy. Prvek je samostatně uvažovaná část výrobku, např. píst spalovacího motoru. Soustava je souhrnem několika společně pracujících prvků. Složité výrobky, např. vozidla aj. je možno rozčlenit na řadu prvků s různou funkcí a složitostí. Jsou to, např.:

- součásti, které jsou zhotoveny z jednoho kusu materiálu,
- součástkové celky, které představují nejjednodušší celky, vytvořené z několika součástí,
- podskupiny, které představují funkční celky, vytvořené montážně ze součástí (píst s kroužky aj.),
- skupiny, které představují vyšší funkční celky, vytvořené montážně ze součástí, součástkových celků a podskupin,
- hlavní skupiny, které představují nejvyšší funkční celky a tvoří je např. motor, převodní ústrojí aj.

Z hlediska činnosti objektu po poruše rozeznáváme objekty **opravitelné** (obnovované) a **neopravitelné** (neobnovované). Vymezení základních termínů podle ČSN IEC 50 (191) je v tabulce 2.

**Tabulka 2: Vymezení základních termínů dle ČSN IEC 50(191).**

<i>Termín</i>	<i>Definice</i>
<b>objekt, entita</b> (item, entity)	jakákoliv součást, zařízení, část systému, funkční jednotka, přístroj, systém, s kterým je možné se individuálně zabývat
<b>neopravovaný objekt</b> (non-repaired item)	objekt, který se po poruše neopravuje
<b>opravovaný objekt</b> (repaired item)	opravitelný objekt, který se po poruše skutečně opravuje
<b>porucha</b> (failure)	ukončení schopnosti prvku, objektu, soustavy aj. plnit požadovanou funkci

**Opravitelný**, resp. obnovovaný objekt je takový, který je po poruše způsobilý k opravě resp., jehož schopnost plnit požadovanou funkci se po poruše obnovuje. Obecně se jedná o objekty s plánovanou technickou obsluhou, s údržbou po poruše během používání, resp. o objekty chápané při jejich použití v systému jako neopravované prvky, které se po vzniku poruchy nahradí provozuschopnými, ale dále jsou chápány jako opravované. Příkladem takových objektů jsou: automobil jako celek, vozidlový spalovací motor, převodovka, obecně všechna složitější technická zařízení. U opravovaných objektů vedle bezpečnosti a životnosti je spolehlivost chápána jako pohotovost, jež je určována bezporuchovostí, udržovatelností (preventivní údržba a údržba po poruše) a její zajištěností, ale u objektů chápaných jako systémy také např. životností některých prvků.

**Neopravitelný**, resp. neobnovovaný objekt je takový, který po poruše nelze opravit resp., jehož schopnost plnit požadované funkce se po poruše neobnovuje z důvodů technických, provozních, ekonomických nebo jiných. Příkladem takových objektů jsou: těsnění, klínové řemeny, žárovky, ložiska, nýty, šrouby, táhla, vypínače, pojistky, elektronické součástky (odpory, kondenzátory, integrované obvody, diody apod.) aj. U neopravovaných objektů se vedle bezpečnosti a životnosti vymezuje jejich spolehlivost zejména bezporuchovostí, zatímco udržovatelnost je určována zejména preventivní údržbou a její zajištěností, příp. skladovatelností (např. akumulátory, střelivo aj.) [30].

### 4.3 Bezporuchovost

Bezporuchovost je definována jako "schopnost objektu plnit požadovanou funkci v daných podmínkách a v daném časovém intervalu" [31]. Analýzy bezporuchovosti elektronických součástek se většinou opírají o empirická životnostní data, získaná experimentem či pozorováním souboru vzorků hodnocených součástek [32]. Existují různé metody pro interpretaci dat z životnostních testů nebo dat z provozu. Mnohé z těchto metod využívají teoretická statistická rozdělení, která jsou modelem doby života (či technicky přesněji doby bezporuchového provozu) sledovaných součástek.

Kvantifikace bezporuchovosti tedy využívá metod matematické statistiky a teorie pravděpodobnosti, přičemž základní podstatou je využití vhodného teoretického rozdělení [33]. Jedním z těchto rozdělení je Weibullovo rozdělení. Toto rozdělení se široce využívá jako teoretický model pro statistické modelování bezporuchovosti elektronických součástek či komponent. Obecně může toto rozdělení modelovat datové soubory, jejichž hodnoty jsou větší než nula.

Weibullova analýza se používá v případech, kdy bezporuchovost závisí na stáří, počtu odpracovaných hodin nebo vykonaných provozních cyklů. V oblasti spolehlivosti je Weibullovo rozdělení běžně používáno při určování ukazatelů bezporuchovosti, které představují důležitou informaci nutnou pro předpověď, hodnocení a srovnání životnosti výrobků, vyhodnocení konstrukčních i technologických změn, srovnání alternativních konstrukcí či technologií, porovnávání životnosti výrobků různých technologií či různých výrobců, vytváření záruční politiky, při proaktivním přístupu k řízení zásob náhradních dílů nebo při plánování oprav. Weibullovo rozdělení se používá nejenom ve spolehlivosti, ale i při modelování různých jevů, jako je například předpověď počasí, délka zaměstnaneckých stávek, úmrtnost na nemoc AIDS či hodnocení pravděpodobnosti vzniku zemětřesení [34].

#### **Způsoby popisu náhodné veličiny "doba do poruchy"**

Doba do poruchy (tj. bezporuchovost) se hodnotí u různých komponent technických systémů. Data o dobách do poruchy jsou kvantitativními údaji o době do poruchy za určitých definovaných podmínek (při změně těchto podmínek se doba do poruchy s vysokou pravděpodobností změní). Doba do poruchy může být měřena v různých jednotkách, například hodinách, dnech nebo cyklech.

Je zřejmé, že bezporuchovost jednotlivých komponent je zapotřebí pomocí vhodného parametru vyčíslit. Například výrobci a prodejci elektronických součástek běžně používají ukazatel "intenzita poruch" (angl. failure rate), udávající pravděpodobnost poruchy za jednotku doby po určitém okamžiku  $t$ . Tento parametr je jedním z možných způsobů popisu doby do poruchy. Za účelem stanovení tohoto parametru je zapotřebí znát vhodné modelové teoretické rozdělení. Teoretické rozdělení může být popsáno (za předpokladu spojitosti sledované veličiny) funkcí hustoty pravděpodobnosti nebo distribuční funkcí.

Je-li známa pro sledovanou dobu do poruchy dané součástky funkce hustoty pravděpodobnosti, respektive příslušná distribuční funkce, lze za pomoci příslušných matematických vztahů provést další způsoby vyjádření bezporuchovosti. Těmito jinými způsoby jsou funkce bezporuchovosti  $R(t)$  a intenzita poruch  $\lambda(t)$ .

### **Funkce hustoty pravděpodobnosti**

Funkce hustoty pravděpodobnosti  $f(t)$  udává pravděpodobnost, že se porucha vyskytne do okamžiku  $t$ . Jestliže je funkce hustoty pravděpodobnosti  $f(t)$  pro spojitou náhodnou veličinu  $T$  (reprezentující dobu do poruchy), potom pravděpodobnost, že náhodná veličina  $T$  bude ležet v intervalu  $\langle a, b \rangle$  je dána vztahem (1):

$$P[a \leq T \leq b] = \int_a^b f(t) dt \quad (1)$$

Funkce hustoty pravděpodobnosti splňuje následující podmínky, tak platí (2):

$$f(t) \geq 0 \text{ pro všechna } t \in (0, \infty) \text{ a}$$

$$\int_0^{\infty} f(t) dt = 1 \quad (2)$$

Odtud vyplývá, že pokud známe pro námi sledovanou dobu do poruchy tzv. funkci hustoty pravděpodobnosti, můžeme určit, jaká je pravděpodobnost, že v určitém časovém intervalu nastane porucha.

### **Distribuční funkce**

Distribuční funkce udává pravděpodobnost, že individuální výrobek přežije až do okamžiku  $t$ .

Distribuční funkce spojité náhodné veličiny je dána vztahem (3) a definována pro všechna  $t$  jako:

$$F(t) = P[T \leq t] = \int_0^t f(\tau) d\tau \quad (3)$$

Distribuční funkce má následující vlastnosti:

$$F(0) = \lim_{t \rightarrow 0} F(t) = 0; F(+\infty) = \lim_{x \rightarrow \infty} F(t) = 1; F(t_1) \leq F(t_2)$$

Odtud vyplývá, že distribuční funkci lze určit z funkce hustoty pravděpodobnosti (a naopak). Funkční hodnota distribuční funkce udává, s jakou pravděpodobností do okamžiku  $t$  může nastat porucha.

### **Funkce bezporuchovosti $R(t)$**

Funkce bezporuchovosti udává pravděpodobnost, že individuální výrobek přežije okamžik  $t$ .

Funkce bezporuchovosti  $R(t)$  je definována jako doplněk distribuční funkce (4):

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (4)$$

Vyjadřuje pravděpodobnost, že u výrobku nenastane do doby porucha:

$$R(t) = P[T > t] = 1 - P[T \leq t] = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(\tau) d\tau$$

kde  $T$  je náhodná veličina (čas do poruchy),  $f(\tau)$  je funkce hustoty pravděpodobnosti pro  $T$  a  $F(t)$  je distribuční funkce pro náhodnou veličinu  $T$ .

## Intenzita poruch

Intenzita poruch udává pravděpodobnost, že nastane porucha individuálního výrobku v dalším údobí po okamžiku  $t$ . Intenzita poruch je definována vztahem (5):

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (5)$$

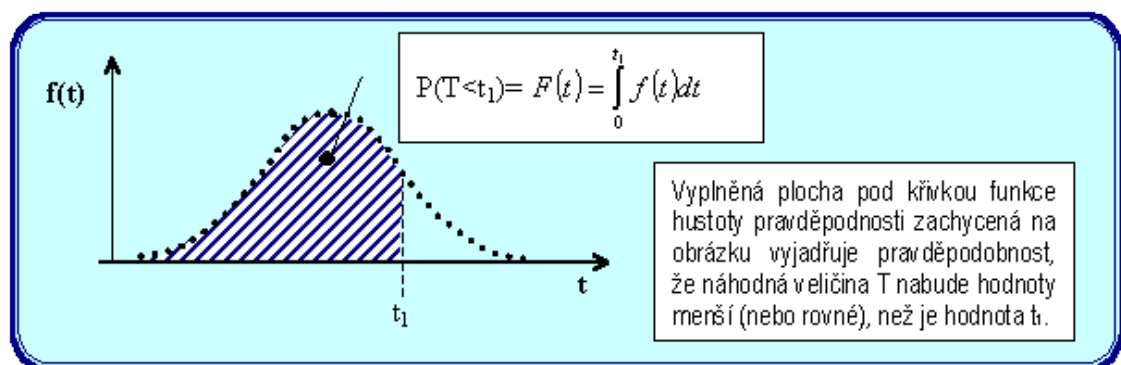
Udává pravděpodobnost poruchy za jednotku doby po okamžiku  $t$  za podmínky, že do okamžiku  $t$  nedošlo k poruše. Například hodnota  $\lambda(t)=0,01h^{-1}$  udává, že během následující jedné hodiny provozu nastane porucha s pravděpodobností jedné setiny. Intenzita poruch  $\lambda=10^{-9}h^{-1}$  se při vyjadřování bezporuchovosti elektronických součástek běžně označuje jako 1 FIT, často používaná je i veličina %/1000hod.

## Význam plochy pod křivkou hustoty pravděpodobnosti

Plocha pod křivkou hustoty pravděpodobnosti, modelující náhodnou veličinu  $T$  (tj. dobu do poruchy), odpovídající intervalu  $a,b$  udává pravděpodobnost, že náhodná veličina nabude hodnoty spadající do intervalu  $a,b$ . Příslušnou plochu lze spočítat jako integrál přes sledovaný interval  $a,b$ :

$$F(t) = \int_a^b f(t)dt \quad (6)$$

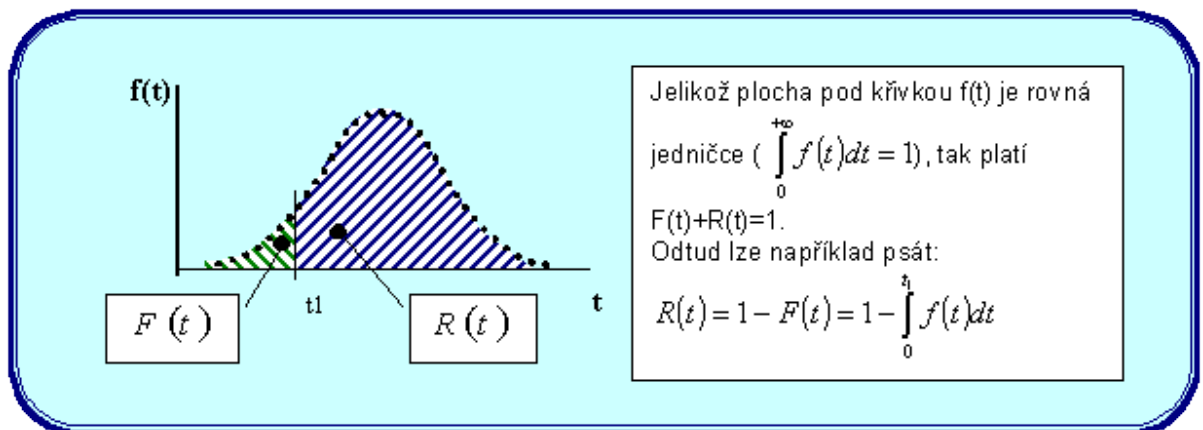
Význam plochy pod křivkou hustoty pravděpodobnosti ilustruje obrázek 11.



Obrázek 11: Příklad křivky hustoty pravděpodobnosti a ilustrování významu plochy pod křivkou [34].

## Vzájemné vztahy mezi pravděpodobností poruchy, pravděpodobností přežití a plochou pod funkcí hustoty pravděpodobnosti

Distribuční funkce  $F(t)$  udává pravděpodobnost poruchy do okamžiku  $t$  (respektive kumulativní část skupiny součástek, která přežije okamžik  $t$ ), a funkce bezporuchovosti udává pravděpodobnost přežití okamžiku  $t$  (respektive kumulativní část skupiny součástek, která přežije okamžik  $t$ ). Oba tyto jevy tvoří tzv. úplnou skupinu neslučitelných jevů a proto platí  $R(t)+F(t)=1$ . Souvislost tohoto vztahu s plochou pod funkcí hustoty pravděpodobnosti je vysvětlen prostřednictvím obrázku 12.



Obrázek 12: Ilustrování vztahu mezi pravděpodobností poruchy  $R(t)$  a pravděpodobností bezporuchového stavu  $F(t)$  s vazbou na plochu pod křivkou hustoty pravděpodobnosti [34].



## 5. Metody analýzy rizik

Metody analýzy rizik lze rozdělit dle způsobu vyjádření veličin, s nimiž je v analýze pracováno. Způsoby k přístupu vyjádření veličin existují dva základní a to kvalitativní a kvantitativní vyjádření. V analýzách je možné využívat i oba způsoby zároveň.

### 5.1 Typy metod analýzy rizik

#### Kvalitativní metody

Kvalitativní metody jsou postaveny na popisu závažnosti potenciálního dopadu a na pravděpodobnosti, že daná událost nastane. Rizika jsou zde vyjadřována v určitém rozsahu (většinou 1 – 10) nebo slovně (malé, střední, velké) apod. Úroveň je obvykle určována kvalifikovaným odhadem. Kvalitativní metody jsou jednodušší a rychlejší, ale mohou být ovlivněny faktorem subjektivity odhadu. Obvykle přinášejí problémy v oblasti zvládnutí rizik, zejména při posuzování přijatelnosti finančních nákladů nutných k eliminaci hrozby, která může být kvalitativní metodou charakterizována jako kritická. Tím, že chybí jednoznačné finanční vyjádření, se kontrola efektivnosti nákladů znesnadňuje. Těmito metodami jsou obvykle vyhodnocovány či srovnávány různé procesy, technologie, alternativy, události a jejich následky dle určených znaků [23],[24].

Vhodné užití tohoto druhu analýzy rizik:

- Nedostatek číselných údajů pro jejich využití v kvantitativních metodách
- Upřesnění postupů při detailní analýze rizik
- Nedostatek informací, např. při vývoji nového produktu

#### Kvantitativní metody

Metody označované jako kvantitativní jsou založeny na matematickém výpočtu rizika z frekvence výskytu hrozby a jejího dopadu. Používají číselné ohodnocení jak v případě pravděpodobnosti vzniku incidentu, tak i při ohodnocení dopadu dané události. Obvykle vyjadřuje dopad ve finančních termínech. Nejčastěji je riziko vyjádřeno ve formě ztráty vyjádřené finanční částkou. Tento druh metod je více exaktní než metody kvalitativní, avšak na jejich provedení je potřeba více času a úsilí. Poskytují ale finanční vyjádření rizik, které je pro jejich zvládnutí výhodnější.

Nevýhodou kvantitativních metod je kromě jejich náročnosti na provedení a zpracování výsledků často vysoce formalizovaný postup, jenž může vést k tomu, že nebudou postihnuta specifika posuzovaného subjektu, která mohou vést k jeho vysoké zranitelnosti a to z důvodu značného objemu strukturovaných dat. Kvalita výsledku pak závisí na relevantnosti získaných údajů [28].

### Kombinované metody

Kombinované metody vycházejí z číselných údajů. Cíl je však díky kvalitativnímu hodnocení ve větším přiblížení se realitě oproti předpokladům, ze kterých vycházejí kvantitativní metody. Údaje použité v kvalitativních metodách nemusí vždy odrážet přímo pravděpodobnost události či výši jejího dopadu, ale mohou být ovlivněny měřítkem stupnice, která je v konkrétní metodě použita [24].

## 5.2 Přehled používaných metod analýzy rizik

Etapy životního cyklu produktu mají odlišné požadavky a vyžadují rozdílné metody analýzy rizik. Tyto metody mohou být klasifikovány různými způsoby s cílem pochopit jejich relativně silné a slabé stránky. Norma ISO 31010 [28] dělí metody na tyto typy, jejich porovnání je uvedeno v tabulce 3:

**Tabulka 3: Porovnání metod analýzy rizik.**

Typ metody	Proces posuzování rizik				Hodnocení rizik
	Identifikace rizik	Analýza rizik			
		Dopad	Pravděpodobnost	Úroveň rizika	
Vyhledávací metody	X	O	O	O	O
Podpůrné	XX	X	X	X	X
Analýzy scénáře	XX	XX	X	X	X
Analýzy funkce	XX	XX	X	X	X
Posuzování prvků řízení rizika	O	X	XX	XX	X
Statistické metody	O	XX	X	X	X

XX – Velmi dobře použitelné  
X – Použitelné  
O – Nepoužitelné

## **Vyhledávací metody**

Vyhledávací metody jsou obvykle induktivní metody analýzy. Techniky, které poskytují seznam typických nejistot, které je třeba zohlednit. Uživatel je většinou odkazován na dříve vypracovaný seznam či normy.

## **Podpůrné metody**

System, pomocí kterého je pracovní skupina odborníků vyzvána k identifikaci rizik. Výsledkem je obsáhlá řada nápadů a hodnocení utříděné týmem. Techniky jsou založené na spolupráci s cílem vytvořit konsenzus mezi odborníky.

## **Analýza scénáře**

Možné budoucí scénáře jsou identifikovány pomocí představivosti nebo extrapolace z přítomných a odlišných uvažovaných rizik za předpokladu, že by mohl každý z těchto scénářů nastat. Může to být provedeno formálně nebo neformálně, kvalitativně nebo kvantitativně.

## **Analýza funkce**

Techniky, jež identifikují způsoby a mechanismy poruch a jejich důsledky. Většinou systematický, proaktivní a preventivní systém používaný k prokázání kvality produktu, bezporuchovosti a bezpečnosti.

## **Posuzování prvků řízení rizika**

Diagramový způsob popisu a analýzy cest rizika od nebezpečí po výsledky a přezkoumání prvků řízení rizika.

## **Statistické metody**

Statistické přístupy, využívající většinou apriorní data rozdělení k posouzení pravděpodobnosti výsledku. Analýza je závislá na přesnosti rozdělení, pomocí níž je vyvozen přesný výsledek.

V následujících tabulkách je zobrazen přehled dosud známých, používaných metod analýzy rizik. Tabulky obsahují používanou zkratku označení metody, dále pak celý název metody, údaj zda metoda poskytuje kvantitativní či kvalitativní výstup a možné využití. Tabulka 4 uvádí metody analýzy rizik, které je možné využít při řízení rizik technologických procesů, detailně jsou pak popsány v příloze. Tabulka 5 poskytuje přehled metod pro řízení projektových rizik. Dále pak Tabulka 6 představuje přehled

metod řízení rizik, které se používají zejména při řízení bezpečnosti informací. Tabulka 7 udává přehled všech analýz rizik, které mají co dočinění s analýzou rizika lidského faktoru.

**Tabulka 4: Přehled metod analýzy rizik pro technologická rizika**

Zkratka	Celý název metody	Kvantita- tivní	Kvalita- tivní	Možné použití
<b>FTA</b>	Fault Tree Analysis	x	x	Analýza scénáře
<b>ETA</b>	Event Tree Analysis	x	x	Analýza scénáře
<b>CCA</b>	Causes and Consequences Analysis	x	x	Analýza scénáře
<b>WI</b>	What If		x	Podpůrná metoda
<b>CIT</b>	Critical Incident Technique		x	Analýza scénáře
<b>CRT</b>	Current Reality Tree		x	Analýza scénáře
<b>HAZOP</b>	Hazard and Operability Study		x	Analýza funkce
<b>MES</b>	Multiple Events Sequencing		x	Analýza scénáře
<b>STEP</b>	Sequentially Tied Events Plotting Procedure		x	Analýza scénáře
<b>SRAD</b>	Schematic Report Analysis Diagram		x	Analýza scénáře
<b>BA</b>	Barrier Analysis		x	Posuzování prvků řízení rizika
<b>TBA</b>	Tripod Beta Analysis		x	Analýza scénáře
<b>Ishikawa</b>	Ishikawův diagram		x	Podpůrná metoda
<b>CLD</b>	Causal Loop Diagrams		x	Analýza scénáře
<b>RCA</b>	Root Cause Analysis		x	Analýza scénáře
<b>RCFA</b>	Root Cause Failure Analysis		x	Analýza scénáře
<b>ECFC</b>	Events and Causal Factors Charting		x	Analýza scénáře
<b>SRP</b>	Savannah River Plant Root Causes Analysis System		x	Analýza scénáře
<b>TR</b>	TapRoot		x	Analýza scénáře
<b>ERCAP</b>	Event Root Cause Analysis Procedure	x	x	Analýza scénáře
<b>HSYS</b>	HSYS	x	x	Analýza scénáře
<b>ASSET</b>	Assessment of Safety Significant Teams		x	Analýza scénáře
<b>SOL</b>	Safety Through Organisational Learning		x	Analýza scénáře
<b>CTM</b>	Causal Tree Method	x	x	Analýza scénáře
<b>Pareto</b>	Paretova analýza	x		Podpůrná metoda
<b>SACA</b>	Systematic Accident Cause Analysis	x	x	Analýza scénáře
<b>SCAT</b>	Systematic Cause Analysis Technique		x	Analýza scénáře
<b>Six Sigma</b>	Six Sigma	x	x	Analýza scénáře
<b>CL</b>	Checklist		x	Vyhledávací metoda

<b>FMEA</b>	Failure Mode and Effect Analysis	x	x	Analýza funkce
<b>MORT</b>	Management Oversight and Risk Tree	x	x	Analýza scénáře
<b>TOR</b>	Technic of Operation		x	Analýza scénáře
<b>SWOT</b>	SWOT analýza		x	Vyhledávací metoda
<b>PSA</b>	Probabilistic Safety Assessment	x		Posuzování prvků řízení rizika
<b>LOPA</b>	Layers of Protection Analysis	x	x	Posuzování prvků řízení rizika
<b>IPR</b>	Identifikace procesů a rizik		x	Posuzování prvků řízení rizika
<b>CA</b>	Change analysis		x	Analýza scénáře
<b>WPAM</b>	Work Process Analysis Model		x	Posuzování prvků řízení rizika
<b>SCA</b>	Sneak Circuit Analysis		x	Analýza funkce
<b>PHA</b>	Preliminary Hazard Analysis	x	x	Vyhledávací metoda
-	Markovova analýza	x		Statistická metoda
-	Analýza Monte Carlo	x		Statistická metoda
-	Bayesovská analýza	x		Statistická metoda

**Tabulka 5: Metody používané pro řízení projektových rizik**

Zkratka	Celý název metody	Kvantita- tivní	Kvalita- tivní	Možné použití
<b>PERT</b>	Project Evaluation and Review Technique		x	Projektový rozbor
<b>GERT</b>	Graphical Evaluation And Review Technique	x	x	Projektový rozbor
<b>RIPRAN</b>	Risk project analysis	x	x	Projektový rozbor
<b>ScenGen</b>	SCENario GENERator	x	x	Projektový rozbor
<b>PMF</b>	Project Management Forecast	x	x	Projektový rozbor

**Tabulka 6: Metody používané pro řízení informačních rizik**

Zkratka	Celý název metody	Kvantita- tivní	Kvalita- tivní	Možné použití
<b>HIR</b>	Hodnocení informačních rizik	x	x	Informační rizika
<b>ISAMM</b>	Information Security Assessment & Monitoring Method	x	x	Informační rizika
<b>COBIT</b>	Controls Objectives for Information and Related Technology		x	Informační rizika
<b>FIRM</b>	Fundamental Information Risk Management	x	x	Informační rizika
<b>IRAM</b>	Information Risk Analysis Methodologies		x	Informační rizika

<b>SARA</b>	Simple to Apply Risk Analysis		x	Informační rizika
<b>SPRINT</b>	Simplified Process for Risk Identification	x	x	Informační rizika
<b>EBIOS</b>	Expression de Besoins et Identification des Objectifs de Sécurité	x	x	Informační rizika
<b>MAGERIT</b>	Risk analysis and management methodology for information system	x	x	Informační rizika
<b>CPQRA</b>	Chemical Process Quantitative Risk Analysis	x		Procesní analýza, Informační rizika
<b>OCTAVE</b>	Operationally Critical Threat, Asset and Vulnerability Evaluation	x	x	Informační rizika
<b>A&amp;K analysis</b>	Afhankelijkheids- en Kwetsbaarheid analyse	x	x	Informační rizika
<b>CRAMM</b>	CCTA Risk Analysis and Management Method	x	x	Informační rizika
<b>COBRA</b>	Consultative, Objective and Bi-functional Risk Analysis	x	x	Informační rizika
<b>MEHARI</b>	Methode Harmoniséed'Analyse de Risque	x	x	Informační rizika
<b>MIGRA</b>	Metodologia Integrata per la Gestione del Rischio Aziendale	x	x	Informační rizika
<b>TRAM</b>	Technical Risk Audit Method	x	x	Informační rizika
<b>MARION</b>	Methodology of Analysis of Computer Risks Directed by Levels DOW Index	x	x	Informační rizika

Tabulka 7: Přehled metod analýzy rizik lidského faktoru

Zkratka	Celý název metody	Kvantita- tivní	Kvalita- tivní	Možné použití
<b>VPA</b>	Verbal Protocol Analysis	X	X	Analýza chování
<b>TD</b>	Task Decomposition		X	Analýza chování
<b>SGT</b>	The Sub-Goal Template Method		X	Analýza chování
<b>TTA</b>	Tabular Task Analysis		X	Analýza chování
<b>GOMS</b>	Goals, Operators, Methods and Selection Rules		X	Analýza chování
<b>HR S</b>	HR Scorecard	X	X	Analýza chování
<b>BSC</b>	BSC - Balanced Scorecard	X	X	Analýza chování
<b>BARS</b>	Behaviorally Anchored Rating Scales	X		Analýza chování
<b>HRA</b>	Human Reliability Analysis	X	X	Analýza chování
<b>THERP</b>	Technique for Human Error Rate Prediction	X		Analýza chování
<b>SLIM</b>	Success Likelihood Index Method	X		Analýza chování
<b>HCR</b>	Human Cognitive Reliability Correlation	X		Analýza chování
<b>ATHEA NA</b>	a Technique for Human Event Analysis	X		Analýza chování
<b>ASEP</b>	Accident Sequence Evaluation	X	X	Analýza chování

	Procedure			
<b>SHARP</b>	Systematic Human Action Reliability Procedure	X	X	Analýza chování
<b>CADA</b>	Critical Action and Decision Approach	X	X	Analýza chování
<b>HPES</b>	Human Performance Evaluation Scheme		X	Analýza chování
<b>HSYS</b>	Human SYStem		X	Analýza chování
<b>GEMS</b>	Generic Error Modeling System		X	Analýza chování
<b>HEART</b>	Human Error Assessment and reduction Technique	X	X	Analýza chování
<b>MARS</b>	Model for Assessing and Reducing SPADs (signal passed at danger)	X	X	Analýza chování
<b>JHEDI</b>	Justification of human Error Data Information		X	Analýza chování
<b>MD</b>	Murphy Diagrams	X	X	
<b>SHERP A</b>	Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach	X	X	Analýza chování
<b>HTA</b>	Hierarchical Task Analysis		X	Analýza chování
<b>PHEA</b>	Predictive Human Error Analysis	X	X	Analýza chování
<b>LOPA-HF</b>	Layers Of Protection Analysis for Human Factors		X	Analýza chování
<b>MIPS</b>	Metoda identifikace příčin selhání		X	Analýza chování
<b>HIPP</b>	Human Performance Investigation Process	X	X	Analýza chování
<b>HEI</b>	Human Error Identification		X	Analýza chování
<b>HET</b>	Human Error Template		X	Analýza chování
<b>TRACEr</b>	Technique for the Retrospective and Predictive Analysis of Cognitive Errors	X	X	Analýza chování
<b>TAFEI</b>	Task Analysis for Error Identification		X	Analýza chování
<b>HE HAZOP</b>	Human Error HAZOP		X	Analýza chování
<b>THEA</b>	Technique for Human Error Assessment	X	X	Analýza chování
<b>HEIST</b>	Human Error Identification in Systems Tool		X	Analýza chování
<b>HERA</b>	The Human Error and Recovery Assessment Framework		X	Analýza chování
<b>SPEAR</b>	System for Predictive Error Analysis and Reduction	X	X	Analýza chování
<b>CREAM</b>	The Cognitive Reliability and Error Analysis Method	X	X	Analýza chování
<b>CWA</b>	Cognitive Work Analysis		X	Analýza chování
<b>ACTA</b>	Applied Cognitive Task Analysis		X	Analýza chování
<b>CIT</b>	Critical Incident Technique		X	Analýza chování
<b>CDM</b>	Critical Decision Method		X	Analýza chování
<b>OATS</b>	Operator Action Trees	X		Analýza chování

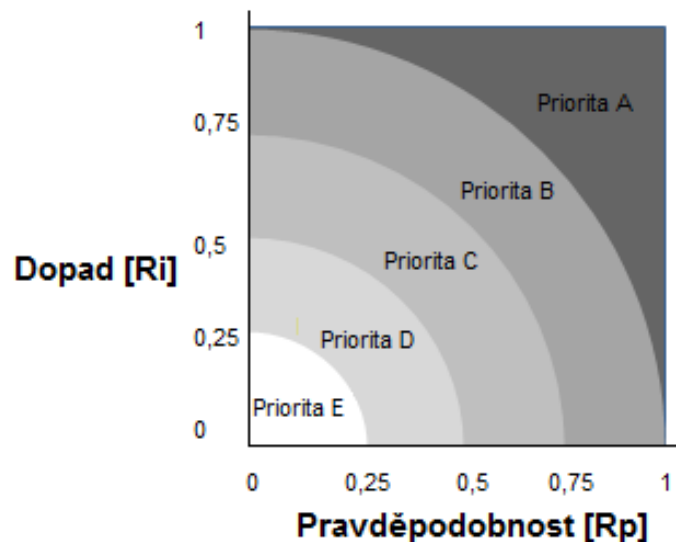
<b>RA</b>	Requirements Analysis		X	Analýza chování
<b>SAGAT</b>	Situation Awareness Global Assessment Technique a varianta SALSA		X	Analýza chování
<b>SART</b>	Situation Awareness Rating Technique	X	X	Analýza chování
<b>SA-SWORLD</b>	Situation Awareness Subjective Workload Dominance		X	Analýza chování
<b>SACRI</b>	Situation Awareness Control Room Inventory		X	Analýza chování
<b>SARS</b>	Situation Awareness Rating Scale	X		Analýza chování
<b>SPAM</b>	Situation Present Assessment Method	X	X	Analýza chování
<b>MARS</b>	Mission Awareness Rating Scale	X		Analýza chování
<b>SABARS</b>	Situation Awareness Behavioural Rating Scale	X		Analýza chování
<b>CARS</b>	Crew Awareness Rating Scale	X		Analýza chování
<b>C-SAS</b>	Cranfield Situation Awareness Scale	X		Analýza chování
<b>IAT</b>	Implicit Association Test		X	Analýza chování

### 5.3 Návrh analýzy rizik pro životní cyklus výrobku

Tato technika analýzy rizik byla mnou vyvinuta výhradně pro hodnocení rizik identifikovaných v průběhu životního cyklu výrobku kombinací nejrůznějších identifikačních nástrojů. Použití unikátní metody pro hodnocení zaručí sjednocený systém v celém životním cyklu výrobku. Pro každé identifikované riziko je určena priorita, dle rizikového čísla. Ta se může v průběhu životního cyklu měnit.

Pro hodnocení priorit rizik byl použit základní princip metody od Hsia *et al.*, [35], který jsem ve spolupráci s Dr. Hsiou následně přizpůsobil pro využití v této metodice. Diagram je použit v okamžiku, kdy všechna rizika spojená s danou fází životního cyklu jsou identifikována. Hodnota rizika R je kombinací indexu pravděpodobnosti  $R_p$  a indexu dopadu  $R_f$ . S jedním indexem na horizontální a s druhým na vertikální ose může být nakreslen diagram připomínající basebalovou výseč, jehož levý roh reprezentuje nejnižší souřadnice (0,0) a jehož pravý roh reprezentuje souřadnice nejvyšší (1,1), jak je vidět na obrázku 13.





Obrázek 13: Diagram basebalového hřiště.

Diagram je rozdělen na pět oblastí priorit. Oblast priority A ( $R=1 \div 1,44$ ), reprezentuje rizika nejvyšší priority, proti kterým musí podniknuta okamžitá protipatření. Oblast B ( $R=0,75 \div 1$ ) určuje rizika vysoké priority, oblast C ( $R=0,5 \div 0,75$ ) střední. Rizika nacházející se v oblasti D ( $R=0,25 \div 0,5$ ) jsou na zvážení, zda zvládat či nikoliv. Oblast E ( $R \leq 0,25$ ) a její rizika může být zanedbána, jedná se většinou o nepravděpodobná rizika s malým dopadem.

Pravděpodobnost je rozdělena na pět úrovní: velmi pravděpodobné, pravděpodobné, možné, nepravděpodobné a velmi nepravděpodobné. Popis jednotlivých pravděpodobností je zobrazen v tabulce 8. Popis jednotlivých pravděpodobností může být upraven na základě potřeb či standardů. Úroveň dopadu jednotlivých událostí je také rozdělena do pěti úrovní: Kritický, vážný, významný, malý, zanedbatelný. Přesný popis kritérií závisí na určitém produktu, jak ukazuje tabulka 9. Čím vyšší hodnota obou indexů tím závažnější a pravděpodobnější událost se může vyskytnout.

Tabulka 8: Pravděpodobnostní úroveň

Úroveň ( $\mu_p$ )	Popis	Pravděpodobnost [%]
5	Velmi pravděpodobné	1 – 0,1
4	Pravděpodobné	0,1 – 0,01
3	Možné	0,01 – 0,001
2	Nepravděpodobný	0,001 – 0,0001
1	Velmi nepravděpodobný	méně než 0,0001

Tabulka 9: Úroveň dopadu

Úroveň ( $\mu_I$ )	Popis	Kritéria
5	Kritický	Záleží na události
4	Vážný	
3	Významný	
2	Malý	
1	Zanedbatelný	

### 5.3.1 Výpočet pravděpodobnostní úrovně

Při odhadu nebo výpočtu úrovně pravděpodobnosti jsou běžně používány tři přístupy (ČSN EN 31010), které mohou být použity jednotlivě nebo v kombinaci:

- Použití příslušných historických dat, např. z předchozích podobných projektů (Lessons Learned), což dává možnost přibližně extrapolovat pravděpodobnost jejich výskytu do budoucna. Použitá data se musí týkat uvažovaného typu systému, vybavení nebo činností. Existuje-li historicky jen velmi nízká četnost výskytu, potom bývá jakýkoli odhad pravděpodobnosti velmi nejistý.
- Pro pravděpodobnostní předpovědi se používají tzv. prediktivní techniky, jako jsou např. analýza stromu poruchových stavů (Fault Tree Analysis), analýza stromu událostí (Event Tree Analysis) či Markovovy řetězce. Když jsou historická data nedostupná nebo nepřiměřená, je nezbytné odvodit pravděpodobnost pomocí analýzy systému, činností zařízení a s nimi sdružených poruch nebo stavů úspěchu. Číselná data pro zařízení, lidi a systémy vycházející ze zkušeností z provozu nebo ze zdrojů zveřejněných dat jsou potom sloučena s cílem odhadnout pravděpodobnost vrcholové události. Je nutné počítat s tím, že se v rámci systému započnou poruchy řady různých částí nebo součástí vyskytující se současně. Mohou zde být využity simulační techniky s cílem vygenerovat pravděpodobnost poruch zařízení a konstrukčních poruch vznikajících následkem stárnutí či jiných degradačních procesů.
- V systematické a strukturovaném procesu je možné k odhadu pravděpodobnosti použít znalecký posudek. Názory znalce se mají formulovat pro všechny důležité dostupné informace, včetně historických, specifických ve vztahu k systému, specifických ve vztahu k organizaci, experimentálních, týkajících se

návrhu a jiných informací. Existuje celá řada formálních metod ke zjištění názoru znalce, které poskytují pomoc při formulaci vhodných otázek. K dostupným metodám patří přístup Delphi, What If?, klasifikace do kategorií či absolutní odhady pravděpodobnosti.

### 5.3.2 Výpočet úrovně dopadu

Při výpočtu či určení úrovně dopadu se stanoví kritéria, neboli povaha a typ dopadu, ke kterému může dojít. Rozsah dopadů dané události může ovlivnit řadu různých cílů. Dopad rizikových faktorů může být určen z minulých podobných projektů nebo může být odhadnut znalcem. Metoda Analytic Hierarchy Process (AHP) umožňuje určit prioritu dopadu rizikových faktorů při rozhodovacím procesu, kdy jsou k dispozici mnohonásobná kritéria, která mohou mít určitý dopad. AHP přitahuje pozornost mnoha výzkumných pracovníků vzhledem ke svým logickým a snadno uchopitelným matematickým vlastnostem a faktu, že vstupní data pro tuto metodu jsou snadno dosažitelná. Metoda je nástroj na podporu rozhodnutí, který může být použit k řešení komplexních problémů. Přesný popis a návod k užívání uvádí ve svém díle její autor Thomas L. Saaty [36].

### 5.3.3 Výpočet hodnoty rizika

Po určení úrovně pravděpodobnosti a dopadu rizikových aspektů je třeba určit jejich pravděpodobnostní index  $R_P$  a index dopadu  $R_I$  a následnou hodnotu rizika  $R$ , jak je uvedeno v rovnici 7. Výpočet pravděpodobnostního indexu a indexu dopadu je uveden v rovnici 8 a 9.

$$R = \sqrt{R_I^2 + R_P^2} \quad (7)$$

Kde,

$$R_P = \frac{\mu_P - \min}{R_{FP}} \quad (8)$$

$$R_I = \frac{\mu_I - \min}{R_{FI}} \quad (9)$$

Hodnoty  $\mu_P$  a  $\mu_I$  dosazené do rovnic 8 a 9 udávají úroveň pravděpodobnosti a dopadu rizika. V obou případech hodnota *min* odpovídá minimální hodnotě úrovně pravděpodobnosti či dopadu, tedy hodnotě 1.  $R_{FI}$  a  $R_{FP}$  odpovídají počtu úrovní tabulky mínus 1, oba případy jsou rovny hodnotě 4 ( $R_{FP} = R_{FI} = 4$ ). Všechny vypočítané indexy jsou zaznamenávány do tabulky, jak ukazuje tabulka 10.

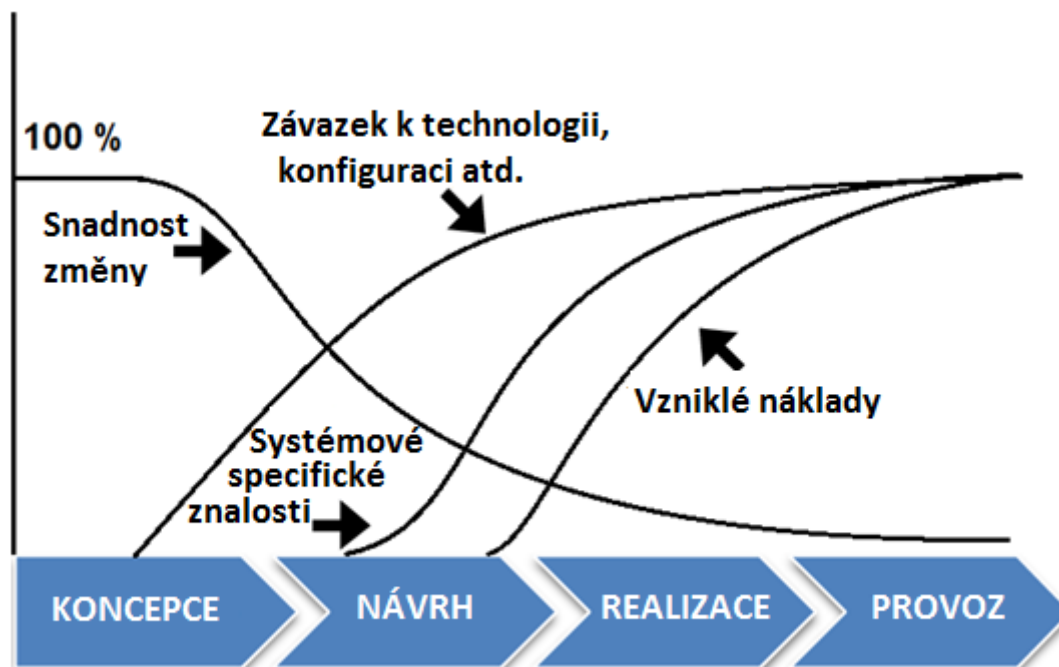
**Tabulka 10: Příklad tabulky s rozsahy hodnocených rizik (min. – max.).**

<i>Položka</i>	<i>Událost</i>	<i>Úroveň pravděpodobnosti</i>	<i>Úroveň dopadu</i>	<i>Index pravděpodobnosti</i>	<i>Index dopadu</i>	<i>Hodnota rizika</i>
1-...	Riziko	1-5	1-5	0-1	0-1	0-1,41

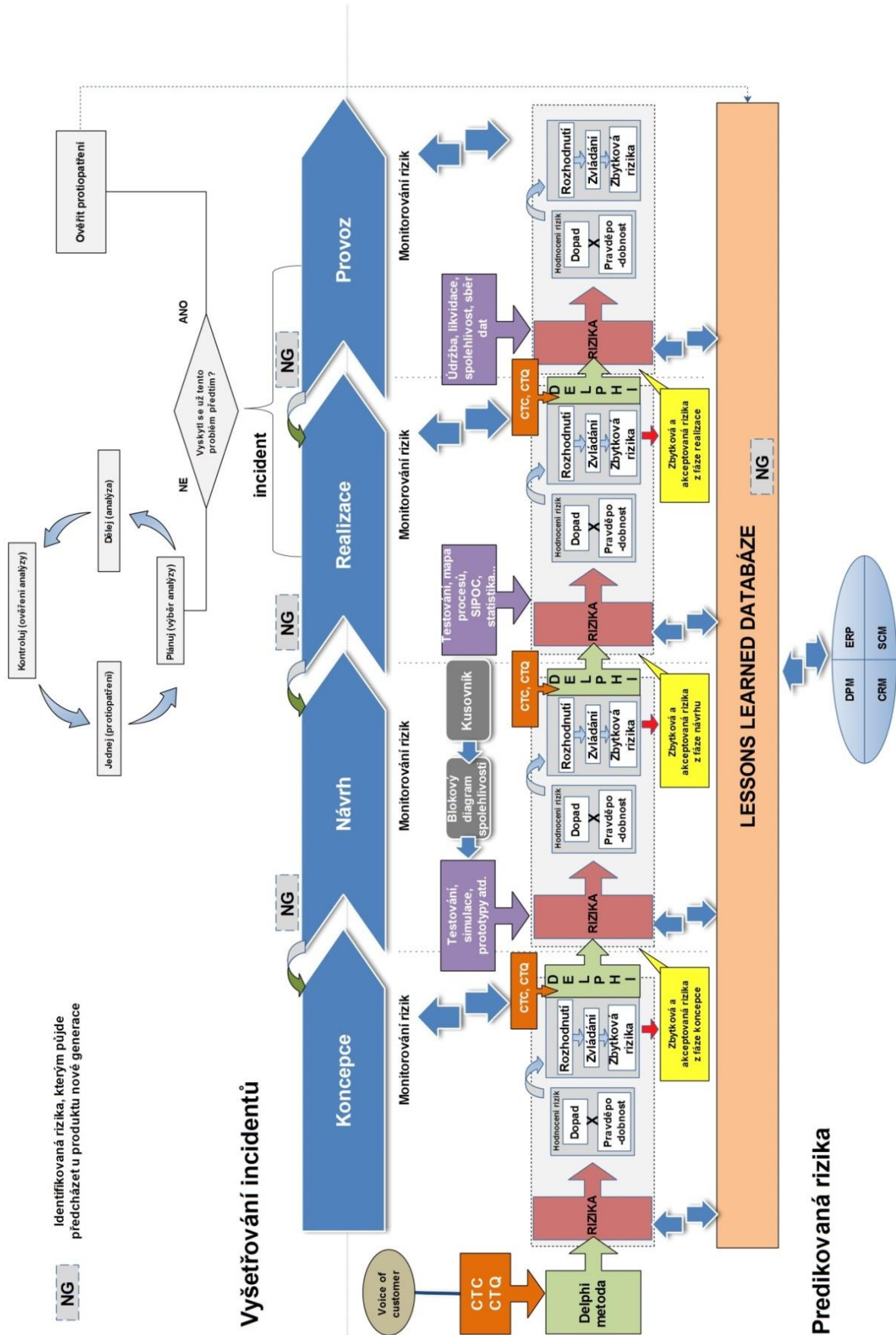
## 6. Navržená metodika řízení rizik životního cyklu výrobku

Řízení rizik životního cyklu produktu by mělo být stejně jako samotné řízení rizik neustálým a stále se zlepšujícím procesem integrovaným do samotné strategie organizace, existujících firemních praktik, výrobních a vývojových procesů. Programy či plány pro řízení rizik by měly být přirozeně proaktivní a zaměřeny na budoucnost.

Důležitým mezníkem v životním cyklu výrobku je přechod mezi jeho jednotlivými fázemi. Proto je třeba těmto přechodům věnovat zvláštní pozornost, jelikož tyto části bývají s rizikovými faktory spojovány nejvíce. Neodhalení významných rizikových faktorů z předchozích fází může výrazně zkomplikovat průběh fáze následující, viz obr. 14. Pomocí navrhované metodiky budou vždy identifikována rizika, která do dané fáze přechází z fáze předchozí, a zároveň nové rizikové vlivy dané fáze. Dále pak bude poskytována zpětná vazba o identifikovaných rizikových faktorech do všech předchozích fází, která poslouží zejména pro produkty nové generace. Tato rizika jsou založena na výsledcích vyšetřování incidentů a jsou kvantifikovatelná. Schéma metodiky pro řízení celého životního cyklu výrobku je vidět na obrázku 15.



Obrázek 14: Snadnost změn v jednotlivých fázích životního cyklu produktu [37].



Obrázek 15: Schéma navržené metodiky pro řízení životního cyklu výrobku

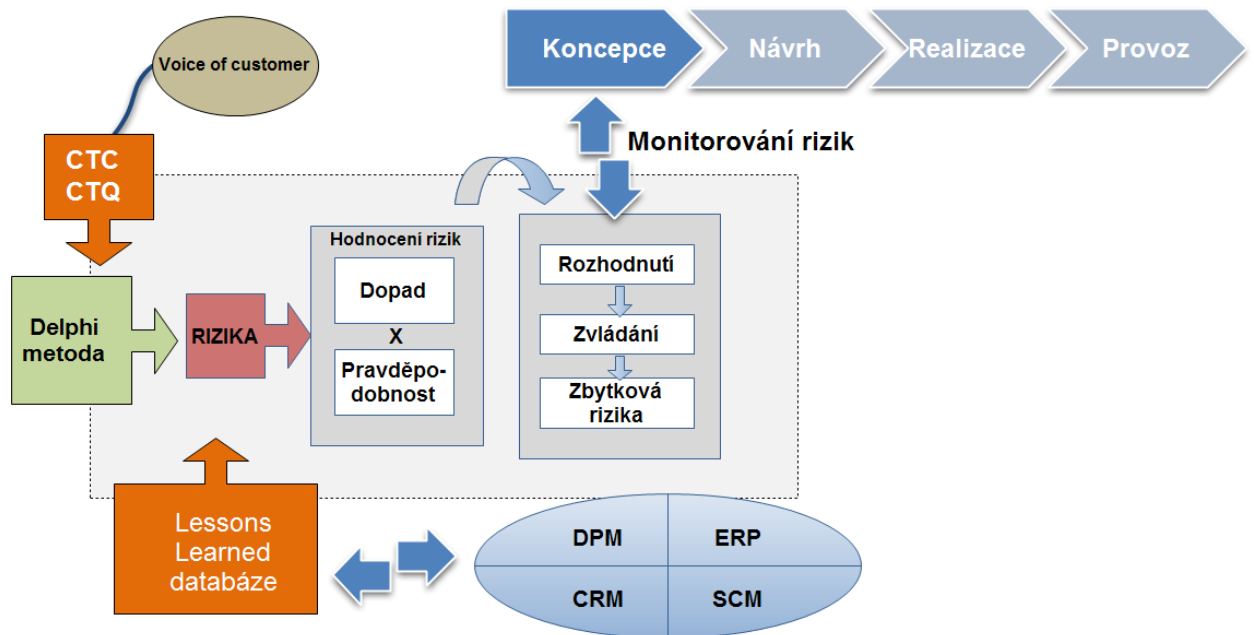
První fáze životního cyklu výrobku zvané koncepce sebou přináší rizikové faktory a vlivy. Pokud je to možné, tak by měla rizika být zvládnána hned ve fázi, kdy byla identifikována, avšak ne vždy je to možné, proto je třeba riziko přenést do další fáze, kde to již možné bude. Všechna tato rizika musí být zaznamenána, aby nebyla v pozdější fázi opomenuta. U některých rizik nemusí dojít k jejich úplné eliminaci, ale pouze k snížení na určitou úroveň. I tato rizika musí být přenesena do další fáze. Rizika z fáze koncepce, která nebyla zcela zvládnuta, tedy je zde určité zbytkové riziko či riziko, které nebylo možné v této fázi zvládat, jsou vstupem do fáze návrhu. K těmto rizikům se přidávají další, která vznikají ve fázi návrhu. Všechna rizika z fáze návrhu, které nebyla úplně eliminována a zbyla zde určitá zbytková rizika či opět rizika, která nebylo možné momentálně zvládat, se v další kroku stávají vstupem třetí fáze zvané realizace. K těmto rizikům se opět přidávají rizika, která vznikají ve fázi realizace a společně jsou zde zvládnána. Rizika, která se týkají fáze provozu, se sestávají z rizik, která byla identifikována v předchozích fázích a nebyla zcela odstraněna a z rizikových vlivů samotné čtvrté fáze životního cyklu výrobku. Nutno podotknout, že zmíněná identifikovaná rizika ze všech fází jsou většinou predikovaná, tedy nelze přesně u všech určit jejich přesnou pravděpodobnost, ale je možno provést pouze kvalifikovaný odhad.

Všechna identifikovaná rizika 4. fáze jsou, pak zpětnou vazbou pro životní cyklus produktu nové generace, pokud je není možné zvládat. To samé platí pro rizika všech fází, která nebyla předpovídána a byla posléze zjištěna vyšetřováním incidentu a nebylo možné je v dané fázi zvládnout. Celkově lze říci, že metodika vytváří uzavřený, nekončící kruh řízení rizik a je součástí všeobecného zlepšování procesů. Detailní popis řízení rizik jednotlivých fází navrhovanou metodikou je detailně popsán níže.

## **6.1 Fáze koncepce**

Navrhovaná metodika začíná fází koncepce, jelikož každý produkt, každý návrh či nápad začíná návrhem určité koncepce a již v této fázi je možné a žádoucí vyvarovat se určitých rizik či je identifikovat pro pozdější zvládnání. V této fázi životního cyklu jsou definovány zásadní požadavky na produkt, které jsou kritické pro zákazníka, tak i požadavky kritické pro kvalitu produktu a tím i zákaznickou spokojenost. Z těch jsou poté metodou Delphi či metodou What If? identifikována rizika, která jsou doplněna riziky z databáze Lessons Learned. Následně je vypočtena hodnota rizik a určena priorita v diagramu basebalového hřiště. Jestliže riziko vyžaduje zvládnání, tak je riziko redukováno, přeneseno či je riziku vyhýbáno.

Když naopak zvládnání nevyžaduje, tak je riziko akceptováno (priorita E). Všechna protipatření musí být ověřena a rizika znovu měřena z důvodu detekce zbytkových rizik. Rizika se musí neustále monitorovat. Zbytková a akceptovaná rizika s prioritou D jsou přesunuta do další fáze, stejně tak jako rizika, která zde sice byla identifikována, ale nelze je v této fázi zvládat. Rizika s prioritou C a vyšší musí být zvládnána, pokud je to možné v této fázi. Celý proces řízení rizik ve fázi koncepce je zobrazen v obrázku 16.



Obrázek 16: Proces řízení rizik ve fázi koncepce.

Na začátku každého životního cyklu výrobku je vždy zákazník, který vyjádří své potřeby, které mají být vyslyšeny. Zde začíná i navrhovaná metodika. Neexistuje žádný univerzální hlas zákazníka, každý je unikátní a velice různorodý. Zákazníci mají mnoho různých požadavků, které musí být zváženy a vybalancovány tak, aby byl vyvinut skutečně úspěšný produkt. Pro lepší porozumění zákaznickým potřebám je třeba se zákazníkem vést diskusi, kde je důležité identifikovat jeho základní požadavky či potřeby. Jeho zapojení je důležité nejen k definování požadavků, ale i k zodpovězení otázek vývojářů a poté k doporučení a kritice současného produktového vývojového procesu nebo zhodnocení návrhu prototypu atd. Technika používaná pro vyslyšení zákaznických požadavků, i těch nevyslovených je Hlas zákazníka (z angl. Voice of Customer).



Obecné požadavky by měly být rozděleny na více specifické detaily, tedy zákazník by měl být urgován k důkladnému vyjasnění a vyjádření svých požadavků dokud nedávají perfektní smysl. Tyto praktiky často vedou inženýry high-tech produktů k fundamentálnímu zjištění, že jednoduchost používání a spolehlivost jsou obvykle pro zákazníka více důležité než poslední technologie. Kromě potřeb zákazníkem vyjádřených je také potřeba nalézt požadavky nevyslovené. Potřeby považované za domněnky a tudíž za nezmíněné mohou být identifikovány přípravou stromu funkcí produktu. Když jsou všechny zákaznické požadavky posbírány, tak musí být řádně organizovány. Existuje několik druhů metod, jak hlas zákazníka zachytit.

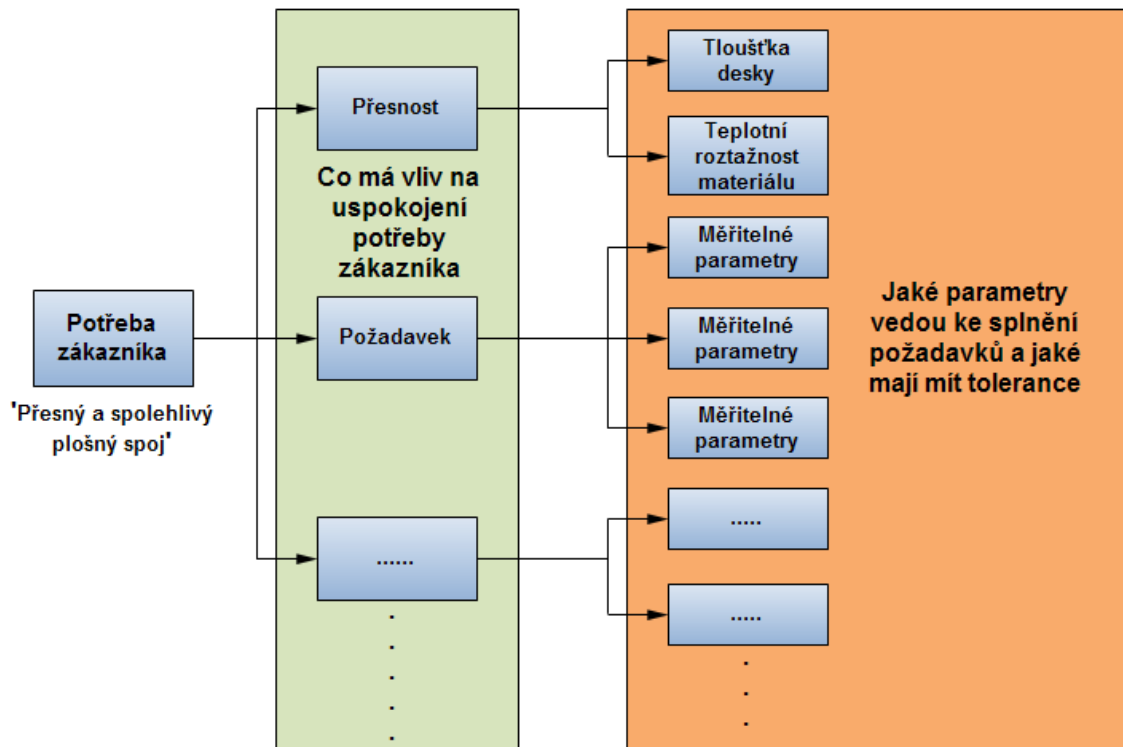
### **Metody k zachycení Hlasu zákazníka (Voice of Customer)**

- Interview
- Průzkum
- Zaměřená skupina (Focus group) [38]
- QDF (Quality Function Deployment) [39]
- Empatický návrh (Emphatic Design) [40]
- Vedoucí uživatel (Lead User) [41]

### **Výhody Hlasu zákazníka**

- Detailní porozumění zákaznickým požadavkům
- Společná řeč pro tým a vývoj do budoucna
- Klíčový vstup pro nastavení správných návrhových specifikací pro nový produkt
- Vysoce užitečný odrazový můstek pro inovaci

Z Hlasu zákazníka neboli Voice of Customer je poté určeno tzv. Critical to Customer (CTC) neboli to co zákazník považuje za kritické parametry kvality. Tento pojem se také často označuje Critical to Quality (CTQ), tedy kritické pro kvalitu, ale jedná se o totéž. Faktory kritické pro zákazníka jsou měřitelné standardy výkonu produktu či servisu, které jsou pro produkt zásadní. CTC poskytuje jednoduchou metodu stanovení priorit a výběru vhodných vstupů pro tento proces. Kritéria CTC či CTQ jsou vstupy pro předběžnou analýzu rizik jako je např. metoda Delphi nebo What If?. Příklad je uveden na obrázku 17.



Obrázek 17: Příklad CTQ.

Identifikovaná rizika budou pouze kvalitativního charakteru, tedy není možné vyjádřit jejich hodnotu a prioritu. Pouze u rizik převzatých z tzv. Lessons Learned doporučení je možné provést kvantifikaci a to na základě dat předchozích podobných výrobků. Takto identifikovaná rizika jsou základem pro řízení rizik celého životního cyklu. Zde je nejprve potřeba zvážit, zda zákaznické požadavky jsou racionální, a zda již zde nevznikají rizika, která by mohla produkt ohrozit. Proto je zde nutné použít metodu Delphi, metodu účelových rozhorů s odborníky či jinak zainteresovanými lidmi.

Dalším vstupem pro primární analýzu rizik celého produktu jsou tzv. Lessons Learned. To jsou doporučení založená na základě předešlých zkušeností, ze kterých je možné se poučit o tom, jak vylepšit výkon či se vyvarovat určité chyby. Tyto znalosti či zkušenosti mohou být dodávány z DPM (Data Product Management, ERP (Enterprise Resource Planning), CRM (Customer Relationship Management) a SCM (Supply Chain Management). Je tedy vždy důležité zvážit, zda podobný produkt nebyl už vyvíjen, popřípadě prohlédnout firemní databázi produktů a reklamací a vypsát nejčastější a nejzávažnější rizika, která se vyskytla a jak byla zvládnána. Stejná opatření musí být aplikovaná i na současný produkt, případně s úpravami či vylepšeními.

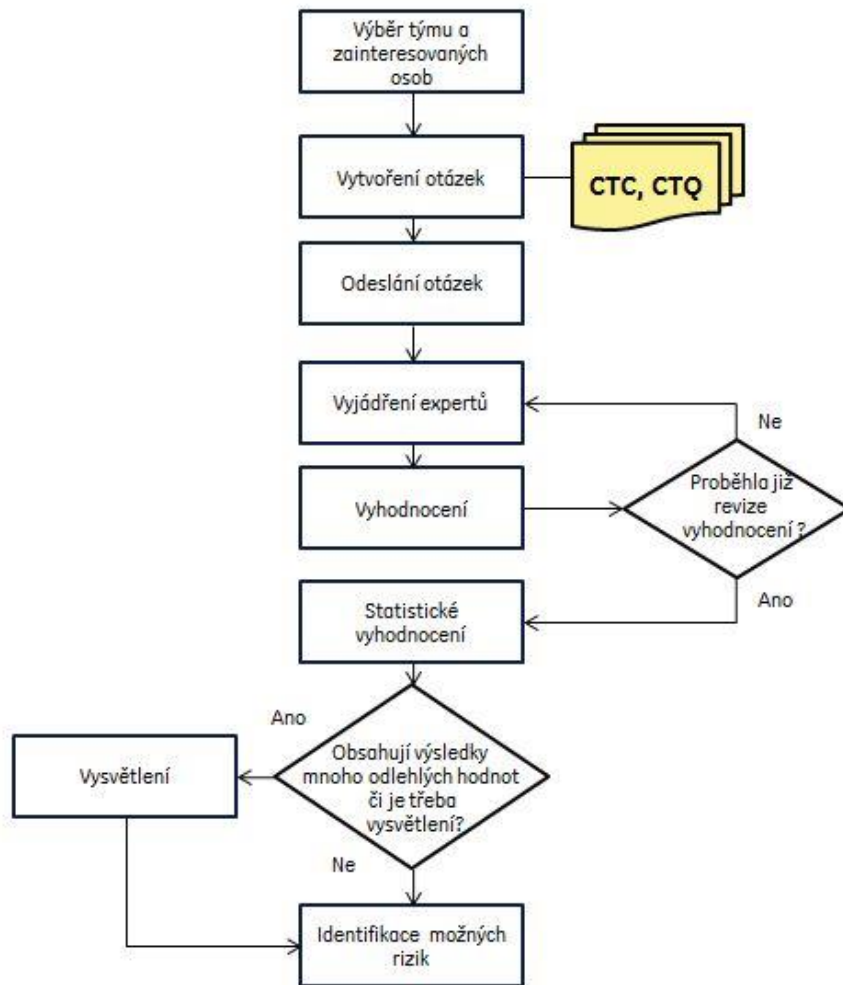
Všechna identifikovaná rizika jsou v dalším kroku strukturována do tabulky a jsou popsány všechny možné následky. Měření či odhad rizik v rané fázi životního cyklu výrobku jsou komplikovanou záležitostí. Jelikož většinou žádná reálná data nejsou k dispozici, je nutné použít metod pro odhad dopadu a pravděpodobnosti. Může být také využito specifických protopatření a zvládnání z Lessons Learned databáze.

V této fázi není složité ani nákladné provést jakékoliv změny. Avšak v následujících produktových fázích klesá možnost a jednoduchost jakékoliv změny, oproti tomu cena změn rapidně roste, jelikož produkt je již vázán k určité technologii, konfiguraci a výkonu. Proto je třeba, aby všechna závažná rizika byla identifikována v prvních dvou fázích, kdy je ještě možné provést změny a protopatření bez větších obtíží. Neidentifikovaná rizika ve fázích realizace a provozu mohou ohrozit finanční úspěch celého produktu [10],[22].

### **6.2.1 Metoda Delphi**

Delfská metoda je expertní technika pro předpovídání budoucích jevů. Využívá se však i jako metoda expertního teoretického výzkumu stávajících problémů. Používá se hlavně pro podporu provádění kvantitativní analýzy rizik. Pro analýzu rizik je vhodná především proto, že určuje, co se může stát a za jakých podmínek. Její podstata je v anonymním dotazování expertů z daného oboru a hledání konsensu v názoru na budoucí vývoj dané problematiky. Limity delfské metody jsou zřejmé, jelikož do budoucího vývoje zasahuje tolik různých vlivů, že není možné předvídat všechny, a to ani tehdy, je-li okruh expertů opravdu široký. Přesto je delfská metoda jednou z nejpoužívanějších metod pro prognózy budoucího vývoje. Metoda byla upravena pro použití v navržené metodice řízení rizik životního cyklu výrobku.

Celý upravený postup je vidět na obr. 18. Metoda začíná výběrem expertů a zainteresovaných osob na danou problematiku, kterým jsou představeny výsledky CTC nebo CTQ. Následně jsou sestaveny otázky a odeslány všem vybraným osobám, ty mohou být ještě vyzváni k doplnění otázek. Odpovědi na otázky jsou poté vyhodnoceny a jejich analýza je poslána zpět vybraným osobám k vyjádření. Zde je nutné požádat o vyhodnocení problémů, zda mohou být některé považovány za naléhavé. Osoby mohou své odpovědi ještě upravit, případně doplnit. Odpovědi jsou poslány zpět a statisticky vyhodnoceny a výsledky jsou expertům představeny. U statisticky odlehklých hodnot je třeba žádat o vysvětlení. Takto identifikovaná rizika jsou vstupem do první fáze životního cyklu výrobku.



Obrázek 18: Postup metody Delphi [42].

## 6.2.2 Lessons Learned databáze

Je databáze, ve které jsou zaznamenány nejrůznější znalosti a to od těch nejjobecnějších až k úzce odborným. Jsou zde i znalosti, které nebyly exaktně dokázány a jsou získávány postupně v průběhu praxe a pomáhají při řešení podobných problémů a to např. u podobných projektů. O tvorbě této znalostní databáze pojednává [43]. Z této databáze je pak možné zjistit konkrétní kroky, které vedly k odstranění problému a je pak možné je aplikovat u podobných produktů či projektů a problémům tak předcházet. Metody získávání znalostí byly převzaty z řady disciplín od matematiky přes sociologii a psychologii. Příklad databáze je uveden na obrázku 19. Můžeme je rozdělit do následujících oblastí:

- Statistické metody pro data převážně numerická.
- Symbolické metody pro data založená na rozhodovacím stromě, pomáhají hledat souvislosti a vztahy v datech.
- Sub-symbolické metody, které používají neuronové sítě, bayesovské sítě nebo genetické algoritmy.
- Případové usuzování založené na rozhodování na základě podobností.

Proces získávání je definován třemi možnými způsoby [44]:

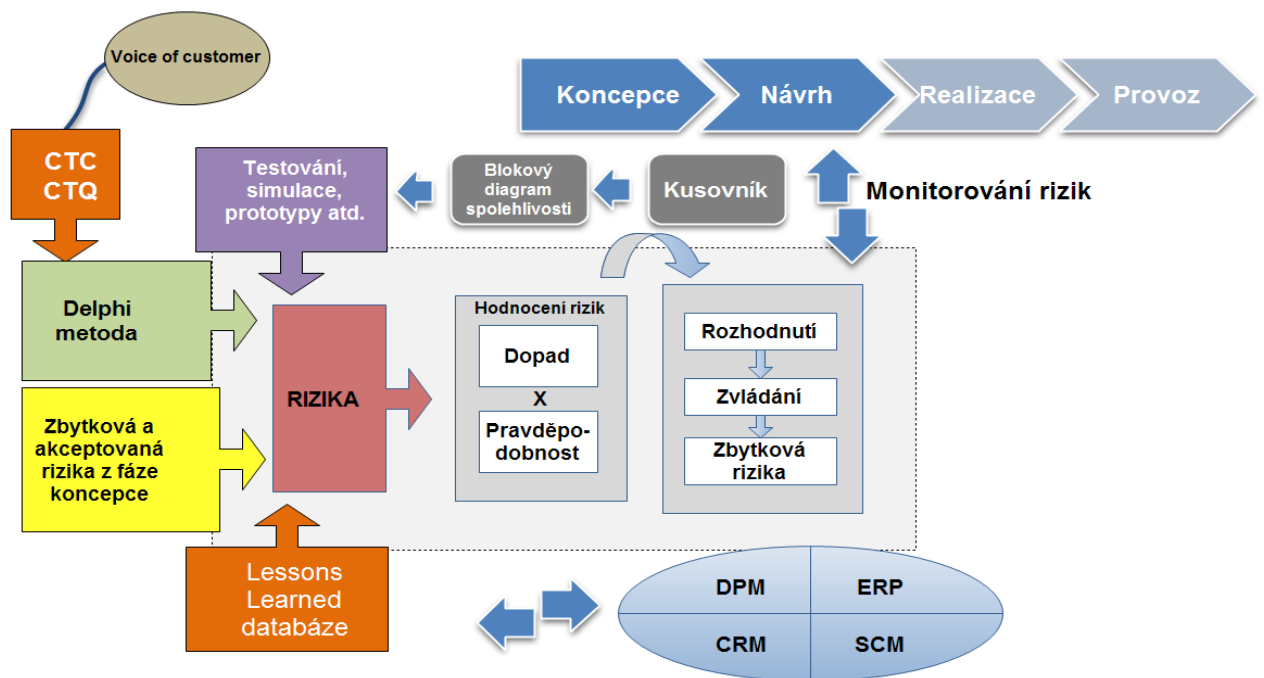
- dolování znalostí od experta
- analýza již napsaných textů
- získávání dat a jejich generalizace

Název projektu	Problém/incident	Dopad	Řešení	Problém vyřešen
Deska plošného spoje 01	Špatně zvolený teplotní profil pájky	Ohnutí nosné desky	Simulace tepelného namáhání desky a nová volba teplotního profilu	Ano
Deska plošného spoje 02	Teplotní nerovnováha pájecích plošek	Tombstone efekt	Testování pájitelnosti	Částečně
.....	.....	.....	.....	.....

**Obrázek 19: Příklad Lessons Learned databáze.**

## 6.2 Fáze návrhu

Fáze návrhu má největší dopad na výrobek a náklady celého životního cyklu. Identifikace rizikových faktorů ve fázi návrhu je aktem určení potenciálních rizik v procesu návrhu a vývoje, a to buď v detailním návrhu, následné analýze či simulaci, validaci a návrhu nástroje, které by výrazně snižovaly provozní spolehlivost produktu [45]. Analýza rizik fáze návrhu poskytuje širší hodnocení rizik z CTQ a umožňuje eliminovat možné selhání a redukovat dopad potenciálních selhání. Proto je doporučeno rizikové faktory kategorizovat do skupin a řídit rizika pro každou skupinou zvlášť z důvodů množství rizik. Rizika mohou být rozdělena do kategorií jako zdroje, lidé, procesy, technologie, životní prostředí a ostatní, jak je uvedeno v tabulce 11. Princip navrhované metodologie je založen na přenesení akceptovaných a zbytkových rizik z předchozí fáze a to z důvodu ověření možného zvýšení rizika. Dále jsou do fáze návrhu přenesena rizika, která byla v předchozí fázi identifikována, ale nebylo možné je v předchozí fázi zvládat. K těmto skupinám rizik se připojují ještě další rizika, která byla identifikována ve fázi návrhu testováním, simulací atd. Celý navrhovaný proces řízení rizik ve fázi návrhu je zobrazen v obrázku 20.



Obrázek 20: Proces řízení rizik ve fázi návrhu.

**Tabulka 11: Tabulka pro rizika identifikovaná přímo ve fázi návrhu**

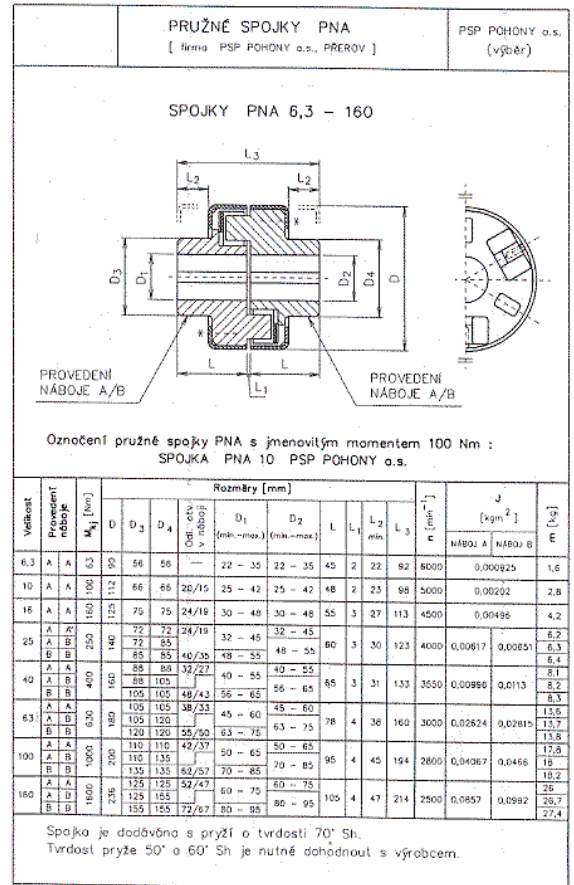
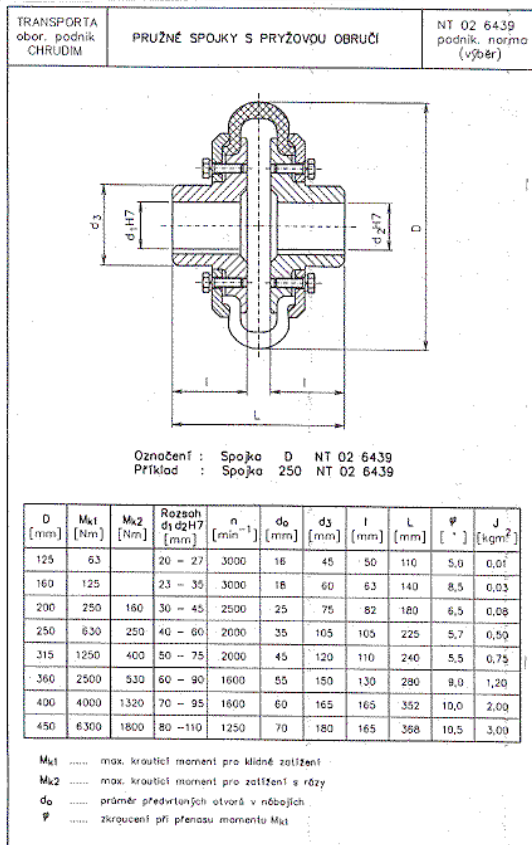
Položka	Risk	Popis	Kategorie	Možné zvládat v této fázi
1	O jaké riziko jde	....	Zdroje, lidé, procesy, technologie, ostatní	ANO/NE
2	O jaké riziko jde	....	Zdroje, lidé, procesy, technologie, ostatní	ANO/NE
....	.....	....	Zdroje, lidé, procesy, technologie, ostatní	ANO/NE

Ve fázi návrhu produktu jsou specifické části a systémy určeny přes kusovník (bill-of-material), kde jsou definovány systémy, podsystémy a komponenty, které tvoří konečný produkt. Je zde také vstup pro analýzu spolehlivosti a to od spolehlivosti jednotlivých komponentů až po spolehlivost celého systému. Pro správné pochopení spolehlivosti celého systému je vhodné vypracovat spolehlivostní diagram produktu. Ten pomůže i podhalit slabá a potencionálně zranitelná místa.

### **Kusovník**

Kusovník je dokument zachycující všechny komponenty (součásti, materiál) použité pro výrobu určitého produktu, který má stromovou strukturu, kde kořenem je finální výrobek a listy jsou nakupované a použité materiály. Počet úrovní kusovníku není omezen, ani počet vstupujících komponent do vyšší položky. Proto je vhodný jako základ k vytvoření spolehlivostní stromu a výpočtu spolehlivosti produktu. Spolehlivost každého komponentu v systému nebo pravděpodobnost nesehání v očekávaných provozních podmínkách jsou použity k výpočtu celkové spolehlivosti systému. Inženýři tak mohou identifikovat daleko spolehlivější návrh systému, podsystému nebo jednotlivých komponent. S funkčním systémovým modelem může být spočítána spolehlivost pro různé provozní podmínky.

Může být použit pro komunikaci mezi výrobními partnery nebo být vymezen jedné výrobní společnosti. Kusovník definuje produkt tak, jak je navržen, jak jsou jednotlivé díly objednávané, jak jsou montovány a jak mají být udržovány. V elektronice kusovník představuje seznam komponentů použitých na deskách plošných spojů. Jakmile je návrh obvodu hotový, tak je kusovník předán na návrh layoutu desky plošného spoje. Příklad kusovníku je obrázku 21.



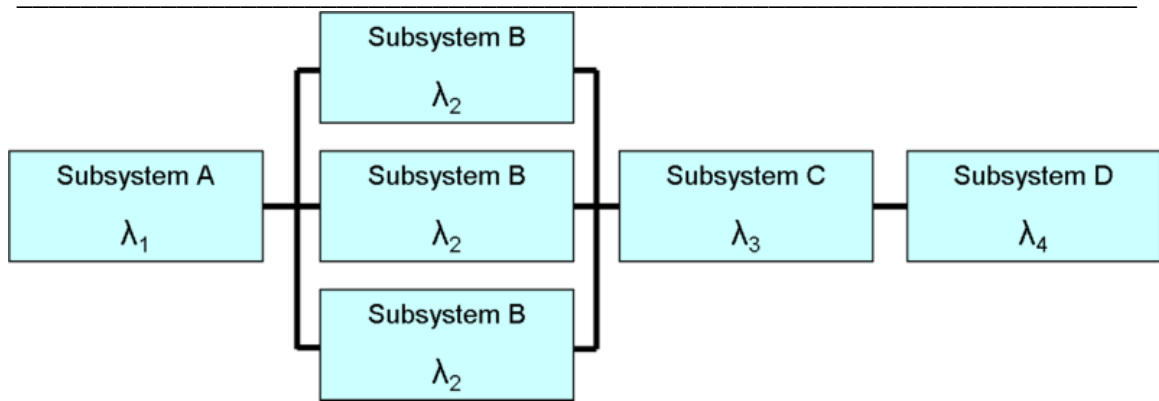
Obrázek 21: Příklad kusovníku[46].

### Blokový diagram spolehlivosti

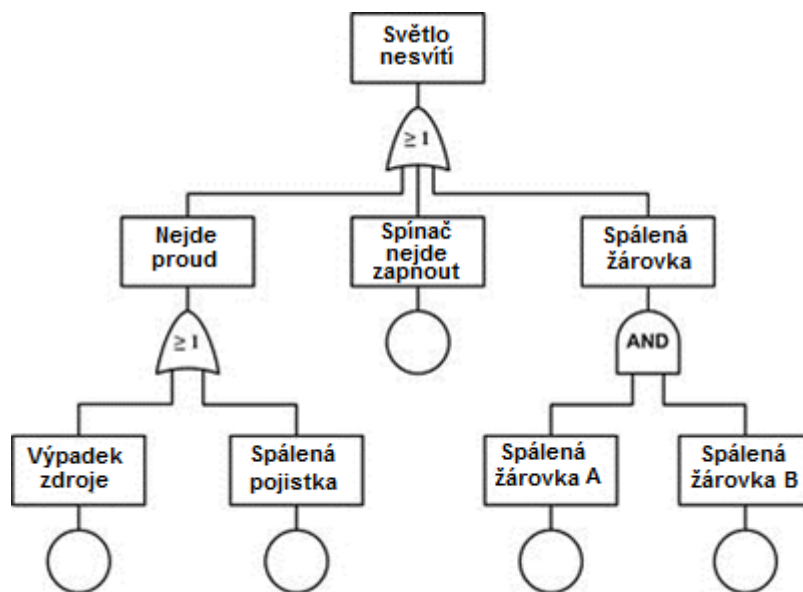
Blokový diagram spolehlivosti je diagramatická metoda pro zobrazení toho, jak spolehlivost jednotlivých komponentů přispívá k úspěchu nebo selhání komplexního systému. Tato metoda je také známá jako diagram závislosti.

Blokový diagram spolehlivosti je kreslen jako skupina bloků spojená v paralelní nebo sériovou konfiguraci, příklad diagramu je uveden na obrázku 22. Každý blok reprezentuje systémový komponent s určitou poruchovostí. Často se vyskytují paralelní cesty znamenající, že musí selhat všechny, aby selhal celý systém. V kontrastu se sériovými cestami, kde k selhání celého systému stačí, aby selhal jakýkoliv komponent. Diagram může být kreslen tak, že bloky jsou nahrazeny spínači, kde zavřený spínač představuje fungující komponent a otevřený spínač komponent, který selhal. Je-li možné nalézt cestu skrz systém spínačů od začátku do konce, tak systém stále funguje. Diagram může být nahrazením sériových cest hradlem AND, paralelních cest hradlem OR a aplikací tzv. de Morganova teorému konvertován na strom chyb (Fault Tree) [47], viz obrázek 23.





Obrázek 22: Blokový diagram spolehlivosti [48].



Obrázek 23: Strom chyb [49].

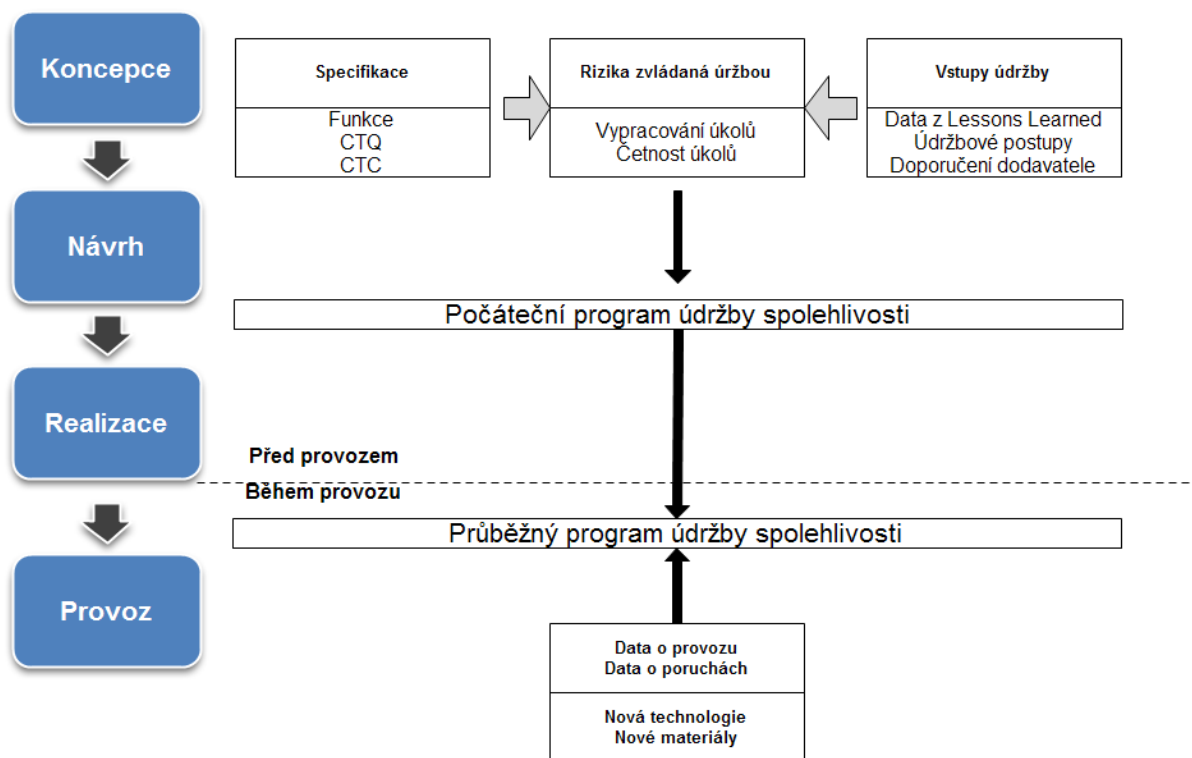
### Identifikace nových rizik

Výroba prototypu a simulace může značně pomoci v identifikaci nových rizikových aspektů produktu. Také simulace zacházení s produktem a jeho umístění do pracovního prostředí jsou důležitá pro porovnání různých provozních podmínek a jejich vlivu na produkt (teplo, chlad, zátěž atd.). Pro lepší pochopení zákaznických požadavků je vhodné stanovit se zákazníkem schůzku a prototyp představit a poté ho upravit podle zákaznických potřeb. Prostředky pro identifikaci rizik při testování, simulaci či validaci, by měly být především na softwarové bázi jako např. CAID, CAM, CAE, CAPE a CAPP. Ze způsobu jakým zákazník s prototypem zachází, je poté velice pravděpodobné vysledovat další možná rizika. Jednoduchý brainstorming se zákazníkem je také žádoucí.

Dále pak je stále nezbytné následovat CTQ, CTC a VOC jako vstupy pro metodu Delphi. V této fázi je také snazší aplikovat znalosti z DPM, ERP, CRM nebo SCM umístěné ve znalostní databázi Lessons Learned, která může napomoci odhalit rizika z podobných předchozích projektů nebo z minulosti obecně.

### Bezporuchovost

Ve fázi návrhu je nebytné také naplánovat údržbu zaměřenou na bezporuchovost. Jako vstupy poslouží identifikovaná rizika z fáze návrhu a koncepce. Úspěšná aplikace programu bezporuchovosti vyžaduje dobré pochopení zařízení i konstrukce, jakož i provozního prostředí, provozního kontextu a přidružených systémů spolu s pochopením možných poruch a jejich následky. Údržba bývá častým způsobem zvládnání méně závažných rizik. Počáteční program údržby by měl vznikat ve spolupráci mezi dodavatelem a uživatelem. Možný postup aplikace programu bezporuchovosti je vidět na obrázku 24.



Obrázek 24: Postup aplikace programu bezporuchovosti [30].

## Likvidace výrobku

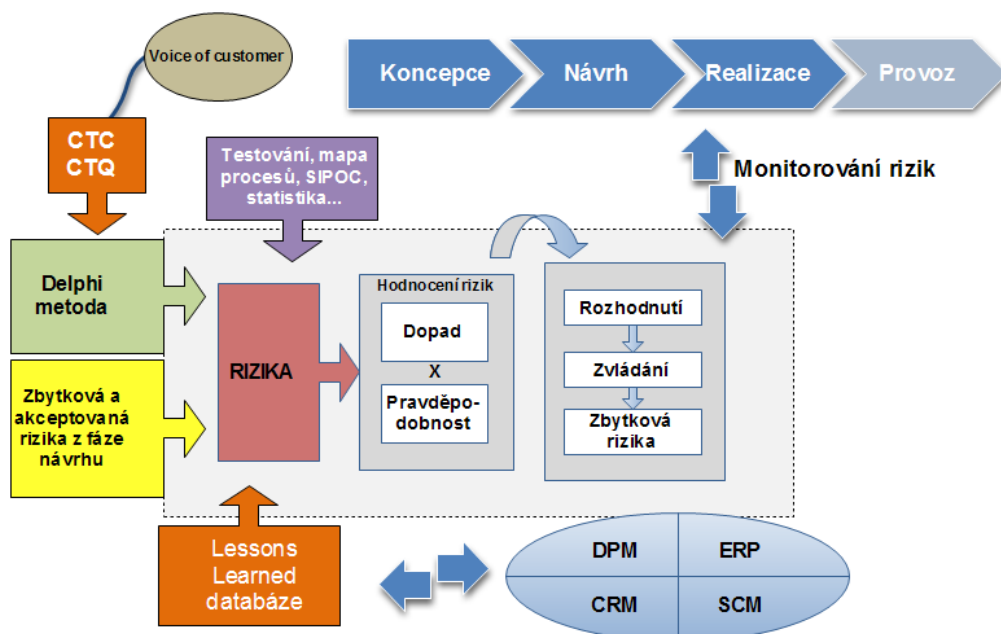
Při vývoji a výrobě nové produktu je také třeba myslet na jeho likvidaci a identifikovat rizika s tím spojená již v rané fázi jeho životního cyklu. Některé zákaznické požadavky se mohou týkat nejrůznějších legislativních ustanovení o omezení použití určitých materiálů. V elektrotechnice se například jedná o zákaz používání nebezpečných látek u vedených v RoHS. Směrnice zabývající se používáním a nakládáním s nebezpečnými látkami, elektrotechnickým odpadem a jejich sběrem:

**WEEE** (Waste electrical and electronic equipment) – vztahuje se na sběr recyklaci a zpracování elektrického odpadu [50]

**RoHS** (Restriction of the use of certain hazardous substances) – vztahuje se na zákaz používání nebezpečných látek v elektrotechnických výrobcích [51]

## 6.4 Fáze realizace

Základem metodiky řízení rizik ve fázi realizace jsou opět CTC a CTQ požadavky. Do této fáze jsou přesunuta zbytková rizika z předchozí fáze (priorita D) a to opět z důvodu ověření možného zvýšení rizika. Dále jsou do fáze návrhu přenesena rizika, která byla v předchozí fázi identifikována, ale nebylo možné je zvládat a rizika, která v této fázi vznikají (Delphi metoda, testování, mapa procesů atd.), jak ukazuje obrázek 25.



Obrázek 25: Proces řízení rizik ve fázi realizace.

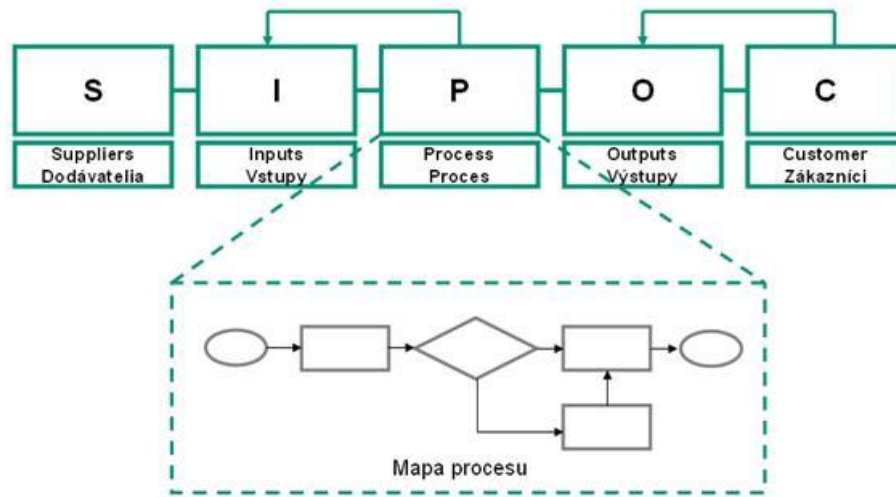
Metodika navrhuje, aby zahájení samotné výroby produktu předcházela její důkladná simulace, testy a plánování pro identifikaci možných rizik. Jakmile jsou všechny testy, simulace výroby hotové (CAPP, CAPE), rizika identifikována a poté co je návrh validován a schválen, tak je nutné se ujistit, aby již dříve specifikované CTQ definovali přísné standardy kvality ve výrobě. Ty mohou například obsahovat tolerance zpracování, výrobní postupy, testy bezpečnosti a výkonu, které musí být provedeny před tím, než konečné výrobky jsou odeslány zákazníkům. Všechny tyto instrukce by měly být uvedeny v dokumentech, tzv. kontrolních plánech a odkazují na plánování kvality, návrhu a testy, které předcházely. Celý proces výroby je nutné zmapovat a jednotlivé kroky zpracovat do procesní mapy, aby bylo možné snadněji identifikovat slabá a riziková místa v procesu. Příklad procesní mapy pro výrobní proces ve fázi realizace je vidět na obrázku 26.



Obrázek 26: Příklad procesní mapy pro výrobní proces ve fázi realizace [52].

## SIPOC

Při identifikaci faktorů vstupujících do procesu a následné identifikace jejich rizik je metodikou doporučována metoda SIPOC. Všeobecná mapa procesu SIPOC je chronologické zobrazení nejvýznamnějších 3-6 kroků, událostí nebo operací v procesu. Poskytuje základ pro identifikaci vstupů a výstupů procesů a tudíž i možných rizik ovlivňujících proces. Dává zjednodušený pohled na celkový proces. V tomto diagramu jsou definovány, jak v stupy a výstupy ale také jejich dodavatelé i zákazníci. Příklad SIPOC diagramu je zobrazen na obrázku 27.



Obrázek 27: SIPOC diagram [53].

### Postup tvorby SIPOC diagramu

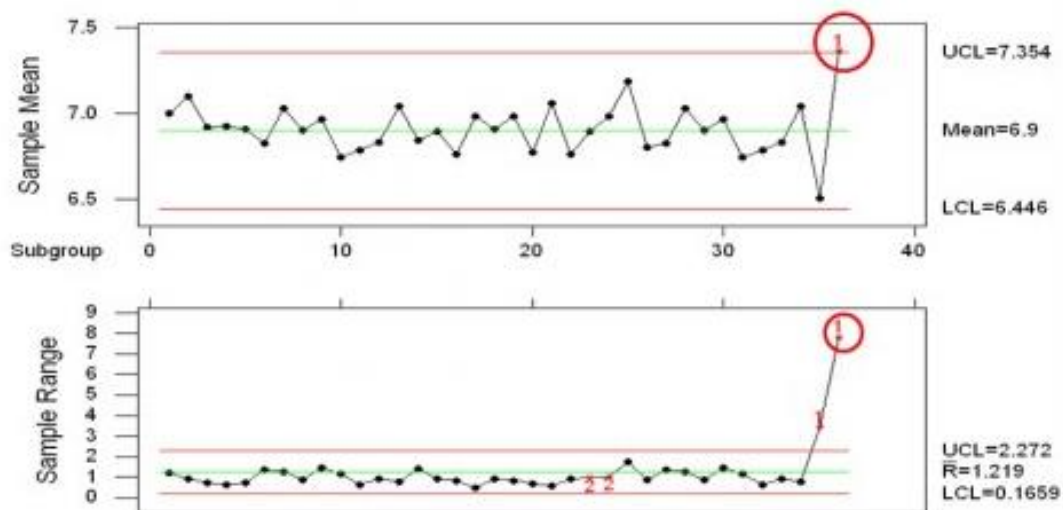
1. Identifikace interních a externích zákazníků a stanovení priorit mezi všemi zákazníky.
2. Příprava seznamu CTQ požadavků na každého zákazníka
3. Určení kroků, které ovlivňují proces.
4. Stanovení začátku a konce procesu, uvedení 3 – 6 nejdůležitějších kroků procesu.
5. Identifikace vstupů a dodavatelů procesu, resp. jednotlivých kroků procesu.

### Nástroje řízení kvality

Pro identifikaci rizik ve fázi realizace metodika doporučuje využívat metod pro řízení kvality. Většina ze sedmi základních nástrojů představuje v podstatě kvantitativní metody, které přispívají k monitorování a lepšímu zvládnutí řízení procesu, lepšímu pochopení procesu včetně realizace procesního přístupu, lepší identifikaci, diagnostice a řešení problémů a k objektivnějšímu rozhodování a tím i k lepšímu fungování celého systému [54].

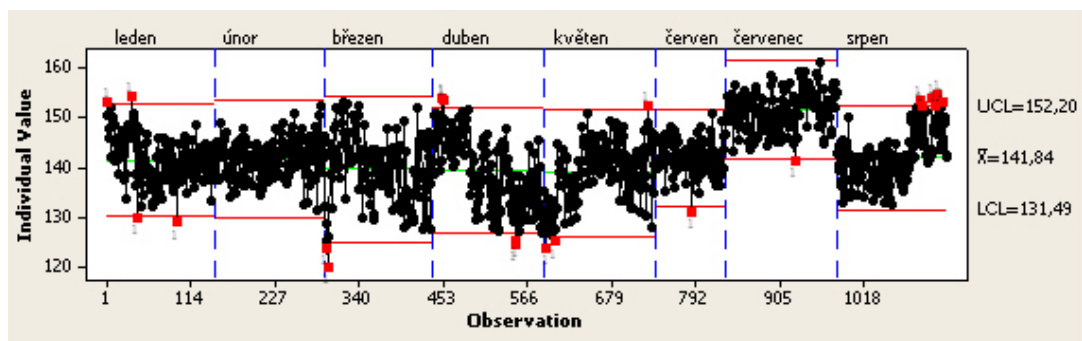
Ve zkušební výrobě je nutné sledovat přinejmenším procesní variaci všech sledovaných kritických parametrů produktu a reagovat na ní v případě statisticky nezvládnutelného stavu. Toto sledování je nezbytné provádět i při samotné následné výrobě. Pomocí statistických metod a jejich vyhodnocení je možné rizikům předcházet. Na konci výrobního procesu je třeba provést finální funkční test. I zde by se měla ověřit Lessons Learned databáze a poučit se z předchozích rizik a předcházet jim ve výrobě. Proces a jeho variace včetně odchylky je zobrazen na obr. 28. Musíme si uvědomit, že toto je poslední fáze před tím, než je výrobek expedován k zákazníkovi. Proto je potřeba

se ubezpečit, že všechna rizika jsou dostatečně zvládnána a všechny CTC a CTQ parametry splněny.



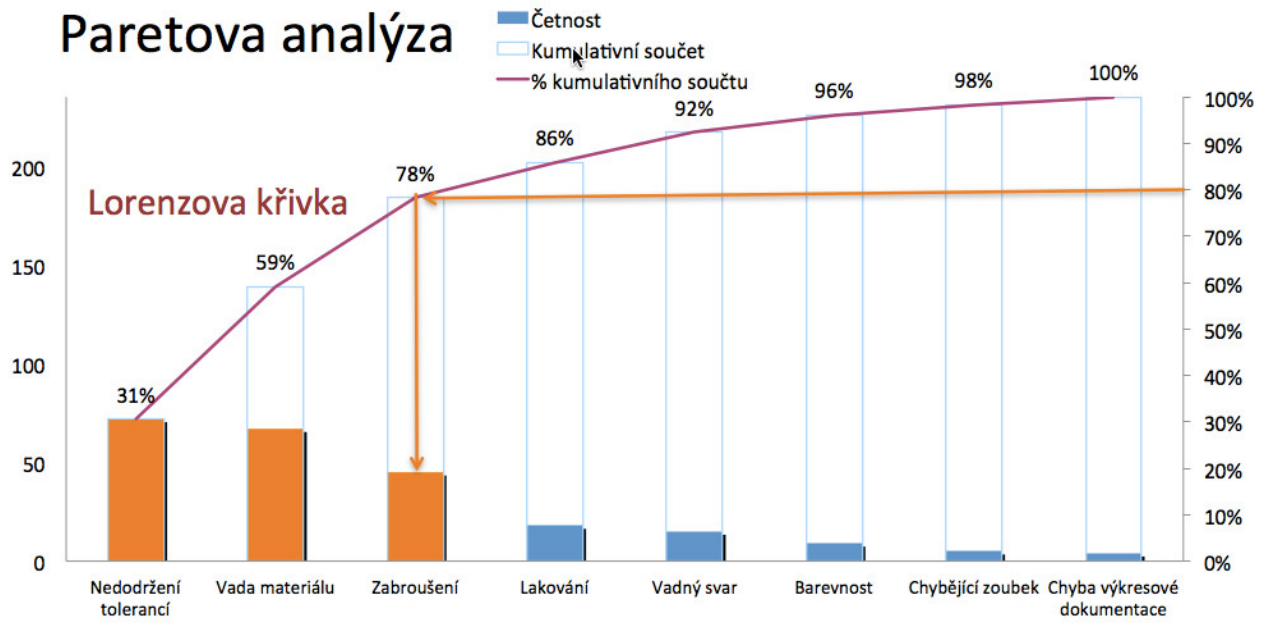
Obrázek 28: Příklad regulačního diagramu.

Obrázek 29 uvádí průběh výrobního procesu, z grafu je možné vysledovat určitou tendenci nebo na základě sledování určit kořenové příčiny či vymezit určité sledované období, ve kterém se událost stala. Průběhový diagram zobrazuje výrobní proces během určité části roku, zde vidíme prudký nárůst hodnot v měsíci červenci a následný strmý propad v měsíci srpnu. Tímto určení se vyhraničí doba a poté je třeba zjistit, co se v daný čas událo či změnilo. Možných využití je celá řada a aplikace většiny metod je uživatelsky nenáročná.



Obrázek 29: Regulační diagram změn v procesu, zobrazeno v softwaru Minitab.

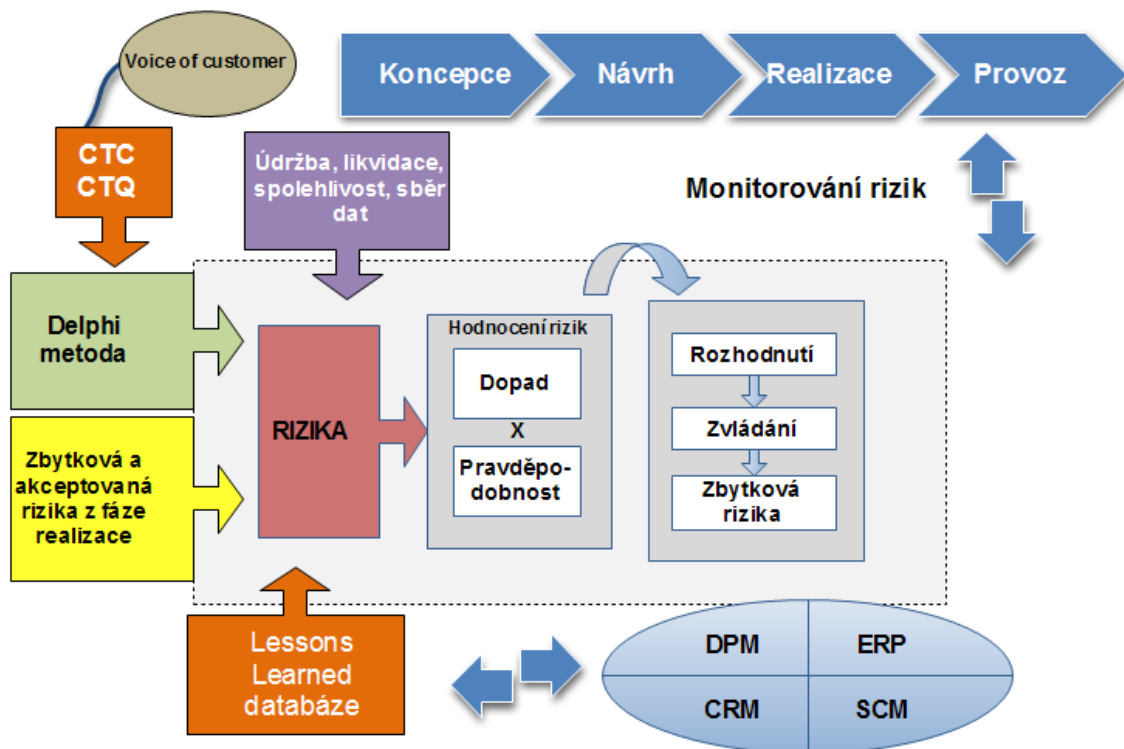
Dále je také možné využít Paretovi nebo také ABC analýzy k identifikaci hlavních rizik fáze realizace. Paretova analýza je velice jednoduchým, ale přesto efektivním nástrojem, který umožňuje se matematicky exaktně soustředit na to, co je pro zkušební výrobní proces skutečně důležité. Použití ji lze přitom na zákazníky, vlastní výrobky a služby či třeba na skladové zásoby. Příklad je uveden na obr 30.



Obrázek 30: Příklad Paretovi analýzy [55].

## 6.5 Fáze provozu

Také pro konečnou fázi provozu jsou opět důležité CTC a CTQ požadavky. Zde už by dle diagramu z obr. 7, měl být minimální počet neshod a všechna významná rizika by měla již být zvládnána a identifikována v předchozích fázích životního cyklu produktu. Do této fáze jsou přenesena zbytková rizika z předchozí fáze a to opět z důvodu ověření možného zvýšení rizika. Dále jsou do fáze provozu přenesena rizika, která byla v předchozí fázi identifikována, ale nebylo možné je v předchozí fázi zvládnat a rizika, která v této fázi vznikají, avšak zvládnání těchto rizik může být povětšinou řešeno pouze preventivní či plánovanou údržbou, zákaznickou podporou či dodržováním manuálu výrobku. Další rizika, která jsou s touto fází životního cyklu spojena, se týkají skladování, transportu a likvidace. Návrhové či funkční změny už není takřka možné provést, bez toho aniž by došlo ke zvýšení nákladů na výrobu produktu. V případě identifikace závažných rizik v této fázi, je možné využít tyto znalosti při vývoji produktu nové generace. Celý tento proces je zobrazen v obrázku 31.



Obrázek 31: Proces řízení rizik ve fázi realizace.



---

## Údržba a podpora

Plánování údržby a oprav produktu se může uskutečnit již na počátku fáze návrhu a vývoje a postupuje celým životním cyklem až do fáze provozu. Plánovaná údržba zajišťuje optimalizaci kritických nákladů jako je preventivní údržba, náhradní díly a servisní zdroje (např. lidské). Předcházející fáze a jejich řízení rizik poskytují vstupy pro průvodce řešení prioritních problémů (např. manuály) používané během provozní fáze k udržení CTQ charakteristik.

### Program preventivní údržby

Proces údržby preventivní spolehlivosti je možné aplikovat u všech typů systémů, jedná se o způsob zvládnání rizik, která mohou ovlivnit funkčnost produktu. Cíle tohoto programu jsou následující (ČSN EN 60300-3-11):

- udržet funkci objektu na požadované úrovni spolehlivosti v daném provozním kontextu
- získat informace nutné pro zlepšení návrhu nebo přidání záloh u těch objektů, jejichž bezporuchovost se prokázala jako nedostatečná
- dosáhnout těchto cílů při minimálních celkových nákladech
- získat informace nutné pro průběžný program údržby, který se zlepšuje vzhledem k počátečnímu programu a jeho revizím systematickým posuzováním efektivnosti dříve stanovených údržbářských úkolů. Při vypracování programu hraje důležitou roli monitorování stavu součástí specifických z hlediska bezpečnosti, kritičnosti nebo nákladů [56]

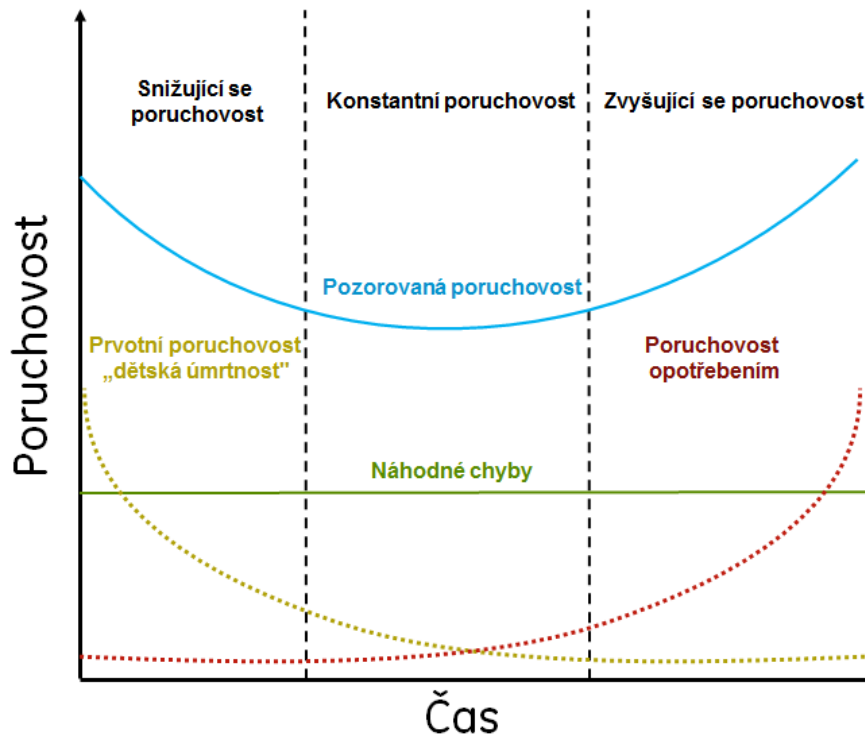
U těchto cílů je nutné uznat, že programy údržby jako takové nemohou napravit nedostatky návrhu ohledně bezpečnosti a bezporuchovosti zařízení a konstrukcí. Program údržby může pouze minimalizovat znehodnocení a obnovit objekt do jeho úrovní daných návrhem.

## Bezporuchovost a plánování kvality

Směřovat plánování kvality do provozních podmínek není pouze nezbytné proto, aby se zajistila nejvyšší kvalita provozních služeb, ale hlavně k předcházení možných rizik. Detailní zpětná vazba z provozní zkušenosti obsahující informace o opravě, reklamaci, implementaci nápravných opatření a provádění změn je zaznamenána do Lessons Learned databáze, která je využita při vývoji produktu nové generace.

Vznik poruchy výrobku během jeho technického života lze považovat za náhodný jev. Spolehlivostí součástky se rozumí schopnost zachovávat požadované vlastnosti ve stanovených mezích za definovaných provozních podmínek během technického života. Skutečná spolehlivost součástky závisí na konstrukčním řešení, vlastnostech použitých materiálů a použitých technologiích a rovněž i na podmínkách provozu, skladování i přepravy.

Obecně se za typický průběh intenzity poruch v závislosti na čase života výrobku považuje tzv. vanová křivka (viz obr. 32). Z obrázku je patrné, že křivka je dělena na tři úseky.



Obrázek 32: Tzv. vanová křivka [57].

## **Weibullova analýza**

Existují různé metody pro interpretaci dat z životnostních testů nebo dat z provozu. Mnohé z těchto metod využívají teoretická statistická rozdělení, která jsou modelem doby života (či technicky přesněji doby bezporuchového provozu) sledovaných součástek. Kvantifikace bezporuchovosti tedy využívá metod matematické statistiky a teorie pravděpodobnosti, přičemž základní podstatou je využití vhodného teoretického rozdělení.

Při analýzách bezporuchovosti elektronických součástek a jiných komponent se často používá Weibullova rozdělení. Weibullova analýza nalézá uplatnění při hledání odpovědí na otázky typu: Kolik poruch lze očekávat za určitých podmínek? Jak spolehlivá (ve smyslu bezporuchovosti) je stávající konstrukce či technologie v porovnání s inovovanou konstrukcí či technologií? Jak lze vyčíslit bezporuchovost výrobku? Výhodou použití Weibullova rozdělení je, že dokáže aproximovat jiná rozdělení (například exponenciální, normální či lognormální) a že je způsobilé na základě malého vzorku dat k určení tvaru rozdělení vhodného pro modelování doby do poruchy [57].

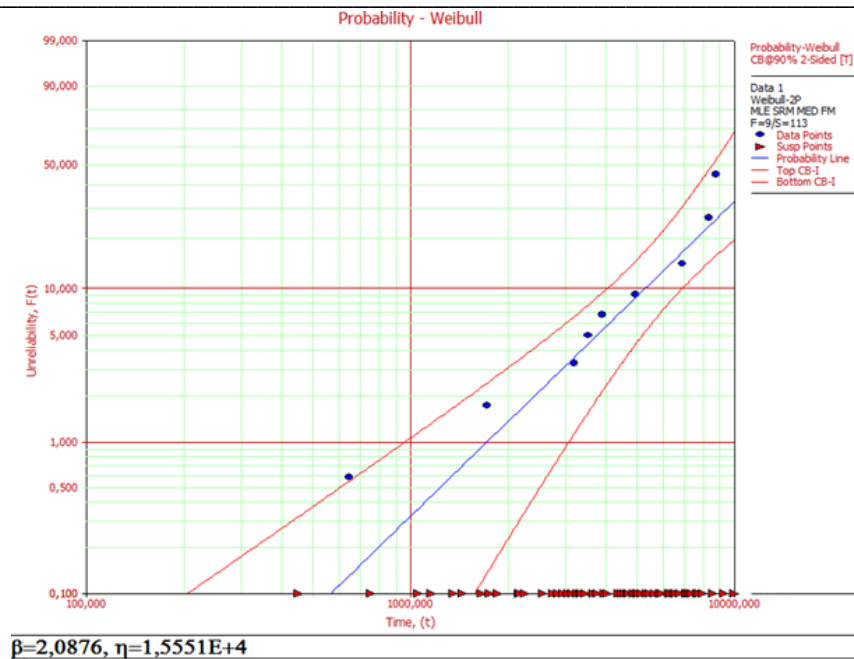
Komplikace při analýzách bezporuchovosti nastávají z důvodů výskytu cenzorovaných dat (tj. když ve sledovaném časovém intervalu nenastala porucha u všech sledovaných součástek) a při provádění tzv. zrychlených testů. Analytické procedury soudobých softwarových prostředků umožňují řešení analýz bezporuchovosti i s ohledem na tyto komplikace a umožňují provádět tyto analýzy a predikci poruch na kvalitativně vyšší úrovni [58].

### **Parametry určující funkci hustoty pravděpodobnosti Weibullova rozdělení**

Funkce hustoty pravděpodobnosti a tedy i křivka funkce hustoty pravděpodobnosti Weibullova rozdělení závisí na třech parametrech: parametru tvaru, parametru umístění a parametru měřítka, viz tabulka 12. Příklad Weibullovi křivky je možné vidět na obrázku 33. Zde byl k výpočtu použit software Weibull 7++. Pomocí dat o poruchách z provozu je zde možné zjistit pravděpodobnost selhání v určitém čase provozu.

**Tabulka 12: Popis parametrů Weibullova rozdělení [58].**

Parametr	Charakteristika
<p><b>Parametr tvaru <math>\beta</math></b> syn.: parametr sklonu</p>	<p>Parametr tvaru typicky nabývá hodnoty mezi 0.5 a 8.0 ovlivňuje tvar (průběh) funkce hustoty pravděpodobnosti.</p> <p>Weibullovo rozdělení může v závislosti na hodnotě parametru tvaru aproximovat i jiná užitečná rozdělení.</p> <p><b><math>\beta=1</math></b> Weibullovo rozdělení je identické k exponenciálnímu rozdělení,</p> <p><b><math>\beta=2</math></b> Weibullovo rozdělení je identické k Rayleighovu rozdělení,</p> <p><b><math>\beta=2.5</math></b> Weibullovo rozdělení aproximuje lognormální rozdělení,</p> <p><b><math>\beta=3.6</math></b> Weibullovo rozdělení aproximuje normální rozdělení.</p>
<p><b>Parametr měřítka <math>\eta</math></b> syn.: charakteristický život</p>	<p>Tento parametr mění měřítko na časové ose, například hodiny, měsíce, cykly, atd.</p> <p>Změna tohoto parametru má totiž stejný efekt na rozdělení jako změna v měřítku času - například změni-li se měřítko z hodin na dny nebo z dní na měsíce. Zjednodušeně lze říci, že parametr měřítka určuje "roztážení" rozdělení.</p> <p>Změna tohoto parametru nezpůsobí skutečnou změnu aktuálního tvaru rozdělení, ale jen změnu v měřítku.</p> <p>Parametr měřítka udává dobu (tj. např. počet hodin/cyklů), při kterých došlo k poruše u 63,2 procenta výrobků (jinými slovy tuto dobu přežije 37 procenta výrobků). Parametr měřítka bývá proto někdy nazýván Weibullovým charakteristickým životem =&gt; bez ohledu na aktuální tvar rozdělení 63.2% populace se porouchá v čase <math>t = \eta + \gamma</math> (je to čas měřený od <math>t=\gamma</math>).</p>
<p><b>Parametr umístění <math>\gamma</math></b> syn.: prahový parametr, parametr polohy</p>	<p>Parametr polohy udává minimální hodnotu náhodné veličiny <math>t</math> (tj. minimální dobu, po jejíž uplynutí může nastat porucha). Parametr umístění tak lze interpretovat jako nejdříve možný čas, po jehož uplynutí může nastat porucha.</p> <p>Často se o tomto parametru hovoří jako o parametru polohy. Používání tohoto označení není příliš vhodné, protože může dojít k záměně významu se statistických středem rozdělení (tj. statistickým ukazatelem polohy). Označení prahový parametr zdůrazňuje nastavení tohoto parametru na minimální čas, v němž může nastat první sledovaná událost (porucha).</p> <p>Je-li parametr umístění roven nule, přechází tzv. tříparametrové Weibullovo rozdělení v tzv. rozdělení dvouparametrové.</p>

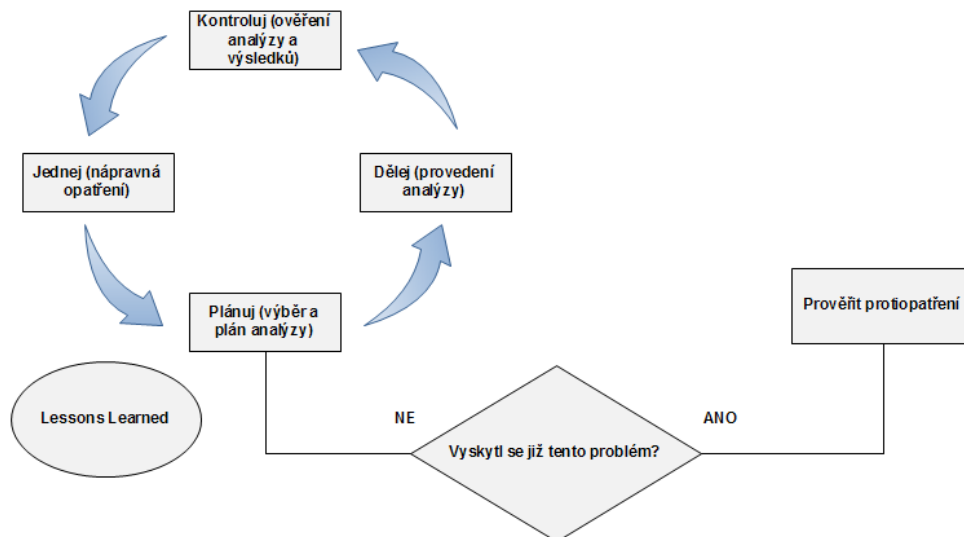


Obrázek 33: Příklad Weibulloví křivky v programu Weibull ++ 7.

## 6.6 Vyšetřování incidentu

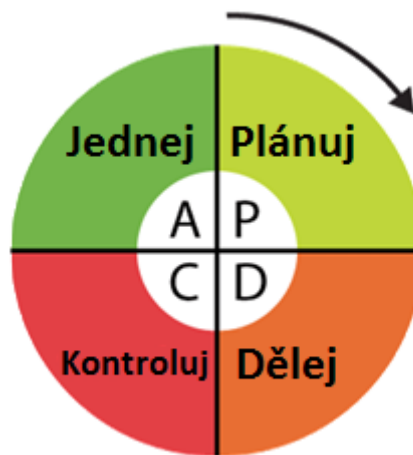
Ne všechna rizika se vždy podaří identifikovat a poté dojde k částečnému nebo celkovému selhání produktu. To se týká fází realizace a provozu. Po takovém to selhání musí následovat vyšetřování toho, co selhání způsobilo a identifikovat, tak rizika a zamezit jim. Další situací, která může nastat, je, že riziko již identifikováno bylo, avšak protiopatření nebylo dostatečně účinné a selhalo.

Diagram postupu vyšetřování je vidět na obr. 34, kdy každé vyšetřování začíná položením otázky, zda se incident už v minulosti vyskytl či nikoliv. V případě, že nikoliv je nutné zahájit proces vyšetřování, který je založen na podstatě PDCA cyklu, viz obrázek 35. Cyklus začíná výběrem metody vyšetřování incidentů, tento výběr záleží na podstatě a typu incidentu. Tento krok je zařazen pod P (P- plan - plánuj). Následně je zahájena analýza, která je v PDCA cyklu označována písmenem D (D- do - dělej). Zde je dosaženo určitých závěrů, které jsou ověřeny v další fázi PDCA cyklu a to fázi ověření označené písmenem C (C- Check - kontroluj). Jestliže je ve fázi ověření dosaženo přesvědčivých výsledků postupuje se do poslední fáze, fáze aplikace označované A (A- act - jednej). Podrobný popis PDCA je cyklu je uvádí zdroj [59]. Celý incident a jeho řešení je následně zaznamenáno v databázi Lessons Learned.



Obrázek 34: Diagram postupu vyšetřování.

V případě, že ten samý nebo podobný incident byl již zaznamenán, je třeba znovu ověřit opatření, které mělo incidentu zabránit, popřípadě znovu zahájit proces vyšetřování založený na PDCA cyklu jako v předchozím případě. Následně pak prověřit možnosti implementace nápravného opatření, zda je možné je použít už v nějaké z předchozích fází, než ve které se incident vyskytl.



Obrázek 35: PDCA cyklus [60].

Seznam nejvhodnějších metod pro vyšetřování incidentů je uveden v tabulce 13. Dále tabulka uvádí, zda se jedná o kvalitativní, kvantitativní či kombinovanou metodu. Pro jakou fázi životního cyklu je metoda vhodná a její charakter. Následně je zde uvedeno, zda se jedná o kombinaci metod a možnost aplikovatelnosti pouze jedním analytikem.

Tabulka 13: Seznam nejvhodnějších metod pro vyšetřování incidentů

Vyšetřovací analýzy	Kvantitativní	Kvalitativní	Vývoj	Realizace	Provoz	Charakter metody	Kombinace několika metod?	Může být aplikována jedním analytikem?
Fault Tree Analysis	✓	✓	✓	✓	✓	Podpůrná		✓
Event Tree Analysis	✓	✓	✓	✓	✓	Podpůrná		✓
Causes and Consequences Analysis	✓	✓	✓	✓	✓	Podpůrná	✓	✓
Current Reality Tree		✓		✓	✓	Podpůrná	✓	
Multiple Events Sequencing		✓		✓	✓	Podpůrná		
Sequentially Timed Events Plotting Procedure		✓		✓	✓	Podpůrná	✓	
Schematic Report Analysis Diagram		✓		✓	✓	Podpůrná		✓
Tripod Beta Analysis		✓		✓	✓	Vyšetřovací		
Root Cause Analysis		✓	✓	✓	✓	Podpůrná	✓	✓
Root Cause Failure Analysis		✓		✓	✓	Podpůrná	✓	✓
Events and Causal Factors Charting		✓		✓	✓	Podpůrná	✓	✓
Savannah River Plant Root Causes Analysis		✓		✓	✓	Podpůrná	✓	✓
TapRoot		✓		✓	✓	Vyšetřovací	✓	✓
Event Root Cause Analysis Procedure	✓	✓		✓	✓	Vyšetřovací	✓	✓
HSYS	✓	✓		✓	✓	Podpůrná	✓	
Assessment of Safety Significant Teams		✓	✓	✓	✓	Podpůrná	✓	✓
Safety Through Organisational Learning		✓	✓	✓	✓	Podpůrná		
Causal Tree Method	✓	✓		✓	✓	Vyšetřovací	✓	
Systematic Accident Cause Analysis	✓	✓	✓	✓	✓	Podpůrná	✓	✓
Systematic Cause Analysis Technique		✓	✓	✓	✓	Podpůrná	✓	✓
Six Sigma	✓	✓	✓	✓	✓	Vyšetřovací	✓	
Management Oversight and Risk Tree	✓	✓		✓	✓	Vyšetřovací	✓	
Technic of Operation		✓		✓	✓	Vyšetřovací	✓	
Change analysis		✓	✓	✓	✓	Podpůrná		✓

## 7. Případová studie

Pro ověření metodiky v praxi byla vypracována tato případová studie. Z důvodu obsáhlosti byla studie zkrácena pouze na reprezentativní příklady použití metodiky, nebyla proto identifikována všechna rizika. Pro tuto případovou studii byla jako produkt zvolena elektronická sestava, na které byla navrhovaná metodika ověřena. Jedná se o velmi jednoduchý příklad z pohledu technologie, aby metodika byla v případové studii co nejlépe vysvětlena.

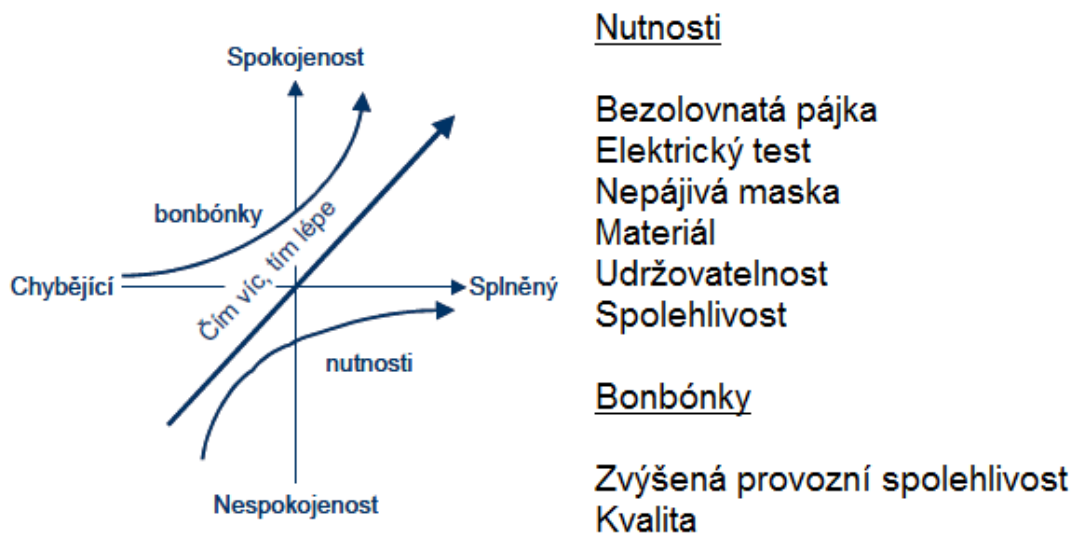
### 7.1 Fáze koncepce

Zákazník se vyjádřil, že by si přál spolehlivý pájený spoj, který by byl dobře přístupný údržbě a aby pro spojení vývodů součástek s vodivými cestami byla použita bezolovnatá pájka.

Jedná se o dvouvrstvou desku plošných spojů s pokovenými otvory o tloušťce 1,55 mm plátovaný mědí 18  $\mu\text{m}$ . Motiv desky plošného spoje je definovaný a dodaný zákazníkem. Z těchto dat je vykreslena filmová matrice, která slouží pro zkopírování motivu na výrobní přířez. Na výsledné desce je vodivý motiv vytvořen metodou pokovení vodivého obrazce cínem s následným leptáním. Tolerance průměru pájecích plošek a šířky spojů byly určeny  $\pm 0,05$  mm pro spoje o šířce  $\geq 0,2$  mm a  $< 0,3$  mm. Deska plošného spoje má být opatřena nepájivou maskou. Je použita světlocitlivá nepájivá suchá maska zpracovávaná fotoprocесem, která se nanáší na desku. Přesah nepájivé masky na SMT plošku je maximálně 0,05 mm. Na desce plošného spoje jsou povoleny opravy masky, nejvýše 3 opravy na 1  $\text{dm}^2$ . Jako nástroj pro dělení bylo zvoleno dělení drážkováním. Přípustné zakřivení je stanoveno na 1,5%, vztaženo k úhlopříčce desky. Desky mají být elektricky otestovány s parametry testu: izolační odpor 10M $\Omega$ , odpor vodivé cesty 10 $\Omega$ .

Zákazník definoval své požadavky s parametry a způsob výroby produktu. Nyní je možné sestavit Kano model, viz obr. 36, ze kterého bude možné identifikovat potřeby pro maximální zákaznickou spokojenost. Některé požadavky je nutné splnit (nutnosti), za každou cenu (bezolovnatá pájka, elektrický test,...), aby byl zákaznický požadavek splněn. Ty se nacházejí především v dolní části diagramu. Na druhé straně pokud chceme vylepšit image výrobku či společnosti v očích zákazníka, tak je dobré zahrnout do modelu i tzv. bonbónky, které se nachází v horní části Kano modelu, v tomto případě to je např. zvýšená provozní spolehlivost.



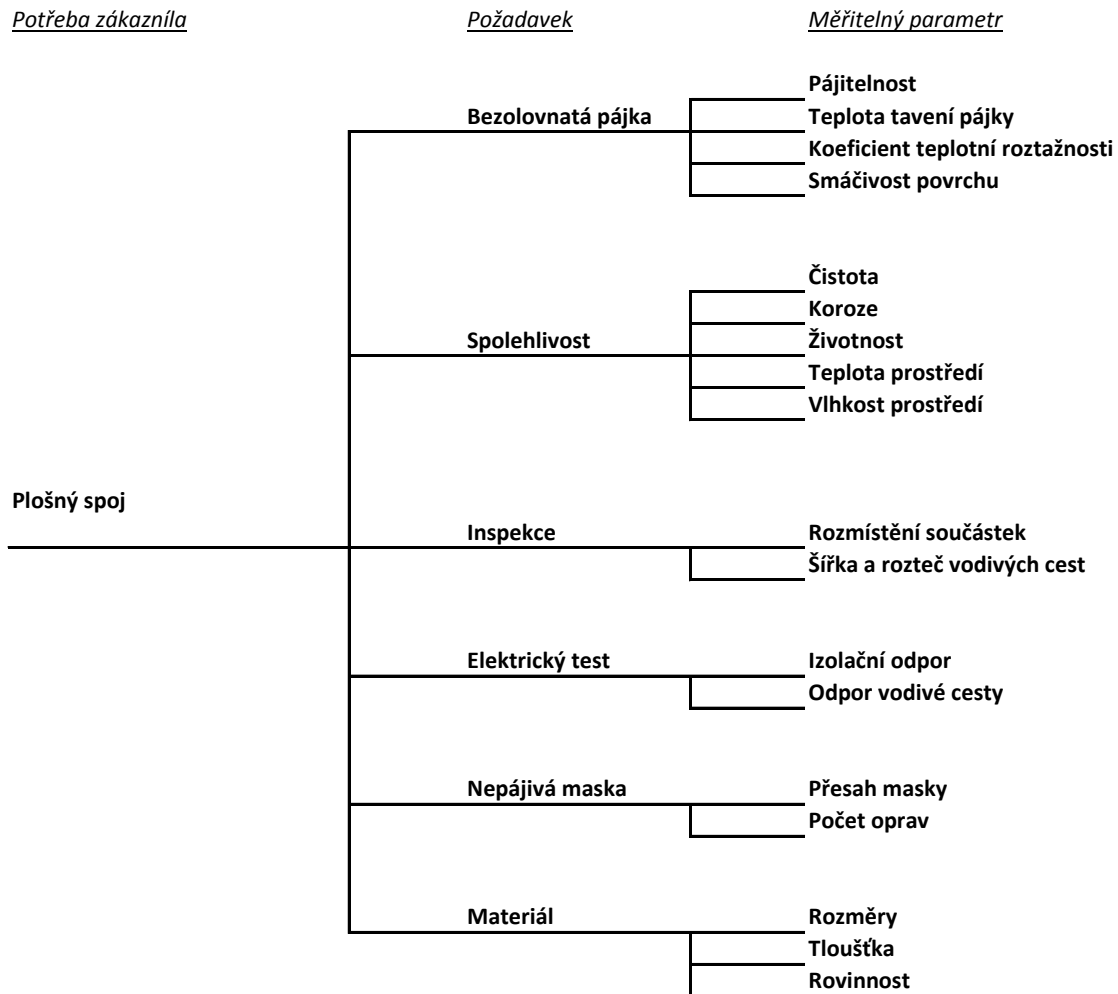


Obrázek 36: Kano model.

Všechny potřeby a parametry jsou následně převedeny na parametry kritické pro zákazníka a kvalitu. Výsledkem CTQ analýzy budou měřitelné parametry, které budou vstupy pro metodu Delphi. Na obrázku 37 je zobrazena Voice of Customer a CTQ analýza. V prvním sloupci je uvedena potřeba zákazníka, což je v tomto případě deska plošných spojů. V dalším sloupci diagramu jsou uvedeny zákaznické požadavky, tedy nutnosti z Kano modelu (bezolovnatá pájka, el. test,...), kde je možné i připojit tzv. bonbónky a pokusit se např. zvýšit provozní spolehlivost produktu. Poslední sloupec zobrazuje možné měřitelné parametry jednotlivých požadavků, jako například u elektrického testu je izolační odpor či odpor elektrických cest. Když jsou všechny měřitelné parametry vypsány, tak je možné přistoupit k brainstormingu či metodě Delphi.

### Critical To Quality (CTQ) a hlas zákazníka

Brainstormingem či jinou metodou jsou sestaveny otázky vycházející z výstupů CTQ analýzy a odeslány vybraným osobám, ty mohou být ještě vyzváni k doplnění otázek. Odpovědi na otázky jsou poté vyhodnoceny a jejich analýza je poslána zpět vybraným osobám k vyjádření. Zde je nutné požádat o vyhodnocení problémů, zda mohou být některé považovány za naléhavé. Osoby mohou své odpovědi ještě upravit, případně doplnit. Odpovědi jsou poslány zpět a statisticky vyhodnoceny a výsledky jsou expertům představeny. U statisticky odlehklých hodnot je třeba žádat o vysvětlení. Takto identifikovaná rizika jsou vstupem do první fáze životního cyklu výrobku. Typicky bývá využito fráze začínající: Co když?.



Obrázek 37: Voice of Customer a CTQ analýza.

Z důvodu rozsahu a množství otázek jsou ukázány pouze typy otázek, které byly použity:

- Co když bude zvolen nevhodný tepelný pájecí profil?
- Co když teplota tavení pájky bude příliš vysoká?
- Co když bude příliš nízká teplota tavení?
- Co může být za důvody pro opravu nepájivé masky?
- Co když bude měď nanesena nerovnoměrně na substrátu?
- .....

Po vyhodnocení otázek byla identifikována rizika pro první fázi, která jsou uvedena v tabulce 14. Rizika byla nejprve označena číslem (Položka), následně byla vypsaná rizika s jejich popisem a nakonec do jaké kategorie dané riziko patří (Zdroje, Technologie, Proces..). V další části analýzy budou tato rizika vyhodnocena.

**Tabulka 14: Identifikovaná rizika pro první fázi.**

<b>Položka</b>	<b>Riziko</b>	<b>Popis</b>	<b>Kategorie</b>
1	Špatně zvolený teplotní profil pájky s ohledem na desku	Může dojít k ohybu desky z důvodu nadměrného tepelného namáhání	Zdroje
2	Špatně zvolený teplotní profil pájky s ohledem na součástky	Může být překročena hranice odolnosti součástek	Zdroje
3	Kontaminace, nečistoty na rozhraní s deskou DPS	Může zhoršit vodivé vlastnosti, případné krátké spojení spoje	Zdroje, Lidé, Technologie
4	Tombstone efekt	Teplotní nerovnováha pájecí plošky	Zdroje
5	Opravy na nepájivé masce	Vady, nepřesnosti a přesahy na vodících cestách	Zdroje, Lidé, Technologie
6	Nerovnoměrně nanesená měď na substrátu	Nerovnoměrné teplotní a vodivé podmínky na substrátu	Zdroje
7	Nerovnoměrné smrštění materiálu při chlazení	Může způsobit rozměrovou odchylku	Zdroje
8	Příliš velké tolerance šablony	Může způsobit vychýlení či nevyrovnanost součástek	Zdroje
9	Rozmístění součástek	Nevhodné rozmístění součástek může způsobit špatnou udržovatelnost	Lidé
10	Rozmístění součástek	Nevhodné rozmístění součástek může způsobit nemožnost inspekce	Lidé
11	Špatná smáčivost DPS či vývodů součástek	Snížená spolehlivost pájeného spoje	Zdroje
...	.....	....	....

V případě, že je k dispozici Lessons Learned databáze, tak je vhodné ji prohledat a přidat další rizika, která byla identifikována u jiných podobných projektů a zařadit je do seznamu rizik našeho produktu, viz tabulka 15.

**Tabulka 15: Lessons Learned databáze.**

<b>Projekt</b>	<b>Problém</b>	<b>Dopad</b>	<b>Řešení</b>
XY01 Deska plošné spoje	Nevhodně zvolená nepájivá maska	Zvolena lesklá nepájivá maska, která má nízkou povrchovou energii	Změna na matnou masku, která zvýšila povrchovou energii k udržení tavidla mimo masku
XY02 Deska plošného spoje	Příliš široké vodivé cesty	Nevyhovění EMC standardům	Nový návrh obvodu
....	....	....	....

Po doplnění seznamu rizik pro fázi konce vznikl kompletní seznam rizik, který bude v průběhu životního cyklu postupně v každé fázi doplněn o nově identifikovaná rizika či redukován o zvládnutá rizika. Pracovní list je uveden v tabulce 18. V první části tabulky jsou již identifikovaná rizika, následuje analýza rizika, rozhodnutí a případné zvládnutí rizika. Pro jednotlivá rizika je následně spočítáno rizikové číslo a je rozhodnuto o dalším postupu s rizikem. Pro jednotlivá rizika je poté spočítáno rizikové číslo. Postup s příkladem výpočtu je uveden níže:

### Výpočet rizikového čísla

Jako příklad výpočtu bylo použito riziko číslo 1 - *Špatně zvolený teplotní profil pájky s ohledem na desku*, kdy může dojít k ohybu desky z důvodu nadměrného tepelného namáhání. Po identifikaci rizika, je určena jeho hodnota a priorita zvládnutí. Hodnota rizika je určena ze vztahu 7, kde hodnoty pro index dopadu a pravděpodobnosti jsou uvedeny níže:

$$R = \sqrt{R_I^2 + R_P^2}$$

### Určení indexu dopadu

Zde bylo nejprve nezbytné určit úroveň dopadu  $\mu_I$ , kde byl dopad vyhodnocen, jako vážný a může tedy dojít k zásadnímu omezení funkčnosti či zákaznických požadavků a ohodnocen úrovní 4, viz tabulka 16. Minimální hodnota *min* v tabulce je 1.  $R_{FI}$  je počet úrovní mínus 1, tedy počet úrovní je 5, proto  $R_{FI} = 4$ . Hodnoty jsou dosazeny do vztahu 9.

$$R_I = \frac{\mu_I - \text{min}}{R_{FI}}$$

$$R_I = \frac{4 - 1}{4}$$

$$R_I = 0,75$$

**Tabulka 16: Tabulka pro určení dopadu.**

Úroveň ( $\mu_I$ )	Popis	Kritéria
5	Kritický	Funkce produktu zcela omezena
4	Vážný	Zásadní omezení funkčnosti
3	Významný	Omezení funkčnosti
2	Malý	Nemá zásadní vliv na funkčnost
1	Zanedbatelný	Nemá vliv na funkčnost

### Určení indexu pravděpodobnosti

I zde je zcela zásadní věcí určení úrovně pravděpodobnosti  $\mu_p$ , viz tabulka 17. V tomto případě byla zvolena úroveň 3 a to na základě expertního odhadu, jelikož nebyla k dispozici žádná historická data. Minimální hodnota *min* je v tabulce rovna 1 a stejně jako v případě určení indexu dopadu je hodnota  $R_{FP}$  rovna 4. Hodnoty jsou dosazeny do vztahu 8.

$$R_p = \frac{\mu_p - \min}{R_{FP}}$$

$$R_p = \frac{3 - 1}{4}$$

$$R_p = 0,5$$

**Tabulka 17: Tabulka pro určení pravděpodobnosti.**

Úroveň ( $\mu_p$ )	Popis	Pravděpodobnost
5	Velmi pravděpodobné	1 – 0,1
4	Pravděpodobné	0,1 – 0,01
3	Možné	0,01 – 0,001
2	Neppravděpodobný	0,001 – 0,0001
1	Velmi neppravděpodobný	méně než 0,0001

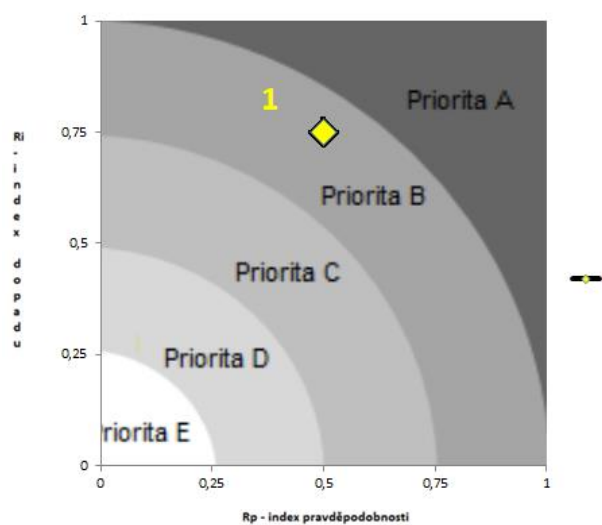
Hodnoty  $R_I$  a  $R_p$  jsou dosazeny do vztahu a následně je spočítáno rizikové číslo tohoto rizika. Podle této hodnoty nebo odečtením z diagramu basebalového hřiště je určena priorita pro zvládnání rizika.

$$R = \sqrt{R_I^2 + R_P^2}$$

$$R = \sqrt{0,75^2 + 0,5^2}$$

$$R = 0,9$$

V případě, že už je známa hodnota rizika číslo 1, tak je určena priorita zvládnání či akceptace. Zde byla v z diagramu na obrázku 38 odečtena priorita B, tedy riziko s vysokou prioritou pro zvládnání. Jelikož riziko bylo identifikováno již ve fázi koncepcie a není ho možné zvládat okamžitě, bude převedeno do další fáze životního cyklu produktu, do fáze návrhu, kde bude vstupujícím rizikem.



Obrázek 38: Diagram zobrazující prioritu B.

Stejný postup pro určení hodnoty rizika byl použit pro všechna rizika identifikovaná v této fázi, jak uvádí tabulka 18. Pro některá rizika je možné zavést protipatření již v úvodní fázi. Pro ně platí následující proces, kdy je riziko zvládáno v této fázi. Rizika, která v této fázi nemohou být zvládnána, jsou přenesena.

### Zbytkové riziko

Některá rizika, jak již bylo zmíněno výše, je možné zvládat v této fázi. Nejlépe se v této fázi zvládají rizika, která byla přidána z Lessons Learned databáze, kdy je možné rovnou použít protipatření, které bylo úspěšně implementováno u předchozích projektů. V této studii je možné okamžitě zvládat riziko: *Nevhodně zvolená nepájivá maska*, zde víme, jaká maska byla použita a s jakým výsledkem, tudíž zde se rozhodneme pro zvládnání v této fázi, ačkoliv priorita tohoto rizika je nízká (E) a protipatření není pro toto riziko vyžadováno.

Tabulka 18: Pracovní tabulka pro řízení rizik ve fázi koncepce.

Poř. číslo	Identifikace rizika				Analýza						Rozhodnutí				Zvládnutí rizika				Přeneseno do další fáze
	Riziko	Popis	Kategorie	Možné vidět v této fázi	Úroveň pravděpodobnosti (úp)	Index dopadu (ú)	Hodnota rizika - R	Priorita	Akceptováno	Prototypování	Zbytkové riziko	Úroveň pravděpodobnosti (úp)	Index dopadu (ú)	Hodnota rizika	Priorita	Index pravděpodobnosti Rp	Index dopadu Ri	Hodnota rizika	
1	Špatně zvolený/teploní profil pejlky s ohledem na desku	Může dojít k koloběhu desky z důvodu nadměrného tepelného namáhání	Zdroje	NE	3	4	0,5	0,75	0,90	B	NE	3	4	0,5	0,75	0,90	0,50	B	ANO
2	Špatně zvolený/teploní profil pejlky s ohledem na součástky	Může být přehřátá hranice odolnosti součástek	Zdroje	NE	3	5	0,5	1	1,12	A	NE	3	5	0,5	1	1,12	0,56	A	ANO
3	Kontaminace, nečistoty na rozhraní s deskou DPS	Může zhoršit vodivost, těsností případně katódě spojení spoje	Zdroje: Lidé, Technologie	NE	3	2	0,5	0,25	0,56	C	NE	3	2	0,5	0,25	0,56	0,56	C	ANO
4	Tombstone efekt	Teploní nerovnoměrná pájecí plošky	Zdroje	NE	2	3	0,25	0,5	0,56	C	NE	2	3	0,25	0,5	0,56	0,56	C	ANO
5	Opavky na nepřijímavé masce	Vady, nepřesnost a přesahy na vodičích cestkách	Zdroje: Lidé, Technologie	NE	2	3	0,25	0,5	0,56	C	NE	2	3	0,25	0,5	0,56	0,56	C	ANO
6	Nerovnoměrné nanesení mědi na substrátu	Nerovnoměrné tepelné a vodivé podmínky na substrátu	Zdroje	NE	1	4	0	0,75	0,75	C	NE	1	4	0	0,75	0,75	0,75	C	ANO
7	Nerovnoměrné smíslení materiálu při chlazení	Může způsobit rozměrovou odchylku	Zdroje	ANO	2	3	0,25	0,5	0,56	C	NE	2	3	0,25	0,5	0,56	0,56	C	NE
8	PHES velké točence sáhlony	Může způsobit vyvýšení či nevyrovnanost s součástek	Zdroje	NE	1	3	0	0,5	0,50	D	ANO	1	3	0	0,5	0,50	0,50	D	ANO
9	Rozmíslení součástek	Nevhodné rozmístění součástek může způsobit špatnou udržovatelnost	Lidé	NE	2	2	0,25	0,25	0,35	D	ANO	2	2	0,25	0,25	0,35	0,35	D	ANO
10	Rozmíslení součástek	Nevhodné rozmístění součástek může způsobit nemožnost inspekcce	Lidé	NE	2	2	0,25	0,25	0,35	D	ANO	2	2	0,25	0,25	0,35	0,35	D	ANO
11	Špatná směšivost DPS či vývodu součástek	Snížená spolehlivost pájeného spoje	Zdroje	NE	2	3	0,25	0,5	0,56	C	NE	2	3	0,25	0,5	0,56	0,56	C	ANO
12	Nevhodně zvolená nepájecí maska	Zvolena teplota nepájecí maska, která má nízkou porcovou energii	Lidé	ANO	1	2	0	0,25	0,25	E	ANO	1	2	0	0,25	0,25	0,25	E	NE
13	Příliš široké vodivé cesty	Nevyhovnění EMC standardům	Lidé, Technologie	NE	2	4	0,25	0,75	0,79	B	NE	2	4	0,25	0,75	0,79	0,79	B	ANO

## 7.2 Fáze návrhu

Prvním vstupem rizik, který do fáze návrhu přichází, jsou identifikovaná a přenesená rizika z předchozí fáze uvedená v tabulce 18. Dále bude zkontrolována Lessons Learned databáze a proběhne identifikace dalších rizik vznikajících ve fázi návrhu. Také budou identifikována rizika spojená s likvidací a údržbou produktu, jelikož i podle nich se bude odvíjet návrh produktu.

### Rizika z předchozí fáze

V tabulce 19 jsou rizika vstupující do fáze návrhu z fáze koncepce, která nebylo možné zvládat v předchozí fázi, a také sem vstupují rizika s prioritou D, kde nebyla vyžadována žádná protipatření. Tato rizika budou znovu vyhodnocena.

**Tabulka 19: Rizika vstupující do fáze návrhu z fáze koncepce.**

Položka	Riziko	Popis	Zdroje
1	Špatně zvolený teplotní profil pájky s ohledem na desku	Může dojít k ohybu desky z důvodu nadměrného tepelného namáhání	Zdroje
2	Špatně zvolený teplotní profil pájky s ohledem na součástky	Může být překročena hranice odolnosti součástek	Zdroje
3	Kontaminace, nečistoty na rozhraní s deskou DPS	Může zhoršit vodivé vlastnosti, případné krátké spojení spoje	Zdroje, Lidé, Technologie
4	Tombstone efekt	Teplotní nerovnováha pájecí plošky	Zdroje, proces, technologie
5	Opravy na nepájivé masce	Vady, nepřesnosti a přesahy na vodičích cestách	Zdroje, Lidé, Technologie, Proces
6	Nerovnoměrně nanesená měď na substrátu	Nerovnoměrné tepelné a vodivé podmínky na substrátu	Zdroje, Proces, Technologie
8	Příliš velké tolerance šablony	Může způsobit vychýlení či nevyrovnanost součástek	Zdroje
9	Rozmístění součástek	Nevhodné rozmístění součástek může způsobit špatnou udržovatelnost	Lidé
10	Rozmístění součástek	Nevhodné rozmístění součástek může způsobit nemožnost inspekce	Lidé
11	Špatná smáčivost DPS či vývodů součástek	Snížená spolehlivost pájeného spoje	Zdroje
13	Příliš široké vodivé cesty	Nevyhovnění standardům EMC	Lidé, Technologie



## Rizika identifikovaná ve fázi návrhu

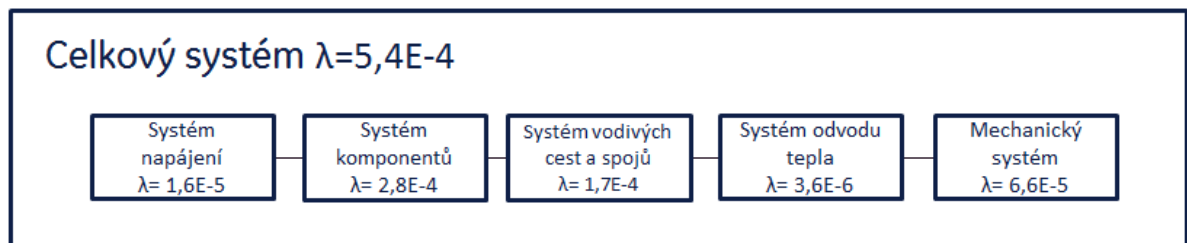
Na začátku každé fáze se vždy znovu provede, tak jako na začátku Hlas zákazníka a CTQ analýza a formulované otázky se znovu předají expertnímu týmu k vyhodnocení a případně jsou identifikovaná nová rizika.

### Identifikovaná rizika:

- Nízká vnitřní a povrchová rezistivita
- Rozměrová nestabilita mechanickým namáháním

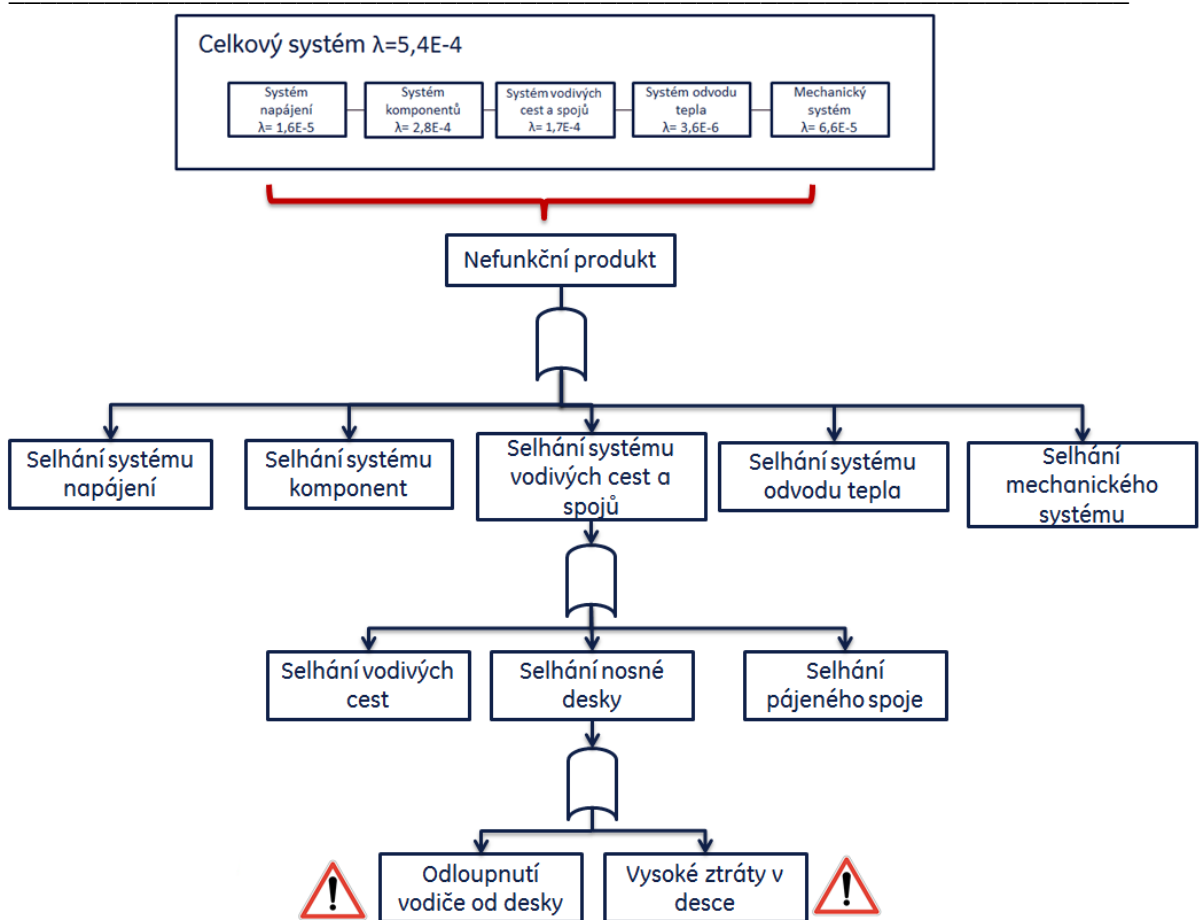
## Blokový diagram spolehlivosti

Vhodným způsobem, jak identifikovat další rizika fáze návrhu je tzv. blokový diagram spolehlivosti, který lépe nastíní analytikovi to, jak bude celý systém vypadat a z jakých jednotlivých systémů se bude skládat. Na základě předchozí zkušenosti a kusovníku byl sestaven blokový diagram systému, jak je vidět na obrázku 39. Jednotlivé systémy jsou označeny intenzitou poruch  $\lambda$ . Selhání jakéhokoliv z těchto systémů, by mělo za následek selhání celého systému. V tomto případě je proto vhodné převést blokový diagram spolehlivosti na strom poruch.



Obrázek 39: Blokový diagram systému.

Jak je zobrazeno na obrázku 40, rozkladem jednotlivých systému na podsystémy, případně komponenty a příčiny jejich jednotlivých selhání, může pomoci identifikovat možné riziko. V tomto případě byla ze stromu identifikována dvě rizika, a to odloupení vodiče od desky a vysoké ztráty v desce. Všechna rizika, která blokový diagram spolehlivosti a následný strom poruch identifikoval, jsou zaznamenána do tabulky pro další vyhodnocení. Pro kompletní identifikaci je nezbytné rozložit všechny větve veškerých systémů.



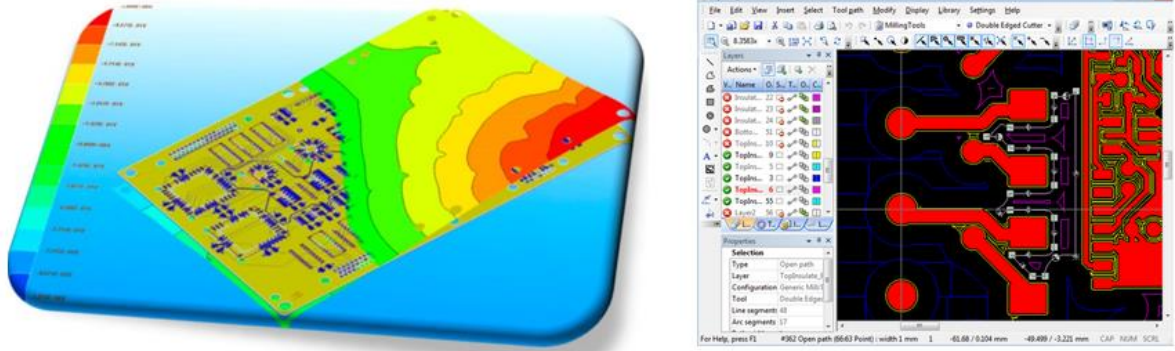
Obrázek 40: Rozklad jedné větve vybraného systému – strom poruch.

### Simulace (CAD, CAE, CAPE)

Počítačový návrh prototypu je nedílnou součástí každého nového produktu. Zde je možné nasimulovat a otestovat elektrické, mechanické, tepelné a chemické vlastnosti elektrických obvodů. Z následné simulace jednotlivých vlastností při předpokládaném využití je možné určit nejrůznější rizika a následným protiopatřením změnit návrh produktu. Příklad použitých softwarových nástrojů pro simulaci při identifikaci rizik je na obrázku 41.

#### Identifikovaná rizika:

- Vysoká tepelná roztažnost desky
- Vysoká hořlavost desky
- Malá mez pevnosti v ohybu
- Rozměrová nestabilita výběrem komponent



Obrázek 41: Softwarové nástroje pro simulaci při identifikaci rizik [61].

## Likvidace

Již ve fázi návrhu je nezbytné uvažovat konec životního cyklu výrobku, jenž přináší další rizika spojená s jeho likvidací. Je nutné zvážit environmentální a bezpečnostní rizika a materiálové složení produktu pro jeho pozdější zacházení v souladu se standardy. Pro návrh tohoto produktu bylo nezbytné splnění požadavků standardů The Waste Electrical and Electronic Equipment Directive (WEEE) a The Restriction of Hazardous Substances Directive 2002/95/EC (RoHS) o nebezpečných materiálech.

### Identifikovaná rizika:

- Použité materiály nevyhovující ekologickým standardům

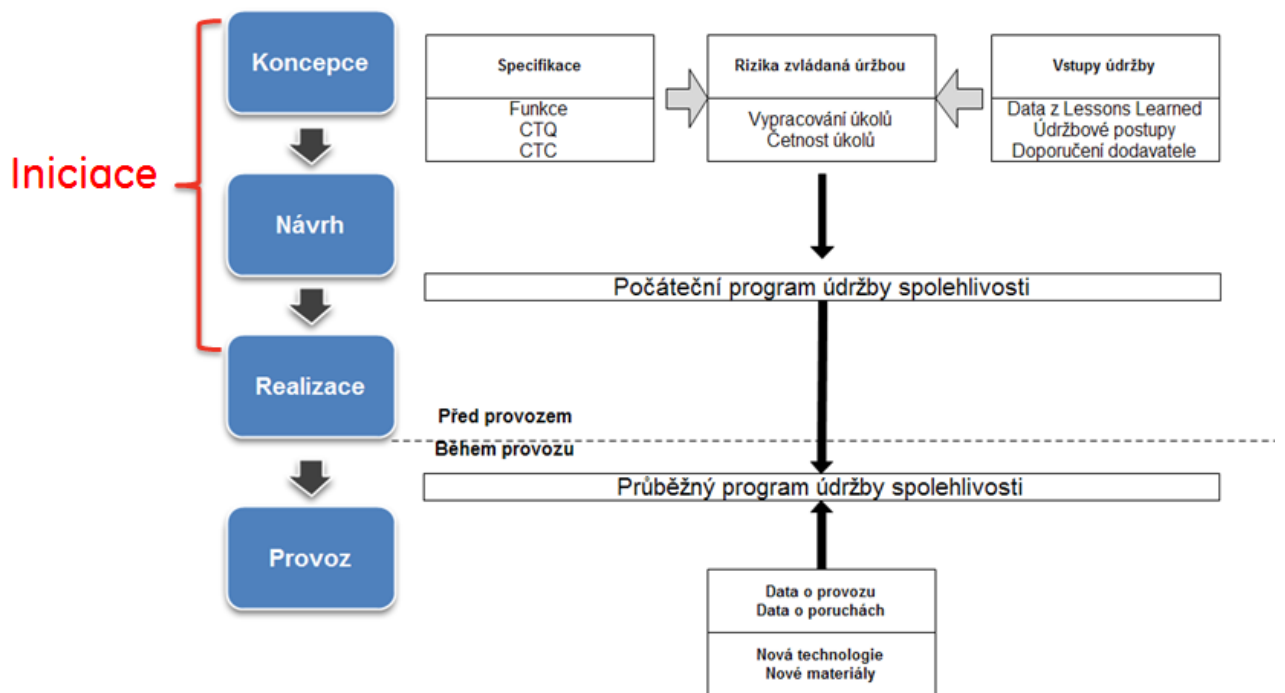
## Bezporuchovost

Při iniciaci počátečních plánů bezporuchovosti je vhodné využít blokových diagramů spolehlivosti, kde je produkt rozložen na jednotlivé subsystémy a komponenty. To se dá získat i z kusovníku produktu. Následně je zpracován seznam komponent, které budou předmětem údržby. V tabulce 20 je vytvořen počáteční návrh programu údržby. V prvních dvou sloupcích je uvedeno o jaký komponent či subsystém se jedná. V následujících jsou pak popsána možná selhání a jejich následky. Střední doba do poruchy by měla být dodána dodavatelem jednotlivých komponent, ten by měl i doporučit údržbové kroky a jejich četnost pokud je možné.

Tabulka 20: Počáteční návrh programu údržby.

Subsystem	Komponenta	Selhání	Následek	Střední doba do poruchy	Údržbové úkoly	Četnost	Za provozu
Vodivých cest a spojů	Pájený spoj	Koroze (zbytky po pájení)	Snížená vodivost, zkrat	10000 h	Užití spreje na čištění spojů s vysokým rozpouštěcím účinkem	1x za rok	Ne
		Znečištění desky	Snížená vodivost/ možnost zkratu	20000h	Užití spreje na čištění spojů	1x za rok	Ne
.....	....	....	.....	....	.....	....	.....

Jak je vidět na obr. 42 takto se stanovuje počáteční program údržby, ještě před tím, než je produkt uveden v provoz a jsou získána provozní data a znalosti. Tento druh údržby se považuje za plánovanou.



Obrázek 42: Počáteční program údržby.

Identifikovaná rizika:

- Koroze

### Výpočet rizikového čísla

Jako příklad výpočtu bylo použito riziko číslo 3 - *Kontaminace, nečistoty na desce plošných spojů*, které mohou zhoršit vodivé vlastnosti a případně způsobit krátké spojení. Po identifikaci rizika, je určena jeho hodnota a priorita zvládnutí. Hodnota rizika je určena ze vztahu 7, kde hodnoty pro index dopadu a pravděpodobnosti jsou uvedeny níže:

$$R = \sqrt{R_I^2 + R_P^2}$$

### Určení indexu dopadu

Úroveň dopadu  $\mu_I$  byla vyhodnocena, jako významná, kdy může dojít k omezení funkčnosti či zákaznických požadavků a ohodnocena expertním odhadem úrovní 3, viz tabulka 16. Minimální hodnota *min* v tabulce je 1.  $R_{FI}$  je počet úrovní mínus 1, tedy počet úrovní je 5, proto  $R_{FI} = 4$ . Hodnoty jsou dosazeny do vztahu 9.

$$R_I = \frac{\mu_I - \text{min}}{R_{FI}}$$

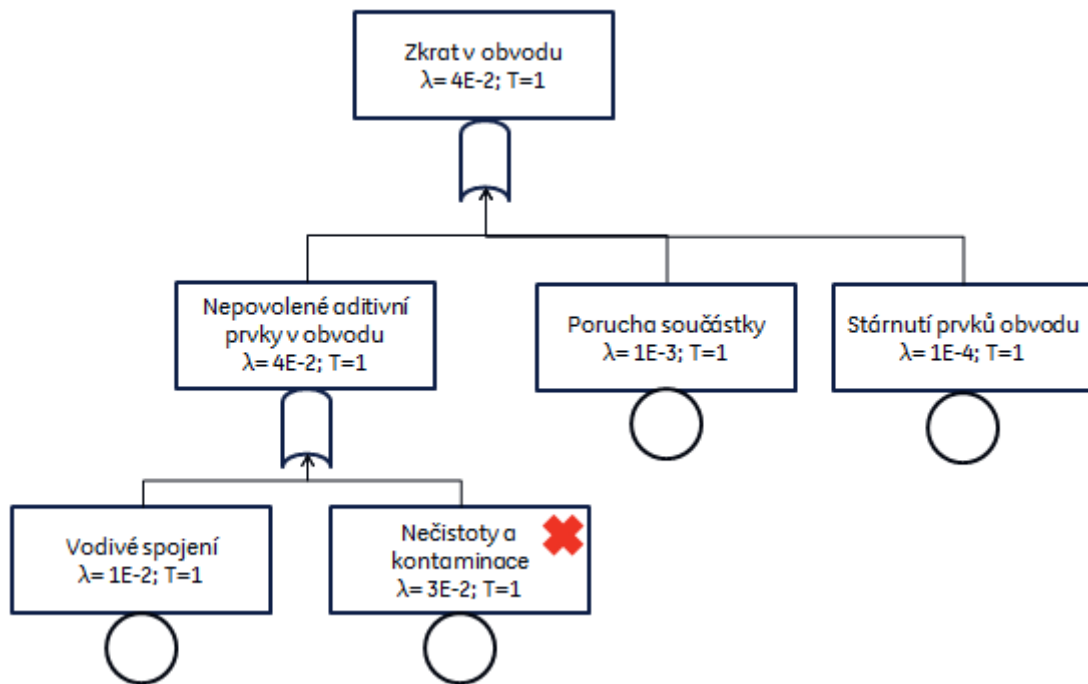
$$R_I = \frac{3 - 1}{4}$$

$$R_I = 0,50$$

### Určení indexu pravděpodobnosti

Pro určení pravděpodobnosti zde bylo využito pravděpodobnostního stromu. Tento strom je běžně využíván pro spolehlivostní výpočty a uložen v Lesson Learned databázi.

Strom poruch – Fault Tree Analysis



Obrázek 43: Strom poruch (FTA).

Ve stromu poruch (FTA) na obrázku 43 byla nalezena pravděpodobnost tohoto rizika jako  $3E-2$ , podle tabulky 17 tato pravděpodobnosti odpovídá úrovni 3. Tudíž tato pravděpodobnost byla dosazena do rovnice pro výpočet indexu pravděpodobnosti. Minimální hodnota *min* v tabulce je rovna 1 a stejně jako v případě určení indexu dopadu je hodnota  $R_{FP}$  rovna 4.

$$R_p = \frac{\mu_p - min}{R_{FP}}$$

$$R_p = \frac{3 - 1}{4}$$

$$R_p = 0,5$$

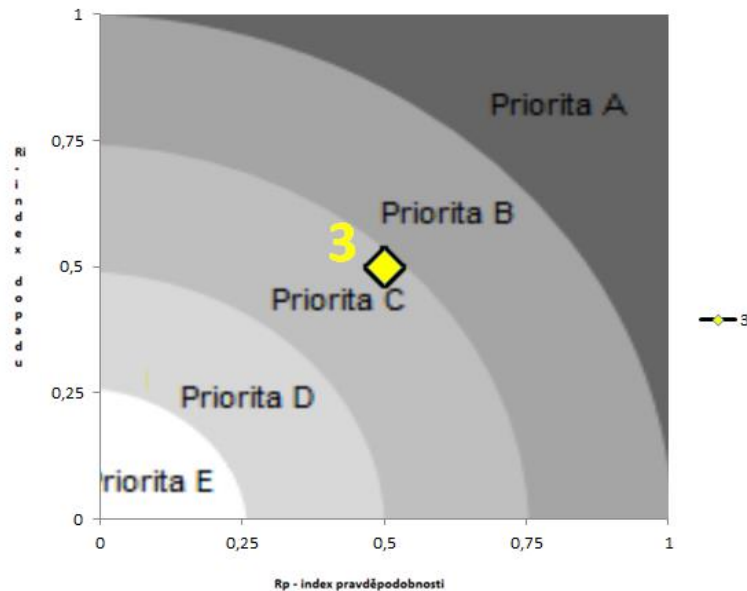
Hodnoty  $R_I$  a  $R_p$  jsou dosazeny do vztahu a následně je spočítáno rizikové číslo tohoto rizika. Podle této hodnoty nebo odečtením z diagramu basebalového hřiště je určena priorita pro zvládání rizika.

$$R = \sqrt{R_I^2 + R_p^2}$$

$$R = \sqrt{0,5^2 + 0,5^2}$$

$$R = 0,71$$

Určením priority rizika číslo 3 z diagramu je vyvozen další postup - zvládnání či akceptace. Zde byla v z diagramu na obrázku 44 odečtena priorita C, tedy riziko se střední prioritou pro zvládnání. Riziko bylo identifikováno již ve fázi koncepce a nyní je možné ho zvládat.



Obrázek 44: Diagram zobrazující prioritu C.

Stejný postup pro určení hodnoty rizika byl použit pro všechna rizika identifikovaná v této fázi, jak uvádí tabulka 21. Pro zvládané riziko je vyžadován návrh protiopatření a následné ověření.

### Zbytkové riziko

*Riziko č. 3 - Kontaminace, nečistoty na rozhraní s deskou DPS, zde bylo aplikováno protiopatření - Použití vhodného tavidla. Protiopatření bylo následně aplikováno a ověřeno.*

### Výpočet zbytkového rizikového čísla

Pro výpočet zbytkového rizika je využito stejného postupu, jako při výpočtu rizikového čísla, viz rovnice 7.

$$RZ = \sqrt{R_{Iz}^2 + R_{Pz}^2}$$

### Určení indexu dopadu

Aplikace nového tavidla sníží úroveň dopadu na malou (úroveň 2), viz tabulka 16. Minimální hodnota  $min$  v tabulce je 1.  $R_{FI}$  je počet úrovní mínus 1, tedy počet úrovní je 5, proto  $R_{FI} = 4$ . Hodnoty jsou dosazeny do vztahu 9.

$$R_{Iz} = \frac{\mu_I - min}{R_{FI}}$$

$$R_{Iz} = \frac{2 - 1}{4}$$

$$R_{Iz} = 0,25$$

### Určení indexu pravděpodobnosti

Po aplikaci nápravného opatření byla úroveň pravděpodobnosti  $\mu_p$  snížena na úroveň 2 (nepravděpodobná), viz tabulka 17. Minimální hodnota  $min$  v tabulce je rovna 1 a stejně jako v případě určení indexu dopadu je hodnota  $R_{FP}$  rovna 4. Hodnoty jsou dosazeny do vztahu 8.

$$R_{Pz} = \frac{\mu_p - min}{R_{FP}}$$

$$R_{Pz} = \frac{2 - 1}{4}$$

$$R_{Pz} = 0,25$$

Hodnoty  $R_{Iz}$  a  $R_{Pz}$  jsou dosazeny do vztahu a je spočítáno zbytkové rizikové číslo tohoto rizika. Podle této hodnoty nebo odečtením z diagramu basebalového hřiště je určena priorita pro zvládnání zbytkového rizika.

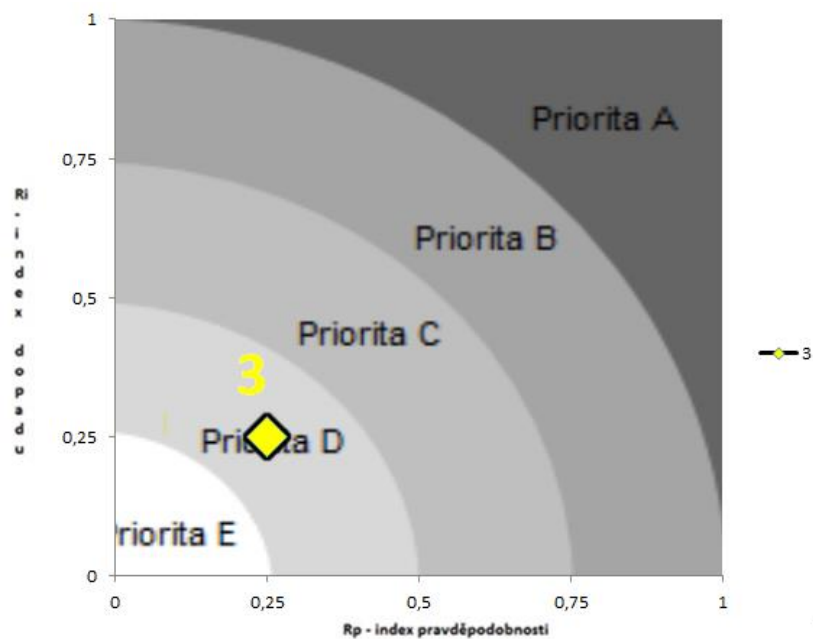
$$Rz = \sqrt{R_{Iz}^2 + R_{Pz}^2}$$

$$Rz = \sqrt{0,25^2 + 0,25^2}$$

$$Rz = 0,35$$

Navrženým protiopatřením byla snížena hodnota rizika a jeho priorita zvládnání na úroveň D, viz obrázek 45. Riziko již nevyžaduje žádné další protiopatření, ale bude převedeno do další fáze životního cyklu výrobku z důvodu možného zvýšení rizikového čísla v příští fázi.





Obrázek 45: Diagram zobrazující prioritu D.

Stejný postup pro určení hodnoty zbytkového rizika byl použit pro všechna rizika identifikovaná v této fázi, jak uvádí tabulka 21.

Tabulka 21: Pracovní tabulka pro řízení rizik ve fázi návrhu.

Položka	Identifikace rizika				Analýza				Zvládnutí rizika				Přeneseno do další fáze						
	Riziko	Popis	Kategorie	Možné zvládnutí v této fázi	Úroveň pravděpodobnosti (lp)	Úroveň dopadu (uj)	Index pravděpodobnosti Ri	Hodnota a rizika - R	Priorita	Akceptovat no	Protopatření	Zbýtkové riziko		Úroveň pravděpodobnosti (lp)	Úroveň dopadu (uj)	Index pravděpodobnosti Ri	Hodnota rizika	Priorita	
1	Špatně zvolená tepelná profíl pájky s ohledem na desku	Může dojít k ohybu desky z důvodu nadměrného tepelného namáhání	Zdroje	ANO	3	4	0,5	0,90	B	NE	Simulace a testování	NE	1	1	0	0,00	E	NE	
2	Špatně zvolená tepelná profíl pájky s ohledem na součástky	Může být překročena hranice odolnosti součástek	Zdroje	ANO	3	5	0,5	1,12	A	NE	Simulace a testování	NE	1	1	0	0,00	E	NE	
3	Kontaminace, nečistoty na rozhraní s deskou DPS	Může zhoršit vodivé vlastnosti případně krátké spojení spoje	Zdroje, Lidé, Technologie	ANO	3	3	0,5	0,71	C	NE	Použití vhodného tavidla	ANO	2	2	0,25	0,35	D	ANO	
4	Tomstone efekt	Tepelná nerovnováha pájecí plošky	Zdroje, proces, technologie	ANO	2	3	0,25	0,56	C	NE	Simulace a testování pájitelnosti komponentu a substrátu	NE	1	2	0	0,25	E	NE	
5	Opravy na nepájecí masce	Vady, nepřesnosti a přesahy na vodičích cestách	Zdroje, Lidé, Technologie, Process	ANO	2	3	0,25	0,56	C	NE	Příprava a volba vhodného procesu	NE	2	1	0,25	0,25	E	NE	
6	Nerovnoměrně nanášená měď na substrátu	Nerovnoměrně teplené a vodivé podmičky na substrátu	Zdroje, Proces, Technologie	ANO	1	4	0	0,75	C	NE	Příprava a volba vhodného procesu	NE	1	2	0	0,25	E	NE	
8	Příliš velké tolerance šablony	Může způsobit vychýlení či nevyrovnanost součástek	Zdroje	ANO	1	3	0	0,50	D	ANO	Protopatření není vyžadováno	ANO	1	3	0	0,50	D	ANO	
9	Rozmístění součástek	Nevhodné rozmístění součástek může způsobit špatnou udržovatelnost	Lidé	ANO	2	2	0,25	0,35	D	ANO	Protopatření není vyžadováno	ANO	2	2	0,25	0,35	D	ANO	
10	Rozmístění součástek	Nevhodné rozmístění součástek může způsobit nemožnost inspekce	Lidé	ANO	2	2	0,25	0,35	D	ANO	Protopatření není vyžadováno	ANO	2	2	0,25	0,35	D	ANO	
11	Špatná smáčivost DPS či vývodů součástek	Snižená spolehlivost pájeného spoje	Zdroje	ANO	2	3	0,25	0,56	C	NE	Testování smáčivosti	NE	1	2	0	0,25	E	NE	
13	Příliš široké vodivé cesty	Nevyhovně standardům EMC	Lidé, Technologie	ANO	2	4	0,25	0,79	B	NE	Simulace a testování	ANO	2	2	0,25	0,35	D	ANO	
14	Vysoká tepelná roztažnost desky	Destrukce desky plošného spoje	Zdroje	ANO	2	4	0,25	0,79	B	NE	Vhodný materiál s nízkou tepelnou roztažností	NE	1	2	0	0,25	E	NE	
15	Nízká povrchová a vnitřní rezistivita základního materiálu	Může způsobit nefunkčnost obvodu	Zdroje	ANO	2	3	0,25	0,56	C	NE	Testování materiálu	NE	1	2	0	0,25	E	NE	
16	Vysoký ztrátový činitel	Obvod nemusí pracovat správně	Zdroje	ANO	1	3	0	0,50	D	ANO	Protopatření není vyžadováno	ANO	1	3	0	0,50	D	ANO	
17	Malá odolnost při pájení	Může způsobit závažné poškození desky při hromadném pájení	Zdroje	ANO	1	4	0	0,75	C	NE	Výběr vhodného materiálu a test	NE	1	2	0	0,25	E	NE	
18	Vysoká hofravost desky plošných spojů	Může způsobit závažné poškození desky při pájení či vyšším tepelném namáhání	Zdroje	ANO	2	2	0,25	0,35	D	ANO	Protopatření není vyžadováno	ANO	2	2	0,25	0,35	D	ANO	
19	Malá mez pevnosti v ohybu	Špatná obrátitelnost desky	Zdroje	ANO	2	1	0,25	0,25	E	ANO	Protopatření není vyžadováno	NE	2	1	0,25	0	0,25	E	NE
20	Pevnost loupání měděné fólie	Deska není odolná vůči odloupnutí vodice od pouzdra	Zdroje	ANO	2	3	0,25	0,56	C	NE	Testování a volba materiálu s vyšší odolností v loupání	NE	1	1	0	0,00	E	NE	
21	Rozeřovaná nestabilita výběrem komponent	Negativně ovlivňuje rozměrovou stabilitu desky plošných spojů	Zdroje, Technologie	ANO	2	3	0,25	0,56	C	NE	Zohlednění designu komponent a testování	NE	1	1	0	0,00	E	NE	
22	Rozeřovaná nestabilita mechanickým namáháním	Negativně ovlivňuje rozměrovou stabilitu desky plošných spojů	Zdroje	ANO	2	4	0,25	0,79	B	NE	Simulace mechanického namáhání a výběr vhodného materiálu	NE	1	2	0	0,25	E	NE	
23	Korozie	Negativně ovlivňuje elektrické vlastnosti plošných spojů	Zdroje, Životní prostředí, Proces	ANO	2	3	0,25	0,56	C	NE	Implementace ochrany proti korozí do plánu údržby	ANO	1	3	0	0,50	D	ANO	
24	Materiály nevhovující ekologickým standardům	Negativní vliv na životní prostředí či člověka	Životní prostředí	ANO	1	3	0	0,50	D	ANO	Protopatření není vyžadováno	ANO	1	3	0	0,50	D	ANO	

### 7.3 Fáze realizace

Opět první rizika, která do fáze realizace přichází, jsou identifikovaná a přenesená rizika z předchozí fáze. Dále bude zkontrolována Lessons Learned databáze a proběhne identifikace dalších rizik vznikajících ve fázi realizace.

#### Rizika z předchozí fáze

V tabulce 22 jsou rizika vstupující do fáze realizace z fáze návrhu, která nebylo možné zvládat v předchozí fázi a rizika s prioritou D, kde nebyla vyžadována žádná protipatření. Tato rizika budou znovu vyhodnocena.

**Tabulka 22: Rizika vstupující do fáze realizace z fáze návrhu.**

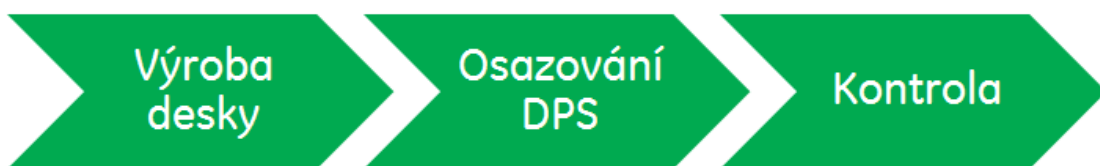
Položka	Riziko	Popis	Kategorie
3	Kontaminace, nečistoty na rozhraní s deskou DPS	Může zhoršit vodivé vlastnosti případné krátké spojení spoje	Zdroje, Lidé, Technologie
8	Příliš velké tolerance šablony	Může způsobit vychýlení či nevyrovnanost součástek	Zdroje
9	Rozmístění součástek	Nevhodné rozmístění součástek může způsobit špatnou udržovatelnost	Lidé
10	Rozmístění součástek	Nevhodné rozmístění součástek může způsobit nemožnost inspekce	Lidé
13	Příliš široké vodivé cesty	Nevyhovnění EMC standardům	Lidé, Technologie
16	Vysoký ztrátový činitel	Obvod nemusí pracovat správně	Zdroje
18	Vysoká hořlavost desky plošných spojů	Může způsobit závažné poškození desky při pájení či vyšším tepelném namáhání	Zdroje
23	Koroze	Negativně ovlivňuje elektrické vlastnosti desky plošných spojů	Zdroje, Životní prostředí, Proces
24	Materiály nevyhovující ekologickým standardům	Negativní vliv na životní prostředí či člověka	Životní prostředí

## Rizika identifikovaná ve fázi realizace

Hlas zákazníka a CTQ analýza jsou opět základními kameny pro identifikaci rizik ve fázi realizace. Diagram na obrázku 37 je opět použit jako vodítka pro tvorbu otázek vedoucí k identifikaci rizik v této fázi.

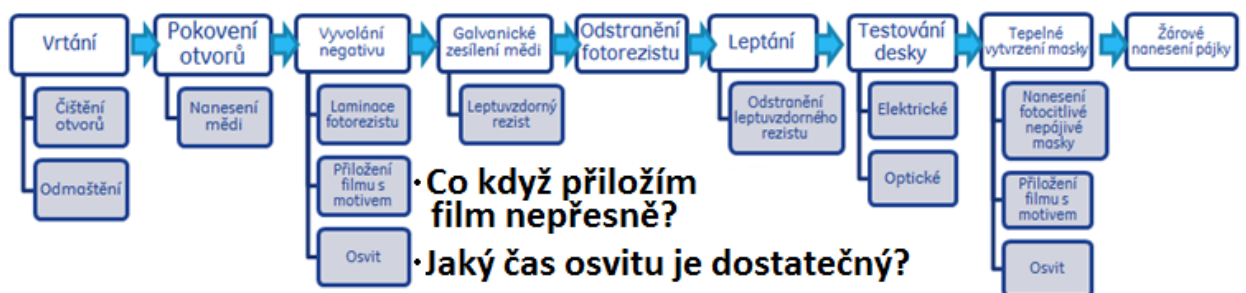
## Procesní mapa

Dalším krokem fáze realizace je příprava procesní mapy, kde jsou určeny a popsány jednotlivé kroky celého procesu realizace, viz obr. 46. Pro začátek je vhodné určit hlavní proces, který bude dále popisován. Jsou vybrány dva procesy z důvodu ukázky možného způsobu provedení procesní mapy.



Obrázek 46: Kroky celého procesu realizace.

Zde je definován a rozložen proces výroby desky plošných spojů a také proces pájení. Na obrázku 47 je zobrazen proces výroby desky plošných spojů a na obrázku 48. jsou popsány jednotlivé kroky procesu pájení.



Obrázek 47: Proces výroby desky plošných spojů.



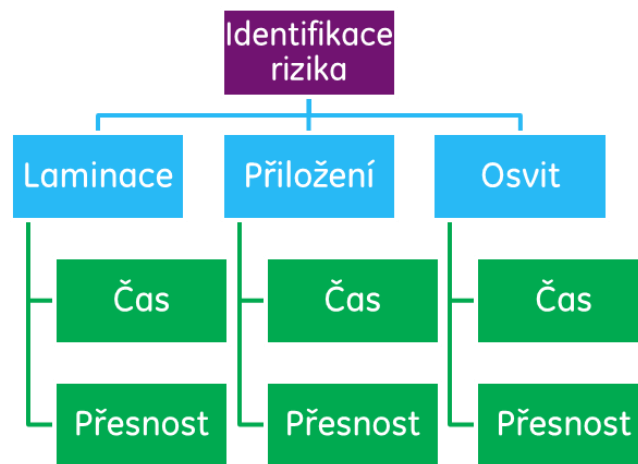
Obrázek 48: Jednotlivé kroky procesu pájení.

Vhodně položenými otázkami jsou k jednotlivým částem procesu identifikována následující rizika, z důvodu rozsahu jsou pro ukázkou identifikována pouze rizika pro proces – "Vyvolání negativu fotorezistu" (viz obr. 47) za pomoci metody Advanced Hierarchy Process, výpočet a postup jsou zobrazeny níže:

- Nepřesně přiložený film s motivem
- Nedostatečný osvit rezistu přes negativ

### Advanced Hierarchy Process

Nejprve byla pro identifikaci rizika zvolena kritéria a to laminace, přiložení a osvit, viz obr. 49 (modrá barva) a následně pro každé kritérium možnosti (zelená barva). Dalším krokem bylo sestavit z kritérií matici a její vlastní vektor.



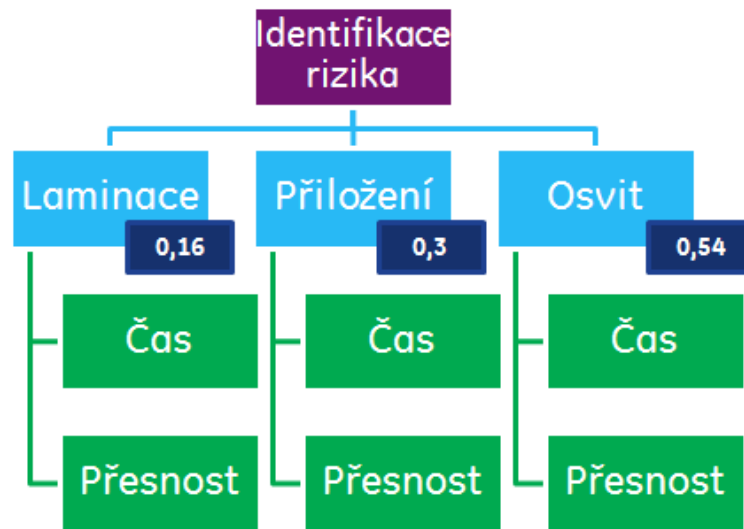
Obrázek 49: Advanced Hierachy Process – identifikace.

	Laminace	Přiložení	Osvit		Laminace	Přiložení	Osvit
Laminace	1	1/2	1/3	>>>	Laminace	1	0,5
Přiložení	2	1	1/2		Přiložení	2	1
Osvit	3	2	1		Osvit	3	2

	Laminace	Přiložení	Osvit		Laminace	Přiložení	Osvit
Laminace	1	0,5	0,33	x	Laminace	1	0,5
Přiložení	2	1	0,5		Přiložení	2	1
Osvit	3	2	1		Osvit	3	2

	Laminace	Přiložení	Osvit	=		Vlastní vektor	
Laminace	2,99	1,66	091	=	5,56	0,16	Nejdůležitější
Přiložení	5,5	3	1,66	=	10,16	0,30	
Osvit	10	5,5	2,99	=	18,49	0,54	
					34,21		

Z vlastního vektoru matice je možné odečíst, že nejdůležitějším kritériem pro vyvolání negativu rezistu je osvit. Tedy, váha jednotlivých kritérií je zaznamenána, viz obr. 50. Pro všechna zvolená kritéria je následně provedeno váhové porovnání jednotlivých možností.



Obrázek 50: Zaznamenání váhy jednotlivých kritérií.

<i>Laminace</i>	Čas	Přesnost		Čas	Přesnost		Čas	Přesnost		Čas	Přesnost	
Čas	1	3	>>	Čas	1	3	>>	1	3	*	1	3
Přesnost	1/3	1		Přesnost	0,33	1		0,33	1		0,33	1

<i>Laminace</i>	Čas	Přesnost			
Čas	1,99	6	=	7,99	0,75
Přesnost	0,66	1,99	=	2,65	0,25
				10,64	

U kritéria *Laminace* bylo zjištěno, že největší váhu má možnost *Čas*.

Přiložení	Čas	Přesnost		Čas	Přesnost							
Čas	1	1/4	>>	Čas	1	0,25	>>	1	0,25	*	1	0,25
Přesnost	4	1		Přesnost	4	1		4	1		4	1

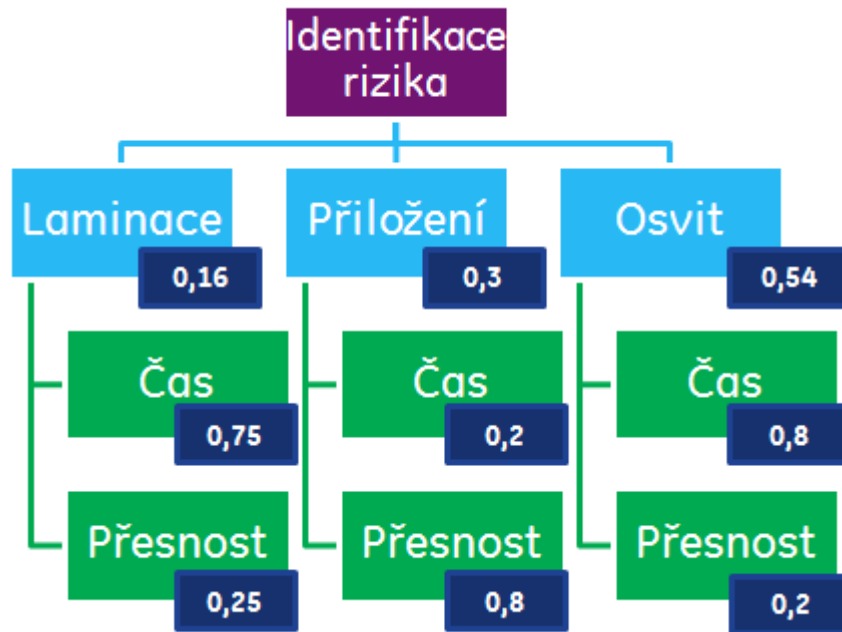
Přiložení	Čas	Přesnost			
Čas	2	0,5	=	2,5	0,2
Přesnost	8	2	=	10	0,8
				12,5	

U kritéria *Přiložení* bylo zjištěno, že největší váhu má možnost *Přesnost*.

Osvit	Čas	Přesnost		Čas	Přesnost							
Čas	1	4	>>	Čas	1	0,25	>>	1	0,25	*	1	0,25
Přesnost	1/4	1		Přesnost	4	1		4	1		4	1

Osvit	Čas	Přesnost			
Čas	2	8	=	10	0,8
Přesnost	0,5	2	=	2,5	0,2
				12,5	1

U kritéria *Osvit* bylo zjištěno, že největší váhu má možnost *Čas*. Váhy jednotlivých možností jsou doplněny do diagramu dle kritérií (viz obr. 51). Z diagramu je sestavena matice, která je vynásobena vlastním vektorem matice kritérií.



Obrázek 51: Doplnění váhy jednotlivých možností.

	Laminace	Přiložení	Osvit	Kritéria			
Čas	0,75	0,2	0,8	0,16	Laminace	ČAS	0,612
Přesnost	0,25	0,8	0,2	* 0,30	Přiložení	= PŘESNOST	0,388
				0,54	Osvit		

Výsledkem celé analýzy je zjištění, že nejvíce ovlivňujícím faktorem celého procesu je čas a nejdůležitějším kritériem je osvit. Na základě tohoto výsledku je možné identifikovat možné riziko.

Podobné otázky lze použít i pro následující proces, proces pájení, zde je však použit jiný možný způsob mapování procesu, viz obr 48. Při analýze procesu pájení bylo identifikováno následující riziko:

- Příliš vysoká teplota při pájení přetavením

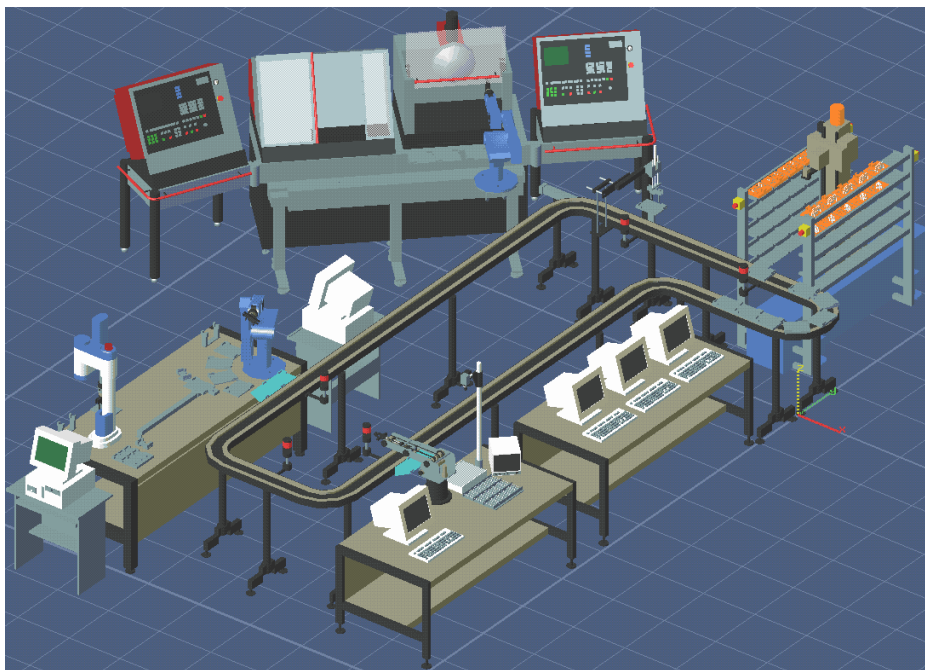


## Simulace (CAM, CAPP, CAPE)

Jakmile jsou provedeny simulace návrhu produktu, je třeba nasimulovat i výrobní procesy, kapacity a identifikovat možná rizika. Zároveň je definována kompletní metoda výroby a procesní mapa. Příklad simulace výroby je uveden na obr. 52, kdy byl použit software ROBCAD. Na základní možnosti testů a otázek pro identifikaci rizik, je opět možné využít obr. 37.

### Identifikovaná rizika:

- Nprovedení testu smáčenlivosti
- Nprovedení elektrického testu



Obrázek 52: Příklad simulace výroby [62].

### Výpočet rizikového čísla

Jako příklad výpočtu bylo použito riziko číslo 30 - *Nedostatečný osvit rezistu přes negativ*, kdy může dojít k nevyvolání negativního motivu. Po identifikaci rizika, je nutné určit jeho hodnotu a prioritu zvládnutí. Hodnota rizika je určena ze vztahu 7, kde hodnoty pro index dopadu a pravděpodobnosti jsou uvedeny níže:

$$R = \sqrt{R_I^2 + R_P^2}$$

### Určení indexu dopadu

Úroveň dopadu  $\mu_I$  byla vyhodnocena, jako významná, kdy může dojít k omezení funkčnosti či zákaznických požadavků a ohodnocena expertním odhadem úrovní 3, jelikož by došlo k omezení funkčnosti produktu, viz tabulka 16. Minimální hodnota *min* v tabulce je 1.  $R_{FI}$  je počet úrovní minus 1, tedy počet úrovní je 5, proto  $R_{FI} = 4$ . Hodnoty jsou dosazeny do vztahu 9.

$$R_I = \frac{\mu_I - \min}{R_{FI}}$$

$$R_I = \frac{3 - 1}{4}$$

$$R_I = 0,50$$

### Určení indexu pravděpodobnosti

V tomto případě byla zvolena úroveň 3 a to na základě expertního odhadu. Tato pravděpodobnost byla dosazena do rovnice pro výpočet indexu pravděpodobnosti. Minimální hodnota *min* v tabulce 17 je rovna 1 a stejně jako v případě určení indexu dopadu je hodnota  $R_{FP}$  rovna 4.

$$R_P = \frac{\mu_P - \min}{R_{FP}}$$

$$R_P = \frac{3 - 1}{4}$$

$$R_P = 0,5$$

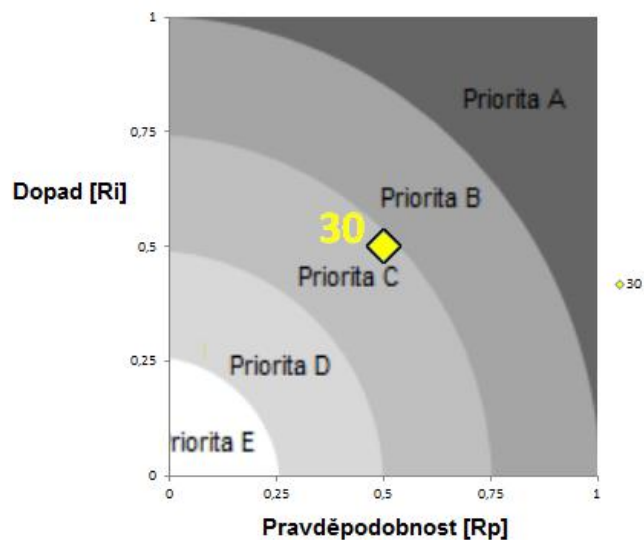
Hodnoty  $R_I$  a  $R_P$  jsou dosazeny do vztahu a následně je spočítáno rizikové číslo tohoto rizika. Podle této hodnoty nebo odečtením z diagramu basebalového hřiště je určena priorita pro zvládnání rizika.

$$R = \sqrt{R_I^2 + R_P^2}$$

$$R = \sqrt{0,5^2 + 0,5^2}$$

$$R = 0,71$$

Určením priority rizika číslo 30 z diagramu určíme další postup - zvládnání či akceptace. Zde byla v z diagramu na obrázku 53 odečtena priorita C, tedy riziko se střední prioritou pro zvládnání.



Obrázek 53: Diagram zobrazující prioritu C.

Stejný postup pro určení hodnoty rizika byl použit pro všechna rizika identifikovaná v této fázi, jak uvádí tabulka 23. Pro zvládané riziko je nutné navrhnout protiopatření a následně ho ověřit.

### Zbytkové riziko

U rizika č. 8 - *Příliš velké tolerance šablony*, došlo po znovu vyhodnocení v nové fázi k navýšení rizikového čísla a bylo aplikováno protiopatření - *Re-design šablony*. Protiopatření bylo následně aplikováno a ověřeno.

### Výpočet zbytkového rizikového čísla

Pro výpočet zbytkového rizika je využito stejného postupu, jako při výpočtu rizikového čísla, viz rovnice 7.

$$R_Z = \sqrt{R_{Iz}^2 + R_{Pz}^2}$$

### Určení indexu dopadu

Novým návrhem šablony se úroveň dopadu nijak nezmění, viz tabulka 16. Minimální hodnota *min* v tabulce je 1.  $R_{FI}$  je počet úrovní mínus 1, tedy počet úrovní je 5, proto  $R_{FI}=4$ . Hodnoty jsou dosazeny do vztahu 9.

$$R_{Iz} = \frac{\mu_I - min}{R_{FI}}$$

$$R_{Iz} = \frac{3 - 1}{4}$$

$$R_{Iz} = 0,5$$

## Určení indexu pravděpodobnosti

Po aplikaci nápravného opatření byla úroveň pravděpodobnosti  $\mu_p$  snížena na úroveň 1 (velmi nepravděpodobná), viz tabulka 17. Minimální hodnota  $min$  v tabulce je rovna 1 a stejně jako v případě určení indexu dopadu je hodnota  $R_{FP}$  rovna 4. Hodnoty jsou dosazeny do vztahu 8.

$$R_{PZ} = \frac{\mu_p - min}{R_{FP}}$$

$$R_{PZ} = \frac{1 - 1}{4}$$

$$R_{PZ} = 0$$

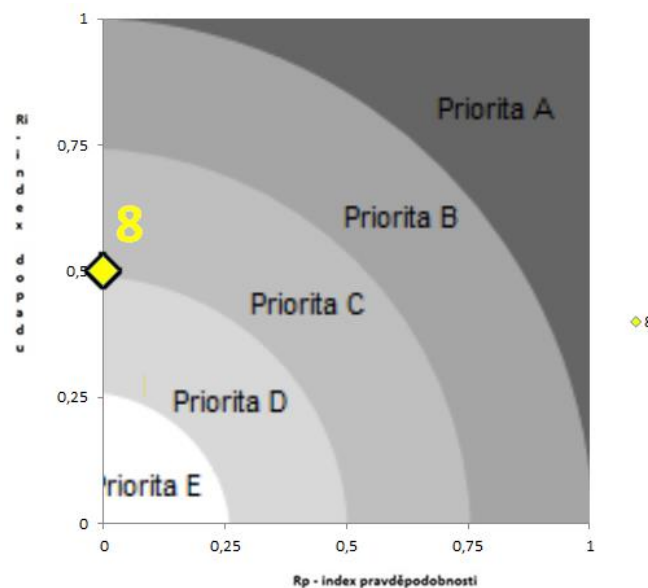
Hodnoty  $R_I$  a  $R_p$  jsou dosazeny do vztahu a následně je spočítáno zbytkové rizikové číslo tohoto rizika. Podle této hodnoty nebo odečtením z diagramu basebalového hřiště je určena priorita pro zvládnání zbytkového rizika.

$$Rz = \sqrt{R_{IZ}^2 + R_{PZ}^2}$$

$$Rz = \sqrt{0^2 + 0,5^2}$$

$$Rz = 0,5$$

Navrženým protiopatřením byla snížena hodnota rizika a jeho priority zvládnání na úroveň D, viz obrázek 54. Riziko již nevyžaduje žádné další protiopatření, ale bude převedeno do další fáze životního cyklu výrobku z důvodu možného zvýšení rizikového čísla v příští fázi.

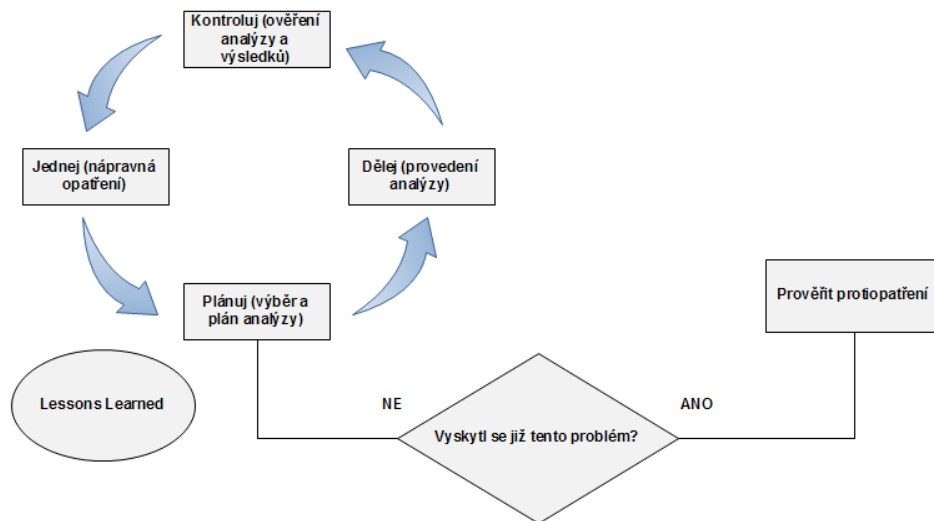


Obrázek 54: Snížená hodnota rizika a jeho priority zvládnání na úroveň D.

## Vyšetřování incidentů

Po předchozích zkušenostech a novém vyhodnocení rizika č. 8 (*Příliš velké tolerance šablony*) došlo ke zvýšení jeho rizikového čísla a tudíž i jeho priority ke zvládnání. Proto je třeba zahájit vyšetřování a zavést protiopatření, aby se již tento problém nevyskytoval.

Prvním krokem je kontrola, zda se již tento problém vyskytl či nikoliv. V tomto případě byl problém známý, ale z důvodu předchozí nízké priority nebylo vyžadováno žádné konkrétní protiopatření, tudíž v diagramu na obr. 55 je třeba pokračovat směrem vlevo a spustit analýzu založenou na PDCA cyklu a výsledek zaznamenat do Lessons Learned databáze.



Obrázek 55: Diagram pro vyšetřování incidentů.

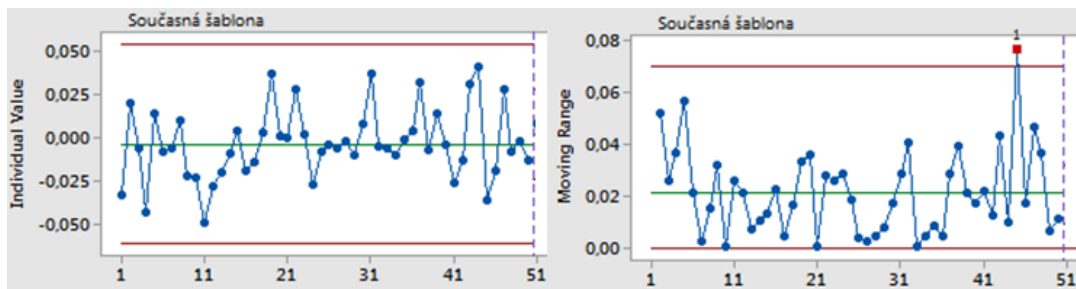
### 1. Plánuj

Zde bylo určeno, že šablona bývá přiložena občas nepřesně, což způsobuje vychýlení či nevyrovnanost součástek na desce. Bylo rozhodnuto provést procesní analýzu a zjistit současnou variabilitu procesu, kdy tolerance šablony byly  $\pm 0,05$  mm.

### 2. Dělej

Změřeno bylo 50 ks vyrobených dílů, nebyla zjištěna žádná hodnota mimo zadané tolerance, ale při pohledu na obrázek 56 bylo pozorováno, že jednotlivé body (naměřené hodnoty) mohou mít od sebe vzdálenost delší než 3 směrodatné odchylky,

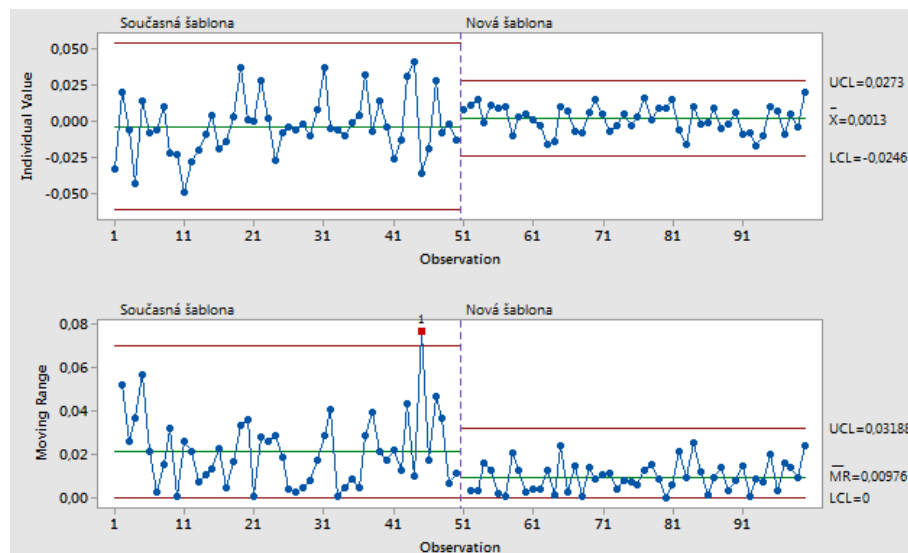
což značí možný statisticky nezvládnutý stav. Proto bylo navrženo, aby tolerance šablony byly zúženy z  $\pm 0,05$  mm na  $\pm 0,025$  mm.



Obrázek 56: Regulační diagram procesu.

### 3. Kontroluj

Následně bylo třeba zkontrolovat, jak se zúžené tolerance projeví ve výrobním procesu. Porovnáním obou procesů je jasné, že se variabilita procesu výrazně snížila a pozitivně i ovlivnila pohyblivou mez a proces již v tomto směru nevykazuje žádné odchylky. Porovnání obou procesů, tedy před úpravou a po úpravě je vidět na obr. 57.



Obrázek 57: Porovnání obou procesů, před úpravou a po úpravě.

### 4. Jednej

Po předchozích pozitivních testech, bylo rozhodnuto o změně návrhu šablony, respektive o snížení daných tolerancí. Toto opatření sníží prioritu rizika č. 8 na prioritu D, jak je vidět v tabulce 23 a riziko bude přeneseno do poslední fáze. Riziko je zaznamenáno do Lessons Learned databáze.

Tabulka 23: Pracovní tabulka pro řízení rizik ve fázi realizace.

Poř. číslo	Identifikace rizika			Analýza					Rozhodnutí		Zvládnutí rizika					Přeneseno do další fáze				
	Riziko	Popis	Kategorie	Možné zvládnutí v této fázi	Úroveň pravděpodobnosti (μp)	Úroveň dopadu (μd)	Index pravděpodobnosti Rp	Index dopadu Ri	Hodnota a rizika - R	Priorita	Akceptovatelnost	Protopatření	Zbytkové riziko	Úroveň pravděpodobnosti (μp)	Úroveň dopadu (μd)		Index pravděpodobnosti Rp	Index dopadu Ri	Hodnota rizika	Priorita
3	Kontaminace, nečistoty na rozhraní s deskou DPS	Může zhoršit vodivé vlastnosti případně krátké spojení spoje	Zdroje, Lidé, Technologie	ANO	2	2	0,25	0,25	0,35	D	ANO	ANO	ANO	2	2	0,25	0,25	0,35	D	ANO
8	Příliš velké tolerance šablony	Může způsobit vychýlení či nevyrovnanost součástek	Zdroje	ANO	3	3	0,5	0,5	0,71	C	NE	ANO	ANO	1	3	0	0,5	0,50	D	ANO
9	Rozmístění součástek	Nevhodné rozmístění součástek může způsobit špatnou udržovatelnost	Lidé	ANO	2	2	0,25	0,25	0,35	D	ANO	ANO	ANO	2	2	0,25	0,25	0,35	D	ANO
10	Rozmístění součástek	Nevhodné rozmístění součástek může způsobit nemožnost inspekce	Lidé	ANO	2	2	0,25	0,25	0,35	D	ANO	ANO	ANO	2	2	0,25	0,25	0,35	D	ANO
13	Příliš široké vodivé cesty	Nevyhovnění EMC standardům	Lidé, Technologie	ANO	2	2	0,25	0,25	0,35	D	ANO	ANO	ANO	2	2	0,25	0,25	0,35	D	ANO
16	Vysoký ztrátový číselník	Obvod nemusí pracovat správně	Zdroje	ANO	1	3	0	0,5	0,50	D	ANO	ANO	ANO	1	3	0	0,5	0,50	D	ANO
18	Vysoká hořlavost desky plošných spojů	Může způsobit závažné poškození desky při pájení či vyšším tepelném namáhání	Zdroje	ANO	2	2	0,25	0,25	0,35	D	ANO	ANO	ANO	2	2	0,25	0,25	0,35	D	ANO
23	Koroze	Negativně ovlivňuje elektrické vlastnosti desky plošných spojů	Zdroje, Životní prostředí, Proces	ANO	1	3	0	0,5	0,50	D	ANO	ANO	ANO	1	3	0	0,5	0,50	D	ANO
24	Materiály nevyhovující ekologickým standardům	Negativní vliv na životní prostředí či člověka	Živonní prostředí, Lidé, Zdroje, Proces	ANO	2	3	0,25	0,5	0,56	C	NE	ANO	ANO	1	3	0	0,5	0,50	D	ANO
25	Nečistoty po vrtní otvorů	Ovlivnění vodivosti cest	Lidé, Zdroje, Proces	ANO	3	2	0,5	0,25	0,56	C	NE	NE	NE	1	2	0	0,25	0,25	E	NE
26	Dlouhý čas leptání	Možné podleptání cest	Lidé	ANO	3	3	0,5	0,5	0,71	C	NE	NE	NE	1	1	0	0	0,00	E	NE
27	Nedostatečná leptačí síla	Nedostatečně vyleptané cesty	Lidé, Proces, Zdroje	ANO	3	3	0,5	0,5	0,71	C	NE	NE	NE	1	1	0	0	0,00	E	NE
28	Neprovedení elektrického testu	Neprovedení testu vede k neodhalení možných závad obvodu desky	Lidé	ANO	2	3	0,25	0,5	0,56	C	NE	ANO	ANO	1	3	0	0,5	0,50	D	ANO
29	Nepřesně přiřazený film s motivem	Nedodržení tolerančních požadavků	Lidé, Proces	ANO	3	4	0,5	0,75	0,90	B	NE	NE	NE	1	2	0	0,25	0,25	E	NE
30	Nedostatečný osvit rezistů přes negativ	Nevyvolání negativního motivu	Lidé, Proces	ANO	3	3	0,5	0,5	0,71	C	NE	NE	NE	1	2	0	0,25	0,25	E	NE
31	Neprovedení testu smaččenlivosti	Netestovaný materiál může ovlivnit pájení spoj a nepřipájet ho	Lidé	ANO	2	3	0,25	0,5	0,56	C	NE	NE	NE	1	2	0	0,25	0,25	E	NE
32	Příliš vysoká teplota při pájení přetažením	Příliš vysoká teplota může poškodit desku i součástky	Lidé, Technologie	ANO	2	5	0,25	1	1,03	A	NE	NE	NE	1	2	0	0,25	0,25	E	NE
33	Záměna součástek při osazování	Nefunkční deska plošných spojů	Lidé	ANO	1	5	0	1	1,00	B	NE	NE	NE	1	1	0	0	0,00	E	NE

## 7.4 Fáze provozu

Všechna důležitá a závažná rizika by už měla být identifikována v předchozích fázích, nemělo by dojít k identifikaci rizika, které mělo už být dávno zvládnáno, např. ve fázi návrhu. Incidenty vznikající v této fázi by se měly především týkat údržby, skladování, likvidace a životnosti produktu.

### Rizika z předchozí fáze

Opět první rizika, která do fáze provozu přichází, jsou identifikovaná a přenesená rizika z předchozí fáze. Dále bude zkontrolována Lessons Learned databáze a proběhne identifikace dalších rizik či incidentů vznikajících ve fázi provozu. V tabulce 24 jsou rizika vstupující do fáze provozu z fáze realizace, která nebylo možné zvládat v předchozí fázi nebo rizika s prioritou D, kde nebyla vyžadována žádná protiopatření. Tato rizika budou znovu vyhodnocena.

**Tabulka 24: Rizika vstupující do fáze návrhu z fáze realizace.**

Položka	Riziko	Popis	Kategorie
3	Kontaminace, nečistoty na rozhraní s deskou DPS	Může zhoršit vodivé vlastnosti případné krátké spojení spoje	Zdroje, Lidé, Technologie
8	Příliš velké tolerance šablony	Může způsobit vychýlení či nevyrovnanost součástek	Zdroje
9	Rozmístění součástek	Nevhodné rozmístění součástek může způsobit špatnou udržitelnost	Lidé
10	Rozmístění součástek	Nevhodné rozmístění součástek může způsobit nemožnost inspekce	Lidé
13	Příliš široké vodivé cesty	Nevyhovění EMC standardům	Lidé, Technologie
16	Vysoký ztrátový činitel	Obvod nemusí pracovat správně	Zdroje
18	Vysoká hořlavost desky plošných spojů	Může způsobit závažné poškození desky při pájení či vyšším tepelném namáhání	Zdroje
23	Vyšší navlhavost	Negativně ovlivňuje rozměrovou stabilitu desky plošných spojů	Zdroje, Životní prostředí, Proces
24	Materiály nevyhovující ekologickým standardům	Negativní vliv na životní prostředí či člověka	Životní prostředí
28	Neprovedení elektrického testu	Neprovedení testu vede k neodhalení možných závad obvodu desky	Lidé



## Rizika identifikovaná ve fázi provozu

Hlas zákazníka (VOC) a CTQ analýza jsou opět základními kameny pro identifikaci rizik ve fázi provozu. Diagram na obrázku 37 je opět použit jako vodítko pro tvorbu otázek vedoucí k identifikaci rizik v této fázi.

Pomocí brainstormingu a metody Delphi byla identifikována tato rizika:

- Nedodržení klimatických podmínek při přepravě a skladování
- Neekologická likvidace
- Neuvedení postupu či informací o údržbě produktu

## Sběr dat, zákaznická podpora

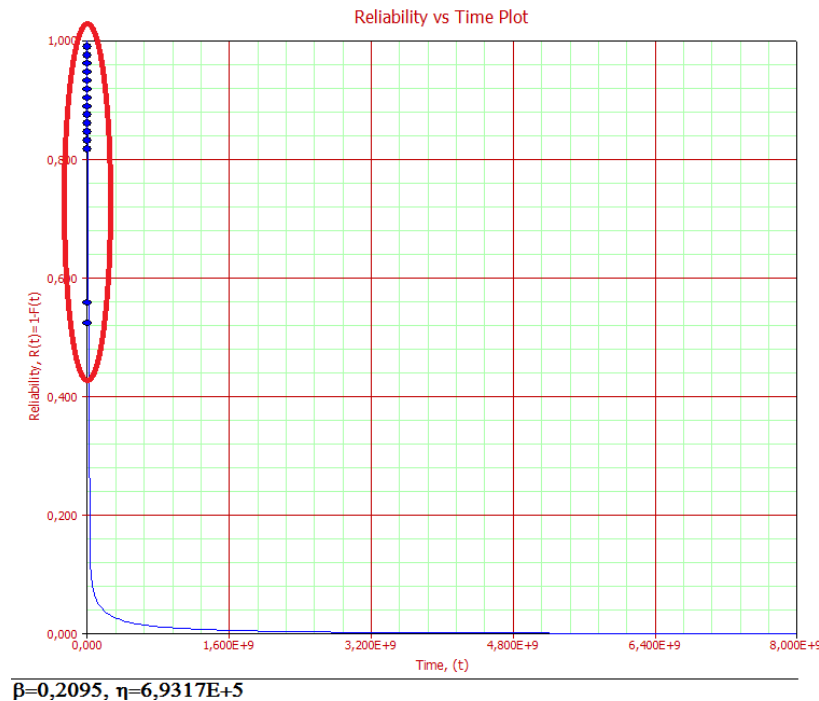
V této fázi se již dostává zpětné vazby od zákazníka a přicházejí provozní data, z kterých lze vypracovat spolehlivostní charakteristiky. V tabulce 25 jsou vidět zpětné vazby od zákazníka, stav F, znamená selhání produktu, stav S znamená, že produkt byl funkční v daném čase.

**Tabulka 25: Spolehlivostní data od zákazníka.**

stav	čas [h]	stav	čas [h]	stav	čas [h]	stav	čas [h]	stav	čas [h]
F	1	S	291	S	998	S	1175	F	1451
F	1	S	450	S	999	S	1198	S	1487
F	1	S	466	S	1004	S	1198	S	1523
F	1	S	476	S	1009	S	1202	S	1571
F	2	S	481	S	1011	S	1220	S	1789
F	2	S	500	S	1050	S	1226		
F	3	S	906	S	1068	S	1235		
F	3	S	907	S	1069	S	1244		
F	4	S	921	S	1069	S	1245		
F	4	S	925	S	1076	S	1263		
F	5	S	944	S	1104	S	1264		
F	6	S	956	S	1108	S	1272		
F	6	S	958	S	1111	S	1293		
S	32	S	960	S	1125	S	1322		
S	200	S	964	S	1143	S	1338		
S	210	S	994	S	1174	F	1404		

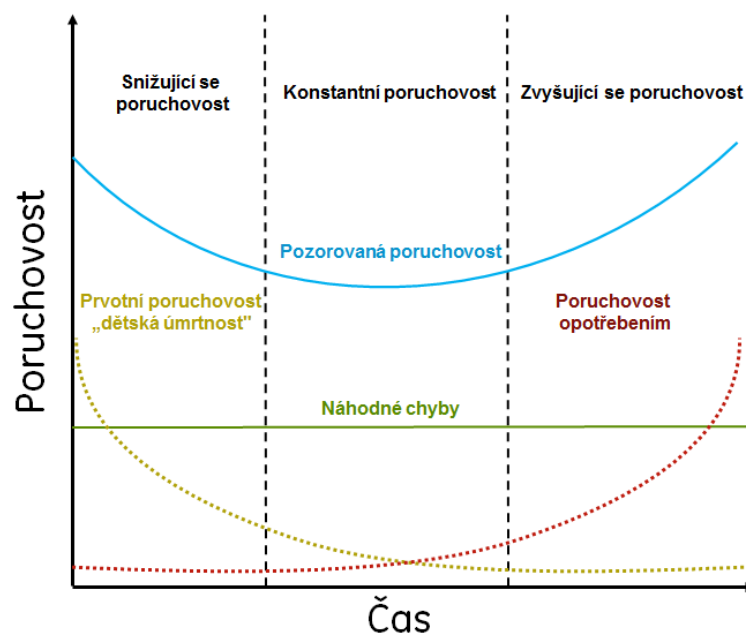
## Weibullova analýza

Ze získaných dat z tabulky 25 byla v softwaru Weibull 7++ provedena analýza viz obr. 58. Z analýzy byla získána hodnota beta. Dle hodnoty beta a tvaru grafu jsou poté určeny možné příčiny a rizika.



Obrázek 58: Analýza spolehlivostních dat.

Křivku na obrázku 58 je možné porovnat s vzorovými křivkami na obrázku 59. Z porovnání plyne, že graf sestavený z provozních dat zobrazuje tzv. "dětskou úmrtnost". Ta je typická zejména pro elektrické komponenty.



Obrázek 59: Vzorové křivky pro vyhodnocení poruchovosti [57].

Změřená hodnota  $\beta$  je 0,2095 tedy menší než 1 a pro tuto hodnotu jsou možné následující příčiny:

$$\beta < 1$$

Tato hodnota naznačuje tzv. dětskou úmrtnost a může indikovat např. tato rizika:

- Výrobní problémy
- Vadný komponent produktu

### Výpočet rizikového čísla

Jako příklad výpočtu bylo použito riziko číslo 35 - "*Dětská úmrtnost*" desky plošných spojů, selhání produktu při počátečních spuštěních. Typické pro selhání součástek. Po identifikaci rizika, je třeba určit jeho hodnotu a prioritu zvládnutí. Hodnota rizika je dána vztahem 7, kde hodnoty pro index dopadu a pravděpodobnosti jsou uvedeny níže:

$$R = \sqrt{R_I^2 + R_P^2}$$

### Určení indexu dopadu

Úroveň dopadu  $\mu_I$  byla vyhodnocena, jako kritická a ohodnocena úrovní 5, jelikož by funkce produktu byla zcela omezena, viz tabulka 16. Minimální hodnota *min* v tabulce je 1.  $R_{FI}$  je počet úrovní mínus 1, tedy počet úrovní je 5, proto  $R_{FI}=4$ . Hodnoty jsou dosazeny do vztahu 9.

$$R_I = \frac{\mu_I - \text{min}}{R_{FI}}$$

$$R_I = \frac{5 - 1}{4}$$

$$R_I = 1$$

### Určení indexu pravděpodobnosti

Určení úrovně pravděpodobnosti  $\mu_p$ , viz tabulka 17. V tomto případě byla zvolena úroveň 2 a to na základě provozních dat a informací od zákazníka, bylo možné určit pravděpodobnost. Minimální hodnota *min* v tabulce je rovna 1 a stejně jako v případě určení indexu dopadu je hodnota  $R_{FP}$  rovna 4. Hodnoty jsou dosazeny do vztahu 8.

$$R_P = \frac{\mu_P - \min}{R_{FP}}$$

$$R_P = \frac{2 - 1}{4}$$

$$R_P = 0,25$$

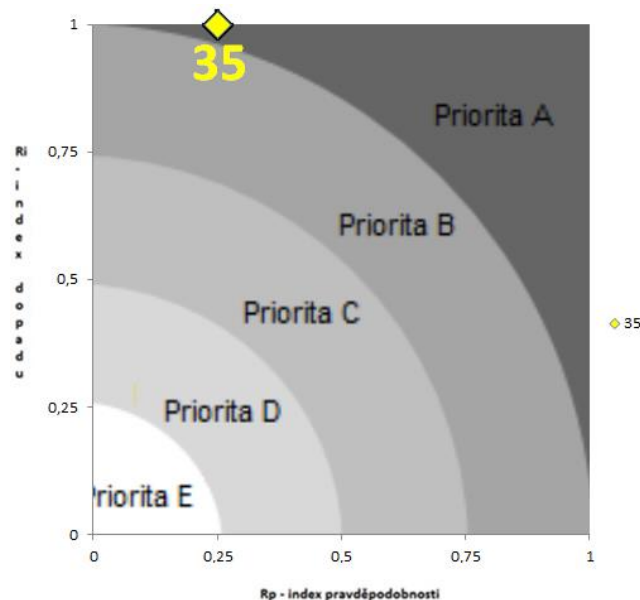
Hodnoty  $R_I$  a  $R_P$  jsou dosazeny do vztahu a následně je spočítáno rizikové číslo tohoto rizika. Podle této hodnoty nebo odečtením z diagramu basebalového hřiště je určena priorita pro zvládání rizika.

$$R = \sqrt{R_I^2 + R_P^2}$$

$$R = \sqrt{1^2 + 0,25^2}$$

$$R = 1,03$$

Určením priority rizika číslo 35 z diagramu určíme další postup - zvládání či akceptace. Zde byla v z diagramu na obrázku 60 odečtena priorita A, tedy riziko s nejvyšší prioritou pro zvládání.



Obrázek 60: Diagram zobrazující prioritu A.

Stejný postup pro určení hodnoty rizika byl použit pro všechna rizika identifikovaná v této fázi, jak uvádí tabulka 26. Pro zvládané riziko je nutné navrhnout protipatření a následně ho ověřit.

## Zbytkové riziko

"Dětská úmrtnost" desky plošných spojů, zde bylo aplikováno protiopatření - *Důkladný cyklický test před expedicí*. Protiopatření bylo následně aplikováno a ověřeno.

## Výpočet zbytkového rizikového čísla

Pro výpočet zbytkového rizika je využito stejného postupu, jako při výpočtu rizikového čísla, viz rovnice 7.

$$R_Z = \sqrt{R_{Iz}^2 + R_{Pz}^2}$$

## Určení indexu dopadu

Důkladný cyklický test před expedicí sníží úroveň dopadu na zanedbatelnou, jelikož se bude jednat o stoprocentní test, takže hodnota úrovně zbytkového rizika bude 1, viz tabulka 16. Minimální hodnota *min* v tabulce je 1.  $R_{FI}$  je počet úrovní mínus 1, tedy počet úrovní je 5, proto  $R_{FI}=4$ . Hodnoty jsou dosazeny do vztahu 9.

$$R_{Iz} = \frac{\mu_I - \min}{R_{FI}}$$

$$R_{Iz} = \frac{1 - 1}{4}$$

$$R_{Iz} = 0$$

## Určení indexu pravděpodobnosti

Po aplikaci nápravného opatření byla úroveň pravděpodobnosti  $\mu_p$  snížena na úroveň 1 (velmi nepravděpodobná), jelikož jak již bylo zmíněno, bude se jednat o stoprocentní test, tabulka 17. Minimální hodnota *min* v tabulce je rovna 1 a stejně jako v případě určení indexu dopadu je hodnota  $R_{FP}$  rovna 4. Hodnoty jsou dosazeny do vztahu 8.

$$R_{Pz} = \frac{\mu_P - \min}{R_{FP}}$$

$$R_{Pz} = \frac{1 - 1}{4}$$

$$R_{Pz} = 0$$

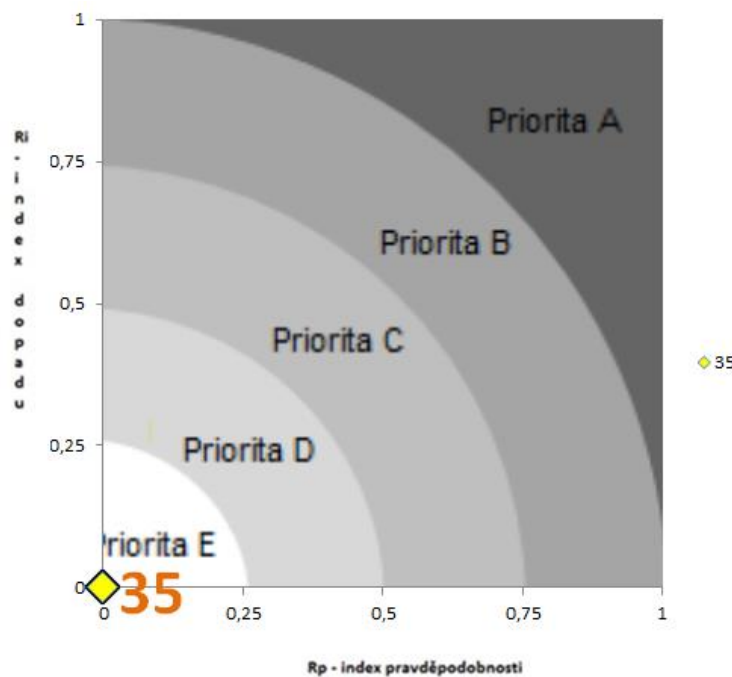
Hodnoty  $R_I$  a  $R_p$  jsou dosazeny do vztahu a následně je spočítáno zbytkové rizikové číslo tohoto rizika. Podle této hodnoty nebo odečtením z diagramu basebalového hřiště je určena priorita pro zvládnání zbytkového rizika.

$$Rz = \sqrt{R_{IZ}^2 + R_{PZ}^2}$$

$$Rz = \sqrt{0^2 + 0^2}$$

$$Rz = 0$$

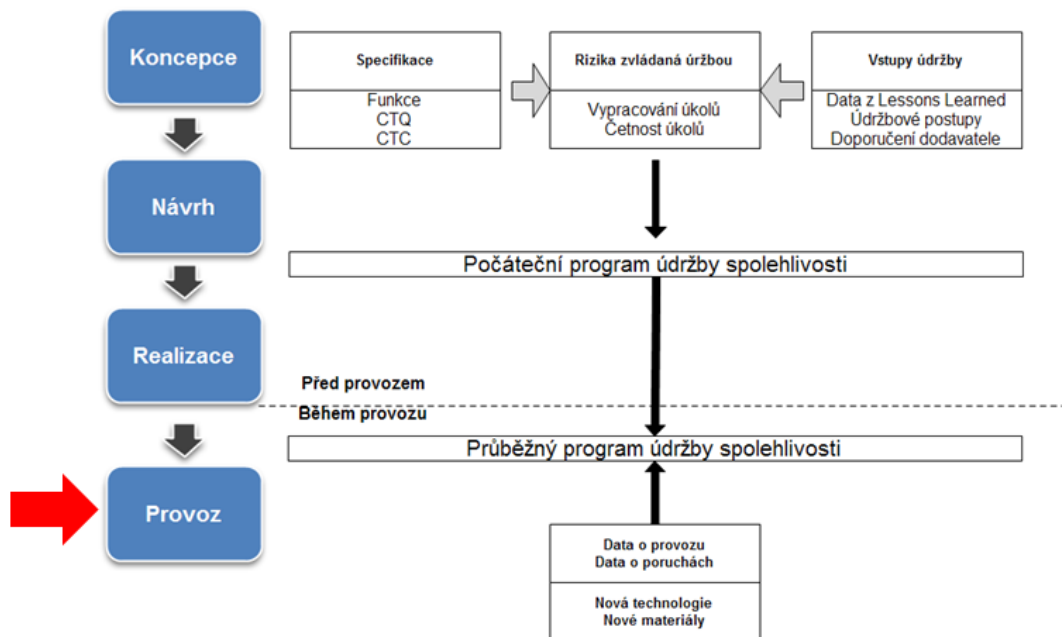
Navrženým protiopatřením byla snížena hodnota rizika a jeho priorita zvládnání na úroveň E, viz obrázek 61. Riziko již nevyžaduje žádné další protiopatření, ale jako každé zvládané riziko bude zaznamenáno v Lessons Learned databázi a bude využito při návrhu produktu nové generace.



Obrázek 61: Diagram zobrazující sníženou hodnotu rizika a jeho priority zvládnání na úroveň E.

## Produkt nové generace

Všechna rizika výše uvedená jsou vložena do Lessons Learned databáze i s opatřeními, která byla přijata ke snížení rizika. Tyto informace poslouží u budoucího produktu nebo u nové vývojové řady stávajícího produktu. Některá opatření, založená na provozních skutečnostech lze implementovat do průběžného programu údržby spolehlivosti, viz obr. 62. Současně je možné pro rizika identifikovaná ve fázi provozu použít jako protiopatření tzv. průběžný program údržby.



Obrázek 62: Diagram průběžného programu údržby spolehlivosti [30].

Tabulka 26: Pracovní tabulka pro řízení rizik ve fázi provozu.

Pořádková	Identifikace rizika				Analýza						Rozhodnutí			Zvládnutí rizika					Hodnota rizika	Priorita
	Riziko	Popis	Kategorie	Možné zvládnutí v této fázi	Úroveň pravděpodobnosti (μp)	Úroveň dopadu (μd)	Index pravděpodobnosti Rp	Index dopadu Ri	Hodnota rizika R	Priorita	Akceptovatelnost	Protiopatření	Zbývající riziko	Úroveň pravděpodobnosti (μp)	Úroveň dopadu (μd)	Index pravděpodobnosti Rp	Index dopadu Ri	Hodnota rizika		
3	Kontaminace, nečistoty na rozhraní s deskou DPS	Může zhoršit vodivé vlastnosti, případně krátké spojení spoje	Zdroje, Lidé, Technologie	ANO	2	2	0,25	0,25	↓0,35	D	ANO	ANO	ANO	2	2	0,25	0,25	0,35	D	
8	Příliš velké tolerance šablony	Může způsobit vychýlení či nevyrovnanost součástek	Zdroje	ANO	1	3	0	0,5	↑0,50	D	ANO	ANO	ANO	1	3	0	0,5	0,50	D	
9	Rozmístění součástek	Nevhodné rozmístění součástek může způsobit špatnou udržovatelnost	Lidé	ANO	2	2	0,25	0,25	↓0,35	D	ANO	ANO	ANO	2	2	0,25	0,25	0,35	D	
10	Rozmístění součástek	Nevhodné rozmístění součástek může způsobit nemožnost inspekce	Lidé	ANO	2	2	0,25	0,25	↓0,35	D	ANO	ANO	ANO	2	2	0,25	0,25	0,35	D	
13	Příliš široké vodivé cesty	Nevyhovnění EMC standardům	Lidé, Technologie	ANO	2	2	0,25	0,25	↓0,35	D	ANO	ANO	ANO	2	2	0,25	0,25	0,35	D	
16	Vysoký ztrátový činitel	Obvod nemusí pracovat správně	Zdroje	ANO	1	3	0	0,5	↑0,50	D	ANO	ANO	ANO	1	3	0	0,5	0,50	D	
18	Vysoká hořlavost desky plošných spojů	Může způsobit závažné poškození desky při pájení či vyšším teplem namáhání	Zdroje	ANO	2	2	0,25	0,25	↓0,35	D	ANO	ANO	ANO	2	2	0,25	0,25	0,35	D	
23	Koroze	Negativně ovlivňuje rozměrovou stabilitu desky plošných spojů	Zdroje	ANO	1	3	0	0,5	↑0,50	D	ANO	ANO	ANO	1	3	0	0,5	0,50	D	
24	Materiály nevyhovující ekologickým standardům	Negativní vliv na životní prostředí či člověka	Životní prostředí	ANO	1	3	0	0,5	↑0,50	D	ANO	ANO	ANO	1	3	0	0,5	0,50	D	
28	Neprovedení elektrického testu	Neprovedení testu vede k neodhalení možných závad obvodu desky	Lidé	ANO	1	3	0	0,5	↓0,50	D	ANO	ANO	ANO	1	3	0	0,5	0,50	D	
34	Nedodržení klimatických podmínek při přepravě a skladování	Zhoršení mechanických či elektrických vlastností produktu	Lidé	ANO	3	3	0,5	0,5	⇒0,71	C	NE	ANO	ANO	1	3	0	0,5	0,50	D	
35	"Dětská úmrtost" desky plošných spojů	Selhání produktu při počátečních spuštěních. Typické pro selhání součástek.	Zdroje	ANO	2	5	0,25	1	↑1,03	A	NE	NE	NE	1	1	0	0	0,00	E	
36	Neuvedení postupu či informací o údržbě produktu	Neprovedení údržby produktu vede ke snížení spolehlivosti produktu	Lidé	ANO	3	2	0,5	0,25	↓0,56	C	NE	NE	NE	2	2	0,25	0,25	0,35	D	
37	Neekologická likvidace	Nesprávná likvidace vedoucí k ekologickému znečištění	Životní prostředí	ANO	3	3	0,5	0,5	⇒0,71	C	NE	NE	NE	1	3	0	0,5	0,50	D	



## 8. Závěr

V předkládané disertační práci je na základě poznání současného stavu problematiky řízení rizik během životního cyklu výrobku identifikován možný postup, jak rizika včas identifikovat, zvládat a zamezit, tak možným ztrátám. Kritickými faktory jsou přechody mezi jednotlivými fázemi, přenos rizik z předcházejících fází a správná identifikace nových rizik.

V rámci disertační práce je navržena ucelená metodika pro řízení rizik během celého životního cyklu, která dosud ještě nebyla navržena. Metodika, která je hlavním výsledkem práce, je kombinací známých metod, nového přístupu k přenosu rizik a nově navržené metody analýzy rizik, která vznikla na základě mezinárodní spolupráce.

Metodika zahrnuje analýzy rizik, které kombinuje s metodami pro vyšetřování incidentů, jejichž výsledky poslouží jako vstupní rizika pro produkty nové generace. Práce dále navrhuje využití znalostní báze, která díky sběru dat vznikne v rámci řízení incidentů či již existuje a je využívána pro účely prevence rizik. Zaznamenáním informací o vzniku, průběhu a způsobu řešení předchozích incidentů pak může být zrychleno řešení nového výskytu stejného nebo podobného incidentu. Účelem vytváření znalostní báze je také objektivizace pravděpodobností a úrovně dopadů zaznamenaných rizik. Tyto údaje je běžně nutné ve většině případů odhadovat, zejména u zcela nových produktů, ale díky znalostní bázi je možné tyto odhady následně zpřesňovat.

Práce tak navrhuje ucelený metodický přístup, který se snaží poruchám nejen předcházet, ale v případě vzniku poruchy co nejrychleji odstraňovat její příčinu, minimalizovat její následky a také získat důležité informace pro další prevenci a zlepšování. Využití a použití metodiky se dá přizpůsobit pro všechny druhy průmyslu. Přizpůsobení se dá realizovat využitím celého spektra analýz rizik, jejichž podrobný seznam je také součástí práce (viz příloha Průvodce metodami analýz rizik).

Pro metodiku byl vypracován návod, který je součástí přílohy této práce. Metodika byla ověřena na případové studii, která prokázala její platnost.

Na základě navržených a zpracovaných cílů považuje autor práce za vlastní tyto výsledky a přínosy:

- Byly zanalyzovány a zhodnoceny poznatky ze současné odborné literatury zabývající se řízením rizik životního cyklu produktu či jeho jednotlivých fází
- Byla vytvořena zcela nová ucelená metodika pro řízení rizik celého životního cyklu
- Byl vytvořen návod pro použití této metodiky

- Metodika byla ověřena na případové studii, jež dokázala její funkčnost a použitelnost v praxi
- Byl vytvořen Průvodce metodami analýz rizik s popisem dosud známých analýz rizik včetně určení aplikovatelnosti, který doposud nebyl v českém jazyce řádně zpracován
- Byla vytvořena zcela nová metoda analýzy rizik

Výsledky a závěry, které jsou uvedeny v této disertační práci, byly v průběhu studia průběžně publikovány a prezentovány na tuzemských či zahraničních konferencích i časopisech. Tyto publikace jsou uvedeny v seznamu publikovaných prací autora. Pokračování či další vývoj této metodiky by v budoucnu měl vést ke standardizaci a optimalizaci pro využití v různých oblastech průmyslu. Na základě stanovených cílů práce a výsledků předkládané práce, lze stanovené cíle považovat za splněné.

---

## Použitá literatura

- [1] SAAKSVUORI, Anttia Anselmi IMMONEN. Product Lifecycle Management. 3. vyd. Berlin: Springer, 2008. ISBN 978-3-540-78173-8.
- [2] GRIEVES, Michael. Product Lifecycle Management: Driving the Next Generation of Lean Thinking. McGraw-Hill, 2005. ISBN 978-0-07-145230-4
- [3] BERGSJÖ, Dag. Product Lifecycle Management. Gothenburg: Chalmers University of Technology, 2009. ISBN 978-91-7385-257
- [4] Product lifecycle management. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-09-23]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Product\\_lifecycle\\_management](http://en.wikipedia.org/wiki/Product_lifecycle_management)
- [5] STARK, John. Product Lifecycle Management: 21st Century Paradigm for Product Realisation. 2. vyd. London: Springer, 2011. ISBN 978-85729-545-3.
- [6] Plánování jakosti a jeho význam pro dodavatele automobilového průmyslu. VYKYDAL, David. Katedra kontroly a řízení jakosti, VŠB-TU Ostrava [online]. [cit. 2012-01-17]. Dostupné z: <http://katedry.fmfi.vsb.cz/639/qmag/mj15-cz.htm>
- [7] ZOU, W. a L. LIN. The Analysis and Estimation on Risk Factors in Engineering Project Life-Cycle. Management and Service Science (MASS), 2010 International Conference. 2010, Pages: 1 - 3. DOI: 10.1109/ICMSS.2010.5578612.
- [8] KAJKO-MATTSSON, M., J. LUNDHOLM a J. NORRBY. Industrial Opinion on the Effectiveness of Risk Management Methods. Computer Software and Applications Conference, 2009. COMPSAC '09. 33rd Annual IEEE International. 2009, č. 1, Pages: 642 - 643. DOI: 10.1109/COMPSAC.2009.96.
- [9] RONG, Liu. A Novel Risk Management Method based on Active-matrix Theory for Project Management. Management and Service Science (MASS), 2010 International Conference. 2010, Pages: 1 - 4. DOI: 10.1109/ICMSS.2010.55
- [10] QI, B. K. Engineering Project Management. Third edition. Dalian: Dalian University of Technology Press, 2008. pp.6-7
- [11] ZHAO, X. a X. BAI. The Application of FMEA method in the risk management of medicine device during the lifecycle. E-Business and Information System Security (EBISS), 2010 2nd International Conference. 2010, Pages: 1 - 4. DOI: 10.1109/EBISS.2010.5473713.
- [12] GUO, Q., Z. T. a L. ZENG. Analysis on risk management based on the method of FMEA of EPC general contractor projects. Management and Service Science (MASS), 2010 International Conference. 2010, Pages: 1 - 4. DOI: 10.1109/ICMSS.2010.55766
- [13] QI, L. GUO a S. BAI. Study of EPC Project Risk Management Based on Interrelated Tree Method. Management and Service Science (MASS), 2010 International Conference. 2010, Pages: 1 - 3. DOI: 10.1109/ICMSS.2010.557776.

- [14] GUODONG, N., X. MENG, W. WENSHUN, W. JIANPING a Z. JIANQIAO. Research on the Risk Assessment Method of Vicarious Management Corporation Based on the Fuzzy AHP Method. *Information Science and Management Engineering (ISME)*, 2010 International Conference. 2010, č. 2, Pages: 531 - 535. DOI: 10.1109/ISME.2010.129.
- [15] YUSHENG, Huang a Lin YUFANG. Method of Risk Management in Realty Item Based on Decomposition of Process and Variable Weight Fuzzy Evaluation. Yusheng Huang; Yufang Lin; Jijia Deng *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, 2008. WiCOM '08. 4th International Conference. 2008, Pages: 1 - 4. DOI: 10.1109/WiCom.2008.2492.
- [16] CORNFORD, S.L., M.S. FEATHER a K.A. HICKS. DDP: a tool for life-cycle risk management. *Aerospace and Electronic Systems Magazine*. 2006, č. 21, Pages: 13 - 22. DOI: 10.1109/MAES.2006.1662004.
- [17] MCROBERTS, S. Risk management of product safety. *Product Safety Engineering*, 2005 IEEE Symposium. 2005, Pages: 65 - 71. DOI: 10.1109/PSES.2005.1529524.
- [18] AUSTIN a M.H. SAMADZADEH. An Objective Method to Measure the Effectiveness of a Risk Management System. *Systems Engineering*, 2008. ICSENG '08. 19th International Conference. 2008, Pages: 508 - 511. DOI: 10.1109/ICSEng.2008.29.
- [19] YING-KUI, Gu a Huang HONG-ZHONG. An integrated product and process development model supporting entire lifecycle. *Computer Supported Cooperative Work in Design*. 2004, č. 2, Pages: 558 - 562. DOI: 10.1109/CACWD.2004.1349253.
- [20] MATTA, N., G. DUCCELLIER, Y. CHARLOT, M.R. BELDJOUUD, F. TRIBOUILLOIS a E. HIBON. Traceability of Design Project Knowledge using PLM. *Collaboration Technologies and Systems (CTS)*. 2011, Pages: 233 - 240. DOI: 10.1109/CTS.2011.5928692.
- [21] YANG, Jun-yu a Wei ZHAO. Points worth re-consideration concerning Product Life Cycle Management. *Industrial Engineering and Engineering Management (IE&EM)*, 2010 IEEE 17Th International Conference on. 2010, Pages: 357 - 361. DOI: 10.1109/ICIEEM.2010.5646596
- [22] KORECKÝ, Michal a Václav TRKOVSKÝ. *Management rizik projektů: se zaměřením na projekty v průmyslových podnicích*. Praha: Grada Publishing, 2011. ISBN 978-80-247-3221-3.
- [23] SMEJKAL, Vladimír a Karel RAIS. *Řízení rizik ve firmách a jiných organizacích*. Třetí, rozšířené a aktualizované vydání. Praha: Grada Publishing, 2010. ISBN 978-80-247-3051-6.
- [24] KRULIŠ, Jiří. *Jak vítězit nad riziky: Aktivní management rizik - nástroj řízení úspěšných firem*. Praha: Linde Praha, 2011. ISBN 978-80-7201-835-2.
- [25] *A Risk Management Standard*. London : AIRMIC, 2002. 14 s
- [26] REASON, James. *Managing the Risks of Organizational Accidents*. Farnham: Ashgate Publishing Limited, 2009. ISBN 978-1-84014-105-4.
- [27] KALOUDA, František. Riziko a nejistota – příspěvek k precizaci pojmů. [online]. 2010, s. 11 [cit. 2012-09-04]. Dostupné z: <http://www.ekf.vsb.cz/miranda2/export/sites-root/ekf/konference/cs/okruhy/rmfr/prispevky/dokumenty/Kalouda.František.pdf>

- [28] ČSN EN 31010. Management rizik - Techniky posuzování rizik. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011
- [29] Clever and Smart. [online]. [cit. 2012-06-26]. Dostupné z:  
<http://www.cleverandsmart.cz/zvladani-rizik/>
- [30] ČSN IEC 50(191). *Mezinárodní elektrotechnický slovník. Kapitola 191: Spolehlivost a jakost služeb*. Praha: Český normalizační institut, 1993.
- [31] EUGENE L. GRANT, Eugene L. Richard S. *Statistical quality control*. 7th ed. ISBN 00-784-4354-7.
- [32] LOVEDAY, G. *Electronic Testing and Fault Diagnosis*. London: Longman Scientific and Technical, 1989.
- [33] NOVOTNÝ, Radovan. Vyd. 1. Brno: Zdeněk Novotný, 2001, 159 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1993-8.
- [34] Electorevue. NOVOTNÝ, Radovan. *Weibullovo rozdělení při analýzách bezporuchovosti* [online]. 2012 [cit. 2015-09-21]. Dostupné z:  
<http://www.electorevue.cz/clanky/02017/index.html>
- [35] HSIA, T.C. a kol. Using Systematic Innovation Process (TRIZ Method) to Improve the Manufacturing Technology of Platelet Agitators. In: *21st International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing: FAIM 2011*. Taiwan: FAIM, 2011, s. 5.
- [36] SAATY, Thomas L a Kirti PENIWATI. *Group decision making*. Pittsburgh, PA: RWS Publications, 2008. ISBN 978-1-888603-08-8.
- [37] MACHAČ, J.; STEINER F.: Řízení rizik v etapě vývoje technologického procesu, *Electroscope*, 2012, vol. 2.
- [38] *Focus group* [online]. [cit. 2015-08-21]. Dostupné z:  
[https://assessment.trinity.duke.edu/documents/How\\_to\\_Conduct\\_a\\_Focus\\_Group.pdf](https://assessment.trinity.duke.edu/documents/How_to_Conduct_a_Focus_Group.pdf)
- [39] *Isixsigma* [online]. [cit. 2015-09-21]. Dostupné z: <http://www.isixsigma.com/tools-templates/qfd-house-of-quality/software-quality-function-deployment/>
- [40] *Empathic Design* [online]. [cit. 2015-08-21]. Dostupné z:  
<http://www.designorate.com/empathic-design-approach-to-successful-design/>
- [41] *Lead User* [online]. [cit. 2015-08-21]. Dostupné z: <http://www.leaduser.com/>
- [42] LACKO, B. *Metody a techniky projektového řízení*. Nový Jičín: Výukový materiál z projektu Euromanažer., 2008.
- [43] BURITA, L. a O. LUNACEK. *Knowledge Management System based on Lessons Learned documents*. In: . St.-Malo: IEEE, 2013, s. 6. ISBN 978-83-934848-8-1.
- [44] BASL, Josef. *Informační systémy škol – specifická oblast využití manažerských informačních systémů* [online]. Ikaros, 2006 [cit. 2015-09-21]. Dostupné z: <http://ikaros.cz/informacni-systemy-skol-%E2%80%93-specificka-oblast-vyuziti-manazerskych-informacnich-systemu>

- [45] MARKESET, T.; KUMAR U.: R&M and Risk-Analysis Tools in Product Design to Reduce Life-Cycle Cost and Improve Attractiveness, PROCEEDINGS Annual RELIABILITY and MAINTAINABILITY Symposium: IEEE., 1-7, 2001.
- [46] [online]. [cit. 2015-09-21]. Dostupné z: [people.tuke.sk](http://people.tuke.sk)
- [47] Reliability Modeling and Prediction. *Department of Defense* [online]. 1998 [cit. 2015-09-21]. Dostupné z: *Electronic Reliability Design Handbook*
- [48] [online]. [cit. 2015-09-21]. Dostupné z:  
([http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Reliability\\_block\\_diagram.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Reliability_block_diagram.png))
- [49] [online]. [cit. 2015-09-21]. Dostupné z:  
([http://www.kiwiki.info/index.php/Met%C3%B3dy\\_a\\_n%C3%A1stroje\\_pl%C3%A1novania\\_kvality](http://www.kiwiki.info/index.php/Met%C3%B3dy_a_n%C3%A1stroje_pl%C3%A1novania_kvality))
- [50] 2012/19/EU ON WASTE ELECTRICAL AND ELECTRONIC EQUIPMENT. *The Waste Electrical and Electronic Equipment Directive*
- [51] THE RESTRICTION OF HAZARDOUS SUBSTANCES DIRECTIVE 2002/95/EC. *Directive on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment*. Brusel: EU, 2002.
- [52] *Procesní mapa* [online]. [cit. 2015-09-21]. Dostupné z: [www.businessinfo.cz](http://www.businessinfo.cz)
- [53] *SIPOC* [online]. [cit. 2015-09-21]. Dostupné z: <http://www.ipaczech.cz/cz/ipa-slovník/model-procesu-sipoc>)
- [54] HORÁLEK, Vratislav. *Jednoduché nástroje řízení jakosti I.: výstup z projektu podpory jakosti č. 5/16/2004*. Vyd. 1. Praha: Národní informační středisko pro podporu jakosti, 2004, 78 s. Průvodce řízením jakosti. ISBN 80-020-1689-0.
- [55] *Paretova analýza* [online]. [cit. 2015-09-21]. Dostupné z:  
(<http://www.vlastnicesta.cz/metody/pareto-analyza/>)
- [56] ČSN 60300-3-11. *Management spolehlivosti - Část 3-11: Návod k použití - Údržba zaměřená na bezporuchovost*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [57] *Analýzy vad při zabezpečování spolehlivosti elektronických součástek* [online]. [cit. 2015-09-22]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/01028/index.html>
- [58] *Weibullovo rozdělení při analýzách bezporuchovosti* [online]. [cit. 2015-09-22]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/02017/index.html>
- [59] *PDCA* [online]. [cit. 2015-09-22]. Dostupné z:  
[https://www.mindtools.com/pages/article/newPPM\\_89.htm](https://www.mindtools.com/pages/article/newPPM_89.htm)
- [60] *PDCA* [online]. [cit. 2015-09-22]. Dostupné z:  
<http://justpeopleconsulting.blogspot.cz/2010/07/pdca.html>
- [61] *Circuit CAM* [online]. [cit. 2015-09-22]. Dostupné z: <http://www.circuitcam.com/>
- [62] *Technion* [online]. [cit. 2015-09-22]. Dostupné z: [ie.technion.ac.il](http://ie.technion.ac.il)
- [63] *Isixsigma* [online]. [cit. 2015-09-21]. Dostupné z: <http://www.isixsigma.com/tools-templates/sipoc-copis/sipoc-diagram/>

- 
- [64] ARIS [online]. [cit. 2015-09-22]. Dostupné z: (<http://www.arisys.cz/inpage/isrpro3/>)
- [65] BOZP info. Analýza stromu poruchových stavů FTA [online]. [cit. 2012-06-26]. Dostupné z: [http://www.bozpinfo.cz/win/knihovna-bozp/citarna/tema\\_tydne/hodnoceni\\_rizik120104.castsedm.htm](http://www.bozpinfo.cz/win/knihovna-bozp/citarna/tema_tydne/hodnoceni_rizik120104.castsedm.htm)
- [66] Quality and Safety. Assessing risk: the role of probabilistic risk assessment (PRA) in patient safety improvement [online]. [cit. 2012-07-22]. Dostupné z: <http://qualitysafety.bmj.com/content/13/3/206.full>
- [67] BOZP info. Metoda strom událostí (ETA – Event Tree Analysis) [online]. [cit. 2012-06-26]. Dostupné z: [http://www.bozpinfo.cz/win/knihovna-bozp/citarna/tema\\_tydne/hodnoceni\\_rizik120104.castsedm.html](http://www.bozpinfo.cz/win/knihovna-bozp/citarna/tema_tydne/hodnoceni_rizik120104.castsedm.html)
- [68] ASQ. [online]. [cit. 2012-06-02]. Dostupné z: <http://asq.org/learn-about-quality/process-analysis-tools/overview/fmea.html>
- [69] Risk Analysis Methodologies. [online]. [cit. 2012-06-06]. Dostupné z: <http://home1.pacific.net.sg/~thk/risk.html>
- [70] WS ATKINS CONSULTANTS LTD. Root causes analysis: Literature review. Norwich: Her Majesty's Stationery Office, 2001. ISBN 0 7176 1966 4.
- [71] Emerald. [online]. [cit. 2012-08-11]. Dostupné z: <http://www.emeraldinsight.com/journals.htm/journals.htm?issn=1477-7282&volume=20&issue=2&articleid=1541295&show=html>
- [72] DETTMER, H. W. Goldratt's Theory of Constraints: a systems approach to continuous improvement. Milwaukee: ASQC Quality Press, 1997.
- [73] Focus and Leverage. [online]. [cit. 2012-08-05]. Dostupné z: <http://focusandleverage.blogspot.de/2010/11/focus-and-leverage-part-22.html>
- [74] THE NOORDWIJK RISK INITIATIVE FOUNDATION. AG Delft: NRI, 2009. ISBN 978-90-77284-08-7
- [75] SANTOS-REYES, Jaime. Applying MORT to the analysis of the “Tláhuac” incident. Reliability Engineering & System Safety. 2009, roč. 10, č. 94, s. 10.
- [76] ADVISAFE. Tripod Beta: User Guide. Den Helder: Stichting Tripod Foundation, 2008
- [77] Ikvalita [online]. [cit. 2012-09-22]. Dostupné z: <http://www.ikvalita.cz/tools.php?ID=26>
- [78] Lean Leadership [online]. [cit. 2012-07-14]. Dostupné z: <http://christianpaulsen62.wordpress.com/2010/10/19/7-steps-to-5-why/>
- [79] Paretova analýza [online]. [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: <http://lorenc.info/3MA381/graf-paretova-analyza.htm>
- [80] Paretova analýza. *Vlastní cesta* [online]. [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: <http://www.vlastnicesta.cz/metody/pareto-analyza/>
- [81] SWOT. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-09-01]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/SWOT>

[82] *Markov chains* [online]. [cit. 2014-11-22]. Dostupné z:

[https://www.dartmouth.edu/~chance/teaching\\_aids/books\\_articles/probability\\_book/Chapter11.pdf](https://www.dartmouth.edu/~chance/teaching_aids/books_articles/probability_book/Chapter11.pdf)

[83] *Monte Carlo Simulation* [online]. [cit. 2014-08-04]. Dostupné z:

[http://www.palisade.com/risk/monte\\_carlo\\_simulation.asp](http://www.palisade.com/risk/monte_carlo_simulation.asp)

[84] *Bayes* [online]. [cit. 2014-09-02]. Dostupné z: <http://www.kevinboone.net/bayes.html>



## Seznam publikací autora

### Vysokoškolské kvalifikační práce

- [1] MACHAČ, Jan. *RIZIKOVÉ ASPEKTY ŽIVOTNÍHO CYKLU VÝROBKU*. Plzeň, 2013. TEZE K DISERTAČNÍ PRÁCI. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Doc. Ing. František Steiner, Ph.D.

### Publikace vztahující se k předmětu disertační práce

- [1] MACHAČ, Jan. *Vhodné metody analýzy rizik pro výzkum a vývoj*. Elektrotechnika a informatika 2011. Část 1., Elektrotechnika. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2011. ISBN 978-80-261-0016-4.
- [2] MACHAČ, Jan a František STEINER. Řízení rizik v etapě vývoje technologického procesu. *Electroscope*. 2012, (2): 5. ISSN 1802-4564.
- [3] MACHAČ, Jan, Tomáš NOVÁK a František STEINER. Usage of inert atmosphere for solderability testing. In: *EDS'12 IMAPS CS International conference proceedings*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2012, s. 77-82. ISBN 978-80-214-4539-0.
- [4] MACHAČ, Jan. Použití metodiky Six Sigma pro řízení výrobních rizik. In: *Elektrotechnika a informatika 2012. Část 1., Elektrotechnika*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2012. ISBN 978-80-261-0120-8.
- [5] MACHAČ, Jan, Tomáš NOVÁK a František STEINER. Usage of inert atmosphere for solderability testing. *Electroscope*. 2012, (6): 1-4. ISSN 1802-4564.
- [6] MACHAČ, Jan a František STEINER. Risk Management Methodology Covering the Entire Product Lifecycle. In: *Advances in Sustainable and Competitive Manufacturing Systems: 23rd International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing*. Porto. Heidelberg: Springer, 2013, s. 59-64. ISBN 978-3-319-00556-0.
- [7] MACHAČ, Jan, Tomáš NOVÁK a František STEINER. *Integrované systémy řízení a jejich aplikace v oblasti výroby*. 1. Plzeň: SmartMotion s.r.o., 2013. ISBN 978-80-87539-43-9.
- [8] MACHAČ, Jan, Tomáš NOVÁK a František STEINER. *Integrované systémy řízení a jejich aplikace v oblasti výroby - cvičení*. 1. Plzeň: SmartMotion s.r.o., 2013. ISBN 978-80-87539-44-6.
- [9] MACHAČ, Jan a František STEINER. Process Variability Reduction by Using the Design of Experiment—A Case Study. In: *Proceedings of the 24th International Conference on Flexible Automation & Intelligent Manufacturing (FAIM 2014)*. San Antonio, USA: DEStech Publications, Inc., 2014, s. 1085-1093. ISBN 978-1-60595-173-7.

- 
- [10] MACHAČ, Jan a František STEINER. Risk management in early product lifecycle phases. *International Review of Management and Business Research*. 2014, (3): 1151-1162. ISSN 2307-5953.
- [11] MACHAČ, Jan a František STEINER. Risk treating in early lifecycle phases. *Acta Technica Corviniensis = Bulletin of Engineering*. 2014, (3): 123-128. ISSN 2067-3809.
- [12] MACHAČ, Jan, František STEINER, Karel RENDL a Václav WIRTH. PROPER SOLDER PROFILE SET-UP DUE TO PCB CONTAMINATION REDUCTION. In: *Electronic devices and systems : IMAPS CS international conference : proceedings*. Brno: Vysoké učení technické, 2014, s. 54-59. ISBN 978-80-214-4985-5.
- [13] MACHAČ, Jan, František STEINER a Jiri TUPA. Methodology for product lifecycle risk management. In: *Proceedings of the 25th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM 2015)*. Wolverhaptan, UK: The Choir Press, 2015, s. 126-133. ISBN 978-1-910864-00-5.

#### **Ostatní publikace**

- [1] RENDL Karel, Jan MACHAČ, Václav WIRTH a František STEINER. Comparison of Rosin Fluxes. *Electroscope*. 2013, (5): 1-4. ISSN 1802-4564.
- [2] RENDL Karel, Jan MACHAČ, František STEINER, a Václav WIRTH. Comparison of Rosin Fluxes. In: *Electronic devices and systems : IMAPS CS international conference : proceedings*. Brno: Vysoké učení technické, 2013, s. 166-171. ISBN 978-80-214-4754-7.

## **Příloha 1- Návod metodiky**

V této kapitole je popsán návod a postup užití metodiky. U některých kapitol či podkapitol jsou uvedeny i praktické příklady. Návod je rozdělen na čtyři fáze a to podle fází životního cyklu výrobku. Každá fáze kromě detailního popisu obsahuje i vývojový diagram.

### **Fáze koncepce**

Prvním krokem této metodiky řízení produktových rizik je identifikace těch rizik, která jsou pro zákazníka kritická, a tudíž nezvládnutí těchto rizik by mohlo vést k zákaznické nespokojenosti. Proto je nejprve vždy třeba začít vyjádřením zákaznických potřeb a podle toho identifikovat základní rizika.

#### **1. Identifikace rizik**

##### **✓ Hlas zákazníka a definice parametrů kritických pro kvalitu i zákazníka**

Hlas zákazníka jednoznačně vyjadřuje potřeby, požadavky a jeho vnímání produktu. Hlas zákazníka tedy představuje skutečné požadavky na produkt. Je potřeba získat relevantní informace a převést je na měřitelné parametry. Postup na získání hlasu zákazníka je následující:

1. Identifikace zákazníka
2. Sběr dat od zákazníka
3. Kategorizace potřeb zákazníka
4. Převedení na CTC a CTQ
5. Stanovení možných tolerancí pro CTC a CTQ

V okamžiku, kdy jsou CTC či CTQ identifikovány, tak je třeba je posunout dále a použít je jako vstupy pro první kvalitativní analýzu rizik Deplhi. Jejich výsledky poslouží jako první identifikovaná rizika pro diagram basebalového pole a celou metodu.

##### **✓ Delphi metoda**

#### ***Principy metody Delphi***

- účastní se jí určitý počet nezávislých expertů (10+/- 2)
- experti pracují anonymně (je tak odstraněna psychologická bariéra plynoucí z bezprostřední reakce účastníků v přímém kontaktu)
- odhad je upřesňován v několika kolech pomocí zpětné vazby prostřednictvím poskytnuté informace o ostatních získaných hodnotách
- výsledky jsou statisticky zpracovány

### ***Postup metody***

1. Ustanovení řídicí komise (3 – 5 členů).
2. Sestavení seznamu možných expertů, získání jejich souhlasu k účasti v týmu, vyjádření k obsahu a formulaci připravované otázky.
3. Co nejpřesnější definování problému na základě CTC a CTQ pro identifikaci rizik pro fázi koncepce, který je následně převeden do formy dotazníku (k otázkám by měly být připojeny dostatečné informace sloužící k upřesnění dotazované skutečnosti).
4. Organizátor zasílá expertům několik dotazníků (doporučuje se provedení 2 až 3kol, při dalším nárůstu vzrůstá statistická chyba metody), přičemž následující dotazník se zasílá po vyhodnocení předchozího (statistické vyhodnocení řídicí komisí viz dále).
5. Na základě odpovědí expertů jsou vyhodnoceny shodné a odlišné názory a sestaven další dotazník, který je znovu rozeslán. Dotazníky jsou obvykle rozesílány v 1 - 2 měsíčních intervalech. Dotazník by měl být sestaven tak, aby každý expert měl možnost posoudit návrhy a názory jiných expertů a přehodnotit své stanovisko. Získané odpovědi jsou znovu vyhodnoceny, opět je sestaven další dotazník a rozeslán. Cílem je dosáhnout co největší shody expertů ohledně řešení daného problému.

Výstupem je zpracování konečné zprávy o stanoveném výsledném odhadu. Pokud se shody nedosáhne, zvažuje se možnost přeformulování otázky a doplnění informacemi.

### ***Vyhodnocení metody Delphi***

K vyhodnocení lze využít aritmetický průměr, při kterém se uplatní všechny odpovědi. Výsledná hodnota se vypočte podělením součtu všech odpovědí N expertů. Aby se zabránilo vlivu hodnot extrémních odpovědí, vyškrtne se odpověď s max. a min. hodnotou a ze zbytku se vypočte aritmetický průměr. Odborníci doporučují jako indikátor skupinového názoru použít medián, který není ovlivněn případnými extrémními hodnotami odpovědí. Shoda názorů ve skupině se vyjadřuje kvadrilovým rozpětím, které zahrnuje 50% ocenění (s vyloučením 25% nejnižších a 25% nejvyšších hodnot). Toto rozpětí by nemělo být větší než +/- 10% hodnoty mediánu (často spíše +/- 10-5%) [42]. Identifikovaná rizika z metody Delphi slouží jako vstup pro metodu řízení rizik ve fázi koncepce.

- ✓ **Lessons Learned databáze**
- Prověřit

## 2. Klasifikace rizik

V případě, že všechna rizika jsou již identifikována, je třeba přikročit k jejich hodnocení a následnému určení priorit. Postup před samotným hodnocením rizik je následující:

- ✓ Identifikovaná rizika pojmenovat a popsat
- ✓ Umístit do strukturované tabulky z hlediska přehlednosti
- ✓ Pokud je to možné, tak rizika kategorizovat do kategorií, z důvodu snadnější orientace v případě velkého množství rizik:
  - Zdroje
  - Lidé
  - Procesy
  - Technologie
  - Životní prostředí
  - Ostatní
- ✓ Určit, zda je možné v této fázi vůbec rizika zvládat nebo zda musí být přesunuta do další fáze
- ✓ Pokračovat výpočtem a hodnocením rizika

## 3. Výpočet

Cílem tohoto výpočtu je identifikovaná rizika ohodnotit a určit jejich pravděpodobnosti, dopad a následnou prioritu pro jejich zvládnání z diagramu basebalového hřiště.

### ✓ Určení úrovně pravděpodobnosti

Určení úrovně pravděpodobnosti znamená určit  $\mu_p$  a to v rozsahu 1-5, jak uvádí tabulka 27. Úroveň pravděpodobnosti je zaznamenána do tabulky 28. Nastavení rozsahů pravděpodobností je možné upravit, aby vyhovovalo daným podmínkám.

Tabulka 27: Úroveň pravděpodobnosti.

Úroveň ( $\mu_p$ )	Popis	Pravděpodobnost
5	Velmi pravděpodobné	1 – 0,1
4	Pravděpodobné	0,1 – 0,01
3	Možné	0,01 – 0,001
2	Nepravděpodobný	0,001 – 0,0001
1	Velmi nepravděpodobný	méně než 0,0001

**Tabulka 28: Úroveň pravděpodobnosti zaznamenaná do tabulky.**

Položka	Risk	Popis	Kategorie	Možné zvládat v této fázi	Úroveň pravděpodobnosti ( $\mu_p$ )	Úroveň dopadu ( $\mu_l$ )	Index pravděpodobnosti $R_p$	Index dopadu $R_i$	Hodnota rizika - R	Priorita
1	O jaké riziko jde	....	Zdroje, lidé, procesy, technologie, ostatní	ANO/NE	5	1	1	0	↑ 1,00	B
2	O jaké riziko jde	....	Zdroje, lidé, procesy, technologie, ostatní	ANO/NE	2	1	0,25	0	↓ 0,25	E
....	.....	....	Zdroje, lidé, procesy, technologie, ostatní	ANO/NE	.....	.....	.....	.....	.....	.....

Pro určení pravděpodobnosti je možné dle ČSN EN 31010 použít tři možné přístupy:

1. Rizika již byla identifikována v minulých projektech
2. Prediktivní techniky
3. Odhad na základě znaleckého posudku

✓ **Výpočet indexu pravděpodobnosti**

Dalším nezbytným krokem je výpočet prvního vstupu do výpočtu a to indexu pravděpodobnosti. Výpočet je proveden dosazením do vzorce níže, a to následujícím způsobem:

1. Dosazení  $\mu_p$  – úroveň pravděpodobnosti z předchozího kroku
2. Dosazení min – minimální hodnota v tabulce, tedy min = 1
3. Dosazení  $R_{FP}$  – počet úrovní tabulky mínus hodnota jedna, tedy  $R_{FP} = 1$
4. Výsledný index pravděpodobnosti je zaznamenan do tabulky 29

$$R_p = \frac{\mu_p - \min}{R_{FP}}$$

**Tabulka 29: Zaznamenání indexu pravděpodobnosti  $R_p$  do tabulky.**

Položka	Risk	Popis	Kategorie	Možné zvládat v této fázi	Úroveň pravděpodobnosti ( $\mu_p$ )	Úroveň dopadu ( $\mu_l$ )	Index pravděpodobnosti $R_p$	Index dopadu $R_i$	Hodnota rizika - R	Priorita
1	O jaké riziko jde	....	Zdroje, lidé, procesy, technologie, ostatní	ANO/NE	5	1	1	0	↑ 1,00	B
2	O jaké riziko jde	....	Zdroje, lidé, procesy, technologie, ostatní	ANO/NE	2	1	0,25	0	↓ 0,25	E
....	.....	....	Zdroje, lidé, procesy, technologie, ostatní	ANO/NE	.....	.....	.....	.....	.....	.....

### ✓ Určení úrovně dopadu

Úroveň dopadu rizikových faktorů může být určena z minulých podobných projektů nebo může být odhadnut znalcem. Shrnutý popis je uveden v tabulce 30. V případě, že jsou k dispozici mnohonásobná kritéria, která mohou mít určitý dopad, tak prioritizace dopadu rizikových faktorů při rozhodovacím procesu je určena pomocí metody Analytic Hierarchy Process (AHP). Hodnoty úrovně dopadu jsou zaznamenány do tabulky 31.

**Tabulka 30: Určení úrovně dopadu.**

Úroveň ( $\mu_I$ )	Popis	Kritéria
5	Kritický	Záleží na události
4	Vážný	
3	Významný	
2	Malý	
1	Zanedbatelný	

**Tabulka 31: Zaznamenání úrovně dopadu.**

Položka	Risk	Popis	Kategorie	Možné zvládat v této fázi	Úroveň pravděpodobnosti ( $\mu_P$ )	Úroveň dopadu ( $\mu_I$ )	Index pravděpodobnosti $R_P$	Index dopadu $R_I$	Hodnota rizika - R	Priorita
1	O jaké riziko jde	....	Zdroje, lidé, procesy, technologie, ostatní	ANO/NE	5	3	1	0,5	↑ 1,12	A
2	O jaké riziko jde	....	Zdroje, lidé, procesy, technologie, ostatní	ANO/NE	2	2	0,25	0,25	↓ 0,35	D
....	.....	....	Zdroje, lidé, procesy, technologie, ostatní	ANO/NE	.....	.....	.....	.....	.....	.....

### ✓ Výpočet indexu dopadu

Následným krokem pro získání druhého vstupu pro výpočet hodnoty rizika je indexu pravděpodobnosti. Výpočet je proveden dosazením do vzorce níže, a to následujícím způsobem:

1. Dosazení  $\mu_I$  – úroveň pravděpodobnosti z předchozího kroku
2. Dosazení  $min$  – minimální hodnota v tabulce, tedy  $min = 1$
3. Dosazení  $R_{FP}$  – počet úrovní tabulky mínus hodnota jedna, tedy  $R_{FP} = 1$
4. Výsledný index pravděpodobnosti je zaznamenán do tabulky 32

$$R_I = \frac{\mu_P - min}{R_{FI}}$$

**Tabulka 32: Zaznamenání indexu dopadu.**

Položka	Risk	Popis	Kategorie	Možné zvládat v této fázi	Úroveň pravděpodobnosti ( $\mu_p$ )	Úroveň dopadu ( $\mu_l$ )	Index pravděpodobnosti $R_p$	Index dopadu $R_l$	Hodnota rizika - R	Priorita
1	O jaké riziko jde	....	Zdroje, lidé, procesy, technologie, ostatní	ANO/NE	5	3	1	0,5	↑ 1,12	A
2	O jaké riziko jde	....	Zdroje, lidé, procesy, technologie, ostatní	ANO/NE	2	2	0,25	0,25	↓ 0,35	D
.....	.....	....	Zdroje, lidé, procesy, technologie, ostatní	ANO/NE	.....	.....	.....	.....	.....	.....

### ✓ Výpočet rizikového čísla

Po získání indexu pravděpodobnosti a indexu dopadu je konečně možné vypočítat hodnotu identifikovaného rizika. Hodnota se dosáhne dosazením do vzorce níže. Hodnota rizika je zanesena do tabulky 33.

$$R = \sqrt{R_l^2 + R_p^2}$$

**Tabulka 29: Určení hodnoty rizika.**

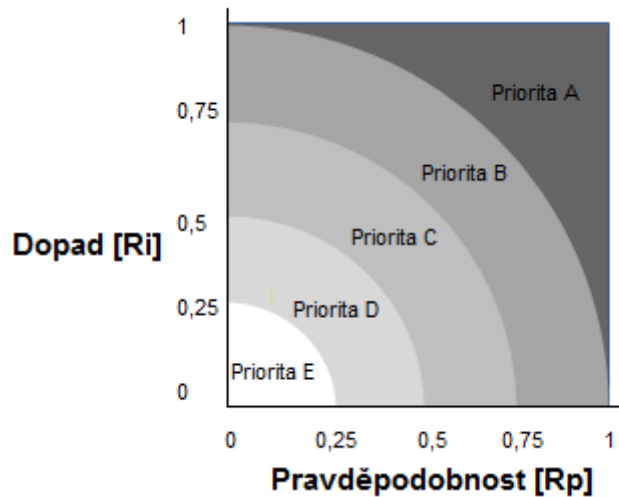
Položka	Risk	Popis	Kategorie	Možné zvládat v této fázi	Úroveň pravděpodobnosti ( $\mu_p$ )	Úroveň dopadu ( $\mu_l$ )	Index pravděpodobnosti $R_p$	Index dopadu $R_l$	Hodnota rizika - R	Priorita
1	O jaké riziko jde	....	Zdroje, lidé, procesy, technologie, ostatní	ANO/NE	5	3	1	0,5	↑ 1,12	A
2	O jaké riziko jde	....	Zdroje, lidé, procesy, technologie, ostatní	ANO/NE	2	2	0,25	0,25	↓ 0,35	D
.....	.....	....	Zdroje, lidé, procesy, technologie, ostatní	ANO/NE	.....	.....	.....	.....	.....	.....

### ✓ Určení priority

Priorita jednotlivých rizik je určena přes takzvaný diagram basebalového hřiště, viz obr. 63. Výsledky jsou zaznamenány do tabulky 34. Priority jsou označeny následovně:

- A – nejvyšší priorita ( $R > 1$ )
- B – vysoká priorita ( $R > 0,75$ )
- C – střední priorita ( $R > 0,5$ )
- D – nízká priorita ( $R > 0,25$ )
- E – nejnižší priorita ( $R \leq 0,25$ )





Obrázek 63: Diagram basebalové hřiště.

Tabulka 30: Zaznamenání priority rizika do tabulky.

Položka	Risk	Popis	Kategorie	Možné zvládat v této fázi	Úroveň pravděpodobnosti ( $\mu p$ )	Úroveň dopadu ( $\mu l$ )	Index pravděpodobnosti Rp	Index dopadu Ri	Hodnota rizika - R	Priorita
1	O jaké riziko jde	....	Zdroje, lidé, procesy, technologie, ostatní	ANO/NE	5	3	1	0,5	↑ 1,12	A
2	O jaké riziko jde	....	Zdroje, lidé, procesy, technologie, ostatní	ANO/NE	2	2	0,25	0,25	↓ 0,35	D
.....	.....	....	Zdroje, lidé, procesy, technologie, ostatní	ANO/NE	.....	.....	.....	.....	.....	.....

### ✓ Rozhodnutí

Rizika priority E mohou být akceptována a jejich přenos do další fáze životního cyklu výrobku není vyžadován pro jejich nízkou hodnotu pravděpodobnosti a dopadu. Rozhodnutí je následně zaznamenáno do tabulky 35.

Tabulka 31: Zaznamenání rozhodnutí o zvládnání rizika.

Položka	Risk	Popis	Kategorie	Možné zvládat v této fázi	Úroveň pravděpodobnosti ( $\mu p$ )	Úroveň dopadu ( $\mu l$ )	Index pravděpodobnosti Rp	Index dopadu Ri	Hodnota rizika - R	Priorita	Akceptováno
1				ANO	1	1	0	0	↓ 0,00	E	ANO
2				ANO	3	2	0,5	0,25	⇒ 0,56	C	NE
....	....	....	Zdroje, lidé ....	ANO	3	4	0,5	0,75	↑ 0,90	B	NE

Rizika mohou být zvládnána následujícími způsoby:

- Redukce rizika (vhodné protipatření, které riziko minimalizuje)
- Vyhnoutí se riziku (navrhnout jiné řešení, kde se toto riziko nevyskytuje)
- Transfer rizika (přenesení rizika na jiný subjekt, např. pojištění)

Výsledky jsou zaznamenány do kolonky protipatření, jak je uvedeno v tabulce 36.

### ✓ Zbytkové riziko

V případě, že zbytkové riziko dosahuje hodnoty E, tak již není dále přenášeno do další fáze, ale pouze zaznamenáno do Lessons Learned databáze. Výsledek je zaznamenán do tabulky 36.

**Tabulka 32: Zaznamenání protipatření a zbytkového rizika do tabulky.**

Položka	Risk	Popis	Kategorie	Možné zvládat v této fázi	Úroveň pravděpodobnosti ( $\mu p$ )	Úroveň dopadu ( $\mu l$ )	Index pravděpodobnosti $R_p$	Index dopadu $R_i$	Hodnota rizika - R	Priorita	Akceptováno	Protipatření	Zbytkové riziko
1				ANO	1	1	0	0	↓ 0,00	E	ANO		NE
2				ANO	3	2	0,5	0,25	⇒ 0,56	C	NE		NE
....	....	....	Zdroje, lidé ....	ANO	3	4	0,5	0,75	↑ 0,90	B	NE		ANO

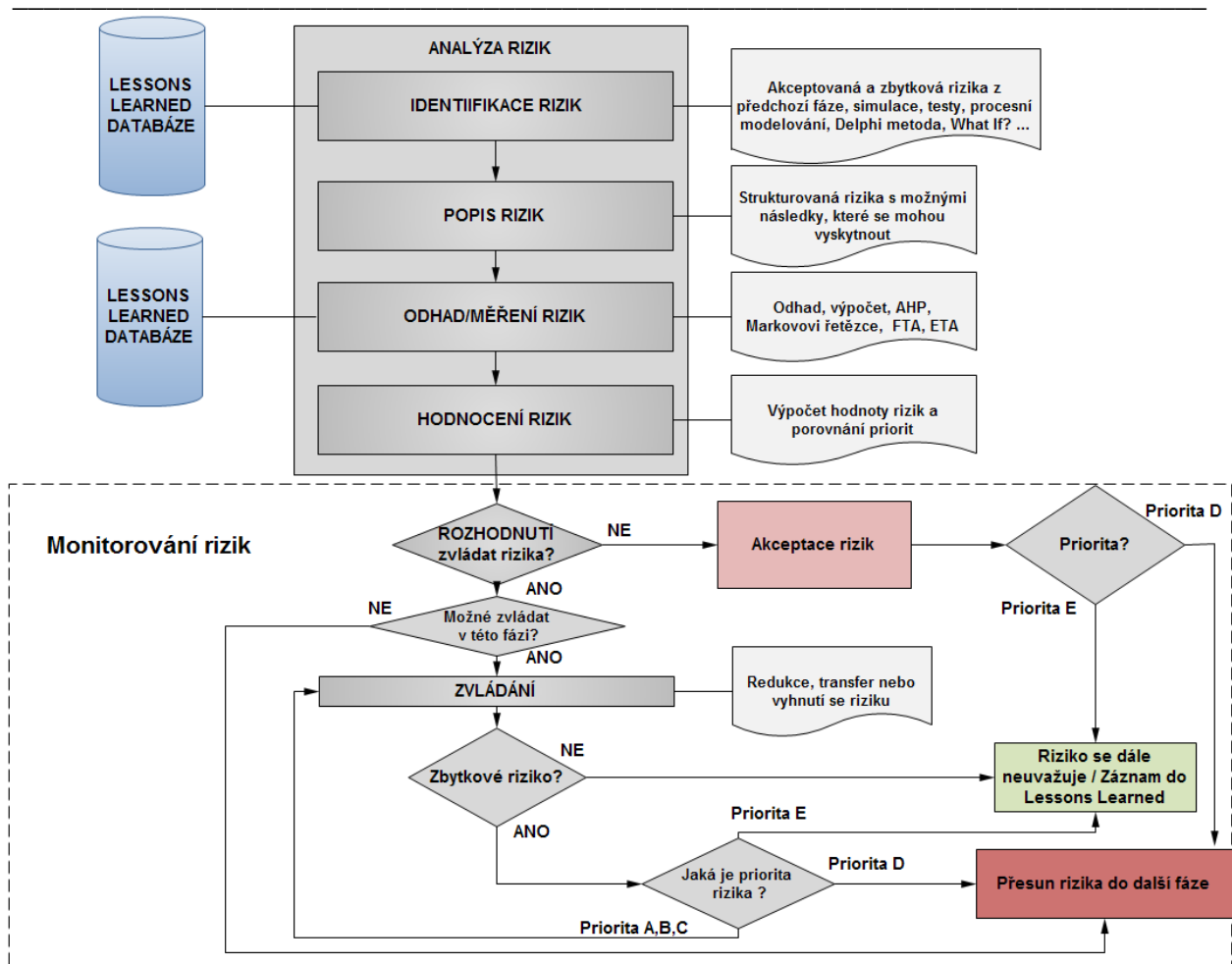
### ✓ Přenos do další fáze

Pro některá identifikovaná rizika není možné navrhnout protipatření z důvodu jejich výskytu až v pozdějších fázích životního cyklu, a proto jsou tato rizika přenesena automaticky, viz tab. 37. Dalšími riziky, která jsou přenesena, jsou již zmíněná akceptovaná rizika priority D. Výsledek o tom, zda jsou rizika přenesena do další fáze či nikoliv je zaznamenán do tabulky 37.

**Tabulka 33: Záznam o tom, zda je riziko přeneseno do další fáze či nikoliv.**

Položka	Risk	Popis	Kategorie	Možné zvládat v této fázi	Úroveň pravděpodobnosti ( $\mu p$ )	Úroveň dopadu ( $\mu l$ )	Index pravděpodobnosti $R_p$	Index dopadu $R_i$	Hodnota rizika - R	Priorita	Akceptováno	Protipatření	Zbytkové riziko	Přeneseno do další fáze
1				ANO	1	1	0	0	↓ 0,00	E	ANO		NE	NE
2				ANO	3	2	0,5	0,25	⇒ 0,56	C	NE		NE	NE
....	....	....	Zdroje, lidé ....	ANO	3	4	0,5	0,75	↑ 0,90	B	NE		ANO	ANO

Vývojový diagram celého postupu metodiky řízení rizik pro fázi koncepce je zobrazen na obrázku 64.



Obrázek 64: Vývojový diagram celého postupu metodiky řízení rizik pro fázi koncepce.

## Fáze návrhu

### 1. Identifikace rizik

#### ✓ Rizika z předchozí fáze

První rizika, která je nutné uvažovat ve fázi návrhu, jsou rizika z předchozí fáze, která byla určena pro přesun. Tedy jedná se o rizika, která nebylo možné v předchozí fázi zvládat a rizika zbytková a akceptovaná u kterých byla určena priorita D.

#### ✓ Lessons Learned databáze

- Prověřit

#### ✓ Hlas zákazníka, CTC, CTQ a metoda Delphi

I ve fázi návrhu je třeba brát v potaz parametry, které jsou pro zákazníka kritické a použít je jako vstupy do metody Delphi. Postup metody Delphi bude stejný jako v předchozí fázi.

✓ **Rizika fáze návrhu**

**Kusovník**

Vytvoření kusovníku produktu je základním předpokladem pro vytvoření spolehlivostního stromu. V kusovníku se definují všechny použité komponenty a jejich jednotlivá spolehlivost.

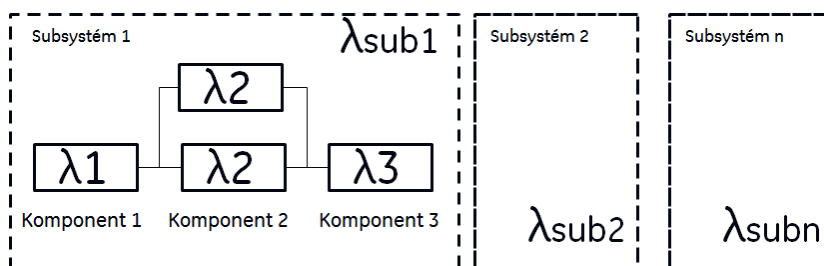
**Blokový diagram spolehlivosti**

Tvorba blokového diagramu spolehlivosti začíná vždy od jednotlivých komponent a jejich danou spolehlivostí. Spolehlivost jednotlivých komponentů je převzata z kusovníku, viz obr. 65.



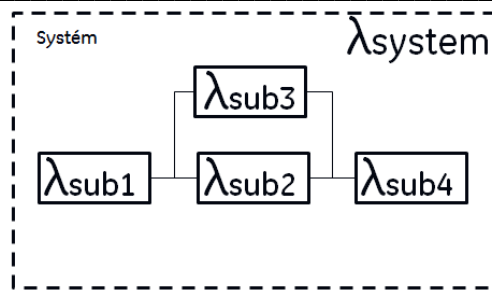
Obrázek 65: Určení spolehlivosti jednotlivých komponent.

Následně je z jednotlivých komponentů sestaven subsystem a spočtena jeho spolehlivost, viz obr. 66.



Obrázek 66: Zjišťování spolehlivosti jednotlivých subsystemů.

Z jednotlivých subsystemů, ty mohou mít i několik úrovní je sestaven celý systém a spočtena celková spolehlivost, jak je vidět na obrázku 67. Podrobný návod na blokový diagram spolehlivosti uvádí norma ČSN EN 61078:2006.



Obrázek 66: Spolehlivost celého systému.

## Rizika návrhu

- Simulace zacházení s produktem zákazníkem
- Umístění do pracovních podmínek
- Využití nástrojů CAID, CAM, CAE, CAPE a CAPP pro testování, simulaci či validaci
- Brainstorming se zákazníkem

## Konec životního cyklu výrobku

Už v této fázi je nezbytné uvažovat konec životního cyklu výrobku, jenž přináší další rizika spojená s jeho likvidací. Je nutné zvážit environmentální a bezpečnostní rizika a materiálové složení produktu pro jeho pozdější zacházení v souladu se standardy (např. RoHS, WEEE).

### 2. Klasifikace rizik

Pro všechna identifikovaná rizika musí být nyní spočítána jejich hodnota a následně určena i jejich priorita. Jak již bylo zmíněno výše, tak hodnota rizika je vypočtena pomocí indexů pravděpodobnosti a dopadu. Postup bude stejný jako v předchozí fázi.

### 3. Výpočet

Celý postup výpočtu včetně rozhodnutí, výpočtu zbytkového rizika a postupu přenosu do další fáze je shodný s postupem uvedeným v předchozí fázi. Celý postup je zobrazen na obr. 64.

### 4. Bezporuchovost

V této fázi životního cyklu výrobku je nebytné také naplánovat údržbu zaměřenou na bezporuchovost. Jako pravidelná preventivní údržba může být i navrženo protiopatření proti jistým rizikům. Pro definování základního programu údržby je zapotřebí nejprve znát specifikaci produktu (Hlas zákazníka -Voice of Customer, CTC, CTQ) a další vstupy získané z Lessons Learned databáze, doporučení od dodavatelů již zavedených údržbových programů.

Podrobný návod na program údržby spolehlivosti udává norma ČSN EN 60300-3-11. Postup je následující:

1. Specifikace funkcí a kritických požadavků
2. Vstupy od dodavatele
3. Vstupy z Lessons Learned a již zavedených údržbových programů
4. Určení rizik, která mají být zvládána pravidelnou preventivní údržbou
5. Vypracování úkolů
6. Určení četnosti úkolů

Jako vstupy poslouží identifikovaná rizika z fáze návrhu a koncepce. Úspěšná aplikace programu bezporuchovosti vyžaduje dobré pochopení zařízení i konstrukce, jakož i provozního prostředí, provozního kontextu a přidružených systémů spolu s pochopením možných poruch a jejich následky. Údržba bývá častým způsobem zvládnání méně závažných rizik. Počáteční program údržby by měl vznikat ve spolupráci mezi dodavatelem a uživatelem.

## **Fáze realizace**

### **1. Identifikace rizik**

V této fázi dříve docházelo k největšímu odhalování závad, problémů a incidentů. Nyní by zde měla být identifikována pouze takové závady, které bude možné zvládat procesně a nebude docházet k re-designu produktu, což by mohlo výrazně ovlivnit finanční úspěch produktu.

- ✓ **Rizika z předchozí fáze**
- ✓ **Lessons Learned databáze**
  - Prověřit
- ✓ **Hlas zákazníka (VOC), CTC, CTQ a metoda Deplhi**

Postup bude stejný jako v kapitole v předchozí fázi.

- ✓ **Rizika fáze realizace**

Následující aktivity jsou vhodné k odhalení dalších rizik fáze realizace:

- Simulace (CAPP, CAPE atd.)
- SPC, statistická měření
- Dodavatelská rizika
- Rizika kontroly kvality
- ✓ **Návod SIPOC**

### ***Rozložit proces na požadovanou úroveň***

Pomocí diagramu SIPOC postupujeme odshora na tu část procesu, kterou se tým zabývá. Nemusí se jednat o pohled na proces jako celek. Dobré je tedy vycházet z mapy procesů či tzv. Top-Down diagramu. Proces je následující:

1. Určit začátek a konec procesu
2. Identifikovat hlavní kroky procesu
3. Vytvořit seznam výstupů a zákazníků
4. Vytvořit seznam vstupů a dodavatelů

V tabulce 38 je uvedena tabulka pro tvorbu SIPOC, tabulka 39 uvádí možný příklad použití. Detailní návod na provedení SIPOC analýzy je uveden v [61].

**Tabulka 34: Tabulka pro tvorbu SIPOC.**

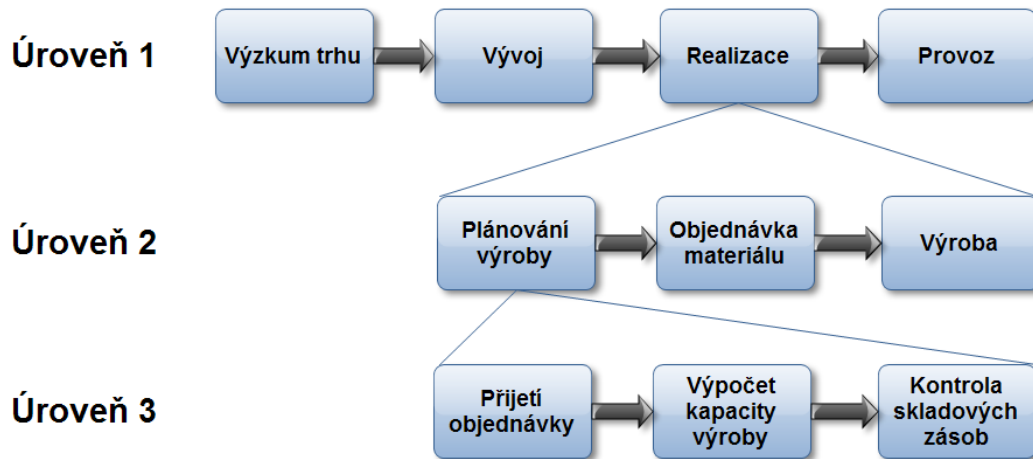
<b>Dodavatelé (Suppliers)</b>	<b>Vstupy (Inputs)</b>	<b>Proces (Process)</b>	<b>Výstupy (Outputs)</b>	<b>Zákazníci (Customers)</b>

**Tabulka 35: Možný příklad použití.**

<b>Dodavatelé (Suppliers)</b>	<b>Vstupy (Inputs)</b>	<b>Proces (Process)</b>	<b>Výstupy (Outputs)</b>	<b>Zákazníci (Customers)</b>
Dodavatelská firma	Komponenty	Výroba	Produkt	Interní zákazník
Personální agentura	Pracovník		Datový záznam	SAP
Vývojové oddělení	Specifikace		Odpadový materiál	.....
.....	.....		.....	.....

## ✓ Procesní mapa

V procesní mapě se zaznamenávají dílčí procesy celého výrobního či testovacího procesu. Příklad viz obr. 68, kde je zaznamenán možný postup firemních procesů a to na třech úrovních.



Obrázek 67: Příklad procesní mapy a rozkladu procesů.

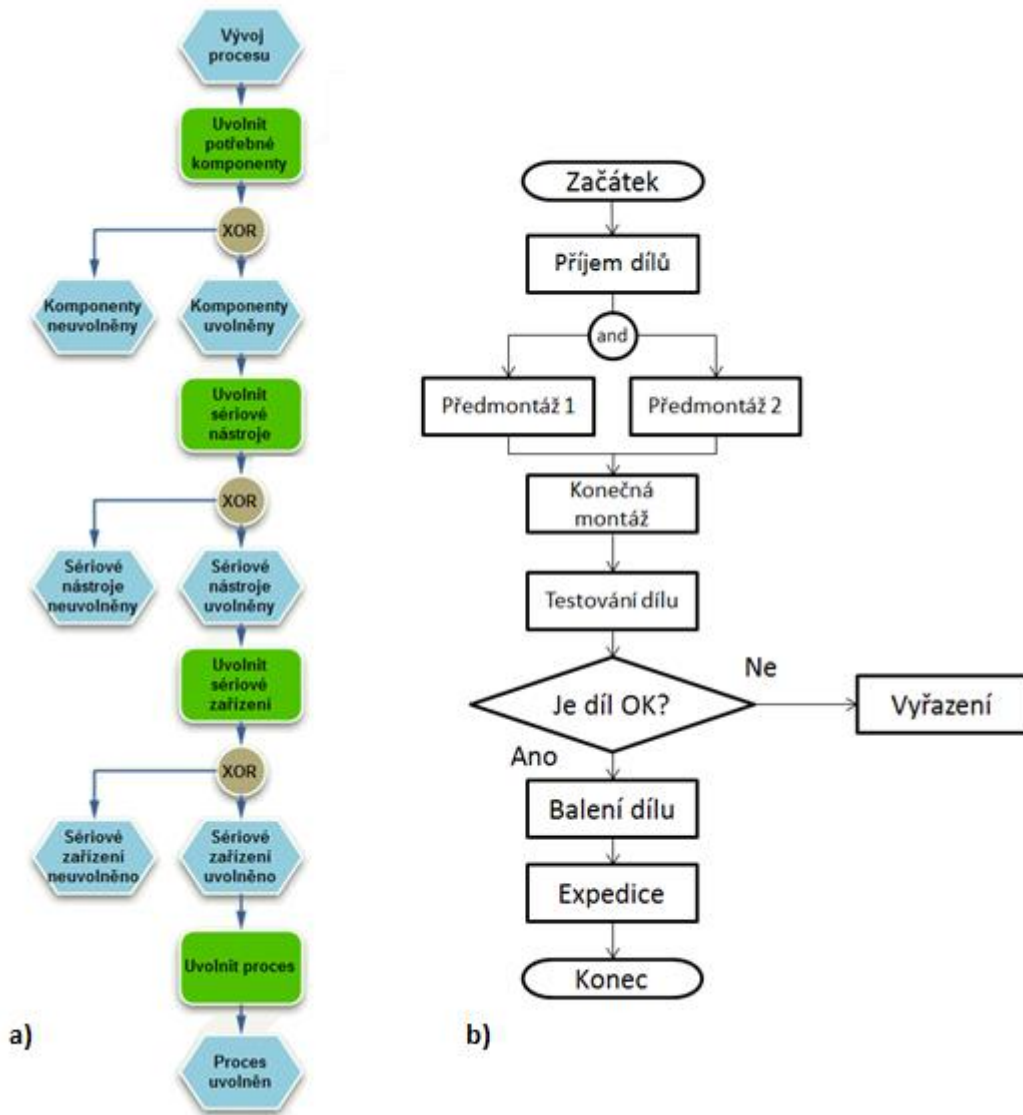
Procesní řízení je možno realizovat v několika úrovních podle míry podrobnosti.

- Úroveň činností (aktivit) - každý proces je rozdělen na jednotlivé činnosti (aktivity), které je možno členit na:
  - výkonné (transformační)
  - kontrolní
  - rozhodovací

Sledování je prováděno na vstupu a výstupu každé činnosti. Zpracování alespoň na této úrovni je potřebné pro restrukturalizaci procesů. Takto jsou také zpracovány vzorové procesní modely systémů řízení jakosti, životního prostředí a bezpečnosti v integrovaném systému řízení. Modely procesů do této úrovně nazýváme statické. Příklad statického modelu viz obr. 69b.

- úroveň událostí - každá činnost začíná a končí událostí. Tím je možno sledovat činnost nejen jako celek, ale i její jednotlivé výskyty v reálném čase. Tady je možno realizovat řízení procesů (workflow), ve kterém se činnosti střídají s událostmi. Modely procesů na této úrovni nazýváme dynamické. Příklad dynamického modelu viz obr. 69a.





Obrázek 68: a) příklad dynamického modelu procesu b) příklad statického modelu procesu [64].

### ✓ Nástroje řízení jakosti a statistika

Ve zkušební výrobě je nutné sledovat přinejmenším procesní variaci všech sledovaných kritických parametrů produktu a reagovat na ní v případě statisticky nezvládnutelného stavu. Toto sledování je nutné provádět i při samotné následné výrobě.

### 2. Klasifikace rizik

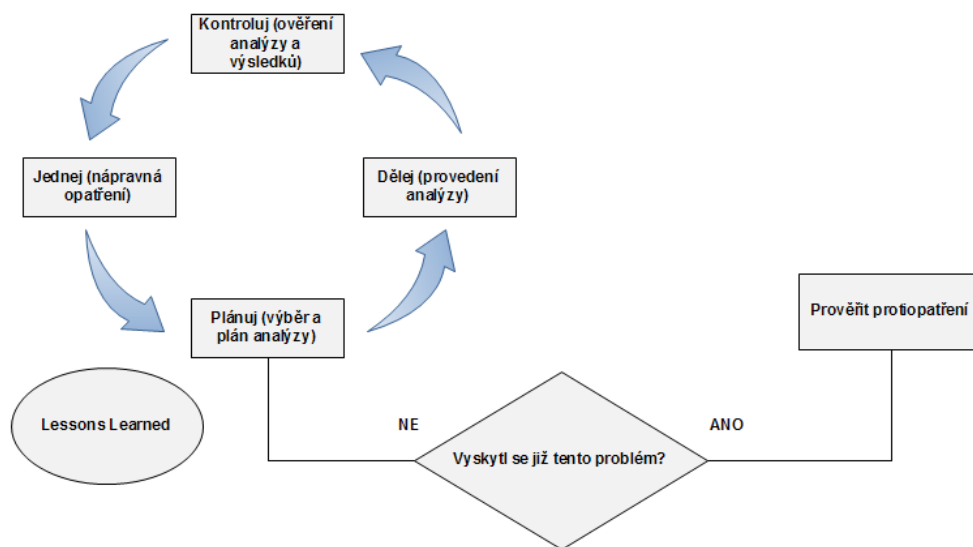
Postup je identický jako v předchozí fázi.

### 3. Výpočet

Celý postup výpočtu včetně rozhodnutí, výpočtu zbytkového rizika a postupu přenosu do další fáze je shodný s postupem uvedeným v předchozí fázi.

#### 4. Vyšetřování incidentů

Při výskytu určitého selhání, problému či incidentu je jako první důležité prověřit, zda se již nevyskytlo v dřívějších fázích projektu nebo zda již nebylo provedeno protiopatření, které mělo zabránit výskytu tohoto rizika. Diagram postupu vyšetřování je vidět na obrázku 70.



Obrázek 70: Diagram postupu vyšetřování.

### Fáze provozu

#### 1. Identifikace rizik

V této fázi by již měla být všechna závažná rizika identifikována a zvládnuta. Závady a incidenty výrobku již by neměly mít zásadní vliv na funkčnost produktu. Identifikovaná rizika v této fázi by měla být zvládána především plánovanou údržbou.

- ✓ **Rizika z předchozí fáze zvládaná údržbou**
- ✓ **Lessons Learned databáze**
- ✓ **Hlas zákazníka, CTC, CTQ a metoda Deplhi**

Postup bude stejný jako v kapitole v předchozí fázi.

- ✓ **Incidence fáze provozu**

Důležité je naplánovat pro tuto fázi sběr spolehlivostních dat, která mohou identifikovat nová rizika. Data mohou být použita pro vývoj produktu nové generace. Následující aktivity jsou vhodné k odhalení dalších incidentů fáze provozu:

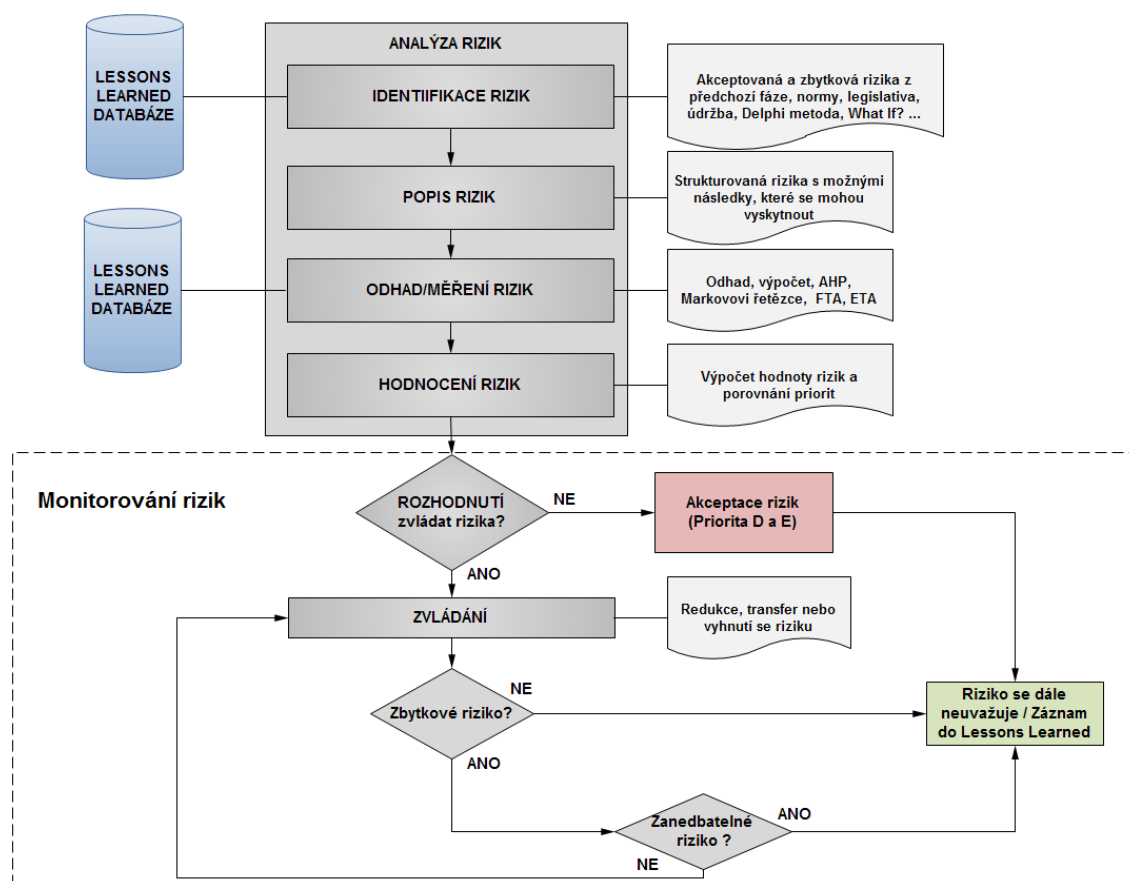
- Sběr dat provozní spolehlivosti
- Reakce uživatelů

## 2. Klasifikace rizik

Pro všechna identifikovaná rizika musí být nyní spočítána jejich hodnota a následně určena i jejich priorita. Jak již bylo zmíněno výše, tak hodnota rizika je vypočtena pomocí indexů pravděpodobnosti a dopadu. Postup je identický jako v předchozí fázi.

## 3. Výpočet

Celý postup výpočtu včetně rozhodnutí, výpočtu zbytkového rizika a postupu přenosu do další fáze je shodný s postupem uvedeným v předchozí fázi. Postup je zobrazen na obr. 71.



Obrázek 71: Vývojový diagram celého postupu metodiky řízení rizik pro fázi provozu.

## 4. Vyšetřování incidentů

Celý postup výpočtu je shodný s postupem uvedeným v předchozí fázi.

## 5. Produkt nové generace

Všechny zaznamenané poznatky o možných vadách, rizicích, spolehlivosti a problémech spojenými a vývojem a výrobou nového produktu je vhodné pečlivě zaznamenávat a následně jich využít při vývoji a výrobě produktu nové generace. Je tedy nutné neustále využívat Lessons Learned databázi. Databáze je nutností a cenným zdrojem informací pro další vývoj výrobku.

## Příloha 2 - Průvodce metodami analýz rizik

Obsahem průvodce metodami analýz rizik jsou ty metody, které jsou používány zejména při analýze technologických a produktových rizik. Tabulka 40 představuje jejich seznam, metody jsou následně popsány.

Tabulka 40: Obsah průvodce metodami analýz rizik.

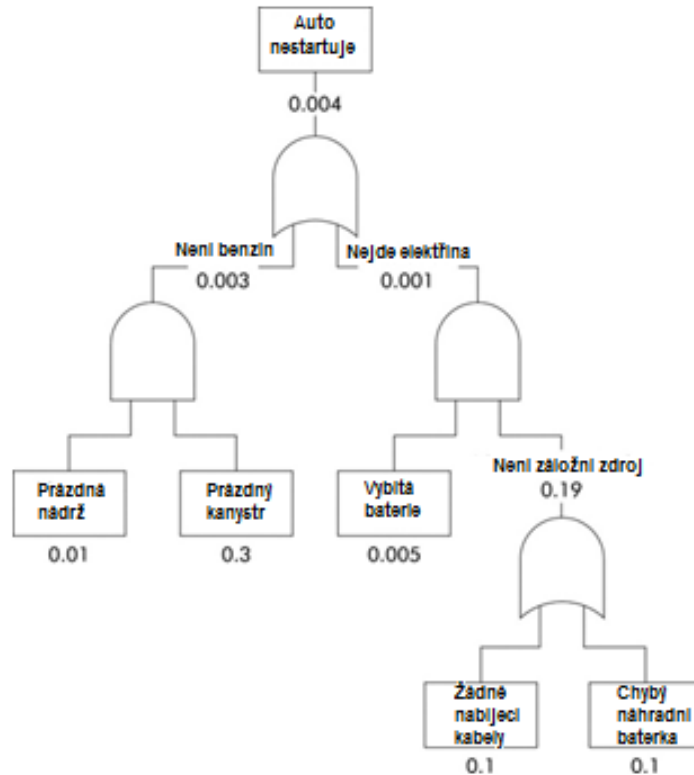
Název metody	Kvantita- tivní	Kvalita- tivní	Možné použití
<b>Fault Tree Analysis</b>	x	x	Analýza scénáře
<b>Event Tree Analysis</b>	x	x	Analýza scénáře
<b>Causes and Consequences Analysis</b>	x	x	Analýza scénáře
<b>What If?</b>		x	Podpůrná metoda
<b>Critical Incident Technique</b>		x	Analýza scénáře
<b>Current Reality Tree</b>		x	Analýza scénáře
<b>Hazard and Operability Study</b>		x	Analýza funkce
<b>Multiple Events Sequencing</b>		x	Analýza scénáře
<b>Sequentially Tied Events Plotting Procedure</b>		x	Analýza scénáře
<b>Schematic Report Analysis Diagram</b>		x	Analýza scénáře
<b>Barrier Analysis</b>		x	Posuzování prvků řízení rizika
<b>Tripod Beta Analysis</b>		x	Analýza scénáře
<b>Ishikawův diagram</b>		x	Podpůrná metoda
<b>Causal Loop Diagrams</b>		x	Analýza scénáře
<b>Root Cause Analysis</b>		x	Analýza scénáře
<b>Root Cause Failure Analysis</b>		x	Analýza scénáře
<b>Events and Causal Factors Charting</b>		x	Analýza scénáře
<b>Event Root Cause Analysis Procedure</b>		x	Analýza scénáře
<b>Savannah River Plant Root Causes Analysis System</b>		x	Analýza scénáře
<b>TapRoot</b>	x	x	Analýza scénáře
<b>HSYS</b>	x	x	Analýza scénáře
<b>Assessment of Safety Significant Teams</b>		x	Analýza scénáře
<b>Safety Through Organisational Learning</b>		x	Analýza scénáře
<b>Causal Tree Method</b>	x	x	Analýza scénáře
<b>Paretova analýza</b>	x		Podpůrná metoda
<b>Systematic Accident Cause Analysis</b>	x	x	Analýza scénáře
<b>Systematic Cause Analysis Technique</b>		x	Analýza scénáře
<b>Six Sigma</b>	x	x	Analýza scénáře
<b>Checklist</b>		x	Vyhledávací metoda
<b>Failure Mode and Effect Analysis</b>	x	x	Analýza funkce
<b>Management Oversight and Risk Tree</b>	x	x	Analýza scénáře
<b>Technic of Operation</b>		x	Analýza scénáře
<b>SWOT analýza</b>		x	Vyhledávací metoda
<b>Probabilistic Safety Assessment</b>	x		Posuzování prvků řízení rizika
<b>Layers of Protection Analysis</b>	x	x	Posuzování prvků řízení

			rizika
<b>Identifikace procesů a rizik</b>		x	Posuzování prvků řízení rizika
<b>Change analysis</b>		x	Analýza scénáře
<b>Work Process Analysis Model</b>		x	Posuzování prvků řízení rizika
<b>Sneak Circuit Analysis</b>		x	Analýza funkce
<b>Preliminary Hazard Analysis</b>	x	x	Vyhledávací metoda
<b>Markovova analýza</b>	x		Statistická metoda
<b>Analýza Monte Carlo</b>	x		Statistická metoda
<b>Bayesovská analýza</b>	x		Statistická metoda

### **Fault Tree Analysis – FTA**

FTA nebo analýza stromu poruchových stavů je technika, která může být kvalitativní nebo kvantitativní. Touto metodou se deduktivně identifikují podmínky a faktory, které mohou přispívat ke specifikované nežádoucí události, která se v případě FTA nazývá vrcholová. Tyto podmínky a faktory se logickým způsobem organizují a graficky znázorňují. Poruchové stavy identifikované ve stromu mohou být události, které jsou sdruženy s poruchami součástí hardwaru, s lidskými omyly nebo s jinými souvisícími událostmi, které vedou k nežádoucí události. Následuje postupná identifikace nežádoucího provozního stavu systému na stále nižších úrovních systému, která povede až na požadovanou úroveň systému, kterou je obvykle druh poruchového stavu součástí [28],[65].

FTA poskytuje vědecký přístup, který je vysoce systematický, avšak současně pružný, aby umožňoval analyzovat různé faktory včetně fyzikálních jevů a interakcí s člověkem. Použitím přístupu "shora dolů", který je této technice vlastní, se soustřeďuje pozornost na ty důsledky poruch, které se přímo vztahují k vrcholové události. FTA se může použít pro identifikaci nebezpečí, ačkoliv se používá především při posuzování rizika jako nástroj, který poskytuje odhad pravděpodobností nebo četností poruch [67]. Příklad je uveden na obrázku 72.

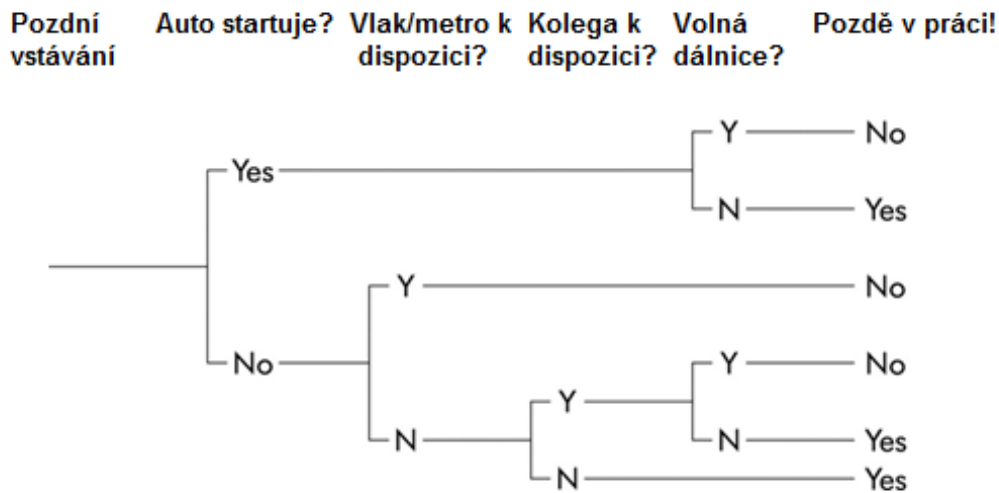


Obrázek 69: Příklad stromu metodiky Fault Tree Analysis [65].

### Event Tree Analysis – ETA

ETA nebo také analýza stromu události je kvalitativní nebo kvantitativní technika, která se používá k identifikaci možných následků a jejich pravděpodobností při výskytu události, která je iniciovala. Jedná se o induktivní typ analýzy, při které se odpovídá na základní otázku "co se stane, když?".

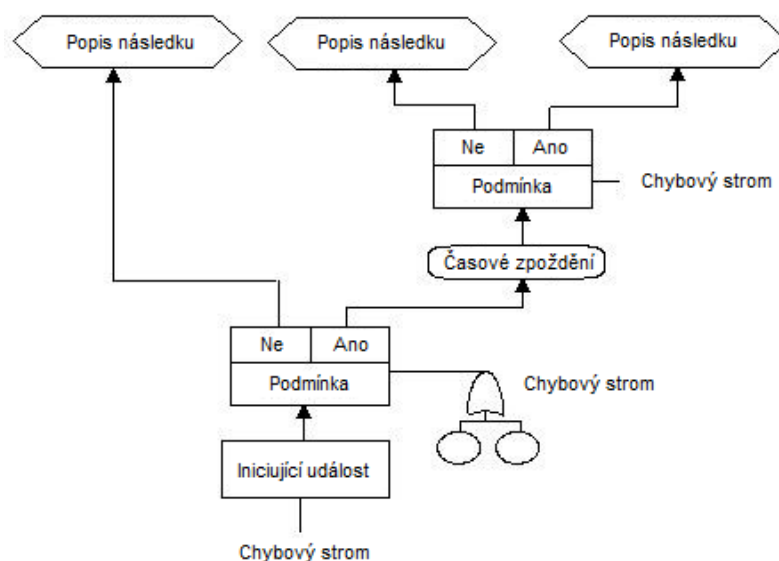
Názorně popisuje vztah mezi funkcí nebo poruchou různých systémů pro zmírnění nehod a konečnou nebezpečnou událostí následující po výskytu jediné iniciující události. ETA je velmi užitečná metoda při identifikování událostí, které vyžadují další analýzu pomocí FTA (tj. vrcholových událostí stromu poruchových stavů). Aby bylo možné provádět zevrubné posuzování rizika, je nutné, aby byly identifikovány všechny možné iniciující události. Vždy však existuje možnost, že při použití této techniky budou některé důležité iniciující události chybět [68]. ETA se může použít jak pro identifikaci nebezpečí, tak pro odhad pravděpodobnosti posloupnosti událostí vedoucích k nebezpečným situacím. Příklad je uveden na obrázku 73.



Obrázek 70: Příklad stromu metodiky Event Tree Analysis [65].

### Causes and Consequences Analysis – CCA

Cause and Consequences je technika, která kombinuje schopnost kritického stromu (Fault Tree) ukázat způsob jak různé faktory mohou způsobit nebezpečnou událost se schopností ukázat nejrůznější možné výstupy. Sled a časový průběh může být zobrazen v diagramu následků. Symbolika je zde stejná jako ta, která je používána k zobrazení logické kombinatoriky. Technika má značný potenciál pro zobrazování vztahů od iniciující události ke konečnému výstupu. Může být použita přímo ke kvantifikaci, ale diagramy se mohou stát velice těžkopádnými. Z tohoto důvodu není Cause and Consequence Analysis tak široce používána jako např. Fault Tree Analysis či Event Tree Analysis. Jako možné optimální použití se jeví např. pouze k prezentaci část analýzy rizik [69]. Příklad je uveden na obrázku 74.



Obrázek 71: Příklad možného způsobu použití metodiky CCA [69].

## **What If?**

Účelem analýzy je identifikovat zdroje rizika, nebezpečné situace nebo určité nehodové události, které mohou způsobit nežádoucí následky. Zkušený tým lidí odhaluje možné nehodové situace, jejich následky a existující opatření, poté navrhuje alternativy na snížení rizika.

Technika What If? (Co se stane když?) je přístup spontánní diskuze a hledání nápadů, ve které skupina zkušených lidí dobře obeznámených s procesem klade otázky a vyslovuje úvahy o možných nežádoucích událostech. Není to vnitřně strukturovaná technika jako např. FMEA. Namísto toho po analytikovi požaduje, aby přizpůsobil základní koncept určitému účelu. Výsledkem je pak tabulkový seznam nebezpečných situací, seznam jejich ochrany proti následkům a seznam možných návrhů pro snížení rizika [28].

## **Critical Incident Technique – CIT**

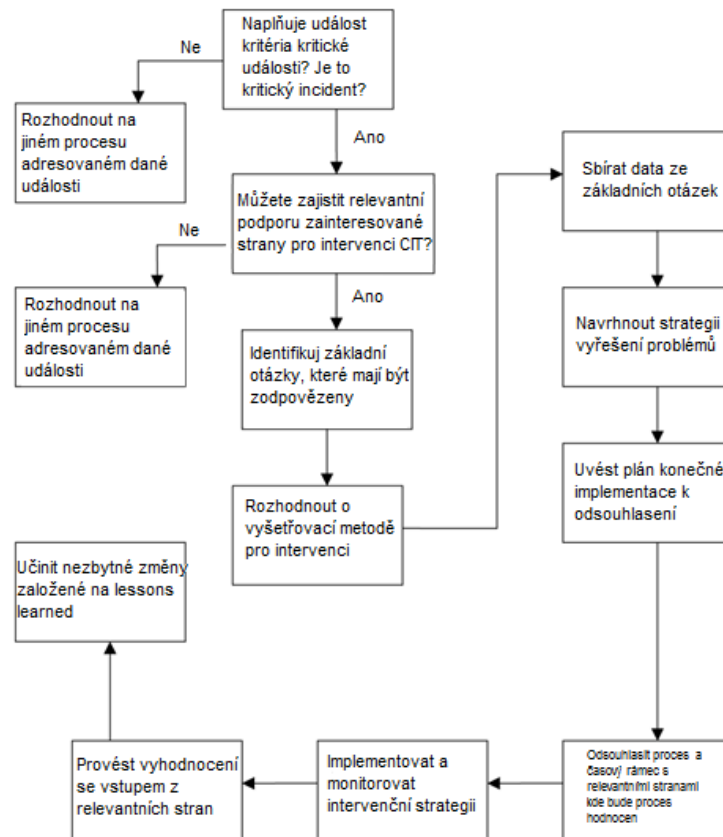
Critical Incident Technique je skladbou postupů používaných pro sběr přímých poznatků a pozorování lidského chování, které má kritickou důležitost a splňuje metodicky definovaná kritéria. Cílem je získat informace o průběhu nehod a zejména lidském chování, které nehodě předcházelo. Kritické incidenty jsou shromážděny různými způsoby, nejčastěji pak vyličením incidentů samotnými respondenty, kde vyprávějí o své zkušenosti.

CIT je flexibilní metoda, která obvykle závisí na pěti hlavních částech. První částí je určení a přezkoumání incidentu, poté hledání faktů, které zahrnuje sběr detailů incidentu od účastníků. Když jsou všechna fakta nasbírána, tak následují možnosti řešení založené na všech možných způsobech. Následuje rozhodnutí o řešení. Konečným a nejdůležitějším aspektem je vyhodnocení řešení, které určí, zda vybrané řešení vyřeší kořenovou příčinu situace a nezpůsobí další komplikace [70]. Příklad je uveden na obrázku 75.

Použití této metody umožňuje konstrukci typických scénářů chování v interakci s různými technologiemi včetně informačních systémů. Pro tyto účely by mělo být vyžadováno:

- Příčina, popis, výsledek kritické události
- Pocity a vnímání účastníků nehody
- Akce podniknuté během nehody
- Změny v budoucím chování

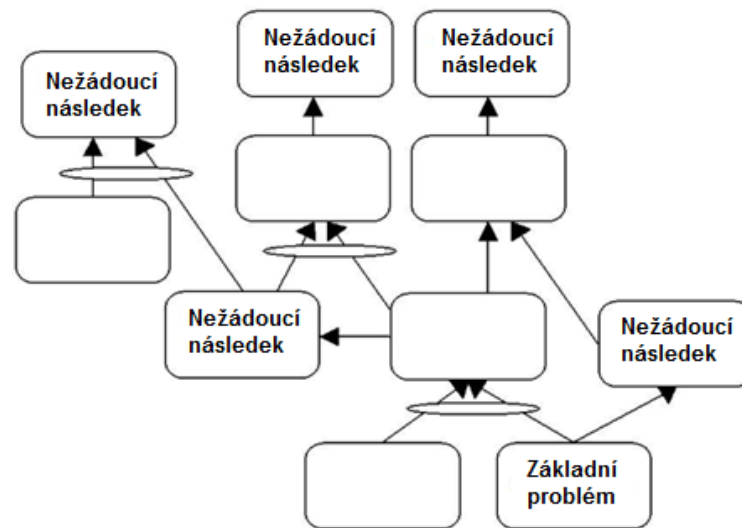




Obrázek 72: Příklad použití metodiky CIT [71].

### Current Reality Tree – CRT

Current Reality Tree je způsob analýzy více systémů či organizačních problémů najednou. Metoda je zaměřená na zlepšování systémů a to identifikací kořenové příčiny společné pro většinu či všechny problémy. CRT není opravdová stromová metoda, ale směrovaný graf. Tento proces řeší mnohonásobné problémy jako symptomy vyplývající z hlavní kořenové příčiny. Hlavní příčiny popisuje v jednoduché vizuální formě i společně s těmi skrytými, které vedou k hlavním známým symptomům problémových scénářů a zjevným kořenovým příčinám či konfliktům. Výhodou zde je to, že je daleko lehčí identifikovat propojení a závislosti mezi nimi. Tudíž, zaměření metody by mělo být na ty části, které by způsobily největší pozitivní změnu [72]. Příklad je uveden na obrázku 76.



Obrázek 73: Příklad struktury Current Reality Tree [73].

## Hazard and Operability Study – HAZOP

HAZOP nebo česky studie nebezpečí a provozuschopnosti byla původně vyvinuta pro chemický průmysl. Je to systematická technika pro identifikování problémů týkajících se nebezpečí a provozuschopnosti v celém zařízení. Je zvláště užitečná při identifikování nepředvídaných nebezpečí projektovaných do zařízení v důsledku nedostatku informací nebo zavedených do existujících zařízení v důsledku změn procesu nebo provozních postupů [74].

Základními cíli této techniky jsou:

- Vytvořit úplný popis zařízení nebo procesu včetně zamýšlených podmínek návrhu
- Systematicky prozkoumat každou část zařízení či procesu, aby se zjistilo, zda může dojít k odchylkám od záměrů
- Rozhodnout zda tyto odchylky mohou vést k nebezpečí nebo omezení provozuschopnosti systému

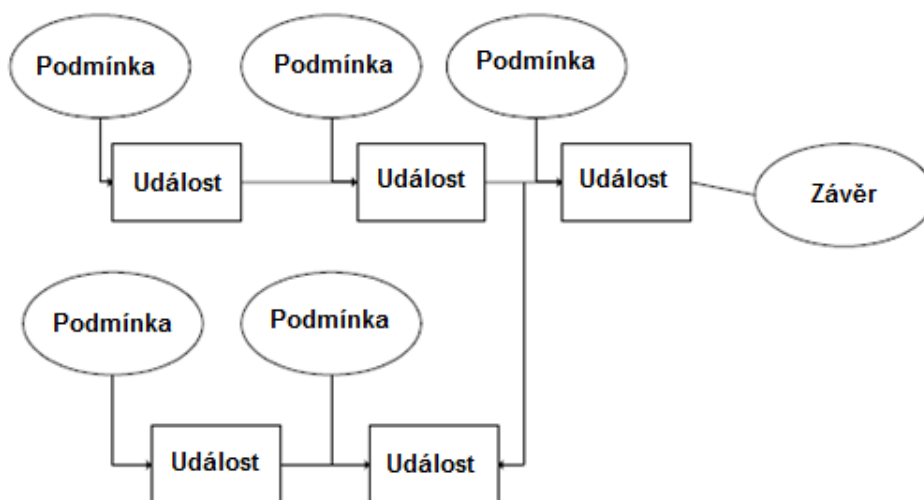
Principy metody HAZOP je možné využít u zařízení, která jsou v provozu nebo jsou ve stádiu návrhu. Pokud je analýza prováděna během etapy návrhu zařízení, tak může být často vodítkem pro bezpečnější podrobný návrh. Studie HAZOP v nejobecnějším tvaru se provádí v etapě podrobného návrhu a tato studie se označuje jako studie HAZOP II a provádí se v těchto krocích [75]:

1. Definují se cíle a rozsah.
2. Sestaví se pracovní tým studie HAZOP.
3. Shromáždí se požadovaná dokumentace, výkresy a popis procesu.

4. Analyzuje se každý důležitý objekt zařízení a všechna podpůrná zařízení, potrubí a přístroje s použitím dokumentů shromážděných v kroku 3.
5. Dokumentují se následky jakékoliv odchylky od normálu a zvýrazní se ty odchylky, které se považují za nebezpečné a věrohodné.

### Multiple Events Sequencing – MES

Metoda MES poskytuje škálu, která paralelně řadí sled událostí, aby byl zobrazen časový vztah mezi událostmi a incidentem. Metoda rozlišuje mezi aktéry, činnostmi a incidentem. Aktéři mohou být lidé, vybavení, materiál atd., zatímco činnost je cokoliv, co je aktérem provedeno. Události jsou pak unikátní kombinací jednoho aktéra a jedné akce během procesu incidentu. Primární snahou metody je pomoci analytikovi identifikovat hlavní aktéry a jejich hlavní činnosti a zmapovat jejich vztahy podle flexibilní časové linie. Ta je kreslena horizontálně s časem postupujícím zleva doprava. Hranice časové osy musí být pečlivě definovány. Indexem  $To$  se označuje situace, která narušila stabilní situaci. Koncovým bodem  $Tn$  je označována následná škodlivá událost spojená přímo s incidentem. Je vyžadováno, aby všichni aktéři byli identifikováni. Aktér je definován jako něco co způsobuje událost (člověk, materiál). Tyto jsou pak vypsány vertikálně dolů po levém okraji grafu. Na pravé straně od každého aktéra je pak zobrazena událost, kterou aktér ovlivňuje. Tyto události jsou seřazeny horizontálně ve sledu a rozprostřeny podle intervalů, ve který se vyskytují. Každá událost prezentuje jednu činnost vykonanou jedním aktérem [70]. Příklad je uveden na obrázku 77.



Obrázek 74: Schéma MES diagramu [70].

## **Sequentially Timed Events Plotting Procedure – STEP**

Metoda STEP je v podstatě úpravou metodiky MES. Každý aktér je sledován od začátku incidentu do konce. Události jsou umístěny ve vztahu k ostatním podle časové linie a příčinných spojení, která jsou reprezentována šipkami spojující boxy na časové linii. V diagramu se mohou vyskytnout vztahy jeden k více a více k jednomu boxu. Když nemohou být data nalezena k ověření vztahu mezi událostním párem, pak může být použita technika nazývaná backSTEP k objevení mezery v porozumění. V podstatě backSTEP je chybový strom FTA bez šipek vedoucích k vrcholovému uzlu. Analytik poté vyvine možný tok událostí, který by mohl popsat to, co se stalo během mezery a způsobilo vrcholový uzel [70].

## **Schematic Report Analysis Diagram – SRAD**

Metoda SRAD je grafická, předchozím dvěma podobná metoda. Avšak drobně se liší v přístupu a prostředcích prezentace. Rozlišení mezi událostmi, podmínkami a aktéry není u této techniky jednoznačné. U těchto druhů diagramů je zvykem ohraničit podmínky do boxů, které byly plně vyhodnoceny před samotným incidentem s použitím liniových čar, které identifikují skryté podmínky nebo pouze částečně pochopené před incidentem. U SRAD metody je konečná událost umístěna ve spod a události, které ji předcházejí, jsou seřazeny vertikálně v chronologickém pořadí. Nejranější událost je tedy nahoře. Šipky ukazují sekvenci a vzájemné působení mezi událostmi [70].

## **Barrier Analysis – BA**

Tato technika uvádí, jaké bariéry (ochrany a kontroly) by měly být umístěny v určitých místech systému, aby zabránily nehodě nebo by měly být instalovány, aby zvýšily bezpečnost systému. Barrier analysis nabízí strukturovaný způsob vizualizace událostí vztahující se k selhání systému. Může být reaktivně použita pro řešení problémů nebo k proaktivnímu vyhodnocování existujících zábran [70].

Čtyři základní druhy zábran:

- Fyzické zábrany (izolace, dveře...)
- Přírodní zábrany (vzdálenost, čas, místo)
- Zábrany lidskou činností (optické kontroly např. teploty)
- Administrativní zábrany (protokoly, postupy)

## **Tripod Beta Analysis – TBA**

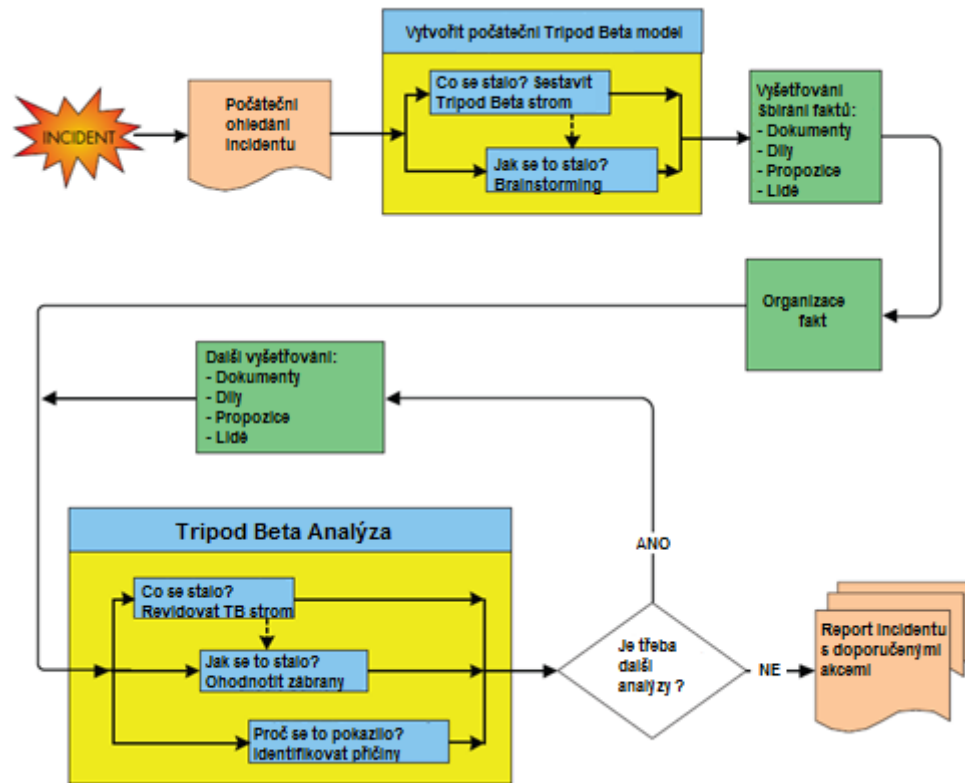
V Tripod Beta metodologii je výzkumný proces opakovaný s procesem analyzačním. Možný model incidentu bývá vyprodukován z předběžné výzkumné zprávy. Která vede k dalšímu vyšetřování, hledání faktů a následnému potvrzení a upřesnění modelu. Tento proces pokračuje, dokud nebudou identifikována všechna relevantní fakta a Tripod Beta Tree nebude přesně odrážet skutečný incident. Výsledkem je úspora času, úsilí, více obsáhlá analýza a jasnější pochopení chyb či selhání, které povedou k významnému a trvalému zlepšení v prevenci incidentu. Metodologie je podporována softwarem, který poskytuje prostředky ke sběru a složení faktů z vyšetřování. Umožňuje jejich manipulaci v grafické prezentaci incidentu a jeho příčin [74]. Příklad je uveden na obrázku 78.

Tripod Beta tedy využívá této teorie, kdy je vedena analýza incidentu během samotného vyšetřování. To umožňuje analytikům postupovat systematicky a ve velkém rozsahu:

- Přímé a vytříbené hledání faktů
- Potvrzení správnosti shromažďování faktů
- Zvýraznění cest vyšetřování s odkazem na zásadní příčiny
- Identifikace a vyřešení jakékoli anomálie pokud je vyšetřování stále aktivní
- Vypracování závěrečné zprávy

Tripod Beta analýza může být aplikována na všechny typy incidentů včetně:

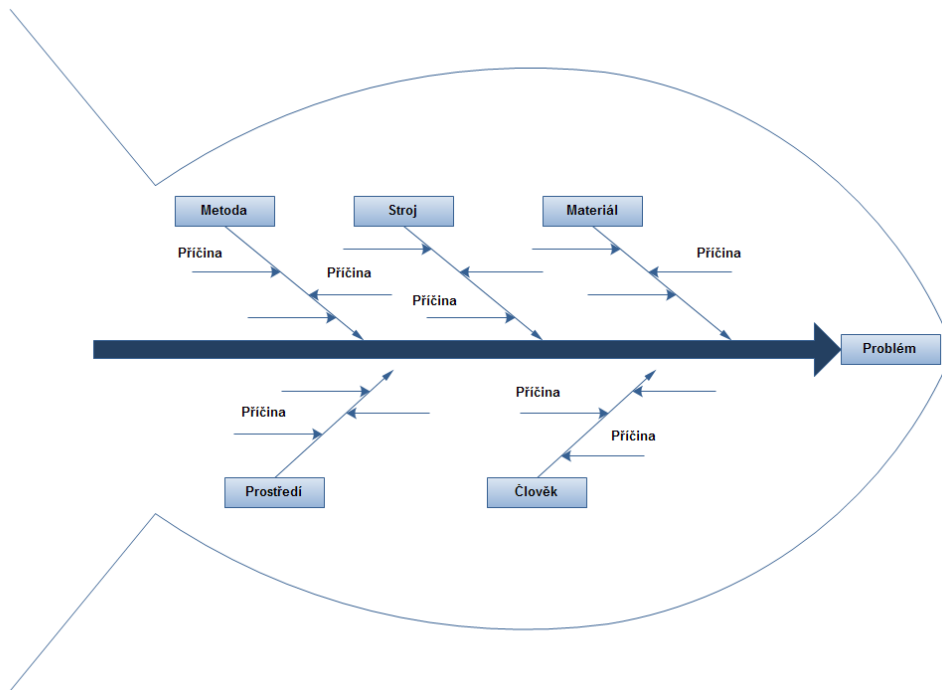
- Environmentálních dopadů
- Finančních ztrát
- Újmy na zdraví či životě
- Produkčních ztrát
- Bezpečnostních poklesků
- IT selhání
- Újmy na pověsti společnosti
- Projektových zdržení a ztrát



Obrázek 75: Schéma struktury použití metodiky TBA [74].

## Ishikawa

Diagram příčin a následků nebo také diagram rybí kosti (díky svému vzhledu) řeší úlohu určení pravděpodobné příčiny problému. Je používán například při brainstormingu, během něhož jsou hledány všechny potenciální zdroje problému. Při sestavování diagramu tvoří problém hlavu pomyslné rybí kostry a hlavní kosti vedoucí od páteře znamenají oblasti či kategorie, ve kterých se může problém nacházet. Vedlejší kosti pak znamenají konkrétní potenciální příčiny. Takto lze diagram vést ve více úrovních příčin a podpříčin, obvykle se však doporučuje použít nejvýše dvě úrovně. Ishikawův diagram je jedním ze sedmi základních nástrojů zlepšování kvality [77]. Příklad je uveden na obrázku 79.



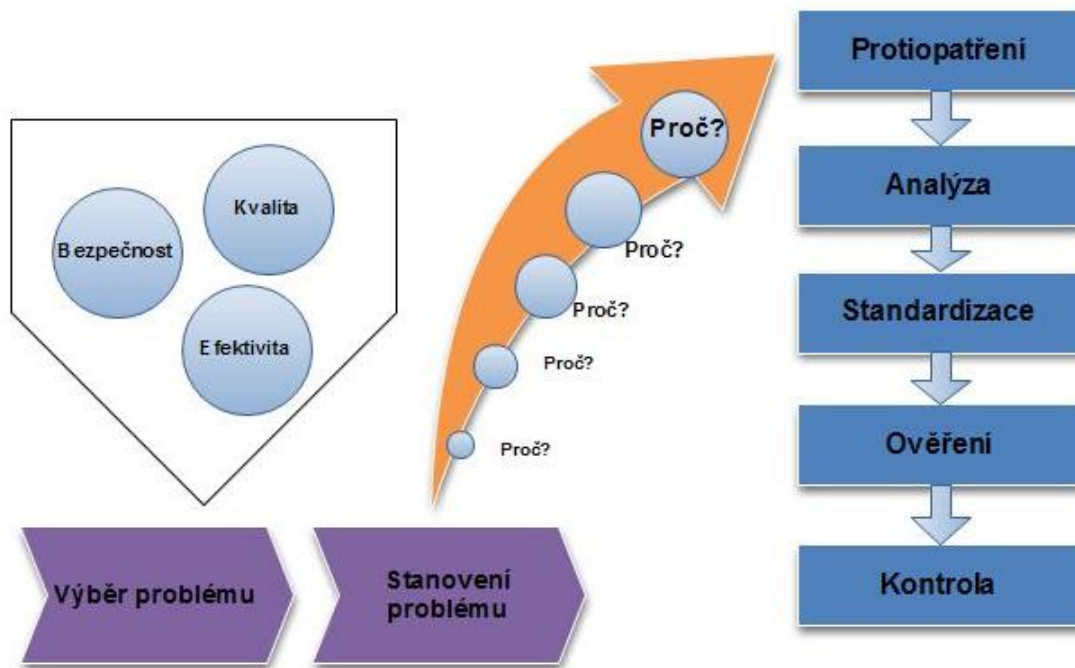
Obrázek 76: Příklad možného Ishikawa diagramu.

### Causal Loop Diagrams – CLD

Causal loop diagram (CLD) je kauzální diagram, který slouží k vizualizaci toho, jak se související proměnné navzájem ovlivňují. Diagram je složený ze souboru uzlových bodů reprezentujících navzájem spojené proměnné. Vztah mezi nimi je udáván šipkami a mohou být označeny jako pozitivní či negativní [70].

### Root Cause Analysis – RCA

Root Cause Analysis je strukturovaný proces, který odkrývá fyzické, lidské a organizační příčiny jakékoliv nežádoucí události na pracovišti. Může se jednat o jednotlivé či multidisciplinární případy různých rozsahů. Obecný postup je většinou takový, že se nejprve zjistí, jaké negativní události se vyskytují, poté se zhodnotí komplexní systém v blízkém okolí problémů a identifikují klíčové body selhání. Nakonec se určí řešení adresované klíčovými bodům či kořenovými příčinám. Tato technika bývá často podporována dalšími nástroji jako např. 5 proč nebo FMEA a Kaizen, které pomáhají minimalizovat potřebu využití RCA analýzy v budoucnu [70]. Příklad je uveden na obrázku 80.



Obrázek 80: Možný postup analýzy Root Cause Analysis [78].

### Root Cause Failure Analysis – RCFA

Root Cause Failure Analysis nebo RCFA jak bývá tato někdy označována, je velice podobná předchozí analýze. Je to metoda nebo série akcí vedoucí ke zjištění, proč se jistý problém či selhání vyskytlo. Často bývají touto metodou řešeny tzv. chronické problémy. Metoda často využívá Paretova pravidla a její pomocí je vyhledávána tzv. významná menšina, která způsobuje většinu problémů. Tato významná menšina je poté analyzována. Proces analýzy se zde nazývá PROACT, podle počátečních písmen postupu [70].

- PReserving Failure Data (uchování dat selhání)
- Ordering the Analysis (uspořádání analýzy)
- Analyzing the Data (analýza dat)
- Communicating Finding & Recommendation (konzultace nálezů a doporučení)
- Tracking for Success (Sledování pro dosažení úspěchu)

### Event Root Cause Analysis Procedure – ERCAP

ERCAP byla vyvinuta jako nová strukturovaná metoda pro systémová vyšetřování a analýzy přímých, přispívajících a kořenových příčin. Její formulace je založena na kombinaci technik hledání kořenových příčin. Technika je zaměřena na interakci mezi lidskými a technickými faktory [70]. Hlavními faktory procedury jsou:



- Systematický postup vyšetřování a analýzy od sběru a zhodnocení informací, přes identifikaci kritických faktorů a přispívajících a kořenových příčin, až po přípravu konečného RCA reportu.
- Kombinace RCA technik
- Logický strom identifikace kategorií příčin
- Kompletní set příčinných modulů pro identifikaci a alokaci příčinných faktorů

### **Events and Causal Factors Charting – ECFC**

Grafická metoda, která pomocí diagramů poskytuje základ pro sběr faktů, analýzu a závěry. Toto vše je obsaženo ve výzkumné zprávě. Účelem výzkumné zprávy je zprostředkovat výsledky výzkumu v jasné a stručné formě. Výzkumná zpráva představuje záznam výskytu, podle kterého je vyšetřování provedeno pro důslednost, přesnost a objektivitu. Zpráva by měla plně vysvětlit příčinné sekvence výskytu a popsat systém řízení, který by měl výskytu předcházet. Užití ECFC je efektivní v naplňování cílů těchto zpráv. Konkrétní poskytované výhody jsou následující [70]:

- Poskytuje kontrolu dokončení vyšetřovací logiky. Dokonce ty nejzákladnější typy sekvencních diagramů mohou odhalit mezery v logice a pomoci předcházet nesprávným závěrům.
- Poskytuje metodu pro identifikaci skutečností vyžadující další vyšetřování či analýzu. Významné bloky události s nejasnými či neexistujícími příčinnými faktory mohou analytika upozornit na potřebu další analýzy a hledání faktů.
- Poskytuje logické zobrazení faktů, ze kterých může být učiněn platný závěr.
- Poskytuje jednoduchou metodu pro jasný popis sekvencí nehody.
- Zdroj pro identifikaci organizačních potřeb

### **Savannah River Plant Root Causes Analysis System – SRP**

Analýza SRP v podstatě následuje podobnou strukturu jako technika MORT, kde se začíná popisem incidentu použitím ECFC (Events and Causal Factors Charting) a využívá předdefinované generické stromy k identifikaci kořenových příčin. Nicméně, žádná logika není do stromové struktury SRP začleněná. Dále je zde méně důrazu na manažerské omyly, protože systém byl vyvinut pro užívání při vyšetřování lidských úkonů vztažený k událostem v jaderné elektrárně. Počáteční dělení ve stromu se vztahuje na operátorské potíže, potíže zařízení a technické obtíže. Metoda byla vyvinuta přímo pro účely elektrárny Savannah River, včetně její organizační struktury [70].

---

Strom kořenových příčin je rozdělen do mnoha sekcí, které jsou v SRP uvedené jako uzly. Dále je pak strom rozdělen do šesti úrovní a to od A do F, kde s každou úrovní se postupně zvyšuje počet detailů, dokud není dosažena kořenová příčina a to v úrovni F [71].

### **TapRoot™**

Metoda, která je velice podobná ostatním metodám, které využívají diagram příčin a událostí. Liší se pouze v drobných detailech. Struktura postupu je pak následující:

- Sběr informací
- Vývoj diagramu faktorů příčin a událostí
- Použití stromu kořenových příčin

TapRoot™ je integrovaný systém, který zahrnuje vyšetřovací proces s pěti druhy technik analýzy kořenových příčin a počítačovou databází. Metoda je navržena specificky, aby byla co nejvíce nápomocná identifikovat příčiny zaviněné lidským faktorem. Samotné vyšetřování události se skládá z 15 otázek, na které se odpovídá ano/ne. Analýzu je možné provést s pomocí výpočetní techniky i na obyčejný papír [71].

### **HSYS**

HSYS je generický model založený na principu chybového stromu. Model se nezabývá systémem bezpečnosti řízení, ale místo toho modeluje lidské výkony. Tento stromový model lidského konání sestává z pěti po sobě jdoucích komponentů, které jsou rozloženy hierarchicky směrem dolů [70]:

- Vstupní rozhodnutí
- Porozumění významu vstupu
- Výběr akce
- Plánování akce
- Provedení akce

### **Assessment of Safety Significant Teams - ASSET**

Metodologie vyvinutá pro analýzu událostí v jaderné elektrárně. Předpokládá, že události (odchylky, anomálie, incidenty či nehody) je objeví jako následek selhání, které je způsobeno skrytou slabinou, která nemohla být očekávána. Vyšetřování je vedeno mezinárodním týmem expertů jaderné energetiky, kteří vzájemně spolupracují s personálem elektrárny. ASSET nabízí vedení a návrhy pro eliminaci potenciálních slabin a přímých příčin. Nabízí analytikovy ve vedení analýzy, tím že naznačuje pouze tři základní elementy ke zkoumání a to funkční účinnost zařízení, osobnostní výkon a použitelnost procedur [70].

## **Safety Through Organizational Learning - SOL**

Analýza události, která je založena na principu socio-technického postupu a teoretických předpokladů vzniku nežádoucí události. Tento proces je využíván v jaderné energetice. V SOL je vždy doporučováno, aby analýza byla vedena kvalifikovaným týmem elektrárny. Postup sestává se standardizovaných kroků, které obsahují popis situace, identifikaci přispívajících faktorů, rozhodnutí k identifikaci události a bezpečnostní opatření. Po získání dat a teoretických znalostí je další analýza vedena sérií otázek podávaných kvalifikovaným týmem [70].

## **Causal Tree Method – CTM**

Jak již samotný název napovídá, metoda CTM je založena na vývoji stromu příčin. Využívá se zde deduktivní logiky se snahou na jednoduchou aplikaci a konstrukci samotného stromu. Základním principem metody je, že nehoda je výsledkem změn či variací v normálním procesu. Analytik musí identifikovat změny v systému, vyhotovit jejich seznam, sestavit je do diagramu a definovat jejich vzájemné vztahy. Na rozdíl od typických chybových stromů (Fault Tree), tato metoda obsahuje pouze větve vedoucí k nehodě. Tudíž zde nejsou použity žádné logické operandy typu OR, ale jen typu AND. Konstrukce je vedena jednoduchými pravidly, která specifikují řetězce událostí a vyplývající vztahy. CTM vyžaduje, aby analýza byla provedena skupinou, včetně svědků události. Strom začíná konečnou událostí, tedy nehodou a pracuje zpětně [70].

## **Paretova analýza**

Většina lidí předpokládala, že 50% úsilí vede k přibližně k 50% výsledků (nebo 50% vstupů vytváří 50% výstupů). To však Vilfredo Pareto vyvrátil. Ve svém pravidle vyvrátil základní rovnováhu mezi vynaloženým úsilím a následnou odměnou. Paretova analýza vychází z principu, který říká:

*20% všech našich činností přináší 80% zisku.*

Je-li tomu tak, pak nemá smysl se stejně důsledně zabývat všemi činnostmi. Vhodnější je zaměřit se na ty činnosti, které mají největší efekt. Později se Paretovo pravidlo zkrátilo na - Pravidlo 80/20 [80].

### Paretova analýza se realizuje v několika krocích:

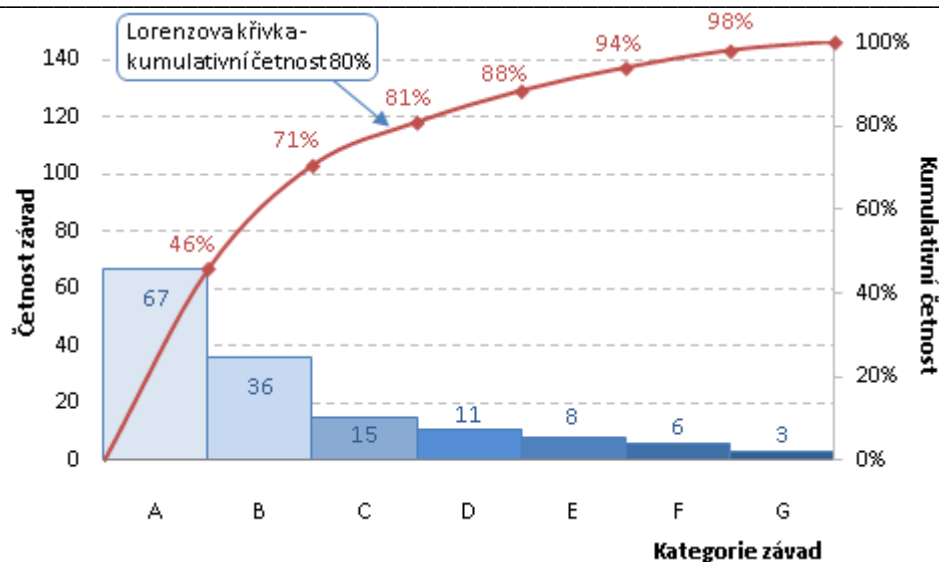
- Definování místa analýzy - výběr procesu, činností, kde chceme zvýšit zisk nebo efektivitu. Může se např. jednat o reklamace, nehody ve výrobě, administrativě, úspěšnost produktů apod.
- Sběr dat - pro analýzu je zapotřebí získat relevantní data o fungování a jejich hodnoty se zapíše do tabulky.
- Uspořádání dat - získaná data se seřadí podle největšího výskytu, četností, největší váhy, či jiného kritéria. Vždy se však seřadí od největší zvolené hodnoty po nejmenší.
- Lorenzova kumulativní křivka - tato křivka vznikne tak, že se kumulativně sečtou hodnoty u jednotlivých dat a vynesou se do grafu.
- Stanovení kritéria rozhodování - zde se můžeme rozhodnout využít striktně Paretova pravidla 80/20 a nebo si také můžeme vybrat, že chceme odstranit jen 60% neshod apod. My si zvolíme 80/20.
- Identifikování hlavních příčin - z levé strany grafu vzniklého z dat zapsaných do tabulky, z hodnoty 80% vyneseme čáru na kumulativní Lorenzovu křivku. Z ní pak spustíme svislou čáru, která nám oddělí ty případy, příčiny, kterými se máme zabývat. Ty, které mají největší vliv na následky.
- Stanovení nápravných opatření k odstranění nebo rozvoji příčin, které nám způsobují nejvíce ztrát nebo naopak vedou k navýšení zisku [80].

### Využití Paretovy analýzy

Paretovo pravidlo našlo uplatnění v mnoha různých oblastech, nejen v ekonomice. Dnes jeho podoba může vypadat:

- 80% zisku vytváří 20% produktů
- 20% našich činností přináší 80 % zisku
- 20% vašich přátel stojí za 80% vašeho zájmu
- 80% zmetků ve výrobě způsobuje 20% příčin
- 80% odpočinku vám přinese prvních 20% dovolené
- 80% znalostí jsme získali za prvních 20% vynaloženého času

Paretovu analýzu je možné také využít ve SWOT analýze při identifikování významných silných nebo slabých stránek nebo příležitostí a hrozeb. Příklad je uveden na obrázku 81.



Obrázek 81: Paretova analýza [79].

### Systematic Accident Cause Analysis – SACA

Metodologie SACA byla vyvinuta pro statistickou analýzu nehod s ohledem na to, že všechny příčiny mají vícenásobné příčiny. Přibližuje snahu analyzovat příčiny na běžném základu a produkuje statistiku jako prostředek identifikace oblastí, kde je potřeba provést akci. Velký důraz je kladen na zdraví a bezpečnost na pracovišti. SACA identifikuje dva typy chyb, jmenovitě:

- Selhání těch za, který není liniový management zodpovědný (výrobci, dodavatelé, veřejnost)
- Selhání zaměstnanců, které spadá mimo rámec běžných chyb

SACA identifikuje čtyři hlavní kategorie univerzálních příčin, které mohou být aplikovány do jakýchkoli pracovních situací, kategorie jsou:

- Lidé
- Pracoviště a vybavení
- Pracovní systém
- Venkovní vlivy

Snahou této analýzy je zvýraznit hlavní příčiny přispívající k organizačním nehodám. Získáním dostatečného množství dat jsou výsledky konvertovány do procentních hodnot. Subkategorie s nejvyšší procentní hodnotou vyžadují nejvíce pozornosti. Výsledná tabulka hodnot je pak využita pro vývoj akčního plánu [71].

---

## Systematic Cause Analysis Technique – SCAT

SCAT je metoda, která může být použita k určení kořenových příčin incidentu, jakmile je určen popis sledu událostí. Tento model zobrazuje přispívající elementy nehody jako sérii kostek domina, jmenovitě:

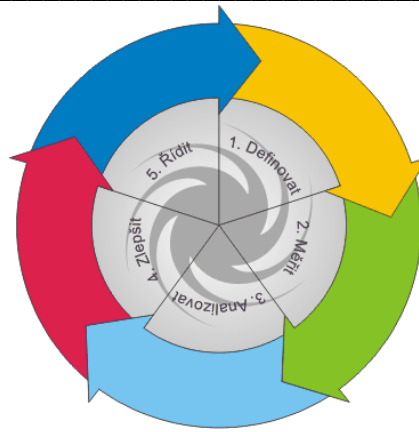
- Nedostatečná kontrola
- Základní příčiny (osobní a pracovní faktory)
- Okamžité příčiny (podmínky)
- Nehoda
- Ztráty

V tomto modelu se vychází z principu pádu dominových kostek, kdy do sebe jednotlivé kostky narážejí a uvádějí tak v pohyb další. Způsob prevence je odstranění jedné z kostek z posloupnosti. Tudiž se tak zabrání dosažení ztrátového stavu. Ačkoliv jinak popsáno, jedná se o stejný základní princip jako u Barrier Analysis. SCAT je prezentován jako diagram obsahující pět bloků odpovídající pěti kostkám domina v opačném směru. První blok obsahuje místo pro zapsání incidentu. Druhý blok pak obsahuje nejčastější kategorie kontaktů, které mohly vést k incidentu (např. zkrat, teplo, radiace). Do třetího bloku se zaznamenávají okamžité nebo přímé příčiny, které se dělí do dvou kategorií a to na nestandardní chování a nestandardní podmínky. Čtvrtým blokem identifikujeme základní působící příčinu, která má také dvě kategorie, personální a pracovní faktory. Posledním blokem definujeme praktiky adresované prevenci výskytu. V tomto bloku může být až 20 kategorií. Je nezbytné určit, kde v řídicím systému chybová položka leží a ověřit:

- zda existují pro položku standardy, případně zda potřebují být vyvinuty
- zda jsou standardy adekvátní a potřebují revizi
- zda je potřeba vynaložit více úsilí pro zajištění shody se standardy [70]

## Six Sigma

Six sigma je strategie řízení, původně vyvinutá společností Motorola. Rozpracována byla ještě poté společnostmi AlliedSignal (dnes Honeywell) a GE. Dnes se používá v různých odvětvích průmyslu. Six Sigma si klade za cíl identifikovat a odstranit příčiny defektů a chyb v procesech výroby a obchodu, k čemuž používá metodiky DMAIC, viz obr. 82 [39].



Obrázek 82: Cyklus metodiky DMAIC [39].

### *Define*

Účelem této fáze Define nebo česky definuj je objasnit otázky proč se zabývat daným problémem a jaký užitek odstranění problému přinese. V této fázi se také problém jasně definuje a vymezí. Bez vyjasnění veškerých otázek spojených s problémem, by mohlo dojít k zbytečné časové a finanční investici. Stručně řečeno, řešitelský tým musí být přesvědčen o smysluplnosti projektu.

### *Measure*

Základem metodiky Six Sigma jsou reálná data o problému, který je řešen. Kvalitní sběr dat je tím správným předpokladem k tomu, aby byla odhalena pravá podstata problému. Fáze Measure neboli měř, slouží k zajištění a ověření takovýchto dat. U chronických problémů jsou skutečné příčiny téměř vždy skryty a právě sběr dat a jejich následná analýza je dokázkou spolehlivě identifikovat.

### *Analyze*

Cílem fáze Analyze (Analyzovat) je zjistit co je příčinou problému. Problémy lze řešit pouze, tak že jsou řešeny jejich příčiny. Tato fáze je klíčovou etapou pro vyřešení daného problému a nekončí pouze nalezením příčiny, ale ověřuje, zda je příčina kořenová.

### *Improve*

V této fázi, která se česky překládá, jako zlepšuj, se hledají možná řešení identifikovaných kořenových příčin. Je zde proveden i následný výběr řešení a to řešení, které je považováno za nejvhodnější, je následně zvoleno a ověřeno.

### *Control*

Fáze Control (Řídit) zajišťuje, aby byl dosažený stav realizovaným zlepšením trvale udržen. Tedy tato fáze zahrnuje standardizaci navržených změn a monitorování procesu.

Zároveň jsou zde probrány další možnosti kontinuálního zlepšování včetně možnosti širšího použití.

### **Checklist**

Checklist byl vyvinut za účelem sběru statistických informací o kořenové příčině. Každý checklist obsahuje několik definovaných kategorií, z důvodu systematického rozdělení informací. Kategorie se mohou lišit v závislosti na druhu projektu. Proto je doporučováno přizpůsobit kategorie checklistu vlastním potřebám. Tato metoda je velmi často kombinována s metodou What If?

### **Failure Mode and Effect Analysis – FMEA**

FMEA je kvalitativní analytická metoda, (ačkoliv může být i kvantifikována) jejímž cílem je identifikovat místa možného vzniku vad a jejich následků u nově vznikajících výrobku, služby, procesu nebo projektu. Následně pak vyhodnocovat vhodnost opatření, sloužící k eliminaci těchto problémů. Tato metoda je často používaná při výrobě díky jejímu možnému převedení jako standardu pro ostatní výrobky. Tato metoda také odhaluje rizika již v rané fázi plánování, tj. úspora času a jeho investice do vývoje produktu a procesu. Díky této metodě je také důkladně zdokumentován výrobní postup daného výrobku.

O výsledek kvalitní analýzy se musí zasloužit celý tým z různých úrovní organizace. Metoda je relativně jednoduchá, je k ní ale potřeba vysoká zkušenost a znalost zkoumaného produktu nebo alespoň produktu jemu podobného. Nejen z tohoto důvodu je zapotřebí tým lidí napříč více oborů, protože pro každého člena týmu je důležitá jiná část postupu výrobku. Pokud je FMEA analyzována pouze jedním člověkem, není zaručené, že byly vzaty v úvahu všechny možné druhy vady a jejich příčiny. Přesně vzato je FMEA souhrnem poznatků technika nebo týmu v průběhu vývoje celého procesu [68].

Princip této metody je založen na kvantifikaci častosti poruch, jejich závažnosti a snadnosti jejich detekce:

1. Nejprve je potřeba najít možné poruchy a:

- Určit následky těchto poruch a tyto ohodnotit podle závažnosti
- Určit příčiny těchto poruch a tyto ohodnotit podle častosti výskytu
- Určit kontrolní mechanismy, jak těmto poruchám zabránit a toto ohodnotit podle pravděpodobnosti úspěchu těchto mechanismů zabránit určeným poruchám



2. Z těchto tří parametrů se pak pronásobením vypočítá tzv. koeficient rizika, jenž nám po seřazení určí ty poruchy, na které je potřeba se zaměřit
3. Následně se pro stanovené poruchy stanoví způsob, jak jim předejít a celá analýza se může znovu spustit – tentokrát k ohodnocení efektivnosti stanovených opatření zabránit poruše a nalezení nových rizikových poruch [68]

### **Management Oversight and Risk Tree – MORT**

Metoda MORT je analytický postup sloužící ke zjišťování příčin a přispívajících faktorů nehod a incidentů. Metoda je logickým vyjádřením funkcí potřebných organizací k efektivnímu zvládnutí řízení rizik. Funkce bývají popsány obecně s důrazem na to, co se skutečně stalo a to umožňuje metodě MORT být aplikována do různých oblastí průmyslu. MORT odráží filozofii, která napovídá, že nejefektivnějším způsobem jak zajistit bezpečnost, je její integrace do operačních kontrol a business managementu.

Aplikace metody sestává ze tří bodů a to:

- Definice událostí k analýze
- Charakteristika každé události
- Vyhodnocení hypotézy zvládnutí rizik ve vyskytlé nehodě

V MORT je využívána symbolika ostatních analytických stromů, jako např. v Fault Tree Analysis. Metoda může také být použita k inspekci, auditu a oceňovacím účelům [74].

### **Technic of Operation – TOR**

Technic of Operation je investigativní technika k vyšetřování nehod, incidentů a jejich kořenových příčin. Technika je zaměřená na systémové chyby, snaží se raději identifikovat selhání managementu než obviňovat zaměstnance. Analýza je prezentována formátem worksheetu. Je to skupinová technika vyžadující od účastníků vypracování worksheetu zodpovězením série otázek a to pouze odpověďmi typu ano či ne. Podmínkou analýzy je, aby účastníci dosáhli shody odpovědí na otázky [70].

TOR worksheet je rozdělen do osmi funkčních oblastí, jmenovitě:

- Trénink
- Odpovědnost
- Rozhodnutí a řízení

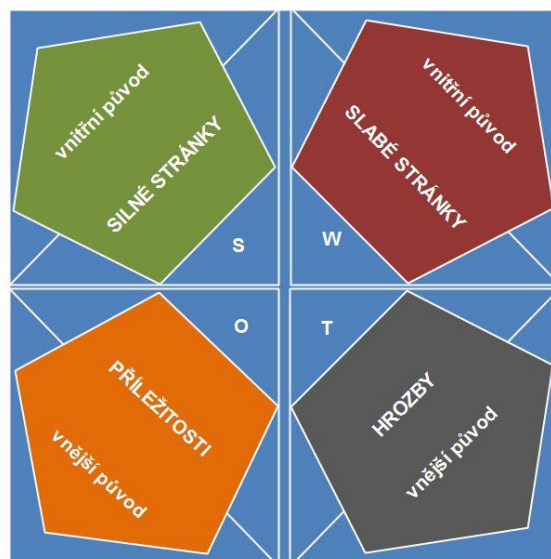
- Dohled
- Pracovní skupiny
- Kontrola
- Charakterové zvláštnosti
- Management

TOR má základní čtyři kroky pro analýzu procesu:

1. Shromáždění dat
2. Vysledovat kořenovou příčinu
3. Eliminovat nevýznamné příčiny
4. Identifikovat realistické akce

## SWOT

SWOT analýza je metoda, jejíž pomocí je možno identifikovat silné (angl: Strengths) a slabé (angl: Weaknesses) stránky, příležitosti (angl: Opportunities) a hrozby (angl: Threats), spojené s určitým projektem, typem podnikání, podnikatelským záměrem, politikou (ve smyslu opatření) apod. Jedná se o metodu analýzy užívanou především v marketingu, ale také např. při analýze a tvorbě politik. Díky tomu je možné komplexně vyhodnotit fungování firmy, nalézt problémy nebo nové možnosti růstu. Je součástí strategického (dlouhodobého) plánování společnosti. Příklad je uveden na obrázku 83.



Obrázek 77: Typické schéma pro SWOT analýzu.

Základ metody spočívá v klasifikaci a ohodnocení jednotlivých faktorů, které jsou rozděleny do 4 výše uvedených základních skupin. Vzájemnou interakcí faktorů silných a slabých stránek na jedné straně vůči příležitostem a nebezpečím na straně druhé lze získat nové kvalitativní informace, které charakterizují a hodnotí úroveň jejich vzájemného střetu [79].

### **Probabilistic Safety Assessment - PSA**

PSA je systematická a komplexní metodologie používaná k hodnocení rizik týkajících se komplexních inženýrských technologických entit jako např. jaderná elektrárna. Riziko je v PSA definováno jako možný škodlivý výstup aktivity či akce a je charakterizováno dvěma veličinami a to:

- Závažnost možného následku
- Pravděpodobnost výskytu každého následku

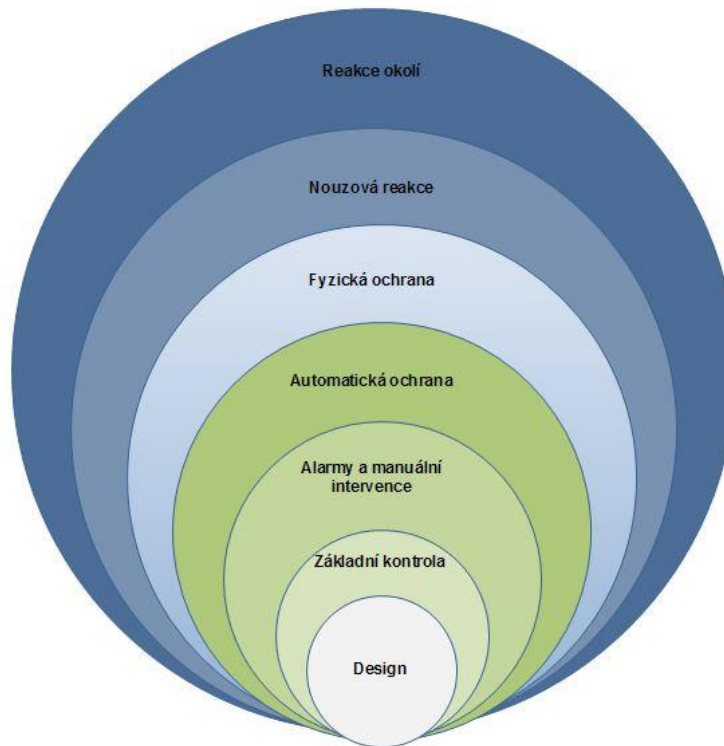
Následek je vyjádřen numericky a jeho možnost je vyjádřena pravděpodobností nebo frekvencí. Úplné riziko je tzv. očekávaná ztráta, tedy suma následků vynásobená jejich pravděpodobnostmi [46].

Probabilistic Safety Assessment obvykle zodpoví tři základní otázky:

- Co se může na současné technologii pokazit či jaké jsou spouštěče počáteční události vedoucí k nežádoucím následkům
- Jaké a jak závažné potencionální škody mohou vzniknout jako následek výskytu spouštěcí události
- Jak pravděpodobný je výskyt nežádoucího následku a v jaké frekvenci

### **Layers of Protection Analysis – LOPA**

LOPA nebo také analýza vrstev ochrany je nedávno vyvinutá, zjednodušená metoda hodnocení rizik, která poskytuje tolik potřebné pole mezi kvalitativní procesní analýzou nebezpečí a tradiční kvantitativní analýzou nákladů. Začíná se identifikací nehodového scénáře, kde používá jednoduchá pravidla k hodnocení počáteční frekvence události, nezávislých vrstev ochrany a následků ke zjištění pořadí významu odhadovaných rizik. LOPA také dokázala excelentní přístup pro určení úrovně integrity bezpečnosti pro přístrojový bezpečnostní systém. Z důvodu jednoduchosti a rychlého hodnocení se LOPA stává široce užívanou technikou [28],[70]. Příklad je uveden na obrázku 84.



Obrázek 78: Diagram metody LOPA.

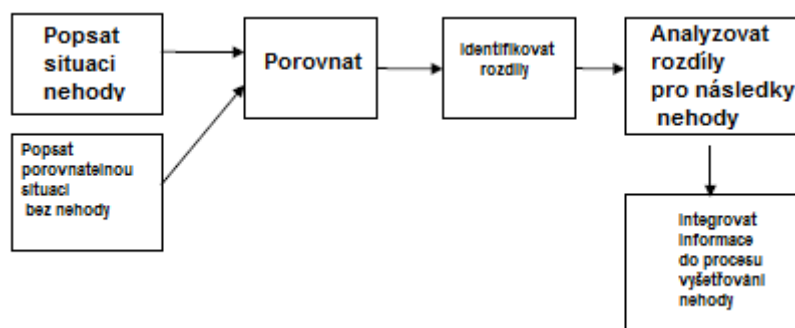
### Identifikace procesů a rizik – IPR

IPR je nástrojem pro hodnocení a řízení podniku, jehož základními cíli jsou dle [4]:

- Poskytnout návod a osnovu pro šetření rizik a jejich komplexní hodnocení
- Identifikovat procesy, které jsou rizikové, tzn., že mohou být příčinou selhání důležitých podnikových funkcí nebo mají vliv na výkonnost, efektivitu, spolehlivost, bezpečnost, produktivitu, kvalitu hlavních provozních nebo organizačních procesů
- Odhalit jejich silné a slabé stránky
- Identifikovat významné rizikové faktory (vstupy, podmínky, okolnosti, aspekty, kritická místa, situace, činnosti, vlivy, znaky), které se spolupodílejí nebo mohou spolupodílet na selháních identifikovaných procesů nebo mohou být potenciálními příčinami nehodových dějů
- Určit kořenové (primární) příčiny závad, selhání, poruch, nehod, nesplnění cílů, zhoršení kvalitativních nebo kvantitativních parametrů výstupů, zhoršení ekonomických ukazatelů, neúspěšných procesů změn, ohrožení okolí atd
- Určit vzájemné součinnosti procesů a rizik
- Klasifikovat rizika podle závažnosti (resp. urgentnosti nápravných a preventivních opatření)

## Change analysis – CA

Change Analysis byla používána v řízení kvality, ale později se z této techniky stal bezpečnostní nástroj. Principy CA jsou známé jako systematický postup pro vyšetřování příčin incidentu. Technika byla včleněna do velkého počtu vyšetřovacích analýz jako je MORT a považuje se za doplňkovou metodu k RCA. Základním předpokladem pro Change analysis je, že systém pracuje podle standardů po určitý čas a náhle selže a selhání bude způsobeno změnou nebo změnami v systému. Identifikací těchto změn by mělo být pak možné odhalit faktory vedoucí ke vzniku selhání. Technika vyžaduje porovnání mezi období před vznikem nehody a nehodovou situací. Stanoví se rozdíly, které jsou ohodnoceny, jak je ukázáno v obr. 85 [70].



Obrázek 85: Postup techniky CA [70].

Ke strukturovanému vyšetřování pomocí CA může být využit worksheet. Základem worksheetů je hodnocení osmi událostních faktorů: Co, kde, kdy, kdo, pracovní a přírodní podmínky, přítomnost spouštěcí události, rozsah materiálové kontroly. Aplikací takto strukturovaných worksheetů je analytik schopen ohodnotit každý faktor incidentu a to z pohledu současné situace a situace, která jí předcházela [71].

## Work Process Analysis Model – WPAM

Metoda se užívá pro kvalitativní analýzu závažnosti organizačních rizikových faktorů. Systematický rozbor různých selhání, potencionální porušení ochrany a jejich závažnosti se realizuje ve třech etapách. V první jsou analyzovány činnosti a jejich možná selhání. Hodnotí se účinnost spolehlivostních opatření (ochrany). Výstupem je vývojový diagram, tabulka křížových vazeb a kontrolní seznam relevantních skutečností. Ve druhé etapě je formulována matrice organizačních faktorů. V třetí etapě se určují relativní závažnosti každé z analyzovaných činností [44].

## **Sneak Circuit Analysis – SCA**

Sneak Circuit Analysis je důležitou metodou bezpečnostního jistění pro kritické části bezpečnostních elektronických a elektromechanických systémů. Sneak (zákeřné) okolnosti jsou definované jako skryté hardwarové, softwarové nebo integrované podmínky, které mohou způsobit nechtěnou akci nebo zabránit funkci požadované a nejsou způsobeny selháním komponentu. Analýza pomáhá odhalit designové chyby, které umožňují tyto zákeřné okolnosti či poměry rozvinout. SCA technika se liší od jiných systémových analýz v tom, že je založena na identifikaci designově nedbalých operačních módech a ne na selhání vybavení či softwaru. SCA bývá obvykle aplikována na obvody, kde může být způsobena nevratná událost [70].

## **Preliminary hazard analysis - PHA**

PHA nebo také předběžná analýza ohrožení je induktivní kvalitativní metoda, jejímž cílem je identifikace nebezpečí, nebezpečných situací a událostí, které mohou při dané činnosti, udaného zařízení nebo u systému poškození či újmu. Tato analýza je prováděna v rané fázi vývoje projektu, kdy není k dispozici dostatek informací o podrobnostech návrhu nebo o provozních postupech. Také se používá při analyzování již existujících systémů, kde okolnosti brání použití pokročilejších metod [28],[43].

Při PHA se zpracovává seznam nebezpečí a generických nebezpečných situací uvažováním charakteristik, jako jsou používané materiály, použitá zařízení, prostředí, rozmístění a rozhraní mezi součástmi systému.

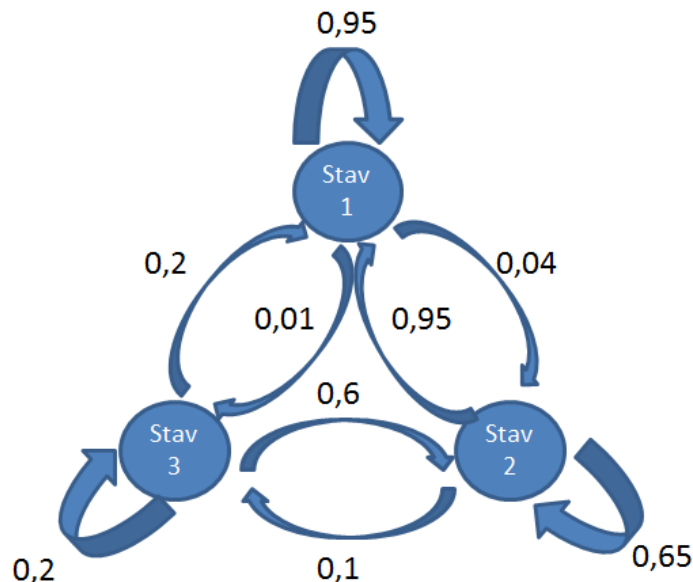
Analýza je dokončena identifikací možností, že k nehodě dojde, kvalitativním vyhodnocením rozsahu možných zranění nebo škod na zdraví, které mohou být důsledkem nehody a identifikací možných opatření k nápravě. PHA se musí aktualizovat v průběhu etap návrhu, konstrukce a zkoušení, aby identifikovala jakákoliv nová nebezpečí a aby se učinila opatření k nápravě, pokud je to možné. Výsledky jsou prezentovány ve formě stromů či tabulek [43].

## **Markovova analýza**

Markovova analýza se používá tam, kde budoucí stav systému závisí pouze na jeho současném stavu. Je běžně používaná k analýze opravitelných systémů, které mohou existovat v četných stavech, a pro přiměřené analyzování systému by nebylo vhodné použít analýzu blokového diagramu. Proces Markovovy analýzy je kvantitativní technika a může být diskrétní nebo spojitý [82]. Příklad Markovova diagramu je uveden na obrázku 86.

Vstupy nezbytné pro Markovovu analýzu:

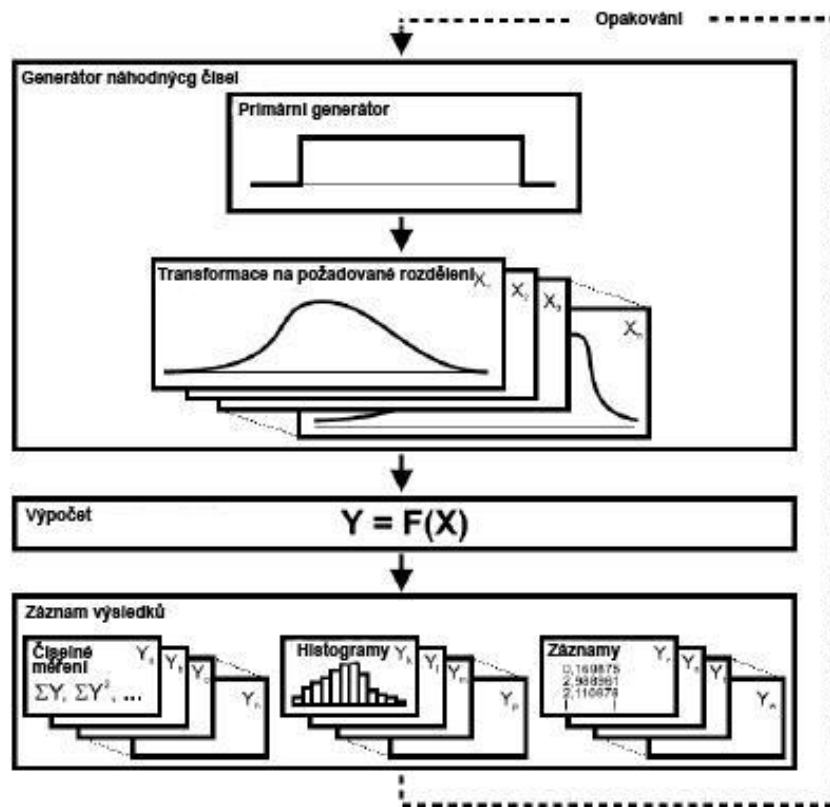
- Seznam různých stavů, ve kterých může být systém, subsystém nebo součást
- Jasné pochopení možných přechodů, které je nezbytné modelovat
- Intenzita změny z jednoho stavu na druhý typicky znázorněna buď pravděpodobností změny mezi stavy pro diskrétní události, nebo intenzitou poruch či oprav pro spojité události



Obrázek 79: Příklad Markovova diagramu systému [82].

### Analýza Monte Carlo

Monte Carlo je třída algoritmů pro simulaci systémů. Jde o stochastické metody používající pseudonáhodná čísla. Typicky využívány pro výpočet integrálů, zejména vícerozměrných, kde běžné metody nejsou efektivní. Metoda Monte Carlo má široké využití od simulace experimentů přes počítání určitých integrálů až třeba řešení diferenciálních rovnic. Základní myšlenka této metody je velice jednoduchá, chceme určit střední hodnotu veličiny, která je výsledkem náhodného děje. Vytvoří se počítačový model toho děje a po proběhnutí dostatečného množství simulací se mohou data zpracovat klasickými statistickými metodami, třeba určit průměr a směrodatnou odchylku [84]. Tvorba modelu je uvedena na obrázku 87.



Obrázek 80: Tvorba modelu dle metody Monte Carlo [83].

Řešení problému metodou Monte Carlo můžeme rozdělit do tří kroků:

- Rozbor problému a návrh modelu - z hlediska řešení problému se jedná o nejdůležitější krok. I když je metoda Monte Carlo použitelná prakticky u všech problémů a její formulace není složitá, nalezení vhodného postupu může nezkušenému řešiteli dělat problémy
- Generování náhodných veličin, jejich transformace na veličiny s daným pravděpodobnostním rozdělením. Rychlost konvergence chyby výsledku k nulové hodnotě je u metody Monte Carlo rovna přibližně převrácené hodnotě odmocniny z počtu realizovaných pokusů  $N$ , z čehož plyne, že nepatří mezi metody nejefektivnější
- Statistické zpracování výsledků - hledaná hodnota je zpravidla dána některým z momentů statistických veličin, nejčastěji střední hodnotou [84]



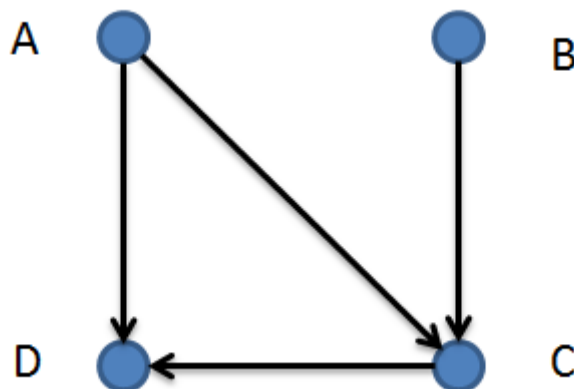
## Bayesovská analýza

Bayesovská statistika se odlišuje od klasické statistiky tím, že nepředpokládá, že všechny parametry rozdělení jsou fixní, ale že parametry jsou náhodnými proměnnými. Bayesovská pravděpodobnost může být snadněji srozumitelná, jestliže se považuje za osobní stupeň důvěry k určité události, na rozdíl od klasického pojetí, které je založeno na fyzickém důkazu.

Pro Bayesovy sítě jsou používány grafické modely, které představují množinu proměnných a jejich pravděpodobnostní vztahy. Síť se skládá z uzlů, které znázorňují náhodnou proměnnou, a ze šipek, které spojují rodičovský (nadřazený uzel) s dětským (podřazeným) uzlem, kde rodičovský uzel je proměnná, která přímo ovlivňuje další dětskou proměnnou [84]. Vzor je uveden na obrázku 88.

Vstupy jsou podobné vstupům pro Monte Carlo.

- Stanoví se proměnné systému
- Stanoví se příčinné spoje mezi proměnnými
- Specifikují se podmíněné a předcházející pravděpodobnosti
- Přidá se důkaz k síti
- Provede se aktualizace stupně důvěry
- Získají se posteriorní stupně důvěry



Obrázek 81: Vzor Bayesovy sítě [84].